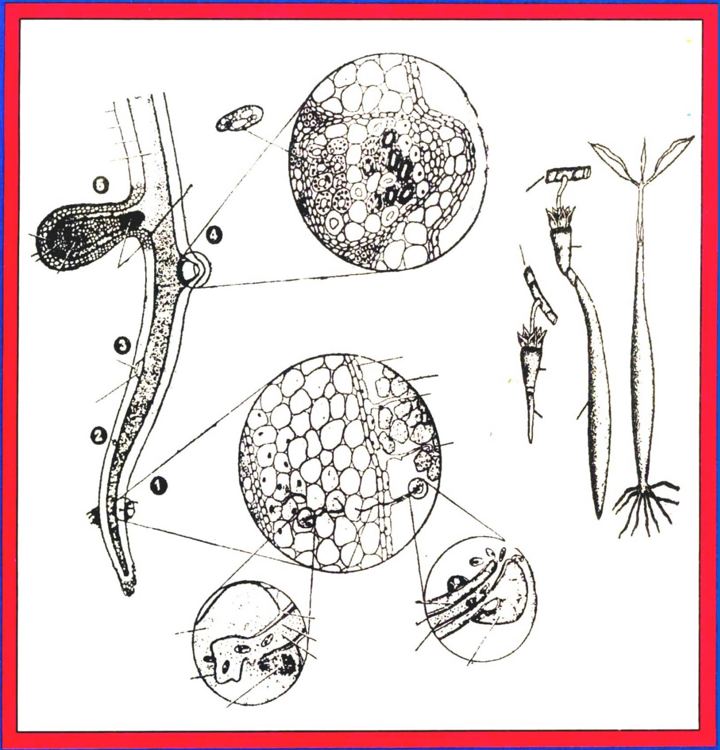
BO-07

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा



पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन

BO - 07

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन

पाठ्यक्रम अभिकल्प समिति

अध्यक्ष

प्रो. (डॉ.) नरेश दाधीच
कुलपति
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

संयोजक/ समन्वयक एवं सदस्य

विषय समन्वयक
प्रो.(डॉ.) पी.सी. त्रिवेदी
वनस्पति शास्त्र विभाग
राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर

सदस्य सचिव / समन्वयक
डॉ. अशोक शर्मा
सह- आचार्य, राजनीति विज्ञान
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

सदस्य

1. **प्रो. एस.वी.एस. चौहान**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   बी.आर.अम्बेडकर विश्वविद्यालय, आगरा
2. **प्रो. एन. सी. ऐरी**
   विभागाध्यक्ष, वनस्पति शास्त्र विभाग
   एम.एल.सुखड़िया विश्वविद्यालय,उदयपुर
3. **प्रो. एस.के. माहना**
   विभागाध्यक्ष, वनस्पति शास्त्र विभाग
   महर्षि दयानन्द सरस्वती विश्वविद्यालय, अजमेर
4. **प्रो. त्रिभुवन सिंह**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
5. **डॉ. डी. के. अरोड़ा**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   राजस्थान विश्वविद्यालय, जयपुर
6. **डॉ. श्रीमती प्रमिला शर्मा**
   जैव प्रौद्योगिकी विभाग
   महर्षि अरविन्द कॉलेज, मानसरोवर, जयपुर
8. **डॉ. आर. एस. धनखड़**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   राजकीय महाविद्यालय, सीकर

सम्पादन एवं पाठ लेखन

सम्पादक

डॉ. आर. एस. धनखड़
वनस्पति शास्त्र विभाग
कल्याण राजकीय महाविद्यालय, सीकर

लेखक

1. **डॉ. पुष्पा सांखला**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   राजकीय महाविद्यालय, अजमेर
2. **डॉ. जे. पी. गुप्ता**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   एम. एल. बी. राजकीय महाविद्यालय, भीलवाड़ा
3. **डॉ. रेखा रस्तोगी**
   विभागाध्यक्ष, वनस्पति शास्त्र विभाग
   सत्यासाई कन्या महाविद्यालय, जयपुर
4. **डॉ. विधि दूबे**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   महात्मा गांधी इंस्टीट्यूट ऑफ एप्लाईड साईन्स,
   जे.ई.सी.आर.सी., सीतापुरा, जयपुर
5. **डॉ. अर्चना पारीख**
   वनस्पति शास्त्र विभाग
   संत जयाचार्य महाविद्यालय, जयपुर
6. **डॉ. श्रीमती प्रमिला शर्मा**
   जैव प्रौद्योगिकी विभाग
   महर्षि अरविन्द कॉलेज,मानसरोवर, जयपुर

अकादमिक एवं प्रशासनिक व्यवस्था

प्रो. नरेश दाधीच
कुलपति
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

प्रो. अनाम जेटली
निदेशक
संकाय विभाग

प्रो. पी.के.शर्मा
निदेशक
पाठ्य सामग्री उत्पादन एवं वितरण विभाग

पाठ्यक्रम उत्पादन

योगेन्द्र गोयल
सहायक उत्पादन अधिकारी
वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

उत्पादन मार्च 2009 ISBN- 13/978-81-8496-011-2

इस सामग्री के किसी भी अंश की वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा की लिखित अनुमति के बिना किसी भी रूप में मिमियोग्राफी (चक्रमुद्रण) के द्वारा या अन्यत्र पुनः प्रस्तुत करने की अनुमति नहीं है।

निदेशक(अकादमिक) द्वारा वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा के लिए मुद्रित एवं प्रकाशित।

BO-07

वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा

पादप कार्यिकी एवं जैवरसायन

इकाई संख्या	इकाई	पृष्ठ संख्या
इकाई 1:	**जल संरचना, भौतिक-रासायनिक गुण एवं पादप जीवन में महत्व** (Sructure of Water,Physical-chemical properties and importance of Plant)	**8–29**
इकाई 2:	**जल अवशोषण व रसारोहण**(Water absorption and Ascent of Sap)	**30–46**
इकाई 3:	**वाष्पोत्सर्जन - प्रकार, कारक, क्रियाविधि व महत्व; बिन्दुस्त्राव** (Transpiration- Types, Factors, Mechanism and Importance; Guttation)	**47–70**
इकाई 4:	**खनिज पोषण** (Mineral Nutrition)	**71–110**
इकाई 5:	**कार्बनिक पदार्थों का परिवहन**(Transport of Organic Substance)	**111–131**
इकाई 6:	**प्रकाश संश्लेषण : प्रकाश संश्लेषी उपकरण एवं वर्णक, प्रकाश अभिक्रिया प्रकाश तंत्र-I प्रकाश तंत्र-II, Z-स्कीम, प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण, कैल्विन चक्र(C_3 चक्र)** (Photosynthesis : Photosynthetic apparatus and Pigment, Light Reaction Photosystem-I, Photosystem-II, Z-Scheme, Photophosphorylation, Calvin cycle(C_3 Cycle)	**132–173**
इकाई 7:	**प्रकाश संश्लेषण : C_4 चक्र, प्रकाशीय श्वसन, क्रास्यूलीन एसिड मेटाबोलिज्म(CAM), प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक-1** (Photosynthesis : C_4 Cycle,Photorespiration,Crassulian Acid Metabolism(CAM),Factors affecting Photosynthesis)	**174–202**
इकाई 8:	**श्वसन : वायवीय एवं अवायवीय श्वसन, ग्लाइकोलाइसिस, क्रेब्स चक्र, इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र एवं ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण, श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक** (Respiration: Aerobic and Anaerobic respiration,Glycolysis, Kreb's Cycle, Electron Transport System & Oxidative Phosphorylation, Factors affecting Respiration)	**203–241**

इकाई 9:	**नाइट्रोजन उपापचय**(Nitrogen Metabolism)	**242–271**
इकाई 10:	**कार्बोहाइड्रेट्स** (Carbohydrates)	**272–300**
इकाई 11:	**प्रोटीन**(Protein)	**301–352**
इकाई 12:	**एन्जाइम**(Enzymes)	**353–381**
इकाई 13:	**लिपिड्स**(Lipids)	**382–401**
इकाई 14:	**बीज अंकुरण, प्रसुप्ति तथा पादप गतियाँ** (Seed Germination, Dormancy & Plant Movement)	**402–441**
इकाई 15:	**दीप्तकालिता एवं बसन्तीकरण**(Photoperiodism and Vernalisation)	**442–459**
इकाई 16:	**पादप हार्मोन**(Plant Harmones)	**460–501**

प्रस्तावना

प्रस्तुत पुस्तक **"पादप कार्यिकी एवं जैवरसायन"** वर्धमान महावीर खुला विश्वविद्यालय, कोटा द्वारा प्रस्तावित पाठ्यक्रमानुसार बी. एससी. भाग द्वितीय के वनस्पतिशास्त्र तृतीय प्रश्न-पत्र के अध्ययन हेतु सृजित की गई है। पुस्तक की भाषा-शैली को सरल , रोचक एवं सुग्राहम बनाने का अथक प्रयास किया गया है। आवश्यकतानुसार समानार्थी अंग्रेजी शब्द, फ्लोचार्ट, नामांकित चित्र एवं सारणियाँ भी दी गई है। पुस्तक की विभिन्न इकाइयों को विद्वान लेखकों द्वारा लिखा गया है। लेखकों ने पुस्तक को तथ्यपरक बनाने के लिए प्रमाणिक ग्रन्थों की सहायता प्राप्त की है, इन रचयिताओं के लिए कृतज्ञतापन इन पंक्तियो के माध्यम से प्रस्तुत है। यह पुस्तक विदार्थियों के लिए प्रतियोगी परीक्षाओं हेतु भी सही मार्गदर्शन प्रदान करने में सहायक होगी।

पुस्तक को अधिक उपयोगी एवं प्रमाणिक बनाने हेतु प्रबुद्ध पाठकों एवं जागरूक विदर्थियों के रचनात्मक सुझाव सादर आमंत्रित है ।

इकाई 1 : जल संरचना, भौतिक-रासायनिक गुण एवं पादप जीवन में महत्व (STRUCTURE OF Water, Physical-chemical Properties and Importance of plant)

इकाई की रूपरेखा

1.0 उद्देश्य

1.1 प्रस्तावना

1.2 जल की संरचना

1.3 जल के गुण

1.4 जल के जैवीय महत्व

1.5 परासरण

1.5.1 परासरण का प्रदर्शन

1.5.2 परासरण दाब

1.5.3 परासरण विलयन

1.5.4 पौधों की कोशिकाओं में परासरी सम्बन्ध

1.5.5 जल विभव

1.5.6 पौधों में परासरण का महत्व

1.6 विसरण

1.7 परासरण व विसरण में अन्तर

1.8 जीव द्रव्य कुंचन

1.8.1 जीव द्रव्य कुंचन का महत्व

1.9 अंत: शोषण

1.10 सारांश

1.11 शब्दावली

1.12 संदर्भ ग्रन्थ

1.13 बोध प्रश्नों के उत्तर

1.14 अभ्यासार्थ प्रश्न

1.0 उद्देश्य

प्रस्तुत इकाई में विद्यार्थियों को पादप जीवन में जल के महत्व के बारे में जानकारी दी जायेगी । साथ ही जल की संरचना व गुणों के बारे में चर्चा की जायेगी । पौधों व जल के सम्बन्ध व

कोशिकाओं पर इनका प्रभाव बताया जायेगा । बोध प्रश्नों की सहायता से विद्यार्थी स्वयं को जाँच भी सकेंगे ।

1.1 प्रस्तावना

यह बात हमने कई बार सुन रखी है कि जल ही जीवन है । जल से ही जीवन की उत्पत्ति हुई है व प्राणीमात्र जीवन के लिए जल पर ही आश्रित है । प्रोटोप्लाज्मा का भी लगभग 90% भाग जल होता है अर्थात् जैविक क्रियाओं का आधार जल ही है ।

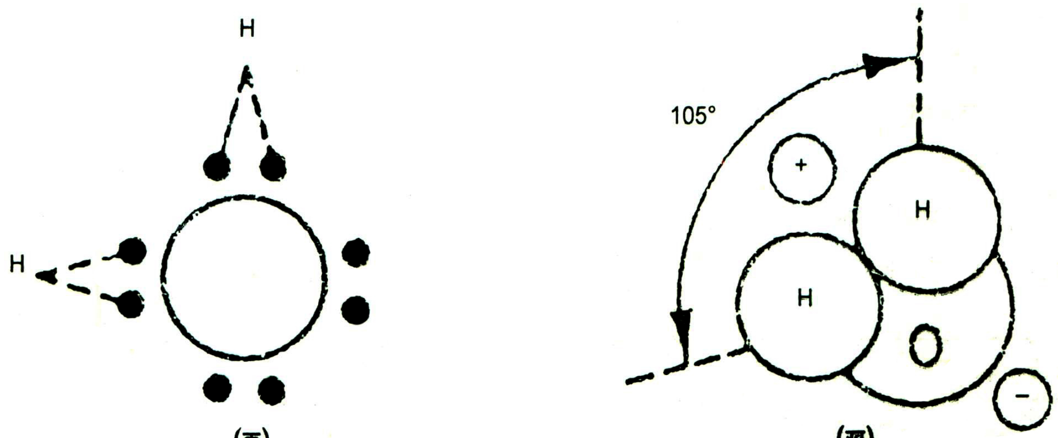
जल सबसे उत्तम विलायक कहा जाता है । कोई भी रासायनिक पदार्थ दूसरे द्रवों की अपेक्षा जल में आसानी के साथ घुल जाता है । अनेकानेक क्रियाओं के होने पर भी वह स्वयं स्थिर रहता है ।

जल के अणुओं का अर्ध पारगम्य झिल्ली द्वारा वितरण हमेशा इसके उच्च से निम्न सान्द्रण क्षेत्र की ओर होता है । इसे परासरण की क्रिया कहते हैं ।

कभी-कभी किसी पदार्थ के ठोस कण जल अवशोषण करके फूल जाते हैं परन्तु घोल नहीं बनाते । इस क्रिया को अन्त :शोषण कहा जाता है । इसी प्रकार एक और क्रिया जिसे जीवद्रव्य कुंचन कहा जाता है, पादप जीवन में बहु त महत्व रखती है । जल की कमी होने पर जीवद्रव्य सिकुड़ जाता है व कोशिका भित्ति से अलग होकर गोलाकार हो जाता है । पानी की उचित मात्रा मिलने पर यह फिर से पूर्वावस्था में आ जाता है । इसका प्रदर्शन कोशिका को अधिपरासरी विलयन में रख कर किया जा सकता है । इन सभी क्रियाओं के बारे में आगे विस्तार से वर्णन किया जायेगा ।

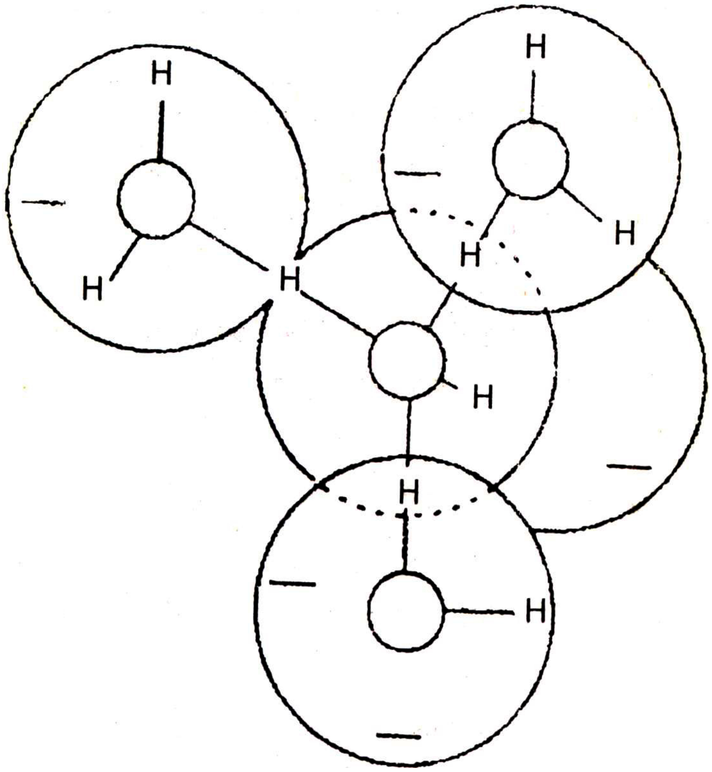
1.2 जल की संरचना

हम सभी यह बात जानते हैं कि जल हाइड्रोजन व ऑक्सीजन से बना होता है । इसके प्रत्येक अणु में दो परमाणु हाइड्रोजन के व एक परमाणु ऑक्सीजन का होता है जो सह-संयोजी बॉण्ड्स द्वारा जुड़े रहते हैं । जल की संरचना टेट्राहिड्रल होती है व इसके चार कोनों में ऑक्सीजन के परमाणु होते हैं । असीमित इलेक्ट्रॉन वितरण के कारण इसका एक सिरा दूसरे सिरे की तुलना में घनात्मक आवेशित होता है । इसलिए जल के अणु में विद्युत ध्रुवता का गुण पाया जाता है । इसमें हाइड्रोजन घनात्मक व ऑक्सीजन ऋणात्मक आवेशित होते हैं (चित्र 1.0) । एक जल अणु चार जल अणुओं से घिरा रहता है तथा इस प्रकार चार हाइड्रोजन बन्ध बन सकते हैं (चित्र 1.1) । द्रव जल में जल अणु अनियमित विन्यास दर्शाते हैं तथा तापमान वृद्धि के साथ एक -एक करके टूटते जाते हैं जबकि बर्फ में यही चतुष्फलकीय रूप से विन्यासित रहते हैं इसलिए नियमित क्रिस्टलीय संरचना दर्शाते हैं (चित्र 1.2) ।

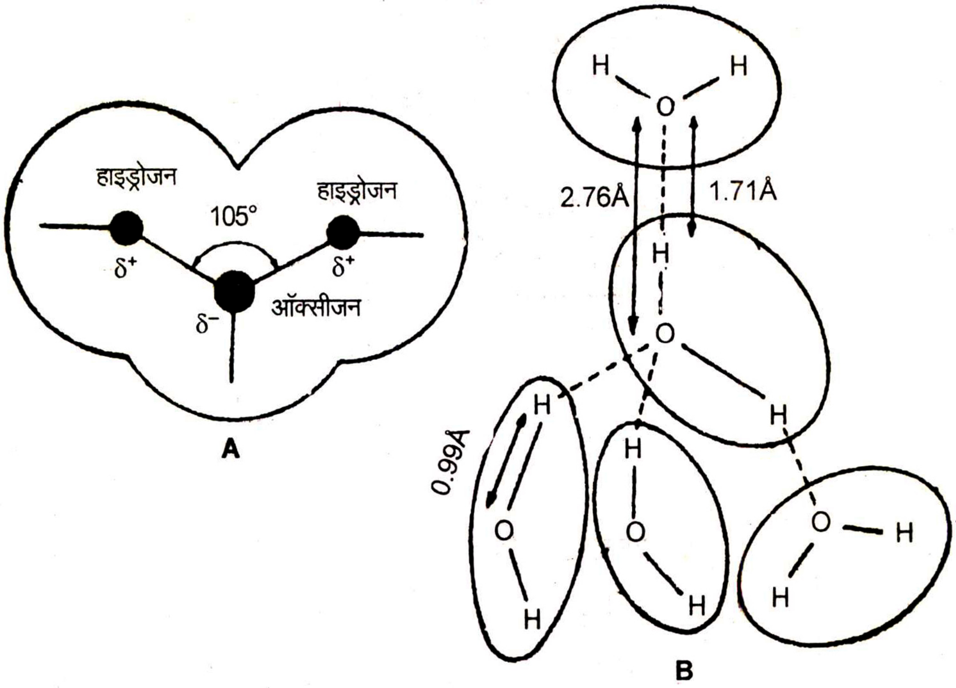


(क) (ख)

चित्र 1.0 : जल का अणु व उस पर विद्युत आवेश



चित्र 1.1 : जल के अणु की संरचना



चित्र 1.2 :A . जल अणु की संरचना; B. बर्फ में जल अणुओं का विन्यास

जीवित कोशिकाओं में पानी की मात्रा अलग - अलग होती है और लगभग 65% जल सभी जीवधारियों में आवश्यक है । जल की उपस्थिति में शरीर की विभिन्न जैविक क्रियाएँ सम्पन्न हो सकती है अन्यथा नहीं । रासायनिक दृष्टि से जल में कार्बन की अनुपस्थिति के कारण इसे कार्बनिक यौगिक नहीं कहा जा सकता है ।

1.3 जल के गुण

जल सबसे अच्छा विलायक माना जाता है अर्थात् इसमें किसी: भी प्रकार का रासायनिक पदार्थ आसानी से घुल जाता है । पानी में घोलने पर यह पदार्थ छोटे -छोटे अणुओं में टूट जाता है व अन्य कई द्रवों की अपेक्षा जल में अच्छी तरह मिल जाता है । इस प्रकार एक सभांगी (Homogenous) घोल (Solution) बन जाता है । ऐसे ही जीवित कोशिका में भी जल होता है जो अन्दर के सभी पदार्थों की क्रियाओं में सहायक होता है ।

पानी का दूसरा प्रमुख गुण इसका स्थिर यौगिक होना है । कोशिकाओं के भीतर जल अनेक क्रियाओं व प्रतिक्रियाओं में भाग लेता है परन्तु स्थिर यौगिक होने के फलस्वरूप कभी भी अनियंत्रित नहीं होता है । अर्थात् जल एक विलायक का कार्य करता है व इसमें रासायनिक स्थिरता होती है ।
इसी प्रकार ये क्रियाएँ जो एन्जाइम नियंत्रित होती हैं उनमें भी जल पूर्णतया स्थिर होता है एवं अक्रिय भी नहीं होता है ।

जल का तीसरा बड़ा गुण है उसकी अपेक्षित स्थिरता (Relative Stability) जल के अणु आयनीकरण के द्वारा H+व OH आयन बनाते हैं । कोशिकाओं की सभी अभिक्रियाओं में ये आयन भाग लेते हैं । जीवित कोशिकाओं में इनकी आपेक्षित सान्द्रता महत्वपूर्ण होती है ।

यदि हम जल के भौतिक गुणों की बात करें तो यह हम सभी जानते हैं कि जल एक रंगहीन, स्वादहीन व गंधहीन द्रव है । पारदर्शी होना इसके स्वच्छ होने का भी प्रमाण है । इसका क्वथनांक 100^o C व हिमांक 0^o C होता है । इसका घनत्व 4^0 C पर 1 ग्राम प्रति घन सेमी. होता है परन्तु ताप के साथ इसमें परिवर्तन होता रहता है (सारणी 1.0) । बर्फ का घनत्व कम होने के कारण (0.12) ही यह पानी की सतह पर तैर सकती है । जल अनेक प्रकार के पदार्थों के साथ मिल कर वास्तविक अथवा कोलायडी विलयन बनाता है । साथ ही जल के ध्रुवीय प्रकृति के होने के कारण इसका पराविद्युतिय स्थिरांक उच्च (807) होता है और इसे एक आदर्श परिक्षेपण माध्यम (Ideal dispersion medium) माना जाता है । यही कारण है कि जल में विपरीत आवेश के कण भी युगपन अवस्था में रहते हैं ।

सारणी 1.0 : जल के प्रमुख स्थिरांक

क्र.सं	भौतिक लक्षण	स्थिरांक
1.	अणु भार	16
2.	घनत्व	0.999 (0^0 C पर) 1.00 (4^o C पर) (ग्राम प्रति घन सेमी.)
3.	क्वथनांक बिन्दु	100^0 C
4.	गलनांक बिन्दु	0^o C
5.	गुप्त ऊष्मा	80^o0 (Cal)
6.	वाष्पन ऊष्मा	59.0 (Cal)
7.	पृष्ठीय तनाव	72(20^o C)

शुद्ध जल विद्युत का कुचालक माना जाता है और इसमें गुप्त ऊष्मा (latent heat) होती है । इसी के साथ इसकी वाष्पन की गुप्त अवस्था (latent heat of vapourization) भी कोशिकाओं के ताप व वातावरण को स्थिर रखती है । साथ ही जल में आयनीकरण की शक्ति होती है जिससे यह रासायनिक क्रियाओं में निरन्तर उत्प्रेरक का कार्य करता रहता है ।

जल में एक अन्य गुण के शिकत्व (capillarity) है । इसके अणुआग में ससंजन (cohesion) होने से इसका पृष्ठीय तनाव उच्च होता है । इसी गुण से पौधों की जड़ें जल अवशोषित करती है व इनमें रसारोहण की क्रिया भी होती है । इसी प्रकार जल का एक अन्य गुण है कि इसकी श्यानता (viscosity) द्रव अवस्था में कम होती है जिससे यह पौधों में काफी आसानी के साथ सरस रूप से बहता रहता है ।

1.4 जल के जैवीय महत्व

यह बात सर्वविदित है कि सभी प्रकार की जैविक क्रियाओं के लिए अकार्बनिक पदार्थों के साथ - साथ जल अति आवश्यक होता है । पौधों में तो जल की मात्रा 90 प्रतिशत तक होती है । जैसा हमने जल के गुणों में पढ़ा कि पौधों की सभी संरचनात्मक और रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए वह नितान्त उपयोगी है । जल जीवद्रव्य का प्रमुख भाग होता है । इसी में घुलनशीलता के गुण के कारण खनिज लवण पौधों के प्रत्येक भाग में आसानी से पहुँच जाते हैं । इसी गुण के कारण सभी क्रियाएँ भी सम्पन्न होती है । कोशिकाएँ व उनकी रिक्तिकाएँ जल से भरे रहने से अवशोषण, रसारोहण, वाष्पोत्सर्जन आदि कार्य नियन्त्रित रूप से चलते रहते हैं । इसी से स्टोमेटा भी नियंत्रित रहते हैं ।

जल की अनुकूल अवस्थाओं में पौधों की वृद्धि प्रकाश संशलेषण, विसरण, परासरण, अन्त शोषण आदि क्रियाएँ सुचारू रूप से चलती रहती है । इन सबके अलावा, जल की उपस्थिति एवं उसकी मात्रा के अनुसार पौधे मरुदभिदू जलोदभिद् व समोदभिद् कहलाते हैं ।

जल प्रोटोप्लाज्म का आवश्यक घटक है तथा यह सजीव कोशिकाओं में सार्वत्रिक विलायक (universal solvent) की तरह कार्य करता है । यह सभी रासायनिक अभिक्रियाओं में माध्यम (medium) का कार्य करता है तथा जैविक तन्त्र में विभिन्न पदार्थों के स्थानान्तरण का कार्य भी सम्पादित करता है । सभी कोशिकाओं में प्रोटीन, स्टार्च आदि अणु जल के द्वारा ही अपघटित हो पाते हैं और इनका परिवहन व उपयोग हो पाता है ।

जल कोशिकाओं की रिक्तिकाओं में संग्रहित रहता है तथा कोशिकाओं की स्फीति बनाये रखता है जो वृद्धि, विभाजन आदि के लिए परमावश्यक है । साथ ही स्फीति में पीरवर्तन रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने, पुष्पों के खुलने व बन्द होने, फल स्फुटन आदि के लिए आवश्यक है । अत : हम यह कह सकते हैं कि जल हमारे जीवन के लिए तो आवश्यक है ही, परन्तु यह पादप जीवन का भी सबसे प्रमुख अग है जो कोशिकाओं के भीतर व बाह्‌य वातावरण में सभी प्रकार की जैविक, भौतिक व रासायनिक क्रियाओं के लिए उचित माध्यम प्रदान करता है ।

1.5 परासरण (Osmosis)

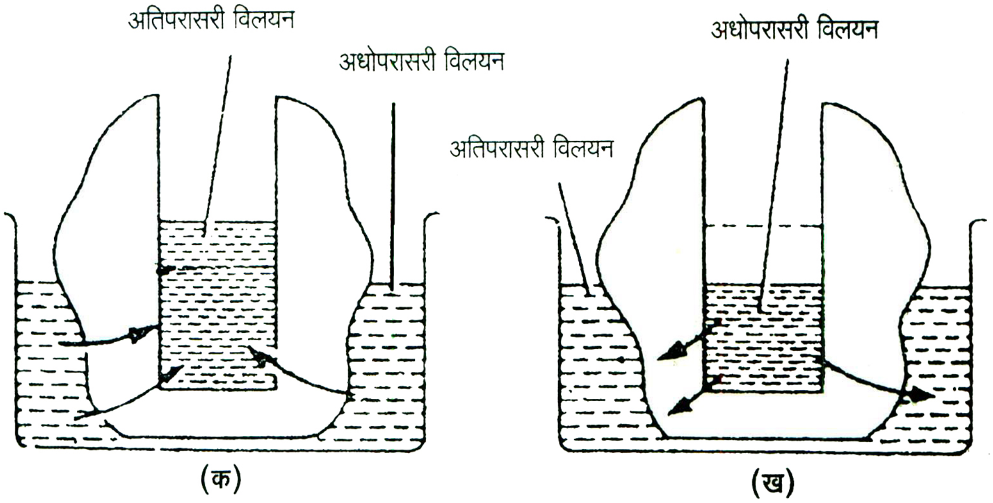
दो विभिन्न सान्द्रता वाले विलयनों के बीच परासरण की क्रिया तब होती है जब ये विलयन अर्धपारगम्य झिल्ली द्‌वारा अलग रहते हैं । इसमें कम सान्द्रता वाले विलयन से अधिक सान्द्रता वाले वियलन की ओर जल या विलायक का विसरण ही परासरण कहलाता है । अर्धपारगम्य झिल्ली अथवा चयनात्मक पारगम्य झिल्ली द्‌वारा केवल विलायक ही विसरण करता है । विलय के अणु झिल्ली द्‌वारा नहीं जाते ।

परासरण की खोज सर्वप्रथम नोलेटथ (Nollet,1748) ने की थी । बाद में पादप कार्यिकी में इसकी उपयोगिता ट्राउब (Troube) ने दर्शाई । किसी कोशिका में जल के परासरणीय प्रवेश को अन्त : परासरण व निष्कासन को बहि:पर्रासरण कहते हैं (चित्र 1.3) ।

परासरण पर निम्न बातों का प्रभाव पड़ता है

(i) विलयन की सान्द्रता (ii) विलय का आयनीकरण

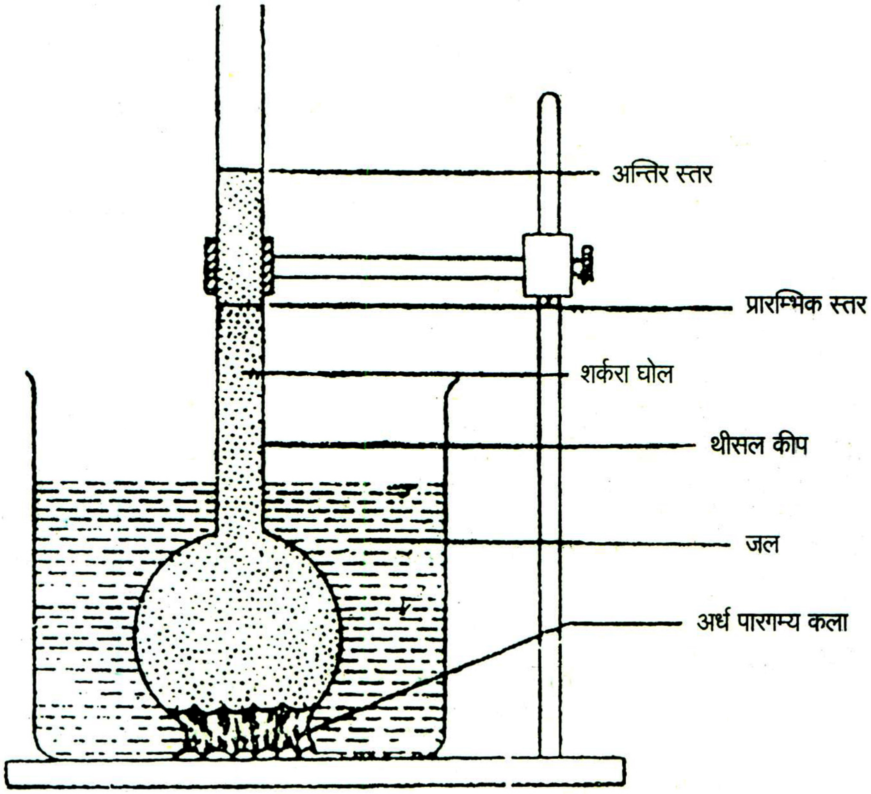
(iii) विलय का जलीकरण (iv) तापमान



चित्र 1.3: (क) अन्त : परासरण; (ब) बहिःपरासरण

1.5.1 परासरण का प्रदर्शन (Demonstration of Osmosis)

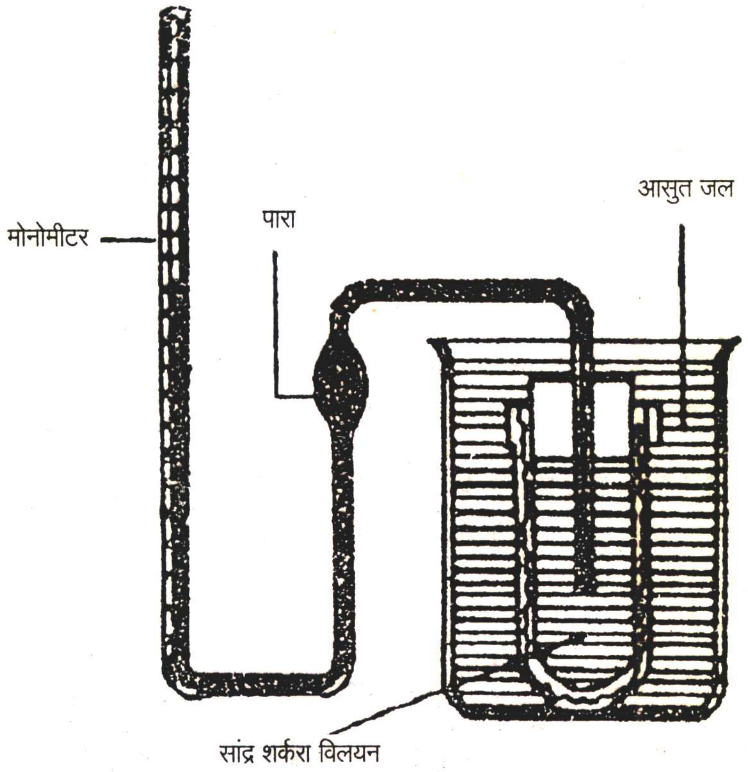
एक लम्बी नल वाली थीसिल कीप (Thistle funnel) के मुँह पर कृत्रिम अर्धपारगम्य झिल्ली जैसे पार्चमेन्ट कागज को धागे की सहायता से बाँध सकते हैं । इसकी नली अथवा ग्रीवा में 10 से 20% चीनी का सान्द्र घोल कर देते हैं तथा स्तर चिन्हित कर लेते हैं । फिर इसे जल से भरे बीकर में लटका कर स्टैण्ड पर लगा देते हैं । थोड़े समय पशचात् नली में जल का स्तर ऊपर चढ़ जाता है । बीकर के जल का परीक्षण करने पर ज्ञात होता है कि उसमें शर्करा अनुपस्थित होती है । इससे यह स्पष्ट है कि विलायक अणु अधिक सान्द्रता (जल) से कम सान्द्रता (शर्कदा विलयन) की ओर अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा गमन करते हैं । यह प्रयोग स्पष्ट करता है कि परासरण एक प्रकार की विशिष्ट क्रिया है जिसमें अर्धपारगम्य झिल्ली विभेदक कारक है (चित्र 1.4) ।



चित्र 1.4 : थीसिल कीप प्रयोग द्वारा परासरण का प्रदर्शन

1.5.2 परासरण दाब (Osmotic Pressure):

परासरण की आदर्श स्थिति में वह अधिकतम दाब जो परासरणी सक्रिय विलयन में इस समय उत्पन्न होता है जब इसे अर्धपारगम्य झिल्ली के द्वारा इसके शुद्ध विलायक से पृथक किया जाता है, परासरणी दाब कहलाता है । किसी पदार्थ के परासरणी दाब को नापने का उपकरण परासरणमापी (Osmometer) कहलाता है । फेफर (Pfeffer) का परासरणमापी सबसे सामान्य उपकरण है इसमें पोरसलीन का छिद्रित बेलनाकार पात्र होता है । इसकी सतह पर कॉपर फैरोसाइनाइड (copper ferrocyanide) की झिल्ली होती है । पात्र में अज्ञात परासरणी दाब का विलयन भर कर जल के भरे पात्र में रख देते हैं । अब पात्र को एक नली द्वारा पारे के मैनोमीटर (Manometer) से जोड़ देते हैं । थोड़े समय के पशचात् मैनोमीटर में पारे का स्तर परासरणी दाब के कारण बढ़ जाता है (चित्र 1.5) ।



चित्र 1.5 : 'फेफर के परासरणमापी द्वारा परासरण दाब का मापन

परासरणी दाब को वायुमण्डलीय दाब के रूप में निरूपित किया जाता है किन्तु अब इसे बार (bar) के रूप में दर्शातें हैं । इसका सूत्र है:

$$PV=nRT$$

यहाँ

P = परासरणी दाब

V = विलयन का आयतन

R = गैस स्थिरांक

T = शुद्ध ताप

यह सूत्र ऐसे विलयों पर लागू नहीं होता जो जलशोषित या अपघट्य हों । आधुनिक वैज्ञानिक परासरणी दाब के स्थान पर परासरणी विभव (osmotic potential) को अधिक सही मानते हैं जिसका मान ऋणात्मक होता है । शुद्ध जल का परासरण विभव शून्य होता है ।

1.5.3 परासरण विलयन

यह तीन प्रकार के होते हैं.

(i) **सम -परासरी** (Isotonic) : जब बाहरी और भीतरी घोलों में जल की मात्रा समान हो । ऐसी स्थिति में परासरण नहीं होगा । अर्थात् समान परासरण विभव (OP) वाले विलयन समपरासरी कहलाते हैं ।

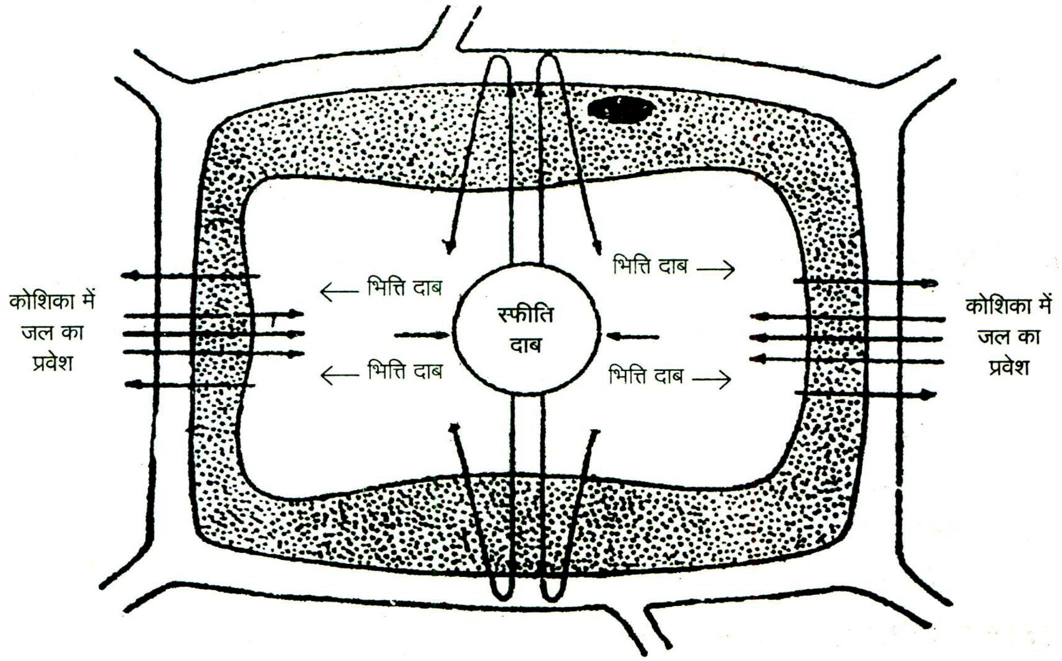
(ii) **अधि -परासरी** (Hypertonic): जब बाहरी विलयन की सान्द्रता कोशिका रस अर्थात् भीतरी विलयन से अधिक हो, तब बाहरी विलयन अधिपरासरी कहलाता है । इस अवस्था में जल कोशिका से बाहरी विलयन में जायेगा और कोशिका प्लाज्मोलाइज (plasmolyse) हो जायेगा । दूसरे शब्दों में अधिक परासरण विभाव (OP) वाला विलयन अधिपरासरी कहलाता है ।

(iii) **अल्पपरासरी** (Hypotonic): ऐसा घोल जिसकी सान्द्रता भीतरी विलयन अथवा कोशिका रस की सान्द्रता से कम हो अल्पपरासरी विलयन कहलाता है । ऐसी अवस्था में जल के अणु बाहरी विलयन से कोशिका में प्रवेश करते हैं । दूसरे शब्दों में जिस विलयन का परासरण विभव कम होता है, अल्पपरासरी विलयन कहलाता 'है ।

1.5.4 पौधों की कोशिकाओं में परासरी सम्बन्ध

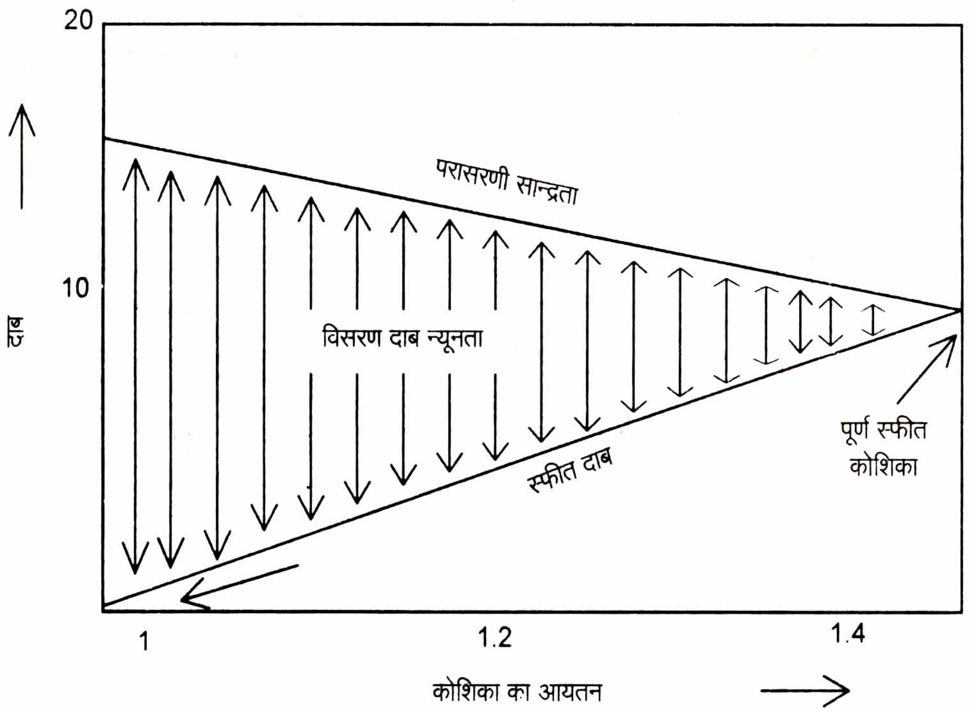
पौधों में सभी कोशिकाएँ एक विशेष परासरण तन्त्र की तरह काम करती है । इस तन्त्र में मूल रोगों का बड़ा महत्व होता है क्योंकि सबसे पहले यही मृदा जल अवशोषित करते हैं । इनमें प्लाज्मा झिल्ली अर्ध पारगम्य झिल्ली की तरह कार्य करती है ।

जल के अवशोषण के पशचात् कोशिका भित्ति पर पड़ने वाले दाब को स्फीति दाब (turgid pressure) कहा जाता है । इसके कारण ही कोशिका भित्ति आकार में बढ़ती है । इसके विपरीत यही भित्ति कौशिका इस (cell cap) पर दबाव डालती है जिसे भित्ति दाब (wall pressure) कहते हैं (चित्र 1.6) ।



चित्र 1.6 : कोशिका में जल प्रवेश पर परासरण दाब, भित्ति दाव व स्फीति दाब के मध्य सम्बन्ध का निरूपण

स्फीति कोशिका (Turgid call) में जल कोशिका रस के परासरण दाब व भित्ति दाब के अन्तर की शक्ति से अवशोषित होता है (चित्र 1.7) । इसे चूष दाब (Suction pressure) कहते हैं ।



चित्र 1.7 : परासरणी सान्द्रता, विसरण दाब न्यूनता तथा अन्य दाबों के परस्पर सम्बन्ध

इसी को विसरण दाब न्यूनता (DPD;Diffusion presssure defici) भी कहा जाता है (सारणी 1.1) ।

सारणी 1.1 : भित्ति दाब (WP), स्फीति दाब (TP), परासरणी दाब (OP) तथा विसरण दाब न्यूनता (DPD) में प्रमुख अन्तर

क्र.सं.	भिती दाब (WP)	स्फीति दाब (TP)	परासारणी दाब (OP)	विसरण दाब (DPD)
1.	भिति दाब , स्फीति के बराबर किन्तु विपरीत प्रकार का होता है। इसमे कोशिका भिती , कोशिका झिल्ली को स्फीति दाब के समान किन्तु विपरीत दिशा मे भीतर की ओर दबाती है।	यह कोशिका भिती के विपरीत होता है तथा जब जल कोशिका मे परासरण की क्रिया द्वारा प्रवेश करता है। यह , वह वास्तविक दाब है जिससे जीवद्रव्य कला को कोशिका भिती की ओर	जो दाब जल के अणुओ को किसी अर्धपारगम्य झिली द्वारा जलीय विलयन मे प्रवेश करने ने रुकावट डाले तथा विलयन के आयतन मे वृद्धि न होने दे ,वह परासरणी दाब होता है। सांन्द्र घोल का OP सदैव तनु	एक निश्चित दाब पर शुद्ध जल त था किसी विलयन के बीच विसरण दाब में भिन्नता होती है । इसी को विसरण दाब न्यूनता कहा जाता है । किसी कोशिका को शुद्ध जल में रखने पर उसमें जल का प्रवेश

		दबाया जाता है।	घोल के सान्द्र घोल के OP से अधिक होता है।	इसी के कारण होता है ।
2.	यदि भिती दाब स्फीति दाब से अधिक हो जाए तो कोशिका शिथिल (flaccid) पड़ जायेगी।	यदि स्फीति दाब भिती दाब से अधिक हो जाए तो कोशिका फूल कर स्फीत () हो जायेगी। यह दाब कोशिका की आकृति व लचीलेपन को बनाए रखता है।		
3.		एक समय पर भिती दाब व स्फीति दाब बराबर रहते है ।तभी कोशिका उचित आकार मे तनी रहती है । कोशिका की वृद्धि के समय स्फीति दाब , भिती दाब से अधिक होता है।	कोशिका मे जल की भीतर की ओर प्रवेश रस दाब के कारण ही सम्भव होता है। कोशिका झिल्ली यहाँ अर्धपारगम्य झिल्ली की तरह व्यवहार करती है।	परासरणी दाब के कारण जल में रखी कोशिका में जल प्रवेश करता है । इसे रोकने का कार्य स्फीति दाब करता है । अत : वह दाब जिससे जल भीतर प्रवेश कर जाये वह परासरणी दाब व स्फीति दाब क अन्तर होगा अर्थात् OP-TP

परासरण के शुरू में DPD व परासरण दाब समान होते हैं तथा जल के अवशोषण के साथ - साथ DPD कम होता जाता है ।

$$DPD = OP - TP$$

$$TP = OP - SP$$

$$OP = SP + TP$$

यहाँ

DPD = विसरण दाब न्यूनता

OP = परासरण दाब

TP = स्फीति दाब

SP = चूष दाब

1.5.5 जल विभव :

हम जानते हैं कि शुद्ध जल के अणुओं की स्वतन्त्र ऊर्जा सर्वोच्च होती है । किसी विलेय के मिलाने पर यहं कम हो जाती है । दोनों परिस्थितियों में स्वतन्त्र ऊर्जा के अन्तर को जल विभव (water potential) कहा जाता है । प्रोटोप्लाज्म में यह DPD या SP के बराबर परन्तु विपरीत होता है । ऊर्जा की कमी होने को ऋणात्मक चिन्ह से दर्शातें हैं अर्थात्

$$\psi = DPD$$

जल विभव को ग्रीक शब्द साई (PSI) द्वारा दर्शाते हैं । इसकी इकाई बार (bar) होती है । कोशिका द्रव्य में जल विभव के तीन घटक होते हैं जो मेट्रिक्स विभव (matric potential) या ψm, परासरण विभव (osmotic potential) या ψs तथा दाब विभव (Pressure potential) या ψp कहलाते हैं । इनका सम्बन्ध निम्न है :

$\psi = \psi m, + \psi s + \psi p$

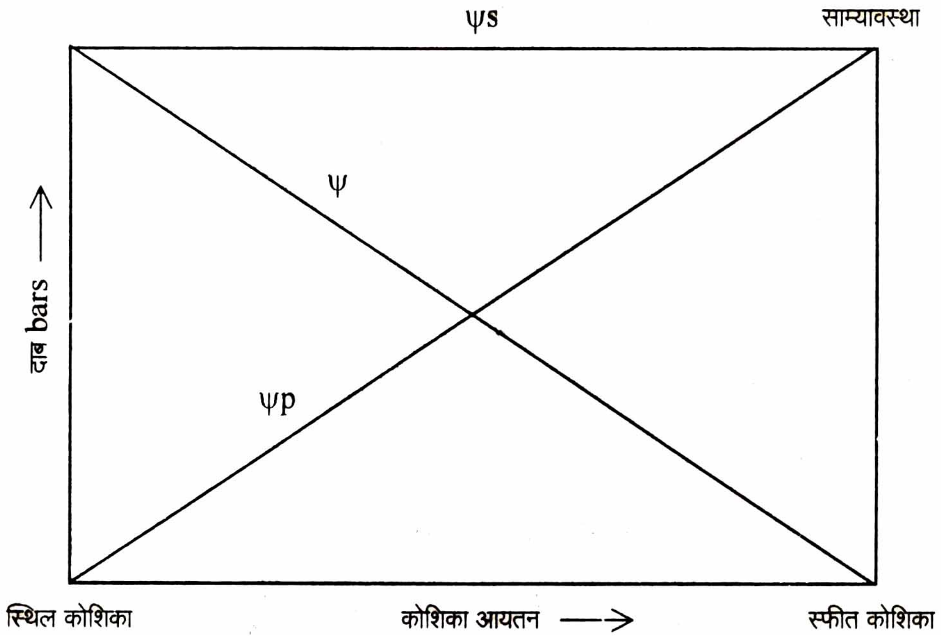
जल विभव के निर्धारण में ψm का योगदान नगण्य होता है । एक कोशिका मे DPD तथा ψ का मान जल की स्थिति के आधार पर परिवर्तित होता रहता है (चित्र 1.8) ।

(क) पूर्ण स्फीत कोशिका में जलावशोषण की क्षमता नहीं होती है । इसमें जल विभव अथवा DPD का मान शून्य होता है । OP व TP या ψs तथा ψp का मान इसमें बराबर होता है । अर्थात् -

$$DPD = OP\ TP \text{ अथवा } \psi = (-\Psi s)+(+\ \psi p)$$

यदि ψ s = 20 atm तथा ψp = atm तो -

$$\Psi = (-20) + (+20) = 0 \text{ अर्थात } DPD = 20\text{-}20 = 0$$



चित्र 1.8 : स्थिल कोशिका में जल के प्रवेश के समय घटकों में होने वाले परिवर्तन

(ख) आशिक रूप से स्फीत कोशिका में परासरण विभव (ψs) या OP, दाब विभव (ψp) या TP की अपेक्षा अधिक होता है । अर्थात् इस कोशिका का जल विभव या मन स्फीत कोशिका के जल विभव के मान से कम होगा । इसलिए कोशिका जलावशोषण करेगी । अर्थात् -

$$DPD = OP - TP \text{ या } \psi = (-\Psi s) + (+\psi p)$$

यदि ψs = 20 atm तथा ψp = 10 atm तो -

$$\Psi=(-20) + (+10) = - 10 \text{ atm अर्थात } DPD = 20 - 10 = 10 \text{ atm}$$

(ग) किसी श्लथ कोशिका का दाब विभव (ψp) या TP शून्य होता है । अर्थात् ψ का मान ψs के बराबर होता है । अत: DPD का मान भी OP के बराबर होता है । अर्थात -

$$\Psi = (-\psi s) + (+\psi p) \text{ या } DPD = OP - TP$$

$$\Psi= (-20) + (0) = 20 \text{ atm अर्थात } DPD = 20 - 0 = 20 \text{ ATM}$$

अत: श्लथ कोशिका दूसरी आशिक स्फीत कोशिका की अपेक्षा अधिक जलावशोषण करती है ।

(घ) किसी जीवद्रव्य कुंचित कोशिका में विभव या स्फीत दाब ψp का मान ऋणात्मक होता है । यदि ψp का मान शून्य से कम हो अर्थात् - atm तो

$$\Psi = (-\psi s) + (+\psi p) \text{ या } DPD = OP - TP$$

$$\Psi = (-20) + (-2) = \text{atm अर्थात } DPD = 20 - (-2) = \text{atm}$$

अत : यह कोशिका स्थिल कोशिका से भी अधिक जलावशोषण करेगी ।

जल विभव महत्वपूर्ण बल है तथा यह कोशिकाओं की जल स्थित निर्धारित करता है । यदि कोशिका का जल विभव कम ऋणात्मक है तो उसमें से जल निकलेगा तथा यदि अधिक ऋणात्मक है तो जल अवशोषित होगा । जैसे पौधों की ऊपरी पत्तियों में कम जल विभव होता है तो ये निचले भाग से जल अवशोषित करती रहती है ।

किसी विलयन का परासरण विभव तीन कारकों से प्रभावित होता है । :

(i) किसी इलेक्ट्रोलाइट का आयनीकरण

(ii) जल का कुल आयतन, तथा

(iii) विलेय का जलयोजन

असल में परासरण दाब एक भ्रामक शब्द है । किसी भी घोल में उत्पन्न दाब के मान को दर्शाने के लिए परासरण विभव अथवा विलेय विभव अधिक सही शब्द है ।

1.5.6 पौधों में परासरण का महत्व

(i) मूलरोम परासरण की क्रिया से ही भूमि से जल अवशोषित करते हैं ।

(ii) कोशिकाओं में जल की गति व वितरण इसी से नियन्त्रित होते हैं ।

(iii) रन्ध्रों (stomata) के खुलने व बन्द होने की प्रक्रिया परासरण के कारण ही सम्भव होती है ।

(iv) पौधों में पत्तियाँ व कोमल अंग इसी के कारण सीधे खड़े रहने में सक्षम होते हैं क्योंकि इसी के कारण कोशिकाएँ सदैव आशून अवस्था में रहती है ।

(v) कोशिका वृद्धि में परासरण दाब व स्फीति दाब आवश्यक होते हैं ।

(vi) पौधों में निर्जलीकरण (dessication), ड्रॉउट (drought) व शीत (frost) के प्रति प्रतिरोधक क्षमता परासरी दाब ही देता है।

(vii) पौधों में कई प्रकार की गतियाँ, जैसी कि छुई -मुई में पाई जाती है, परासरण दाब व स्फीति दाब नियन्त्रित करते हैं ।

(viii) पके फलों और बीजाणुधानियों का फटना इसी क्रिया से नियन्त्रित होता है ।

1.6 विसरण (Diffusion)

विभिन्न पदार्थ बाहरी माध्यम से पादपों की कोशिकाओं तक तथा कोशिकाओं से बाहरी वातावरण तक गमन करते रहते हैं ।इस प्रक्रिया में भौतिक बल के साथ अणुओं कीं प्रकृति भी प्रभावी होती है ।

जब अधिक सान्द्रता के विलयन से कम सान्द्रता के विलयन की ओर अणुओं की गति होती हो तो उसे विसरण कहा जाता है । बल्कि सभी प्रकार के अणु जैसे ठोस, द्रव अथवा गैस के अणुओं में जब इस प्रकार की गति होती है तो उसे विसरण कहा जाता है । इन अणुओं का माध्यम में समान रूप से वितरण हो जाने तक यह गति होती रहती है ।

दूसरे शब्दों में इन अणुओं अथवा आयन्स (ions) का एक यह गुण होता है कि वे अधिक सान्द्रता वाले माध्यम की ओर जाते हैं । यह गति इनकी अपनी अन्तर्निहित ऊर्जा (kinetic or free energy) के कारण होता है । यह अभिगमन साम्यावस्था
(equilibrium) होने तक चलता है (चित्र 1.9) ।

विसरण के निम्न प्रकार हो सकते हैं

(1) ठोस का ठोस में विसरण

(2) ठोस का द्रव में विसरण

(3) ठोस का गैस में विरण

(4) द्रव का ठोस में विसरण

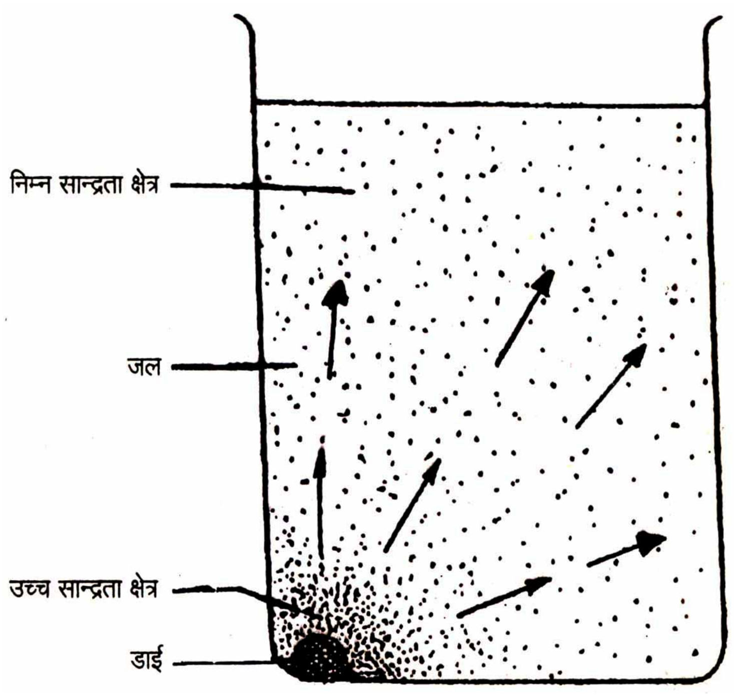
(5) द्रव का द्रव में विसरण

(6) द्रव का गैस में विसरण

(7) गैस का ठोस में विसरण

(8) गैस का द्रव में विसरण

(9) गैस का गैस मे विसरण



चित्र 1.9 : विसरण का प्रदर्शन

विसरण दाब (Diffusion Pressure)

किसी पदार्थ के अणुओं के विसरण से एक दाब उत्पन्न होता है जिसे विसरण दाब कहा जाता है। इसलिए हम यह भी कह सकते हैं कि किसी पदार्थ के अणुओं या आयनों (ions) के उच्च विसरण दाब से कम विसरण दाब क्षेत्र की ओर होने वाले गमन को विसरण कहते हैं ।

विसरण दाब पदार्थ के अणुओं के समानुपाती तथा घनत्व के वर्गमूल (square root) के प्रतिलोमानुपाती होता है ।

विसरण को प्रभावित करने वाले कारक निम्न है :

(1) **तापक्रम (**Temperature) : गैस के अणुओं की गतिज ऊर्जा में वृद्धि होने से अणुओं की गति बढ़ जाती है । यह गतिडा
ऊर्जा तापमान बढ़ने से विसरण दर बढ़ा देती है ।

(2) **माध्यम की सान्द्रता** (Concetration of medium) : ठोस माध्यम में विसरण पर कम, द्रव माध्यम में तेज व गैस में सबसे तेज होती है । यह हम जानते हैं कि विसरण दर माध्यम की सान्द्रता तथा आपेक्षित घनत्व के व्यत्क्रमानुपाती होता है ।

(3) **घनत्व** (Density) : विसरण पर पदार्थों के आपेक्षित घनत्व के वर्गमूल के व्यत्कमानुपाती होती है । इसलिए ठोस पदार्थों की विसरण दर सबसे कम होती है ।

(4) **माध्यम की पारगम्यता** (Permeability of medium) : माध्यम की अधिक सान्द्रता व घनत्व विसरणकी गति क्रो कम करते हैं ।

बोध प्रश्न-1

1. यदि बाह्य माध्यम .... होगा तभी कोशिका आयतन मे वृद्धि करेगी।

2. परासरण की खोज .... ने की थी।

3. पानी मे रखे अंगूर चीन के घोल मे रखने पर सिकुड़ जाएंगे । पुन : पानी मे डालने पर वे..........................जायेंगे

1.7 परासरण व विसरण में अन्तर

यहाँ पर एक बात स्पष्ट होनी चाहिए कि परासरण (osmosis) व विसरण (diffusion) में कुछ मुख्य अन्तर होते हैं । ये निम्न हैं

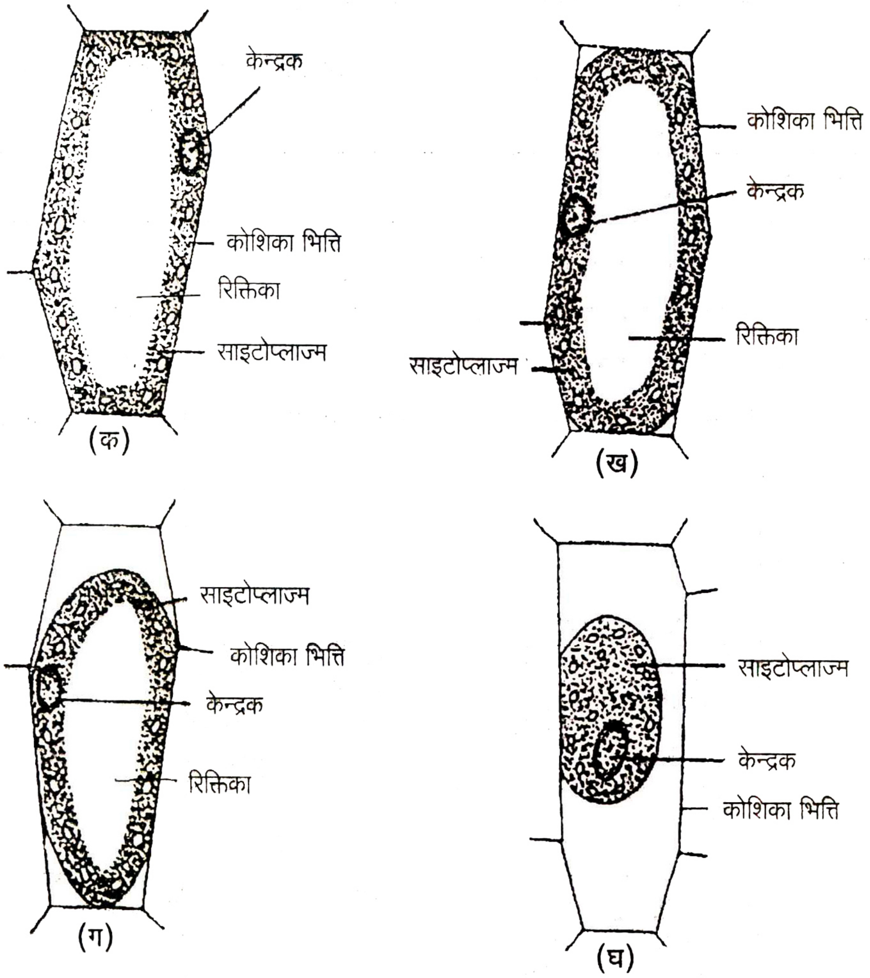
परासरण	**विसरण**
1. परासरण की क्रिया अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा होती है ।	यह क्रिया बिना किसी झिल्ली के होती है ।
2. परासरण की क्रिया हमेशा दो द्रवों (liquids) में ही होती	यह क्रिया ठोस, द्रव या गैस किसी में भी हो सकती है ।
3. दोनों ओर विलायक के अणुओं की सान्द्रता असमान होती	इस 'क्रिया में दोनों विसरित होने वाले पदार्थ सान्द्रता में समान हो सकते हैं!
4. इस क्रिया में पानी के अणु एक घोल से दूसरे घोल में जाते है।	इस क्रिया में दोनों पदार्थों के कण माध्यम के द्वारा विसरित होते है।
5. इसमें केवल विलेयक के अणु कम सान्द्रता वाले विलयन से अधिक सान्द्रता वाले विलयन में जाते हैं ।	इस क्रिया में अणुओं का विसरण अधिक सान्द्रता से कम सान्द्रता की ओर होता है ।
6. जल के अधिक सान्द्रता वाले विलयन में जाने से एक प्रकार का दाब जिसे परासरण दाब कहा जाता है, उत्पन्न होता है ।	पदार्थों के कण विसरित होने से विसरण दाब उत्पन्न करते हैं

1.8 जीव द्रव्य कुंचन

जैसे हमने पहले भी पढ़ा कि विलयन तीन प्रकार के होते हैं, समपरासरी, अल्परासरी व अधिपरासरी ।

जब किसी कोशिका को अधिपरासरी विलयन (hypertonic solution) में रखा जाता है तो बाहय परासरण (exosmosis) की क्रिया होने लगती है । इस कारण कोशिका रस से जल बाहर निकलने लगता है और जीव द्रव्य (protoplasm) सिकुड़ कर कोशिका भित्ति से अलग हो जाता है । अन्त में यही कुंचित जीव द्रव्य गोलाकार हो जाता है । इस क्रिया को जीव द्रव्य कुचन (plasmolysis) कहते हैं । इसकी प्रारम्भिक अवस्था प्रारम्भी जीव द्रव्य कुंचन (incipient plasmolysis) कहलाती है । इसमें कोशिकाद्रव्य का कोशिका के कोणों से सम्बन्ध टूट जाता है।

दूसरी अवस्था में संकुचित जीवद्रव्य एक ओर कोशिका झिल्ली से घिरा हुआ दिखाई देने लगता है। इसे पूर्ण जीवद्रव्य कुंचन (evident plasmolysis) कहते हैं (चित्र 1.10) ।



चित्र 1.10 : क-घ : जीवद्रव्य कुंचन की विभित्र अवस्थाएँ

यदि इस कुंचित कोशिका को जल अथवा अल्प परासरी (hypotonic solution) में रख दिया जाये तो वह पुन : सामान्य हो जाती है । इस अवस्था को जीव द्रव्य विकुंचन (deplasmolysis) कहते हैं जो अन्त: परासरण के कारण होता है ।

जीवद्रव्य कुंचन, एक प्रकार से कोशिकाओ की सुरक्षात्मक प्रणाली है जिससे वे विपरीत परिस्थितियों में अपनी रक्षा करती है ।

1.8.1 जीव द्रव्य कुंचन का महत्व

यह क्रिया कई प्रकार, से कोशा कार्यिकी में महत्वपूर्ण है ।

(i) इस क्रिया से ज्ञात होता है कि कोशिका कला (cyptoplasm) एक अर्धपारगम्य झिल्ली की तरह कार्य करती है

(ii) इसी क्रिया से स्पष्ट होता है कि कोशिका भित्ति पारगम्य है ।

(iii) जीवद्रव्य कुंचन की क्रिया केवल जीवित कोशिकाएँ ही दर्शाती है इसलिए इस क्रिया से जाना जाता है कि कोशिका जीवित है या नहीं । मृत कोशिकाएं यह क्रिया नहीं दर्शाती ।

(iv) इस क्रिया का प्रयोग कोशिकाओं के परासरी दाब को जानने में किया जा सकता है ।

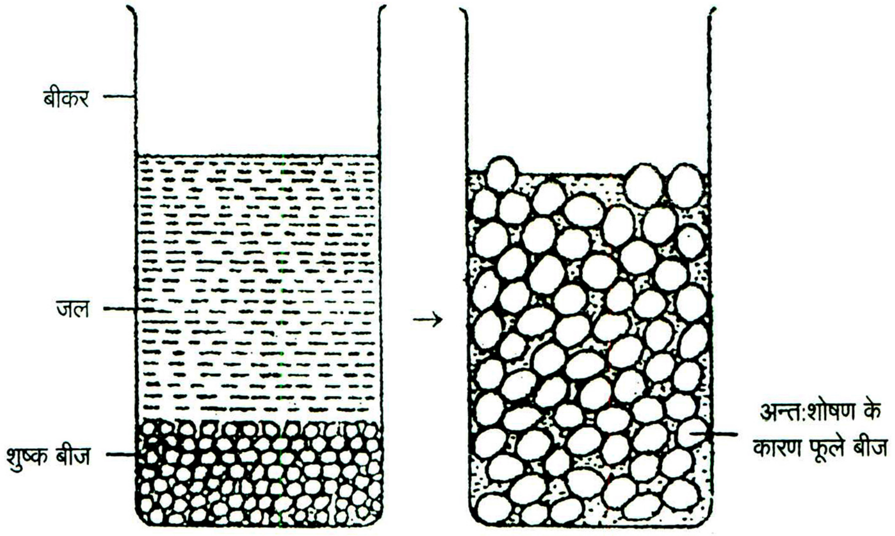
(v) जीवद्रव्य कुंचन कोशिका रस की परासरी सान्द्रता ज्ञात करने में सहायक होता है।

(vi) इस क्रिया का-उपयोग खेतों में खरपतवार नष्ट करने में किया जा सकता है ।

(vii) यह क्रिया पौधों के लिए अत्यावश्यक क्रिया है जिससे वे विपरीत पीरस्थितयो में अपनी सुरक्षा कर पाते है ।

1.9 अन्त:शोषण (Imbibition)

जब किन्हीं पदार्थों के ठोस कण जल का अवशोषण करते हैं तो फूल जाते हैं (चित्र' 1.11) । परन्तु ये कोई घोल नहीं बनाते । इस क्रिया को अन्तःशोषण कहते हैं । वे पदार्थ जो अवशोषण करते हैं अन्तःशोषक (Imbibants) कहलाते हैं । इसके कारण उत्पादन दाब को अंतशोषण दाब कहा जाता है । रस दाब में इतनी शक्ति पैदा हो सकती है भारी से भारी वस्तु भी तोड़ सकती है जैसे चट्टान आदि । इस प्रकार का दाब अंकुरण में भी सहायक होता है । बीज अंकुरित होते समय इसी दाब से मृदा की परतों को चीरते हैं ।



चित्र 1.11 : अन्त:शोषण का प्रदर्शन

अन्त :शोषण की क्रिया कई कारकों से प्रभावित होती है जैसे परासरण दाब, तापक्रम व अन्त : शोषक के कणों का ससंजन (cohesion) । यदि कण बहु त सघन है तो अन्त :शोषण कम होगा और यदि विरल है तो अपेक्षाकृत अधिक । ये कारक निम्न हैं

(i) **तापक्रम** (Temperature) तापमान में वृद्धि से तन्त्र की गतिज ऊर्जा में वृद्धि होती है । अत अन्त :शोषण की दर कई गुना बढ़ जाती है ।

(ii) **दाब** (Pressure) कोलायडी कण उच्च दाब पर भी अन्त :शोषण करते हैं । इसका मुख्य कारण है कि अन्त :शोषण के फलस्वरूप बहु त उच्च दाब उत्पन्न होता है जिसे अन्त शोषण दाब (Imbibition pressure) कहा जाता है ।

(iii) **अन्त:शोषक की प्रकृति** (Nature of Imbibants) सघन संपटन वाले अन्त : शोषक कम जल अन्त शोषित करते हैं । साथ ही अन्त शोषक अणुओं व जल के अणुओं के बीच परस्पर आकर्षक भी आवश्यक होता है । जैसे लकड़ी पानी में डालने पर अन्त शोषण करती है परन्तु लोहा नहीं ।

अन्तःशोषण का महत्व :

1. अंकुरित बीज अन्त: शोषण की क्रिया से जल अवशोषित कर फूल जाते हैं ।
2. वर्षास्थल में दरवाजों व खिड़कियो का फूल जाना अन्त:शोषण का पीरणाम है ।
3. लाइकेन्स (Lichens) तथा माँस (Moss) में जलप्रिय कोलॉइड्स होते हैं जो वातावरण की नमी सोखते हैं तथा प्रतिकूल परस्थितियो में इन पौधो को हरा-भरा रखते है

बोध प्रशन-2

1. बीज पानी मे डालने पर .... की क्रिया के कारण फूल जाते है ।
2. एक कोशिका को यदि जल मे डाल कर छोड़ दिया जाये तो क्या होगा ?
   ....
   ....
3. कोशिका द्रव्य संकुचन मे कोशिका भित्ति व कोशिका द्रव्य के बीच .... पाया जाता है

1.10 सारांश

जीवित कोशिकाओं में विभिन्न क्रियाएँ जलीय माध्यम में होती है । इन कोशिकाओं में अनेक पदार्थ उपस्थित होते हैं जैसे जल, वसा, कार्बोहाइड्रेट्स, प्रोटीन्स व न्यूक्लिक अम्ल आदि । किसी भी जीवित कोशिका में पदार्थों का प्रवेश तथा निष्कासन कोशिका झिल्ली द्वारा होता है जो अर्धपारगम्यहै । इसे चयनात्मकीय अथवा विभेदकयि पारगम्य कहा जाता है । साथ ही पदार्थों के गुए भी पारगम्यता को प्रभावित करते हैं । विभिन्न तापक्रमों पर जल की श्यानता भी बदलती रहती है । ताप में वृद्धि श्यानता में कमी लाती है। पौधों में सभी जैव रासायनिक क्रियाएँ जल की सान्द्रता वाले विलयन किसी अर्धपारगम्य झिल्ली से पृथक किए जाये तो जल के अणुओं का विसरण उच्च से निम्न सान्द्रता की ओर होता है । इस क्रिया को परासरण कहते हैं । इसका विस्तृत अध्ययन 1827 में डयूट्रोशेट ने किया था ।

यदि किसी कोशिका को अधिपरासरी विलयन में कुछ समय के लिए रख दें तो इसका जीवद्रव्य संकुचित होने लगता है । यह एक ऐसी प्रक्रिया है जो पौधो के प्रतिकूल अवस्थाओ में मददगार साबित होती है । इसे जीवद्रव्य कुचन का जाता है ।

1.11 शब्दावली

1. **पृष्ठतनाव (**Surface Tension): वह बल जो जल की सतह पर क्रियाशील होता है, पृष्ठतनाव कहलाता है । शायद जल के इसी गुण के कारण वह पौधों में ऊपर चढ़ता है ।
2. **वाष्पन ऊष्मा** (Heat of Vapourization) ऊर्जा की वह मात्रा जो एक ग्राम द्रव को वाष्प में बदलने के लिए आवश्यक होती है ।
3. **गुप्त ऊष्मा** (Latent heat). वह ऊर्जा जो 1 ग्राम ठोस को उसी तापमान पर द्रव में परिवर्तित करने के लिए आवश्यक होती है
4. **स्फीत दाब** (Turgor pressure) : परासरण क्रिया द्वारा उत्पन्न होने वाला वास्तविक दाब जो परिवर्तनशील हो, स्फीत दाब कहलाता है । इसका अधिकतम मान परासरण दाब के बराबर होता है ।
5. **परासरण विभव** (Osmotic potential) : विलेय की उपस्थिति द्वारा जल की मुक्त ऊर्जा को कम करने वाली मात्रा को परासरण विभव कहते हैं ।

1.12 संदर्भ ग्रन्थ

1. प्रोफेसर पी. सी. त्रिवेदी, डॉ. निरंजन शर्मा, डॉ. आर एस. धनखड - 2००5, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर
2. डॉ. ज्ञानप्रकाश शर्मा, डॉ. एन एस. रनवा - 2005, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, साक्षी पब्लिकेशन्स हाउस, जयपुर
3. डी. वी. सिंह, डी. पी सी. पाण्डे, डॉ. डी के. जैन - 2000, पादप शरीर -क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन , रस्तोगी पब्लिकेशन्स मेरठ
4. एच एस. श्रीवास्तव - 2005 प्लांट फिजियोलॉजी, बायोकैमिस्ट्री एण्ड बायोटैक्मोलॉजी, रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ ।

1.13 बोध प्रश्नों के उत्तर

बोध प्रश्न - 1

(1) अल्पपरासरी (2) नोलेट, 1748

(3) फूल

बोध प्रश्न - 2

(1) अन्त: शोषण (2) कोशिका फूल जायेगी

(3) कोशिकाद्रव्य कुंचन द्रव्य

1.14 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. परासरण को परिभाषित कीजिए व पादप जीवन मे इसके महत्व पर प्रकाश डालिये ।
2. जीवद्रव्य कुंचन क्या है? चित्र सहित समझाएँ ।
3. पादप जीवन में जल का क्या महत्व है? समझाएँ ।

4. विसरण व परासरण मे अन्तर स्पष्ट करें ।
5. विसरण दाब न्यूनता क्या है? समझाएँ ।

इकाई 2 : जल अवशोषण व रसारोहण(Water absorption and Ascent of sap)

इकाई की रूपरेखा

2.0 उद्देश्य

2.1 प्रस्तावना

2.2 जल अवशोषण

2.3 मृदा या भूमि जल

2.4 पौधों द्‌वारा जल अवशोषण करने वाले भाग

2.5 जल अवशोषण की क्रियाविधि

- 2.5.1 सक्रिय जल अवशोषण
- 2.5.2 निष्क्रिय जल अवशोषण
- 2.5.3 सक्रिय व निष्क्रिय जल अवशोषण में अंतर

2.6 जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक

- 2.6.1 बाह्य कारक अथवा पर्यावरण सम्बन्धी कारक
- 2.6.2 आन्तरिक अथवा पादप सम्बन्धी कारक

2.7 रसारोहण अथवा जल परिवहन!

- 2.7.1 रसारोहण के सिद्धान्त
- 2.7.2 रसारोहण प्रभावित करने वाले कारक
- 2.7.3 रसारोहण का मार्ग'

2.8 सारांश

2.9 शब्दावली

2.10 संदर्भ ग्रन्थ

2.11 बोध प्रश्नों के उत्तर

2.12 अभ्यासार्थ प्रश्न

2.0 उद्देश्य

प्रस्तुत इकाई में पढ़ेंगे कि जल का अवशोषण जडें कैसे करती है । पौधों में 1 ग्राम कार्बनिक पदार्थ बनाने के लिए जड़ें लगभग 500 ग्राम जल अवशोषित करती है । साथ ही हम यह भी देखेंगे कि जल मृदा में तरल अवस्था में रहता है और कई प्रकार के बल अवशोषण में सहायक होते हैं । इसके अलावा हम रसारोहण के बारे में भी जानकारी प्राप्त करेंगे।

2.1 प्रस्तावना

जल हमारे जीवन में सबसे महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है । जल में ही जीवन की उत्पत्ति हुई है व हमारा जीवन इस पर पूर्ण रूप से निर्भर है । सभी जैविक क्रियाएँ, चाहे उपापचयी हों अथवा वृद्धि सम्बन्धी, जल पर ही आधारित रहती है । ऐसे ही जल पौधों के जीवन में भी महत्वपूर्ण

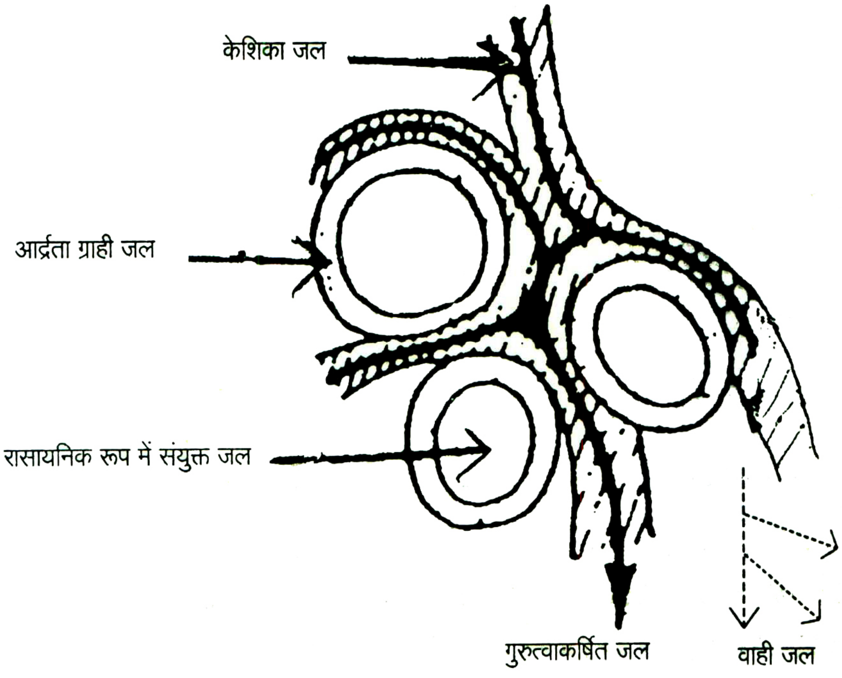
भूमिका रखता है । मृदा जल को संग्रहित रखती है । मृदा जल को मृदा विलयन कहा जाता है । क्योंकि इसमें कई प्रकार के खनिज लवण भी घुले रहते हैं । मूलरोम इस मृदा जल को अवशोषित कर पौधों के विभिन्न भागों तक पहुँचाते हैं । यही जल तने से ऊपर चढ़ता हुआ अन्य भागों तक पहुँचता है । अनेक लक्षणों के घुलने के कारण यह रस (sap) कहलाता है ।

2.2 जल अवशोषण

अब तक हम समझ चुके हैं कि पौधों की वृद्धि व परिवर्धन के लिए जल नितान्त आवश्यक है । सभी उपापचयी क्रियाएँ जल के माध्यम में ही होती है । पौधों की जड़ें मृदा से जल अवशोषित करती हैं तथा ऊपरी सभी भागों तक यही जल पहुँचता है । इस जल में कई प्रकार के लवण भी घुले रहते हैं इसलिए इसे रस (sap) कहा जाता है । जड़ों से लेकर पौधे के शीर्ष भाग तक के रस के परिवहन को 'रसारोहण ' कहते हैं । जल की जो मात्रा पादपों द्वारा अवशोषण के लिए उपलब्ध नहीं होती वह गुरुत्वाकर्षित जल (gravitational water) कहलाती है । जल की वह मात्रा जो मृदा कणों के बीच पादपों को उपलब्ध रहती है, कोशिका जल (capillary water) कहलाती है ।

2.3 मृदा या भूमि जल

भूमि में उपस्थित जल कई प्रकार का होता है । इस जल का मुख्य स्रोत वर्षा है । भूमि में उपस्थित कुल जल की मात्रा होलार्ड (holard) व उसमें से पादपों के अवशोषण के लिए उपलब्ध जल को चेसार्ड (chesard) व अनुपलब्ध जल को एकार्ड (echard) कहा जाता है । भूमि में उपस्थित कुल जल को उस भूमि की क्षेत्र क्षमता कहते हैं । मृदा में पाये जाने वाले जल मुख्यत : पाँच प्रकार के होते हैं (चित्र 2.0) ।



चित्र 2.0 : मृदा जल के प्रकार

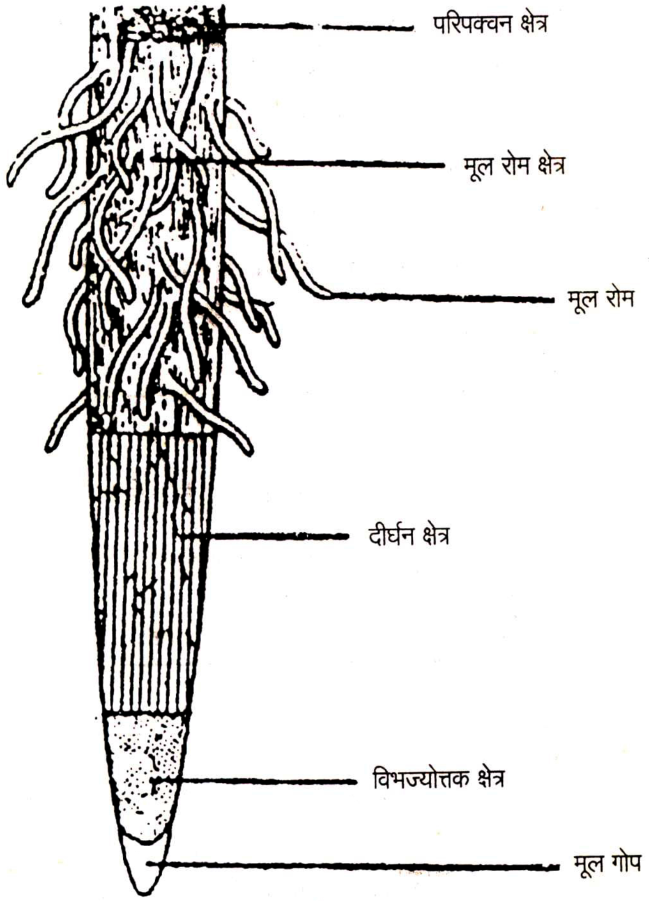
1. गुरुत्वाकर्षित जल (Gravitational water)
2. केशिका जल (capillary water)
3. आर्द्रताग्राही जल (Hygroscopic water)
4. रासायनिक रूप में संयुक्त जल (Chemically combined water)
5. वाही जल अथवा भगोड़ा जल (run away water)

इन सभी में से सिर्फ केशिका जल ही पादपों द्वारा अवशोषित किया जा सकता है ।

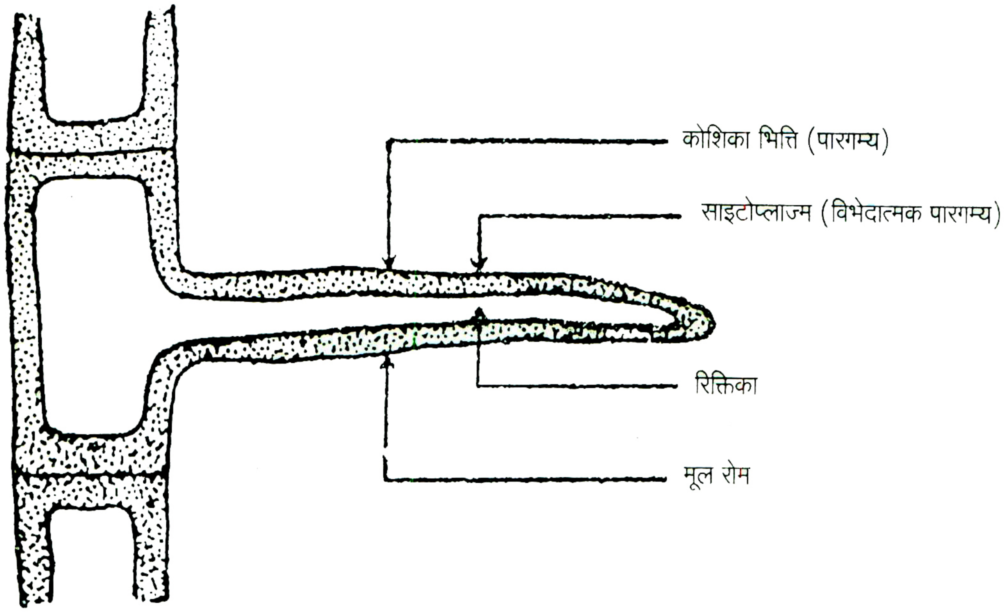
2.4 पौधों द्वारा जल अवशोषण करने वाले भाग

यह बात हम सभी जानते हैं कि पौधे मुख्य रूप से जड़ों द्वारा ही जल अवशोषित करते हैं । यही कारण है कि उन्हें पादप (जो ग्रहण करे) नाम दिया गया है । जड़ों का जो अंग भाग (मूलाग्र) होता है उसमें चार प्रमुख अंग होते हैं (चित्र 2.1 क,ख) ।

(i) मूल गोप (Root cap)
(ii) केशिका विभाजन का क्षेत्र (Meristematic zone)
(iii) दैर्ध्य वृद्धि का क्षेत्र (elongation zone) एव
(iv) अवकलन का क्षेत्र (differentiation zone)



चित्र 2.1 : (क) मूल शीर्ष



चित्र 2.1 : (ख) मूल रोम

इन तीनों क्षेत्रों में से मुख्यत ' अवकलन भाग जल अवशोषित करता है । यह मूलरोम भाग भी होता है । मूल रोम असल में असंख्य अशाखित, धागेनुमा, एक कोशिकीय व बहुत पतली कोशिका भित्ति वाली संरचनाएँ होती है । साथ ही इनकी कोशिका झिल्ली अर्ध पारगम्य होती है व कोशिका में एक बड़ी रिक्तिका (vacuole) होती है जो कोशिका रस (cell sap) से भरी रहती है व जल अवशोषण को नियन्त्रित करती है । अलग -अलग पौधों में विशिष्ट अंग जल अवशोषण करते हैं । जैसे जलोदभिद् पौधों में विभिन्न अंगों की सतही कोशिकाएँ जल अवशोषण का कार्य करती है । इसी प्रकार कोचिया के पौधे वायुमण्डल से जल अवशोषित करते हैं । कुछ अन्य पौधे जैसे _ लाइकोपार्सिकाम, फेसिओलस आदि अपनी पत्तियों का उपयोग फल अवशोषण के लिए करते हैं । लिवरवर्ट्स तथा माँस अपने एककोशिकीय या बहुकोशिकीय मूलाभासों से जल अवशोषित करते हैं । अन्य पादपवर्ग जैसे ' टेरिडोफाइटा, जिप्नोस्पर्म व एन्जिओस्पर्म में मूलरोमों द्वारा कोशिका जल का अवशोषण होता है । शैवाल व कवकों में जल अवशोषण के लिए कोई विशेष अंग नहीं होता ।

बोध प्रश्न

1. शुष्क रेजिन को जल मे डालने से यह .... के कारण फूल जाते है।
2. मूलरोमो द्वारा .... जल का अवशोषण होता है ।
3. .... की क्रिया मृत कोशिकाओं में भी होती है ।

2.5 जल अवशोषण की क्रियाविधि

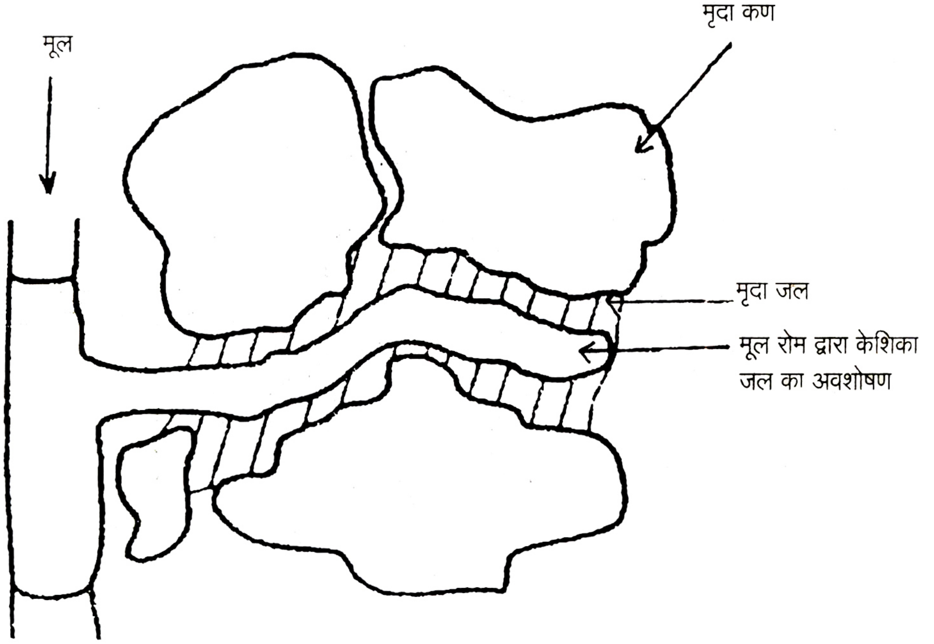
पौधों में जल अवशोषण मुख्यतया ' दो विधियों से होता है जो एक दूसरे से स्वतन्त्र रूप से कार्य करती है (क्रेमर, 1949) । ये दोनों विधियाँ सक्रिय व निष्क्रिय विधियाँ कहलाती है तथा ये एक दूसरे पर निर्भर नहीं करती । जल का अवशोषण जड़ों द्वारा होता है । इस तन्त्र में कोशिका

झिल्ली अर्धपारगम्य झिल्ली की तरह कार्य करती है व कोशिका रस अधिक सान्द्रता वाले विलयन व मृदाजल कम् सान्द्रता वाले विलयन की तरह कार्य करते हैं । इस तरह जल का अवशोषण मूलरोमों द्वारा होता रहता है (चित्र 2.2) ।

पदपों में जल अवशोषण की मुख्य विधियाँ निम्न है :

1. सक्रिय अवशोषण , तथा 2. निष्क्रिय अवशोषण

यहाँ सक्रिय जल अवशोषण में श्वसन ऊर्जा की आवश्यकता होती है तथा इसके लिए आवश्यक बल मूल में उत्पन्न होते हैं । इसके स्थान पर निष्क्रिय जल अवशोषण के लिए प्रयुक्त बल प्ररोह में उत्पन्न होते हैं तथा इसमें किसी प्रकार की ऊर्जा का प्रयोग नही होता ।



चित्र 2.2 : मूल रोम द्वारा जल अवशोषण

2.5.1 सक्रिय जल अवशोषण (Active water absorption)

इस प्रकार के अवशोषण में जल की मात्रा कम अवशोषित होती है । जिन पौधों में वाष्पोत्सर्जन कम होता है व मृदा में भरपूर नमी होती है । उनमें इस प्रकार का अवशोषण होता है (रेनर, 1915) । सक्रिय अवशोषण की क्रिया को वैज्ञानिकों ने तीन प्रकार से समझाया है :

(i) परासरणी (Osmotic)

(ii) वैधुत परासरणी (Electro osmotic)

(iii) अपरासरणी (Non-osmotic)

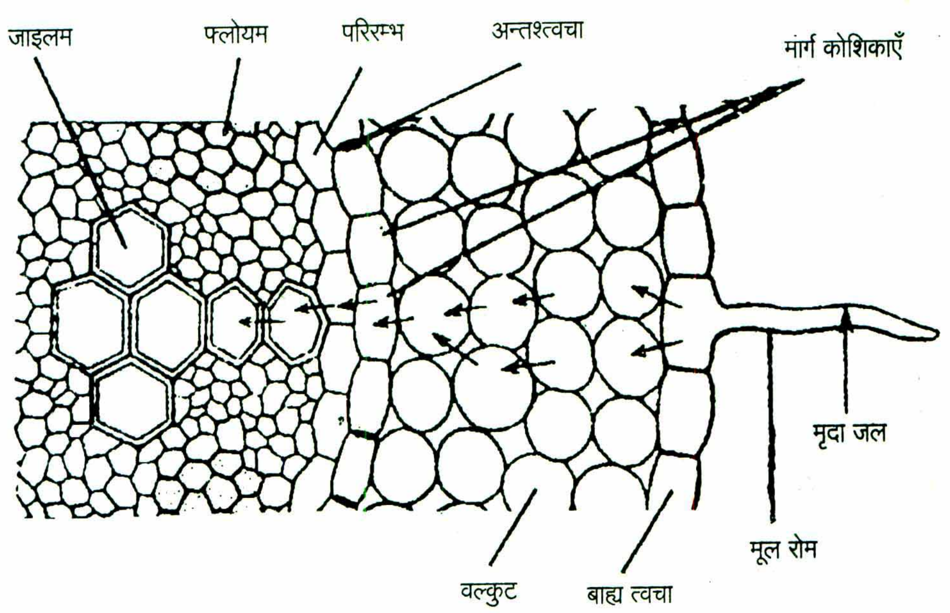
(1) **परासरणी सक्रिय अवशोषण** : परासरणी सक्रिय अवशोषण की व्याख्या करने वाले मुख्य वैज्ञानिक एटकिन्स, प्रीस्टले डयूट्रोचट, अरस्प्रिंग तथा ब्लम थे । इनके अनुसार पौधों में जल अवशोषण सामान्य परासरण तन्त्र जैसे ही होता है । सामान्यत : मृदा जल का परासरण दाब लगभग 1 atm तथा कोशिका रस का 2-8 atm तक होता है । इस अन्तर के कारण जल

कोशिका भित्ति, प्लाज्मा झिल्ली से होता हुआ कोशिका द्रव्य में पहुँच जाता है । इस विधि में ऊर्जा का उपयोग नही होता है । इस प्रकार से जल कोशिका से कोशिका तक गति करते हुये अन्तत : जाइलम कोशिकाओं तक पहुँच जाता है (चित्र 2.3) ।

आक्षेप (Objections) : ऊपर बताये गये परासरणी तन्त्र द्वारा जल अवशोषण के बारे में कुछ बातें अभी तक स्पष्टतया समझाई नहीं जा सकी हैं जैसे -

(i) जल कार्टेक्स की कोशिकाओं से होता हुआ जाइलम कोशिकाओं तक कैसे पहुँचता है । जाइलम की कोशिकाएँ तो मृत होती हैं, व इनमें कोशिका झिल्ली भी नहीं होती । साथ ही इनमें पाये जाने वाले विलयन में परासरण अब कर्टिक्स कोशिकाओं से कम होता है । इस स्थिति में जल वल्कुट (कर्टिक्स) कोशिकाओं से जाइलम कोशिकाओं तक नहीं जाना चाहिए ।

(ii) इस क्रिया में ऊर्जा का उपयोग नहीं होता है परन्तु वल्कुट व जाइलम कोशिकाओं में विलेय (solvent) की सान्द्रता बनाये रखने में ऊर्जा का प्रयोग तो होता ही है ।



चित्र 2.3 : मूल रोम से ज़ाइलम तक जल का मार्ग

परासरण अवशोषण के प्रमाण : क्रेमर (kramer) ने टमाटर के ठूंठ मूल भाग को जल से शर्करा के घोल में स्थानान्तरित किया तो जलस्राव रुक गया । पुन : कुछ ही समय में यह भाग जल अवशोषण करने लगा । मूल को दोबारा जल में रखने पर ठूंठ से स्राव आरम्भ हो गया ।

2. **वैधुत परासरणी अक्रिय अवशोषण :** केलर (Keller, 1930) के मतानुसार जाइलम भित्ति जब जल के सम्पर्क में आती है तब ऋण- आवेशित हो जाती है । इसके फलस्वरूप जल सहज रूप से ही इसकी ओर गति करने लगता है । दूसरी ओर एक अन्य वैज्ञानिक के मतानुसार (फेनसन, 1958) मृदा जल व जाइलम अवकाशिका (lumen) के बीच कोशिका भित्ति पर एक प्रकार से जैव -विद्युत विभव बनने के कारण जल जाइलम की ओर गति करता है ।

3. **अपरासरणीय सक्रिय जल अवशोषण :** इसके अनुसार पादपों में जल अवशोषण के समय ऊर्जा का प्रयोग होता है फिर भी इसे सक्रिय प्रकार का मानते हैं । बेनट क्लार्क, थीमैन, क्रेमर

आदि के अनुसार जल अवशोषण इसी विधि द्वारा होता है तथा सान्द्रता प्रवणता के विपरीत यह क्रिया होती है । लेकिन अब तक इसका कोई निशचित प्रमाण नहीं दिया जा सका है । इसके पक्ष में निम्न तथ्य दिये गये हैं

(i) ऑक्सीजन रहित भूमिजल की दशा जैसे बाढ़ या जलाक्रान्त मृदाओं में पौधों की जड़ें तो मुरझा जाती है व अवशोषण नहीं होता है ।

(ii) श्वसन को अवरुद्ध करके वाले रसायन जैसे पोटेशियम साइनाइड का प्रयोग करने पर जल अवशोषण कम हो जाता है । अत : माना जा सकता है कि जल अवशोषण व श्वसन में सम्बन्ध अवश्य है ।

(iii) जल अवशोषण केवल जीवित कोशिकाओं में ही पाया जाता है ।

(iv) ऑक्सिन आदि का प्रयोग करने पर श्वसन दर बढ़ती है तथा अवशोषण को क्रिया भी तीव्र हो जाती है ।

उपरोक्त प्रमाणों से स्पष्ट होता है कि जल अवशोषण व श्वसन दर में परस्पर सम्बन्ध तों निश्चित है । हो सकता है यह ऊर्जा प्रत्यक्ष न होकर परोक्ष रूप से जल अवशोषण में सहायक होती है । किन्तु इस क्रिया विधि की कमी यही है कि जल अवशोषण की गति बहुत कम रहती है।

2.5.2 निष्क्रिय जल अवशोषण :

जल के निष्क्रिय अवशोषण में वाष्पोत्सर्जन (transpiration) की मुख्य भूमिका रहती है । इस समय जड़ की कोशिकाएँ निष्क्रिय रहती है । तथा वाष्पोत्सजर्न द्वारा जल वाष्प पत्तियों में से बाहर निकल जाती है । इस कारण उनकी कोशिकाओं का आयतन कम हो जाता है, आशुन दाब (turgor pressure) कम होकर उनका विसरण दाब न्यूनता (DPD) बढ़ जाता है । इसके फलस्वरूप कोशिकाएँ जायलम कोशिकाओं का जल खींच लेती है । जाइलम की कोशिकाओं में मृदूतक स्थूलन होने से जल हानि के बाद भी वे सक्रिय रहती है । तीव्र वाष्पोत्सर्जन के समय इन्हीं जाइलम कोशिकाओं में एक प्रकार का तनाव पैदा होता है तथा तभी कम होता है जब जाइलम कोशिकाएँ मूलरोमों द्वारा जल अवशोषित करें । भूमि जल व जड़ों के जाइलम के DPD मे अन्तर से जल जड़ों की ओर गमन करता है । इस प्रकार परासरणीय बल प्रयोग के बिना ही जल निष्क्रिय रूप से अवशोषित हो जाता है ।

इस प्रकार के अवशोषण कीं क्रियाविधि को कई वैज्ञानिकों का समर्थन प्राप्त है । साथ ही इसके निम्न प्रमाण भी दिये जा सकते हैं.

(i) यह जल अवशोषण की एक नियन्त्रित क्रियाविधि है जिसमें अवशोषण की गति सीधे वाष्पोत्सर्जन पर निर्भर है ।

(ii) परासरण प्रवणता के विपरीत कोशिकाओं का अवशोषण आसानी से समझाया जा सकता है ।

(iii) जल अवशोषण की गति वाष्पोत्सर्जन की गति के समान होती है ।

(iv) इस क्रिया में ऊर्जा का प्रयोग नहीं होता । इसे एक सामान्य भौतिक क्रिया कहा जा सकता है।

(v) वाष्पोत्सर्जन की तेज गति के समय, पादपों में कटे तने के छ में जल अवशोषण की क्षमता बनी रहती है ।

(vi) जल की गति कोशिका भित्तियों को पार करते समय परासरण विधि से अधिक होती है तथा कही अधिक जल अवशोषित होता है ।

2.5.3 सक्रिय व निष्क्रिय जल अवशोषण में अन्तर

क्र. स.	सक्रिय जल अवशोषण	निष्क्रिय जल अवशोषण
1.	जड़ों व मूलरोमों की क्रियाशीलता के कारण जल का अवशोषण होता है ।	पौधों के ऊपरी वायवीय भागों जैसे पत्ती आदि की क्रियाशीलता के कारण जल अवशोषण होता है ।
2.	जल का अवशोषण दोनों, परासरण अथवा अपरासरण क्रियाओं से होता है ।	जल का अवशोषण वायवीय भागों में वाष्पोत्सर्जन क्रिया से होता है ।
3.	मूल रोमों में विसरण दाब न्यूनता (DPD) मृदा जल से अधिक होता है ।	जाइलम रस में वाष्पोत्सर्जन तनाव पैदा होने के कारण मृदा जल अवशोषित होता है ।
4.	जल अवशोषण में कोशिका रस (cell sap) भाग लेता है ।	कोशिका रस का इस क्रिया से सम्बन्ध नहीं होता । प्रोटाप्लास्ट के जीवित, अजीवित भागों के अलावा कोशिका भित्ति सहित सभी भाग लेते हैं ।
5.	जल अवशोषण में श्वसन ऊर्जा का प्रयोग होता है ।	इस क्रिया में श्वसन ऊर्जा का प्रयोग नहीं होता है ।
6.	इस कारण जड़ों में मूलदाब (root pressure) उत्पन्न होता है ।	इस क्रिया में मूलदाब उत्पन्न नहीं होता है ।
7.	अधिकतर यह प्रात काल अथवा रात्रि को पाया जाता है तथा दिन में नहीं ।	यह क्रिया प्रात काल व रात्रि के समय कम व दोपहर के समय अधिकतम होती है।
8.	उपापचयी निरोधक इसे प्रभावित करते हैं ।	उपापचयी निरोधक इसे खास प्रभावित नहीं करते हैं ।
9.	इसमें उपापचयी ऊर्जा उपयोग में आती है ।	इसमें निकिरण ऊर्जा का उपयोग होता है ।
10.	पौधों की कुल जल आवश्यकता की 4% पूर्ति यह क्रिया करती है ।	पौधों की अधिकतम जल आवश्यकता की पूर्ति इस क्रिया से होती है ।

2.6 जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक

जल अवशोषण को कई कारक प्रभावित करते हैं । इन सभी कारकों को दो मुख्य भागों में बाँटा जा सकता है :

(i) बाह्य कारक अथवा पर्यावरण सम्बन्धी कारक

(ii) पादप सम्बन्धी अथवा आन्तरिक कारक

2.6.1 बाह्य कारक अथवा पर्यावरण सम्बन्धी कारक

1. **उपलब्ध मृदा जल** (Available soil water) : जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि भूमि में कई प्रकार के जल पाये जाते हैं जिनमें सिर्फ केशिका जल (capillary water) ही अवशोषण के लिए उपगध होता है ।
2. **मृदा जल की सान्द्रता** (Concentration of soil solution) : मृदा जल में कई प्रकार के खनिज लवण व तत्व घुले रहते हैं । इसलिए इसे मृदा विलयन कहते हैं । ऐसी अवस्था में मूल जल अवशोषित नहीं कर सकती । जल का अवशोषण तभी हो सकता है जब मृदा जल अल्पपरासरी विलयन की तरह हो ।
3. **मृदा -वायु (Soil air**) : भूमि में पर्याप्त वायु की उपस्थिति जल के सुचारू अवशोषण के लिए आवश्यक है । वायु में ऑक्सीजन की कमी अथवा कार्बन डाई ऑक्साइड की अधिकता से यह क्रिया मंद पड़ जाती है । शायद यही कारण है कि बाढ़ के कारण पौधे सड़ जाते हैं । कुछ ही पौधे जैसे टाइफा, ओराइजा आदि ऐसे वातावरण में उग पाते हैं ।
4. **भूमि का तापक्रम** (soil temperature) : जल अवशोषण के लिए सामान्यत : 20^o C से 30^o C तक तापमान उपयुक्त समझा जाता है । इससे कम तापक्रम पर अवशोषण काफी मंद पड़ जाता है । साथ इससे उच्च ताप पर वाष्पोत्सर्जन की गति मंद पड़ जाती है । इसी प्रकार हिमकारी ताप पर अवशोषण गति, शून्य हो जाती है । बहुत उच्च तापक्रम तो कोशिकाओं को ही नष्ट कर डालता है ।

2.6.2 आंतरिक अथवा पादप सम्बन्धी कारक (Internal Factors)

1. **वाष्पोत्सर्जन :** जलावशोषण व वाष्पोत्सर्जन की गति का सीधा सम्बन्ध होता है । वाष्पोत्सर्जन की तीव्र गति के समय जड़ें भी तेजी के मृदा जल अवशोषित करने लगती है ।
2. **मूल तंत्र का विस्तार :** मृदा जल का अवशोषण मूल की शाखाओं की लम्बाई और मूलरोम क्षेत्र पर निर्भर होता है । प्रभावी जल अवशोषण के लिए मूल रोम अधिक संख्या में होने आवश्यक है ।
3. **संवहन तन्त्र का प्रतिरोध** : जल अवशोषण के मार्ग में यदि कोई प्रतिरोध होगा तो जल अवशोषण अवश्य प्रभावित होगा । यह कोशिका भित्ति की पारगम्यता, जीवद्रव्य की उपापचयी अवस्था तथा जाइलम वाहिकाओं की उपस्थिति व व्यास पर निर्भर है ।
4. **मूलतन्त्र को गहराई :** ऐसा देखा गया है कि मूलतन्त्र अधिक गहरा होने पर जल अवशोषण की गति कम हो जाती है । शायद यह मृदा की निचली परतों में ऑक्सीजन की कमी के कारण होता है ।
5. **उपापचय** : जल अवशोषण की किया जीवित कोशिकाएँ ही कर सकती है इसलिए उपापचय की क्रिया का इस पर सीधा प्रभाव पड़ता है । जो पदार्थ श्वसन की क्रिया को मद करते हैं, जैसे - KCN वे जल के अवशोषण को भी कम करते हैं।

बोध प्रश्न-2

1. जल अवशोषण की सर्वाधिक दर सक्रिय अवशोषण में होती है । सत्य / असत्य
2. मृदा में उपस्थित सम्पूर्ण जल होलार्ड कहलाता है । सत्य / असत्य
3. यदि बाहरी माध्यम हाइपोटोनिक हो तो कोशिका आयतन में बढ़ जायेगी । सत्य / असत्य

2.7 रसारोहण अथवा जल परिवहन

अब तक हम यह अच्छी तरह समझ चुके हैं कि मृदा में से मूलरोम जल का अवशोषण करते हैं । इसके बाद यही जल पौधों में ऊपरी भागों में जैसे तने, पत्तियों आदि तक जिस क्रिया से पहुँचता है, उसे रसारोहण कहते हैं । कुछ पेड जो बहुत अधिक लम्बे होते हैं जैसे यूकेलिप्टस आदि उनमें यह प्रक्रिया तनिक मुश्किल से समझ आती है क्योंकि गुरुत्वाकर्षण शक्ति के विरुद्ध जल इतनी ऊपर तक कैसे परिवहित होता है कहना कठिन है ।

2.7.1 रसारोहण के सिद्धान्त

रसारोहण जैसी जटिल प्रक्रिया समझाने के लिए वैज्ञानिकों ने कुछ मुख्य सिद्धान्त किये हैं जो निम्न है :

(i) जैव सिद्धान्त (Vital theory)

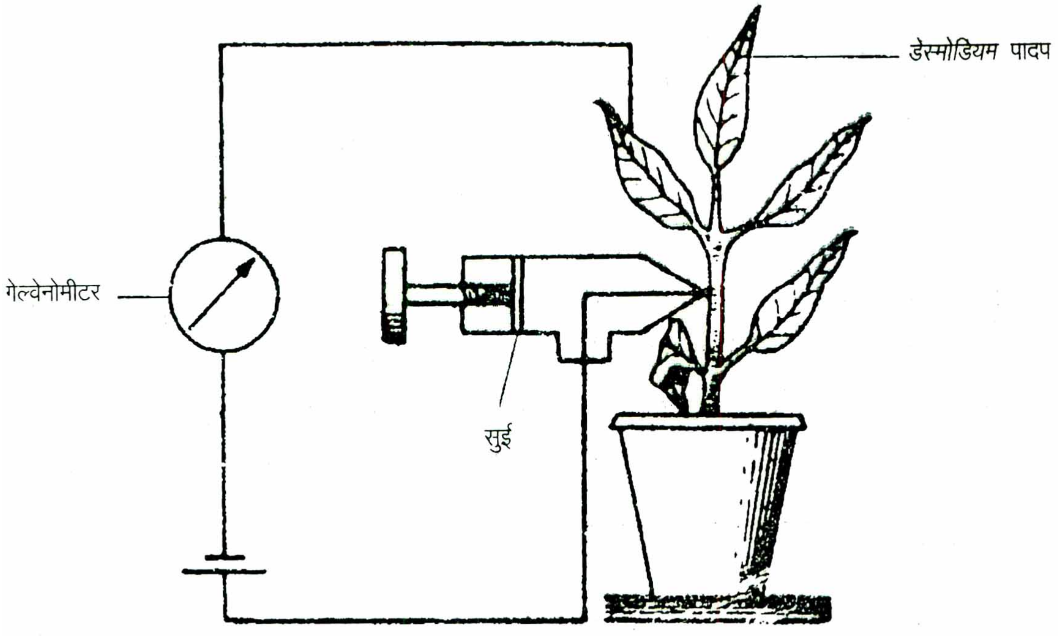
(ii) भौतिक सिद्धान्त (Physical theory), तथा

(iii) मूल दाब सिद्धान्त (Root pressure theory)

(i) **जैव रसायन** : इसके अनुसार रसारोहण के लिए जीवित कोशिकाओं का होना आवश्यक है। इस सिद्धांत का प्रतिपादन करने वाले मुख्य वैज्ञानिक है - गॉडलेव्स्की, वेस्टरमायर, बोस और मौलिश ।

गॉडलेव्स्की ने चढ़ाव वाद अथवा रिले पम्प सिद्धान्त दिया और बताया कि जायलम पेरेन्क्रायमा की जीवित कोशिकाओं में अनुवर्तनी परिवर्तन के कारण रसारोहण होता है ।

सर जे सी. बोस ने 1923 में स्पन्दन क्रियावाद का सिद्धान्त दिया । उन्होंने इलेक्ट्रिक प्रोब उपकरण की सहायता से देखा कि अंतत्वचा के पास पाई जाने वाली कर्टिक्स कोशिकाओं में स्पन्दन की क्रिया होती रहती है । यही क्रिया जल को एक कोशिका से दूसरी कोशिका में चढ़ाती जाती है (चित्र 2.4) ।



चित्र 2.4 : सर जे सी. बोस का संपदन प्रयोग

इनके अलावा समय -समय पर दूसरे अनेक जैविक सिद्धान्त दिए गए लेकिन उन्हें निरस्त कर दिया गया क्योंकि कुछ विष जैसे पिक्रिक अम्ल और कार्बोलिक अम्ल भी जायलम द्वारा स्थानान्तरित किए जा सकते हैं । यह जैविक सिद्धान्त के मूलभूत विचार के ही विरुद्ध है । इस सिद्धान्त को बाद में वनस्पति शास्त्रियों ने अस्वीकृत कर दिया ।.

(ii) **भौतिक सिद्धान्त :** इस सिद्धान्त के अनुसार रसारोहण में जायलम की मृत कोशिकाएँ भाग लेती हैं । कई वैज्ञानिकों ने इसके लिए अपने वाद प्रस्तुत किए जो निम्न हैं :

(1) **अंत:शोषण अथवा अंत:चूषण वाद :** इसके अनुसार जायलम की कोशिका भित्ति के अंत :शोषण की क्रिया के द्वारा रसारोहण होता है । लेकिन बाद में वलयकरण प्रयोगों से प्रमाणित हु आ कि जल का आरोहण जलवाहिकाओ की गुहा द्वारा होता है । इस वाद को इसलिए कोई मान्यता नही मिली ।

(2) **केशिकत्व वाद :** हमें पता है कि रसारोहण जायलम की गुहा द्वारा होता है इसलिए बोहम के अनुसार जायलम वाहिनियों केशिकाओं की तरह कार्य करती है तथा रसारोहण केशिका बल से होता है ।

इस मत को भी अधिक मान्यता नहीं मिली क्योंकि केशिका बल द्वारा जल लम्बे वृक्षों में रसारोहण की क्रिया नहीं कर सकता । साथ ही वाहिनियाँ जो वाहिनिकाओं से चौड़ी होती हैं अधिक सफलतापूर्वक जल संवहन कर पाती हैं । यह तथ्य भी केशिकत्व सिद्धान्त के प्रतिकूल है ।

(3) **वायुमण्डलीय दाव सिद्धान्त :** ऐसा माना गया कि वाष्पोत्सर्जन के कारण जायलम कोशिकाओं में दबाव कम हो जाता है और पौधों में एक निर्वात (vacuum) उत्पन्न हो जाता है और जल वायुमण्डलीय दाब के कारण ऊपर चढ़ जाता है । इस मत को भी मान्यता नहीं मिली । इसकी प्रमुख आपत्तियाँ निम्न है ।

(क) पौधों के निचले सिरों पर खुली सतह होनी चाहिए जिससे वायुमण्डलीय दाब प्रभावित हो सके परन्तु ऐसा नहीं पाया जाता ।

(ख) दाब के कारण पौधों में पानी केवल 34 फीट तक ही चढ़ सकता है उससे अधिक नहीं ।

(4) **वाष्पोत्सर्जन खिंचाव तथा जल संसजनवाद अथवा संलाग तनाव वाद :** इस वाद को डिक्सन तथा जॉली ने दिया । यह सिद्धान्त निम्न तथ्यों पर आधारित हैं ।

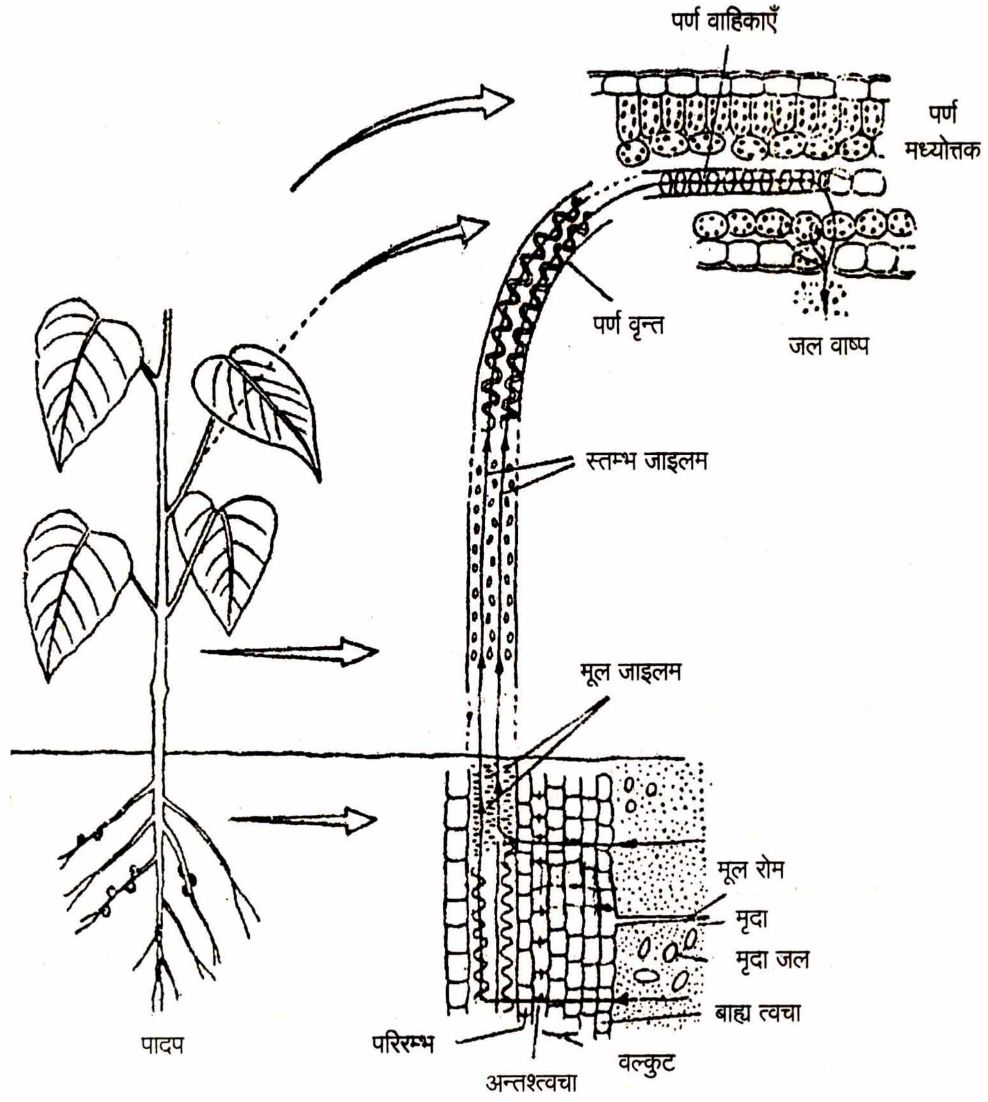
(क) जल के अणुओं में साथ रहने के लिए एक सलागी बल होता है ।

(ख) जल का संसजन और आसंजन गुण जड़ से पत्ति तक एक सतत् स्तंभ बनाता है । यह स्तंभ जायलम कोशिकाओं में बनता है ।

(ग) वाष्पोत्सर्जन के कारण एक तनाव का निर्माण होता है को इस स्तंभ को प्रभावित करता है ।

(घ) वाष्पोत्सर्जन खिंचाव के कारण जल स्तंभ का ऊपर उठते रहना आवश्यक है जो संलाग दाब (cohesive force) के कारण होता है तथा जल को काफी ऊँचाई तक चढ़ा देता है।

पत्तियों में वाष्पोत्सर्जन के कारण जल वाष्प मध्योतक कोशिकाओं (mesophyll cells) में अन्तर कोशिकीय अवकाशों (Intercellular spaces) में पहुॅंच जाती है । बाद में रन्ध्रों (stomata) के द्वारा वायुमण्डल में मिल जाती है । इस कारण परासरणीय दाब (O.P) तथा डी. पी. डी. (DPD) बढ़ जाता है और मध्योतक कोशिकाएँ आस -पास की कोशिकाओं से जल खींचने लगती है और अंतत : जायलम कोशिकाओं में भी डी. पी. डी. बढ़ने लगता है क्योंकि जायलम में सतत् जल स्तंभ उपस्थित है अत : यही तनाव जल स्तंभ को ऊपर की ओर खींच लेता है और रसारोहण की क्रिया होती रहती है (चित्र 2.5) ।



चित्र 2.5 : वाष्पोत्सर्जन घर्षण द्वारा रसारोहण

डिक्सन तथा जॉली वाद के सम्बन्ध में प्रमाण निम्न है :

(क) यह एक भौतिक क्रिया है जिसमें किसी प्रकार की ऊर्जा का उपयोग नहीं होता है ।

(ख) पत्तियों की मध्योतक कोशिकाओं में परासरण दाब 20 atm, तक होता है जो रेसारोहण क्रिया के लिए पर्याप्त है ।

(ग) जायलम रस में तनाव शक्ति 25 -300 atm. तक होता है औरे यह जल के सतत् स्तंभ को बनाए रखने के लिए पर्याप्त होता है ।

(घ) क्रेमर ने पौधों के तनों का व्यास नापा और पाया कि वाष्पोत्सर्जन गति तीव्र होने पर व्यास जल स्तभ में तनाव के कारण कम हो जाता है ।

(ङ) एक छिद्र युक्त पात्र को एक पतली नली से जोड़कर यदि उसमें पानी भर दें और इसे उलट कर मैली को दूसरा सिरा पारे से भरे पात्र में डुबो दीं तो इसकी स्थिति वाष्पोत्सर्जन प्रदर्शित करते हुए पौधे के प्रयोग जैसी हो जायेगी । इस प्रयोग से पता चलता है कि वाष्पीकरण में

जल सैलानी बल के कारण ऊपर तक चढ़ जाता है । यहं प्रयोग डिक्शन और जॉली वाद का समर्थन करता है ।

(च) स्कॉलैन्डर ने प्रदर्शित किया कि खिंचाव की स्थिति में रसारोहण सफलतापूर्वक होता है ।

सारणी 1.0 : जल के प्रमुख स्थिरांक

क्र.सं.	भौतिक लक्षण	स्थिरांक
1.	अणु भार	16
2.	घनत्व	0.999 ($0C^{o}$ पर)
3.	क्वथनाक बिन्दु	.(ग्राम प्रति धन से.मी.) 100^{o} C
4.	गलनाक बिन्दु	0^{o} C
5.	गुप्त ऊष्मा	80.0 (Call)
6.	वाष्पन ऊष्मा	590 (Cal.)
7.	पृष्ठीय तनाव	72 (20^{o} C)

डिक्सन और जॉली वाद पर कुछ आपत्तियाँ की गई जिनके अनुसार जायलम में अनेक स्थानो पर हवा के बुलबुले पाए जाते हैं और यही जल स्तभ की सतति को तोड़ते हैं जबकि सतत् जल स्तंभ की उपस्थिति तो आवश्यक है । इसके अलावा वाहिनियों की अपेक्षा वाहिनिकाएँ जल संवहन के लिए अधिक सक्षम हैं । यदि ऐसा है 'तो विकसित पौधों में वाहिकाओं की प्रमुखता क्यों हैं?

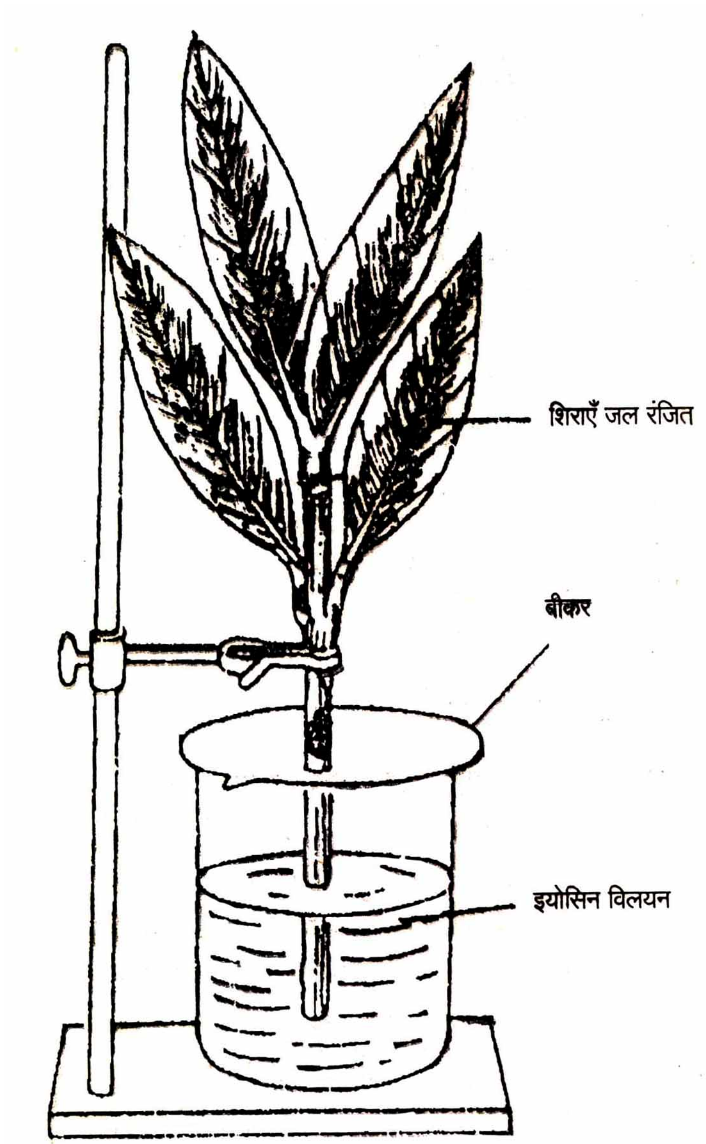
2.7.2 रसारोहण प्रभावित करने वाले कारक

रसारोहण की क्रिया मूलत : मूलदाब और वाष्पोत्सर्जन से नियंत्रित होती है.। ऐसे सभी कारक को जलावशोषण और वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करते हैं रसारोहण के लिए भी प्रभावी है । जैसे ' भूमिजल, रन्ध्रों (stomata) का खुलना एव बंद होना, तापमान आर्द्रता, वायुमण्डलीय दाब एव वायु की गति आदि ।

2.7.3 रसारोहण का मार्ग

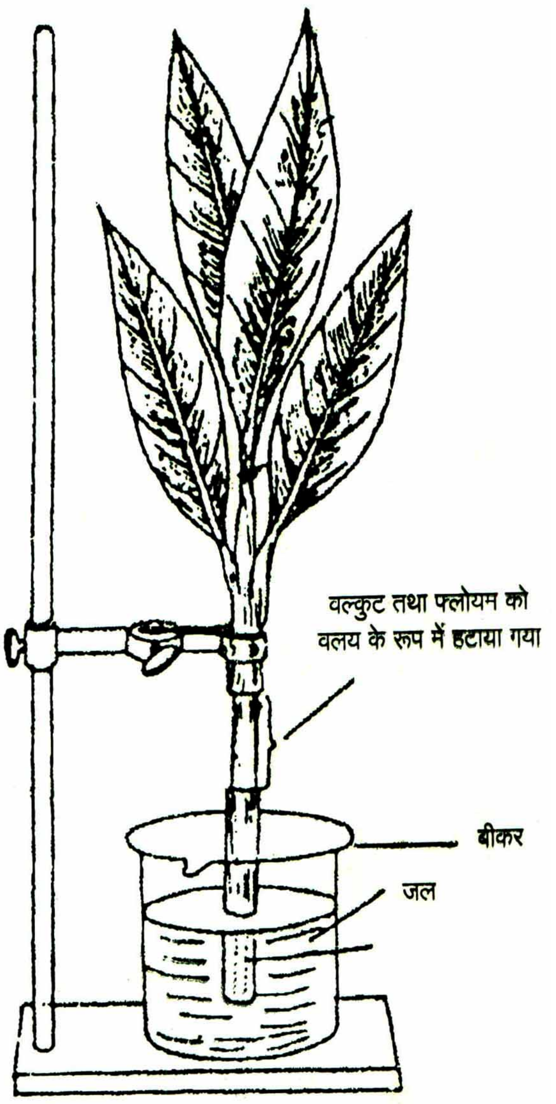
अब तक यह प्रमाणित किया जा चुका है कि पौधों में रसारोहण की क्रिया जायलम कोशिकाओं द्वारा होती है । यह बात निम्न प्रयोगों द्वारा आसानी के साथ सत्यापित की या सकती है,

(क) **ईओसिन प्रयोम द्वारा :** इसमें एक वाक्सम का पौधा लिया जाता है जिसके सफेद पुष्प होते हैं । पौधे को तने से काटकर ईओमिन से भरे बीकर मैं रख दिया जाता है । कुछ समय बाद सफेद पुष्पों के दलपत्र लाल रंग के दिखाई देने लगते हैं । तने की अनुप्रस्थ काट देखने पर विदित होता है कि केवल जायलम ऊतक ही लाल रंग का होता है अन्य नहीं (चित्र 2.6) ।



चित्र 2.6 अभिरंजन गमन प्रयोग द्वारा रसारोहण का प्रदर्शन

(ख) **वलयकरण प्रयोग**(Ringing Experiment) : इसके लिए गमले में लगे हुये छोटे पौधों को लेते हैं और इनके स्तभ के बीच मे इस प्रकार का वलय बनाते हैं कि स्तंभ का एपीडर्क्सि, कर्टिक्स, पैरीसाइकिल और फ्लोएम माला भाग कट जाये और केवल मध्य का जायलम वाला भाग रह जाये । कुछ समय छोड़ने के बाद ज्ञात होता हे कि पौधे की पत्तियाँ हरी एव पहले जैसी स्वस्थ बनी रहती है । एक दूसरा पौधा जिसका जायलम ऊतक हटा दिया गया था उसकी पत्तियाँ मुरझा जाती हैं । ऐसा होना इस बात का प्रमाण है कि रसारोहण जायलम ऊतको द्वारा ही होता है (चित्र 2.7) ।



चित्र 2.7 : वलयन प्रयोग द्‌वारा रसारोहण का प्रदर्शन

2.8 सारांश

पौधे भूमि से प्रचुर मात्रा में निरन्तर अपने मूलरोमों द्‌वारा जल अवशोषित करते रहते हैं । कुल जल की मात्रा का कुछ भाग ही पौधों की आवश्यक क्रियाओं में कम आता है व बचा भाग वायुमण्डलीय वाष्प के रूप में बाहर निकल जाता है । भूमि में कई प्रकार के जल होते हैं जिनमें से मात्र केशकी जल (capillary water) ही पौधों में अवशोषण के लिए उपलब्ध रहता है । जलावशोषण दो प्रकार का माना गया है सक्रिय जिसमें श्वसन ऊर्जा का उपयोग होता है व निष्क्रिय जिसमें किसी प्रकार की ऊर्जा का उपयोग नही होता है । जलावशोषण को प्रभावित करने वाले कई कारक होते हैं जो बाह्य और आन्तरिक दोनों हो सकते हैं ।

जड़ों द्‌वारा अवशोषित जल अथवा रस (sap) गुरुत्वाकर्षण शक्ति के विरुद्ध ऊपर चढ़ता है । इस क्रिया को जल परिवहन अथवा रसारोहण कहा जाता है । ऐसा स्थापित हो चुका है कि रसारोहण

जायलम ऊतकों द्वारा होता है । एक जटिल प्रक्रिया होने के कारण कई वैज्ञानिकों ने अनेक सिद्धान्त प्रतिपादित किये हैं । कुछ पेड़ बहु त ऊँचे होते हैं जिनमें रसारोहण समझना मुश्किल है । रसारोहण को प्रभावित करने वाले कारक कई हैं, जैसे उच्च तापमान, निम्न वायुमण्डलीय आर्द्रता, वाष्पोत्सजर्न दर व उच्च वायुमण्डलीय दाब आदि ।

2.9 शब्दावली

1. **होलार्ड :** मृदा में' उपस्थित सम्पूर्ण मृदा जल संयुक्त रूप से होलार्ड कहलाता है ।
2. **मृदा जल धारिता** (field capacity) : गुरुत्वीय जल के रिस कर जलस्तर में गमन करने के पशचात् जो जल मृदा में शेष बचता है उसे मृदा बल धारिता कहते हैं ।
3. **केशिकत्व** (Capillarity). पृष्ठ तनाव के कारण संकरी नलिकाओं में जिस क्रिया के फलस्वरूप जल ऊपर चढ़ता है, उसे केशिकत्व कहते हैं ।
4. **वाष्पोत्सर्जन घर्षण** : पर्णमध्योतक कोशिकाओं द्वारा जल ग्रहण करते रहने से शीर्ष से आधार -तक पूर्ण जल स्तभ में जो खिंचाव उत्पन्न होता है, उसे वाष्पोत्सर्जन घर्षण कहते हैं ।

2.10 संदर्भ ग्रन्थ

1. प्रोफेसर पी सी, त्रिवेदी, डॉ. निरजन शर्मा, आर एस धनखड - 2005, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर
2. डॉ. भी. सिंह ड़ा. पी सी. पाण्डे, डी. डी के. जैन - 2000, पादप शरीर क्रिया विज्ञान एव जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ
3. एच एस. श्रीवास्तव - 2005, प्लांट फिजियोलॉली, बायोकैमिस्टी एण्ड बायोटैक्मोलॉजी, रस्तोगी पब्लिकेशन्स मेरठ
4. एच. एन र_ श्रीवास्तव- 1999, प्लांट फिजियोलॉली, प्रदीप पब्लिकेशन्स, जलन्धर
5. डॉ. डी. वी सिंह, डी. पी सी. पाण्डे, डॉ. डी के. जैन - 2000, पादप शरीर क्रिया विज्ञान एव जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ

2.11 बोध प्रश्नों के उत्तर

बोध प्रश्न - 1

1. अंत : परासरण 2. केशिका 3. अंत. :शोषण

बोध प्रश्न - 2

1. असत्य 2. सत्य 3. सत्य

2.12 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. पौधों में जल अवशोषण की क्रियाविधि सचित्र समझाइए ।
2. रसारोहण में डिक्सन और जॉली वाद पर प्रकाश डालें ।
3. सक्रिय तथा निष्क्रिय जल अवशोषण में भेद लिखिए ।
4. जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारकों पर टिप्पणी कीजिए ।

इकाई 3 : वाष्पोत्सर्जन - प्रकार, कारक, क्रियाविधि व महत्व; बिन्दुस्त्राव (Transpiration - types, Factors, Mechanism and Importance, Guttation)

इकाई की रूपरेखा

3.0 उद्देश्य
3.1 प्रस्तावना
3.2 वाष्पोत्सर्जन तथा वाष्पन
3.3 वाष्पोत्सर्जन का प्रदर्शन
3.4 वाष्पोत्सर्जन के प्रकार
3.5 वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक
3.6 वाष्पोत्सर्जन की क्रियाविधि
3.7 प्रतिवाष्पोत्सर्जन अथवा वाष्पोत्सर्जन पदार्थ
3.8 वाष्पोत्सर्जन का महत्व
3.9 वाष्पोत्सर्जन में रन्ध्रों की भूमिका
  3.9.1 रन्ध्री उपकरण
  3.9.2 रन्ध्रों का वितरण
  3.9.3 रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने की क्रिया विधि
  3.9.4 रन्ध्रि गति को प्रभावित करने वाले कारक
  3.9.5 रन्ध्रि सूचकांक
3.10 बिन्दुस्राव अथवा निस्पंदन
3.11 वाष्पोत्सर्जन तथा बिन्दुस्राव में अन्तर
3.12 सारांश
3.13 शब्दावली
3.14 संदर्भ ग्रन्थ
3.15 बोध प्रश्नों के उत्तर
3.16 अभ्यासार्थ प्रश्न

3.0 उद्देश्य

इस इकाई में हम वाष्पोत्सर्जन व बिन्दुस्त्राव के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे । पौधों द्वारा अवशोषित जल का कुछ अंश वृद्धि व अन्य जैविक क्रियाओं में काम आता है तथा शेष जल वाष्प के रूप में वातावरण में चला जाता है । इसे वाष्पोत्सर्जन कहते हैं । इस प्रक्रिया की हम पूरी जानकारी लेंगे । साथ ही हम यह भी जानेंगे कि जब जल का ह्रास जलरन्ध्रों द्वारा बूंदों के रूप

में होता है, जिसे बिन्दुस्राब कहते हैं । उसकी प्रक्रिया क्या है । हम वाष्पोत्सर्जन व बिन्दुस्त्राव में अन्तर भी समझेंगे । बोध प्रश्नों व अभ्यास कार्य द्वारा स्वयं को विद्यार्थी परख भी सकेंगे

3.1 प्रस्तावना

पौधों जड़ी के द्वारा प्रचुर मात्रा में जल का अवशोषण मृदा से करते रहते हैं । इस अवशोषित जल की कुछ मात्रा ही पादप वृद्धि में काम आती है । इसकी आधिकांश मात्रा तो पादप काम में नहीं ले पाते । यह जल जड़ों द्वारा पत्तियों तक पहुँचता तो है परन्तु इसका लगभग 95% जल वाष्प के रूप में वायुमण्डल में छोड दिया जाता है । जिस समय वायुमण्डल जलवाष्प से संतृप्त नहीं होता, उसे आशिक जल शून्य की अवस्था कहते हैं । ऐसी स्थिति में पौधों से जल वाष्प के रूप में जल वायुमण्डल में चला जाता है । यह एक विशेष क्रिया है जो वाष्पीकरण के समान ही लगती है परन्तु इनमें मुख्य भेद हैं जो आगे वर्णित हैं ।

बिन्दुस्त्राव की क्रिया सामान्यत: केवल शाकीय (herbaceous) पादपों तक ही सीमित है । उदाहरण - टमाटर, अरबी, ब्रायोफिल्लम तथा कुकरबिटेसी कुल व घास कुल के सदस्य । यह क्रिया पत्ती पर स्थित जलरन्ध्रों (hydathods) के द्वारा होती है । वाष्पोत्सर्जन एवं बिन्दुस्राव की क्रियाओं में जल की हानि तो होती है किन्तु बिन्दुस्त्राव के जल में बहुत सारे विलेय घुले रहते हैं जो वाष्पन के पश्चात पतियों की सतहों पर लवणों के रूप में लगे रहते हैं और उन्हें हानि पहुँचाते हैं ।

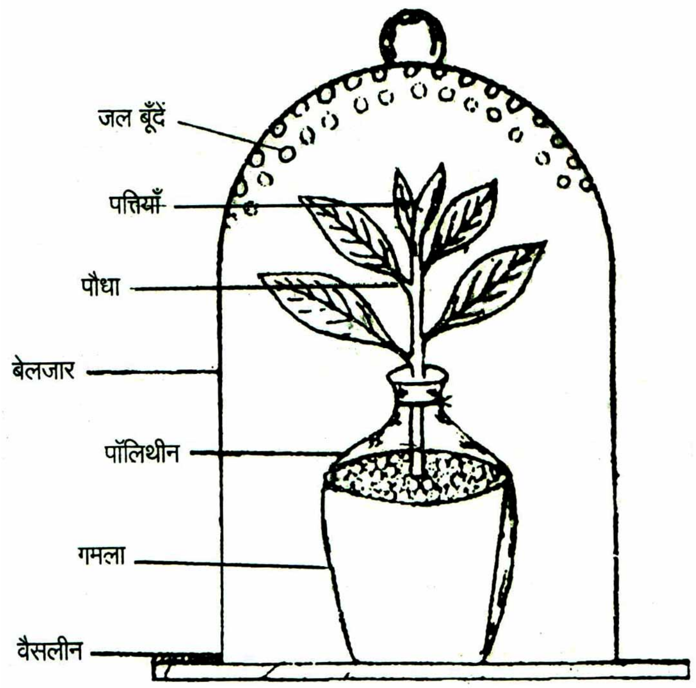
3.2 वाष्पोत्सर्जन तथा वाष्पन

बाहरी तौर पर वाष्पोत्सर्जन तथा वाष्पन की क्रियाएँ एक समान ही लगती है परन्तु दोनों में कुछ प्रमुख अन्तर होते हैं,जैसे

क्र.सं.	**वाष्पोत्सर्जन(Transpiration)**	**वाष्पन(Evaporation)**
1.	वाष्पीकरण एक पूर्णतया जैविक प्रक्रिया है ।	वाष्पन एक सरल भौतिक क्रिया है ।
2.	यह क्रिया सिर्फ उन जीवित कोशिकाओं में होती है जो बाहरी वायुमण्डल से स्पर्शित रहती है ।	यह क्रिया जीवित एवं निर्जीव, दोनों सतहों से अपने आप होती रहती है ।
3.	जलवाष्प पौधों के आंतरिक ऊतकों में बनती है ।	जलवाष्प जल की स्वतन्त्र सतह से बनती है ।
4.	इस क्रिया में विसरण दाब व परासरण दाब का प्रभाव पड़ता है ।	इस क्रिया में किसी प्रकार का कोई दाब प्रभाव नहीं डालता ।
5.	यह रंध्रो की रक्षिका कोशिकाओं द्वारा नियन्त्रित क्रिया है ।	यह क्रिया अनियंत्रित होती है ।
6.	यह क्रिया पत्तियों की व नवजात स्तंभों की सतह को नम रखते हुये सूर्य के ताप से रक्षा करती है ।	इस क्रिया के फलस्वरूम सतह शुष्क हो जाती है ।

3.3 वाष्पोत्सर्जन का प्रदर्शन

इसके लिए एक बहुत सरल प्रयोग है जिसमें एक छोटे गमले में लगा छोटा पौधा लेते हैं । उसे जल से अच्छी तरह सींच कर गमले की बाहरी सतह व उसकी मृदा को एक पॉलीथीन की शीट से ढक देते हैं । यह इसलिए करते हैं ताकि सतह से वाष्पीकरण न हो सके । अब इस गमले को एक ग्लास की शीट पर रख शुष्क बेलजार से ढक लेते हैं । बेलजार के किनारों को मोम _ ग्रीज अथवा वैसलीन से सील कर देते हैं ताकि वाष्प बाहर न निकले । कुछ समय पश्चात् बेलजार की भीतरी सतह पर जल की छोटी-छोटी बूंदे दिखाई देती है । बेलजार के भीतर केवल पौधे के वायवीय अंग ही खुले रहते हैं इसलिए यह स्पष्ट है कि इन बूंदों का निर्माण पादप के वायवीय अंगो द्वारा वाष्पोत्सर्जन की क्रिया के कारण हुआ है (चित्र 3.0) ।



चित्र 3.0 : वाष्पोत्सर्जन का बेलजार विधि द्वारा प्रदर्शन

3.4 वाष्पोत्सर्जन के प्रकार

वाष्पोत्सर्जन की क्रिया किस प्रकार की सतहों पर हो रही है, इस आधार पर इसे निम्न प्रकार से बाँटा गया है :

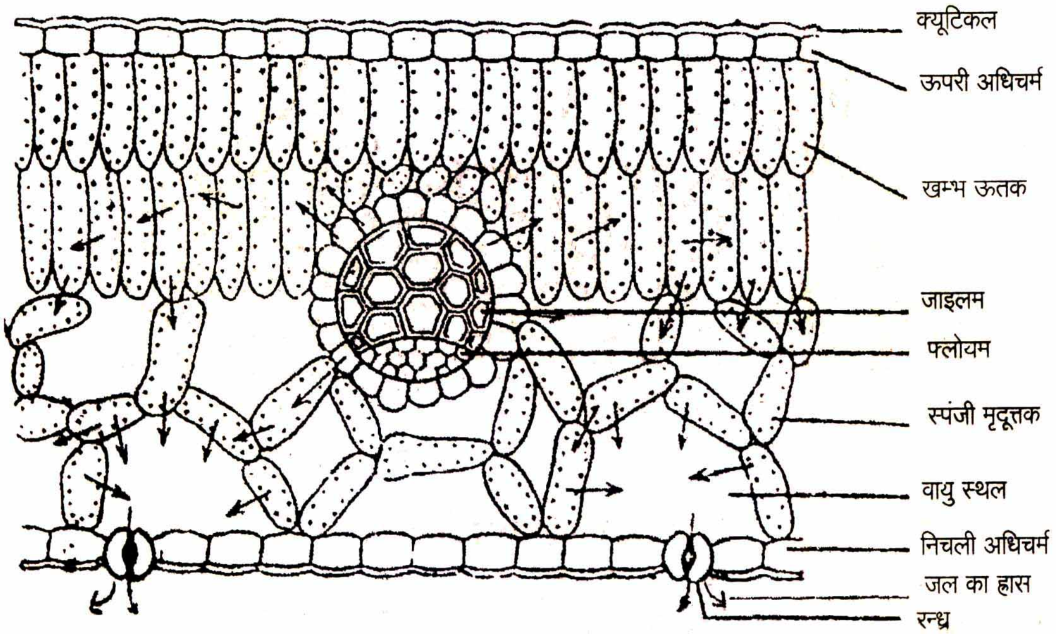
(1) रंध्रीय अथवा पर्णिल (Sotmatal or foliar)

(2) उपचर्मी अथवा क्यूटीक्यूलर (Cuticular), तथा

(3) वातरन्ध्रिय (Lenticular)

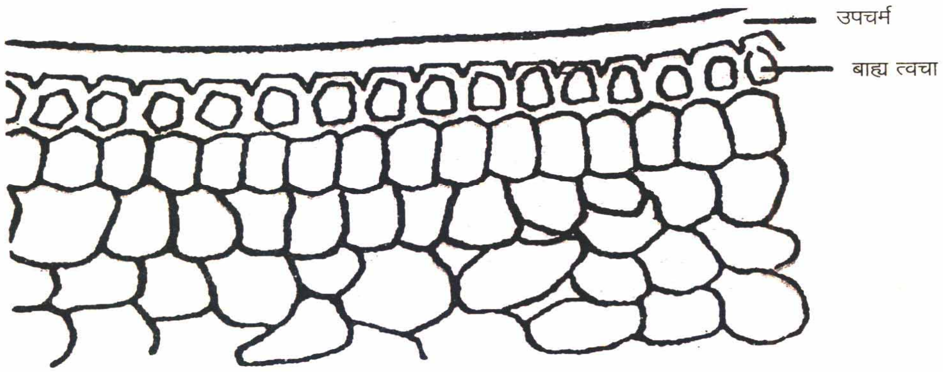
(1) रंध्रीय अथवा पर्णिल वाष्पोत्सर्जन : पत्तियों की सतह पर छोटे -छोटे रन्ध्र पाये जाते हैं जिनके ठीक नीचे मध्योंतक कोशिकाएँ होती है । वाष्पोत्सर्जन इन्हीं कोशिकाओं की सतह से होता है । खुले हुये रन्ध्र भीतर की ओर इन कोशिकाओं के तन्त्र व बाहर की ओर वायुमण्डल

से सीधे सम्पर्क में रहते हैं । इस प्रकार का वाष्पोत्सर्जन पौधों मे पाए जाने वाले_ सम्पूर्ण वाष्पोत्सर्जन का 80 - 90% होता है । वाष्पोत्सर्जन के प्रथम चरण में नम पर्णमध्योतक कोशिकाओ से जल वाष्पीकृत होकर उपरन्ध्री अवकाश (Sub stomatal space) में इकट्ठा होता है । फिर दूसरे चरण में उपरन्ध्रि अवकाश से जलुवाष्प रन्ध्रो द्वारा बाहर वायुमण्डल में विसरित हो जाती है (चित्र 3.1) ।



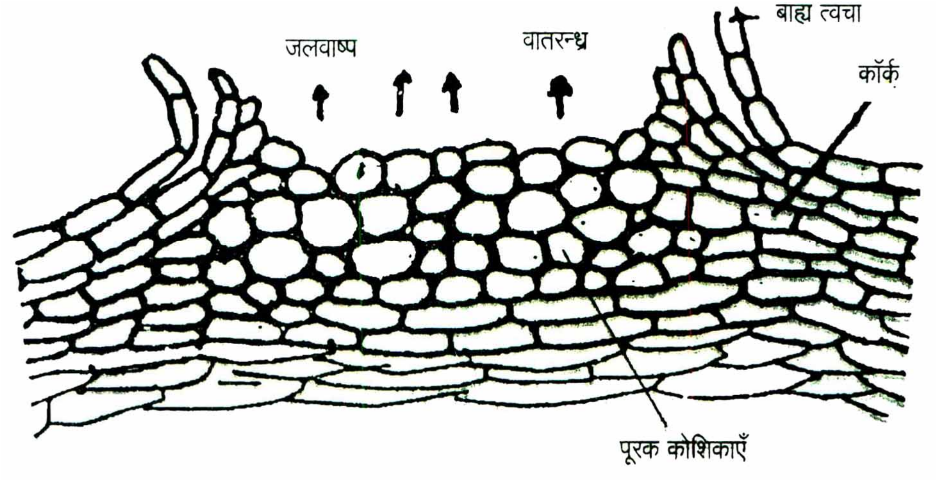
चित्र 3.1 पर्णरन्ध्रो द्वारा वाष्पोत्सर्जन

(2) **उपचर्मी अथवा क्यूटीक्यूलर वाष्पोत्सर्जन : अधिकांश** पौधों में पत्तियों की सतह पर तथा अन्य शाकीय भागों की सतह पर एक पर्त का आवरण होता है जो निर्जल, मोमी व जलविरागी (Andydrous, waxlike and hydrophobic) होता है । यह पर्त असल में वाष्पोत्सर्जन के कुप्रभावों से पौधों की रक्षा करती है परन्तु इसमें कहीं -कहीं दरारें पड़ने व भिन्न -भिन्न मोटाई के फलस्वरूप इन्हीं स्थानों से वाष्पोत्सर्जन होता है । सामान्यतया उपचर्मी वाष्पोत्सर्जन कुल वाष्पोत्सर्जन ' का सिर्फ 5 - 10 प्रतिशत भाग ही होता है । उपचर्म की अनुपस्थिति में वाष्पोत्सर्जन सीधे बाह्य त्वचा की सतह से होता है चित्र 3.2



चित्र 3.2: उपचर्मी वाष्पोत्सर्जन

(3) **वातरध्रीय वाष्पोत्सर्जन :** परिपक्व पादपों की छाल (bark) अथवा काग (cork) पर कहीं-कहीं वातरन्ध्रा उपस्थित होते हैं । इनके ठीक नीचे ढीली व सुव्यवस्थित कॉम्प्लीमेन्टरी कोशिकाएँ होती हैं (complimentary cells) । ये कोशिकाएँ सीधे वायुमण्डल से जुड़ी रहती हैं व इनकी सतह से वाष्पोत्सर्जन होता रहता है । वातरन्ध्री वाष्पोत्सर्जन कुल वाष्पोत्सर्जन का 0.1 -1% तक होता है (चित्र 3.3) ।



चित्र 3.3 : वातरंध्रो द्वारा वाष्पोत्सर्जन

3.5 वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक

वाष्पोत्सर्जन की गति को कई प्रकार के कारक प्रभावित करते हैं । इन्हें दो मुख्य वर्गो में रखा जा सकता है ।

I. बाह्य कारक:

1. **प्रकाश** (Light) । वाष्पोत्सर्जन की गति पर प्रकाश कोई सीधा असर नहीं डालता । अधिकांश पौधों में प्रकाशरन्ध्र खुलने के लिए प्रेरित करता है जो अंधेरे में बंद हो जाते हैं । रन्ध्रो को पूरी तरह खुलने के लिए कम तीव्र प्रकाश की आवश्यकता होती है । प्रकाश की अनुपस्थिति में रन्ध्र बंद रहने सें वाष्पोत्सर्जन की क्रिया नहीं होती है ।
2. **तापमान** (Temperature) अन्य सभी कारकों के अनुकूल होने पर तापमान की वृद्धि रन्ध्रो के खुलने में भी वृद्धि करती है किन्तु एक निश्चित सीमा से ऊँचे तापमान पर रन्ध्र बंद हो जाते हैं । तापमान के बढ़ने के साथ वाश्पोत्सर्जन की गति भी बढ़ जाती है ।
3. **वायु** (Wind) स्थिर वायु में पत्तियों की सतह पर जलवाष्प एकत्रित हो जाता है और वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है । वायु चलने पर यहीं एकत्रित वाष्पजल हटने से वाष्पोत्सर्जन की दर बढ़ने लगती है । वायु की तीव्र गति में पहले तो वाष्पोत्सर्जन की गति बढ़ जायेगी और बाद में रन्ध्रो के बद होने के कारण गति घट जायेगी।
4. **वायुमण्डलीय दाब** (Atmospheric pressure); निम्न वायुमण्डलीय दाब की स्थिति में वायु विरल हो जाने से वाष्पोत्सर्जन कर दर बढ़ जाती है और अधिक दाब पर कम हो जाती है । जो पादप पहाड़ों पर उगते है उन पर वायु दाब कम होने से वे तेज वाष्पोत्सर्जन

की दर दर्शाते हैं और इसी कारण इन पौधों में मरुद्भिदी लक्षण (xerophytic character) उत्पन्न हो जाते हैं ।

5. **वायु की आर्द्रता** (Air Humidity) : वायु की आर्द्रता की मात्रा का वाष्पोत्सर्जन पर सीधा प्रभाव पड़ता है । वायु में आर्द्रता की कमी होने से उसमें जलावशोषण की. क्षमता अधिक होती है और अधिक नमी रहने से यह कम हो जाती है । अर्थात् वाष्पोत्सर्जन की गति वायु में कम आर्द्रता होने पर बढ़ती है और अधिक होने पर घट जाती है ।
6. **जलवाष्प दाब न्यूनता** (Water Vapour Pressure Deficit) : वायुमण्डल की वायु तथा पर्ण के भीतरी भाग की वायु क्रमश: असतृप्त तथा सतृप्त होती है । इसलिए इनकी जलवाष्प दाबों में अंतर होता है । इसे वायु की जलवाष्प दाब न्यूनता कहा जाता है । जल वाष्प न्यूनता तथा वाष्पोत्सर्जन की दर में रेखीय सम्बन्ध होता है ।
7. **जल की उपलब्धता** (Water Availability). यदि पौधे पर्याप्त मात्रा में जल अवशोषित कर रहे है तो ही वाष्पोत्सर्जन भी नियमित हो सकेगा । मृदा में जल की कमी इस क्रिया को कम कर देती है । अन्य कारक जैसे मृदा ताप , मृदा वायु लवणों की सान्द्रता इत्यादि की अप्रत्यक्ष रूप से वाष्पोत्सर्जन की दर को प्रभावित करते हैं ।

II. आन्तरिक कारक:

1. **पर्ण रंध्र (**Stomata) वाष्पोत्सर्जन अधिकतर रन्ध्रों के द्वारा होता है, इसलिए रन्ध्रों की संख्या, आकार, संरचना तथा आवृत्ति वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करते हैं । उच्च रन्ध्र आवृत्ति वाष्पोत्सर्जन की दर को बढ़ा देती है ।
2. **पत्ती का क्षेत्र फल** (Leaf area) पत्ती का क्षेत्रफल वाष्पोत्सर्जन की क्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है । यह क्षेत्रफल जितना अधिक होगा, वाष्पोत्सर्जन की दर भी उतनी अधिक होगी ।
3. **पत्ती कीं संरचना** (Leaf area) : पत्तियों के आकार का छोटा होना (pinus) कांटों में रूनान्तीरत होना (opuntia), पत्ती की सतह पर मोटी उपचर्म (cuticle) अथवा धंसे हुये रन्ध्र (nerium) तथा मृत होना रोम की पर्त से ढका होना, ये सभी कारक वाष्पोत्सर्जन की दर को कम करते हैं ।
4. **पत्ती का अभिविन्यास** (Orientation of Leaf) : अगर आपातित किरणें (Incident rays) पत्ती के लंबवत् (perpendicular) हों तो वाष्पोत्सर्जन की दर अधिक होती है । इसके विपरीत यदि पत्तियों का अभिविन्यास आपातित किरणों के समकोण पर हो तो पत्ती का तापमान कम होगा और वाष्पोत्सर्जन की दर भी कम होगी
5. **पत्ती की जल मात्रा** (Water contents of leaf) : पत्ती की कोशिकाओं में जल की अनुकूल मात्रा होने पर वाष्पोत्सर्जन भी सतत् रूप से होता रहता है । पत्ती में जल की मात्रा कम होने से रन्ध्र बंद हो जाते हैं जिससे वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती हे ।
6. **मूल- प्ररोह अनुपात** (Root - shoot ratio) : यदि मूल -प्ररोह अनुपात कम हो तो वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है और अधिक होने पर अधिक हो जाती है । इसी कारण छोटे पौधों में उच्च मूल -प्ररोह अनुपात के कारण पत्ती के प्रति इकाई क्षेत्र से जल

की हानि अधिक होती है तथा बड़े पौधों में निम्न मूल - प्ररोह अनुपात के कारण कम होती है

3.6 वाष्पोत्सर्जन की क्रियाविधि

वाष्पोत्सर्जन की क्रिया में जल की हानि वाष्प के रूप में होती है । इसके लिए ऊष्मा का स्रोत आवश्यक है । पौधों को कम से कम तीन प्रकार के स्रोतों अथवा साधनों से ऊष्मा ऊर्जा निकलती है ।

(1) विकिरण ऊर्जा (Radiant energy)

(2) वायु से ऊष्मा ऊर्जा (Heat energy from air)

(3) वाष्पोत्सर्जित अंग से ऊष्मा ऊर्जा

दिन के समय वाष्पोत्सर्जन कर रही पत्तियों या अन्य अंगों के लिए विकिरण ऊर्जा ऊष्मा ऊर्जा का एक मुख्य स्रोत मानी जाती है । वायु जितनी शुष्क होती है उसकी DPD उतनी ही अधिक होगी अर्थात् जल विभव उतना ही कम होगा । इसलिए शुष्क वायु का DPD जल के वाष्प बनने की प्रक्रिया में प्रतिरोध उत्पन्न करता है । द्रव के रूप में जल के अणु आन्तर अणु बल (Intra molecular) द्‌वारा बंधे रहते हैं । यही बल द्रव से वाष्प बनने की क्रिया में प्रतिरोध उत्पन्न करता है किन्तु शुष्क वायु का DPD बहुत अधिक होने से यह आन्तर अणु बल से भी अधिक प्रभाव डालता है इसलिए द्रव जल वाष्प में परिवर्तित हो पाता है ।
वास्तव में वाष्पोत्सर्जन की क्रिया दो पदों में होती हैं।

(i) जल या कोशिका भित्ति (Cell wall) की सतह से अंतर्कोशिकीय अवकाशों (intercellular spaces) में से वाष्पन (evaporation)

(ii) वाष्पित जल का बाह्य वातावरण में निष्कासन जब अंतर्कोशिकीय अवकाशों में DPD बहुत अधिक हो तथा आर्द्रता कम हो तब कोशिका की भित्ति की सतह पर से जल वाष्प बन कर इनमें आ जाता है । अब कोशिका रस भित्ति को नम रखने की प्रक्रिया में फिर निकलता हैं । इस तरह अवकाशों में आर्द्रता संतृप्त (saturate) होने तक यह क्रिया चलती रहेगी । परन्तु ऐसा कभी हो ही नहीं पाता है क्योंकि यह लगातार बाह्य वातावरण में जाती रहती है तथा वाष्पोत्सर्जन लगातार होता रहता है।

जिस समय रन्ध्र खुले रहते हैं, उस समय अधोरध्री गुहा में से जल वाष्प वायुमण्डल कीं उच्च DPD के कारण वायु में खींच लिया जाता है । फलस्वरूप अब अधोरध्री गुहा का DPD बढ़ जाता है । अत: यह जलवाष्प को आन्तरकोशिकाय अवकाशों की ओर खींचती है । पर्णमध्यक कोशिकाओं की आर्द्र भित्तियाँ से जलवाष्प अन्तरकोशिकयि अवकाश की ओर जाता है । फलत : अब पत्ती की शिराओं की वाहिकाओं से पर्णमध्यक कोशिकाएँ जल ग्रहण करती हैं । वाष्पोत्सर्जन की क्रिया तीव्र होने से पत्ती की जल आपूर्ति पिछड़ जाती है जिससे पौधे में तनाव उत्पन्न होता है । अत: जड़ें तेजी से जल अवशोषण करती है । मृदा जल की कमी हो जाने से यह क्रिया कुछ समय में शिथिल पड़ने लगती है । इससे पौधों में वाष्पोत्सर्जन के प्रति प्रतिरोध पैदा होता है । परिणामस्वरूप रन्ध्र बन्द होने लगते हैं ।

3.7 प्रतिवाष्पोत्सर्जक अथवा वाष्पोत्सर्जनरोधी पदार्थ

जैसा कि हम जानते हैं कि पौधों द्वारा अवशोषित जल की अधिकांश मात्रा वाषोपत्सर्जन द्वारा खो दी जाती है । यही कारण है कि खेती वाले पौधों तथा उद्यानों में सिंचाई का विशेष ध्यान रखना पड़ता है तथा यह आवश्यक हो जाता है कि जल को समुचित मात्रा में संचित रखा जाये । वैज्ञानिकों ने यह समस्या दूर करने के लिए कुछ रसायनों की खोज की है जो वाष्पोत्सर्जन की क्रिया काफी हद तक कम हो जाती है । इन्हें वाष्पोत्सर्जनरोधी पदार्थ (आंटी ट्रान्स्पिरंट्स) कहा जाता है । यह पदार्थ वाष्पोत्सर्जन की दर कम करने के साथ गैसों का आदान -प्रदान पर्याप्त मात्रा में होने देते हैं । इसके फलस्वरूप प्रकाश संशलेषण व शवसन आदि केवल आशिक रूप से ही प्रभावित होते हैं ।

इस क्षेत्र में प्रथम योगदान स्टलियर (स्टालयेर), गेल व हेगन (गले अँड हेगन) का रहा है । इन्होंने पाया कि कुछ रसायनों को पौधों की पत्तियों पर छिडकने से अथवा इनका लेपन करने से (application) ये पत्तियों की सतह पर महीन पर्त सी बना देते हैं जो वाष्पोत्सर्जन की दर कम कर देती है । इनके कुछ उदाहरण हैं : सिलिकॉन तेल (silicon oil), कम श्यानता वाले मोम (wax),कुछ उपापचयी प्रतिरोधी पदार्थ (Metabolic inhibitors), फिनाइल मरक्यूरिक एसीटेट की 10-4 रू सान्द्रता का घोल, तथा अन्य पदार्थ जैसे वृद्धि नियामक (एब्लीलिक एसिड) इत्यादि । इन रसायनों आदि के प्रयोगों से स्पष्ट होता है कि ये मूलत : रन्ध्रों को आशिक रूप से बन्द कर देते हैं जिससे वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है । यदि कोई आदर्श प्रतिवाष्पोत्सर्जन खोज लिया जाता है तो मुख्यत : मरुक्षेत्रीय पादपों में जल संतुलन की समस्या आसानी से हल हो सकेगी ।

3.8 वाष्पोत्सर्जन का महत्व

यह बात तो हम सब अब तक समझ चुके हैं कि पौधों की सभी जैविक क्रियाओं के लिए जल अत्यावश्यक है । पौधों द्वारा अवशोषित जल का अधिकांश भाग (लगभग 90%,) तो वाष्पोत्सर्जन की क्रिया द्वारा बाहर वातावरण में चला जाता है । तो क्या वाष्पोत्सर्जन

एक हानिकारक क्रिया है? पादप विज्ञानी अब तक यह सुनिशचित नहीं कर सके हैं कि वाष्पोत्सर्जन सिर्फ हानिकारक है या पौधों के लिए एक लाभदायक क्रिया है? यदि इससे कोई लाभ है तो वे क्या हैं? यह बात तो निशचित है कि वाष्पोत्सर्जन एक आवश्यक बुराई (Necessary evil) है । यह कुछ हद तक पौधों के लिए हानिकारक तो है ही परन्तु इसे रोका भी नहीं जा सकता । इसके लाभ व हानि निम्न हैं :

(i) **वाष्पोत्सर्जन की हानियां (Disadvantages of transpiration)**

(क) **वृद्धि का ह्रास** : वाष्पोत्सर्जन कोशिकाओं की स्फीति कम करता है जिससे कोशिकाओं का दीर्घीकरण प्रभावित होता है । साथ ही कोशिका विभेदन भी ठीक से नहीं हो पाता । यही कारण है कि वाष्पोत्सर्जन द्वारा अधिक जल हानि पौधों की वृद्धि कम कर देती है ।

(ख) **उपापचय में कमी :** वाष्पोत्सर्जन की तीव्र गति होने पर जल की अधिक हानि होती है । इससे जीवद्रव्य में जल की मात्रा अनुकूलतम (optimum) स्तर से भी कम हो जाती है ।

परिणामस्वरूप समस्त उपापचयी क्रियाएँ मंद पड़ जाती है । पर्ण रन्ध्रों के बन्द हो जाने से पादपों को CO_2, भी उपलब्ध नहीं पाती और अन्तत : प्रकाश संश्लेषण की दर भी कम हो जाती है।

(ग) **उपज में कमी :** पौधों में जल की कमी से वे मुरझाने लगते हैं और इस कारण उनकी उपज लगभग 50% तक कम हो जाती है । जल की कमी होने से फल -फूल आदि सभी संख्या में कम रह जाते हैं पूर्ण विकसित भी नहीं होते 1

(घ) **प्रोटीन विघटन:** जल की कमी की अवस्था में प्रोटीन विघटित होने लगते हैं व इनकी संश्लेषण की क्रिया भी प्रभावित होती है ।

(ii) वाष्पोत्सर्जन के लाभ (Advantages of transpiration) :

(क) **रसारोहण :** वाष्पोत्सर्जन के फलस्वरूप पौधों के जायलम के जल स्तंभ में विशेष तनाव उत्पन्न हो जाता है जिसे वाष्पोत्सर्जन कर्षण (Transpiration pull) कहते हैं । इससे जल पौधे के शीर्ष तक पहुँचने में सक्षम होता है । साथ ही जड़ों द्वारा मृदा जल का अवशोषण भी सम्भव हो पाता है ।

(ख) **खनिज लवणों का अवशोषण व स्थानान्तरण :** जैसे -जैसे वाष्पोत्सर्जन की दर बढ़ती है वैसे -वैसे जल का अवशोषण भी अधिक होता जाता है । खनिज लवणों का अवशोषण केवल सक्रिय विधि से होता है । जब ये लवण जायलम वाहिकाओं तक पहुँचते हैं तो उनका परिवहन अथवा स्थानान्तरण जल के माध्यम से होता है । सक्रिय प्रक्रिया होने के कारण इसमें उपापचयी ऊर्जा की आवश्यकता पड़ती है ।

(ग) **फलों की गुणवत्ता :** वाष्पोत्सर्जन की क्रिया के फलस्वरूप फलों में शर्करा की मात्रा बढ़ जाती है तथा फल अधिक मीठे हो जाते हैं ।

(घ) **तापमान नियन्त्राग :** पत्तियों पर पड़ने वाले विकिरण का लगभग 65% भाग पत्तियाँ अवशोषित कर लेती हैं जिसका कुछ भाग प्रकाश -संश्लेषण में व शेष भाग ऊष्मा में परिवर्तित हो जाता है । इससे पत्तियों का तापमान बढ़ जाता है । वातावरणीय तापमान की अपेक्षा यह लगभग 40% अधिक होता है । वाष्पोत्सर्जन की क्रिया पत्तियाँ की सतह का तापमान कम कर उसे नियन्त्रित रखती है ।

(ङ) **आर्थिक महत्व के उत्पाद :** वाष्पोत्सर्जन की अधिकता होने पर पौधों में लेटेक्स (latex), रेज़िन (resin), फकलोइड्स (alkaloids) एवं वर्णक (pigments) आदि का संश्लेषण होने लगता है । ये सभी उत्पाद आर्थिक रूप से बहुत महत्वपूर्ण

(च) **यान्त्रिक ऊतक :** वाष्पोत्सर्जन पौधों में यान्त्रिक ऊतकों के परिवर्धन को बढ़ा देता है । ये ऊतक पौधों को अधिक कठोर व दृढ़ बनाते हैं ।

(छ) **विसरण :** वाष्पोत्सर्जन की क्रिया न्यूनतम विसरण दाब (DPD) को प्रभावित करता है अत : कोशिकाओं में विसरण बढ़ता है ।

(ज) **मूल तन्त्र** : इस क्रिया के फलस्वरूप मूल तन्त्र का विस्तृत परिवर्धन होता है तथा पौधे सीधे खड़े रहते हैं ।

3.9 वाष्पोत्सर्जन में रन्ध्रों की भूमिका

हमने प्रस्तुत इकाई में पहले पढ़ा कि वाष्पोत्सर्जन वातरन्ध्री, उपचर्मी अथवा रन्ध्री होता है । वाष्पोत्सर्जन की क्रिया में रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने का महत्वपूर्ण योगदान रहता है । जिस समय रन्ध्र खुले रहते हैं उस समय पौधों के आन्तरिक वातावरण व बाहरी वातावरण के बीच सीधा संबन्ध हो जाता है ।

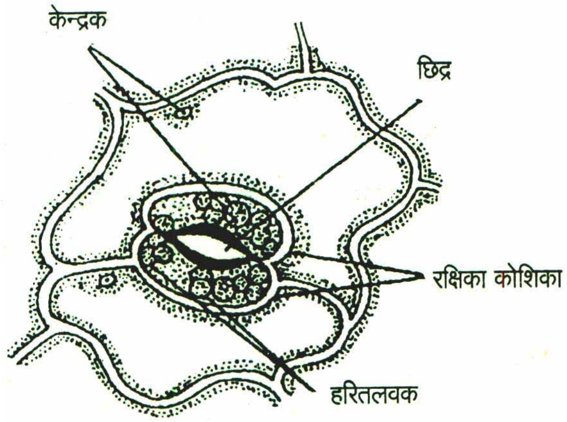
यह महत्वपूर्ण तथ्य है कि वाष्पोत्सर्जन की कुल मात्रा की 90% क्रिया रन्धों द्वारा होती है । जब जल की कमी होती है तब रन्ध्र बन्द होकर पौधों में जल संचय में मदद करते हैं ।

साथ ही परोक्ष रूप से रन्ध्र जलावशोषण रसारोहण तथा खनिज अवशोषण में भी सहायक होते हैं क्योंकि ये सभी क्रियाएँ वाष्पोत्सर्जन द्वारा नियन्त्रित होती है । इन सभी के अलावा रन्ध्र प्रकाश संश्लेषण व श्वसन में CO_2 व O_2 के विनिमय का कार्य भी करते हैं । अत : हम यह मान सकते हैं कि रन्ध्रों की गति से अनेकानेक पादप क्रियाएँ नियन्त्रित होती हैं तथा इनसे वाष्पोत्सर्जन का सीधा सम्बन्ध होता है ।

3.9.1 रन्ध्री उपकरण

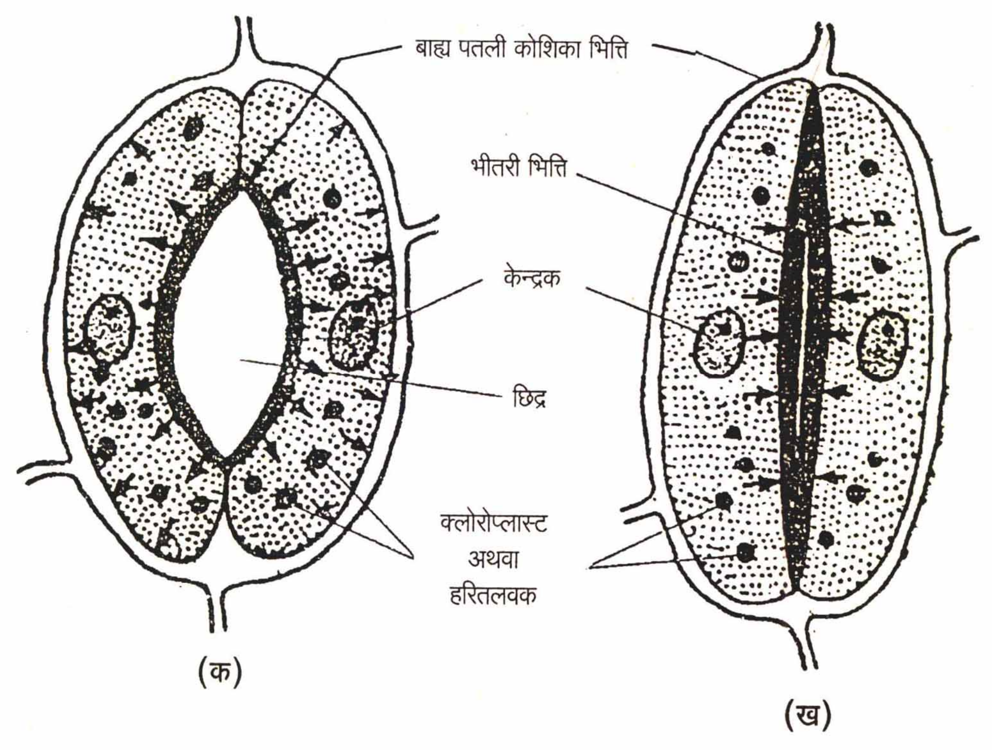
पौधों में पत्तियों व अन्य कोमल वायवीय भागों पर बहुत ही सूक्ष्म छिद्र होते हैं जिन्हें रन्ध्र कहा जाता है । इनके द्वारा सम्बन्धित भागों की कोशिकाओं तथा बाह्य वातावरण के बीच गैसों का विनिमय या आदान -प्रदान होता रहता है । ये पौधे आन्तरिक नम सतहों को भी बाह्य वातावरण की शुष्क वायु के सम्पर्क में लाते हैं जिसके फलस्वरूप वाष्पोत्सर्जन होता है ।

प्रत्येक रन्ध्र (stomata) दो विशेष बाह्यत्वचीय कोशिकाओं से घिरा रहता है जिन्हें द्वार कोशिकाएँ अथवा रक्षिका कोशिकाएँ (guard cell) कहा जाता है । इनका कार्य रन्ध्र की रक्षा करना व गति नियन्त्रित करना है । ये अन्य बाह्यत्वचीय कोशिकाओं की अपेक्षा आकार, आकृति, स्थूलन व कोशाद्रव्य मात्रा में बहुत भिन्न होते हैं तथा इनमें कई हरित लवक (chloroplast) पाये जाते हैं (चित्र 3.4) ।



चित्र 3.4: रन्ध्र की संरचना

द्विदलीय (Dicotyladenous) पौधों में रक्षिका कोशिकाएँ वृक्काकार (kidney shaped) तथा एक दलीय (Monocotyladenous) पौधों में डम्बेल आकार (dumb-bell shaped) की होती हैं (चित्र 3.5 क, ख) ।



चित्र 3.5 : (क) खुला रन्ध्र, (ख) बंद रन्ध्र

रन्ध्र को घेरे हुये इन कोशिकाओं की भित्ति मोटी व कठोर (Thick and rigid) होती है । यह भीतरी अथवा अवतक (concave) भित्ति है । उत्तक (convex) अथवा बाहरी भित्ति, भीतरी भित्ति की अपेक्षा अधिक लचीली, पतली एव प्रत्यास्थ (Elastic) होती है । सभी कोशिकाओं में माण्ड (Starch) उपस्थित रहता है । इसके अपवाद सिर्फ प्याज (एलियम सीपा) व लहसुन (एलियम सटाइवा) के पौधे हैं ।

कुछ पादपों में द्वार कोशिकाएँ अल्प रूपान्तरित बाह्य त्वचीय कोशिकाओं से घिरी रहती है । इनको सहायक कोशिकाएँ (subsidiary cells) कहा जाता है । मरुभिद् पोधो में सहायक कोशिकाएँ द्वार कोशिकाओं से कुछ ऊपर की ओर स्थित होती हैं जिस कारण रन्ध्रों को निमग्न रन्ध्र (sunken stomata) कहा जाता है । रन्ध्रों की ऐसी स्थिति में द्वार तथा सहायक कोशिकाओं के बीच एक गुहा (cavity) बन जाती है जिसे प्रघाण (Vestibule) अथवा आइधरन्ध्री गुहा (Epistomatal cavity) कहते हैं । इसके साथ ही द्वार कोशिकाओं के अन्दर की ओर भी एक गुहा होती है जिसे अधोरन्ध्री गुहा (sub-stomalal cavity) कहते हैं ।

पर्ण रन्ध्रों की आकृति लगभग दीर्घ वृत्ताकार (Elliptical) होती है । जिस समय रन्ध्र पूर्ण रूप से खुले रहते हैं उस समय इनके छिद्र का आकार लम्बाई में 10 - 40 त था चौड़ाई में 3 - 12 हो सकता है जो विभिन्न स्थितियों तथा पादपों में थोड़ा भिन्न हो सकता

3.9.2 रन्ध्रों का वितरण

पौधों की पत्तियों की दोनों सतहों पर रन्ध्र उपस्थित रहते हैं । इन रन्ध्रों के दोनों सतहों पर वितरण के आधार पर इन्हें पाँच श्रेणियों में विभाजित किया गया है।

1. **सेब अथवा शहतूत प्रकार** (Apple or Mulberry type) : इन पौधों की पत्तियों में केवल नीचे की सतह अर्थात् अपाक्ष (abaxial) सतह पर ही रन्ध्र उपस्थित होते हैं । जैसे : सेब, शहतूत, बरगद, पीपल और अन्य वृक्षीय पादप आदि ।
2. **आलू प्रकार** (Potato type) इस वर्ग में पत्ती की दोनों सतहों पर रन्ध्र पाये जाते हैं परन्तु इनकी संख्या भिन्न होती है अर्थात् निचली सतह (abaxial) पर अधिक तथा ऊपरी सतह (adaxial) पर कम । जैसे : आलू मटर, सेम, पत्तागोभी भी आदि ।
3. **जई प्रकार** (Oat Type) कुछ पौधों में रन्ध्र दोनों सतहों (adaxial and abaxial) पर समान संख्या में उपस्थित होते हैं । जैसे जई,जो , गेहूँ? मक्का, कोचिया आदि ।
4. **जलीय लिलि प्रकार** (Water Lily Type). ऐसे पौधे जिनमें रन्ध्र केवल पत्तियों की ऊपरी सतह पर उपस्थित हों, इस श्रेणी में आते हैं । ऐसी पत्तियाँ अधिरन्ध्री (epistomatic) कहलाती है । जैसे. विक्टोरिया, निम्फिया तथा अन्य प्लावी जातियाँ आदि ।
5. **पोटामोजी टोन प्रकार** (Potamogeton Type) ऐसे पौधों में या तो रन्ध्र पाये ही नहीं जाते और यदि उपस्थित हों तो लुप्तावशेषी (vestigeal) अर्थात् बेकार होते हैं जैसे पोटामोजी टोन, वैलिसनेरिया और दूसरे जल निमग्न पौधे ।

3.9.3 रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने की क्रियाविधि

यह बात -हम जानते हैं कि अपवादों को यदि छोड़ दें, तो सभी रन्ध्र दिन में खुलते व रात्रि को बन्द होते हैं (चित्र 3.6) । खुलना व बद होना रक्षिका कोशिकाओं (guard cells) की गतिविधियों से प्रभावित होता है । जब रक्षिका कोशिकाओं में स्फीति (turgidity) होती है तब रन्ध्र खुलते हैं तथा जब यह शिथिल (flaccid) होती है तब रन्ध्र बन्द हो जाते हैं । यह सम्पूर्ण क्रिया कोशिकाओं के परासरणी दाब पर निर्भर होती है । यह दाब कई कारकों पर निर्भर करता है जैसे शर्करा सान्द्रता, CO_2 सान्द्रता, ph, आयनों की सान्द्रता आदि । (चित्र 3.7) ।
रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने की क्रियाविधि को समझाने के लिए वैज्ञानिकों ने कई मत प्रतिपादित किये, जो निम्न हैं,

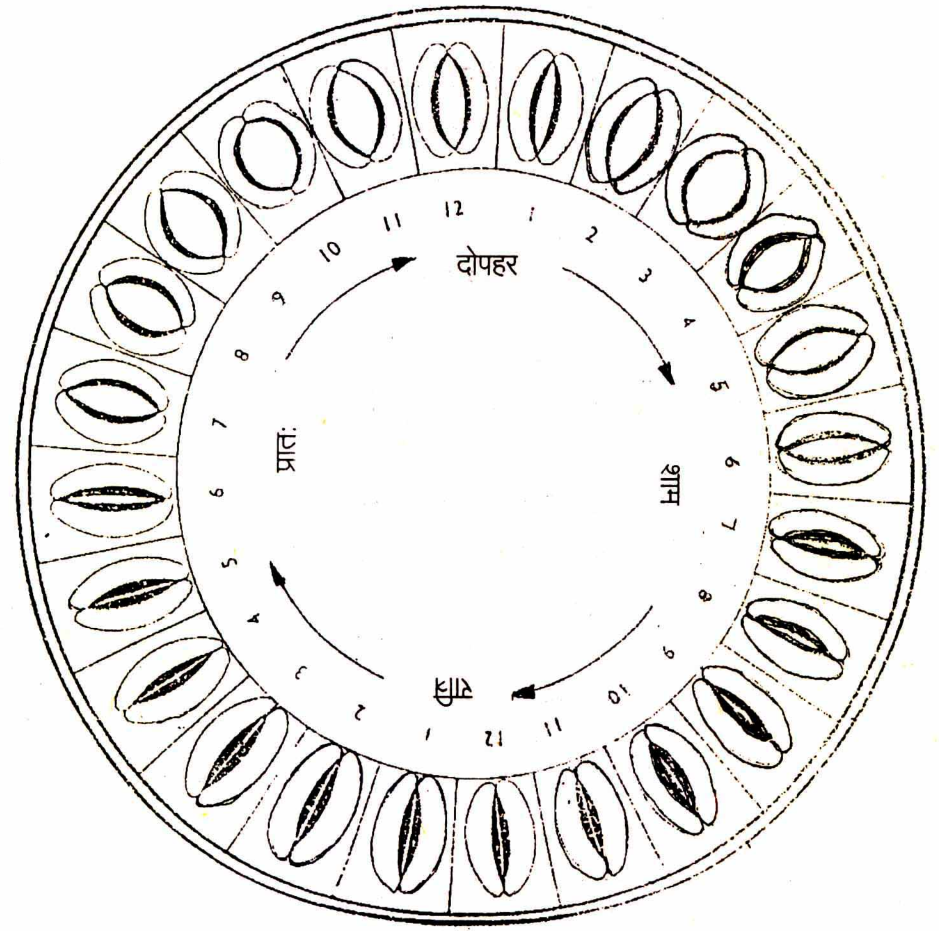
I. रक्षिका कोशिकाओं में प्रकाश संश्लेषण का सिद्धान्त (Theory of Photosynthesis in guard Cell) :

वॉन मोल (Von Mohl, 1856) के अनुसार रक्षक कोशिकाओं में उपस्थित क्लोरोप्लास्ट प्रकाश संश्लेषण करते हैं तथा परासरणीय सक्रिय पदार्थ का निर्माण करते हैं । फलस्वरूप उनका

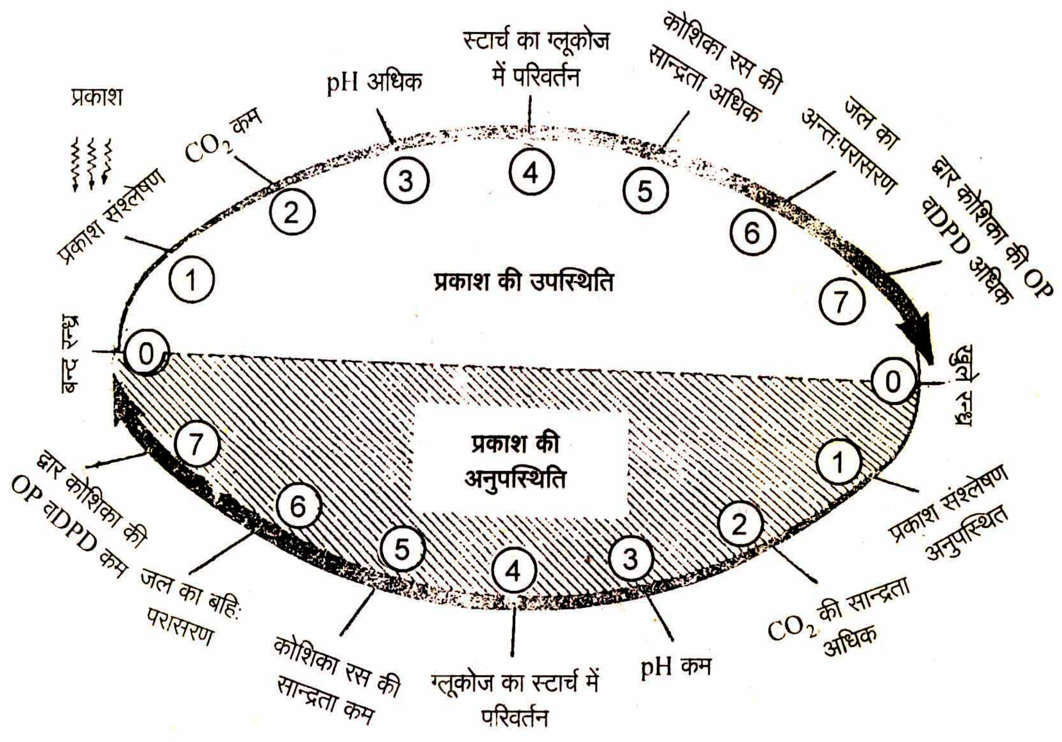
परासरणी दाब (OP) बढ़ जाता है जिससे ये कोशिकाएँ जल अवशोषित कर स्फीत (turgid) हो जाती है । अत : रन्ध्र खुल जाते हैं । रात्रि के समय प्रकाकश संश्लेषण नहीं होता अत : कोशिकाओं का परासरणी दाब कम होने से वे शिथिल (flaccid) पड़ जाती है । फलस्वरूप रन्ध्र बन्द हो जाते हैं ।

इस सिद्धान्त के कुछ दोष, हैं जिनकी वजह से इसे कोई विशेष मान्यता नहीं मिल पाई । ये निम्न हैं

1. कुछ पादपों में दिन में प्रकाश संश्लेषण होने के उपरान्त भी रन्ध्र रात्रि में खुलते हैं, दिन में नहीं ।
2. रक्षिका कोशिकाओं में मिलने वाले क्लोरोप्लास्ट में CO_2 का स्थिरीकरण नहीं होता । अत : रक्षक कोशिकाएँ पर्याप्त शर्करा एकत्र नही कर पाती है ।
3. इस मत के अनुसार पत्ती के वातावरण में प्रकाश की उपस्थिति में CO_2 की सान्द्रता बढ़ने पर रन्ध्र और अधिक खुलने चाहिए परन्तु वास्तव में तो वे आशिक रूप से बन्द हो जाते हैं ।



चित्र 3.6 : रन्ध्र गति के दैनिक. आवर्तन



चित्र 3.7 : रन्ध्रों के बन्द होने व खुलने ले विभिन्न समय परिवर्तन

II. **स्टार्च -शर्करा परिवर्तन का सिद्धान्त (Theory of Starch-sugar Interconversion) :**

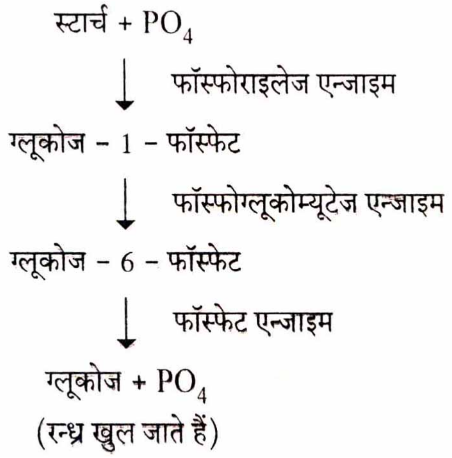
जे डी सायरे (J.D.Sayre), लॉयड (Lloyd) तथा लॉफ्टफल्डि (Loftfield) के मतानुसार रक्षक कोशिकाओं में स्टार्च की मात्रा दिन में कम तथा रात्रि में अधिक होती है । स्टार्च तथा मण्ड के परिवर्तन से, इन कोशिकाओं की परासरण सान्द्रता (osmotic concentration) भी प्रभावित होती है । दिन के समय स्टार्च शर्करा में परिवर्तित होती है । जिससे इन कोशिकाओं की परासरण सान्द्रता बढ़ जाती है । रक्षक कोशिकाएँ जल अवशोषित कर स्फीत हो जाती है और रन्ध्र खुल जाते हैं । रात्रि अथवा अन्धकार में शर्करा स्टार्च में बदलती है जिसके फलस्वरूप इनकी परासरणी सान्द्रता कम हो जाती है । अत : कोशिकाओं के शिथिल पड़ने से रन्ध्र बन्द हो जाते हैं ।

सायरे (Sayre,1923) ने यह निष्कर्ष निकाला कि द्वारा या रक्षक कोशिकाओं में उच्च ph पर रन्ध्र खुलते हैं तथा कम ph पर रन्ध्र बन्द हो जाते हैं । दिन में श्वसन क्रिया में मुक्त हुई CO_2 का प्रकाश संश्लेक्षण में उपयोग किया जाता है । यह कार्य पर्ण मध्योतक कोशिकाएँ करती हैं जिसके फलस्वरूप उपरन्ध्रीय गुहा में CO_2 सान्द्रता कम हो जाती है । तथा रक्षक कोशिकाओं का ph बढ़ जाता है । इस स्थिति में स्टार्च शर्करा में बदलता है । रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब शर्करा के कारण बढ़ जाता है और ये जल अवशोषित कर स्कति हो जाती है और रन्ध्र खुल जाते हैं । इसके विपरीत रात में मुक्त हुई CO_2 का उपयोग प्रकाश संश्लेषण में नहीं हो सकता । अत : यह अन्तर्कोशीय अवकाशों में एकत्र हो जाती है । फलस्वरूप रक्षक कोशिकाओं का ph कम हो जाता है तथा शर्करा -मण्ड में बदलती है । इसके कारण रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब कम हो जाता है । ये जल का त्याग करती है और रन्ध्र बन्द हो जाते हैं ।

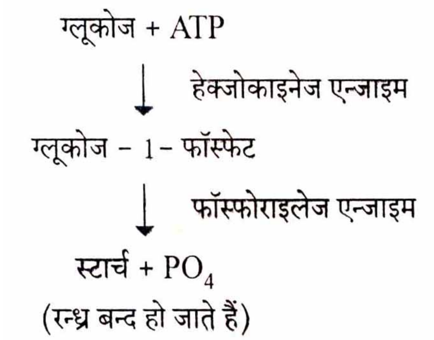
इस क्रिया विधि को सारणी द्वारा समझाया गया है.

प्रकाश में	अन्धकार में
1. श्वसन में मुक्त CO2 प्रकाश संश्लेषण में प्रयुक्त हो जाती है ।	श्वसन में युक्त CO_2 प्रकाश संश्लेषण में प्रयुक्त नहीं होती, है । अपितु अर्न्तकोशिक अवकाशों में एकत्र हो जाती है ।
2. रक्षक कोशिकाओं में ph बढ़ जाता है ।(ph=7)	रक्षक कोशिकाओं में ph कम हो जाता है (ph=4.5)
3. स्टार्च शर्करा में अपघटित हो जाता है ।	शर्करा स्टार्च में परिवर्तित होती है ।
4. शर्करा की उपस्थिति से रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब बढ़ता है ।	रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब कम होता है ।
5. बड़े परासरण दाब के कारण रीक्षका कोशिकाएँ जल अवशोषित करती है । यह क्रिया अन्त: परासरण कहलाती	घटे परासरण दाब के कारण रक्षिका कोशिकाएँ जल का त्याग करती है । यह क्रिया बाहय परासरण कहलाती है ।
6. अन्त:परासरण से रक्षिका कोशिकाएँ स्फीत हो जाती है ।	बाहय परासरण से रक्षिका कोशिकाएँ शिथिल हो जाती है ।
7. इस क्रिया के फलस्वरूप रन्ध्र खुलते हैं ।	इस क्रिया के फलस्वरूप रन्ध्र बन्द हो जाते हैं।

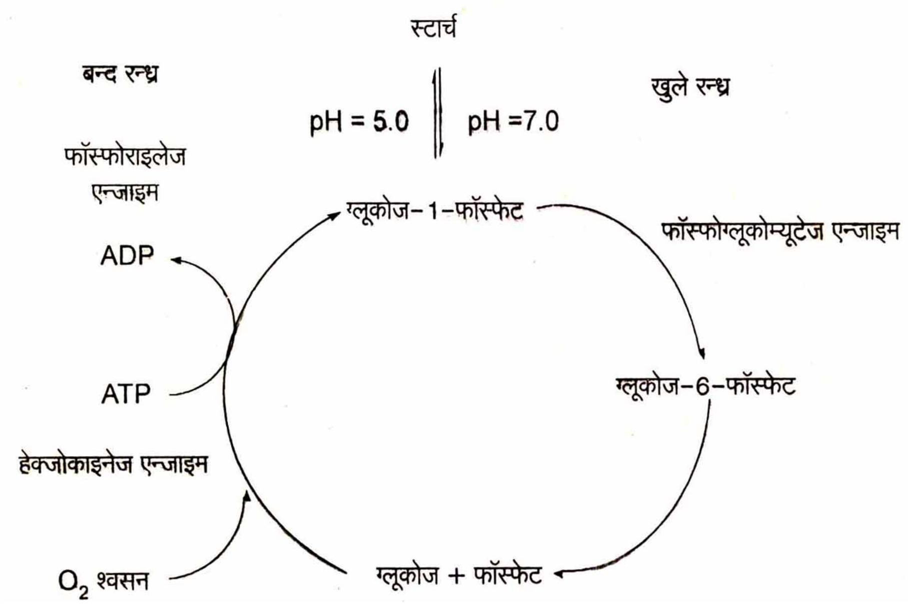
इस सिद्धान्त को स्टीवर्ड (Steward, 1964) ने अस्वीकृत कर दिया और बताया कि स्टार्च का शर्करा में परिवर्तन इतना सक्षम नहीं होता कि कोशिका की स्फीति इतनी बढ़ा सके कि रन्ध्र खुल जाये । इसके अतिरिक्त रन्ध्र बन्द होने की प्रक्रिया में ATP की आवश्यकता होती है । स्टीवर्ड ने इस सिद्धान्त को थोड़ा संशोधित किया । इसके अनुसार रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब तभी बढ़ता है जब ग्लूकोड़ा - 1 -फॉस्फेट का ग्लूकोज व अकार्बनिक फॉस्फेट में परिवर्तन होता है। इस मत के अनुसार ग्लूकोडा - 1 -
फॉस्फेट का ग्लूकोज - 6 -फॉस्फेट में परिवर्तन होना है व ग्लूकोज - 6 -फॉस्फेट का फॉस्फेटेज नामक एन्जाइम द्वारा ग्लूकोज व अकार्बनिक फॉस्फेट में परिवर्तन होता है ।



इसी प्रकार रन्ध्रों का बन्द होना कम ph पर शर्करा अथवा ग्प्लोज के स्टार्च में परिवर्तन से होता है ।



इस प्रकार रन्ध्र बन्द होने में ATP की आवश्यकता होती है जो श्वसन से प्राप्त होती है, अत ' यह एक सक्रिय क्रिया है (चित्र 3.8) ।



चित्र 3.8 : रन्ध्र के खुलने व बन्द होने की स्टीवर्ड की परिकल्पना का रेखाचित्र

स्टीवर्ड की परिकल्पना भी सर्वमान्य नहीं है । इसमें भी निम्न दोष हैं

(1) CO_2 सान्द्रता घटने बढ़ने से ph का मान कैंसे बदलता है, यह स्पष्ट नहीं है ।

(2) कुछ पादपों की रक्षक कोशिकाओं स्टार्च का निर्माण करती ही नहीं है जैसे एकबीजपत्री पादप। (हीथ, 1952)

(3) लेविट (1974) के अनुसार रन्ध्रों का बन्द होना व खुलना पोटेशियम आयनों पर निर्भर करता है ।

(4) रन्ध्र खुलते समय स्टार्च शर्करा में बदलती नहीं देखी गई बल्कि अकार्बनिक अम्ल बनते देखे गये ।

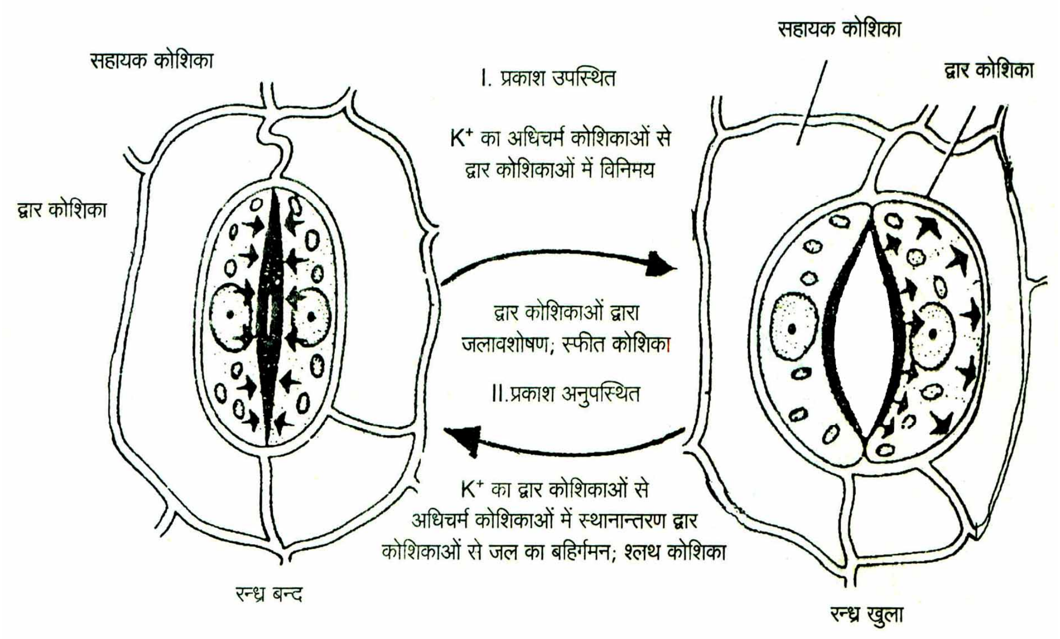
III. ग्लाइकोलेट उपापचय का सिद्धान्त (theory of Glycolate Metabolism)

ऐसा माना गया कि रन्ध्रों के खुलने में ग्लाइकोलेट का निर्माण होता है (जेलीट्ज, 1963) इस ग्लाइकोलेट से कार्बोहाइड्रेट बनता है जो रक्षक कोशिकाओं का परासरणी दाब बढ़ा देता है । साथ ही इस क्रिया में ATP भी बनता है जो रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने में आवश्यक ऊर्जा प्रदान करता है । यह मत भी सर्वमान्य नहीं है ।

IV. सक्रिय पोटेशियम आयन स्थानान्तरण का सिद्धान्त (Theory of Active k^+Transport)

सर्वप्रथम लेविट ने बताया कि रन्ध्रों के खुलने व बन्द होने में पोटेशियम आयनों की भूमिका होती है । फ्यूजीनो (fujino, 1967) ने बताया कि रन्ध्रों का खुलना रक्षक कोशिकाओं में K+ सान्द्रता बढ़ने से होता है । जब रन्ध्र खुले होते हैं तो रक्षिका कोशिकाओं में K+ की संख्या अधिक व बन्द होने पर कम होती है ।

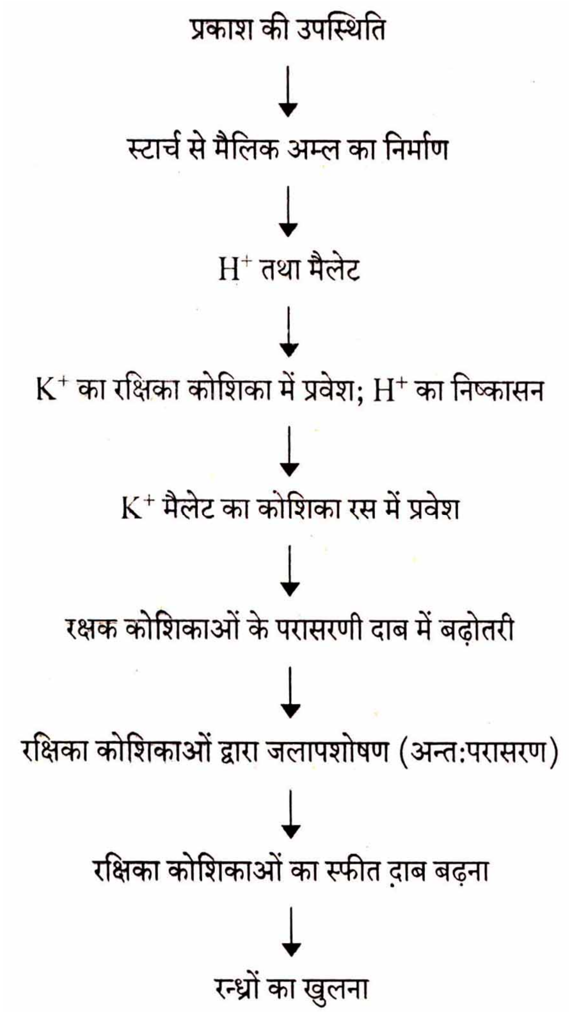
रक्षक कोशिकाओं में K+ का स्थानान्तरण सॉहने व जेलीट्ज (Sawhney and Zelitch, 1969) ने इलेक्ट्रिक प्रोब (Electric probe) व हम्बले व हैसिआओ (Humble and Hasiao,1970) ने सोडियम नाइट्राइट अभिरंजन तकनीक से समझाया । रक्षक कोशिकाओं मैं K+ के सक्रिय परिवहन में ATP का उपयोग होता है । यह ATP चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण से मिलती है । कुछ ATP श्वसन क्रिया से भी प्राप्त होती है ।



चित्र 3.9 : रन्ध्र गति में K^+ आयनों का सक्रिय अभिगमन

ऐसा माना जाता है कि प्रकाश में रक्षक कोशिकाओं का ph बढ़ जाता है जिससे स्टार्च कार्बनिक अम्ल में विघटित हो जाता है । ग्लाइकोलाइसिस की क्रिया में फॉस्फोइनोलपाइरुवेट बनता है जिससे ऑक्जेलो -एसीटिक अस्त का निर्माण होता है । यह शीघ्र ही मैलिक अम्ल में बदल जाता है । यह भौतिक अम्ल H+ तथा मैलेट आयनों में अपघटित हो जाता है । रक्षिका कोशिकाओं को प्लाज्माकला पर सक्रिय H+K+ आयन स्थानान्तरण पम्प के सक्रिय होने से H+ रक्षिका कोशिकाओं से बाहर सहायक कोशिकाओं में और K+ आयन सहायक से रक्षिका कोशिकाओं में

स्थानान्तरित हो जाते हैं । रक्षिका कोशिकाओं की रिक्तिका में K+ व मैलेट की सान्द्रता इनका परासरणी दाब बढ़ा देती है तथा ये कोशिकाएँ जल अवशोषित कर स्फीत हो जाती है और रन्ध्र खुल जाते हैं (चित्र 3.9) ।



इसके विपरीत प्रकाश की अनुपस्थिति में रक्षिका कोशिकाओं का ph कम होता है जिसके फलस्वरूप H+ का मैलेट आपस में क्रिया कर मैलिक अम्ल बना लेते हैं । प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण की क्रिया बन्द होने से ATP नहीं बनते व आयन विनिमय पम्प बन्द हो जाता है । फलस्वरूप K+ का परिवहन सहायक कोशिकाओं व H' का परिवहन रक्षिका कोशिकाओं में होने लगता है । इससे रक्षिका कोशिकाओं का परासरणी दाब कम हो जाता है व जल का बाह्य परासरण होता है । फलस्वरूप रक्षिका कोशिकाएँ शिथिल पड़ जाती हैं और रन्ध्र बन्द हो जाते हैं।

माँसल पौधों मैं रन्ध्रों का खुलना व बन्द होना

माँसल पौधों (Succulent plants) में रन्ध्र दिन के समय बन्द रहते हैं व रात्रि के समय खुलते हैं । उदाहरण ब्रायोफिल्लम, बिगोनिया आदि । इन पादपों में रात्रि के समय कार्बोहाइड्रेट या पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं हो पाता तथा इनमें कार्बनिक अम्ल इकट्ठे होते रहते है ।

CO_2 का निर्माण नहीं होता । फलस्वरूप रन्ध्र खुले रहते हैं । दिन के समय यही इकट्ठे कार्बनिक अम्ल ऑक्सीकृत होते हैं व इतनी अधिक मात्रा में CO_2 निकालते हैं कि प्रकाश संश्लेषण की क्रिया में प्रयुक्त होने पर भी ph कम ही रहती है । अतैव रन्ध्र बन्द रहते हैं । इस समय K+ परिवहन रुक जाता है, रक्षिका कोशिकाओं का परासरणी दाब कम हो जाता है तथा ये क्षितिज पड़ जाती है जिससे रन्ध्र बन्द हो जाते हैं ।

3.9.4 रन्ध्री गति को प्रभावित करने वाले कारक

ऐसे कई पर्यावरणी व अन्य कारक हैं जो रन्ध्री गति को प्रभावित करते हैं । जैसे : प्रकाश, जल, तापमान, CO_2, सान्द्रता आदि ।

1. **प्रकाश :** जैसा कि हम जानते हैं, पौधों में रन्ध्र प्रकाश में खुलते एव अंधकार में बद होते हैं। जेलिच के अनुसार पूर्ण रूप से खुलने के लिए रन्ध्रों को कम तीव्र प्रकाश की आवश्यकता होती है । वर्ण क्रम के लाल और नीले वर्ण खासतौर से नीला वर्ण रन्ध्रों के खुलने के लिए अनुकूल होते हैं । लौफ्टफल्डि (Loftfield) ने यह भी पाया कि कुछ पौधों में रन्ध्र पूर्ण चद्रमा के प्रकाश में खुल जाते हैं ।
2. **तापमान** : ऐसा देखा गया है कि तापमान में वृद्धि होने पर रन्ध्र खुल जाते हैं किन्तु उच्च ताप पर पुन: बद हो जाते हैं । अन्य सभी कारकों के अनुकूल होने पर ही ऐसा होता है । कुछ पौधों जैसे चाय में प्रकाश उपलब्ध होने पर भी O^o C ताप पर रन्ध्र बद रहते हैं । बहुत कम या अधिक तापमान पर प्रकाश संश्लेषण कम होने से यह CO_2 का संचयन हो जाता है और रन्ध्र बद हो जाते हैं । ऐसे ही अनुकूल संश्लेषण के होने से CO_2 सान्द्रता कम हो जाती है और रन्ध्र खुल जाते हैं ।
3. **जल** : वाष्पोत्सर्जन की दर अधिक होने पर पत्तियो तक पर्याप्त जल नहीं पहुँचता जिससे इनकी पर्ण-मध्योतक कोशिकाओं की स्फीति समाप्त हो जाती है । इसके फलस्वरूप रन्ध्र बद हो जाते हैं । आरंभ में जब जल न्यूनता की स्थिति उत्पन्न होती है तो पौधों में आरंभिक मुरझाना (Incipient wilting) आ जाती है । ऐसी स्थिति में रन्ध्र बद हो जाते हैं । एक महत्वपूर्ण सत्य यह भी है कि इस आन्तरिक जल न्यूनता की स्थिति में द्वार कोशिकाओं में माड़ की मात्रा बढ़ जाती है । रन्ध्रों के बद होने में एब्सिसिक एसिड (ABA) का भी योगदान है । जल की कमी होने पर ABA का संश्लेषण होता है जो रन्ध्रों को बद करने में प्रेरक होता है । इसके अलावा जल की कमी होने से CO_2 सान्द्रता कम हो जाती है और रन्ध्र रक्षात्मक रूप से बद हो जाते हैं .
4. **वायुमण्डलीय आर्द्रता:** वायुमण्डल में आर्द्रता होने पर रन्ध्र लम्बे समय तक खुले रहते हैं ।
5. **कार्बन-डाई-ऑक्साइड:** CO_2 की उच्च सान्द्रता होने पर रन्ध्र बद हो जाते हैं तथा निम्न सान्द्रता में खुल जाते हैं । एफ. डारविन (F. Darwin) ने सर्व प्रथम यह देखा कि अंधकार में भी तापमान बढने से रन्ध्र खुल जाते है । मैन्सफल्डि (Mansfield) ने यह बताया कि CO_2 सान्द्रता बढ़ने पर भी तापमान वृद्धि से रन्ध्र खुल जाते हैं । वैसे रन्ध्र गति की क्रिया में CO_2 सान्द्रता के महत्व के बारे में और अध्ययन की आवश्यकता है ।

6. **ऑक्सीजन :** यह हम सभी जानते हैं कि रन्ध्रों के खुलने के लिए ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है । ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में रन्ध्र तेजी से बद होने लगते हैं ।

बोध प्रशन - 1

1. वे पदार्थ जो वाष्पोत्सर्जन की दर को कम करते है उन्हें..... कहते हैं ।
2. वाष्पोत्सर्जन की दर को मापने वाला उपकरण...... कहलाता है ।
3. CO2 की सान्द्रता बढने पर रन्ध्र......... जाते हैं ।

3.9.5 रन्ध्री सूचकांक

सैलिस्वरी (Salisbury) की खोज के अनुसार पत्ती के प्रतिवर्ष क्षेत्र में बाह्यत्वचीय कोशिकाओं और रन्ध्रों की संख्या के बीच एक निश्चित सम्बन्ध होता है । इसी को रन्ध्री सूचकांक (Stomatal index) कहते हैं । इसे निम्न सूत्र से समझा जा सकता है ।

$$I = \frac{S}{E+S} \times 100$$

यहाँ I = रन्ध्री सूचकांक

S= रन्ध्रों की प्रति इकाई क्षेत्र में संख्या

E= बाह्यत्वचा कोशिकाओं की प्रतिइकाई क्षेत्र में संख्या

रन्ध्री सूचकांक पौधे की एक जाति के लिए स्थिर होता है इसलिए इसे एक जाति का विशिष्ट लक्षण माना जा सकता है ।

3.10 बिन्दुस्राव अथवा निस्पंदन (Guttation)

बिन्दुस्त्राव शब्द का सबसे पहले बर्गरस्टीन (Burgerstein) ने प्रयोग किया था । पौधों में द्रव के रूप में जल का स्राव अथवा उत्सर्जन बिन्दुस्त्राव कहलाता है । यह क्रिया सामान्यत : शाकीय पौधों में देखने को मिलती है । इसमें जल की हानि की मात्रा वाष्पोत्सर्जन में होने वाली जल की मात्रा की तुलना में नगण्य होती है । अभी जल की मात्रा की तुलना में नगण्य होती है । अभी तक लगभग 350 पादप जातियों में यह क्रिया देखी गई है । पत्तियों पर जल की बूंदे पत्ती की शिराओं के अन्त पर स्थित जनरन्ध्रों (Hydathods) से स्रावित होती है । इसके अलावा तने के वातरन्ध्रों (lenticels) या पर्ण स्कार (Leaf scars) से भी जल की बूंदे स्रावित होती है ।

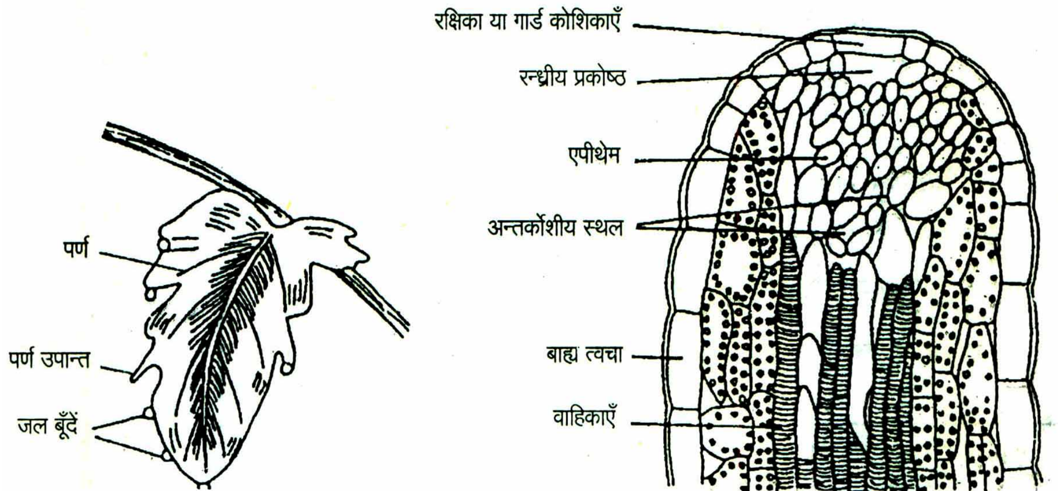
बिन्द्रस्राव में स्रावित होने वाला जल शुद्ध नहीं होता है । इसमें कार्बनिक व अकार्बनिक विलेय उपस्थित रहते हैं । कार्बनिक विलयों में कार्बोहाइड्रेट, अमीनो अम्ल, एन्साइम, नाइट्रोजन यौगिक आदि होते हैं । अकार्बनिक विलयों में M,P,Na,K,Ca,Mg आदि मुख्य रूप से उपस्थित रहते हैं । ये सभी पदार्थ द्रव के वाष्पन के बाद पत्तियों पर लवणों के रूप में रहते हैं और उन्हें हानि भी पहुँचाते हैं । बिन्दुस्राव प्रदर्शित करने वाले पादपों में मुख्य रूप से विभिन्न घासें, स्ट्राबेरी, बालसन, नॉस्टशियन, कोलोकेसिया व कुकरबेटेसी कुल के सदस्य है । बिन्दुस्राव पौधे की सक्रिय वृद्धि के समय होता है जब कम वाष्पोत्सर्जन व अधिक जलावशोषण हो रहा होता है । यह क्रिया सामान्यत : रात्रि के समय व प्रात काल के समय होती है ।

बिन्द्रस्राव पर्णतटों अथवा पर्ण के शीर्ष भाग पर स्थित विशेष छिद्रों से होता है । ये जलरन्ध्र (Water stomata or Hydathodes) कहलाते हैं । ये दो प्रकार के होते हैं

(i) (सक्रिय जलरन्ध्र (Active hydathods). जो विशिष्ट बाह्यत्वची कोशिकाओं से निर्मित होते हैं । इनकी भित्ति पर उपचर्म (cuticle) नहीं होती ।

(ii) अक्रिय जल रन्ध्र (Passive hydathodes), जो कुछ रंगहीन, ढीले रूप से लगे मृदु तक द्वारा संगठित होते हैं । इनके ऊतक एपीथेम (Epithem) कहलाते हैं । ये बाहर की ओर बाह्यत्वचा में उपस्थित जल छिद्रों द्वारा खुलते हैं । पत्ती की सूक्ष्म शिराओं के संवहन स्टैन्ड्स (Vascular strands) इसी एपिथेम के आधार से जुड़े रहते हैं ।

जल छिद्र (water pore) को परिबद्ध करने वाली द्वार कोशिकाओं में गति नहीं होती तथा ये सदैव खुले रहते हैं । ये छिद्र भीतर की ओर एक गुहा में खुलते हैं जिसे रन्ध्रीय गुहा (stomatal cavity) कहते हैं । इसके नीचे कुछ शिथिल मृदुतक कोशिकाओं का समूह होता है जिसे रयीथेम कहा जाता है । जो हमने पहले भी पढ़ा कि जाइलम वाहिकाओं के सम्पर्क में रहती है । प्रात काल के समय अवशोषण की दर अधिक व वाष्पोत्सर्जन की दर कम होती है जिस कारण वाहिकाओं में मूलदाब उत्पन्न होता है । इससे जल
वाहिकाओं में से एपीथेम की कोशिकाओं में चला जाता है और यहाँ से जल रन्ध्रीय गुहा में मुक्त हो जाता है । यही जल फिर बूंदों के रूप में खुले जल छिद्र से बाहर स्रावित हो जाता है (चित्र 3.10 क,ख) ।



चित्र 3.10: (क) पर्ण उपान्तों से जल बूँदों का स्राव; (ख) जल रन्ध्र की आन्तरिक संरचना

रस स्रावण (Bleeding) : बिन्दुस्राव से सम्बन्धित एक और क्रिया होती है जिसे रस -स्रावण कहा जाता है किन्तु दोनों में एक मुख्य अन्तर होता है! वह अन्तर यह है कि पौधों में यदि कोई भाग क्षतिग्रस्त हो जाये तो वहाँ से जो रस स्रावित होता है वह रस स्रावण है । इस रस में भी कई कार्बनिक व अकार्बनिक विलेय घुले रहते हैं । कुछ पादपों में तो बड़ी प्रचुर मात्रा में यह रस स्रावित होता है जैसे अंगूर टौडी खजूर आदि । यह स्राव या तो अत्याधिक मूलदाब का परिणाम

होता है अथवा कुछ विशेष सक्रिय स्रावण कोशिकाओं द्वारा तीव्र स्रावण का पीरणाम जो तनों में जाइलम ऊतकों को घेरे रहती है । पाम आदि कुछ पौधों में तने के क्षतिग्रस्त होने पर यह रिसाव फ्लोयम ऊतकों से होता है । अन्य पौधे जैसे कैलोट्रोपिस, नीरियम आदि में पत्ती अथवा तने के क्षतिग्रस्त हो जाने पर उनमें से जो लेटैक्स स्रावित होता है, वह भी रसस्त्राव ही है ।

3.11 वाष्पोत्सर्जन तथा बिन्दुस्राव में अन्तर

वाष्पोत्सर्जन (Transpiration)	बिन्दुस्त्राव (Guttation)
1. वाष्पोत्सर्जन दिन में होता है ।	यह क्रिया सामान्यत : रात्रि व प्रात:काल होती है ।
2. इस क्रिया में जल की हानि वाष्प के रूप में होती है ।	इसमें जल की हानि जल बूंदों (तरल अवस्था) के रूप में होती है ।
3. इस क्रिया में निकली जल वाष्प शुद्ध होती है।	इस क्रिया में कई कार्बनिक व अकार्बनिक विलेय जल में उपस्थित रहते है ।
4. यह क्रिया रन्ध्रों वातरन्ध्रों व बाह्यत्वचा से - होती है ।	यह क्रिया जलरन्ध्रों द्वारा होती है । कभी - कभी वातरन्ध्रों द्वारा भी हो सकती है ।
5. यह क्रिया रन्ध्रों द्वारा नियन्त्रित होती है ।	इस क्रिया में जलरध्रों का कोई नियन्त्रण नहीं होता है ।
6. इस क्रिया में जल का बहुत अधिक मात्रा में हास होता है।	इस क्रिया में अपेक्षाकृत कम जल का हास होता है ।
7. इस क्रिया में ऋणात्मक मूल दाब पाया जाता है ।	इस क्रिया में होने वाला जल स्राव मूल दाब का ही 8 । परिणाम होता है।
8. इस क्रिया में पत्ती की सतह पर लवण जमा नहीं होते है।	इस क्रिया में जल हास के परिणामस्वरूप लवण पत्ती की सतह पर जम जाते हैं व उसे हानि भी पहुँचाते हैं ।
9. वाष्पोत्सर्जन के फलस्वरूप पर्ण सतह शीतल हो जाती है अर्थात् तापमान में कमी आती ह।	बिन्दुस्त्राव के फलस्वरूप ऐसा कुछ नहीं होता तथा पत्ती की सतह के तापमान में कोई फर्क नहीं पड़ता ।

बोध प्रशन-2

1. बिन्दुस्त्राव .... द्वारा संपन्न होता है।
2. बिन्दुस्त्राव मे जल के अलावा .... का स्त्राव भी होता है।
3. बिन्दुस्त्राव मे जल के अलावा .... के रूप मे होता है।

3.12 सारांश

पौधों के वायवीय भागों से होने वाले जल के वाष्प रूप (water vapour) में होने वाली हानि की प्रक्रिया वाष्पोत्सर्जन कहलाती है । वाष्पोत्सर्जन द्वारा जल हास की मात्रा विभिन्न जातियों में

भिन्न -भिन्न होती है । यह मात्रा प्रकाश संश्लेशण तथा उपापचयी क्रियाओं में प्रयुक्त जल की मात्रा से बहुत अधिक होती है । ऐसा माना जाता है कि जड़ों द्वारा अवशोषित जल का लगभग 95% जल वाष्पोत्सर्जन से खो जाता है । पौधे द्वारा अवशोषित जल की मात्रा तथा उसके शुष्क भार उत्पादन के अनुपात को वाष्पोत्सर्जन अनुपात (Transpiration ratio) या वाष्पोत्सर्जन गुणांक (Transpiration coefficient) कहा जाता है । पौधों में 1 ग्राम शुष्क भार के उत्पादन में 100 - 500 ग्राम जल का वाष्पोत्सर्जन होता है । कपास का एक पौधा औसतन 1 लीटर जल प्रतिदिन, मक्का का पौधा 3 - 4 लीटर प्रतिदिन तथा भोजपत्र का वृक्ष 300 लीटर प्रतिदिन वाष्पोत्सर्जन करता है । कैक्टस के पौधे कुछ मिली. जल ही प्रतिदिन वाष्पोत्सर्जन द्वारा खोते हैं।

वाष्पोत्सर्जन पर्णीय, क्यूटीस्थूलर अथवा वातरध्री हो सकता है । पत्तियाँ वाष्पोत्सर्जन के प्रमुख अंग होती है । इनके द्वारा होने वाले वाष्पोत्सर्जन को पर्णीय कहते हैं । इस सम्पूर्ण क्रिया में जल व ऊर्जा का भारी हास होता है तथा यह पौधों के लिए बहु त हानिकारक व घातक होता है । इसे एक आवश्यक दुर्गुण (Necessary evil) माना जाता है ।

बिन्दुस्राव पत्तियों के उपान्त (margins) से जल का बूंदों के रूप में स्राव को कहते हैं । इस प्रक्रिया को सार्वत्रिक (Universal) नहीं कह सकते । यह सिर्फ शाकीय पौधों में ही पाई जाती है। पत्तियों पर जल की बूंदें पत्ती की शिराओं को अन्त पर स्थित जलरन्ध्रों से स्रावित होती है अथवा कभी -कभी तने के वातरध्रों और पर्ण स्थारो से भी उत्सर्जित होती है । बिन्दुस्राव के स्रावित होने वाला जल कार्बनिक व अकार्बनिक पदार्थो की उपस्थिति के कारण अशुद्ध होता है । वाष्पोत्सर्जन की अपेक्षा इस क्रिया में जल का ह्रास बहु त कम होता है ।

3.13 शब्दावली

1. **क्यूटिकल** : पादप के वायवीय भागों की एपीडर्मिस मोम जैसी परत से ढकी रहती है जिसे क्यूटिकिल कहते हैं । यह सामान्यत ' अपारगम्य व कभी -कभी पारगम्य होती है ।
2. **सहायक कोशिकाएँ:** द्वार कोशिकाएँ एपीडर्मल कोशिकाओं से भिन्न कुछ विशेष प्रकार की कोशिकाओं से घिरी होती हैं जिन्हें सहायक कोशिकाएँ कहते हैं ।
3. **जलरन्ध्र:** ये पत्तियों की शिराओं के अन्त पर स्थित होते हैं जिनसे जल बूंदों के रूप में स्रावित होता है ।
4. **एपीथेम:** रन्ध्रीय गुहा के नीचे शिथिल मृदुतक कोशिकाओं के समूह को एपीथेम कहते हैं ।

3.14 संदर्भ ग्रन्थ

1. प्रोफेसर पी सी. त्रिवेदी, डॉ. निरंजन शर्मा, डी. आर एस. धनखड - 2005, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एव जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर ।
2. डी. ज्ञानप्रकाश शर्मा, डॉ. एन. एस. रनवा - 2005, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, साक्षी पब्लिकेशन हाउस, जयपुर ।
3. डी. वी. सिंह, डॉ. पी सी. पाण्डे, डॉ. डी के. जैन - 2000, पादप शरीर -किया विज्ञान एवं जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन, मेरठ ।

4. डॉ. एन. बी. सक्सेना, डॉ. एम. एल. वर्मा, डॉ. बी. एल. चौधरी - 1999, पादप कार्यिकी एव जैव रसायन, अल्का पब्लिकेशन, अजमेर ।
5. डॉ. कैलाश अग्रवाल, डॉ. ज्योत्सना शर्मा - 2005, पादप शरीर क्रिया विज्ञान, जैव रसायन एव जैव प्रौद्योगिकी, कॉलेज बुक हाउस, जयपुर ।

3.15 बोध प्रश्नों के उत्तर

बोध प्रश्न - 1

1. प्रतिवाष्पोत्सर्जक / वाष्पोत्सर्जनरोधी 2. पोटोमीटर 3. बन्द

बोध प्रश्न - 2

1. जलरन्ध्रों 2. कार्बनिक अकार्बनिक पदार्थों 3. जल बूंदों

3.16 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. वाष्पोत्सर्जन व वाष्पीकरण में मुख्य अन्तर बताइए ।
2. वाष्पोत्सर्जन एक आवश्यक दुर्गुण है, समझाइए ।
3. बिन्दुस्त्राव क्या होता है? बिन्दुस्त्राव तथा वाष्पोत्सर्जन में अन्तर स्पष्ट कीजिए ।
4. प्रतिवाष्पोत्सर्जन किसे कहते हैं? इनके लक्षण तथा उदाहरण दीजिए ।

इकाई 4 : खनिज पोषण (Mineral Nutrition)

इकाई की रूपरेखा

4.0 उद्देश्य

4.1 प्रस्तावना

4.2 पादपों में पाये जाने वाले आवश्यक एव अनावश्यक पोषक तत्व

4.3 खनिज तत्वों की अनिवार्यता का आधार

4.4 खनिज तत्वों के प्रमुख कार्य

4.5 संवर्धन प्रयोग

4.5.1 विलयन संवर्धन

4.5.2 बालू संवर्धन

4.5.3 पोषक परत तकनीक

4.6 हाइड्रोपोनिक्स

4.7 विभिन्न पोषक तत्वों के कार्य

4.7.1 गुरु पोषक तत्व

4.7.2 लघु पोषक तत्व

4.7.3 अन्य क्रियाशील तत्व

4.8 खनिज अवशोषण

4.9 अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक

4.10 सारांश

4.11 शब्दावली

4.12 सन्दर्भ ग्रन्थ

4.13 बोध प्रश्नों के उत्तर

4.14 अभ्यार्थ प्रश्न

4.0 उद्देश्य (objective)

इस इकाई का उद्देश्य :

1. पादप वृद्धि में खनिज लवणों का महत्व एवं उनके पोषण की विस्तृत जानकारी प्राप्त करना' जिससे पादप वृद्धि प्रक्रिया में खनिज पोषक तत्वों की भूमिका का विवेचनात्मक आकलन किया जा सके ।
2. पौधों के जीवन चक्र में आवश्यक एव अनावश्यक तत्वों की जानकारी प्राप्त करना ।
3. गुरु या प्रधान पोषक तत्वों एव लघु या सूक्ष्म पोषक तत्वों की विस्तृत जानकारी तथा पादप वृद्धि में उनकी वृद्धि का अध्ययन करना ।
4. पौधों के जीवन चक्र में खनिज तत्वों के कार्यों एव संवर्धन प्रयोग हाइड्रोपोनिक्स के बारे में विस्तृत जानकारी प्राप्त करना ।

5. पौधों में खनिज अवशोषण व अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारकों का संपूर्ण अध्ययन करना ।

4.1 प्रस्तावना (Introduction)

प्राचीन समय से ही वैज्ञानिकों का यह जानने का प्रयास रहा कि पादपों की वृद्धि किन कारणों से प्रभावित होती है । तत्पश्चात मानव ने यह अनुभव कर लिया था, कि पादप वृद्धि मुख्य रूप से खनिज लवणों पर आधारित हैं, जिनको पादप भूमि से मूलों द्वारा प्राप्त करते हैं । सर्वप्रथम ग्लाबर तथा जान (glober and john 1956) ने यह बताया किं भूमि -में शौरा (salt petre) मिलाने से पौधों की वृद्धि में सुधार होता है ।

सन 1800 - 1880) के मध्य में रसायन विज्ञान के क्षेत्र में द्रुतगति से प्रगति हुई, इससे प्राप्त ज्ञान का उपयोग मृदा तथा इसमें अन्तर्निहित खनिजों के अध्ययन में किया गया । इस संबंध में डीसेसर तथा लिबिंग के नाम उल्लेखनीय है । पौधे मृदा में अन्तर्निहित खनिजों पर निर्भर करते हैं । इस मान्यता को स्थापित करने का श्रेय डी. सोसर (1804) को जाता है, उन्होंने अपनी पुस्तक में स्पष्ट किया है कि -

(1) "पादप राख (plant ash) में पाये जाने वाले विभिन्न खनिजों को पौधे मृदा से अपनी मूलों (roots) द्वारा प्राप्त करते हैं ।

(2) नाइट्रोजन व अन्य खनिज पदार्थ मृदा से प्राप्त किये जाते हैं तथा पादप की वृद्धि एव परिवर्धन के लिए अनिवार्य होते हैं । **लिबिंग** (1940) ने **डी. सोसर** के निष्कर्षों को प्रायोगिक मान्यता प्रदान की । 19वीं शताब्दी के मध्य सभी वैज्ञानिक इस बात से सहमत हो गये कि पौधे की वृद्धि तथा खनिजों में परस्पर संबंध होता है ।

4.2 आवश्यक एवं अनावश्यक पोषक तत्व (Essential & Non-essential Elements)

पादप वृद्धि की सामान्य परिस्थिति में समस्त हरे पौधे बाहय वातावरण से केवल अकार्बनिक पदार्थों को ही प्राप्त करते हैं । हाइड्रोजन, कार्बन तथा ऑक्सीजन के अतिरिक्त अन्य सभी कार्बनिक तत्व प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से मृदा से ही प्राप्त होते हैं । चूँकि इन अकार्बनिक पदार्थों के संभरण का स्रोत खनिज पदार्थ 'होते हैं अत : इन तत्वों को खनिज पोषक (mineral nutrients) तथा इस प्रकार के पोषण को खनिज पोषण (mineral nutrition) कहते हैं । यहाँ यह उल्लेख अति आवश्यक है, नाइट्रोजन वास्तव में खनिज तत्व नहीं है फिर भी इसे खनिज तत्वों की सूची में सम्मिलित किया जाता हैं, क्योंकि पौधे इसकी प्राप्ति भी मृदा की मध्यस्थता से करते हैं

सेक्स तथा **नोप** (sachs and knop 1860) ने कुछ तरल संवर्धनों को प्रयुक्त करते हुए पौधों के विभिन्न खनिज तत्वों को खोजा । इनके अनुसार पौधों के लिए 10 तत्व अनिवार्य अथवा आवश्यक (essential) होते हैं, ये हैं C,H,O,N,P,K,Ca,S,Mg तथा Fe । कुछ अन्य वैज्ञानिकों द्वारा भी उपरोक्त तत्वों को पादप वृद्धि के लिए आवश्यक माना गया है । पौधों में

वास्तव में 60 प्रकार के तत्व उपस्थित होते हैं (Robinson and Edginton,1945) । अनेकों विश्लेषणों व संवर्धन प्रयोगे के आधार पर यह निष्कर्ष प्राप्त किया गया है, कि पादप शरीर में पाये जाने वाले सभी तत्व पादप की वृद्धि तथा जीवनचक्र पूर्ण करने के लिए आवश्यक नहीं होते हैं । वे तत्व जिनकी अनुपस्थिति में पादप अपना जीवनचक्र पूरा न कर सके अथवा सामान्य वृद्धि करने में सक्षम नहीं हो, आवश्यक तत्व (essential elements) कहलाते हैं तथा शेष सभी अनावश्यक तत्व (non-essential elements) कहलाते हैं ।

सारणी 1 : प्रमुख आवश्यक तत्वों की मात्रा, अवशोषित स्वरूप तथा उनके मुख्य कार्य

	आवश्यक तत्व (Essential elements)	**पादप में उपस्थित लगभग मात्रा रूप (App.amount)**	**अवशोषित रूप (Form absorbed)**	**मुख्य कार्य (Major functions)**
1.	कार्बन (Carbon)	45%	CO_2	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
2.	ऑक्सीजन (Oxygen)	54%	H_2O O_2	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
3.	हाइड्रोजन (Hydrogen)	6%	H_2O	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
4.	नाइट्रोजन (Nitrogen)	1-3%	NH_4+ NO_{3--}	अमीनो अम्ल, प्रोटीन क्लोरोफिल,एन्जाइम, न्यूक्लिक अम्ल तथा कुछ सहएन्जाइमों (Coenzyme) का घटक
5.	फॉस्फोरस (Phosphorus)	0.5-1%	H_2PO_4- HPO_4– PO_{4-}	न्यूक्लिक अम्लों फॉस्फोलिपिड्स फॉस्फोप्रोटीन्स, शर्करा फॉस्फेट,अनेक कोएन्जाइम तथा AMP, ADP, ATP GDP, GTP आदि का घटक।
6.	सल्फर (Sulphur)	0.5-1.5%	SO_4 SO_2	प्रोटीनों, अमीनो अम्लो (सिस्टीन, सिस्टाइन, मेथियोनाइन) विटामिन B_1 कोएन्जाइम-A, क्लोरोफिल संश्लेषण

कोई तत्व आवश्यक तब ही होता है जब

1. वह तत्व पादप वृद्धि तथा जीवनचक्र पूरा करने के लिए आवश्यक होता है तथा उसकी अनुपस्थिति में यह संभव नहीं होता है ।.

2. वह तत्व दूसरे तत्व द्वारा प्रति स्थापित नहीं किया जा सकता ।

3. उस तत्व का प्रभाव दूसरे तत्व के साथ अन्योन्य क्रिया (interaction) के कारण नहीं होता अपितु वह सीधे ही उपापचयी क्रियाओं में प्रयुक्त होता है ।

निकोलस (Nicholas,, 1961) ने पीधो में पाये जाने वाले केवल 16 तत्वों को आवश्यक तत्वों की श्रेणी में सम्मिलित किया, इनके अतिरिक्त पाये जाने वाले तत्वों को अनावश्यक तत्व की श्रेणी में रखते हैं । कभी -कभी अनावश्यक तत्व पौधों के लिए विषाक्त भी हो सकते हैं । कुछ तत्व प्राय : अनावश्यक होते हुए भी कुछ पौधों की विशिष्ट उपापचयी क्रियाओं में प्रयुक्त हो सकते हैं जैसे Si,Co,Na,V आदि । जो तत्व पौधों में प्रत्यक्ष रूप से उपापचयी क्रियाओं में भाग लेते हैं, उन्हें कार्यशील तत्व कहा जाता है । आवश्यक तत्वों को पुन : दो समूहों में बाँटा गया है।

1. **गुरु या प्रधान पोषक तत्व** (Macro-element)
2. **सूक्ष्म या लघु पोषक तत्व** (Micro-element)

प्रधान तत्व पौधों में पर्याप्त मात्रा में मिलते है । इसके विपरीत सुक्ष्म या लघुपोषक (micro-nutrients) अथवा अप्रधान तत्व प्राय : अत्यन्त सुक्ष्म मात्रा में उपस्थित होते हैं । अत : इन्हें दुर्लभ तत्व (trace-elements) भी कहा जाता हैं ये निम्म हैं !

गुरु पोषक तत्व :CHONPKS Mg Ca Fe.(10 तत्व)

लघु पोषक तत्व :B, Mn, Cu, Zn, Mo, Cl (6 तत्व)

इनमें से लोहा (Fe) तथा बेरोन (8) को वास्तव में मध्यवर्तो तत्व (intermediate elements) भी कहा जाता है । इनकी सान्द्रता सामान्य प्रधान तत्वों की तुलना में तो कम होती हैं परन्तु लघु तत्वों की तुलना में अधिक होती है । इन दोनों में भी लोहे की सान्द्रता उच्च होती हैं अत : (Fe) लोहे को प्रधान तत्वों तथा B को लघुपोषकों की श्रेणी में सम्मिलित किया गया है ।

C,H,O,N,P आदि सभी पौधों में अनिवार्य रूप से पाए जाते हैं, तथा सम्पूर्ण पादप भार का लग भग 60 प्रतिशत निर्मित करते हैं । ये सभी अनिवार्य रूप से प्राथमिक या मूल (Primary) तत्व होते हैं ।Ca, Na, Mg, K, Fe, SE Ci आदि को अनिवार्यत : द्वितीयक या गौण (secondary) तत्व कहा जाता है । ये सभी पौधों में उपस्थित सम्पूर्ण पादपभार का लगभग 0.05% से1% तक होते हैं ।Zn, Cu, B, Mo, Si, Mn आदि को अनिवार्य सुक्षम पोषक (micro nutrient) कहा जाता है । जोकि सम्पूर्ण पादप, भार का लगभग0.005% से भी कम है । H,O,P जैसे तत्व ऊर्जा स्थानान्तरण अभिक्रियाओं (energy transfer reaction) में प्रयुक्त होते हैं Mg, Fe, Co, Ni, Zn, C, Mn, Co आदि ऑक्सीकरण - अपचयन (oxidation reduction) नियंत्रक के रूप में प्रयुक्त होते हैं ।C,N,S तथा P संचयी (storege) पदार्थ निर्मित करते हैं । Ca, Mg, P, F, Si संरचनात्मक (structural) तत्व रूप में कार्य करते हैं । Na+,K+,Ca+,Mg+,C-PO4-,CO3-,Br-,NO3-आदि परासरण सान्द्रताओं के नियामक (regulator of osmotic concentration) तथा विद्युत अपघटनी साम्यावस्था

(electrolytic equilibrium) के नियमन में सहायक होते हैं ।Fe, Cu, Mu, Zm, L, S, Mo, Ca, Mg, Co आदि उत्प्रेरक (calialytic) के रूप में कार्य करते हैं ।

निम्नलिखित सारणी में विभिन्न खनिज तत्वों के सकेतांक, पादपों में उपलब्ध रूप, परमाणु भार व ऊत्तक में सान्द्रता को दर्शाया गया है ।

सारणी 2 : आवश्यक तत्त्व त था उनकी पादपों में सान्ध्रता

Elements	Chemical symbol	Form availavle to plants	Atomic Wt	Concentration in dry tissue		Relative no of atoms compared to Molybdenum
				(Ppm)	(%)	
Molybdenum	Mo	MoO_4-	95.95	0.1	0.00001	1
Copper	Cu	Cu^+,Cu^{2+}	63.38	6	0.0006	100
Zinc	Zn	Zn^{2+}	65.38	20	0.0020	300
Manganese	Mn	Mn^{2+}	54.94	50	0.0050	1,000
Boron	B	H_3BO_3	10.82	20	0.002	2,000
Iron	Fe	Fe^{3+},Fe^{2+}	55.85	100	0.010	2,000
Chlorine	Cl	Cl-	35.46	100	0.010	3,000
Sulfur	S	SO_4^-	32.07	1,000	0.1	30,000
Phosphorus	P	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{--}	30.98	2,000	0.2	60,000
Magnesium	Mg	Mg^{2+}	24.32	2,000	0.2	80,000
Calcium	Ca	Ca^{2+}	40.08	5,000	0. 5	1,25,000
Potassium	K	K^+	39.10	10,000	1.0	2,50,000
Nitrogen	N	No_3- ,NH_4^+	14.01	15,000	1.5	1,000,000
Oxygen	O	O_2,H_2O	16.00	4,50,000	45	30,000,000

Caron	C	CO_2 H_2O	12.01	4,50,000	45	35,000,000
Hydrogen	H	H_2O	1.01	60,000	6	60,000,000

4.4 खनिज तत्वों की अनिवार्यता का आधार (Criteria of essentiality of elements)

पौधों में प्राप्त समस्त तत्व उनकी वृद्धि और जीवन चक्र के लिए आवश्यक नहीं होते । पौधों में तत्व की अनिवार्यता की परख के लिए पौधों को नियंत्रित संवर्धन दशाओं (control culture conditions) में रखकर उस विशेष तत्व की पूर्ति एकदम से अवरुद्ध कर दी जाती है । यदि धा सामान्य रूप से वृद्धि करता है, तब यह माना जाता है कि वह तत्व विशेष रूप से आवश्यक नहीं है परन्तु यदि पौधे की सामान्य वृद्धि नहीं होती तब यह माना ज़ है, कि वह तत्व अनिवार्य है । पौधा के लिए किसी तत्व की अनिवार्यता सिद्ध करने के लिए आरनोन व स्टाउट (D.I.Arnon and R.P Stout 1939) ने तीन नियम बताएं जिन्हें तत्वों की अनिवार्यता का आधार (criteria of essentiality) बताया गया है ।

I. तत्व पौधे की कायिक वृद्धि एवं जनन (अर्थात जीवन चक्र) के लिए आवश्यक हो तथा इसकी अनुपस्थिति में ये क्रियाएं अवरुद्ध हो जाये ।

II. इस तत्व को किसी अन्य तत्व द्वारा विस्थापित (replace) न किया जा सके ।

III. तत्व पौधे के उपापचय (metabolism) में सीधा प्रयुक्त होता हो अर्थात इनका उपयोग किसी अन्य तत्व के प्रभाव अथवा उपयोगिता को कम करने में न हों । वस्तुत : अनिवार्यता के उपरोक्त नियम अत्यन्त कठोर (strict) है । पौधों के लिए इनकी अनिवार्यता कई कारकों (factors) पर निर्भर रहती है । कुछ परिस्थितियों में एक तत्व पौधे के लिए अति महत्वपूर्ण हो सकता है त था परिस्थितियों के बदलने पर उस तत्व की अनिवार्यता खत्म हो सकती है । इसके अलावा अनेक सूक्ष्म तत्वों की पौधो को बहु त न्यून मात्रा में आवश्यकता होती है । उपरोक्त अनिवार्यता के आधार पर कालान्तर में अनेक पोषक तत्व पादपों के लिए अनिवार्य पाये गये निम्न सारणी (table) में कुछ पोषक तत्वों एवं उनके खोजकर्त्ताओं के नाम दिए गये हैं ।

सारणी 3 : कुछ लधुपोषक तत्त्वों के खोजकर्त्ता एवं खोज का वर्ष

क्र.स.	लघुपोषक	खोज का वर्ष	खोजकर्ता
1.	मैगज़ीन	1922	मैक हारगी (Hargue)
2.	बोरोन	1923	वेरिगटन (Warrington)
3.	जिंक	1926	सोमर तथा लिपमेन (Sommer and Lipman)
4.	ताँबा	1931	लिपमेन तथा मेककिने (Lipman and MC Kinney)
5.	माँलिब्डेनम	1939	आरनन तथा स्टाउट (Aron and Stout)
6.	क्लोरीन	1954	ब्रोयर तथा सहयोगी (Broyer and et.al.)

7.	निकल	1983	एक्स एवं सहयोगी (Eskew et.al.)

4.4 खनिज तत्वों के प्रमुख कार्य

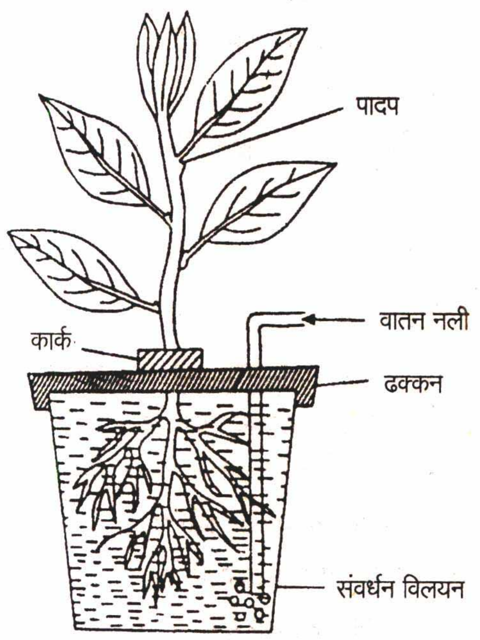
1. **पादप शरीर के घटक** (Components of plant body) : C,H,O कोशिका भित्ति त था प्रोटोप्लाज्म के प्रमुख घटक होते हैं । कार्बोहाइड्रेट प्रोटीन, लिपिड,सेल्यूलोज आदि इन्ही से निर्मित होता हैं । इसके अलावा ये S,P,N ओर के साथ अमीनो अम्ल तथा न्यूक्लिक अम्लो का निर्माण करते हैं ।Ca कोशिका भित्तियों के मध्य उपस्थित मध्य पट्टलिका तथा Mg क्लोरोफिल का प्रयुक्त घटक हैं ।
2. **परासरणी दाब** (osmotic pressure) : कोशिका रस का परासरणी दाब मुख्यत : खनिज लवणों व कार्बनिक अम्लो की सान्द्रता के कारण होता है, परासरणी दाब के फलस्वरूप कोशिकाएँ जल अवशोषित कर स्फीत बनी रहती हैं, जिसके फलस्वरूप वृद्धि होती है ।
3. **इलेक्ट्रोन वाहक** (Oxido-reduction reaction) : कुछ तत्व इलेक्ट्रोन दाता व ग्राही के रूप में कार्य करते हैं अर्थात रासायनिक अभिक्रियाओं में ऑक्सीकरण व अपचयन का कार्य करते हैं । उदाहरण - आयरन (Fe^{++}तथा Fe^{++}) कापर (Cu^{++}तथा Cu^{+}) आदि ।
4. **पारगम्यता** (permeability) : कोशिका झिल्ली की पारगम्यता माध्यम में उपस्थित घनायनों त था ऋणायनों द्वारा प्रभावित होती है सामान्यत : Ca^{++} कोशिकाकला की पारगम्यता बनाये रखने में सहायक होते हैं ।
5. **उत्प्रेरिकी प्रभाव** (catalytic effects) : कुछ एन्ताइम की सक्रीयता में तत्वों का विशेष योगदान होता है । यह तत्व सहकारक (co-factor) अथवा सक्रियक (activater) का कार्य करते हैं । (उदाहरण - Cu,Mn,Zn,Mo,तथा Fe) त था एन्जाइम क्रियाधार जटिल (enzyme-substrati complex) के निर्माण को प्रेरित करते हैं ।
6. **विषैले प्रभाव** (toxic effect) : अनेक खनिज तत्वों की मामूली उच्च सान्द्रता भी पौधों के लिए विषाक्त हो जाती है जैसे-Al,Ar,B,Cu,Pb,Mn,Mo,Ni,Se,Ag,Zn आदि । परन्तु Mg,Ca तथा K इन विषैले तत्वों की विलेयशीलता तथा उपलब्धता को कम कर इनके घातक प्रभाव में कमी लाते हैं । ऐसे प्रतिविष (Antitoxic) तत्वों को संतुलक तत्व (balance-elements) कहा जाता है ।
7. **नियन्त्रणकारी प्रभाव** (balancing effect) : संतुलक तत्वों को नियंत्रणकारी तत्व भी कहते हैं त था इस क्रिया को एन्टागोनिज्म कहते हैं ।
8. **उभय प्रतिरोध क्रिया** (buffer action) : कुछ तत्व कार्बनिक अम्लो के कारण अचानक होने वाले pH परिवर्तनों के प्रति प्रतिरोधक क्रिया करते हैं जैसे. सोडियम एसीटेट ।
9. **Ph पर प्रभाव** (influence on pH) : खनिज तत्व कोशिका रस के H- आयनों की सान्द्रता पर भी प्रभाव डालते हैं Ph पर प्रभाव तत्वों की प्रकृति पर निर्भर करता है ।

4.5 संवर्धन प्रयोग (culture Experiments)

संवर्धन प्रयोगों में पौधों को खनिज पोषकों के कृत्रिम माध्यम में उगाया जाता है । ये सर्वप्रथम 18 वीं शताब्दी में होम (home) ने किये जिन्हें बाद में सेक्स त था नोप (Sachs and knop, 1860) द्वारा विस्तारित एवं परिष्कृत किया गया । संवर्धन प्रयोगों में सर्वप्रथम पोषकों (nutrients) के विलयनों को बनाया जाता है । इनमें प्रयुक्त जल तथा रासायनिक पदार्थ शुद्ध होने चाहिए वरना अध्ययन में अनेक प्रकार की त्रुटियाँ मिलती है । संवर्धन प्रयोग तीन प्रकार के होते हैं - (1) विलयन अथवा जल संवर्धन (solution or water culture),(2) बालू संवर्धन (sand culture) तथा (3) पोषक परतकनीक (nutrient film technique)

4.5.1 विलयन संवर्धन या जल संवर्धन (solution culture):

इस तकनीक के अन्तर्गत पादपों को वांछित तत्वों के विलयन (सारणी 5 एवं 6) में उगाया जाता है । विलयन को पाइरैक्स ग्लास अथवा कड़े काँच के पात्र में उगाया जाता है । पानी में ऑक्सीजन की मात्रा अपेक्षाकृत कम होती है, अत: इसकी पूर्ति के लिए पोषक घोल में निर्वात नलिका (vaccume tube) द्वारा धीरे - धीरे वायु प्रभावित की जाती है । पोषक विलयनों में शैवालों की वृद्धि को संदमित करने के लिए विलयन युक्त पात्र को काले कागज से आवरित कर दिया जाता है । इसके अतिरिक्त कीप द्वारा माध्यम विलयन कम हो जाने पर माध्यम विलयन डाला जाता है । संवर्धन विलयन क्षारीय होने पर इसमें कुछ बूंदें फास्फोरिक अम्ल की डाली जाती है जिससे यह उदासीन अथवा हल्का अम्लीय प्रकृति का हो जाये । यदि प्रयोगों में किसी तत्व के प्रभाव का अध्ययन करना हैं तो उस तत्व के लवण को सम्मिलित नहीं किया जाता है, जिससे इसकी अनुपस्थिति में पड़ने वाले प्रभाव का पता चलता है । उदाहरणार्थ : यदि हम कैल्शियम के प्रभाव का अध्ययन कर रहे हैं तो संवर्धन माध्यम में कैलशियम का लवण नहीं लेते हैं । यदि इसमें पादप सामान्य वृद्धि नहीं दर्शाता है तो इसका अर्थ है यह तत्व के लिए आवश्यक (essential) है । पादप के लिए विशिष्ट तत्व की वास्तविक आवश्यक सान्द्रता को भी इन प्रयोगों द्वारा ज्ञात किया जा सकता है (चित्र 4.1) ।



चित्र 4.1 : विलयन संवर्धन प्रयोग

सारणी 4 : साक्स (Sachs) तथा नॉप (knop) के संवर्धन विलयन के घटक

साक्स का पोषक विलयन		नॉप का पोषक विलयन	
लवण	ग्राम /लीटर	लवण	ग्राम /लीटर
पोटेशियम नाइट्रेट KnO_3)	1.00	पोटैशियम नाइट्रेट (KnO_3)	0.20
कैल्शियम फॉस्फेट [{Ca(PO_4)]	0.50	पोटैशियम हाइड्रोजन फॉस्फेट(KH_2PO_4)]	0.20
कैल्शियम सल्फेट {Ca(SO_4)	0.50	कैल्शियम नाइट्रेट (CA(NO^3)$_2$4H_2O}	0.80
सोडियम क्लोराइड (NaCl)	0.25	मैग्नीशियम सल्फेट (MgSO.7H_2O}	0.20
मैग्नीशियम सल्फेट (MsGO_4 7H_2O)	0.50	आयरन फॉस्फेट (FePO_4)	अतिसूक्ष्म मात्रा
आयरन सल्फ़ेट{$Fe_2SO_4)_3$}	अतिसूक्ष्म मात्रा		
जल	1 लीटर	जल	1 लीटर

सारणी 5 : आर्नन तथा होगलैण्ड (Arnon & hoagland) के संवर्धन विलयन के घटक

लवण (salt)	ग्राम/लीटर (Gm./Litre)	लवण (salt)	मिलीग्राम/लीटर (Mgm./litre)
पॉटशियम नाइट्रेट(KNO_3)	1.02	बोरेट (H_3BO_3)	2.86
कैल्शियम नाइट्रे $\{Ca(NO_3)_2.4H_2O\}$	0.492	मैंग्नीज क्लोराइड ($MnCl_2.4H_2O$)	1.81
अमोनियम हाइड्रोजन फॉस्फेट ($NH_4H_2PO_4$)	0.23	कॉपर सल्फेट ($CuSo_4.5H_2O$)	0.08
मैंग्नीशियम सल्फेट ($MgSO_4.7H_2O$)	0.49	जिंक सल्फेट ($ZnSO_47H_2O$)	0.22
		($H_2MOO_4.H_2O$)	0.09
		$FeSO_4.7H_2O$ (5%)	6ml/लीटर
		Tartaric acid (0.4%)	

संवर्धन विलयन हमेशा आसुत जल (distilled water) में तैयार किया जाता है, ताकि अवांछित तत्वों को रोका जा सके । इसके अतिरिक्त यदि प्रयोगों को लम्बे समय तक रखना हो तो विलयन को 3 - 4 दिन पश्चात परिवर्तित करते रहना चाहिए । पादपों के मृदा रहित संवर्धन को जल संवर्धन या हाईड्रोपोनिक्स (hydroponics) भी कहते हैं ।

4.5.2. बालू संवर्धन (sand culture) :

रस विधि में तत्वों की आवश्यकता का निर्धारण करने के लिए पौधों को बालू (बजरी, क्वाटर्ज या सिलिका) में उगाया जाता है । बालू को पहले शीत (cold) त था गर्म (hot) अम्ल द्वारा उपचारित किया जाता है । ताकि उसमें उपस्थित तत्व निकल जायें । इसके पश्चात् इसे जल से धोया जाता है जिससे अम्ल निकल जाये । इस प्रकार उपचारित बालू पूर्ण रूप से खनिज तत्वों से रहित होती है । इस उपचारित बालू को मिट्टी के गमलों में भर देते हैं । गमलों को अन्दर से पेन्ट कर दिया जाता है । अब इस बालू में पौधे उगाये जाते हैं । संवर्धन विलयन के घोल से पादप को प्रतिदिन सिंचित किया जाता है । जिस तत्व की आवश्यकता (essentialility) का अध्ययन करना होता है, वह तत्व विलयन में अनुपस्थित रहना चाहिए ताकि उसकी अनुपस्थित से पादप वृद्धि व प्रजनन पर होने वाले प्रभाव का अध्ययन किया जा सके । यह तकनीक विलयन संवर्धन से बेहतर है ।

यह जड़ों के वातन (aeration) तथा स्थापन (fixation) के लिए प्राकृतिक वातावरण प्रदान करती है । परन्तु इसमें कई कठिनाईयां भी हैं जो निम्न है.

(A) रेत का तापमान परिवर्तनशील शीत - ऋतु में बहु त कम एवं ग्रीष्मकाल में बहु त अधिक होने से इसके मूल तंत्र पर विपरीत प्रभाव पड़ता है ।

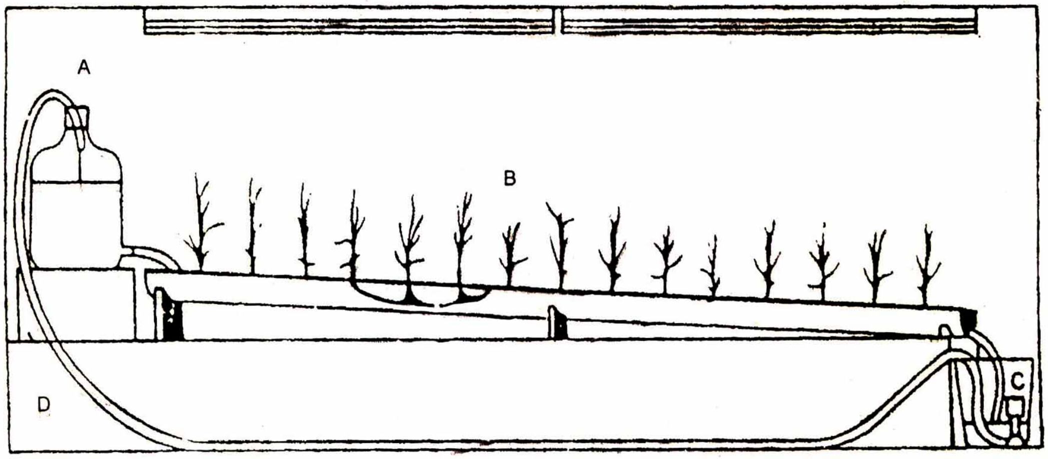
(B) रेत की जल धारण क्षमता (Water holding capacity) कम होने के कारण बार - बार सिंचित करना पड़ता है ।

(C) माध्यय PH को नियंत्रित करना कठिन होता है, इस कारण अधिकतर वैज्ञानिक विलयन संवर्धन प्रयोगों को ही प्राथमिकता देते हैं ।

वर्तमान में रेत के स्थान अन्य उदासीन माध्यम जैसे सिलिका क्वार्टज, वर्मीकुलाइट (vermuclite) आदि का उपयोग किया जाता है । वर्मीकुलाइट की जल अवशोषण क्षमता अधिक होती है यह रेत की अपेक्षा गर्मी में ठंडा व शीतकाल में गर्म रहता है ।

4.5.3 पोषक परत तकनीक (Nutrient film technique) :

यद्यपि विलयन संवर्धन तकनीक के कई लाभ हैं, परन्तु कुछ कमियों के (जैसे मूल वातन कृर्तें, तथा विलयन का परिवर्तन आदि) के कारण कुछ महत्वपूर्ण पादपों जैसे टमाटर आदि को खनिज परत तकनीक द्वारा उगाया जाता है । इसमें खनिज विलयन की एक पतली परत निरन्तर जड़ों के साथ सम्पर्क में रहते हुए बहती रहती है तथा यह विलयन पुर्नचक्रित होता रहता है । इस पुर्नचक्रित विलयन का pH, तथा रासायनिक संगठन स्वचालित दुपक़रन्सें द्वारा नियन्त्रित रहता है । चित्र 4.2 के अनुसार विलयन एक ढलाऊ सतह पर बहता हैं तथा यह एक पात्र में एकत्रित हो जाता हैं, वहाँ से इसे पुन : एक पम्प द्वारा मुख्य पात्र तक पहुँचा दिया जाता है ।



चित्र 4.2 : पोषक तन्त्र तकनीक A,संग्रह पात्र,B. पादप,

C. बहकर स्थत्रिम विलयन, D विलयन का संग्रह पात्र में प्रवाह

4.6 होईड्रोपोनिक्स (Hydroponics)

हाइड्रोपोनिक्स ग्रीक भाषा का शब्द हैं, जिसका शाब्दिक अर्थ है "जल के साथ कार्य करना ' ' वे सभी विधियाँ जिनमें पादपों को उगाने के लिए मृदा के अतिरिक्त किसी अन्य माध्यम का उपयोग किया जाता है हाइड्रोपोनिक्स के अन्तर्गत आती है ।

पादप संवर्धन के लिए मृदा के अतिरिक्त अनेक माध्यम जैसे बालू संवर्धन, पोषक घोल प्रयोग आदि सभी विधियों में माध्यमों में कुछ दोष पाये गये हैं । जिसके कारण इन्हें प्रयोग में लाने से पूर्व इनका रासायनिक विवेचन (chemical treatment) आवश्यक हो जाता ले । वर्तमान में

पोधों के संवर्धन के लिए वर्मीकुलाइट (vermiculite) नामक माध्यम का प्रयोग किया जाता है । यह एक प्रकार का खनिज है जो पृथ्वी में प्राकृतिक अवस्था में उत्पन्न होता है । इसे विशेष प्रकार की ताप भट्टियों मे 2000 f तक गरम करने के पश्चात् जो उत्पाद प्राप्त होता है उसमें अनेक गुद्दा पाये जाते हैं

वमीकुलाएट के गुण (properties of vermiculite)

1. यह रसायनत : अक्रिय (chemically inert) पदार्थ हैं अत : इसे प्रयोग पूर्व किसी रासायनिक विवेचन (chemical treatment) की आवश्यकता नहीं होती है । इस माध्यम द्वारा पौधों को केवल वे ही तत्व प्राप्त होते हैं जो इसमें पोषक घोल के रूप में मिलाये जाते हैं
2. यह अत्यधिक हल्के भार का पदार्थ हैं अत : इसे क्यारियों में स्थानांतरित करना आसान हैं, तथा मृदा की अपेक्षा इसमें जल अवशोषण क्षमता बहुत अधिक होता हैं । यह अपने भार से 4 - 5 गुना अधिक जल अवशोषित कर सकता है ।
3. यह एक बन्ध्य(sterile) माध्यम हैं, अत : खरपतवार व कीटों का प्रकोप नहीं होता है तथा विघटन कम होने से निरन्तर एक के बाद एक कई फसलें उगाई जा सकती है ।
4. उद्योगों में वर्मीकुलाइट का उपयोग अध्यारोधी (insulator) के रूप में किया जाता है । अत : यह पौधे के मूलतंत्र को गर्मियों में ठंडा व सर्दियों में गरम रखता है इसकी ढीली बनावट (loose texture) के कारण मूलतंत्र के विकास में कोई अवरोध उत्पन्न नहीं होता है ।

उपरोक्त गुणों के कारण आजकल पादपों के संवर्धन के लिए वर्मीकुलाइट का उपयोग सर्वाधिक धक किया जाता है । तथा यह तकनीक वर्मीकुलोमोनिक्स भी कहलाती है । इस तकनीक का उपयोग प्राय : उन क्षेत्रों में अधिक किया जाता है जहाँ अत्यधिक वर्षा होती है तथा तापमान कम होता है, अथवा ऐसे औद्योगिक क्षेत्र जहाँ की बंजर भूमि फसल के लिए अयोग्य होती है ।

हाइड्रोपोनिक्स के लाभ (Advantages of hydroponics)

ये निम्नलिखित है ।

(A) **जल (water)** : हाइड्रोपोनिक्स टैंक की विशिष्ट बनावट के कारण अधिक वर्षा से भी फसल पानी में नहीं डूबती तथा वर्मीकुलाइट माध्यम के कारण जल की आवश्यकता भी केवल आधी रह जाती है ।

(B) **कृषि (Cultivation)** : सामान्य कृषि की तुलना में हाइड्रोपोनिक्स अधिक सरल व उपयुक्त है । वर्मीकुलाइट बन्धय माध्यम होने के कारण खरपतवार, कटि व कवक आदि से मुक्त होने से सिंचाई के लिए मजदूरों तथा जुताई के लिए ट्रैक्टर, हल आदि उपकरणों की आवश्यकता नहीं होती है ।

(C) **भूमि (Land)** : सामान्य कृषि के लिए पूर्णत : अनुपयोगी भूमि का उपयोग हाइड्रोपोनिक्स तकनीक द्वारा आसानी से खेती करने में किया जा सकता हैं, जबकि बंजर भूमि को सामान्य कृषि की दृष्टि से उपजाऊ बनाने में बहुत अधिक धन तथा समय की आवश्यकता होती है ।

(D) **फसली की गुणवत्ता (Quality of crop) :** इस तकनीक से उगाई गई फसलें (फल एवं सब्जियों आदि) बाजार में मिलने वाले उत्पादों से उच्च गुणवत्तायुक्त होती है, क्योंकि ये

फसलें संक्रमित एवं जलमग्न नहीं होती हैं, अत : इनके सड़ने गलने की संभावना कम होती है ।

(E) **कटि एवं रोग (pest and diseases) :** हाइड्रोपोनिक्स तकनीक में बन्ध्य माध्यम प्रयुक्त होने के कारण इसमें मृदोढ़ ग्रेग की संभावना नहीं होती, बीजों को बोने से पूर्व उपचारित (disinfect) कर लेने से बीजोड़ रोग (seed borne diseases) से भी फसल को बचाया जा सकता है तथा टैंक को फ़्यूमित चैम्बर में रखा जाये तो वातोड़ रोग (air borne diseases) कीं सभावना भी नहीं के बराबर होती है ।

(F) **सस्यर्वतन (Crop-rotation) :** सामान्य कृषि में मृदा की पोषक क्षमता बनाये रखने हेतु सस्यर्वतन की आवश्यकता होती है, जबकि इस तकनीक के उपयोग से एक ही फसल को निरन्तर अथवा प्रत्येक वर्ष एक ही वर्मीकुलाइट टैंक में उगाया जा सकता है ।

हाइड्रोपोनिक्स के दोष (Disadvantages of hydroponics) :

(A) इस तकनीक में प्रत्येक संसाधनों की लागत अधिक होने से वाणिज्यिक खेती में इसको उपयोग में नहीं लाया जा सकता ।

(B) इस तकनीक में पौधों का पोषण, पोषक घोल के माध्यम से पूर्ण होता हैं अत : इस विधि के प्रयोग के लिए तकनीकी प्रशिक्षण आवश्यक है ।

4.7 विभिन्न पोषक तत्वों के कार्य (Function of different nutrients)

कार्बन हाइड्रोजन तथा ऑक्सीजन मूल रूप से खनिज नहीं हैं लेकिन ये पौधे में उपस्थित लगभग सभी कार्बनिक यौगिकों में मिलते हैं । तथा पौधों के शुष्क भार का प्रमुख भाग निर्मित करते हैं जल (H_2O) को जल जीवन का द्रव (Liquid of life) के रूप में जाना जाता है । C.H.O के स्रोत वायुमडल और जल है । पौधों द्वारा कार्बन, वायु के CO_2 रूप में प्रयुक्त किया जाता है । कार्बन, कार्बोहाइड्रेट, वसा व प्रोटीन संश्लेषण के लिए आवश्यक तत्व हैं, जो कोशिका भित्ति तथा जीवद्रव्य की रचना में प्रयुक्त होता है । H_2O जल में पाये जाते हैं जिन्हें पौधे मृदा से अवशोषित करते हैं, पौधों की जैविक क्रियाओं को सम्पन्न करने हेतु जल अति आवश्यक है ।

4.7.1 गुरु पोषक तत्त्व (Micro nutrients)

1. नाइट्रोजन (Nitrogen)

(i) **स्रोत (source) :** पौधे इसे मृदा तथा वायुमडल से प्राप्त करते हैं । इसे नाइट्रेट, नाइट्राइट व अमोनियम के रूप में मृदा से अवशोषित किया जाता है । यह कार्य मृदा में उपस्थित जीवाणुओं द्वारा सम्पन्न किया जाता है । लेग्यूमिनोसी कुल के पौधों की जड़ों में उपस्थित राइजोबियम एव नील हरित शैवाल, नोस्टोक, आसिलिटोरिया, एनाबिना आदि वातावरण की स्वतंत्र नाइट्रोजन को नाइट्रेट में परिवर्तित कर पौधों को उपलब्ध करवाते हैं ।

(ii) कार्य (functions) :

(1) नाइट्रोजन, प्रोटीन, जीवद्रव्य व एन्जाइमों का प्रमुख घटक एव विटामिन्स का भी महत्वपूर्ण घटक है ।

(2) न्यूक्लिक अम्लो में नाइट्रोजन क्षारक के रूप में प्यूरीन्स व पिरिमिडिन्स में उपस्थित होता है।

(3) यह क्लोरोफिल व साइटोक्रोम अणु में पोरफाइरिन की संरचना का प्रमुख घटक है ।

(iii) अधिकता के लक्षण (effect of higher concentration)

(1) नाइट्रोजन की अधिकता से मूलों की वृद्धि में हास तथा पत्तियों की संख्या में वृद्धि के साथ रग अधिक हरा हो जाता है।

(2) लघुदीप्तकालिक (short day plants) पौधों को अधिक नाइट्रोजन उपलब्ध कराने पर उसमें पुष्पन शीघ्र हो जाता हे

(3) नाइट्रज़ेजन अधिकता से कायिक वृद्धि तीव्र होती हैं तथा पुष्प व बीज कम मात्रा में बनते हैं । इससे फसलों की उपज पर विपरीत प्रभाव पड़ता है ।

(iv) न्यनूता के लक्षण (Deficiency symptoms) :

(1) पौधे सदैव दुबले व निर्बल दिखाई देते हैं

(2) क्लोरोफिल की मात्रा कम हो जाने के कारण पन पीले हो जाते हैं, पुराने पत्ते शीघ्रता से पीले पड़कर गिर जाते हैं, क्योंकि ।N_2 पुराने से नये पत्तों में तेजी से स्थानान्तरित होती है ।

(3) टमाटर व सेब के पत्ती व फलों के रंगों में एन्थोसाइनिन के प्रचुर मात्रा में होने के कारण विपरीत प्रभाव पड़ता है । फूल व फल भी कम मात्रा में बनते हैं ।

(4) प्रोटीन व स्टार्च की मात्रा में कमी आती है । प्रोटीन की कमी के कारण पौधे की वृद्धि रूक जाती है पार्श्व कलिकाएँ सुस्त रहती हैं, जिसके कारण खाद्यानों (Cereals) में अभिलाक्षणिक तल शाखन (tillering) नहीं होता ।

(5) प्ररोह (shoots) बौने, पतले और ऊपर को नुकीले होते जाते हैं, गेहूँ आदि में जड़ों की लम्बाई अधिक हो जाती है, लम्बे समय की प्रसुप्ती (dormavy) व अकाल वृद्धावस्था दिखाई देती है ।

(iv) **रोग (diseases) :** नाइट्रोजन की कमी की स्थिति में पौधे इतने कमजोर व बीमार लगते हैं कि उनकी दशा को सामान्य कुपोषण (general starvation) कहते हैं ।

(v) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** नाइट्रोजन की कमी की पूर्ति के लिए, अमोनियम सल्फेट, कैलिशयम - अमोनियम नाइट्रेट, यूरिया आदि उर्वरकों को प्रयुक्त करते हैं।

2. सल्फर (sulphur)

(i) **स्रोत (source)** सल्फर मृदा में सल्फेट ($SO4^{-2}$) सल्फेट तत्व (S) या आयरन सल्फाइडस (Fes) के रूप में मिलता है । अधिकतर पौधे इसका (SO_4^{-2}) सल्केटस के रूप में अवशोषण करते हैं ।

(ii) **कार्य (functions) :**

(1) सल्फर पौधों में प्रोटीन्स व जीवद्रव्य में तत्व के रूप में पाया जाता है, यह अनेक सल्फर युक्त अमीनो अम्ल जैसे सिस्टीन, सिस्टाइन, मिथायोनिन आदि में उपस्थित होता है ।

(2) यह अनेक विटामिन्स जैसे ग्लूटेथियान, बायोटिन, थायमिन तथा CO-A का प्रमुख घटक हैं ।

(3) सल्फर के कारण मटर कुल के पौधों में ग्रन्थियों का विकास अधिक होता है । इनमें जीवाणु अधिक मात्रा में बनते हैं ।

(4) प्याज लहसुन व ब्रेसीकेसी कुल के पौधों की तीखी गन्ध सल्फर युक्त वाष्पशील तत्वों की उपस्थिति के कारण होती है।

(iii) **अधिकता के लक्षण (effect of higher symptoms) :** सल्फर की अधिकता में पर्णहरित संश्लेषण पर प्रतिकूल प्रभाव होता है ।

(iv) **न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :** इसकी कमी वाले पौधों में नाइट्रोजन की कमी जैसे लक्षण प्रदर्शित होते हैं ये निम्न हैं ।

(1) पत्तियाँ छोटी रह जाती हैं तथा उनमें हरिमाहीनता (chlorosis) उत्पन्न हो जाती है । सल्फर के निश्चल गुण (immobile property) के कारण युवा पत्तों में क्लोरोसिस रोग अधिक दिखाई देता है ।

(2) सल्फर की कमी से पत्ती का आकार छोटा होने के साथ ही लाल या नीलरक्त वर्णकता (pigmentation) या धब्बों से युक्त पीलापन समान्य लक्षण है ।

(3) इसकी अत्यधिक कमी से युवा पत्तों के पर्ण शीर्ष व किनारों का उत्तकक्षय (necrosis) छोटे अंतपर्व, पाश्वीर्य कलियों का असमय विकास, मृत पर्णभागों तथा शीर्षारम्भीय युक्त प्ररोह वाली बहुशाखाओं की उत्पत्ति होती है ।

(4) पत्ते जल्दी गिरते हैं तथा फल निर्माण रुक जाता है ।

(5) सल्फर की कमी से तम्बाकू, चाय, तथा टमाटर की पत्तियों के अग्र मुड़ जाते हैं । पत्तियों के किनारे व अग्र भाग भीतर की ओर एठ जाते हैं ।

(v) **रोग (diseases) :** सल्फर की कमी में उगाये गये चाय के पौधों में चाय पीलापन रोग (tea yellow diseases) हो जाती है ।

(vi) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** नाइट्रोजन तथा फॉस्फोरस युक्त सामान्य उर्वरक (fertilizer) में फसल की आवश्यकता के लिए वांछित मात्रा में सल्फर मौजूद रहता है इसकी कमी दूर करने हेतु मिट्टी में जिप्सम मिलाया जो सकता है ।

3. फॉस्फोरस (phosphorus)

(i) **स्रोत (source) :** इसका प्रमुख स्रोत मृदा है । जड़ें इसको घुलनशील अकार्बनिक फॉस्फेट आयन जैसे:H_2PO_4 व HPO_4 - के रूप में अवशोषित करती हैं । पौधों में यह कार्बनिक यौगिक के रूप में मिलता हैं । मिट्टी में फॉस्फोरस पर्याप्त मात्रा में मिलता है, अत : इसकी न्यूनता प्राय : नहीं होती है । परन्तु कैल्शियम की अधिक मात्रा इसके अवशोषण में बाधक होती है, इसलिये कैल्शियम की अधिकता में उगने वाले पौधे फॉस्फोरस न्यूनता का लक्षण दर्शाते हैं ।

(ii) **कार्य (function) :** पौधों में शुष्क भार का 0.2 से 0.8% तक फॉस्फोरस होता है । फॉस्फोरस एक जीवित कोशिका के कई कार्बनिक पदार्थों जैसे - फॉस्फोलिपिड्स, न्यूक्लिक एसिड, न्यूक्लिक प्रोटीन, को एन्जाइम NAD,NADP,एव ATP आदि का प्रमुख घटक है ।

(iii) **अधिकता के लक्षण (effects of higher concentration) :**

(1) भूमि में फॉस्फोरस की अधिकता, पौधों की नाइट्रेटों के अवशोषण की दर को कम परन्तु उपयोग को अधिक करती हैं जिससे पौधों में समय पूर्व परिपक्वता आ जाती है ।

(2) कई पौधों में फॉस्फोरस की अधिकता विषक्ता का कारण बनती है ।

(iv) न्यनूता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) फॉस्फोरस की कमी के कारण पत्तियों की शिराओं में एन्थोसायनिन निर्मित हो जाता है तथा उतकक्षय भी होता है ।

(2) युवा पौधों की गहरी नीली, हरी या कभी नील -रक्ताभ पत्तियों सहित वृद्धि अवरुद्ध हो जाती हैं तथा असमय ही पत्ते झड़ने लगते हैं ।

(3) एधा (cambium) की सक्रीयता रुक जाती है तथा सुप्तावस्था में बढ़ोतरी हो जाती है ।

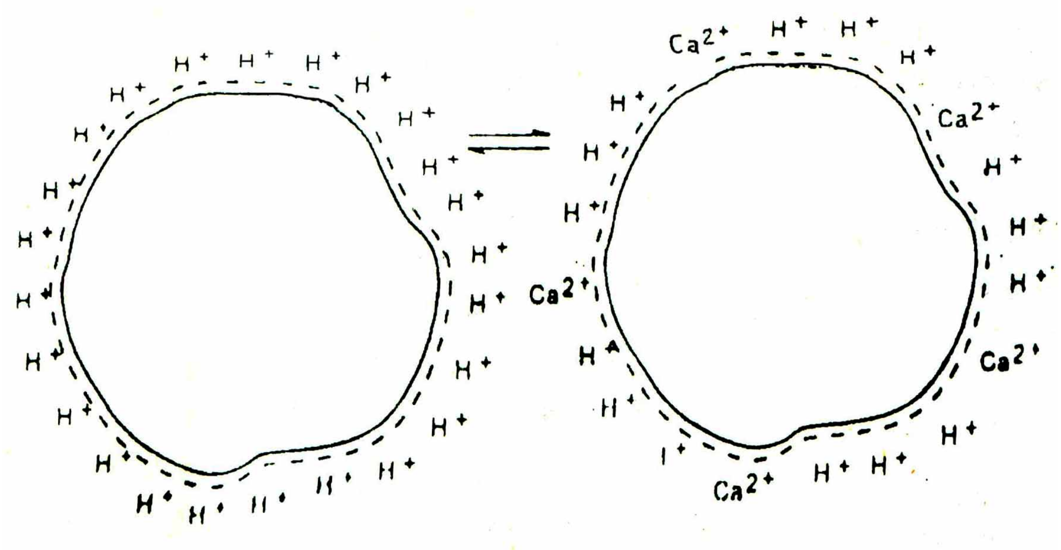
(4) फॉस्फोरस की कमी के कारण विभिन्न रग उत्पन्न हो जाते हैं जैसे पाइसम में मन्द हरा, फैसीओलस में जैतूनी हरा ब्रैसिका तथा खाद्यानों में नीला हरा इत्यादि । फसली पौधों में तल शाखन (tillerning) कम हो जाती हैं ।

(v) **रोग (disease) :** इसकी कमी से हंसिया पत्ती रोग (sickle leaf disease) हो जाता है । इसमें मुख्य शिराओं के पार्श्व में क्लोरोसिस के बाद पर्ण असमानता (leaf asymmetry) होती है ।

(vi) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** इसकी कमी फॉस्फेट अर्वरकों के प्रयोग से दूर की जा सकती है

4. कैल्शियम (calcium)

(i) **स्रोत (source) :** मृदा में यह प्रचुर मात्रा में उपस्थित होता है । यह प्राय: एपेटाइट, कैल्साइट तथा डोलोमाइट अयस्कों के रूप में पाया जाता है । यह मृदा में आयनिक रूप में उपस्थित होता है तथा पादपों द्वारा इसका अवशोषण Ca- आयन के रूप में किया जाता है । कैल्शियम का अवशोषण अयस्कों की विलेयता एव क्षारीयता पर निर्भर करता है । यह कम अम्लीय मृदा में आसानी से प्राप्त हो जाता है अम्लीयता अधिक होने पर कैल्शियम पादपों द्वारा अवशोषित नहीं हो पाता है (चित्र 4.3)



चित्र 4.3 : कैल्शियम का मृदा कणों की सतह पर अवशोषण

(ii) कार्य (functions)

(1) कैल्शियम कोशिका भत्ति की मध्य पट्टलिका का महत्वपूर्ण घटक है । यह वहाँ कैल्शियम पेक्टेट के रूप में पाया जाता है ।

(2) यह कोशिका कला की पारगम्यता को भी नियंत्रित करता है तथा पुराने अंगों में अधिक मात्रा में पाया जाता है ।

(3) कैल्शियम कई महत्वपूर्ण एन्जाइमो जैसे : एमाइलेज, फॉस्फोलाइपेज ए. टी. पी. एज, सक्सीनेट डी हाइड्रोजिनेस, आदि के सक्रीय कारक के रूप मे होता है ।

(4) अनेक पादपों में यह, कैल्शियम आक्सोलेट (calcium oxlate) क्रिस्टिल के रूप में पाया जाता हैं, जैसे नागफनी, मनीप्लांट आदि ।

(5) कैल्शियम अमीनो अम्ल त था कार्बोहाइड्रेट के स्थानान्तरण हेतु आवश्यक है ।

(iii) **न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :** कैल्शियम की कमी के निम्न लक्षण होते हैं :

(1) इसकी कमी प्राय : तरुण पत्तियों, तनों व जड़ों के वर्धन बिन्दुओं के निकट प्रकट होती है पत्तियों पर पतली हरीमाहीन पट्टियाँ विकसित हो जाती है ।

(2) पत्तियों के स्वरूप में भी परिवर्तन होता है, पत्तियों पर भूरी झुलसन (scorching) या चितकबरापन (spotting) स्पष्ट रूप से दिखाई देता है ।

(3) टमाटर में वर्धन बिन्दु प्राय : मृत हो जाते हैं ।

(4) तरुण पत्तियों के सिरे पिछे की ओर अंकुश के समान हो जाते हैं किनारे मुड़ जाते हैं ।

(5) जड़ें अल्पविकसित होती हैं उनमें फाइबर अनुपस्थित होते हैं तथा जिलेटिन जैसे : प्रतीत होते हैं ।

(iv) रोग (disease)

(1) **पुष्प अन्त्य विगलन रोग (blossom end rot disease) :** यह टमाटर में पाया जाने वाला सामान्य रोग है जिसमें युवा (younger) क्षेत्र बन जाता है । यह क्षेत्रगहरे हरे उतको से घिरा रहता है, गूद्दे का रंग संतरे जैसा हो जाता है

(2) **पत्तियों के सिरों का अंकुश में रूपान्तरण (tip hooking disease)** :यह रोग पत्ता गोभी, चुकन्दर तथा तम्बाकू में पाया जाता है । जिनमें पर्ण शिखर (leaf lip) का अकुशन (hooking) हो जाता है । यह दशा प्राय : पत्तियों के सीमांत और केन्द्रीय क्षेत्रों में असमान वृद्धि से होती है ।

(v) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** कैल्शियम न्यून मृदा (calcium difcient soil) में कैल्शियम, अमोनियम नाइट्रेट या सुपर फास्फेट मिलाने से इसकी कमी को पूरा किया जा सकता है । भारतीय मृदा में कैल्शियम की कमी गम्भीर समस्या नहीं है ।

5. मैंग्नीशियम (magnesium)

(i) **स्रोत (source) :** यह भी कैल्शियम की भांति कार्बोनेटों के रूप में पाया जाता है, मृदा में यह विनिमय योग्य क्षारकों के रूप में रहता है । इसमें निक्षालन का गुण अधिक पाया जाता है,अत :यह शीघ्र ही निक्षालित (leached) हो जाता है । अर्थात् जल में धुल जाता है, इसीलिये वर्षा के समय में बालुई मिट्टी में इसकी कमी हो जाती है । पोटाश उर्वरकों के अधिक प्रयोग से इसका अवशोषण कम हो जाता है ।

(ii) **कार्य (functions)**

(1) मैग्निशियम क्लोरोफिल का मुख्य घटक हैं । पर्णहरित के प्रत्येक अणु में मैग्निशियम का एक परमाणु उपस्थित होता

(2) मैग्निशियम कई महत्वपूर्ण एन्जाइमों जैसे - कार्बोक्सिलेज, इनोलेज, ग्लूकोकाइनेज, पायरूवेट काइनेज आदि के सहकारक के रूप में भी कार्य करता है ।

(3) मैग्निशियम राइबोसोम की दो उपइकाइयों को आपस में बांधने का कार्य करता है ।

(iii) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) : यह एक चलायमान तत्व है इसकी कमी प्रौढ़ पत्तियों में पहले आती है

(1) इसकी कमी के लक्षण पहले प्रौढ़ पत्तों पर प्रकट होकर व्यवस्थित रूप से नये पत्तों की ओर बढ़ते हैं ।

(2) कभी - कभी पत्तियों में उत्तकक्षयी धब्बे (necrotic spots) भी उत्पन्न हो जाते हैं ।

(3) कैरोटीन घट जाता है, हरी शिराओं के साथ चितकबरा क्लोरोसिस (mottled chloroses) अर्थात् पर्ण जाल (leaf web) उत्तक पीला या सफेद हो जाता है ।

(4) इसकी कमी से पत्ते मुरझाकर गिर सकते हैं अथवा उनमें विगलन (abscission) उत्पन्न हो सकता है । तना पीताम हरा व प्राय : कठोर एव काष्ठीय हो जाता है ।

(iv) **रोग (diseases)** : तम्बाकू में इसकी कमी से सैण्ड - ड्राउन (sand-drown) रोग होता है। इसमें निचले पर्णों के सिरों पर शिराओं के बीच का रग उड़ जाता है परन्तु शिराएँ हरी रहती है । अत्यधिक कमी से पत्ते सफेद पड़ जाते हैं ।

(v) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** मृदा में मैग्निशियम की कमी दूर करने के लिए मैग्निशियम सल्फेट दिया जाता है । इसके 20% विलयन रूप का पत्तों पर छिड़काव भी किया जाता है ।

6. पोटेशियम (potassium) :

(i) **स्रोत (source) :** मृदा में पोटेशियम की काफी मात्रा होती है । यह प्राय : बायोटाइट, मस्कोबाइट, इलाइट आदि अयस्कों के रूप में पाया जाता है । यह मृदा में घुलनशील एवं विनिमय योग्य (Exchangeable) अवस्था में मिलता है । रेतीली मिट्टी में यह अपेक्षाकृत कम मात्रा में उपस्थित होता है क्योंकि यह आसानी से निक्षालित हो जाता है ।

(ii) **कार्य (function)** -

(1) यह किसी पदार्थ की संरचना में प्रयुक्त नहीं होता है । परन्तु पादपों की संतुलित वृद्धि एवं विकास के लिए आवश्यक होता है । यह तेजी से विभाजित होने वाली विभाज्योतकी कोशिकाओं जैसे प्ररोह शीर्ष, मूल शीर्ष, एधा,तरुण

पत्तियों, विकासशील कायिक एवं पुष्प कलिकाओं में अधिक मात्रा में होता है ।

(2) यह कुछ एन्जाइमों के सक्रियण के लिए उपयोगी होता हैं जैसे फैक्टोकाइनेज ।

(3) यह रन्ध्रों में द्वार कोशिकाओं की परासरण सान्द्रता को नियंत्रित करता हैं, तथा रन्ध्रों को भी नियंत्रित करता हैं ।

(4) प्राय' पोटेशियम कोशिका रस (cell sap) एवं जीवद्रव्य में घुलनशील अवस्था में उपस्थित होता है, तथा परासरण विभव बनाये रखता है ।

(5) विभिन्न जैवरासायनिक अभिक्रियाओं में सक्रीय उपयोगिता के कारण यह वाष्पोत्सर्जन नियमन, कार्बोहाइड्रेट एवं प्रोटीन, न्यूक्लिक अम्ल एवं क्लोरोफिल संश्लेषण, प्रकाश संश्लेषण, फॉस्कोरिलिकरण इत्यादि क्रियाओं में प्रयुक्त होता है ।

(6) पोटेशियम आयन की उपस्थिति में अन्य खनिज तत्वों की अवशोषण दर बढ़ जाती है ।

(iii) **न्यानूता के लक्षण (deficiency symptomes) :** यह तत्व कितनी मात्रा में कम है उसी के अनुसार लक्षण प्रकट होते है|

1. अत्याधिक कमी में (in mild deficiency cases) :

(A) प्ररोहों में शीर्षारम्भी (dieback) के कारण पौधों की मृत्यु हो सकती है ।

(B) असंख्य तलशाखनों (tillering) के साथ पौधों की वृद्धि अवरुद्ध हो सकती है ।

(C) पुष्प अल्पतम मात्रा में या बिल्कुल नहीं लगते हैं ।

2. मामूली कमी में (in mild deficiency cases) :

(1) प्ररोह वृद्धि सीमित हो सकती हैं त था प्ररोह पतले उत्पन्न होते हैं तथा पत्ते झुलसे (scorched) किनारे (margins) वाले त था प्राय : आगे की ओर मुड़ जाते हैं ।

(2) पत्ती का रंग कम हरा या नीला भ हरा हो जाता है । चौड़ी पत्ती वाले पौधों में छोटे अन्त : पर्व तथा अल्प जडतंत्र विशिष्ट लक्षण होते हैं ।

(3) अन्तराशिरिय (Intervenal) क्षेत्रों में क्लोरोसिस विकसित हो जाता है ।

(4) तनों के अन्त : पर्वो में हास और उपज में हास हो सकता है ।

(iv) **रोग (diseases) :** इसकी कमी से प्राय : दो रोग लग जाते हैं ।

(i) **शीर्षारम्भी क्षय रोग (die back diseases) :** अत्यधिक कमी से शीर्ष प्रमुखता (apical dominance) तथा पाश्र्वीय मुकुलो (lateral buds) के पुर्नजनन (regeneration) में हास हो सकता है ।

(ii) **रोजेट (rosette) :** चुकन्दर, अजवायन, त था गाजर में पोटाश की कमी से झाड़ी जैसी वृद्धि या रोजेट दशा उत्पन्न हो जाती हैं, मटर, आलू में यह दशा होती है ।

(v) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** पोटेशियम की कमी को दूर करने के लिए प्राय : क्यूरियेट या पोटाश का सल्फेट प्रयुक्त किया जाता है । पोटेशियम मुख्य रूप से जीवद्रव्य की जलनियोजन (hydration), पारगम्यता तथा क्रियाशील अवस्था को बनाये रखता है । इस रूप में यह अप्रत्यक्ष रूप से लगभग समस्त एन्जाइमेटिक प्रक्रियाओं को प्रभावित करता है |

7. लोहा(iron)

(i) **स्रोत (source) :** आयरन मृदा में बहुतायत से उपस्थित होता है । पौधों द्वारा इसका अवशोषण फेरस (Fe^{++}) तथा फैरिक (Fe^{+++}) दोनों रूपों में किया जाता है । उदासीन तथा क्षारीय (alkaline) मृदा में अघुलनशील रूप में उपस्थित रहता है जिससे पौधों को इसकी उपलब्धता कम हो जाती है तथा न्यूनता के लक्षण प्रकट हो जाते हैं । अम्लीय मृदा में यह घुलनशील अवस्था में होता है इससे इसकी उपलब्धता बनी रहती है ।

(ii) **कार्य (functions)**

(1) आयरन क्लोरोफिल संश्लेषण में उत्प्रेरक का कार्य करता है ।

(2) आयरन साइटोफ़ोम, फेरिडोक्सिन, नाइट्रोजिनेज, परओक्सीडेज तथा हिमेटिन आदि का घटक है ।

(3) आयरन के ऑक्सीकृत तथा उपचयित रूपों में रह सकने के कारण ही आयरन युक्त एन्जाइम श्वसन तथा प्रकाश संश्लेषण में इलेक्ट्रोन स्थानान्तरण अभिक्रियाओं में भाग लेते हैं ।

(4) कोशिकाओं में आयरन ठोस अवस्था में प्रोटोकवच में परिबद्ध कणों फेरिटिन (ferritien) के रूप में क्लोरोप्लास्ट में संग्रहित होता है । यह आसानी से स्थानान्तरित नहीं होता अत : इसकी न्यूनता के ल क्षण सर्वप्रथम पत्तियों में आते है।

(iii) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) तरुण पत्तियों में हरिमाहीनता प्रकट होती है ।

(2) प्रोटीन संश्लेषण, प्रकाश संश्लेषण व श्वसन पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है ।

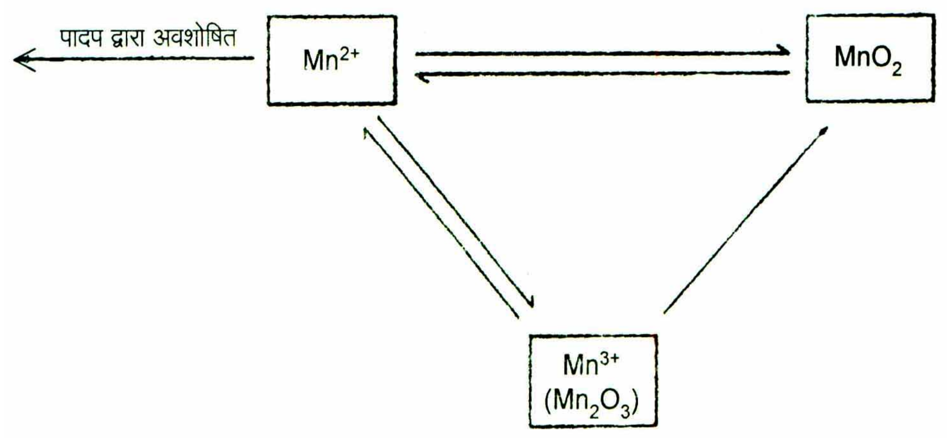
(3) आयरन की कमी से चूना प्रेरित हरिमाहीनता (lime induced chlorosis) हो जाता है। इससे युवा पत्ते सफेद या पीले पड़ जाते हैं । यह रोग प्राय : फलदार वृक्षों में होता है । कभी - कभी पालक, चुकन्दर, ब्रेसिका आदि में भी मिलता है ।

(iv) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** इसकी कमी को दूर करने के लिए फेरसल्फेट (0.5%) तथा चूना आधी मात्रा मिलाकर पत्ती पर स्प्रे करके पर्याप्त आयरन उपलब्ध करवाया जा सकता है । कीलेटीकृत (chelated) आयरन यौगिक जैसे Fe-EDTA के प्रयोग से आयरन की कमी दूर की जा सकती है ।

4.7.2 सूक्ष्मपोषक तत्व अथवा लेश तत्व (Micronutrients or trace element)

8. मैंगनीज (Mangnese) :

(i) **स्रोत (source) :** यह प्राय : ऑक्साइड रूप में (MnO) मृदा में पाया जाता है । पादप इसे मैंगनस आयनों (Mn) के रूप में अवशोषित करते हैं । मैंगनीज डाइऑक्साइड पौधों को बहुत ही कम मात्रा में उपलब्ध हो पाता है । वायवीय परिस्थितियों में मृदा में मैंगनीज के विभिन्न रूपों में रूपान्तरण को (चित्र 4. 4) में दर्शाया गया है ।



चित्र 44 : मैंगनीज का मृदा में विभिन्न रूपों में परिवर्तन

(ii) कार्य (function)

(1) यह मुख्य रूप से श्वसन तथा नाइट्रोजन उपापचय अभिक्रियाओं में प्रयुक्त एन्जाइम के सक्रियक के रूप में कार्य करता है ।

(2) Mn इलेक्ट्रोन स्थानांतरण में भाग लेता है ।

(3) ऑक्सिन, (इडोल एसिटिक एसिड) के विघटन के लिए मैंगनीज को उत्तरदायी माना जाता है ।

(4) यह Fe को Fe आयन में परिवर्तित कर उसकी विलेयता को प्रभावित करता है ।

(5) क्लोरोफिल संश्लेषण के लिए भी यह अत्यन्त आवश्यक है ।

(6) प्राय : कार्यिकी (physiologically) एव उपापचयी (metabolically) रूप से अधिक सक्रिय पादप अंगों में इसकी सान्द्रता अधिक रहती है ।

(iii) **अधिकता के लक्षण (effect of higher concentration) :** मैंगनीज की उपस्थिति आयरन अवशोषण को प्रभावित करती है । मैंगनीज ऑक्सीकरण द्वारा आयरन की विलेयता को कम कर देता है, अत : मैंगनीज की अधिकता आयरन में कमी करती है ।

(iv) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) मैंगनीज की कमी से पत्तियों में क्लोरोसिस उत्पन्न होता है जो इसका महत्वपूर्ण लक्षण है तथा इसकी न्यूनता के ल क्षण प्रौढ़ पत्तियों में विकसित होते हैं, पत्तियों पर मृत उत्तक के धब्बे दिखाई देते हैं ।

(2) प्रबल प्रभावी उत्तक भूरे रंग के हो जाते हैं तथा इन भूरे क्षेत्रों में सर्पिलाकार एंठन पाई जाती है ।

(3) जई की फसल में मैंगनीज की कर्मो से इनमें ग्रे स्पेक रोग उत्पन्न हो जाता है । जिसके परिणामस्वरूप पूरी उपज बर्बाद हो जाती है ।

(4) पादप की वृद्धि रुक जाती हैं तथा पुष्प शीर्ष छिपा हुआ (bling heaves) भी हो सकता है ।

(v) रोग (diseases)

(1) **चुकन्दर का कंलकित पीला रोग :** पत्तियों में अन्तशिरिय क्लोरोफिल होता है ।

(2) **मटर का कच्छ धब्बा रोग** : बीजों में पाया जाता है, इसमें बीज पत्रों में भीतरी सतह पर भूरे काले धब्बे व गड्ढे हो जाते हैं ।

(3) **ग्रे स्पेक रोग :** इसे मेटमैली धारियां या मटमैले धब्बों का रोग भी कहते हैं यह रोग जो जई, मक्का गेहूँ आदि में पाया जाता है इसमें पत्तियों के निचले भाग में मटमैले काले धब्बे पाये जाते हैं । ये धब्बे आपस में मिलकर लम्बी धारियों का रूप ले लेते हैं ।

(vi) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** मिट्टी का PH कम होने से इसकी उपलब्धता बढ़ती है । यदि MnSO4 (0.05%) और चूने की बराबर आधी मात्रा को मिलाकर पत्तियों पर इसका स्प्रे किया जाये तो यह अत्यधिक प्रभावी उपाय होता है । मिट्टी की ड्रेसिंग में 15-30 kg MnSO4 काफी होता है ।

9. **जिंक (Zinc)**

(i) **स्रोत (source) :** जिंक मृदा में बहुतायत से उपलब्ध होता है । परन्तु पादप को अत्यधिक अल्प मात्रा में आवश्यकता होती है । इसकी अधिक सान्द्रता विषाक्त होती है । पादप इसे आयनों (2n++) के रूप में अवशोषित करते हैं ।

(ii) कार्य(function)

(1) यह एन्डोल एसिटिक एसिड (ऑक्सिन) के संश्लेषण में काम आती है ।

(2) यह अनेक एन्जाइमों जैसे कार्बोनिक एनहाइड्रेज, लैक्टिक डी हाइड्रोजिनेज एल्केलाइन फॉरफेटेज, कार्बोक्सीपेप्टाइडेज का प्रमुख अवयव है ।

(3) जिंक फॉस्फोरस के अवशोषण का नियमन करता है तथा RNA के संश्लेषण के लिए आवश्यक है । यह क्लोरोफिल संश्लेषण में भी महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है ।

(4) यह कार्बन डाई - ऑक्साइड के उपयोग एव कार्बोहाइड्रेट उपापचय में उपयोगी होता है ।

(iii) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) पत्तियों में -कनोरोसिस व नैक्रोसिस प्रकट होता है तथा पत्तियाँ चर्मिल हो जाती हैं तथा प्रौढ़ पत्तियों में रोजेट निर्माण व पतझड़ के लक्षण दिखाई देते हैं ।

(2) अत्यधिक न्यूनता में तरुण पत्तियाँ श्वेत हो जाती है जिसे श्वेत कलिका रोग (while bud disease कहते हैं पत्तियों के किनारे एंठ कर बाद में मुड़ जाते हैं ।

(3) शीर्ष कलिका मृत हो जाती है तथा छोटी शाखाओं में रोजेटनुमा हो जाती है जिसे लघुपत्र रोग (little leaf disease) कहते हैं

(4) फलों के आकार, पुष्पन व बीजोत्पादन काफी घट जाता है ।

(iv) रोग (diseases) :

(1) **सिट्रस का फ्रैचिंग रोग :** प्रारम्भ में शिराओं के बीच पीले धब्बे पैदा होते हैं । पत्ते छोटे हो जाते हैं तथा डाइबैक रोग भी हो सकता है ।

(2) **फलदार वृक्षों का रोजेट रोग :** जिंक की कमी से उत्पन्न यह रोग छोटी पत्ती रोग कहलाता है । पत्तों का पीला चितकबरापन, आकार में कमी तथा डाड्बैक शाखाएँ आदि इस रोग के महत्वपूर्ण लक्षण है ।

(3) **धान का खैरा रोग :** संपूर्ण नवोद्भिद (seeding) क्लोरोसिस के कारण भूरा दिखाई देता है तथा अत में मर जाता

(v) **सुधार का उपाय (corrective measures) :** यह प्राय Ph 7.0 से ऊपर वाली मृदा में उपस्थित रहता है । मिट्टी में जिंक सल्फेट (10-30kg/ha) मिलाने पर अच्छा परिणाम प्राप्त होता है । पूरी मात्रा में आधा चूना मिलाकर 0.5%ZnSO के स्प्रे से भी काफी लाभ पहुँचता है । क्षारीय मृदा में इसे सल्फर या अमोनियम सल्फेट के साथ मिलाया जाना चाहिये ।

10. मोलेब्देनम (Molybdenum) :

(i) **स्रोत (source) :** यह मृदा विलयन में एक संयोजी तथा द्विसंयोजी (monovalent &divalent) मोलीब्देट (HMdO4 तथा MoO4- - आयनों के रूप में उपस्थित होता है । इसके अलावा यह MoS2 के रूप में भी पाया जाता है । फॉस्फेट की उपस्थिति में इसका अवशोषण सबसे त था अधिक सल्फेट की उपस्थिति में कम होता है ।

(ii) **कार्य (Function)**

(1) मोलीब्देनम नाइट्रेड रिडक्टेज तंत्र का प्रमुख अवयव है ।

(2) यह अनेक एन्जाइमों जैसे - डीहाइड्रोजिनेस, एव फॉस्फेटेज का सक्रिय कारक हैं ।

(3) यह एस्कार्बिक अम्ल संश्लेषण में सहकारक के रूप में कार्य करता है । एस्कार्बिक अम्ल क्लोरोप्लास्ट की सक्रीयता को बनाये रखने में मदद करता है ।

(4) मोलीबडेनम वायुमंडलीय नाइट्रोजन के स्थिरीकरण में आवश्यक एन्जाइम का महत्वपूर्ण घटक हैं, जो लैम्यूमिनोसी कुल के पादपों में ग्रंथिथकाओं (Nodules) के निर्माण के लिए आवश्यक है ।

(iii) न्यूनता के ल क्षण (deficiency symptoms)

(1) प्राय : इसकी कमी के लक्षण युवा पत्तों में उत्पन्न होते हैं, पत्तों में हल्का पीलापन (क्लोरोसिस) दिखाई देता है तथा पर्णफलक खुल नहीं पाते ।

(2) टमाटर के प्रौढ़ पत्तों में चितकबरे धब्बों के रूप में क्लोरोसिस हो जाते हैं ।

(3) गंभीर पीरस्थितियो में पर्णों का उत्तक क्षय हो जाता है ।

(4) जई (oat) में दानों का क्षय होता है, दाने निर्मित नहीं होते हैं ।

(iv) रोग (diseases)

(1) **लेग्यूमों का द्रवदाह रोग (corrective measures)** इस रोग में पत्ती में पीलापन (paling) मुरझाना, किनारो का मुड़ना व झुलसान हो जाता है ।

(2) **ब्रैसिका का व्हिपटेल रोग** (whiptail disease of brassica) इस रोग में मध्यशिरा के निकट पारदर्शी (transluscent) क्षेत्र उत्पन्न हो जाता है । पर्ण के किनारे ऊपर की ओर मुड़ कर जर्जर हो जाते हैं ।

(v) **रोक थाम के उपाय (corrective measures)** शाकीय पौधों, लैग्यूम, जई, ब्रेसिका आदि में प्राय : मोलिबडेनम की कमी पाई जाती हैं जिन्हें 0.5 से 1.0 kg/ha सोडियम या मोलिबडेनम द्वारा दूर किया जा सकता है । पत्ती पर स्प्रे (0.5 ls 0.02%) करके भी कमी को दूर किया जा सकता है ।

11. बोरोन (boron)

(i) **स्रोत (source)** : बोरोन शिलाओं त था प्रमुद्री अवसादों (marine sediments) में मिलता । मृदा में यह बारोसिलिकेटस (borosilicates) के रूप में उपस्थित होता है । पादप द्वारा इसका अवशोषण घुलनशील बोरेट आयनों (BO3-) के रूप में होता है । पौधो को इसकी 1ppm तक आवश्यकता होती है ।

(ii) कार्य (functions)

(1) बोरोन का सबसे महत्वपूर्ण कार्य पादपों में कार्बोहाइड्रेट स्थानान्तरण का है । कार्बोहाइड्रेट बोरान के यौगिकों के रूप में पादप भागों में एक से दूसरे स्थान पर स्थानांतरित होते हैं।

(2) यह कैल्शियम को घुलनशील रखने व (कैल्शियम पैकटेट निर्माण) में सहायक है ।

(3) यह फीनोल्स के संश्लेषण को कम करता है, अन्यथा फीनोल्स प्रोह शीर्ष को हानि पहुँचा सकते हैं अत : इसकी कमी से शीर्ष भागों व पुष्पों की मृत्यु होना निश्चित है ।

(4) यह परागकणों कं अंकुरण में सहायक है तथा कोशिकाओं में जल अभिक्रियाओं का नियमन करती है ।

(5) यह अनेक एंजाइमी क्रियाओं का संदमन करता है जिनके द्वारा विषाक्त पदार्थ निर्मित होते हैं ।

(iii) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) बोरोन की कमी से पौधे बौने रह जाते हैं । शीर्ष विभाज्योतक (apical meristem.) काला पड़ जाता है तथा वे मृत हो जाते हैं ।

(2) इसकी कमी से पर्णों में सफेद धारियाँ, झुलसन, दानें उभर आना (pimpling) विभाजित अध्यशिरा, जालाकार या एठन जैसी विकृतियाँ उत्पन्न हो जाती है । तथा सीमान्त पत्तों में ऊत्तक क्षय (necrosis) होने से असमय झड़ जाती है।

(3) बोरोन की कमी से फूलों की संख्या में कमी, फूल बध्य या नहीं लगते हैं । इसकी कमी से उत्पन्न फल बदसूरत (malformation) हो जाते हैं तथा वे खाने योग्य नहीं रहते ।

(iv) रोग(diseases)

(1) **तम्बाकू की शिखर अस्वस्थता का रोग :** बोरोन की कमी से होने वाले इस रोग में युवा पत्तों में आधारीय ऊत्तक टूट जाते हैं कलियाँ मर जाती है । प्रौढ़ पर्ण मोटे व भगुर हो जाते हैं मध्य शिरा टूट जाती है ।

(2) **फूल गोभी का भूरापन रोग (browning of cauliflower) :** इसमें जल भीगे क्षेत्र की उत्पत्ति होती हैं जो पूरे पड़ कर कड़े हो जाते हैं । पर्णवृन्त तथा मध्य शिरा पर फफोले हो जाते हैं ।

(3) **सिट्रस के कड़े फल (hard fruits of citrus) :** सिट्रस में शीर्ष का डाई बैंक, फूलों की कमी, फलों का गिर जाना आदि लक्षण दर्शीत होते हैं । फल कुरूप, मोटे छिलके वाले, तथा केन्द्रीय अक्ष के चारों तरफ गौंद भरी रहती है ।

(4) बोरोन की कमी से अन्य बीमारियाँ जैसे - चुकन्दर का हर्ट सेट, सेब का आन्तरिक कार्क, शलजम का वाटर कोर, सिलरी का चटकना, लुसर्न का पीला रोग, आदि हो जाते हैं ।

(v) **सुधार के उपाय (corrective measures) :** -बोरान की कमी वाली मृदा में चूना नहीं मिलाना चाहिये । कभी -कभी बोरान युक्त अर्वरक मिलाये जा सकते हैं । इसकी पूर्ति हेतु पत्तों पर 0.02% बोरेक्स का छिड़काव उपयोगी रहता है ।

12. कापर (copper)

(i) **स्रोत (source) :** कापर प्राय : सभी प्रकार की मृदा में कार्बनिक जटिल पदार्थों के रूप में उपस्थित होता है । पौधों द्वारा ताँबे का अवशोषण क्यूपीरक (Cu^{++}) अथवा क्यूपरस (Cu^{+}) आयनों के रूप में किया जाता है इसकी अधिक सान्द्रता विषाक्त (toxic) होती है ।

(ii) कार्य (functions) :

(1) यह प्लास्टो सायनिन का घटक है अत : प्रकाश संश्लेषण में इलेक्ट्रोन वाहक के रूप में कार्य करता है ।

(2) कापर ऑक्सीकरण -उपचयन द्वारा दो रूप में रहता है इसलिए प्रकाश संश्लेषण व श्वसन क्रियाओं में इलेक्ट्रोन स्थानांतरण का कार्य करता है तथा यह N, संतुलन के लिए आवश्यक है ।.

(3) यह कई एन्जाइमों के **सक्रीयक का कार्य करता है** जैसे - एस्कार्बिक एसिड ऑक्सीडेज, साइटोक्रोम ऑक्सीडेज, पोलीफिनोल ऑक्सीडेज, राइबूलोज डाइफास्फेट कार्बोर्बोक्सीलेज ।

(4) यह क्लोरोफिल के संश्लेषण व CO_2 के अवशोषण में भी सहायक है ।

(iii) न्यूनता के लक्षण(deficiency symptoms) :

(1) यह कायिक वृद्धि की तुलना में दानें निर्माण प्रक्रिया को अधिक प्रभावित करता है, जिससे उपज कम हो जाती है ।

(2) शीर्ष बौने तथा विकृत हो जाते हैं, सीमान्त प्ररोह मुरझा जाते हैं ।

(3) वृद्धि रुक जाती हैं सिट्रस पादप शीर्ष से आधार की ओर सूखने लगता है इसे शीर्ष रम्भी रोग (die back disease) कहते हैं ।

(4) धान्य व लैग्यूम पादपों में पुन : ग्रहण रोग (reclamation disease) हो जाता है । इसमें पत्तियाँ मुरझा जाती है तथा धीरे - धीरे ऊत्तक क्षय होकर मर जाती है । इसे (yellow tip) पीली नोक भी कहते हैं ।

(iv) रोग (diseases) :

(1) **उद्वार अथवा पुन :** ग्रहण रोग : इसे सफेद नोक रोग भी कहते हैं । यह जई चुकन्दर व लैग्यूम में अधिक पाया जाता है इसमें पत्तियों के सिरे क्लोरोटिक हो जाने के कारण बीज निर्माण पर्याप्त नहीं होता है ।

(2) **शीर्षारम्भीय रोग (die back of fruit trees).** यह सिट्रस, बेर, सेब तथा नाशपाति में पाया जाने वाला रोग है । इसमें फल भूरे चमकदार व फटे होते हैं । पत्तियाँ झड़ जाती हैं । अत : उनका शीर्षरंभी क्षय हो जाता है ।

(3) कापर की न्यूनता से आलू के कन्द काले पड़ जाते हैं ।

13. क्लोरीन (chlorine) :

(i) स्रोत (source) : मृदा में यह विभिन्न क्लोराइड के रूप में उपस्थित होता है तथा पादप क्लोराइड आयनों के रूप में ही ग्रहण करता है ।

(ii) कार्य (function)

(1) यह पौधों में क्लोराइड अथवा मुक्त अनायनों के रूप में होता है ।

(2) ब्रोयर के अनुसार क्लोरीन प्रकाश संश्लेषण में आवश्यक होता है । यह MN की तरह हिल अभिक्रिया में आवश्यक है तथा यह भी माना जाता है कि क्लोरीन कोशिका की अम्लीयता बढ़ाकर एन्जाइम सक्रियता को तेज करने का कार्य करती है ।

(3) यह पत्तियों व जड़ों में कोशिका विभाजन के लिए आवश्यक होती है ।

(4) इसकी उपस्थिति में तम्बाकू में जल की मात्रा में वृद्धि हो जाती है ।

(5) यह कार्बोहाइड्रेट उपापचय पर भी प्रभाव डालती है ।

(iii) **न्यूनता के लक्षण(deficiency symptoms) :**

(1) क्लोरीन की कमी के कारण पत्तों की वृद्धि अवरुद्ध हो जाती है । वे मुरझा जाते हैं तथा हरिमाहीनता (chlorsis) एवं उत्तरक्षय प्रदर्शित करते हैं

(2) कुछ पादपों में कांस्यन (bromzing) की अवस्था मिलती है ।

(3) फलों का निर्माण बहुत कम हो जाता है ।

(4) जड़ों की वृद्धि रुक जाती हैं तथा उनमें सूजन आ जाती है ।

14. निकल (nickel)

(i) **स्रोत (source)** निकल औद्योगिक इकाईयों से उत्पादित संदूषित मृदा में पाया जाने वाला महत्वपूर्ण घटक है । यह मृदा मे Ni++ के रूप में पाया जाता है । पाइराइटस, पायरोटीन, निकोलाइट, आर्सेनिक निकल तथा एंटीमनी निकल आदि प्रमुख अयस्क है ।

(ii) कार्य (function) :

(1) निकल पादपों का महत्वपूर्ण तत्व है । पादपों में इसकी सान्द्रता 0.01 से 5 मिग्रा. कि ग्रा. शुष्क भार होती है ।

(2) उच्च पादपों में पाये जाने वाले यूरिएज एन्जाइम का निकल सहकारक है । यह इसकी सक्रियता के लिए आवश्यक होता है क्योंकि इसकी उपस्थिति में यूरिया का अपघटन होता है तथा नाइट्रोजन निष्कासित होती है जो पादपों में उपापचयी क्रियाओं में प्रयुक्त होती है ।

(3) निकल लैग्यूम पादपों में नाइट्रोजन उपापचय तथा ग्रंथिका निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं ।

(4) यह लौह अवशोषण के लिए आवश्यक है ।

(5) यह कई फसलीय रोगों के उपचार के लिए कवकनाशी के रूप में काम में लिया जाता है।

(iii) न्यूनता के लक्षण (deficiency symptoms) :

(1) निकल की कमी से पत्तियों में क्लोरोसिस होता है जो बाद में ऊत्तकक्षय (necrosis) में रूपान्तरित हो जाता है ।

(2) बीज अंकुरण व नवोद्भिद पादपों की वृद्धि संदमित हो जाती हैं, सोयाबीन, मटर आदि में यही होता है ।

4.7.3 अन्य क्रियाशील तत्त्व (other functional elements)

15. कोबाल्ट (cobalt) :

(1) यह आयरन तथा मोलिबडेनम के साथ ही आयन रूप में मिलता है तथा इसे भारी धातुओं में गिना जाता है । ग्रेनाइट तथा अन्य अम्लीय चट्टानें इसका महत्वपूर्ण स्रोत हैं।

(2) यह नीलरहित शैवालों तथा लैग्यूमिनोती पादपों के नोडयूल्स में नाइट्रोजन स्थिरिकरण के लिए आवश्यक होता है ।

(3) यह विटामिन B12 का घटक हैं, जो एक कोएन्जाइम है तथा न्यूक्लिक अम्ल संश्लेषण से सम्बन्धित है ।

(4) यह नाइट्रोजन स्थिरीकरण में कोएन्ताइम के रूप में कार्य करता है ।

(5) कोबाल्ट कार्बोक्सीलेज तथा पेप्टाइडेज एन्जाइमों के सक्रियक का कार्य भी करता है ।

(ii) **न्यूनता के लक्षण :** इसकी कमी के लक्षण प्राय : सहजीवी नाइट्रोजन यौगिकीकरण वाले पादपों में प्रकट होते हैं जो नाइट्रोजन की कमी के लक्षण के समान है ।

16. **सिलिका (silica)** सिलिका, ग्रेमिनि साइप्रेसी तथा इक्वीसिटम पादपों में बहुतायत से पाया जाता है । मृदा में सिलिका आपूर्ति करने पर चावल तथा मक्का में अच्छी वृद्धि होती है । पौधों में यह किट्ट (rust) तथा आसितारोग(mildew) के प्रति प्रतिरोध क्षमता विकसित करता है क्योंकि यह बाह्य त्वचा में जमा हो जाता है तथा कवकों के संक्रमण को रोकता है । पादप ऊत्तकों में यह कापर तथा आयरन की विषाक्तता को कम करने का कार्य करता है ।

17. **सिलेनियम(silenium)** यह कुछ शुष्क क्षेत्रों की क्षारीय (alkaline) मृदा में बहुतायत से पाया जाता है । एस्ट्रागेलस तथा मोरिगा आदि पादप इसे अधिक मात्रा में अवशोषित करते हैं । यह सल्फर के स्थान पर सिस्टिन व मेथिओनिन अमीनों अम्ल के संघटक का कार्य करता है । तथा पौधों में फॉस्फोरस की विषालुता को कम करता है ।

18. **वेनेडियम (vanadium) : आर्नन** तथा **बेसेल** (1953) के अनुसार वेनेडियम सेनीडेसमस ऑक्लीक्स नाम शैवाल के लिए आवश्यक तत्व है तथा क्लोरेला में प्रकाश संश्लेषण के दौरान CO2के अपचयन के लिए आवश्यक है ।

19. **विषाक्त तत्व (toxic elements) :** सिल्वर (Ag), लेड (Pb), मर्करी (Hg) जैसे भारी तत्व लगभग सभी पादपों के लिए विषाक्त (toxic) होते हैं । इनका पादप उत्तकों में संग्रहण पादप कोशिकाओं की उपापचयी क्रियाओं पर विपरीत प्रभाव डालता है इसी प्रकार टंगस्टन, जिरेनियम आदि भी विपरीत प्रभाव देते हैं ।

सारणी 7 : आवश्यक तत्वों की मात्रा, अवशोषित स्वरूप तथा उनके मुख्य कार्य

	आवश्यक तत्व (Essential Elements)	पादप में उपस्थित लगभग मात्रा (App.amount)	अवशोषित रूप (form absorbed)	मुख्य कार्य (major functions)
1.	कार्बन (Carbon)	45%	CO_2	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
2.	ऑक्सीजन (oxygen)	51%	H_2O O_2	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
3.	हाइड्रोजन (hydrogen)	6%	H_2O	सभी कोशिकीय घटकों का निर्माण ।
4.	नाइट्रोजन (Nitrogen)	1-3%	NH_4^+ NO_3^-	अमीनो अम्ल, प्रोटीन, क्लोरोफिल, एन्जाइम, अम्ल तथा कुछ सहएन्नाइमों (Coenzyme) का घटक।
5.	फॉस्फोरस (Phosphorus)	0.05%-1%	$H_2PO_4^-$ HPO_4^{--} PO_4^{---}	न्यूक्लिक अम्लों, फॉस्फोलिपिड्स फॉस्फोप्रोटीन्स, शर्करा फॉस्फेट, अनेक, कोएन्ताइप्स तथा AMPE ADP, ATP, GDP,

				GTP आदि का घटक।
6.	सल्फर (Sulphur)	0.5%1.5%	SO_4 SO_2	प्रोटीन अमीनो अम्ल (सिस्टीन, सीस्टाइन, मेथियोनाइन) विटामिन B, कोएन्जाइम A, क्लोरोफिल संश्लेषण।
7.	पोटेशियम (potassium)	0.3-6.0%	K^+	स्टार्च संश्लेषण,प्रकार संश्लेषण, श्वसन, प्रोटीन उपापचय तथा फार्शफोरिलीकरण से संबन्धित एयन्जाइमो का सक्रियक,कला पारजाम्यता आयन संतुलन,रन्ध्र गति।
8.	कैल्शियम (Calcium)	0.1-3.5%	Ca^{++}	मध्यपटीलिका या कोशिकाभीति का धटक, एंजाइमो सक्रियक के रूप मे,पारगम्यता नियंत्रण,कोशिका भितियों का विन्यास
9.	मैग्नीशियम (Magnesium)	0.5-0.7%	Mg^{++}	माशयपालिका या कोशिकाभीति का धतक-SH समूह युक्त एंजाइमो का सकरिक तथा कुछ एंजाइमो का सहकारक,राइबोसोम उप इकाइयो को बाँधने मे सहायक
10.	आयरन (Iron)	0.001-0.15%	Fe^{++} Fe^{+++}	साइटोक्रोम,फेरेदाक्सिन,फाए टोक्रोम,पराक्सिडेज नाइट्रोजिनेज आदि का धतक नाइटेर्टे रिड़कटेज का सक्रियक,क्लोरोफिल संश्लेषण।
11.	मैंगनीज (Maganese)	5-1500ppm	Mn^{++}	क्लोरोफिल संश्लेषण। प्रकाश में o_2 विमुक्ति तथा इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण ।

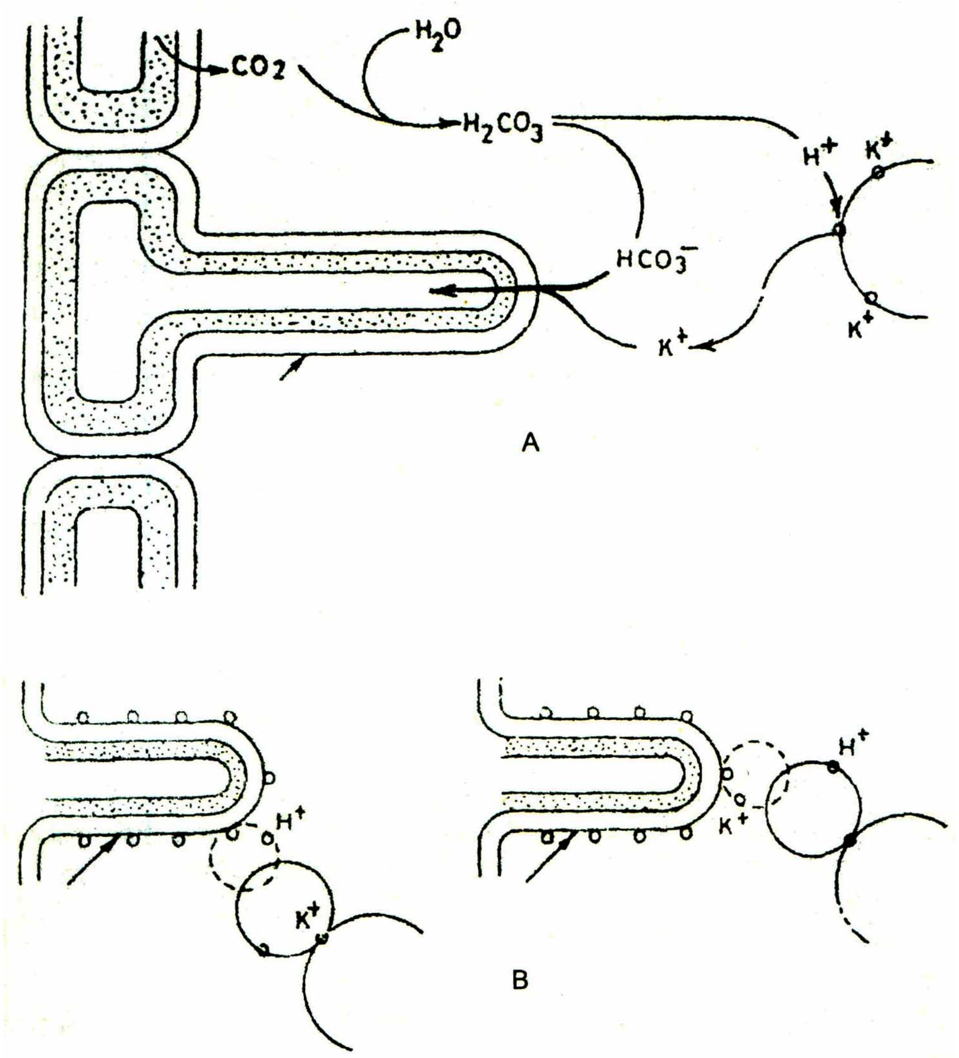
12.	जिंक (Zinc)	3-150ppm	Zn^{++}	अनेक एंजाइमो का सक्रयक,आक्सीन (Auxin-IAA) संश्लेषण मे CO2 विमुक्ति मे आवश्यक
13.	बोरॉन (Boron)	2-75ppm	Bo_3^{3}-	कारबहाइडेड तथा आक्सीन स्थानांतण, पुष्पन,फल निर्माण तथा कोशिका विभाजन,स्टार्च-शर्करा संश्लेषण मे सहायक
14.	कॉपर (Cooper)	2-75ppm	Cu^{++}	एस्कॉरबिक एसिड आक्सीडेज तथा फिनोल आक्सीडेज तथा प्लास्तोसायनिन का धटक,क्लोरोफिल संश्लेषण मे सहायक
15.	मोलिब्देनम (Molybdenum)	अतिसूक्ष्म मात्रा (2-ppm)	$HMoO_4^-$ $HMoO_4^{--}$	नाइट्रोजन रिडेक्टेज व नाइट्रोजीनेज का घटक । डिहाईड्रोजिजन व फॉस्फेटेज का सक्रिय। ऐस्कॉर्बिक अम्ल व टेनिन संश्लेषण।
16.	क्लोरीन (Chlorine)	100-30ppm.	Cl^-	आयन सन्तुलन में सहायक जल का प्रकाशीय जलअपघटन तथा इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण।

4.8 खनिज अवशोषण

मृदा में उपस्थित व पौधों के लिए आवश्यक विभिन्न तत्व प्राय: खनिज लवणों के रूप में होते हैं, जबकि पौधे इनका अवशग़ोशण आयनों के रूप में करते हैं । मृदा में खनिज तत्व तीन रूपों में पाये जाते हैं । ये हैं : (1) घुलित (2) अधिशोषित (adsorbed) तथा यौगिक रूप (compand) प्रथम दो स्थितियों में ये तत्व आयनों के रूप में, जबकि अन्तिम रूप में अन्य तत्वों अथवा लवणो से क्रिया कर अप्राप्य यौगिकों के रूप में रहते हैं । घुलनशील पोषक मृदा जल के सहयोग से मृदा विलयन (soil solution) का निर्माण करते हैं अधिकांश पौधे खनिज लवणों का अवशोषण मृदा विलयन तथा अधिशोषित आयनों के रूप में करते हैं । लवणों का अवशोषण निष्क्रिय एव सक्रिय विधियों द्वारा होता है ।

4.8.1 निष्क्रिय आयन अवशोषण (passive absorption)

निष्क्रिय अवशोषण सामान्यत : उस अवस्था में होता है,जब कोशिका तथा विलयन का विद्युत रासायनिक विभव इसके अनुकूल हो । यदि अवशोषित आयनों का कोशिका के भीतर बंधन होता रहे तो निष्क्रिय अवशोषण लम्बी अवधि तक जारी रह सकता है । पुन : यह अवशोषण उसी अवस्था में होता है जबकि कोशिका झिल्लियों आयनों का च्यवन (leakage) हो सकता है । अनेकों प्रयोगों के आधार पर निष्कर्ष स्वरूप प्रतिपादित है कि अन्य अनुकूल परिस्थितियों (यथा मृदा विलयन तथा कोशिका के विद्युत रासायनिक विभव की अनुकूलता) के अतिरिक्त लवणों के निष्क्रीय अवशोषण के लिए कोशिका झिल्लियों में च्यवन क्षमता का होना भी आवश्यक है जो लगभग सभी पादपों में पाई जाती है । निष्क्रिय अवशोषण में निम्नलिखित उपक्रियाओ का अवलोकन किया गया ।

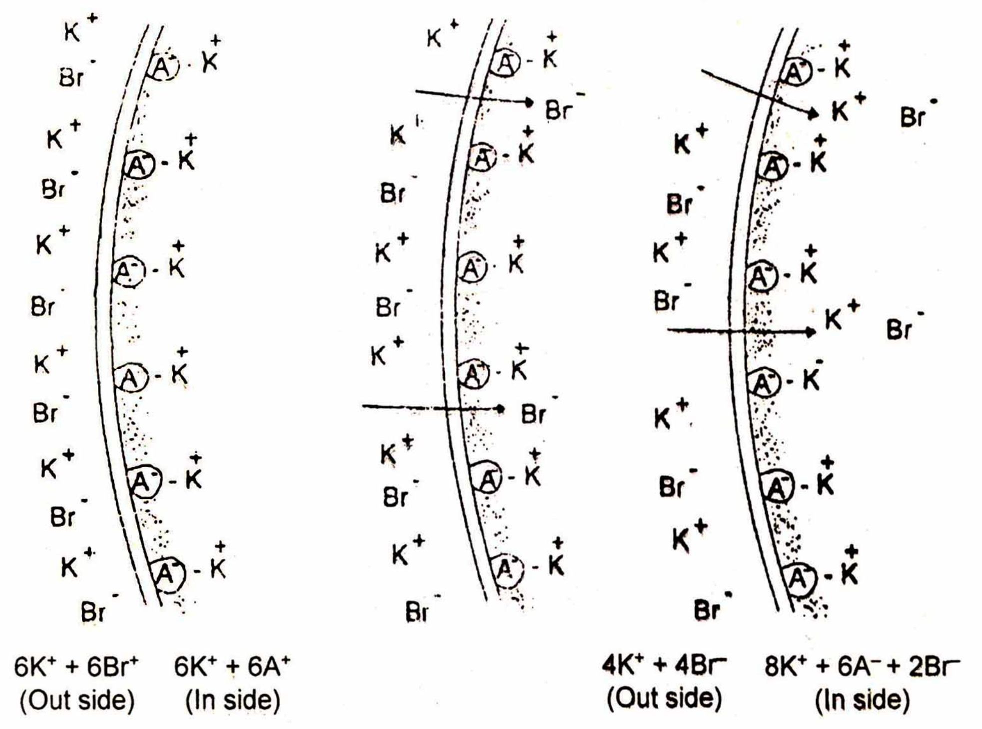


चित्र 4.5 : मृदा से भूलों में धनायनों का अभिगमन :
A. कार्बन डाई - ऑक्साइड परिकल्पना, B. सम्पर्क विनिमय संकल्पना

1. बाह्य एव आभासी युक्त अवकाय
2. आयन विनिमय (a) सम्पर्क विनिमय परिकल्पना II कार्बोनिल अम्ल विनिमय परिकल्पना
3. डोन्नान संतुलन (चित्र 4.6)

4.8.2 सक्रिय आयन अवशोषण (Active ion absorption)

विभिन्न प्रयोगों द्वारा यह ज्ञात हुआ कि कोशिकाओं द्वारा धनायनों तथा ऋणायानों का इनकी सान्द्रता प्रवणता के विपरीत संचयन किया जाता है । जो इतना अधिक होता है कि इसे अब तक प्रतिपादित यौगिक परिकल्पनाओं जैसे : आयन विनिमय तथा डोनान संतुलन द्वारा नहीं समझाया जा सकता है । नाइटेला क्लेवेटा, वेलोनिशा स्क्रोफाइसा, तथा अन्य शैवालों के कोशिका विश्लेषण से **हागमैन्ड व क्लेंडर (1944)** ने यह प्रदर्शित किया है कि कोशिका रस में संचयित लवणों की मात्रा बाइय विलयन को अपेक्षा निश्चित रूप से अधिक होती हैं ।



चित्र 4.6 : डोनान संतुलन

इन प्रयोगों के अनुसार लवणों के अवशोषण में उपापचयी ऊर्जा की आवश्यकता होती है । ऊर्जा की सहायता से आयनों के अवशोषण तथा परिवहन को सक्रिय आयन अवशोषण (active ion absorption) कहा जाता है । कोशिकाओं में बाहय विलयन से आयनों के अवशोषण की दर इतनी तीव्र होती है कि इसकी विवेचना निष्क्रिय अवशोषण द्वारा कठिन होती है । अत :(1) लवणों का तीव्र अवशोषण कोशिकाओं की उपापचय क्रियाओं की तीव्रता पर निर्भर करता है । (2) कोशिकाओं में आयनों की उच्च सान्द्रण इन आयनों की सान्द्रता प्रवणता के प्रतिकूल होता है ।

इस प्रकार का सान्द्रण उपापचय ऊर्जा के व्यय से ही संभव है । उपरोक्त प्रमाण यह स्थापित करने के लिए पर्याप्त हैं कि कोशिकाओं में लवणों का अवशोषण निष्क्रिय रूप से न होकर सक्रिय रूप से होता है ।

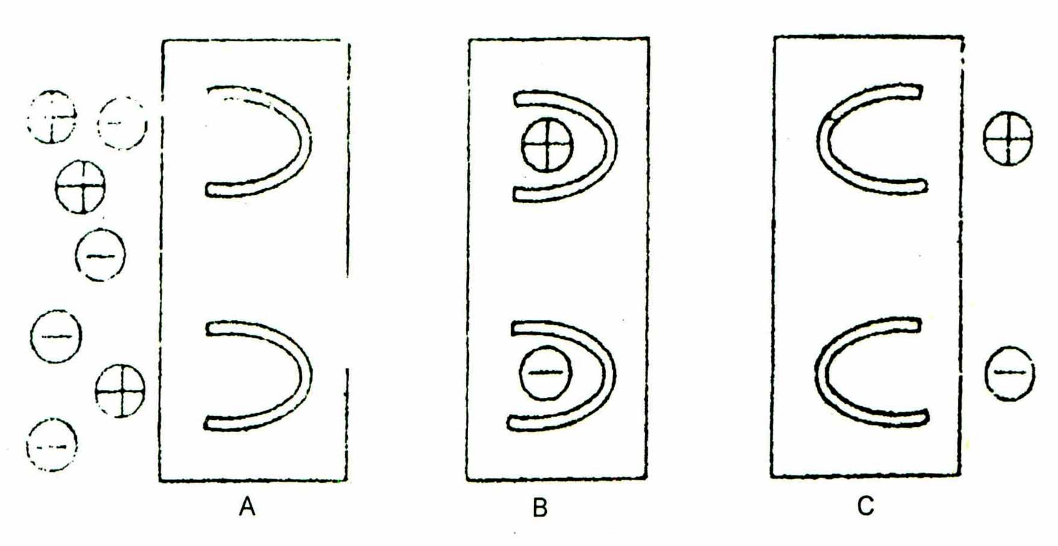
सक्रिय अवशोषण -के सुस्पष्ट करने हेतु विभिन्न प्रयोगों के आधार पर लवणों (आयनों) के सक्रिय अवशोषण की क्रियाविधि को स्पष्ट करने योग्य संकल्पनाएं निम्न है - (a) वाहक परिकल्पनाएं (b) साइटोक्रोम पम्प परिकल्पना (c) लेसिथिन अणु 7पीरकल्पना (d) धनायन सोपान सिद्धान्त (e) धनायन पम्प ।

(a) **वाहक परिकल्पना (carrier hypothesis) :** इसके अनुसार कोशिकाओं के भीतर कुछ आन्तरिक अवकाश (internal space) के अस्तित्व को माना गया है । उपापचय ऊर्जा के कारण कोशिका के भीतर जिस स्थान में आयनों का प्रवेश होता है, उसे आन्तरिक अवकाश कहा गया है (कोशिका द्रव्य तथा प्लाज्मोडेस्मेटा को जो कि कोशिका के जीवित भाग हैं, उन्हें आन्तरिक अवकाश माना जाता है । यह अवकाश या लवणों के अभिगमन का मार्ग अन्य मार्गों की तुलना में अधिक प्रतिरोध वाला मार्ग है । बाहय एवं आन्तरिक अवकाशों के मध्य का संधि क्षेत्र आयनों के स्वतंत्र विसरण के लिए अपरागम्य होता है । इस क्षेत्र से होते हुए आयनों के अभिगमन के लिए कुछ विशिष्ट वाहकों की आवश्यकता होती है । ये वाहक बाहय अवकाश में आयनों से सयुक्त होकर इन्हें आन्तरिक अवकाश में ले जाकर मुक्त कर देते हैं । इस अपारगम्य अवरोध को प्राय झिल्ली कहा जाता हैं तथा वाहक इस झिल्ली पर उपस्थित होते हैं । वाहक सकल्पना का सबसे महत्वपूर्ण पक्ष वाहक आयन कॉम्पलेक्स का बनना है (चित्र 4.7) ये कॉम्पलेक्स उपर्युक्त वर्णित अपरागम्य क्षेत्र में अभिगमन करने की क्षमता रखते हैं । वाहक आयन कॉम्पलेक्स का अभिगमन केवल एक ही दिशा यानि बाहर से भीतर की ओर हो सकता है । खनिज लवणों के सक्रिय अवशोषण तथा परिवहन के सम्बंध में निम्नलिखित तीन प्रमाण वाहन संकल्पना की पुष्टि करते हैं -

(1) समस्थानिक विनिमय

(2) संतृप्ता का प्रभाव

(3) आयनों की अवशोषण विशिष्टता ।



चित्र 4.7 : वाहक संकल्पना ढाँचा

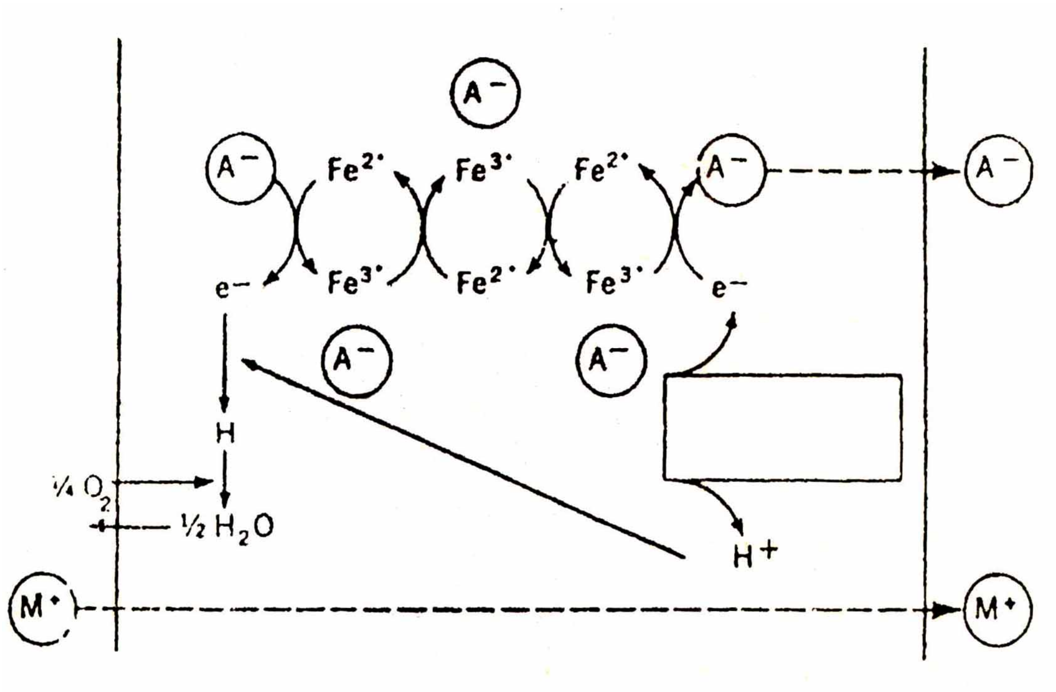
(b) **साइटोक्रोम पम्प पारेकल्पना(cytochrome hypothesis) :** इसे ऋणायन सोपान सिद्धांत (anion ladder theory) भी कहते हैं, हालांकि पौधों में लवणों का संचयन उपापचय ऊर्जा पर निर्भर है, अत : इनके अवशोषण तथा श्वसन में मात्रात्मक सम्बन्ध होता है । लुन्डेगर्थ तथा बर्स्टमि (1933) के प्रयोगोनुसार पौधों में ऋणायनों के उच्च अवशोषण से श्वसन दर में वृद्धि होती है । यह वृद्धि अवशोषित ऋणायनों की मात्रा से सीधे सम्बन्धित होती है । इस परिकल्पना को लवण श्वसन परिकल्पना (salt respiration hypothesis) भी कहते हैं (चित्र 48) ।

(c) **धनायन सोपान सिद्धांत (Cation ladder theory) :** मिटलटनन तथा सैल (1975) ने धनायन सोपान सिद्धांत ' को प्रतिपादित किया । उनके अनुसार कोशिका झिल्लियों पर स्थिर ऋणावेशित स्थलों (static negatively changed sites) की श्रृंखलायें उपस्थित होती है । धनायनों के एक स्थल से दूसरे स्थल की ओर अधिगमन के दौरान इन स्थलों का एकान्तर रूप से निर्माण तथा विकास होता रहता है ।

(d) **धनायन पम्प (cation pump) :** यह अवलोकन किया गया हैं कि कोशिका झिल्ली में अथवा इसके समीप अवस्थित ATP अणुओं के जल विश्लेषण के दौरान Na^+ तथा K^+ आयनों की संख्या में तीव्र वृद्धि होती हैं इससे यह अनुमान लगाया जा सकता है कि ATP धनायनों के अन्त:पुर (influx) का उत्सर्जन करते हैं । कुछ कार्बनिक पदार्थों द्वारा जो ATP से जटिलों का निर्माण कर सकते हैं धनायनों को पकड़ लिया जाता है । कोशिका झिल्ली में अवस्थित कार्बनिक पदार्थों के सहयोग से धनायनों का परिवहन परस्पर दो विपरीत प्रकार की क्रियाओं द्वारा हो सकता है -

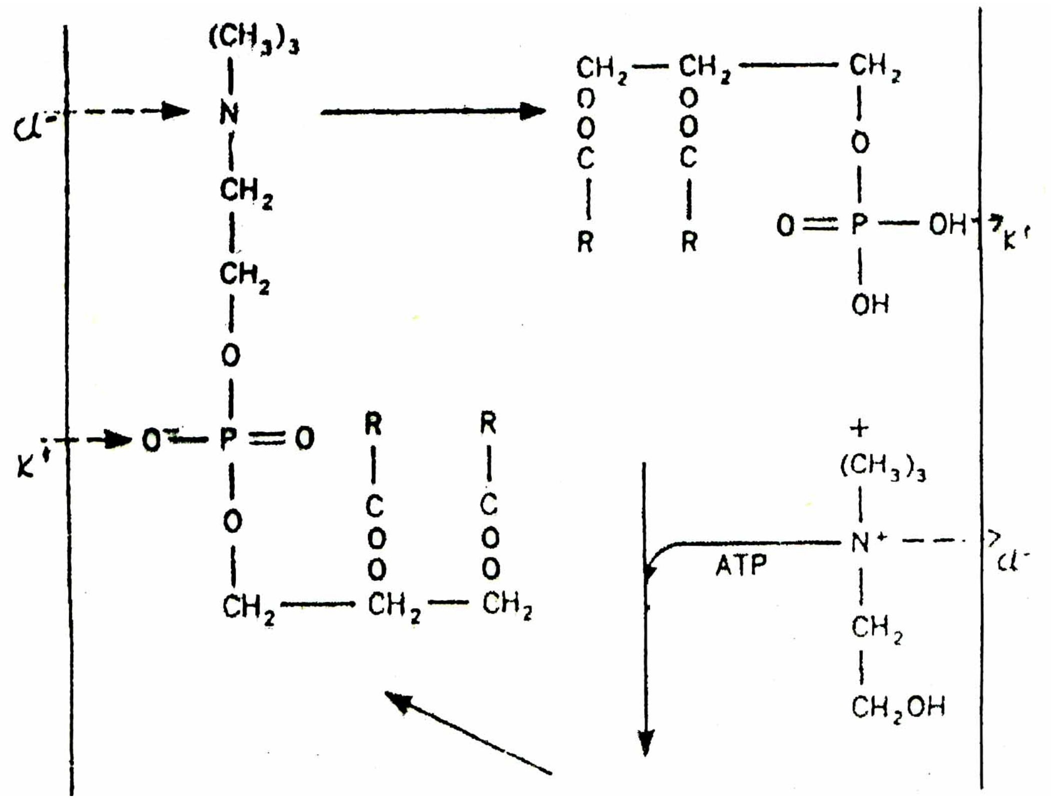
(1) फॉस्फेट वर्ग के निष्कासन से

(2) फास्फेट वर्ग के योग से



चित्र 4.8 : लुण्डेगर्थ की आयन अवशोषण की साइटोक्रोम पम्प परिकल्पना का आरेखन

(e) **लेसिथिन चक्र परियोजना (lecithin cycle hypothesis) :** बैनेट क्लार्क (bennet clark, 1956) द्वारा प्रतिपादित इस परिकल्पना के अनुसार आयनों (लवणों) के सक्रिय अवशोषण तथा परिवहन की क्रिया में ATP तथा कुछ विशिष्ट प्रकार के फॉस्फोलिपिड पदार्थ वाहकों के रूप में कार्य करते हैं । इन वाहक पदार्थों को लेसिथिन कहते हैं । कोशिका झिल्लियों में लेसीथिन का संश्लेषण तथा जल विश्लेषण नियमित रूप से होता रहता है । यह पदार्थ दो घटकों जैसे कोलीन तथा फॉस्फोटिडिक अम्ल द्वारा बना हुआ होता है लेसिथिन (विशिष्ट फॉस्फोलिपाइड) कोशिका झिल्ली की बाहय सतह: से आयनों को ग्रहण करता है । इस कार्य में लेसिथिन के कोलीन अंश ऋणायनों को तथा फॉस्फोटिडिक अम्ल धनायनों को ग्रहण करते हैं । पहले लेसिथिन आयन जटिल कोशिका भित्ति की भीतरी सतह पर लेसिथिन एन्जाइम की उपस्थिति में टूटकर दोनों आयनों को मुक्त करता है । इस प्रकार विघटित लेसिथिन के दोनों घटक ATP के सहयोग से पुन: संयुक्त झिल्ली की बाहय सतह पर पहुँचकर आयनों के स्थानान्तरण के लिए पुन: उपलब्ध हो जाते हैं (चित्र 4.9) ।



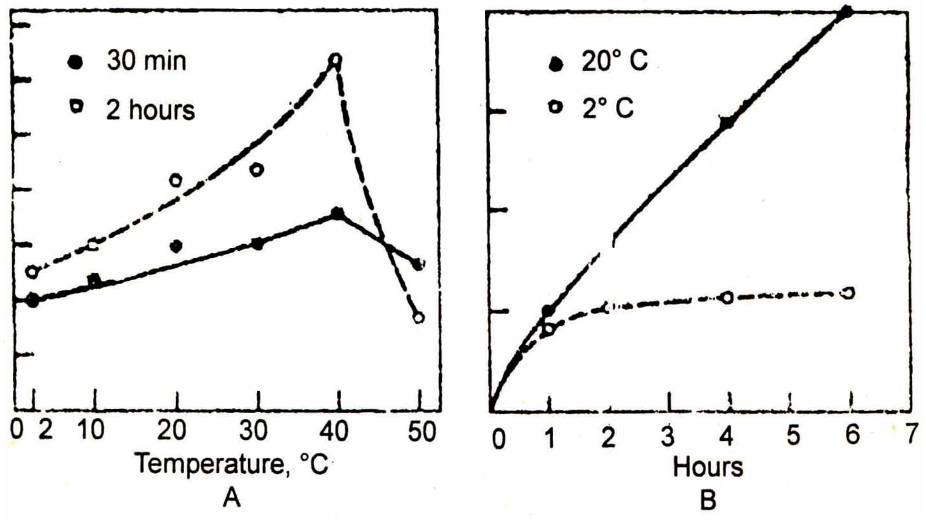
चित्र 4.9 : बेनट क्लार्क की आयन अवशोषण की लेसिथिन चक्र परिकल्पना

4.9 अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting ion absorption)

सजीवों में सम्पन्न होने वाली विभिन्न भौतिक तथा जैव रासायनिक क्रियाएं बाहय आन्तरिक पर्यावरण के कारकों से प्रभावित होती है । विभिन्न कारक खनिज अवशोषण क्रिया को द्रुत, मद अथवा साम्यावस्था में रख सकते हैं । इसे प्रभावित करने वाले कारक निम्न हैं.

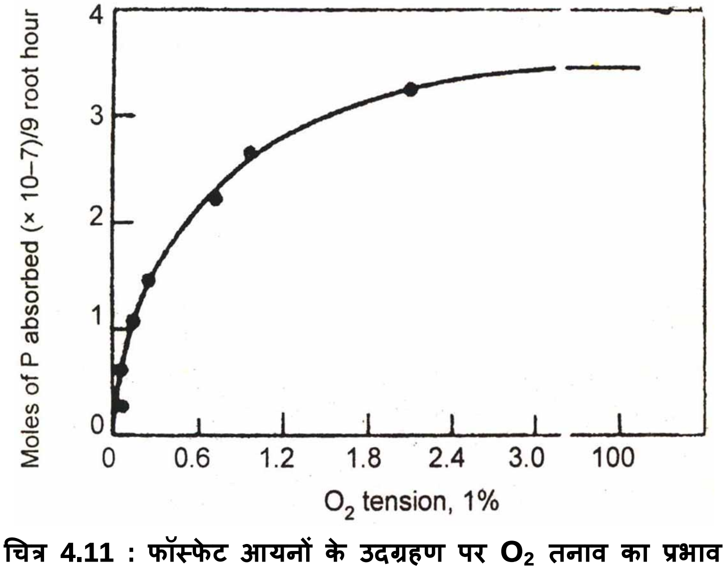
1. **तापक्रम (Temperature) :** सामान्यत : तापक्रम वृद्धि से अवशोषण की दर में वृद्धि होती है लेकिन यह वृद्धि बहुत ही सीमित परास में होती है । एक निश्चित तापक्रम के ऊपर लवण अवशोषण की दर सहसा कम हो जाती है । अति उच्च तापक्रम पर अवशोषण में अवरोध का कारण सम्भवत : इस क्रिया में तापक्रम का पत्यक्ष प्रभाव अथवा आवश्यक एन्जाइमों का विकृतिकरण हो जाता है । तापक्रम परिवर्तन से निष्क्रिय तथा सक्रिय दोनों प्रकार की अवशोषण प्रक्रियाएँ प्रभावित होती है । निष्क्रिय अवशोषण में आयनों की गतिज ऊर्जा (kinetic energy) व सक्रिय अवशोषण में एन्जाइमों की सक्रियता तापक्रम द्वारा प्रभावित होती है (चित्र 4.10)
2. **हाश्ड्रोजन आयन सान्द्रता (Hydrogen ion concentration) :** मृदा विलयन में आयनों की उपलब्ध मात्रा पर pH का प्रगाढ़ प्रभाव होता है । विद्युत अपघटयों (electrolytes) के आयनीकरण अथवा विभिन्न आयनों की संयोजकताए(valancy) pH मान के परिवर्तन से प्रभावित होती है । आयनों के प्रभावित होने से आयन अवशोषण भी प्रभावित होता

3. **प्रकाश (Light) :** प्रकाश का आयन अवशोषण पर अप्रत्यक्ष रूप से प्रभाव पड़ता है । प्रकाश पर्णरन्ध्रों के खुलने तथा बंद होने (पर्णरन्ध्रगति) का नियंत्रण करता है । रन्ध्रों खुलने से वाष्पोत्सर्जन क्रिया तेज होती है । जिससे अप्रत्यक्ष रूप से अवशोषण कि क्रिया तेज हो जाती है ।प्रकाश संश्लेषणमें ATP उत्पादन तथा ऑक्सीजन का निकास होता है ।सक्रिय अवशोषण के लिए द्राष्ट आवश्यक होती है । ऑक्सीजन सक्रिय अवशोषण में तीव्रता लाती है इससे स्पष्ट हो जाता है कि अवशोषण क्रिया पर प्रकाश का परोक्ष प्रभाव होता है ।



चित्र 4.10: पोटेशियम आयनों (K^+) के उदग्रहण पर तापक्रम का प्रभाव

4. **ऑक्सीजन तनाव (oxygen tension) :** O_2 की अनुपस्थिति में आयन अवशोषण अवरुद्ध हो जाता है जबकि अधिकता से यह क्रिया तीव्र हो जाती है वस्तुत : इसी आधार पर वैज्ञानिकों ने सक्रिय आयन अवशोषण का मत व्यक्त किया था जिसमें उपापचय ऊर्जा का व्यय होता है (चित्र 4.11) ।



चित्र 4.11 : फॉस्फेट आयनों के उदग्रहण पर O_2 तनाव का प्रभाव

5. **आयनों की अन्त किया (interaction of ion) :** एक प्रकार के आयनों का अवशोषण अन्य प्रकार के आयनों की उपस्थिति से प्रभावित होता है । वीट्स (1944) ने जौ की कटी मूलों द्वारा KB_r. के अवशोषण के प्रयोग से वर्णित किया कि K^+ का अवशोषण बाहय माध्यम में Mg तथा Ca जैसे बहुसंयोजक धनायनों की उपस्थिति द्वारा प्रभावित होता है । इसी प्रकार Mg आयनों का अवशोषण भी Ca की उपस्थिति से प्रतिकूल रूप से प्रभावित होता है । ऐसा माना गया है कि आयनों में पारस्परिक अन्त :क्रिया मुख्यत : वाहकों की सतह पर उपस्थित बंधज स्थलों की उपलब्धता तथा विशिष्टता से संबंधित है ।

6. **वृद्धि (Growth) :** पौधों की वृद्धि अवस्था, आयन अवशोषण को प्रगाढ़ रूप से प्रभावित करती है । वृद्धि से पौधे अथवा ऊतक के पृष्ठ क्षेत्र, कोशिकाओं की संख्या, नवीन वाहकों को संश्लेषण आदि सभी क्षेत्रों में बढ़त हो जाती है । ये सभी कारक लवण अवशोषण को प्रभावित करते हैं । वृद्धि तथा जीर्ण शीर्ण मूलों की अपेक्षा स्वस्थर तथा पूर्णत :विकसित मूलों में लवण अवशोषण की दर तीव्र होती है । पुरानी मूलों पर सुबेरिनिकरण हो जाने से ये अवशोषण के अनुपयुक्त हो जाती है ।

बोध प्रश्न

बहुविकलपात्मक प्रश्न(Multiple choice questions)

1. निम्न में से पर्ण हरित का घटक हैं

   (अ) काँपर

   (ब) मैगनीज

   (स) मैंग्नीशियम

   (द) आयरन

2. मृदा विहिन संवर्धन कहलाता है

   (अ) ऊत्तक संवर्धन

   (ब) एक्वाक्लचर

   (स) होर्टी क्लचर

   (द) हाइड्रोपोनिक्स

3. आवश्यक तत्वों की श्रेणी में रखा गया है ।

   (अ) 25 तत्वों को

   (ब) 8 तत्वों को

   (स) 16 तत्वों को

   (द) सभी तत्वों को

4. नाइट्रोजन की कमी के लक्षण प्रकट होते हैं ।

   (अ) पहले परिपक्व पत्तियों में बाद में तरुण पत्तियों में

   (ब) पहले तरुण पत्तियों में बाद में परिपक्व में

   (स) सभी पत्तियों में एक साथ

(द) केवल तरुण पत्तियों में ।

5. निम्न में से लघु मात्रक तत्व हैं ।

(अ) N

(ब) P

(स) D

(द) Cd

4.12 सारांश (Summary)

(1) इस अध्याय के अध्ययन से यह स्पष्ट हो जाता है कि मृदा में पौधों के लिए अत्यन्त आवश्यक विभिन्न खनिजों का भंडार हैं, पौधों की वृद्धि एवं आवश्यक क्रियाएँ मृदा में अर्न्तनिहित खनिजों पर निर्भर करती है । इन्हीं से पौधों का पोषण होता है अत: यह खनिज पोषण कहलाता है ।

(2) मृदा में कई प्रकार के आवश्यक तथा अनावश्यक तत्व पाये जाते हैं । इनमें से कुछ गुरुपोषक तथा कुछ लघु पोषक तत्व होते हैं, जिनका बहुत महत्व है ।

(3) विभिन्न कारणों से मृदा में इन खनिजों की कमी हो जाती हैं जिससे पौधे रोगग्रस्त हो जाते हैं, इस कमी का प्रत्यक्ष प्रभाव उनकी उपज में कमी के रूप में होता है ।

(4) कृषि उत्पादों की बहुलता के लिए यह आवश्यक है कि मृदा इन तत्वों की पर्याप्त मात्रा हो अत : यह नितान्त आवश्यक है कि त्रुटिजन्य मृदा का संशोधन कर इसे पादप वृद्धि के लिए अनुकूल बनाया जाये ।

(5) मृदा संशोधन हेतु कई विधियाँ प्रचलित हैं जैसे : फसल चक्र, हरी खाद देना, कम्पोष्ट खाद व रासायनिक अर्वरक देना ।

(6) संवर्धन माध्यम का प्रयोग, बालू संवर्धन तथा हाइड्रोपोनिक्स भी इस दिशा में प्रभावी तकनीक हैं जिनसे सुधार किया जा सकता है ।

(7) मृदा से खनिज तत्वों का अवशोषण आयनों के रूप में निष्क्रिय व सक्रिय विधियों से सम्पन्न होता है, सक्रिय अवशोषण में उपापचयी ऊर्जा (ATP) व्यय होती है ।

(8) अवशोषण की क्रिया को विभिन्न कारक जैसे. तापक्रम, हाइड्रोजन आयन सान्द्रता, प्रकाश ऑक्सीजन का तनाव तथा वृद्धि प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं ।

4.11 शब्दावली (Terminology)

(1) **खनिज पोषक (Mineral nutrient) :** मृदा में उपस्थित पोषक तत्व

(2) **परपोषित (Heterophic)** :भोजन हेतु दूसरों पर आश्रित

(3) **स्वपोषित (Autotrophic):**अपना भोजन स्वयं तैयार करने वाले

(4) **आवश्यक तत्व (Essential element) :** पौधों की वृद्धि के लिए जरूरी तत्व

(5) **अनावश्यक तत्व (Non- essential elements) :** जो पौधे की वृद्धि के लिए आवश्यक है।

(6) **प्रधान पोषक तत्व (Macro elements)** : वृद्धि के लिए जिनकी पर्याप्त मात्रा में आवश्यकता होती हे ।

(7) **लघु पोषक तत्त्व (Micro- elements) :** इनकी सूक्ष्म मात्रा में आवश्यकता होती है ।

(8) **पारगम्यता (Permeablity) :** कोशिका झिल्ली का एक गुण ।

(9) **सक्रिय अवशोषण (Active absorption) :** ऊर्जा की सहायता से आयनों के अवशोषण को सक्रिय अवशोषण कहते ??

(10) **उत्प्रेरकी प्रभाव (Catalytic effect) :** एन्जाइमों की सक्रियता को बढ़ाने वाला तत्व, जो स्वयं अप्रावित रहता है ।

(11) **उभय प्रतिरोध क्रिया (Buffer action)** :pH परिवर्तनों के प्रति प्रतिरोधक क्रिया ।

(12) **सुधार के उपाय (Corrective measures).** किसी भी कमी का उपचार कर उसे दूर करना ।

4.12 सन्दर्भ ग्रंथ (References)

(1) Plant Physiology and biochemistry by V. Verma

(2) Plant Physiology by Devlin

(3) Plant Physiology by Bhatia and Parasher.

(4) पादप कार्यिकी एव जैव रसायन by डॉ पी.सी. त्रिवेदी डॉ. निरजन शर्मा व डॉ.आर.एस. धनखड़

(5) पादप कार्यिकी एव जैव रसायन, द्वारा वर्मा चौधरी डॉ.छाबडा एवं डॉ.एन.सी.एरी

4.13 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer)

बहु विकल्पात्मक पश्नों के उत्तर

1. (स) 2. (द) 3. (स) 4. (अ) 5. (स)

4.14 अभ्यासार्थ प्रश्न (Questions)

(1) कृत्रिम संवर्धन से क्या तात्पर्य है? इस तकनीक की विधि तथा महत्व का वर्णन करें ।

(2) बोरोन तथा मोलिब्देनम की कमी से उत्पन्न दो पादप रोगों का लक्षणो सहित विस्तृत वर्णन करे ।

(3) पौधों में मे N.P.K.S व Mg के कार्य तथा कमी के लक्षण बताइये ।

(4) पौधों में वृद्धि के लिए कौन-कौन से तत्वों की आवश्यकता होती हैं वर्गीकरण कीजिये तथा किन्हीं चार के कार्य तथा कमी के लक्षण बताइये ।

(5) आवश्यक व अनावश्यक तत्व क्या होते हैं । गुरु व लघु पोषक तत्व क्या है संक्षिप्त में वर्णन करे ।

इकाई 5: कार्बनिक पदार्थों का परिवहन (Transport of organic substances)

इकाई की रूपरेखा

5.0 उद्देश्य

5.1 प्रस्तावना

5.2 कार्बनिक पदार्थों का संवहन तंत्र द्वारा परिवहन

5.3 कार्बनिक पदार्थों के परिवहन का पथ एव दिशाएँ

5.3.1 अधोमुखी परिवहन

5.3.2 अनुदैर्ध्य परिवहन

5.3.3 पार्श्व/अरीय परिवहन

5.4 परिवहन की क्रिया विधि

5.41 विसरण परिकल्पना

5.4.2 सक्रियित विसरण परिकल्पना

5.4.3 परकोशिकयि प्रवाही परिकल्पना

5.4.4 विद्युत परासरणी वाद

5.4.5 जीवद्रव्य प्रवाह गति वाद

5.4.6 द्रव्यमान प्रवाह अथवा दाब प्रवाह बाद

5.5 कार्बनिक पदार्थों के परिवहन सम्बन्धित आधुनिक तथ्य

5.5.1 द्विदिशिक स्थानांतरण

5.5.2 स्रोत -सिंक संकल्पना

5.6 स्थानांतरण को प्रभावित करने वाले कारक

5.7 सारांश

5.8 शब्दावली

5.9 सन्दर्भ ग्रन्थ

5.10 बोध प्रश्नों के उत्तर

5.11 अभ्यासार्थ प्रश्न

5.0 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई का उद्देश्य:

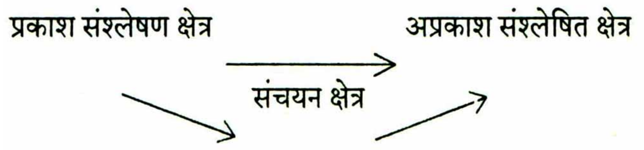
1. सूक्ष्म पौधे से विशाल वश में स्रोत से सिंक इन दोनों बिन्दुओं के मध्य कार्बनिक पदार्थों का परिवहन जिन विधियों से सम्पन्न होता है उनकी विस्तृत जानकारी प्राप्त करना ।
2. कार्बनिक पदार्थों के परिवहन अध्ययन जिससे उसके पथ व दिशाओं का आकलन किया जा सकें ।

3. कार्बनिक पदार्थों का फ्लोयम द्वारा परिवहन की विस्तृत जानकारी प्राप्त करना ।
4. कार्बनिक पदार्थों के परिवहन को प्रभावित करने वाले कारकों का अध्ययन करना है ।

5.1 प्रस्तावना (Introduction)

पौधों की पत्तियों में (हीरतलवक युक्त कोशिकाओं में) प्रकाश संश्लेषण के परिणामस्वरूप कार्बोहाइड्रेट के रूप में भोजन का निर्माण होता है । इनके संश्लेषण का स्थान स्रोत (source) कहलाता है, तथा इनके संचय (storage) तथा उपापचय स्थल (site for metabolism) जैसे, तना, बीज, फल, मूल आदि सिंक (sink) कहलाते हैं ।

कार्बनिक विलेय पदार्थों का स्रोत से सिंक तक का चलन या गमन परिवहन कहलाता है । सूक्ष्म तथा सरल पौधों में स्रोत एवं सिंक एक दूसरे से अधिक दूर स्थित नहीं होते अत : इन पादपों में दोनों बिन्दुओं के मध्य कार्बनिक विलयों का स्थानांतरण सामान्य विसरण प्रक्रिया द्वारा सम्पन्न हो जाता है । परन्तु लम्बे व विशाल वृक्षों में ये बिन्दु बहुत दूरी पर स्थित होने से इनमें संश्लेषित पदार्थों का परिवहन (transpart) लम्बी दूरी तक आवश्यक होता है । इन पदार्थों का परिवहन इनके घुलित रूप में होता है ।



5.2 कार्बनिक पदार्थों का संवहन तंत्र द्वारा परिवहन (Transport by vascular system)

पादपों में जायलम व फ्लोयम दो प्रमुख संवहनी निकाय पाये जाते हैं । विभिन्न प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध होता है, कि कार्बनिक पदार्थों का स्थानांतरण मुख्यत : फ्लोयम द्वारा होता है इस हेतु संक्षिप्त में इसकी संरचना जानना आवश्यक है ।

फ्लोयम की संरचना (Structure of phloem) : यह एक जटिल संवहन उत्तक है (चित्र 5. 1) । जिसमें चार मुख्य घटक होते हैं - (i) चालनी तत्व (Sieve elements), (ii) सहचर कोशिकाएँ (Companian cells), (iii) फ्लोयम मृदूतक (Phloem parenchyma) तथा (iv) फ्लोयम पोषवाह ततु (Phloem fibres)

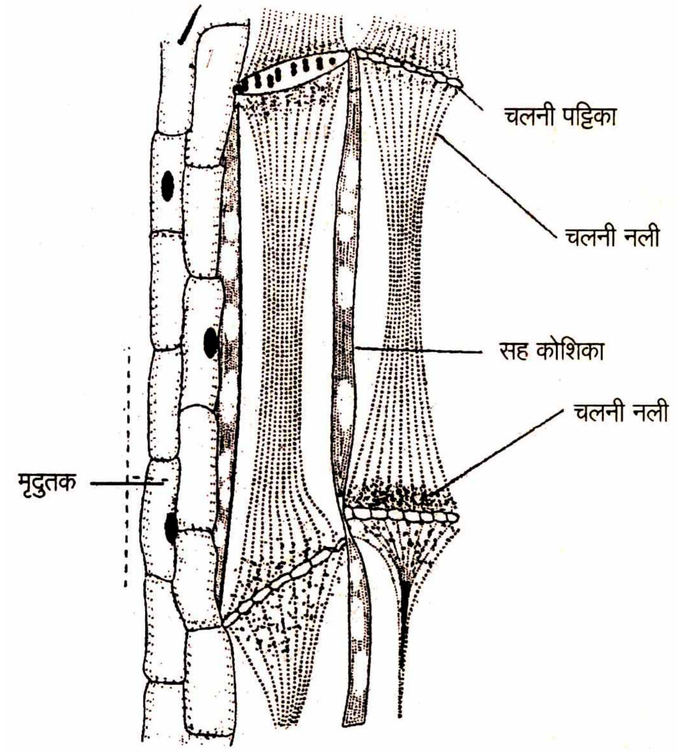
(i) **चालनी तत्व** (Sieve element) इस तत्व में दो प्रकार की कोशिकाएँ होती है - **चालनी कोशिका (Sieve cell)** तथा (b) **चालनी नलिका** (Sieve tube)

(a) **चालनी कोशिका** (Sieve cell) : ये एकक कोशिकाएँ होती हैं । इनमें चालनी पीट्टका उपस्थित नहीं होती है तथा चालनी क्षेत्र सभी भित्तियों पर समान रूप से विकसित हो सकता है ।

(b) **चालनी नलिका** (Sieve tube) इसमें कोशिकाएँ एक के ऊपर एक व्यवस्थित होती हैं । ये दिर्घित व बेलनाकार होती है । सामान्यत : इनकी औसत लम्बाई 100-150 nm होती है । आवृत बीजी पादपों में द्वितीयक फ्लोयम में ये 500 nm तक लम्बाई पाई

जाती है । स्थानांतरण की दृष्टि से इनकी संरचना अति विशिष्ट प्रकार की होती है दो चालनी कोशिकाओं के मध्य छिद्र युक्त कोशिका भित्ति होती है इसे चालनी पट्टिका (sieve plate) कहते हैं । तरुण चालनी कोशिकाएँ सजीव व केन्द्रक युक्त होती है । परिपक्व चालनी नलिका की कोशिका जीवित परन्तु केन्द्रक रहित होती है तथा राइबोसोम व गॉल्वीकाय नहीं होतें । लवक माइट्रोकोन्ड्रिया अंतप्रर्दव्यी जालिका रूपान्तरित रूप में पाये जाते हैं । कभी-कभी इनमें श्लेष्पी प्रकृति का स्थूलन या निक्षेपण पाया जाता है ।

(c) **चालनी क्षेत्र (sivev areas) :** चालनी नलिकाओं की अतिविशिष्ट रचना चालनी क्षेत्र है। चालनी नलिका में चालनी क्षेत्र अनुप्रस्थ पट उपस्थित होते हैं । लेकिन पार्श्व भित्ति पर भी चालनी क्षेत्र होते हैं, जो अपेक्षाकृत कम विकसित होते हैं । चालनी क्षेत्र में उपस्थित छिद्रों की परिधि पर कैलोस (callose) का निक्षेपण होता है ।



चित्र 5.1 : फ्लोयम के घटक

(ii) **सहचर कोशिकाएँ** (companion cells): ये मृदुतक कोशिकाएँ हैं जो चालनी नलिकाओं के पार्श्व में एक या अधिक संख्या में पाई जाती है । सहचर कोशिकाएँ जीवद्रव्य तंतु (plasmodesmata) द्‌वारा चालनी नलिका के जीवद्रव्य से सम्पर्क में रहती है । अनावृतबीजियों में इनके स्थान पर एल्बूमिनस कोशिकाएँ पाई जाती है । कई पादपों में चालनी कोशिकाओं के सम्पर्क में स्थानांतरण कोशिकाएँ (transfer cell), भी पाई जाती है ' ये कोशिकाएँ चालनी कोशिका को ऊर्जा प्रदान करती हैं तथा प्रकाश संश्लेषी उत्पादों को

पर्णमध्योतक कोशिकाओं से चालनी नलिकाओं तक पहुँचाने में सहायता करती है । स्थानांतरण कोशिकाएँ अधिक आवश्यकता वाले उपापचय स्थलों पर अधिक विकसित होती है।

(iii) **फ्लोयम मृदूतक** (Phloem parenchyma) ये पतली भित्ति युक्त जीवित कोशिकाएँ होती हैं व सामान्य तथा पार्श्व स्थानांतरण में मदद करती है । ये कोशिकाएँ चालनी तत्वों में दाब प्रवणता बनाये रखती है ।

(iv) **पोषवाह तंतु (Phloem fibre) :** ये प्राथमिक एव द्वितीयक पोषवाह में उपस्थित मोटी भित्ति युक्त तंतुमय कोशिकाएँ होती हैं जो इन्हें यांत्रिक शक्ति उपलब्ध कराती है ।

फ्लोयम द्वारा स्थानांतरित पदार्थ (Material translocated in the phloem)

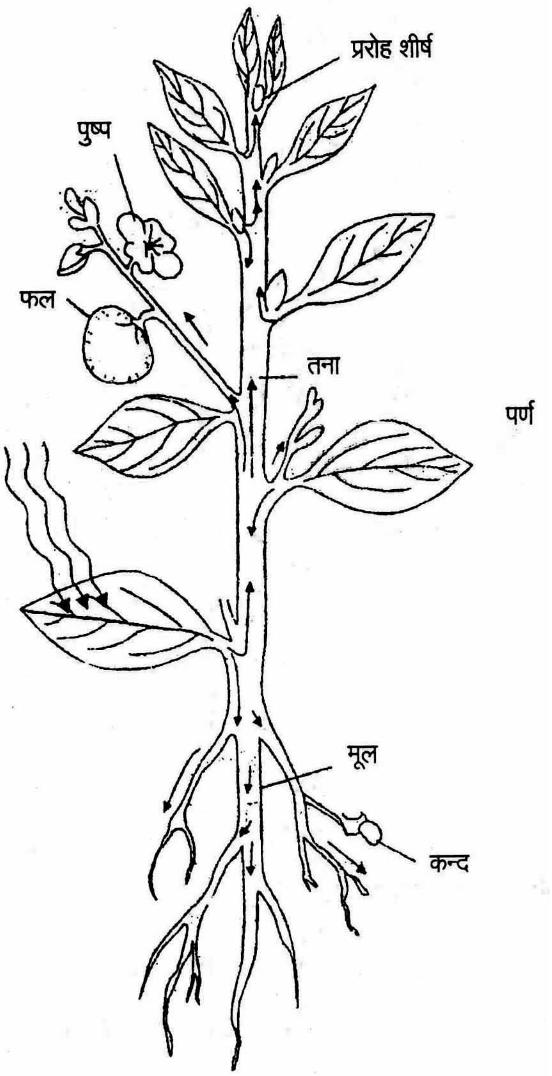
मिटलर (1958) अनुसार फ्लोयम में जल मुख्य घटक होता है, जिसमें कार्बनिक एवं अकार्बनिक पदार्थ घुलनशील अवस्था में स्थानांतरित होते हैं, विलेय पदार्थो में मुख्यत: काशहाइईट होते हैं जो शर्करा के रूप में विद्यमान होते हैं । नाइट्रोजन अमीनो अम्ल तथा एमाइड मुख्यत: ग्लूटामेट, एस्पॉटर एवं उनके एमाइड के रूप में उपस्थित होता हैं । इसके अलावा सूक्ष्म मात्रा में आक्सीन,कुछ अकार्बनिक विलेय, पोटेशियम मैग्नीशियम फॉस्फेट एवं क्लोराइड इत्यादि भी फ्लोयम रस में पाये जाते है ।

5.3 कार्बनिक पदार्थो के परिवहन का पथ एवं दिशाएँ (Path and direction of translocation organic substance)

कार्बनिक पदार्थो का स्थानांतरण मुख्य रूप से फ्लोयम द्वारा होता है । यह निम्न तीन दिशाओं में होता है :

5.3.1 अधोमुखी स्थानांतरण (Downward translocation)

कार्बनिक पदार्थो का पत्तियों से मूलों की ओर स्थानांतरण अधोमुखी स्थानांतरण कहलाता है यह फ्लोयम ऊतक द्वारा होता



चित्र 5.2 : कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण की दिशा

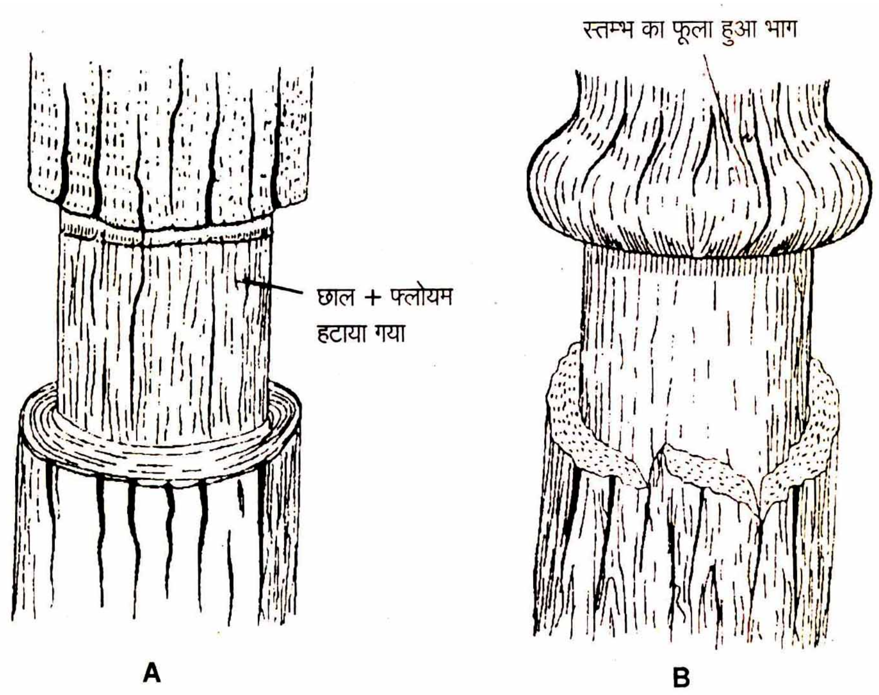
अन्य ऊतकों को विलोपन पादप में जायलम रस का पीरसंचरण जायलम में ऊपर की ओर होता है अत : इनमें अधोमुख संचरण संभव नहीं है । भरण ऊतक यह कार्य नहीं कर सकते हैं ये सग्रह का कार्य करते हैं अत : केवल फ्लोयम द्वारा ही अधोमुख संचरण संभव है ।

अधोमुखी स्थानांतरण की पुष्टी निम्न तथ्यों द्वारा की जा सकती है -

(i) **वलयन प्रयोग (Ringing or Girdling experiment)** : इस प्रयोग में एक काष्ठीय तने की इतनी मोटी छाल (bark) उतारी जाती हैं, जिसमें फ्लोयम ऊतक भी साथ में आ जाये लेकिन जायलम वाहिनियाँ पीरकर्तित (girdled) स्तंभ में सुरक्षित रहे । इस प्रकार तने पर फ्लोयम रहित क्षेत्र की एक वलय बना दी जाती है । कुछ समय पश्चात् इस तने का वलय के ऊपर का भाग शर्कराओं तथा अन्य कार्बनिक पदार्थों के संचयन से फूलकर मोटा हो जाता है, लेकिन नीचे का भाग दुर्बल तथा सूख जाता है । इससे स्पष्ट होता है, कि वलयन क्षेत्र में फ्लोयम के अभाव के कारण कार्बनिक पदार्थों का नीचे की ओर संभरण नहीं हो पाता है ।

इससे इस धारणा की पुष्टि होती है कि कार्बनिक पोषकों का नीचे की ओर अभिगमन फ्लोयम ऊतकों द्वारा होता है ।

(ii) **फ्लोयम के अवरोध का प्रभाव (Blocking of phloem) :** कैलोस के निक्षेपण से इनका अवरोध हो जाता है । इस अवस्था में कार्बनिक पदार्थों के नीचे की ओर अभिगमन में रुकावट हो जाती हैं (स्कूमेचर 1933) । इससे यह संकेत मिलता है कि कार्बनिक पदार्थों का अधोमुख स्थानातरण फ्लोयम द्वारा होता है ।



चित्र 5.3 : वलयन प्रयोग :A. छाल परिकर्तन के शीघ्र पश्चात तना

B. कुछ समय पश्चात तना

5.3.2 अनुदैर्ध्य या ऊपरिमुख परिवहन (Vertical or Upward translocation)

इस स्थानांतरण के बारे में वैज्ञानिकों की परस्पर विरोधी विचारधाराएँ हैं । ऐसा माना जाता है कि उपरिमुख स्थानांतरण जायलम व फ्लोयम दोनों से होता है ।

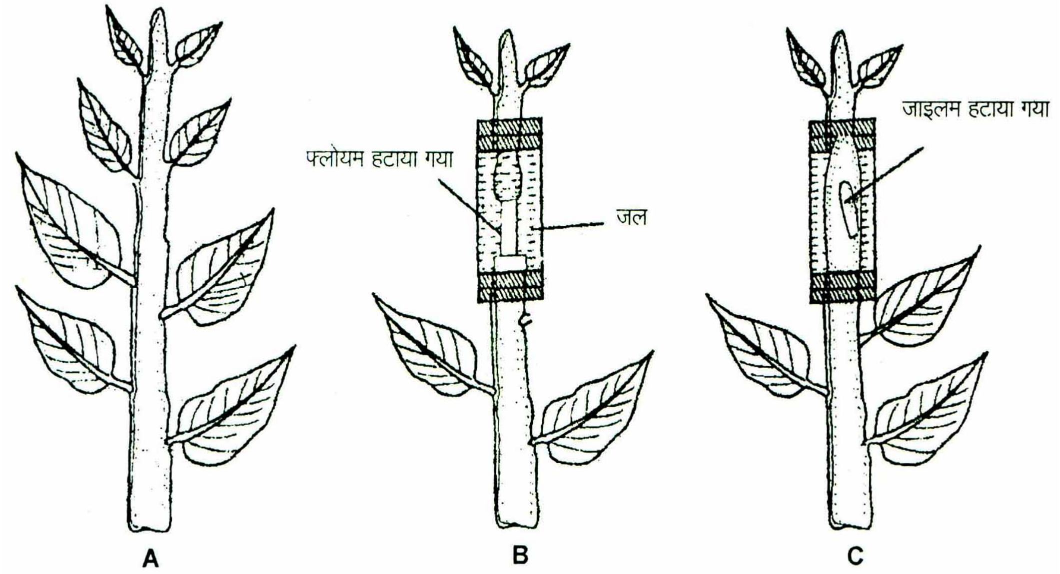
(A) फ्लोयम द्वारा (by phloem) :

(i) **रेडियक्टिव समस्थानिकों के उपयोग से (Use of isotopes) :** रैबदय तथा बर्र द्वारा रेडियों एक्टिव Co2 अथवा कार्बोहाइड्रेटो के प्रयोग द्वारा इस बात की पुष्टि होती है कि कार्बनिक विलेयों का ऊपर की ओर स्थानांतरण फ्लोयम द्वारा सम्पन्न होता है ।

(ii) **कर्टिस का वलयन प्रयोग (Ringing experiment of curtis) कर्टिस** (1925) ने वलयन प्रयोग में तीन पौधों को प्रयुक्त किया (चित्र 5.4) । उन्होंने दो पौधों में से एक के फ्लोयम ऊतक को तथा दूसरे पौधे में से जायलम ऊतक को हटा दिया । तीसरे पौधे को नियंत्रक पौधे के रूप में प्रयुक्त किया । वलयित पौधों को निष्पत्रित (defoliated) कर दिया गया । कुछ समय बाद यह पाया गया कि फ्लोयम ऊतक रहित पादप में अनुदैर्ध्य वृद्धि काफी कम जबकि

जायलम रहित पादप में लगभग सामान्य वृद्धि हुई । इससे कर्टिस ने यह प्रमाणित किया कि कार्बनिक पदार्थों का तनों में ऊपर की ओर स्थानांतरण फ्लोयम द्वारा होता है ।

(iii) **फ्लोयम रस का रासायनिक विश्लेषण (Chemical analysis of phloem sap) मैसन** तथा **मैसकेल** (1928) ने पाया कि कपास के पौधे के फ्लोयम रस में कार्बोहाइड्रेट्स तथा नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थों की मात्रा जायलम की तुलना में काफी अधिक होती है । कुछ शोधकर्ताओं ने फ्लोयम रस में रेफीनोज (ट्राइसैकेराइड) स्टेकिओज (टेट्रासैकराइड) तथा बरबेसकोस (पेन्टासैकेराइड) आदि शर्कराओं के आधिक्य को बताया



चित्र 5.4 : वलयन प्रयोग (A) नियन्त्रक (B) फ्लोयम हटाया गया (C) जाइलम हटाया गया

(B) जायलम द्वारा (By xylem)

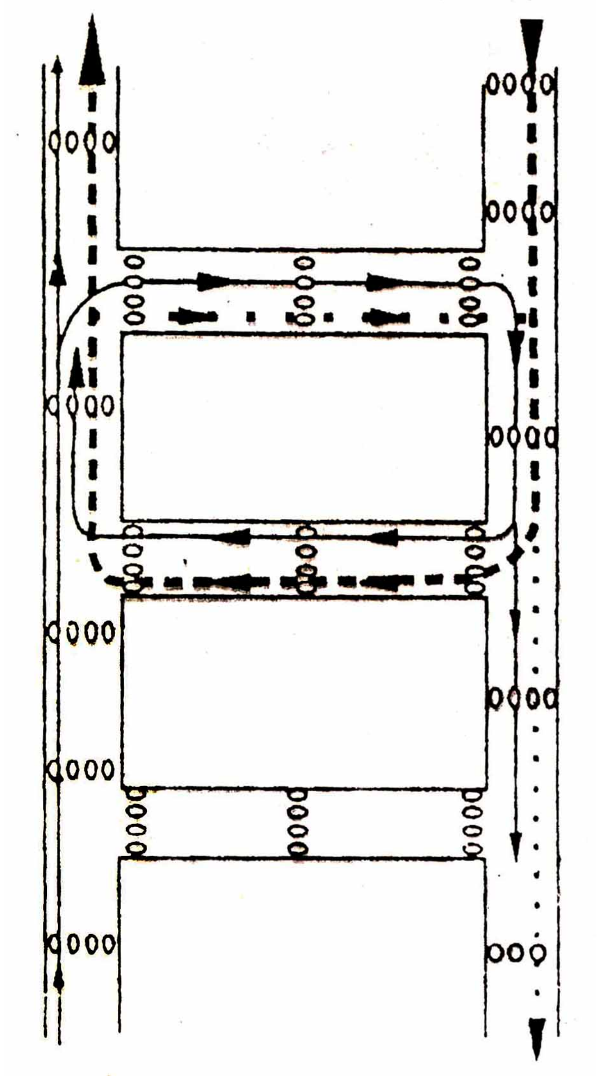
ऊपर की ओर भोजन पदार्थों का स्थानान्तरण जायलम के अवयवों द्वारा होता है । इसके निम्न प्रभाव हैं

(i) **वाष्पोत्सर्जन प्रवाह (Transpiration stream).** जायलम रस में कार्बनिक पदार्थ घुले रहते है जो वाष्पोत्सर्जन प्रवाह के साथ ऊपर की ओर चलते जाते हैं । शीतकाल में पर्णपाती वृक्ष जायलम की जीवित कोशिका में स्टार्च की कच्ची मात्रा संचित करते हैं । यह स्टार्च शक्कर में परिवर्तित होकर आने वाली बसन्त ऋतु में वाष्पोत्सर्जन प्रवाह के साथ ऊपर की ओर स्थानांतरित हो जाती हैं अत : जायलम ही कार्बोहाइड्रेट के अभिगमन का मुख्य पथ है ।

(ii) **रंजकों का चालन (Conduction of dyes)** कुछ रंजक जायलम में ऊपर की ओर स्थानांतरित होते पाये गये हैं । वलयन प्रयोग (Ringing experiment) हर्टिग ने पाया कि शरद ऋतु में पौधों के निचले भाग द्वारा संचालित स्टार्च, फ्लोयम की वलय के हटने के बाद भी बसंत में गायब हो जाता है । इससे यह निष्कर्ष निकलता है कि भोजन जल - अपघटित होकर जायलम रस के द्वारा ऊपर की ओर स्थानांतरित हो जाता है । कर्टिस के अनुसार भोजन का इस प्रकार से गायब होना या तो फ्लोयम के द्वारा नीचे की ओर जड़ों में चला जाता है या उसके उपयोग कर लिये जाने से होता है ।

5.3.3 पार्श्व स्थानांतरण (Lateral transport)

तने एवं जड़ में मज्जा (pith) से अधिचर्म एवं वल्कुट (cortex) तक भोज्य पदार्थों का स्थानांतरण मुख्यत : अरीय किरणों (medullary rays) के माध्यय से होता है एव अरीय या पार्श्वीय स्थानांतरण कहलाता है । लेकिन एक बीजपत्री स्तंभो में जहाँ संवहन पूल बिखरे हुये होते हैं कार्बनिक पदार्थो का पार्श्व स्थानांतरण संवहन सेतु (vascular bridge) द्वारा सम्पन्न होता है । इनका निर्माण पर्ण अनुपथों (leaf-traces) तथा लम्बवत् प्रतिबन्धित संवहन पूलों के मध्य होता है (चित्र 5.5) । प्राय : देखा गया है कि फ्लोयम में नाइट्रोजनी पदार्थों का स्थानांतरण कार्बनिक पदार्थों के रूप में होता है, परन्तु जायलम में नाइट्रेट अथवा कार्बनिक अणु के घटक के रूप में होता है



चित्र 5.5: विलेयों का पार्श्व स्थानांतरण

5.4 कार्बनिक पदार्थों के परिवहन की क्रिया विधि (Mechanism of translocation of organic substances)

फ्लोयम के द्वारा विलेयों के अभिगमन की क्रियाविधि जायलम के द्वारा स्थानांतरण की क्रियाविधि से बिल्कुल अलग होती है इसे स्पष्ट करने के उद्देश्य से कई वाद प्रस्तुत किये गये जो निम्न हैं

5.4.1 विसरण परिकल्पना (Diffusion hypothesis)

इस मत के अनुसार कार्बनिक पदार्थों का स्थानांतरण इनकी अधिक सान्द्रता से कम सान्द्रता की ओर होता है । इस प्रकार इनका स्थानांतरण संग्रहण क्षेत्र (पत्तियों) से उपभोग क्षेत्र (जड़ व अन्य भागों) की ओर होता है क्योंकि पत्तियों में संश्लेषण के कारण इनकी सान्द्रता अधिक होती है तथा जड़ व अन्य भागों में उपयोग के कारण इनकी न्यून सान्द्रता पाई जाती है । विसरण परिकल्पना की वास्तविक दर विसरण दर से हजारों गुना अधिक होती है । फ्लोयम में परिवहन उपापचयी क्रियाओं पर निर्भर करता है जबकि विसरण एक भौतिक क्रिया है ।

5.4.2 सक्रियत विसरण परिकल्पना (Activated diffusion hypothesis)

मैसन तथा **फिलिप्स** (1936) के अनुसार फ्लोयम में कार्बनिक विलेयों का प्रवाह चालनी नलिकाओं के जीवद्रव्य द्वारा त्वरित होता है । चालनी नलिकाओं का जीवद्रव्य या तो विलेय अणुओं को उत्तेजित या सक्रिय करता है अथवा विसरण की क्रिया पर जीवद्रव्य का प्रतिरोध कम करता है, जिसके फलस्वरूप विसरण की दर तेज हो जाती है । कुछ वैज्ञानियो के मतानुसार ATP कार्बनिक अणुओं के वाहक का कार्य करता है इस क्रिया में श्वसन तथा उपापचयी ऊर्जा का उपयोग होता है । उच्च उपापचयी क्रियाओं के दौरान विलेय अणुओं के स्थानांतरण की दर अधिक देखी गई हैं । परन्तु इस मत के प्रायोगिक प्रमाण उपलब्ध नहीं है इसलिए यह मत मान्य नहीं ।

5.4.3 पारकोशिकयि प्रवाही परिकल्पना (Transcellular streaming)

मैसन तथा **फिलिप्स** (1964) के अनुसार चालनी नलिकाओं में प्रोटीन नलिकाकार तन्तु गुच्छ अथवा स्टैण्ड्स (Tubular strands) पाये जाते हैं जो चलनी रन्ध्रों से होकर एक चलनी कोशिका से दूसरी चलनी कोशिका तक निरन्तर होते हैं । इन स्टैण्ड की उपस्थिति के कारण दोनों दिशाओं में कार्बनिक पदार्थों के परिचालन की व्याख्या भी की जा सकती है । इस परिकल्पना को मान्यता प्राप्त नहीं है क्योंकि इन स्ट्रैण्ड्स की उपस्थिति इलेक्ट्रान सूक्ष्मदर्शी द्वारा प्रमाणित नहीं हुई है ।

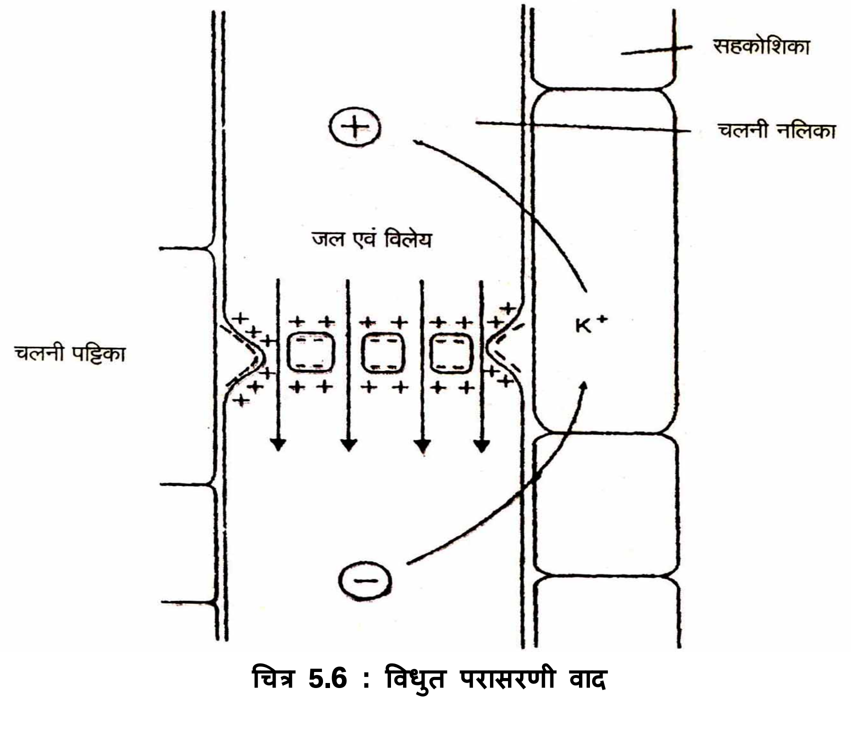
5.4.4 विद्युत परासरणो वाद (Electro osmotic hypothesis)

यह परिकल्पना **फैनसम** (1957) तथा **स्पैनर** (Spanner 1958) द्वारा स्वतंत्र रूप से प्रस्तावित की गई थी । इस मत के अनुसार चालनी नलिका में चालनी पट्टिका पर विद्युत विभव उपस्थित होता है जो विलय कणों के परिवहन के लिए उत्तरदायी होता है । चालनी नलिकाओं में जल तथा विलेय कणों का संचलन विद्युत प्रवणता के अनुरूप अधिक धनावेश से कम धनावेश के क्षेत्र की दिशा में होता है । विद्युत प्रवणता को बनाये रखने का कार्य K+ के परिसंचरण ।

(circulation) द्वारा होता है । K+ आयनों की सान्द्रता चालनी पट्टिका के ऊपर की ओर आधिक तथा नीचे की ओर कम होती है । इस प्रकार विलेय -अणु K+ के साथ विद्युत प्रवागता की दिशा में ऊपर से नीचे की ओर गति करते हैं । विलेय तथा K+ आयनों के पट्टिका के नीचे पहुँचने पर पट्टिका के नीचे K+ आयन सान्द्रता बढ़ने लगती है, तो सहकोशिकाएँ K+ आयनों को अवशोषित कर पट्टिका के ऊपर की -ओर पम्प कर देती है । इस प्रकार K+ आयनों का चक्रीय प्रवाह बना रहता है (चित्र 56) । K+ आयनों के इस चक्रीय प्रवाह के लिए आवश्यक ऊर्जा (ATP) सहचर कोशिकाओं से प्राप्त होती है । परन्तु इसके द्वारा केवल धनायनों का परिवहन ही स्पष्ट होता है, तथा स्थानांतरण केवल एक दिशा में ही संभव है जबकि यह प्रमाणित सत्य है, कि विलेय पदार्थों का परिवहन दोनों दिशाओं में होता है जो इसमें स्पष्ट नहीं होता अत: यह मत भी स्वीकार नहीं किया गया है ।

5.4.5 जीवद्रव्य प्रवाह गतिवाद (Protoplasmic streaming hypothesis)

इस परिकल्पना को **डी -बैरीज़** (1885) ने प्रस्तावित किया तथा **कर्टिस** (1935) ने विकसित किया था । इस परिकल्पना के अनुसार विलेय कणों का परिवहन फ्लोयम ने विसरण तथा जीवद्रव्य प्रवाह (streaming) क्रियाओं का परिणाम है । कार्बनिक पदार्थ चालना नलिकाओं में एक सिरे से दूसरे सिरे तक जीवद्रव्य प्रवाही गति द्वारा गमन करते हैं तथा एक चालनी नलिका से दूसरी चालनी नलिका में छिद्रों से विसरण द्वारा परिवहन होता है तथा कोशिका द्रव्य की प्रवाह गति विसरण तो त्वरित करती है । जीवद्रव्य प्रबाही गति के कारण एक ही चालनी नलिका में अलग - अलग प्रवणता वाले दो परार्थ एक दूसरे के विपरीत दिशाओं में साथ - साथ परिवहन कर सकते है (चित्र 57) ।



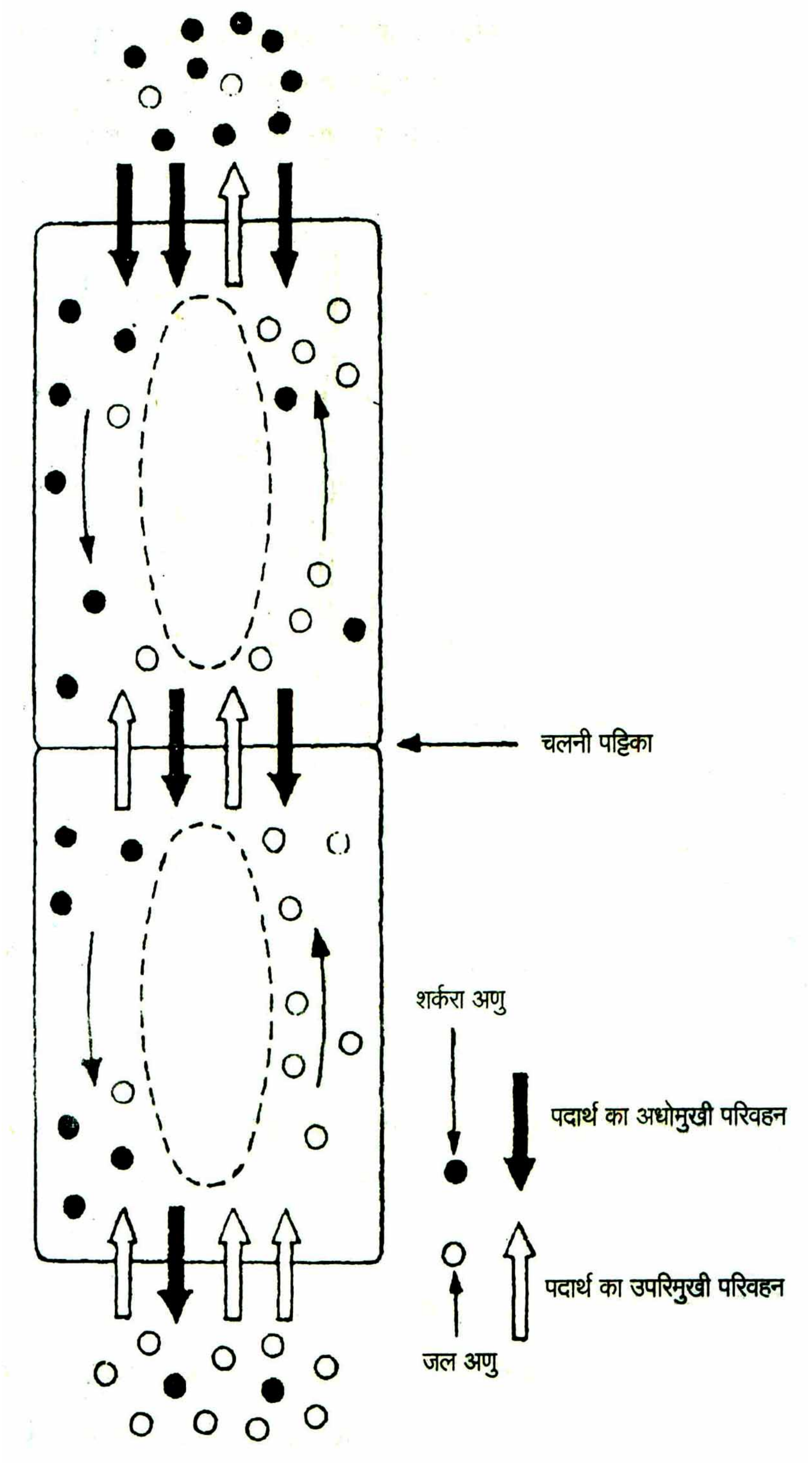
चित्र 5.6 : विधुत परासरणी वाद

प्रमाण

1. चालनी नलिकाओं में जीवद्रव्य प्रवाह गति प्रमाणित हो चुकी है ।
2. यह पकिल्पना एक ही चालनी नलिका मैं दो तरफा परिवहन (bidirectional movement) को स्पष्ट करती है ।
3. यह पीरकल्पना कणों के स्थानांतरण तथा कोशिका द्रव्य प्रवाह गति, ऑक्सीजन तथा श्वसन निरोधी यौगिको के प्रभाव को भी स्पष्ट करती है ।

आक्षेप

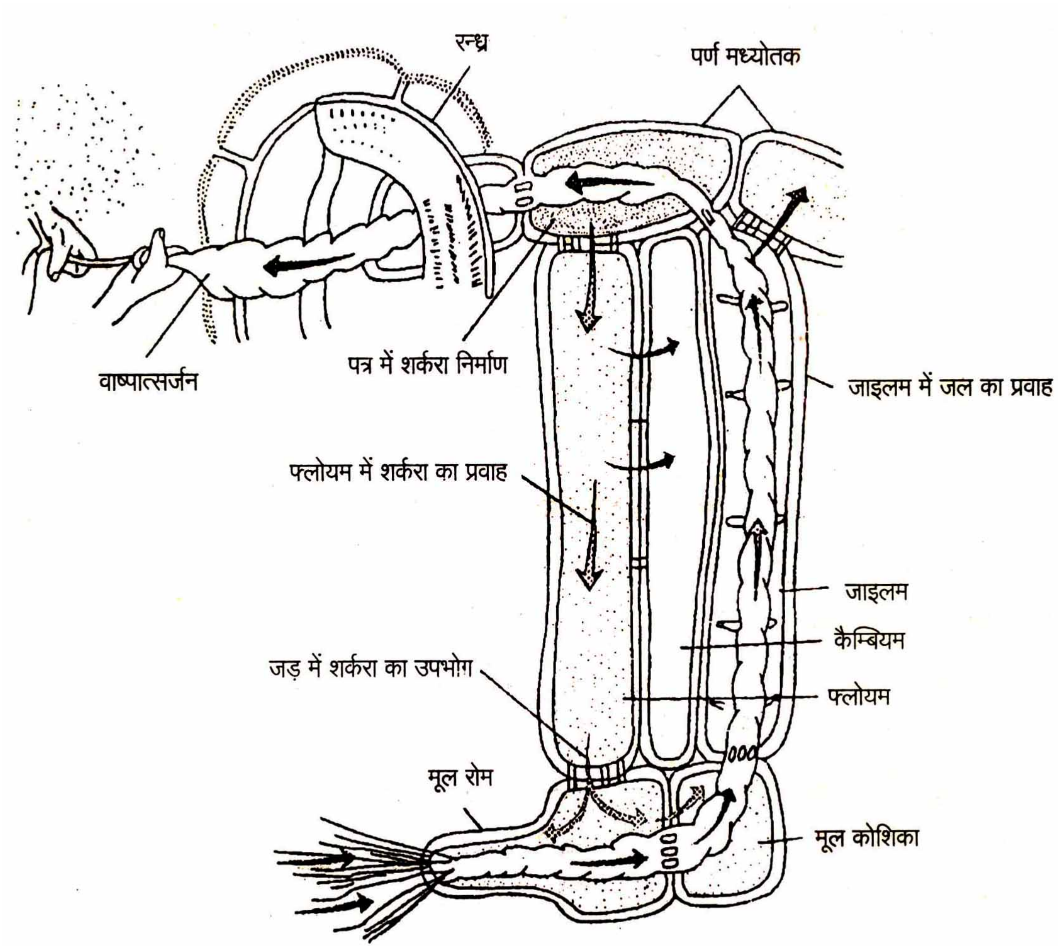
1. जीवद्रव्य प्रवाह गति युवा चालनी नलिकाओं में पाई जाती हैं परिपक्व कोशिकाओं में इस गति का अभाव होता है जबकि वृक्षों में युवा चालनी नलिकाओं की अपेक्षा परिपक्व नलिकाओं की संख्या अधिक होती है ।
2. जीवद्रव्य प्रवाह गति की दर 2-5 सेमी. प्रति घण्टा होती है जबकि कार्बनिक अणुओं का परिवहन 100-150 सेमी. प्रतिघण्टा
 की दर से होती है।
3. इस वाद के प्रमुख आपात है,कि परिपक्व चालानी नलिकाओं अल्प मात्रा मे होती है



चित्र 5.7 जीवद्रव्यी प्रवाही परिकल्पना का प्रदर्शन

5.4.6 द्रव्य मान प्रवाह परिकल्पना (Mass flow hypothesis or Munch hypothesis)

यह परिकल्पना **मुन्च** (1930) द्‌वारा प्रस्तुत की गई थी इसे मुन्च परिकल्पना भी कहते हैं । इसके अनुसार कार्बनिक पदार्थों का परिवहन द्रव्य (mass) के रूप में होता है । उत्पादन व उपभोग अंगों के मध्य स्फतिदाब -प्रवणता इस परिवहन के लिए उत्तरदायी होती है । मुन्च के अनुसार फ्लोयम की चालनी नलिकाएँ सिरों से आपस में जुड़ी रहती हैं तथा इनका जीवद्रव्य प्लाज्मोडेस्मेटा द्‌वारा जुड़ा रहता है । जिससे एक सतत् तंत्र का निर्माण होता है । इसे सिम्प्लास्ट (symplast) कहते हैं, जो पादप के शीर्ष से आधार तक सतत् होता है । तथा सीधे अक्ष की दिशा में पारगम्य (permeable) होता है । पत्तियों (स्रोत) में प्रकाश संश्लेषण के फलस्वरूप कार्बोहाइड्रेट्स का निर्माण होता है जो पर्णमध्योतक कोशिकाओं में प्लोज (शर्करा) के रूप में एकत्र होता है । इस कारण इनका परासरणी दाब बढ़ जाता है तथा यह जायलम तत्वों से जल ग्रहण करती है जिससे इनका स्फीत दाब (turger pressure) बढ़ जाता है । उच्च स्फीत दाब के कारण विलयन इन कोशिकाओं से चालनी नलिकाओं में प्रवेश कर जाता है । पर्णमध्योतक कोशिकाओं में प्रकाश संश्लेषण के फलस्वरूप शर्करा की सान्द्रता लगातार बनी रहती है । जिसके कारण इनका स्फीत दाब भी बना रहता है । इसके विपरीत जड़ या उपयोग केन्द्र (सिंक) में शर्करा या कार्बनिक पदार्थों का उपयोग अथवा अघुलनशील रूप में (स्टार्च) संग्रहण होता रहता है जिससे इनका परासरणी दाब कम हो जाता है अर्थात् स्फीत दाब कम रहता है । इस प्रकार स्रोत (पर्णमध्योतक) तथा उपभोग सिरो (जड़ या अन्य भाग) के मध्य स्फीत दाब प्रवणता के फलस्वरूप विलयन (घुलनशील विलेय जल) का द्रव्य प्रवाह (mass flow) पत्तियों से जड़ की ओर फ्लोयम में होता रहता है (चित्र 5.8) । जड़ों या उपयोग वाले सिरे पर शर्करा का उपयोग हो जाता है या स्टार्च के रूप में संचित हो जाता है तथा जल जायलम वाहिकाओं में विसरित हो जाता हैं तथा ऊपर की ओर परिवहन करता है

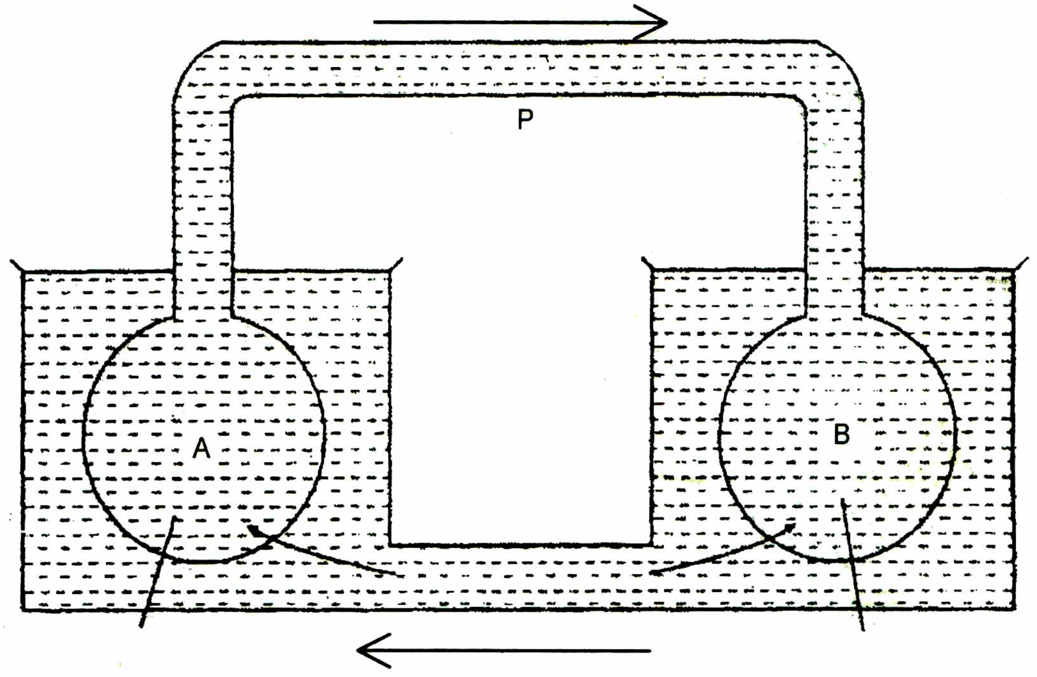


चित्र 5.8 : द्रव्यमान प्रवाह परिकल्पना का आरेखी निरुपण

मुन्च परिक्लपना का प्रायोगिक प्रदर्शन (Domonstration of Munch hypothesis)

इसे निम्न साधारण प्रयोग से दिखाया गया है । दो बल्व (A) तथा (B) जो अर्धपारगम्य झिल्ली से बने होते हैं आपस में एक नली T (चित्र 5. 9) द्‌वारा जोड़ दिये जाते हैं तथा दोनों में शर्करा का विलयन भर दिया जाता है । बल्ब (A) में शर्करा का सान्द्र विलयन तथा (B) में तंतु विलयन भरा जाता है । अब इस उपकरण को जल से भरे काँच के बर्तन 'D'(reservoir) में लटका दिया जाता है । परासरण की क्रिया के फलस्वरूप जल बल्व में प्रवेश करता है । चूँकि बल्व A की सान्द्रता B से अधिक है इसलिए A में B की तुलना में अधिक द्रव स्थैतिक दाब अथवा स्फीत उत्पन्न होता है इस कारण इस विलयन का प्रवाह A से B की ओर होगा तथा यह प्रवाह स्फीत दाब प्रवणता के कारण तब तक होता रहेगा जब तक A व B विलय की सान्द्रता बराबर न हो जाये । यदि यह प्रवाह सतत् रूप से बनाये रखना है तो बल्ब A में शर्करा का सतत् रूप से आते रहना तथा बल्व B से सतत् रूप से शर्करा का निकलते रहना आवश्यक है । बल्ब A(Source) स्रोत की भाँति कार्य करता है जहाँ (पर्णमध्योतक) शर्करा का निरन्तर संश्लेषण होता है तथा बल्ब B (सिंक) का कार्य करता है । बल्ब A व B को जोड़ने वाली नली T फ्लोयम (चालनी नलिका) का कार्य करती है ।

जिससे द्रव्यमान प्रवाह होता है तथा जल से भरा बर्तन D जायलम वाहिका के तुल्य है ।



चित्र 5.9 : द्रव्यमान प्रवाह का प्रदर्शन

(a) पक्ष में प्रमाण (Evidence)

(i) तने के फ्लोयम में चीरा लगाने पर इस भाग से तेजी से शर्करा युक्त रस का स्राव होता है, जो प्रमाणित करता है कि फ्लोयम में विलेय दबाव के साथ प्रवाहित होते हैं ।

(ii) अधिकतर पौधों की चालनी नलिकाओं में सान्द्रता प्रवणता पाई जाती है । जिमरमैन के अनुसार प्रत्येक 8 मीटर दूरी पर सान्ध्रता प्रवणता 20: कम हो जाती है ।

(iii) सान्द्रता प्रवणता में परिवर्तन के कारण पत्तियों के अभाव में पर्ण पाती वृक्षों में फ्लोयम प्रवाह की दिशा नीचे से ऊपर की ओर होती है तथा पत्तियाँ विकसित होने पर प्रवाह की दिशा पुन: नीचे की ओर हो जाती है ।

(iv) कार्बनिक पदार्थो की प्रवाह गति जो वास्तव में पाई जाती है, द्रव्यमान प्रवाह द्वारा ही संभव है ।

(b) आक्षेप (Objections)

(1) इस परिकल्पना के अनुसार परिवहन एकदिशिय (u8nidirectional) होता है । जबकि फ्लोयम में पीरवहन द्विदिशिय (bidirectional) होता है अर्थात् एक ही समय में दो विपरीत दिशाओं में स्थानान्तरण होता है ।

(2) चालनी नलिकाओं के छिद्र विशेष परिस्थितयों में सघन जीवद्रव्य के कारण बन्द हो जाते हैं ऐसी स्थिति में द्रव्यमान प्रवाह संभव नहीं होता है ।.

(3) कुछ वैज्ञानिकों के अनुसार सिंक सिरे (ग्रहण करने वला ऊतक) की कोशिकाओं का परासरणी दाब संभरण कोशिकाओं (स्रोत) के परासरणी दाब से अधिक होता है ।

(4) **वैनर** (1953) के अनुसार चालनी नलिकाओं में सुक्रोज की सान्द्रता पर्णमध्योतक कोशिकाओं की तुलना में कई गुना अधिक होती है । जिससे विलयन का प्रवाह पर्णमध्योतक से चालनी नलिका में संभव नहीं है ।

(5) **स्पेनर** (1973) के अनुसार पीरवहन में उपापचयी क्रियाओं का योगदान होता है क्योंकि पर? स्थानांतरण दर को कम कर देता है जबकि मुन्च के अनुसार उपापचयी क्रियाओं का कोई योगदान नहीं हैं ।

5.5 कार्बनिक पदार्थों के परिवहन सम्बन्धित आधुनिक तथ्य (Modern Views)

1. **डेविलन** (1966) के अनुसार सुक्रोज का सम्भावित अधिगमन वाहक सम्मिश्र (carrier complex) के रूप में होता है जिसका निर्माण शर्करा तथा वाहक के योग द्वारा होता है । संभरण बिन्दु से अभिगमन बिन्दु तक शर्करा का स्थानांतरण वाहक सम्मिश्र के रूप में होता है ।
2. **लेविट** (1969) ने मुन्च परिकल्पना का रूपान्तरण प्रस्तुत किया उनके अनुसार पर्णमध्योतको में उत्पन्न होने वाला प्रारम्भिक स्फीत दाब, द्रव्यतंतुओं से पदार्थों का प्रवाह तथा परिवहन का चक्रीय तंत्र ये तीनो तथ्य मुन्च परिकल्पना से निकाल देने चाहिये । लेविट के अनुसार प्रारम्भिक स्फीत दाब फ्लोयम कोशिकाओं में ही उत्पन्न होता है जिससे ये कोशिकाएँ पत्तियों से शर्करा का चूषण करता है । फ्लोयम में स्फीत दाब को उत्पत्ति इसकी उपापचय क्रिया तथा श्वसन ऊर्जा द्वारा उत्पन्न होती है ।

5.5.1 द्विदिशिक स्थानांतरण (Bidirectional translocation)

पौधों में यह अवलोकन किया गया है कि फ्लोयम में विलेयों का कई बार विपरीत दिशा में भी स्थानांतरण होता है, अर्थात मूल से पत्तियाँ की ओर भी परिवहन होता है । प्रायोगिक स्तर पर यह प्रदर्शित किया गया है कि अगर एक पौधे के मध्य भाग अर्थात् मूल तथा शीर्ष के बीच में स्थित एक पत्ती को नामांकित CO2(Labelled C14O2) का संभरण किया जाये तो इस पत्ती द्वारा संश्लेषित शर्कराओं की उपस्थिति को पौधे के मूल भाग तथा शीर्ष भाग दोनों ओर पाया जाता है । इससे यह सिद्ध होता है कि प्रकाश संश्लेषणी पर्ण से शर्कराओं का ऊपर तथा नीचे की दिशा में दोनों ओर अभिगमन होता है । ऐसा समझा जाता है कि पौधे की कुछ चालनी नलिकाओं में शर्कराएँ ऊपरी दिशा में जबकि कुछ में नीचे की दिशा में प्रवाहित होती है । चालनी नलिकाओं में विलयों की द्विदिशिक गति को दाब प्रवाह परिकल्पना (pressure flow hypothesis) के अनुसार सही माना जा सकता है । इसके अनुसार विलेयों का स्थानांतरण उच्च स्फीत दाब वाले क्षेत्र बिन्दु से निम्न स्फीत दाब वाले क्षेत्र की ओर जाता है ।

5.5.2 स्रोत -सिंक संकल्पना (Source-sink concept)

पौधों में पत्तियों भोजन उत्पादक अंग है । इस प्रकार पत्तियाँ खाद्य पदार्थों के प्राथमिक स्रोत (primary source) के रूप में प्रयुक्त होती है । पत्तियों से संश्लेषित भोजन पौधों के उन भागों

में स्थानांतरित होता है जहाँ स्थानीय रूप से इसका संश्लेषण नहीं होता है । पुन : पत्तियों से संश्लेषित भोजन संचयी अंगो जैसे. फलो, बीजो, संग्रहकारी खे, स्तंभों में भी स्थानांतरित होता है। यहाँ से संग्रहित भोजन आवश्यकतानुसार पौधे के अप्रकाश संश्लेषी ऊतको को स्थानांतरित होता है । संचयकारी अंगों को भोजन का द्वितीयक स्रोत (secondary source) कहा जा सकता है । पौधे के अप्रकाश संश्लेषी ऊतक जिनको भोजन का स्थानांतरण होता है जिन्हें अपवाहिका या सिंक कह सकते हैं । इस प्रकार पौधे की सक्रिय प्रकाश संश्लेषि पत्तियाँ को स्रोत बिन्दु (source point) जबकि अन्य सभी अंगों को जो कार्बोहाइड्रेटों का श्वसन व अन्य क्रियाओं में उपयोग करते हैं अपवाहिका बिन्दु (sink point) कह सकते हैं । जिस समय स्रोत कोशिकाओं में प्रकाश संश्लेषण की क्रिया तेज होती है तब शर्कराओ का सिंक कोशिकाओं की ओर स्थानांतरण भी तीव्र गति से होता है । अगर अपवाहिका कोशिकाओं में स्थानान्तरित शर्कराओं का शीघ्र उपयोग नहीं होकर ये वहाँ संचित होने लग जाये तो इससे प्रकाश संश्लेषण का पुनर्भरण निरोध (sink capacity) स्रोत कोशिकाओं में प्रकाश संश्लेषण की दर का निर्धारण करती है । ज्ञातव्य है कि पौधों में कार्बनिक पदार्थों का स्थानांतरण सदैव इनके विलयन रूप में होता है । पुन : स्थानांतरण के दौरान स्रोत तथा अपवाहिका संकल्पना (source and sink concept) का महत्वपूर्ण योगदान है ।

5.6 स्थानांतरण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting translocation)

कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण पर विभिन्न पर्यावरणीय कारकों तथा आन्तरिक परिस्थितयों का प्रभाव पड़ता है जो निम्न है _

1. **तापमान (Temperature) :** तापमान कार्बनिक पदार्थों के स्थानांतरण को प्रत्यक्ष तथा परोक्ष रूप से प्रभावित करता है क्योंकि यह स्थानांतरण के अतिरिक्त प्रकाश संश्लेषण तथा श्वसन दर को प्रभावित करता है । सामान्यतया 25-35 C पर स्थानांतरण की दर उच्चतम होती है तथा अत्याधिक उच्च व निम्न तापमान पर दर बहुत कम हो जाती है । तापमान का यह प्रभाव अस्थायी है, क्योंकि उच्च सान्द्रता प्रवणता के कारण शीघ्र ही सामान्य स्थिति प्राप्त हो जाती है ।
2. **प्रकाश (Light) :** हार्ट एव सहयोगियों (1964) के अनुसार पत्तियों से स्वांगीकृत पदार्थों का स्थानातरण विकिरण ऊर्जा अथवा प्रकाश पर निर्भर करता है । उन्होंने पाया कि गन्ने में स्वांगीकृत पदार्थों का स्थानांतरण प्रकाश की अनुपस्थिति में लगभग 50% कम हो जाता है । हार्ट के अनुसार स्थानांतरण की उच्चतम दर प्रकाश संश्लेषण की उच्चतम दर के लिए आवश्यक तरग दैर्ध्य से कम तरंग दैर्ध्य पर प्राप्त होती है । इस आधार पर उन्होंने कार्बनिक पदार्थों के स्थानान्तरण के लिए फोटो ट्रासलोकेशन (phototranslation) शब्द का प्रयोग किया ।

3. **ऑक्सीजन** (Oxygen) : परिवहन के लिए ऑक्सीजन की उपस्थिति आवश्यक होती है । क्योंकि स्रोत ऊतकों में सुक्रोज के फ्लोयम लोडिंग के समय सम्भवत APT की आवश्यकता होती है ।
4. **सान्द्रता प्रवणता (Concentration gradient) :** सामान्यत : कार्बनिक विलेयों का स्थानांतरण उच्च सान्द्रता (स्रोत) से निम्न सान्द्रता के क्षेत्रों (सिंक) की ओर होता है । इस प्रकार सान्द्रता प्रवणता अधिक होने पर स्थानांतरण की दर भी अधिक होती है । प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक सान्द्रता के प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से प्रभावित करते हैं ।
5. **उपापचय (Metabolism) :** स्रोत से सिंक ऊतकों को स्थानांतरण के लिए आवश्यक प्रक्रिया लोडिंग तथा अनलोडिग के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है । इसलिए इन दोनों ऊतकों की उपापचयी अवस्था मुख्यत : श्वसन क्रिया स्थानांतरण को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती है । प्रकाश संश्लेषण तथा श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक स्थानांतरण को अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं ।
6. **खनिजों की न्यूनता (Mineral deficiency)** :कुछ तत्वों की उपस्थिति या अनुपस्थिति स्थानांतरण की गति को प्रभावित करती हैं । बोरोन की उपस्थिति में स्थानांतरण दर बढ़ जाती है । संभवत : कोशिका कला की पारगम्यता स्क्रोज की अपेक्षा सुक्रोज बोरेट सम्मिश्र के लिए अधिक होने के कारण ऐसा होता है । इसी प्रकार गन्ने में K+ की सान्द्रता कम होने पर स्थानांतरण की दर कम हो जाती है ।
7. **अन्य कारक (Other factor) :** वृद्धि हॉर्मोन (IAA,GA) भी विलेयों के स्थानांतरण की दर को बढ़ाते हैं । पादपों में परजीवियों की उपस्थिति स्थानांतरण दर को कम करती है क्योंकि ये परजीनी परपोषी से भोजन अवशोषण करते हैं अर्थात् एक अतिरिक्त सिंक बन जाता है जिसके कारण पादप के अन्य स्थानों की ओर स्थानांतरण में कमी आ जाती है । पादप में आर्द्रता प्रतिबल (Moisture stress) की स्थिति में भी स्रोत से सिंक की ओर कार्बनिक विलेयों का प्रवाह कम हो जाता।

बोध प्रश्न

बहुविकल्पात्मक प्रश्न

1. वलयन प्रयोग हेतु बाह्य छीले गये भाग में होता है ।
   (अ) कार्क
   (ब)वल्कुट
   (स)फ्लोयम
   (द) उपरोक्त सभी
2. पत्तियों में संश्लेषित कार्बोहाइड्रेट फ्लोयम द्वारा स्थानांतरित होते हैं ।
   (अ) घुलनशील स्टार्च के रूप में
   (ब) सुक्रोज के रूप में
   (स) ग्लूकोज

(द)लेक्टोज के रूप में

3. खाद्य पदार्थों के स्थानांतरण के सम्बन्ध में सबसे अधिक मान्य मत है ।

(अ) विसरण परिकल्पना

(ब) जीवद्रव्य प्रवाहगति

(स) वैद्युत परासरण परिकल्पना

(द) द्रव्यमान प्रवाह परिकल्पना

4. कार्बनिक विलेय पदार्थों के स्थानांतरण का मार्ग है ।

(अ) वाहिकाएँ

(ब) वाहिनिकाएँ

(स) चालनी नलिकाएँ

(द) उपरोक्त सभी

5. द्रव्यमान प्रवाह की मुन्च परिकल्पना प्रदर्शित करती है ।

(अ) केवल एकदिशिय स्थानांतरण

(ब) द्विदिशिय स्थानांतरण

(स) ऊर्जा का उपयोग स्पष्ट करती है

(द) उपरोक्त कोई नहीं

6. कार्बोहाइड्रेट का स्थान फ्लोयम से होता है, इसका प्रदर्शन किया जाता है ।

(अ) मूल दाब द्वारा

(ब) ग्राफ्टिंग द्वारा

(स) वलयन प्रयोग द्वारा

(द) उपरोक्त सभी

5.7 सारांश (Summary)

पौधों की पत्तियों में क्लोरोफिल की उपस्थिति से प्रकाश संश्लेषण क्रिया के परिणामस्वरूप कार्बोहाइड्रेट अर्थात् भोजन का निर्माण होता है, इसका पौधे के प्रत्येक भाग में गमन होता है । अत : कार्बनिक विलेय पदार्थों का स्रोत (source) से सिंक (sink) तक का चालन या गमन कार्बनिक विलयों का स्थानांतरण (transport of organic solutis) कहलाता है ।

कार्बनिक पदार्थों के स्थानांतरण की निश्चित प थ व दिशा होती है तथा इसका परिवहन संवहन तंत्र के प्रमुख आ फ्लोयम द्वारा होता है तथा तीन दिशाओं में स्थानांतरण होता है जो अधोमुखी, अनुदैर्ध्य तथा पार्श्व परिवहन कहलाता है । फ्लोयम एक जटिल ऊतक है । जिसमें चार मुख्य घटक होते हैं (1) चालनी तत्व 2) सहचर कोशिकाएँ (3) फ्लोयम मृदूतक तथा (4) फ्लोयम तंतु । चालनी तत्व में चालनी कोशिका तथा चालनी नलिकाएँ होती हैं ये परिसंचरण में बहुत ही महत्वपूर्ण भूमिका अदा करते हैं ।

कार्बनिक पदार्थों के परिवहन को स्पष्ट करने हेतु कई वैज्ञानिकों द्वारा विभिन्न प्रयोग किये गये तथा उनके आधार पर कई वाद व परिकल्पनाएँ प्रस्तुत की गई जो परिवहन के पथ व दिशा को

स्पष्ट करती है । कार्बनिक पदार्थों के परिवहन का मार्ग एकदिशिय अथवा द्विदिशय दोनों प्रकार से हो सकता है । मुंच ने अपनी द्रव्यप्रवाह परिकल्पना द्वारा इसे प्रतिपादित करने का प्रयास किया । कार्बनिक विलेयों के स्थानांतरण पर विभिन्न पर्यावरणीय कारकों तथा आन्तरिक परिस्थितियों का प्रभाव पड़ता हैं ये कारक हैं तापमान, प्रकाश, ऑक्सीजन, उपापचय क्रियाएँ, खनिजों की न्यूनता तथा आर्द्रता प्रतिबल व वृद्धि नियमक आदि ऐसे कारक है जो परिवहन की क्रिया को प्रभावित करते हैं ।

5.9 शब्दावली (Terminology)

1. **विसरण (Diffusion)** पदार्थों का उच्च सान्द्रता से निम्न सान्द्रता की ओर स्थानांतरण
2. **अवसे धन (Blocking)** चालनी नलिका का कैलस नि क्षेपण के कारण अवरुद्ध होना ।
3. **वलयन (Ringing)** तने की मोटी छाल को फ्लोयम सहित हटाना जिससे जायलम वाहिनियाँ पीरकर्तित स्तभ में सुरिक्षत रहे
4. **रासायनिक विश्लेषण (Chemical analysis)** किसी यौगिक अथवा मिश्रण का रासायनिक संगठन जानने हेतु विश्लेषण ।
5. **अधोमुखी स्थानांतरण (Downward translocation)** विलेयों का ऊपर से नीचे की ओर स्थानांतरण ।
6. **अनुदैर्ध्य स्थानांतरण (Vertical translocation)** ऊपर की ओर स्थानांतरण जायलम व फ्लोयम द्वारा ।
7. परिकर्तित (Girdled) किसी प्रयोग म काष्ठीय तने की छाल (bark) उतारे जिससे फ्लोयम समाहित हो परन्तु जायलम सुरक्षित रहें ।
8. **प्रतिदीप्तरंजक (Flouresent-dry)** एक प्रकार का रंजक।
9. **आरीय स्थानांतरण (Lateral translocation)** जड़ व मज्जा में भोज्य पदार्थों का स्थानांतरण आरीय किरणों के माध्यम से होता हैं यह आरीय स्थानांतरण कहलाता है ।
10. **द्विदिशिय स्थानांतरण (Bidirectional translocation)** दोनों दिशाओ में स्थानांतरण ।

5.10 संदर्भ ग्रन्थ (Reference)

(1) Plant Physiology Biochemistry and biotechnology by H.S Srivastava.

(2) Plant Physiology Biochemistry and Biotechnology by P.C Trivedi, Anukriti Atreya and Kirti Pathak.

(3) A Text book plant Physiology by V. Verma.

4. पादप कार्यिकी एव जैव रसायन - जगेरिया एम.जे. कौर छाबडा तथा एन.सी.ऐरी
5. पादप कार्यिकी एव जैव रसायन - डॉ. एम.एल. वर्मा तथा डी.बी.एल चौधरी
6. पादप कार्यिकी एव जैव रसायन - डॉ. पी.सी. त्रिवेदी, डॉ. एन. शर्मा एव डॉ आर.एस. धनखड़

5.11 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers)

बहु विकल्पात्मक प्रश्न

1. (द) 2. (स) 3. (द) 4. (स) 5. (अ)
6. (स).

5.12 अभ्यासार्थ प्रश्न (Questions)

लघुरात्मक प्रश्न

1. कार्बनिक विलेयों के स्थानांतरण से क्या तात्पर्य है ।
2. स्रोत तथा सिंक को परिभाषित कीजिए ।
3. वलयन प्रयोग क्यो किया जाता है ।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. पौधों में कार्बनिक पदार्थो के स्थानांतरण के सम्बन्ध में प्रस्तुत विभिन्न पीरकल्पनाओं का वर्णन करें ।
2. पौधों में कार्बनिक पदार्थो के स्थानांतरण की दिशा को स्पष्ट करें ।
3. कार्बनिक पदार्थो के स्थानांतरण में स्रोत व सिंक सम्बंध की व्याख्या कीजिए ।
4. द्रव्यमान प्रवाह पीरकल्पना का वर्णन कीजिए तथा इसके विरुद्ध आपत्तिया क्या है वर्णन करें।

इकाई 6 : प्रकाश संश्लेषण : प्रकाश संश्लेषी उपकरण एव वर्णक, प्रकाश अभिक्रिया प्रकाश तंत्र-I प्रकाश तंत्र-II, Z- स्कीम, प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण, कैल्विन चक्र (C3 चक्र) (Photosynthesis: Photosynthetic apparatus and Pigment Light Reaction Photosystem-I, Photosystem-II, Z-scheme, Photophosphorylation, Calvin cycle (C3Cycle)

इकाई की रूपरेखा

6.0 उद्देश्य

6.1 प्रस्तावना

- 6.2.1 प्रकाश संश्लेषण पीरचय एवं पीरभाषा
- 6.2.2 प्रकाश संश्लेषण का इतिहास
- 6.2.3 प्रकाश संश्लेषण का महत्व
- 6.2.4 प्रकाश संश्लेषण का स्थल
- 6.2.5 हरित लवक की परासंरचना
- 6.2.6 प्रकाश संश्लेषी वर्णक

6.3 प्रकाश संश्लेषण की क्रियाविधि के चरण

- 6.3.1 प्रकाश संश्लेषण की अभिक्रिया के प्रमाण

6.4 प्रकाश संश्लेषण की क्रिया विधि

- 6.4.1 प्रकाश अभिक्रिया
- 6.4.2 प्रकाश तंत्र
  - (a) प्रकाश तंत्र - 1
  - (b) प्रकाश तंत्र - 11
- 6.4.3 प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण
  - (a) चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण
  - (b) अचक्रीय प्रकाश फॉस्फारिलीकरण

6.5 अप्रकाशिक अभिक्रियाC3 चक्र

6.5.1 कार्बोक्सिलीकरण
6.5.2 फॉस्फोरिक अम्ल का अपचयन
6.5.3 हैक्सोज शर्करा का संश्लेषण
6.5.4 राइबुलोज-5 फास्फेट का पुनर्जनन
6.6 सारांश
6.7 शब्दावली
6.8 संदर्भ ग्रन्थ
6.9 बोध प्रश्नों के उमर
6.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

6.0 उद्देश्य (Object)

इस इकाई के अध्ययन के पश्चात् आप निम्न बातों को भलीभाँति समझ सकेंगे ।

(i) प्रकाश संश्लेषण किस प्रकार की क्रियाविधि हे?

(ii) इसका पौधों व समस्त जीवों के लिए क्या महत्व है?

(iii) प्रकाश संश्लेषण की क्रियाविधि कोशिका के किस कोशिकांग में होती है तथा उसकी व वर्णकों की क्या महत्वपूर्ण भूमिका

(iv) इस प्रक्रिया में प्रकाश व CO2 की क्या अहम भूमिका है?

(v) चक्रीय व अचक्रीय फॉस्फोरिलीकरण किस प्रकार होता है?

(vi) कैल्विन चक्र (C3चक्र) द्वारा CO2 का स्थिरीकरण किस प्रकार होता है?

6.1 प्रस्तावना

प्रकाश संश्लेषण एक उपचयी (anabolic) क्रिया है जिसमें सरल अकार्बनिक पदार्थो (CO2 व H2O) से जटिल कार्बनिक पदार्थो (ग्लूकोज) का संश्लेषण होता है ।

यह प्रक्रिया क्लोरोफिल युक्त कोशिकाओं में CO2,जल व प्रकाश की उपस्थिति में सम्पन्न होती है ।

समस्त विषमपोषी पौधे व जीव जगत (जन्तु व मनुष्य) भोजन के लिए प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से इसी क्रिया पर आश्रित है ।

प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया दो चरणों में सम्पादित होती है (i) प्रकाश अभिक्रिया (ii) अप्रकाशिक अभिक्रिया

प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण की क्रिया दो अलग - अलग चक्रों (चक्रीय व अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकण) में सम्पन्न होती है ।

प्रकाश अभिक्रिया में ATP व NADPH2 का निर्माण होता है इस ऊर्जा व अपचायक को अप्रकाशिक अभिक्रिया में CO2 के स्वांगीकरण के लिए उपयोग में लिया जाता है के लिए उपयोग में लिया जाता है तथा कार्बोहाइड्रेट का निर्माण व O2का विमोचन होता है ।

6.2.1 प्रकाश संश्लेषण : परिचय एवं परिभाषा

परिचय (Introduction) : भूमण्डल पर प्रकाश संश्लेषण सबसे महत्वपूर्ण जैव रासायनिक प्रक्रिया है । यही एक मात्र ऐसी क्रिया है जिसके द्वारा प्रचुर मात्रा में कार्बनिक पदार्थो का संश्लेषण किया जाता है व सजीवों में ऊर्जा का संग्रहण होता है । पौधे और जन्तुओ की ऊर्जा प्राप्त करने की विधि में महत्वपूर्ण अन्तर है । जन्तु इसे स्वयं नहीं बनाते हैं बल्कि बाहर से ग्रहण करते है इसके विपरीत पौधे सूर्य से प्राप्त प्रकाश ऊर्जा (light energy) को रासायनिक ऊर्जा (chemical energy) में परिवर्तित करते हैं । यह ऊर्जा एडीनोसीन ट्राइफीस्फेट (ATP) तथा अपचयित निकोटिनामाइड एडीनीन डाइफॉस्फेट (NADPH) के रूप में संचित रहती है । पौधे इस ऊर्जा का उपयोग कार्बन -डाइ - ऑक्साइड के अपचयन (reduction) में करते हैं जिसके फलस्वरूप कार्बोहाइड्रेट प्राप्त होता हैं जो पृथ्वी पर उपस्थित सभी जन्तुओं के लिए कार्बनिक पदार्थों का स्रोत हैं ।

परिभाषा (Definition) : पर्णहरित युक्त कोशिकाओं में प्रकाश की उपस्थिति में जल एवं कार्बन -डाइ - आंक्साइड से जटिल कार्बनिक पदार्थों के निर्माण की प्रक्रिया को प्रकाश संश्लेषण(photosynthesis) कहते हैं (फोटोस = प्रकाश, सिन्थेसिस= एक साथ लाना)

इस प्रक्रिया को इस प्रकार भी परिभाषित किया जा सकता है ' 'हरे पौधों द्वारा प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित कर उसे रासायनिक ऊर्जा में पीरवर्तित करने की क्रिया को प्रकाश संश्लेषण कहते हैं

इसे निम्नलिखित समीकरण द्वारा बताया जा सकता है :

$$6CO_2+6H_2O \xrightarrow[\text{क्लोरोफिल}]{\text{प्रकाश}} C_6H_{12}O_6+6O_2$$

रुबेन व कामेन (Ruben and Kamen , 1941) ने आइसोटोपिक ऑक्सीजन युक्त जल के प्रयोगों से यह स्पष्ट कर दिया कि O2 की विमुक्ति जल से ही होती है अत : इस अभिक्रिया को निम्न प्रकार से दर्शाया जाता है

$$6CO_2+6H_2O \xrightarrow[\text{क्लोरोफिल}]{\text{प्रकाश}} C_6H_{12}O_6+6H_2O+6O_2$$

क्योंकि जल के 6 अणु ऑक्सीजन के 6 अणुओं को विमुक्त करने में सक्षम नहीं होते अत : एक हेक्सोज अणु के निर्माण हेतु 12 जल अणुओं की आवश्यकता होती है ।

6.2.2 प्रकाश संश्लेषण का इतिहास (History of Photosynthesis)

(i) अरस्तू (Aristotle) एवं अन्य प्राचीन ग्रीक दर्शन शास्त्रियों का यह मानना था कि पौधे अपना भोजन सीधे मिट्टी से प्राप्त करते हैं । यह सिद्धान्त हयूमस सिद्धांत (humus theory) के नाम से जाना गया व 1 9वीं शताब्दी के अत तक मान्य रहा ।

(ii) वान हेल्मोंट (Van Helmont) ने सोलहवीं शताब्दी में सैलिक्स की पौध पर किये गये प्रयोगों के आधार पर यह बताया कि पादप वृद्धि मृदा अथवा मिट्टी पर नहीं बल्कि जल पर निर्भर करती है ।

(iii) स्टीफन हेल्स (Stephan Hales,1727) जिन्हें पादप फिजियोलोजी का जनक (Father of Plant of Physiology) कहा जाता है की पुस्तक में पौधों में प्रकाश संश्लेषण के

विषय में संभवत ' प्रथम लिखित प्रमाण मिले उन्होंने बताया कि पौधे अपने पोषण का कुछ अंश वायु से प्राप्त करते हैं और इसके लिए सूर्य के प्रकाश की भी आवश्यकता होती है ।

(iv) जोसेफ प्रिस्टले (Joseph Priestley,1972) ने सर्वप्रथम जन्तुओं व पौधे में गैस के आदान -प्रदान के अन्तर को बताया । उनके अनुसार पौधे वायु को शुद्ध करने का कार्य करते हैं । उन्होंने देखा कि मोमबत्ती के जलने से हुई दूषित वायु को पौधे पुन ' शुद्ध कर देते हैं ।

(v) जेन - आइजन -हाउज (Jan Ingen Hous,1779) ने यह मत प्रस्तुत किया कि पौधों के केवल हरे भाग प्रकाश की उपस्थिति में वायु को अशुद्ध करते हैं इस प्रकार आइजन -हाउज ने सर्वप्रथम प्रकाश संश्लेषण में क्लोरोफिल व प्रकाश के महत्व को बताया व स्टीफन हेल्स द्वारा दिये गये अनुमानों की पुष्टि की ।

(vi) 1781 में जोसेफ प्रिस्टले ने आइजन हाउस के विचारों से सहमति प्रकट की परन्तु उस समय तक इन दोनों में से किसी को भी इस प्रक्रिया में कार्बन -डाइऑक्साइड के महत्व का ज्ञान नहीं था ।

(vii) 1782 में जीन सेनेबियर (Jean senebier) ने यह प्रमाणित किया कि पौधों की वायु को शुद्ध करने की क्षमता कार्बन - डाइऑक्साइड की उपस्थिति पर निर्भर करती है इस प्रकार प्रकाश संश्लेषण में दोनों गैसों की सहभागिता प्रमाणित हुई है ।

(viii) एन टी डी. सासर(N.T Saussure) ने 1804 में सबसे पहले यह प्रमाणित किया कि पौधे के क्लोरोफिल युक्त हरे भाग प्रकाश की उपस्थिति में कार्बन -डाइऑक्साइड (CO2) को अवशोषित करके ऑक्सीजन (O2) मुक्त करते हैं । उन्होंने बताया कि प्रकाश संश्लेषण में बने कार्बनिक पदार्थ व ०2 का भार अवशोषित की गई p ०, के भार से अधिक है चूँकि प्रयोगों में पौधे को केवल वायु व जल उपलब्ध कराया गया था अत : यह निष्कर्ष निकाला गया कि पौधों में भोजन बनाने के लिए CO2 के अतिरिक्त जल की आवश्यकता होती है ।

(ix) पैलेटियर व कैवन्टयू (Pelletier and caventou,1818) ने हरे पौधों में क्लोरोफिल की खोज की व डयूट्रोसेट (Dutrochet,1837) ने इस वर्णक के प्रकाश संश्लेषी सम्बन्ध को बताया ।

(x) सेच (Sachs,1864) ने प्रकाश की उपस्थिति में क्लोरोप्लास्ट में स्टार्च के निर्माण का अध्ययन किया तथा निष्कर्ष निकाला कि प्रकाश संश्लेषण का प्रथम दृश्य उत्पाद स्टार्च (starch) है ।

(xi) एफ. ब्लैकमैन (F.Blackman,1905) ने प्रकाश संश्लेषण के अध्ययन को एक नई दिशा दी व बताया कि प्रकाश संश्लेषण स्व प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया (Photochemical reaction) ही नहीं बल्कि एक जैव रासायनिक अभिक्रिया (Biochemical reaction) भी है । प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया के लिए प्रकाश आवश्यक है अत : इसे प्रकाश अभिक्रिया (Light reaction) भी कहते है जबकि जैव रासायनिक अभिक्रिया के लिए प्रकाश की आवश्यकता नहीं होती अत : इसे अप्रकाशिक अभिक्रिया (dark reaction) भी कहते हैं ।

(xii) 1930 में सी.बी. वान नील (C.B Van Niel) ने एक महत्वपूर्ण खोज की व बताया कि प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया हरे पौधों व कुछ जीवाणुओं में लगभग समान होती है । कुछ

जीवाणु CO2 को अपचयित करते हैं परन्तु O2मुक्त नहीं होती है उन्होंने यह भी बताया कि CO2का स्थिरीकरण व माध्यम में उपस्थित हाइड्रोजन दाता पदार्थ का ऑक्सीकरण साथ - साथ होता है ये पदार्थ जल के स्थान पर अन्य जैसे. हाइड्रोजन सल्फाइड, कार्बनिक अस्त, थायोसल्फेट, एल्कोहॉल व आण्विक हाइड्रोजन आदि होते हैं ।

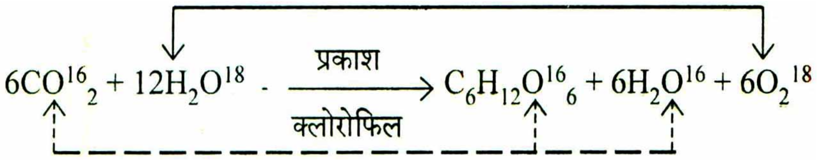
गंधक जीवाणु H_2S को हाइड्रोजन दाता के रूप मे प्रयुक्त करते हैं जबकि शैवाल व अन्य हरे पादप H2O को । नील ने इन जीवाणुओं के लिए निम्न समीकरण प्रतिपादित किया

$nCO_2 + 2nH_2S + Light \rightarrow (CH_2O)n + H_2O + 2S$

इस खोज से नील ने यह निष्कर्ष निकाला की हरे पौधों में O_2 की विमुक्ति CO_2से न होकर H_2Om से होती है ।

(xiii) प्रकाश संश्लेषण में होने वाली प्रकाशिक व अप्रकाशिक अभिक्रिया के महत्व को ब्लैकमैन ने 1905 में ही स्थापित कर दिया था परन्तु इन अभिक्रियाओं के विभिन्न चरणों का विस्तृत अध्ययन रार्बट हिल (Robert Hill,1937) ने किया । उन्होंने पृथक्कृत क्लोरोप्लास्ट (isolated chloroplast), प्रकाश, जल, तथा उपयुक्त हाइड्रोजन ग्राही (hydrogen acceptor) की उपस्थिति (CO2 की अनुपस्थिति) में यह देखा कि O2 विमुक्त होती है परन्तु कार्बोहाइड्रेट का संश्लेषण नहीं होता है । प्रकाशिक अभिक्रिया को उनके सामान में हिल अभिक्रिया (Hill reaction) का नाम दिया गया । इस प्रयोगों से यह स्पष्ट हो गया कि (i)O2 का विमोचन प्रकाशिक अभिक्रिया में होता है व (ii) प्रकाश संश्लेषण के दौरान उत्पन्न O2जल के अणुओं से आती है ।

(xiv) एस. रुबेन तथा एम. कामेन (S.Ruben and M.Kamen,1941) ने आइसोटोपिक ऑक्सीजन (18O) के प्रयोग द्वारा यह प्रमाणित किया कि प्रकाश संश्लेषण में O2 की विमुक्ति जल से ही होती है विमुक्त O2 में आइसोटोप केवल उसी दशा में दिखाई देते हैं जबकि H218O उपयोग किया जाता है, C18O2 उपयोग करने पर विमुक्त O2 आइसोटोपिक नहीं होती है । इसलिए प्रकाश संश्लेषण की अभिक्रिया का निम्न प्रकार दर्शाशा जाता है



(xv) ओकावा और विश्नेक (Ochava and Vishinac, 1951) ने प्रकाश अभिक्रिया के दौरान NADP से NADPH के निर्माण की खोज की ।NADPH के निर्माण की खोज की । NADP इलेक्ट्रॉन ग्रहण कर NADPH में अपचयित हो जाता है तथा Co2 को अपचयित करने में सक्षम होता है ।

(xvi) डेनियल आर्नन (Daniel Arnon,1954) ने प्रकाशीय फॉस्फोरिलीकरण की खोज की व बताया कि पृथक्कृत क्लोरोप्लास्ट में ATP संश्लेषण सिर्फ प्रकाश की उपस्थिति में ही होता है इस प्रक्रिया को प्रकशीय फास्फोरिलीकरण (photophosphorylation) कहा जाता है ।

इस प्रकार उपरोक्त अवलोकनों के आधार पर प्रकाश संश्लेषण को CO2 का प्रकाश रासायनिक अपचयन (Photochemical reduction of CO2) कहा जा सकता है । केल्विन (Calvin, 1955) ने CO2 के अपचयन या स्थिरीकरण की क्रियाविधि की खोज की व बताया कि यह एक चक्रीय क्रम होता है । उनके नाम के आधार पर इस चक्र को केल्बिन चक्र कहते हैं ।

1965 में कार्टशेक व सहयोगी (Kortschek et.al) ने गन्ने में CO2 के स्थिरीकरण के परिणामस्वरूप C4 डाइकार्बोक्सिलिक अम्ल के निर्माण की खोज की बाद में हैच व स्लेक (Hatch and Slack, 1970) ने C4 चक्र को विस्तृत रूप से बताया रॉहनी व सहयोगियों से (Rauhani et.al 1973) ने सिडम (Sedum) पादप में (Crassulian Acid Melabolism CAM) चक्र की खोज की ।

6.2.3 प्रकाश संश्लेषण का महत्त्व (Significance of Photosynthesis)

जीवन के निरन्तर अस्तित्व के लिए प्रकाश संश्लेषण एक आधारभूत व परम आवश्यक प्रक्रिया है क्योंकि सजीवों को कार्बनिक भोजन त था O2 इसी प्रक्रिया के फलस्वरूप मिलते हैं ।

1. अकार्बनिक पदा थीं से कार्बनिक भोजन के उत्पादन की यही एक मात्र विधि है हरे पौधे स्वयं ही स्वपोषी (autotrophic) नहों है बल्कि समस्त विषमपोषी (heterotrophic) पौधों व समस्त जन्तु समुदाय को भोजन प्रदान करते हैं । सभी जन्तु व मनुष्य भोजन के लिए प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से इसी क्रिया पर आश्रित हैं ।
2. प्रकाश संश्लेषी उत्पाद सजीवों को केवल भोजन ही प्रदान नहीं करते बल्कि उनके संरचनात्मक निर्माण व विभिन्न उपापचयी क्रियाओं व गति के लिए ऊर्जा भी प्रदान करते हैं । कार्बनिक भोजन में समहित रासायनिक ऊर्जा विकिरण ऊर्जा का ही परिवर्तित रूप है ।
3. खनिज, कोयला, पैट्रोलियम तथा प्राकृतिक गैस आदि अतीत के भूगर्भिय युगों की प्रकाश संश्लेषी पूंजी को निरूपित करते हैं इनका निर्माण सजीवों के दबे हु ए अवशेषों से उष्मा व दबाव के फलस्वरूप होता है काष्ठ के साथ ये भूगर्भिय पदार्थ महत्वपूर्ण ऊर्जा के स्रोत हैं ।
4. भोजन के अतिरिक्त कार्बनिक जगत के अनेक उत्पाद प्रकाश संश्लेषण के परिणामस्वरूप ही प्राप्त होते हैं जैसे प्राकृतिक रेशे, औषधियों, गौंद, टेनिन, रेजिन, वर्णक, तेल आदि ।
5. सजीवों की श्वसन क्रिया में निरन्तर O2 का उपभोग व CO2 का निकास होता है । इसके आतिरिक्त कार्बनिक पदार्थों (ईंधन) के जलने से भी भारी मात्रा में CO2 की उत्पत्ति होती है । वायुमण्डल में CO2 की अधिकता विषाक्त होती है लेकिन पौघे इन प्रक्रियाओं में उत्पन्न CO2 का निरन्तर प्रकाश संश्लेषण में उपयोग करके O2 विमुक्त करते हैं जिसके परिणामस्वरूप वायुमण्डल में इन गैसों की सान्द्रता स्थिर बनी रहती है जिससे वातावरण सजीवों के अनुकूल बना रहता है ।

6.2.4 प्रकाश संश्लेषण का स्थल (Site of photosynthesis)

हरित लवक (chloroplast) वे कोशिकांग है जहाँ प्रकाश संश्लेषण की क्रिया सम्पन्न होती है । ये अत्यन्त जटिल संरचना वाले कोशिकांग हरे पौधों के कोशिका द्रव्य में उपस्थित होते हैं इनका

विकास प्रोप्लास्टिड (proplastids) नामक छोटे अपरिपक्व त था रंगहीन प्लास्टिड से होता है । बीज अंकुरण के बाद तने व पत्तियों के विकास के समय प्रोप्लास्टिड क्लोरोप्लास्ट में विकसित हो जाते हैं ।

नील हरित शैवालों, कवकों व कुछ जीवाणुओं के अतिरिक्त सभी हरे पौधों में हरित लवक उपस्थित होते हैं । ये विभिन्न आकृतियों जैसे. अण्डाकार, गोलाकार, दीर्घवृत्ताकार होते हैं । क्लोरोप्लास्ट, का व्यास 4 -10 तथा मोटाई 1-3 होती है

शैवालों में यह आकार व आकृति में अत्यधिक विभिन्नता दर्शाते हैं । जैसे? **क्लेमाइडोमोनास (Chlamydomonas)** में प्यालेनुमा (cupshaped), क्लोरेला (Chlorella) में घंटाकार (bell shaped) यूलोथिक्स (Ulotrix) में गर्डल नुमा (girdle shaped) व जिग्निमा (Zygnema) में तारे के आकार (stellate) के होते हैं ।

क्लोरोप्लास्ट उच्च पादपों में मुख्यत _ पर्णमध्योतक में उपस्थित होते हैं व प्रत्येक कोशिका में इनकी संख्या अलग - अलग पादपों में भिन्न -भिन्न होती है ।

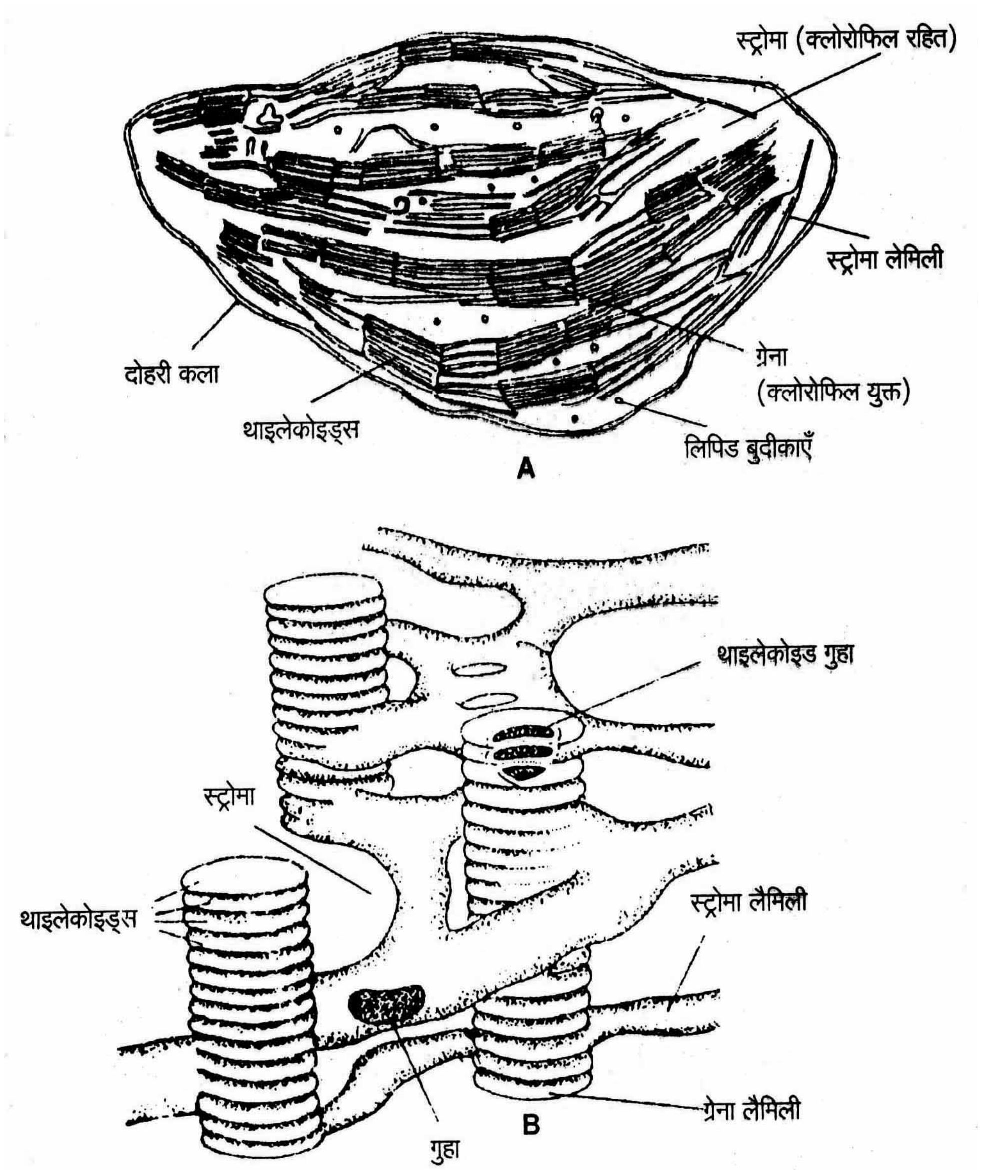
6.2.5 हरित -लवक की परासंरचना (Ultra Structure of Chloroplast)

प्रत्येक क्लोरोप्लास्ट दो एकल कलाओं (two unit membrane) द्वारा आबद्ध रहता है । प्रत्येक कला की मोटाई 50-80A होती है । दोनों कलाओं के मध्य 75 - 100A चौड़ा अवकाश होता है जिसे परिकला अवकाश (periplastid space) कहते हैं । क्लोरोप्लास्ट दो स्पष्ट क्षेत्रों में विभेदित होता है जिन्हें स्ट्रोमा (stoma) तथा ग्रेना (grana singular grannum) कहते हैं (चित्र 6. 1 मै) ।

स्ट्रोमा (Stroma) क्लोरोप्लास्ट का यह मैट्रिक्स भाग है इसमें प्रोटीनयुक्त विषमांग तरल पदार्थ भरा रहता है इसमें DNA अणु, निम्न अणुभार वाले RNA अणु, राइबोजोम्स (70S) व ओसमिओफिलिक कणिकाएँ उपस्थित होती हैं । जिनमें तेल की बूँदे संचित होती हैं ।

स्ट्रोमा में कुछ स्थानों पर पटलिकाएँ (lamellae) उपस्थित होती हैं इन्हें स्ट्रोमा पटलिकाएँ (stroma lamellae) कहते हैं । प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशीय अभिक्रिया स्ट्रोमा में सम्पन्न होती है इसके अलावा इसमें प्रोटीन लिपिड व न्यूक्लिक अम्ल उपापचय भी होता है ।

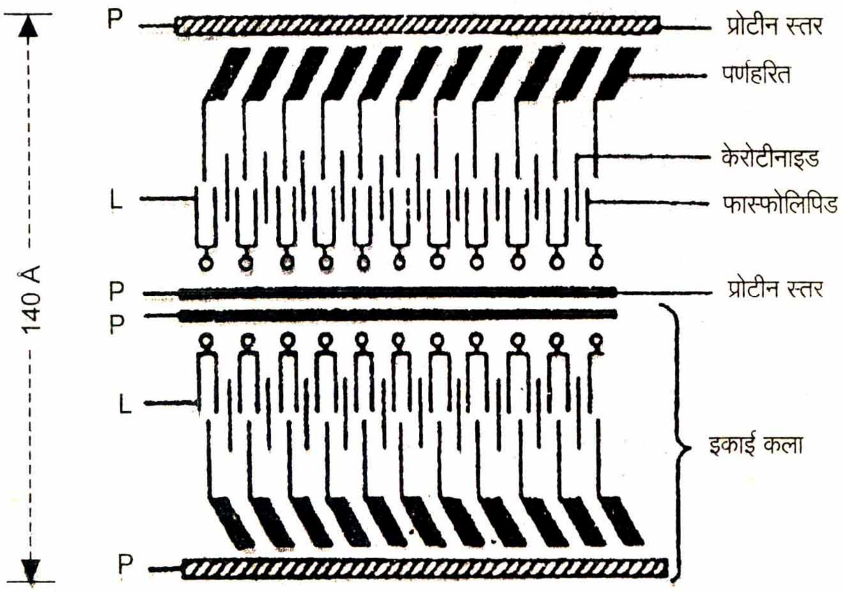
ग्रेन (Grana) क्लोरोप्लास्ट का यह भाग सबसे महत्वपूर्ण एवं जटिल होता है । प्रत्येक क्लोरोप्लास्ट में 40 - 60 ग्रेनम (granum) उपस्थित होते हैं ग्रेनम पटलिकाएँ (lamellae) सिक्के के चट्टे (stack of coins) की भाँति एक के ऊपर एक व्यवस्थित होती हैं । ग्रेना आपस में एक दूसरे से स्ट्रोमा पटलिकाओं या फ्रेट्स द्वारा जुड़े रहते हैं एक स्ट्रोमा पटालिका एक या अधिक ग्रेनम का भाग बनाती है, इन स्थानों पर ग्रेना व स्ट्रोमा पटलिकाओं में स्पष्ट अतर नहीं होता है एक ग्रेनम में 10 -100 पटलिकाओं का चट्टा होता है प्रत्येक पट्टलिका थायलेकॉइड कहलाती है यह दो कलाओं से निर्मित होती है व इन के मध्य स्थित गुहा को ल्यूमन (lumen) कहते हैं । इस ल्यूमन में जल व अनेक घुलनशील लवण उपस्थित होते हैं थाइलेकॉइड कला में क्लोरोफिल व केरोटिनाइड वर्णक उपस्थित होते हैं (चित्र 618)



चित्र 6.1 : A. हरित लवक की आंतरिक संरचना, B. स्ट्रोमा में थाइलेकोइड्स की व्यवस्था

थाइलेकॉइड में प्रत्येक दो प्रोटीन परतों के मध्य लिपिड वर्णक (lipid pigment) की एक द्वि आण्विक परत या दो एक अणुक परत पाई जाती है । इस परत में क्लोरोफिल, केरोटिनॉइड त था फॉस्फोलिपिड पाये जाते हैं ।

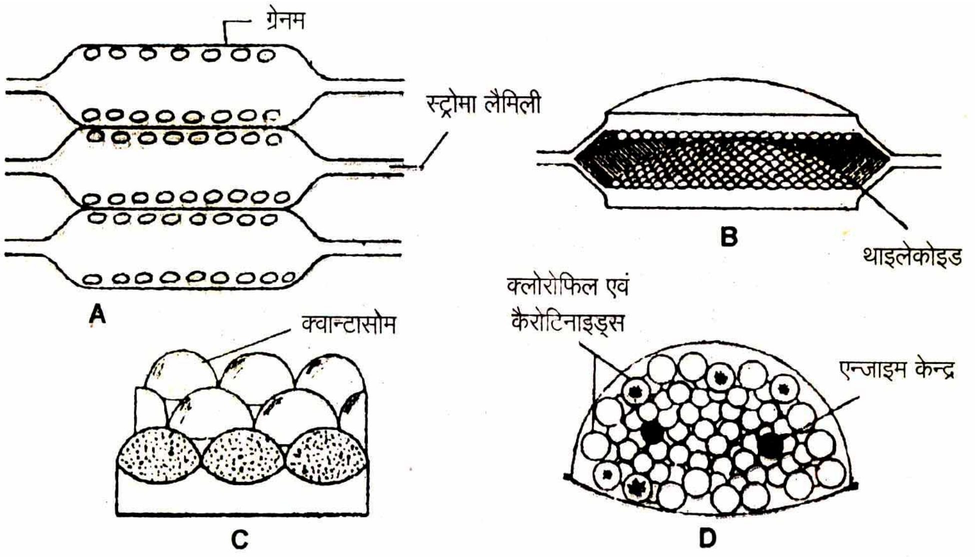
प्रत्येक परत या स्तर में क्लोरोफिल अणुओं का पोरफायीरन सिर प्रोटीन की ओर व फायटोल पूँछ फॉस्फोलिपिड की ओर होती है (चित्र 6.2) । ऐसा मत है कि प्रकाश संश्लेषण की प्रकाशीय अभिक्रिया थायलेकॉइड में सम्पन्न होती है व इसके फलस्वरूप बनने वाले उत्पाद जैसे ATP तथा अपचयित को - एन्जाइम (reduced co-enzyme) थायलेकॉइड से मैट्रिक्स में विसरित (diffuse) हो जाते हैं तथा CO_2 के स्थिरीकरण में भाग लेते हैं ।



चित्र 6.2 : एक थाइलेकाइड का परासंरचना का मॉडल

क्वान्टाजोम षाकिता (Quantasome Concept)

1963 में पार्क एवं पान (Park and Pan) ने अपने अध्ययन के आधार पर यह बताया कि थायलेकॉइड की आन्तरिक सतह पर सूक्ष्म, गोलाकार कणिकाएँ पाई जाती हैं जिन्हें स्वांटासोम (Quantasome) कहते हैं (चित्र 6.3) । प्रत्येक क्वांटासोम 180 A लम्बा 160A चौड़ा 100A मोटाई का होता है व इसका आण्विक भार 2 x 10^5d होता है । प्रत्येक क्वांटासोम में लगभग 230 क्लोरोफिल अणु (160 chl a तथा chl b), 48 केरोटिनाइड्स, 46 स्वीनोन, 116 फॉस्फोलिपिड तथा अन्य अणु व एन्जाइम उपस्थित होते हैं । ये थायलेकॉइड की कलापर अनियमित तरीके से वितरित होते हैं तथा इनको प्रकाश अभिक्रिया की संरचनात्मक रख कार्यात्मक इकाई (structural and functional unit) माना जाता है क्योंकि प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया का केन्द्र इन्हीं में स्थित होता है ।



चित्र 6.3 : क्यांटासोम परिकल्पना : A. ग्रेना का भाग, B. लैमिली का त्रिविम दृश्य, C. लैमिली का विस्तारित भाग, D. क्यांटासोम

6.2.6 प्रकाश संश्लेषी वर्णन (Photosynthetic Pigment)

सभी प्रकाश संश्लेषी जीव प्रकाश ऊर्जा का अवशोषण करके उसे रासार्यानिक ऊर्जा में परिवर्तित करते हैं पौधों में यह कार्य वर्णकों द्वारा किया जाता है जिन्हें प्रकाश संश्लेषी वर्णक (photosynthetic pigment) कहते हैं । पौधो में मुख्य रूप से तीन प्रकार के वर्णक पाये जाते हैं । क्लोरोफिल (chlorophyll), केरोटिनाइड्स (carotenoids) तथा फाइकोबिलिन्स(phycobilins) के रोटिनाइड्स व फाइकोबिलिन्स सहायक वर्णक (accessory pigment) भी कहलातें हैं यह दोनों क्लोरोफिल जो कि प्रधान प्रकाश - संश्लेषी वर्णक (accessory pigment) के साथ सम्बद्ध पाये जाते हैं । सभी प्रकार के प्रकाश संश्लेषी वर्णक क्लोरोप्लास्ट (chloroplast) अथवा क्रोमेटोफोर (chromatophore) नामक प्लास्टिड्स में स्थित होते हैं ।

I. **क्लोरोफिल वर्णक (Chlorophyll Pigment) :** प्रकाश संश्लेषी वर्णकों में क्लोरोफिल सबसे अधिक महत्वपूर्ण हैं अब तक निम्नलिखित 9 प्रकार के क्लोरोफिल वर्णक पहचाने जा चुके हैं" क्लोराफिल a, b, c, d, e, बैक्टीरिया क्लोरोफिल a व b तथा क्लोरोबियम क्लोरोफिल 650 व 660 । इनमें से क्लोरोफिल (chl a) सार्वत्रिक वर्णक है जो जीवाणु के अतिरिक्त सभी स्वपोषित (autotrophic) पौधो में पाया जाता है । chl b भी व्यापक रूप से मिलता है परन्तु कुछ शैवालों में यह अनुपस्थित होता है । chl c, व e कुछ शैवालों डायटम (diatoms) में chl b व के साथ पाये जाते हैं परन्तु उच्च पादपों में अनुपस्थित होते हैं । अन्तिम चार प्रकार के क्लोरोफिल (बैक्टीरियों क्लोरोफिल a व b तथा क्लोरोबियम 650 व 660) सिर्फ प्रकाश संश्लेषी जीवाणुओं में उपस्थित होते हैं ।

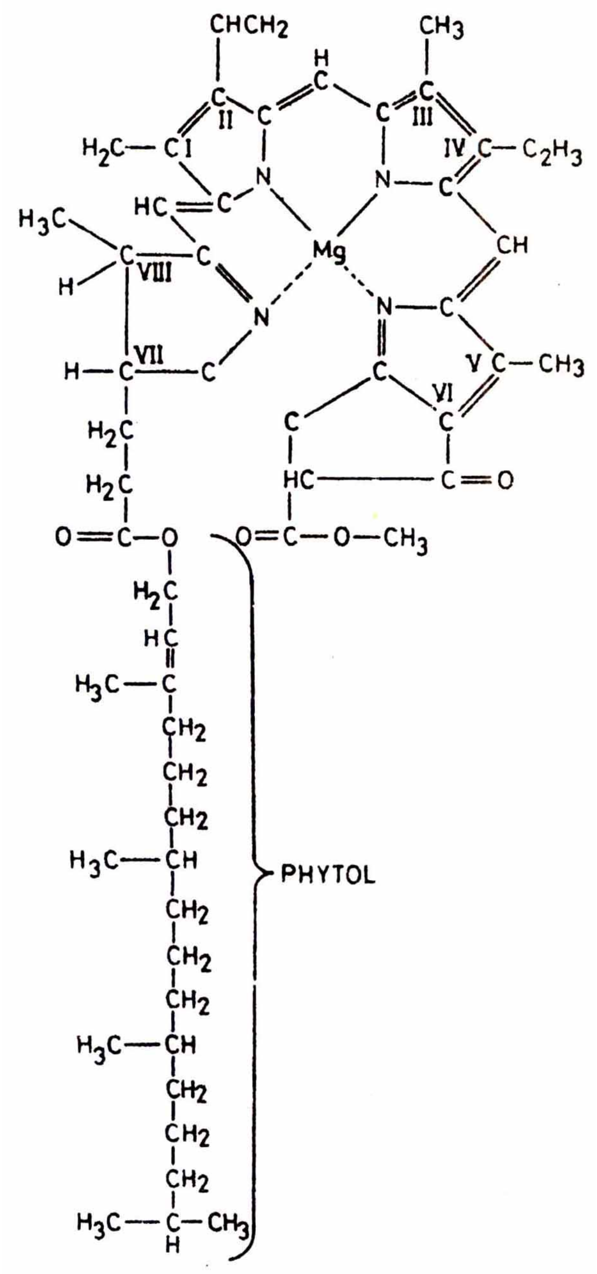
क्लोरोफिल वर्णक कार्बनिक विलायकों में घुलनशील होते हैं जिनमें chl a की विलायकता सर्वाधिक है ।

क्लोरोफिल अणु की संरचना (Structure of Chlorophyll atom)

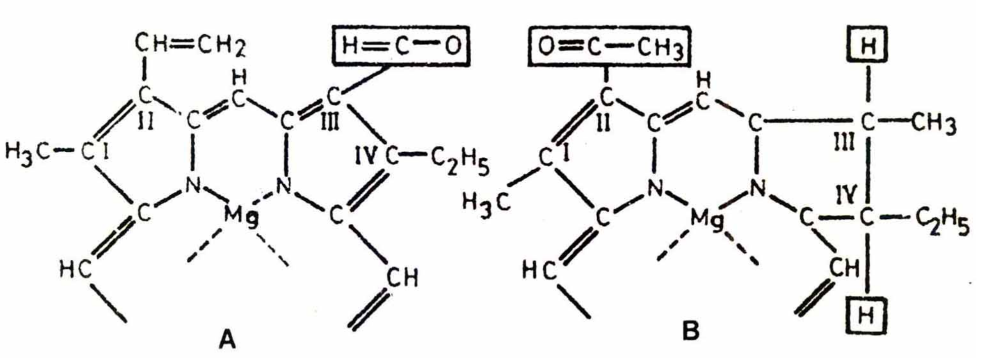
क्लोरोफिल अणु की रासायनिक संरचना का अध्ययन सर्वप्रथम विल्स टाटर, स्टाल व फिशर ने 1912 में किया संरचनात्मक दृष्टि से प्रत्येक अणु एक सिर (head) व पूँछ (tail) में विभेदित होता है । सिर के मध्य में मैग्नीशियम (magnesium,Mg) का एक परमाणु होता है जिसके चारों ओर चार समचक्रिक पाइरोल वलय (isocylic pyrrole ring) तथा एक पाँचवी नॉन - पाइरोल वलय (non-pyrrolering) होती है । प्रत्येक पाइरोल रिंग में 4 कार्बन व एक नाइट्रोजन परमाणु होते हैं नाइट्रोजन के द्वारा रिंग केन्द्रीय मैग्नीशियम परमाणु से उपसहसंयोजकता बंध (co-ordinate bond) द्वारा जुड़ी रहती है । क्लोरोफिल सिर की यह संरचना ट्रेटा पाइरोलिक (tetraphyrolic) अथवा पोरफाइरिन (porphyrin) कहलाती है । सिर का आकार 15 A x 15 A होता है । सिर के एक पाइरोल वलय के साथ एल्कोहॉल की लम्बी श्रृंखला जुड़ी होती है जिसे फाइटोल (phytol) कहते हैं, यह क्लोरोफिल अणु की पूँछ(tail) का निर्माण करती है (चित्र 6.4)। इसकी लम्बाई लगभग 20A होती है।

क्लोरोफिल का सिर जलरागी (hydrophilc) तथा पूँछ जलविरागी (hydrophobic) होती है । थाइलेकॉइड कला में सिर जलीय प्रोटीन परत में तथा पूँछ लिपिड परत में धँसी होती है । चित्र

विभिन्न प्रकार के क्लोराफिल अणुओं में पाइरोल रिंग के साथ भिन्न - भिन्न प्रकार के रासायनिक समूह जुड़े होते हैं उदाहरणतः क्लोरोफिल a में तीसरे कार्बन परमाणु पर CH_3 समूह (methyl group) जुड़ा होता है जबकि क्लोरोफिल b में CHO समूह(aldehyde groups) होता है (चित्र 6. 5A) । इस प्रकार chl b,chl a का ऐल्डिहाइड है । चित्र 6.8 में chl a व ब के अवशोषण स्पेक्ट्रम (absorption spectrum) को दर्शाया गया है । दोनों ही वर्णक दृश्य स्पेक्ट्रम के नीले, बैंगनी व लाल नारंगी प्रकाश को सर्वाधिक अवशोषित करते हैं तथा हरे पीले प्रकाश को सबसे कम अवशोषित करते हैं । यह अवशोषण स्पेक्ट्रम दर्शाता है कि लाल नारंगी व नीले बैंगनी प्रकाश की तरंग दैर्ध्य प्रकाश संश्लेषण की दृष्टि से सर्वाधिक उपयोगी हैं तथा हरे पीले रंग की तरंग दैर्ध्य में प्रकाश संश्लेषण न्यूनतम होगा । क्लोरोफिल वर्णक केवल कार्बनिक विलायकों (organic solvent) में धुलनशील है । chl a पैट्रोलियम ईथर में जबकि chl b मिथाइल एल्कोहॉल में अधिक घुलनशील होता है । chl a व chl b का मूलनुपाती सूत्र (empirical formula) क्रमशः$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ तथा $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ होता है ।chl a का रंग नीला हरा (blue green) व chl b का रंग पीला हरा (yellow green) होता है ।



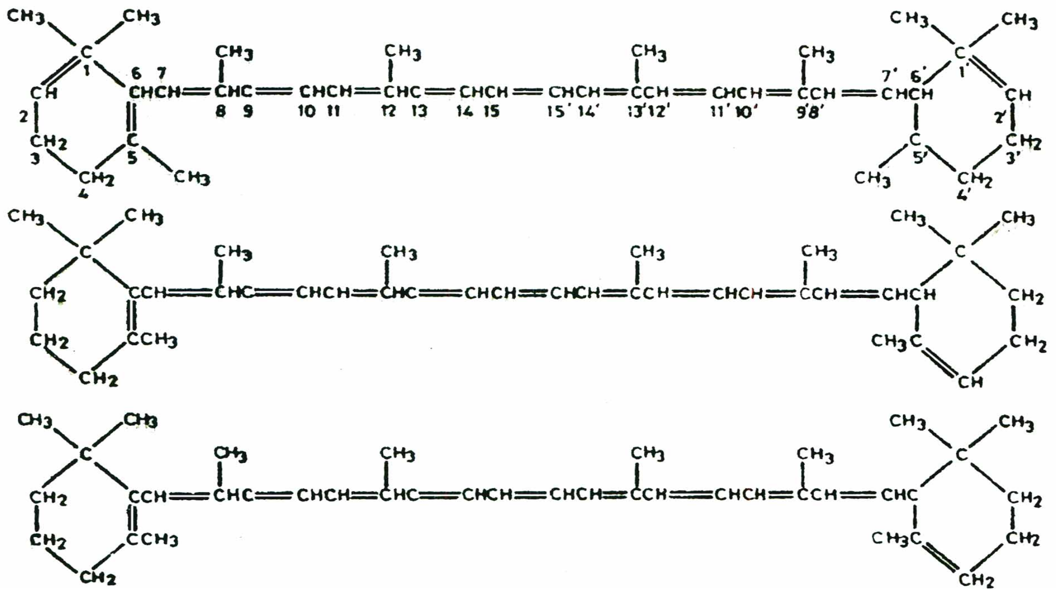
चित्र 6.4 : क्लोरोफिल a अणु की संरचना



चित्र 6.5 : A. क्लोरोफिल b की संरचना, B. जीवाणु क्लोरोफिल

II. **कैरोटिनॉइड वर्णक (Carotenoid Pigments)** ' वेकनरोडर (Wackenroder,1831) ने सर्वप्रथम कैरोटिनॉइड की खोज गाजर (carrot) में की थी उसी से इसका नामकरण कैरोटिनॉइड किया गया । ये लिपिड यौगिक हैं तथा उच्च श्रेणी के पादपों व अनेक सूक्ष्मजीवों में पाये जाते हैं जैसे - शैवाल, कवक व प्रकाश संश्लेषी जीवाणु । यह सामान्यत :पीले, नारंगी, बैंगनी व लाल रंग के होते हैं ।

कैरोटिनॉइड संरचना में क्लोरोफिल अणु के फाइटाल (phytol) से मिलते जुलते होते हैं तथा आइसोप्रिन (isoprene) इकाईयों में बने हुए होते हैं । इसमें दो छ सदस्यीय कार्बन रिंग होती है जो आपस में एक लम्बी हाइड्रो - कार्बन की सीधी असंतृप्त (unsaturated) श्रृंखला से जुड़ी होती है (चित्र 6.6) । ये वलय वर्णक क्लोरोप्लास्टस व क्रोमोप्लास्टस में अन्य वर्णकों के साथ उपस्थित होते हैं । क्लोरोफिल की भांति कैरोटिनॉइड भी केवल कार्बनिक विलायकों में घुलनशील हैं । कैरोटिनॉइड वर्णको को दो समूहों में विभक्त किया जा सकता है (1) कैरोटिन्स (carotenes) तथा (ii) जेनथोफिल्स (xanthophylls) ।



चित्र 6.6 : विभिन्न केरोटिन की संरचना : A. लाइकोपिन, B. a-कैरोटिन, c.b. हैं -कैरोटिन

(i) **कैरोटिन्स** ये हाइड्रोजन व कार्बन परमाणुओं से बने होते हैं व लाल रंग के होते हैं । इनका आपिवक सूत्र (molecular formula) $C_{40}H_{56}$ है। ये वर्णक लाइकोपीन व समावयवी रूपों (isomeric forms) a-कैरोटिन व b -कैरोटिन ?- केरोटिन में रहते हैं
लाइकोपिन को मौलिक वर्णक माना गया है जबकि अन्य तीन समावयवी हैं ।

(ii) **जैन्थोफिल्स** या कैरोटिनोल्स इनमें कार्बन व हाइड्रोजन के अतिरिक्त ऑक्सीजन भी उपस्थित होती है । ये पीले व भूरे रंग के होते हैं । पौधों में जैन्धाफिल्स, कैरोटिन्स की तुलना में अधिक पाये जाते हैं । इनका आण्विक सूत्र $C_{40}H_{56}O_4$ है ।
इनके प्रमुख उदाहरण :

- ल्यूटिन (Lutein:3,3 dihydroxy a-carotene)
- जियाजैन्थिन (zeaxanthin:3,3,dihydroxy,b-carotene)
- वायलोजैन्थिन (violoxanthin:5,6,5,6 diepoxy zeaxanthin))
- क्रिप्टोजैन्थिन (cryptoxanthin:3 hydorxy-b-carotene) वे
- फ़्यूकोजैन्थिन (fucoxanthin) आदि ।

प्रमुख कार्य व महत्व : (b कैरोटिन) हाइड्रोलाइसिस के पश्चात् विटामिन A (Vit A) का निर्माण करता है अत: इसे प्रोविटामिन A भी कहा जाता है ।
कैरोटिनॉइड वर्णकों के प्रमुख कार्य निम्नलिखित हैं ।

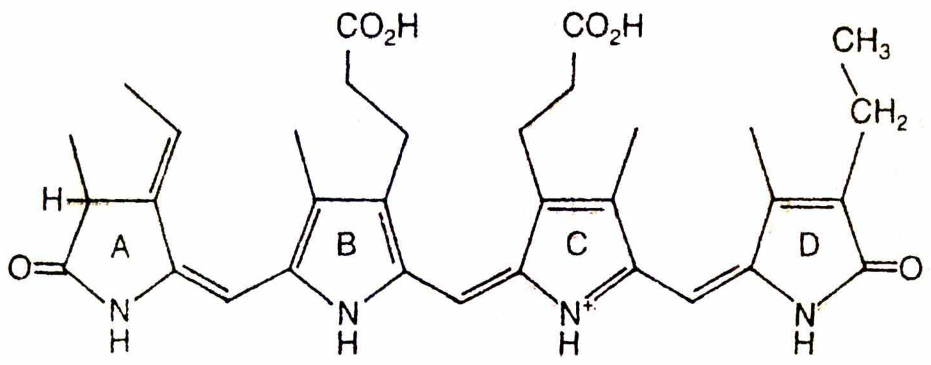
(a) ये प्रकाश संश्लेषण क्रिया में प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित करके क्लोरोफिल को स्थानान्तरित करने का कार्य करते हैं ।

(b) ये क्लोरोफिल को प्रकाशिक ऑक्सीकरण से बचाते हैं ।

(c) ये वर्णक प्रकाशानुवर्तन (photoperiodism) में सभवत: प्रकाशग्राही के रूप में भाग लेते हैं।

III. **फाइकोबिलिन्स (Phycobilins)** कुछ शैवालों व बैक्टीरिया में क्लोरोफिल व कैरोटिनॉइड के अतिरिक्त विशेष प्रकार के वर्णक फाइकोबिलिन्स पाये जाते हैं । ये वर्णक दो प्रकार के होते हैं (i)फाइकोइरिथ्रिन(phycoerythrin) ये लाल रंग के फाइकोबिलिन हैं तथा रोडोफाइसी (लाल शैवाल) वर्ग के शैवालों में पाये जाते हैं । (ii) फाइकोसाइनिन (phycocyanin) ये नीले रंग के वर्णक हैं जो मुख्यत:साइनोफाइसी वर्ग के शैवालों में पाये जाते हैं । ये वर्णक हमेशा प्रोटीन के साथ संयुक्त अवस्था में पाये जाते हैं इसलिए इन्हें बाइलोप्रोटीन (biloprotein) भी कहा जाता है । इनका विशुद्ध रूप में अध्ययन करना कठिन होता है । इनकी आण्विक संरचना क्लोरोफिल की तरह टेट्रापायरोलिक (tetrapyrolic) होती है परन्तु इनमें पाइरोल रिंग समचक्रिक ने होकर रैखिक (linear) होती है (चित्र ०7) । फाइकोइरिथ्रिन हरे प्रकाश (495nm-565nm) को व फाइकोसायनिन नारंगी व लाल प्रकाश (550 nm-615 nm) को अवशोषित करते हैं ये सभी तरंग दैर्ध्य ऐसी हैं जिन्हें क्लोरोफिल अवशोषित नहीं करता है । अत: कैरोटिनॉइड की भांति ये वर्णक की प्रकाश अवशोषित कर उसे chl a को स्थानान्तरित करते हैं इसलिए इन्हें भी सहायक

वर्णक (accessory pigment) कहा जाता है । चित्र 6. 9 में विभिन्न प्रकार के प्रकाश संश्लेषी वर्णकों के अवशोषण स्पेक्ट्रम (absorption spectrum) को दर्शाया गया है ।



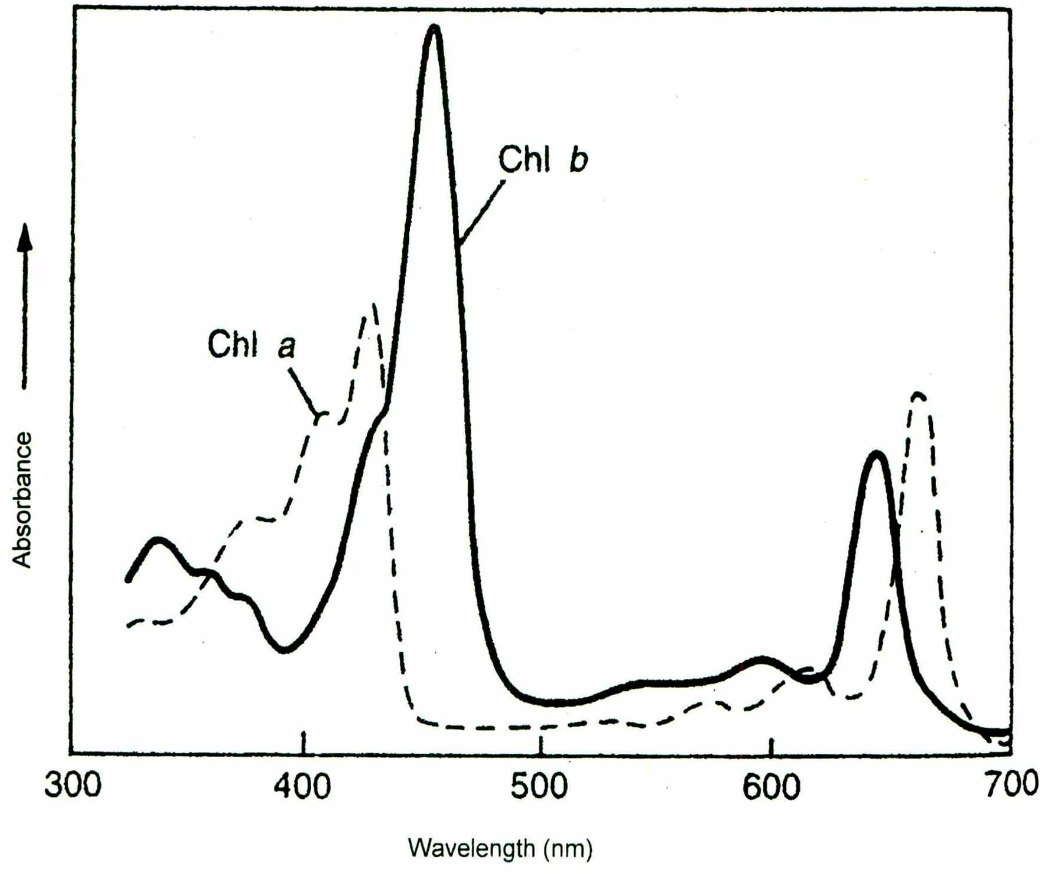
चित्र 6.7 : फाइकोसायनिन (phycocyanin) की रैखिक टेट्रापाइरोलिक (linear tetrapyrolic) संरचना । इसकी तुलना क्लोरोफिल की बन्द टेट्रापाइरोलिक (closed tetrapyrolic) संरचना से करें ।

6.3 प्रकाश संश्लेषण की क्रिया के चरण (Steps of Photosynthesis)

प्रकाश संश्लेषण ऑक्सीकरण अपचयन (oxidation reduction) की एक जटिल प्रक्रिया है जिसमें जल का ऑक्सीकरण व CO_2 का अपचयन कार्बोहाइड्रेट में होता है तथा O_2 व जल सह उत्पाद होते हैं । यूकेरियेटिक पौधों में यह प्रक्रिया क्लोरोप्लास्ट में होती है । यह प्रक्रिया दो चरणों में सम्पन्न होती है, दोनों चरण एक दूसर के स्पष्ट रूप से भिन्न परन्तु परस्पर सम्बन्धित होते हैं ।

(A) **प्रथम चरण** यह चरण प्रकाश ऊर्जा पर निर्भर करता है अत : इसे प्रकाश अभिक्रिया (light reaction) या प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया (photochemical reaction) कहते हैं इस चरण में (i) कुछ निश्चित तरंग दैर्ध्य के प्रकाश का क्लोरोफिल द्वारा अवशोषण (ii) जल का प्रकाशीय अपघटन (photolysis) (iii) ऑक्सीजन का विमोचन तथा (iv) ATP व $NADPH_2$ का संश्लेषण होता है । ATP व NADPH को स्वांगीकरण शक्ति (Assimilatory power) कहते हैं । यही अभिक्रिया क्लोरोप्लास्ट के अन्दर उपस्थित थाइलेकॉइड की कलाओं (membranes) में होती है ।

(B) **द्वितीय चरण** इस चरण में CO_2 का स्वांगीकरण शक्ति द्वारा कार्बोहाइड्रेट्स में अपचयन होता है यद्यपि यह चरण प्रत्यक्ष रूप से प्रकाश पर निर्भर नहीं है परन्तु इसमें प्रथम चरण में संश्लेषित ऊर्जा व अपचायक व (ATP & $NADPH_2$) का उपयोग होता है । अत : इसे अप्रकाशिक अभिक्रिया (dark reaction) अथवा जैवरासायनिक अभिक्रिया (biochemical reaction) कहते हैं यह अभिक्रिया क्लोरोप्लास्ट के स्ट्रोमा में होती है ।



चित्र 6.8:क्लोरोफिल a (dotted line) तथा क्लोरोफिल b (solid line) का अवशोषण स्पेक्ट्रम(absorption spectrum)

6.3.1 प्रकाश संश्लेषण की दो अभिक्रियाओं के लिए प्रमाण

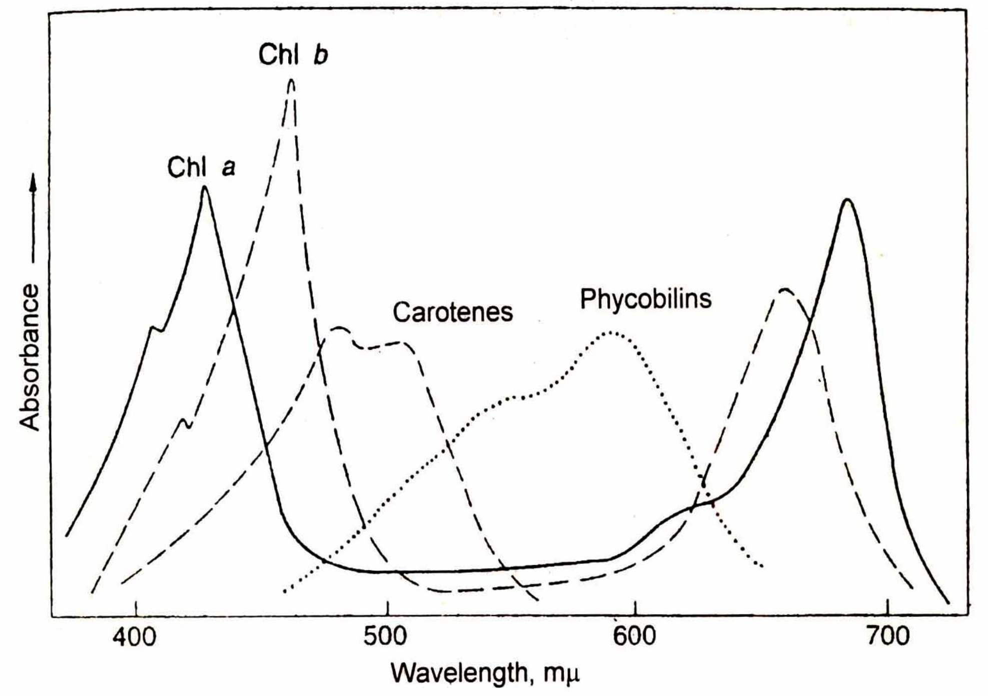
(Evidences in support of two reaction of Photosynthesis)

सबसे पहले ब्लैकमैन ने यह प्रदर्शित किया कि प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश रासायनिक क्रिया (photochemical reaction) तथा जैव रासायनिक क्रिया (bio-chemical reaction) सम्पन्न होती है ऐसे अनेक प्रमाण उपलब्ध है जिनसे यह प्रमाणित होता है कि प्रकाश संश्लेषण में प्रकाश तथा अप्रकाशिक अभिक्रिया होती है ।

कुछ प्रमाण इस प्रकार हैं ।

(i) **तापमान गुणांक (Temperature Cofficient)** : किसी क्रिया का तापमान गुणाक एक विशिष्ट तापमान में क्रिया की दर तथा उससे 100^0C कम या अधिक ताप पर क्रिया के दर का अनुपात होता है इसे Q_{10} से प्रदर्शित करते हैं । भौतिक अथवा प्रकाश रासायनिक क्रियाओं का तापमान गुणांक (Q_{10}) = 1 होता है । परन्तु जैव रासायनिक या शुद्ध रासायनिक क्रियाओं में =Q_{10}=2 या 3 होता है । इसका अर्थ है कि तापमान में प्रति 10^0C परिवर्तन से क्रिया की दर में 2 से 3 गुना परिवर्तन हो जाता है ।

ब्लैकमैन ने अपने प्रयोगों में देखा कि यदि पौधे को पर्याप्त प्रकाश तथा CO_2 उपलब्ध हो तो Q_{10} का मान 2 या अधिक होता है । इससे स्पष्ट होता है कि प्रकाश सश्लेषण में एक अभिक्रिया अवश्य ऐसी है जो तापमान से प्रभावित होती है (अर्थात् रासायनिक क्रिया या अप्रकाशिक क्रिया) ।



चित्र 6.9 : विभिन्न प्रकाशसंश्लेषी वर्णकों (photosynthetic pigments) के अवशोषण स्पेक्ट्रम (absorption spectra)

इसके विपरीत यदि प्रकाश की तीव्रता कम हो तो Q_{10} का मान 1 के लगभग होता है । इससे यह स्पष्ट होता है कि प्रकाश संश्लेषण में कम से कम एक अभिक्रिया ऐसी भी है जो प्रकाश द्वारा नियंत्रित होती है । कम प्रकाश की अवस्था में प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया सीमित या सीमाकारी (limiting factor) हो जाती है जिसके फलस्वरूप अप्रकाशिक अभिक्रियाओं की दर भी सीमित हो जाती है । इस प्रकार तापमान बढ़ाने पर भी प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद उपलब्ध न होने के कारण प्रकाश संश्लेषण की दर बढ़ नहीं पाती है । इससे यह भी स्पष्ट होता है कि प्रकाश व अप्रकाशिक अभिक्रिया यद्यपि भिन्न हैं परन्तु आपस में सम्बन्धित हैं ।

(ii) **आंतरायिक प्रकाश (Intermittent Light)** : वारबर्ज (Warberg, 1919) ने अपने प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध किया आतरायिक प्रकाश (एकान्तर क्रम में प्रकाश व अधकार देने पर) में रखे पौधो में प्रकाश संश्लेषण की दर सतत् प्रकाश (continuous light) में रखे पौधों की अपेक्षा अधिक होती है । इस तथ्य के सन्दर्भ में यह तभी सम्भव है जबकि प्रकाश संश्लेषण की कुछ क्रियाएँ प्रकाश पर निर्भर नहीं करती हों अर्थात् अप्रकाशिक हों । पौधो को सतत् प्रकाश में रखने पर प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद अधिक मात्रा में बनते हैं परन्तु इनका उपयोग अप्रकाशिक अभिक्रिया में उसी दर से नहीं हो पाने के कारण प्रकाश संश्लेषण की दर में कमी

आ जाती है ।आंतरायिक प्रकाश में सम्भवत : प्रकाश अभिक्रिया के उत्पादों का उपयोग सरलता से हो जाता है जिससे प्रकाश संश्लेषण की दर बढ़ जाती है ।

(iii) **कार्बन - डाइऑक्साइड का अपचयन (Reduction of Carbon dioxide) :** प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशिक अभिक्रिया का प्रमाण CO_2 के अंधकार में अपचयन से भी मिलता है । यदि किसी पौधे को CO_2 रहित प्रकाशित वातावरण में रखने के पश्चात रेडियोएक्टिव कार्बन युक्त CO_2 व अंधकार में रखा जाये तो उसकी पत्तियों अंधकार में CO_2 का अपचयन कर कार्बोहाइड्रेट का निर्माण कर देती हैं । इससे स्पष्ट है कि CO_2 का कार्बोहाइड्रेट में अपचयन एक शुद्ध रासायनिक अभिक्रिया है जिनके लिए प्रकाश की प्रत्यक्ष रूप से आवश्यकता नहीं होती है ।

6.4.2 प्रकाश संश्लेषण की क्रियाविधि (Mechanism of Photosythesis)

6.4.1 A प्रकाश अभिक्रिया (Light reaction)

इसे प्रकाश रासायनिक अभिक्रियाएँ (photochemical reactions), प्रकाश प्रावस्था (light phase) या हिल अभिक्रिया (hill reaction) भी कहा जाता है । यह एक जटिल अभिक्रिया है जिसमें कई महत्वपूर्ण घटनाएँ होती हैं । इसका अध्ययन निम्न शीर्षकों के अन्तर्गत किया जा सकता है ।

(a) प्रकाश एव इसका अवशोषण (light and its absorption)

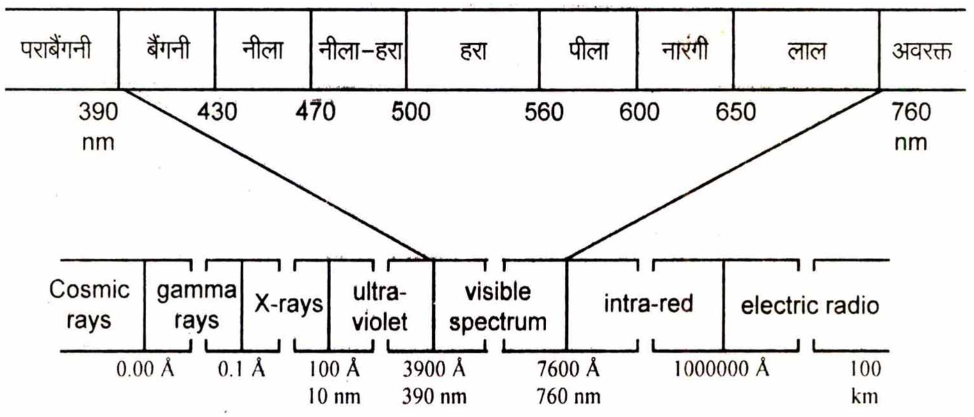
(b) लाल पतन, इमरसन प्रभाव तथा दो वर्णक तंत्र (Red drop Emerson effect and two pigment system)(C)

स्वांगीकरण शक्ति का निर्माण (Production of assimilatory power)

(a) **प्रकाश एवं इसका अवशोषण (Light and its absorption) :** सूर्य के विकिरण विद्युत चुम्बकीय तरंगों (electromagnetic waves) के रूप में गति करते हैं इनकी तरंग दैर्ध्य 200 nm से 4000 nm तक होती है । इनमें से केवल 390 nm से 780 nm के बीच की तरंग दैर्ध्य दृश्यमान (visible) होती है । इसे दृश्यमान स्पेक्ट्रम (visible spectrum) कहते हैं । दृश्य प्रकाश को सात विभिन्न रंगों में विभेदित किया जा सकता है प्रत्येक रग की अपनी विशिष्ट तरंग दैध्य होती है (चित्र 6.10) । जैसे बैंगनी (violet,390-430 nm), जामनी (indigo,430-470 nm), नीला (blue,470-500 nm), हरा (green,500-560 nm), पीला (yellow,560-600 nm), नारंगी (orange,600-650 nm), लाल (red,650-600 nm), 390 nm से कम तरंग दैर्ध्य के विकिरण पैरा बैंगनी (ultraviolet) किरणें तथा 760 nm से अधिक तरंग दैर्ध्य के विकिरण अवरक्त (infrared) किरणें कहलाते हैं ।

पौधों द्वारा अवशोषित वे तरंग दैर्ध्य जो प्रकाश संश्लेषण दृष्टि से उपयोगी है सक्रिय प्रकाश संश्लेषी विकिरण (Photosynthetically Active Radiation,PAR) कहलाती है ।

विद्युत चुम्बकीय तरंगें द्विविध लक्षण (dual characters) दर्शाती हैं (i) ये तरंग (i) के रूप में होती हैं तथा (ii) ऊर्जा के विविक्त कणों (discrete particles of energy) में भी विभेदित होती है । प्रकाश के इन सूक्ष्म उर्जित कणों को क्वांटा(quanta, Singular=quantum) या फोटोन (photon) कहते हैं । किसी भी फोटोन में ऊर्जा की मात्रा विकिरण के तरंग दैर्ध्य पर निर्भर करती है इस ऊर्जा की इकाई (kilo Joule Kj) per mole of quanta है । कम तरंग दैर्ध्य के फोटोन में अधिक ऊर्जा होती है तथा जैसे - जैसे तरंग दैर्ध्य बढ़ती है, फोटोन की ऊर्जा कम होती जाती है ।



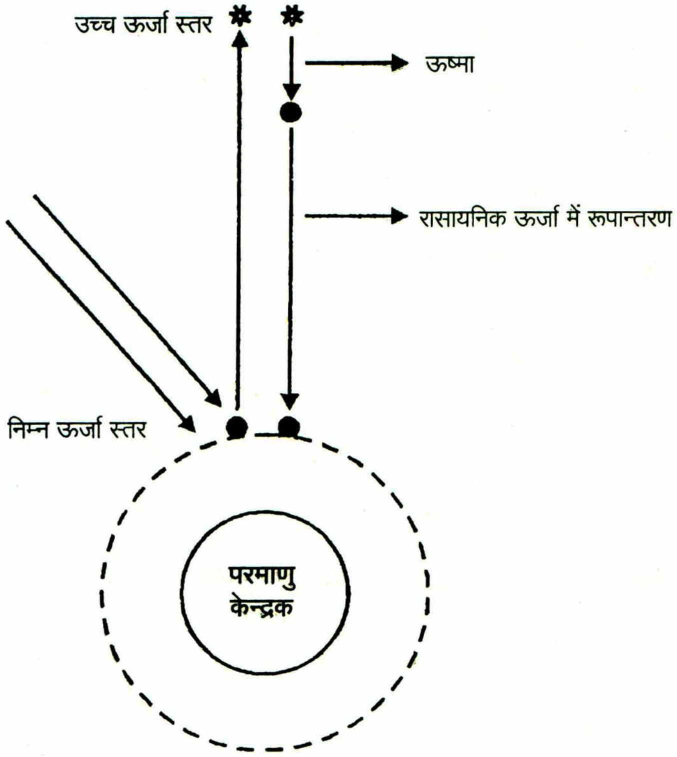
चित्र 6.10 : विधुत चुम्बकीय वर्णक्रम (प्रकाश स्पेक्ट्रम)

CO_2 के एक अणु के अपचयन से कार्बोहाइड्रेट के निर्माण में 118 किलो ऊर्जा की आवश्यकता होती है लाल प्रकाश (660 nm) के एक फोटोन से लगभग 43 किलो कैलोरी ऊर्जा प्राप्त होती है अर्थात् एक फोटोन से CO_2 के एक अणु के अपचयन के लिए आवश्यक ऊर्जा का 1/3 भाग प्राप्त होता है अत :CO_2 के अपचयन के लिए 3 फोटोन की आवश्यकता होनी चाहिए व नीले प्रकाश के एक फोटोन में ऊर्जा की मात्रा लाल प्रकाश फोटोन की तुलना में अधिक होती है अत : इस प्रकाश में CO_2 के एक अणु के अपचयन के लिए अपेक्षाकृत कम फोटोन की आवश्यकता होनी चाहिए लेकिन प्रयोगों द्वारा देखा गया कि CO_2 के प्रत्येक अणु के अपचयन के लिए ये लाल या नीले प्रकाश के 8 - 10 फोटोन की आवश्यकता होती है । इसे प्रकाश संश्लेषण की क्वान्टम आवश्यकता (quantum requirement) कहते हैं व प्रत्येक क्वान्टम प्रकाश के अवशोषण से मुक्त CO_2 के अणुओं की संख्या क्वान्ट उत्पाद (quantum yield) कहलाती है ।

उपरोक्त वर्णन से यह स्पष्ट होता है कि प्रकाश संश्लेषण की वास्तविक क्वान्टम आवश्यकता सिद्धान्तत : आवश्यक क्वान्टम की अपेक्षा अधिक है । अत : प्रकाश संश्लेषण में ऊर्जा की काफी मात्रा नष्ट होती है । शैवालों पर किये गये अनेक प्रयोगों में यह देखा गया कि प्रकाश संश्लेषण की दक्षता मात्र 22% है व शेष अवशोषण ऊर्जा ऊष्मा के रूप में नष्ट हो जाती है । लाल व नीले प्रकाश में क्वान्टम आवश्यकता लगभग बराबर होती है परन्तु प्रति फोटोन, ऊर्जा की मात्रा नीले प्रकाश में अधिक है अर्थात् लाल प्रकाश की अपेक्षा नीले प्रकाश में प्रकाश संश्लेषण होने पर अधिक ऊर्जा की हानि होती है ।

क्लोरोफिल का प्रत्येक अणु कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन व नाइट्रोजन के अनेक परमाणुओं से बना होता है । प्रत्येक परमाणु के केन्द्र में प्रोटोन व न्यूक्ट्रॉन तथा चारों ओर अनेक कक्ष (orbit) होते हैं । प्रत्येक कक्ष में निश्चित संख्या में इलेक्ट्रॉन होते हैं । इलेक्ट्रॉन ऋण आवेशित होते हैं तथा प्रत्येक कक्ष के सभी इलेक्ट्रॉन में निश्चित ऊर्जा होती है, ऊर्जा की यह मात्रा उनकी केन्द्र से दूरी पर निर्भर करती है । इलेक्ट्रॉन की यह अवस्था स्थिर होती है तथा मूल अवस्था (Ground state) कहलाती है ।

क्लोरोफिल अणु जब पर्याप्त ऊर्जा के फोटोन को अवशोषित करता है तो यह ऊर्जा उसके परमाणुओं के इलेक्ट्रॉन को स्थानान्तरित हो जाती है जिसके फलस्वरूप यह इलेक्ट्रॉन अपने विशिष्ट कक्ष से बाहर उच्च ऊर्जा कक्ष में आ जाता है, इसे इलेक्ट्रॉन की उत्तेजित अवस्था (excitedstate, chl) कहते हैं । यह अवस्था क्षणिक (10^{-5}-10^{9}sec) होती है तथा उत्तेजित इलेक्ट्रॉन तुरन्त अपनी मूल अवस्था में वापस आ जाता है । वापस आने की प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉन अपनी अतिरिक्त ऊर्जा को ऊष्मा (heat), प्रतिदीप्ति (flourescence) अथवा स्कुटदीप्ति(phosphorescence) में नष्ट कर सकता है । पौधों में दृढ़ता से संयोजित अणुओं के मध्य उत्तेजित इलेक्ट्रॉन अनेक ग्राहियों (acceptors) से स्थानान्तरित होता हुआ अपनी मूल अवस्था में आता है और इस प्रकार मुक्त ऊर्जा रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित कर ली जाती है (चित्र 6.11) ।



चित्र 6.11 : क्लोरोफिल अणु का प्रकाश उत्तेजन

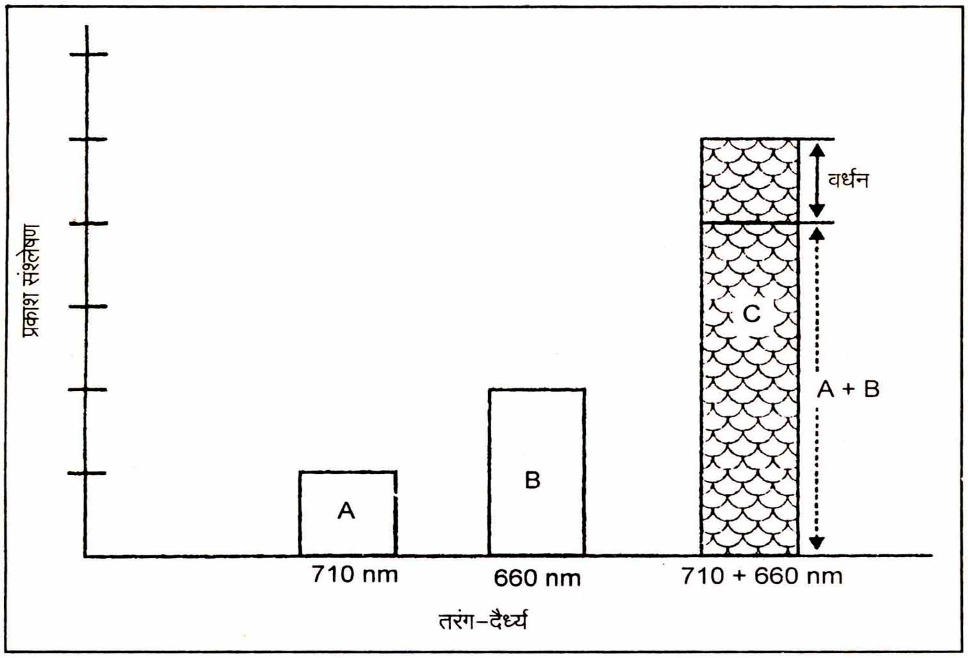
I. लाल पतन इमरसन प्रभाव एवं दो वर्णक तंत्र (Red drop Emerson effect and two pigment system)

राबर्ट इमरसन एवं उनके सहयोगियों ने 1957 में प्रकाश संश्लेषण के क्वांटम उत्पाद (quantum yield) का अध्ययन भिन्न- भिन्न तरंग दैर्ध्य के एकवर्णी प्रकाश (Monochromatic light) में किया, अर्थात् एक समय में पौधों को केवल एक ही तरंग दैर्ध्य का प्रकाश दिया । ऐसा करने पर उन्होंने पाया कि हरे पौधों के लिए लाल रंग का प्रकाश (तरंग दैर्ध्य 650-680 nm) सबसे अधिक प्रभावी है । इससे अधिक तरंग दैर्ध्य (680-795nm) के प्रकाश में क्वान्टम उत्पाद में आकास्मिक कमी आ जाती है इस घटना को लाल पतन (red drop) कहते हैं ।

अन्य प्रयोगों में क्लोरेला (Chlorella) शैवाल पर अध्ययन करते हुए उन्होंने 680 nm से अधिक तल दैर्ध्य प्रकाश के साथ- साथ कम तरंग दैर्ध्य वाली प्रकाश किरणों का भी प्रयोग किया और पाया कि प्रकाश संश्लेषण की दर दोनों तरंग दैर्ध्यों में प्राप्त अलग-अलग दरों के जोड़ से भी अधिक थी । (चित्र 6.12) अर्थात् प्रकाश संश्लेषण की दर को बढ़ाने में एक तरंग दैर्ध्य ने दूसरी तरंग दैर्ध्य की मदद की । प्रकाश संश्लेषण की दर में इस वृद्धि को इमरसन प्रभाव (Emerson effect) या इमरसन वृद्धि प्रभाव (Emerson enhancement effect) कहते हैं ।

6.4.2 दो वर्णक तंत्र (Two Pigment System)

इमरसन प्रभाव की खोज से पता चलता है कि प्रकाश का अवशोषण करने के लिए वर्णकों के कम से कम दो समूह है एक समूह के वर्णक 680 nm से अधिक तरंग दैर्ध्य को व दूसरे समूह के वर्णक उससे कम तरंग दैर्ध्य को अवशोषित करते हैं । वर्णकों के इन सछों को फोटोसिस्टम (Photosystem I&II) अथवा वर्णक तंत्र (Pigment syhstem I&II) कहते हैं ।



चित्र 6.12 : इमरसन वर्धन प्रभाव

डब्ल्यू एल, बटलर (W.L. Butler, 1966) ने क्लोरोफिल a के दो स्वरूपों की खोज की $chla_{673}$ nm व $chla_{683}$nm जो क्रमश 680 nm से कम व अधिक तरंग दैर्ध्य पर सक्रिय होते हैं क्लेटन ने 1966 में chla के एक स्वरूप को खोजा जो 700nm पर अधिकतम अवशोषण करता है तथा इसे क्लोरोफिल P_{700} कहते हैं ।

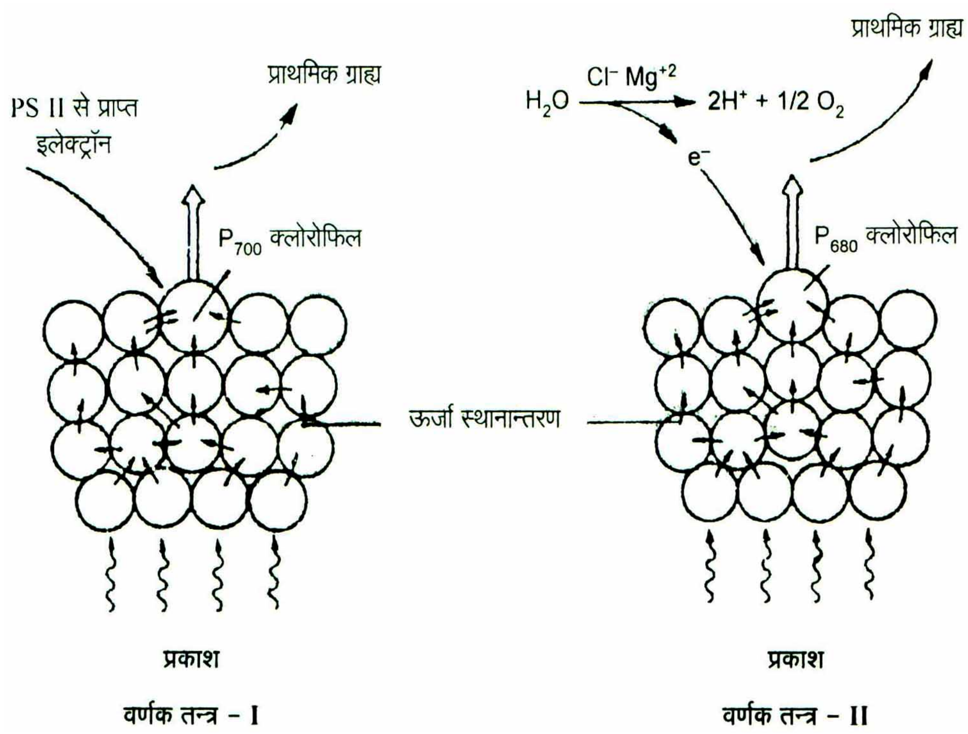
6.4.2. a फोटोसिस्टम I के प्रमुख chl a 653, chl a, 683, chl a 695, P_{700} तथा कैरोटिनाइड हैं इन्हें P_{700} से व्यक्त किया जाता है ये वर्णक 680nm से दीर्घ व लघु दोनों तरंग दैर्ध्यों को अवशोषित करते हैं ।

6.4.2 b फोटोसिस्टम II के प्रमुख वर्णक chl a 673 chl b तथा फाइकोबिलिन्स हैं इन्हें P680 से व्यक्त किया जाता है । ये केवल 680nm तथा इससे लघु तरंग दैर्ध्य को अवशोषित करते हैं ।

ये वर्णक तंत्र थाइलेकॉइड कला (thylakoid membrane) में दो प्रकार के कणों के रूप में उपस्थित होते हैं । जिन्हें डिटरजेन्दस (Detergents) की सहायता से थाइलेकॉइड कला से मुक्त व पॉली एक्रिलोमाइड जेल इलेक्ट्रोफोरेसिस (Polyacrylamide-gel-electorphoresis) की सहायता से एक दूसरे से अलग किया जा सकता है ।

हालांकि फोटोसिस्टम 11 में chl-a फोटोसिस्टम - 1 की तुलना में कम होता है लेकिन दोनों ही तंत्रों का अभिक्रिया केन्द्र (reaction centre) क्लोरोफिल a (P_{700} व $P6_{80}$) है । वर्णक तंत्र के सभी वर्णक एक दूसरे के सम्पर्क में रहते हैं व प्रत्येक वर्णक द्वारा अवशोषित प्रकाश ऊर्जा अनुनादी स्थानांन्तरण (resonance transfer) से वर्णक तंत्र के अभिक्रिया केन्द्र तक पहुँचती है (चित्र 6. 13) अभिक्रिया केन्द्र पर स्थित अणु (P_{700}/P_{680}) इस ऊर्जा को प्राप्त करके उत्तेजित होकर इलेक्ट्रॉन निष्कासित करता है जो इलेक्ट्रॉन ग्राही द्वारा ले लिया जाता है ।

जंगे (junge,1982) ने यह बताया कि क्लोरोप्लास्ट के प्रत्येक ग्रेनम में PSI तथा PSII समान मात्रा में मिलते हैं परन्तु बाद में देखा गया कि क्लोरोप्लास्ट के ग्रेना में मुख्यत PSII व स्ट्रोमा में PSI पाया जाता है इनका अनुपात पादप जाति व वातावरणीय परिस्थितियाँ पर निर्भर करता है जैसे - C_4 पादप में ग्रेना कम होते हैं अत : इनमें ले PSII कम व PSI ज्यादा मात्रा में होते हैं जबकि छायाप्रिय पादपों में ग्रेना अधिक होते हैं जिससे इनमें PSII अधिक व PSI कम मात्रा में पाया जाता है ।



चित्र 6.13 : वर्णक तन्त्र-I एवं वर्णक तन्त्र II

PSI तथा PSII सामूहिक रूप से H_{20} व NADP+ के इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण में भाग लेते हैं अत : एक दूसरे के सानिध्य में होने चाहिए । दो गतिशील इलेक्ट्रॉन वाहक PSII से PSI को इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण करते हैं तथा दोनों तंत्रों में सेतु का कार्य हैं जिनमें एक प्लास्टोसाइनिन (PC) तथा दूसरा प्लास्टोक्विनोन (PQ) समूह हैं इनके अलावा साइटोक्रोम b6, साइटोक्रोम f साइटोक्रोम -b3 भी दो तंत्रों के बीच वाहक का कार्य करते हैं ।

सारणी 6 : PSI एवं PSII में अन्तर

वर्णक तंत्र -I(PS-I)	वर्णक तंत्र -II(PS-II)
1. इसमें मुख्यत ' क्लोरोफिल - a तथा क्लोरोफिल - b व केरोटिनॉइड कम मात्रा में उपस्थित होते हैं।	1. इसमें क्लोरोफिल - a क्लोरोफिल - b व B -के उपस्थित होते हैं ।
2. इसका सक्रिय केन्द्र P_{700} होता है ।	2. इसका सक्रिय केन्द्र P_{680} होता है ।
3. यह मुख्यत : ग्रेना में उपस्थित होता है ।	3. यह मुख्यत :ग्रेमा में उपस्थित होता है ।
4. इसके वर्णक प्रकाश की लघु व दीर्घ दोनों ही तरंग दैर्ध्यों को अवशोषित करते हैं ।	4. इसके वर्णक प्रकाश की केवल लघु तरंग दैघ्र्य को अवशोषित करते हैं ।
5. इस तंत्र में ऑक्सीजन का निर्माण नहीं होता है ।NADP से NAPDH निर्माण को नियंत्रित करता है ।	5. जल के प्रकाशिक अपघटन से ऑक्सीजन विमुक्त से ओर है ।
6. यह इलेक्ट्रॉन के चक्रीय (cyclic) एवं	6. यह इलेक्ट्रॉन के केवल अचक्रीय

अचक्रीय (non- cyclic), दोनों प्रकार के अभिगमन में भाग लेता है ।	अभिगमन से है ।

6.4.3 प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण

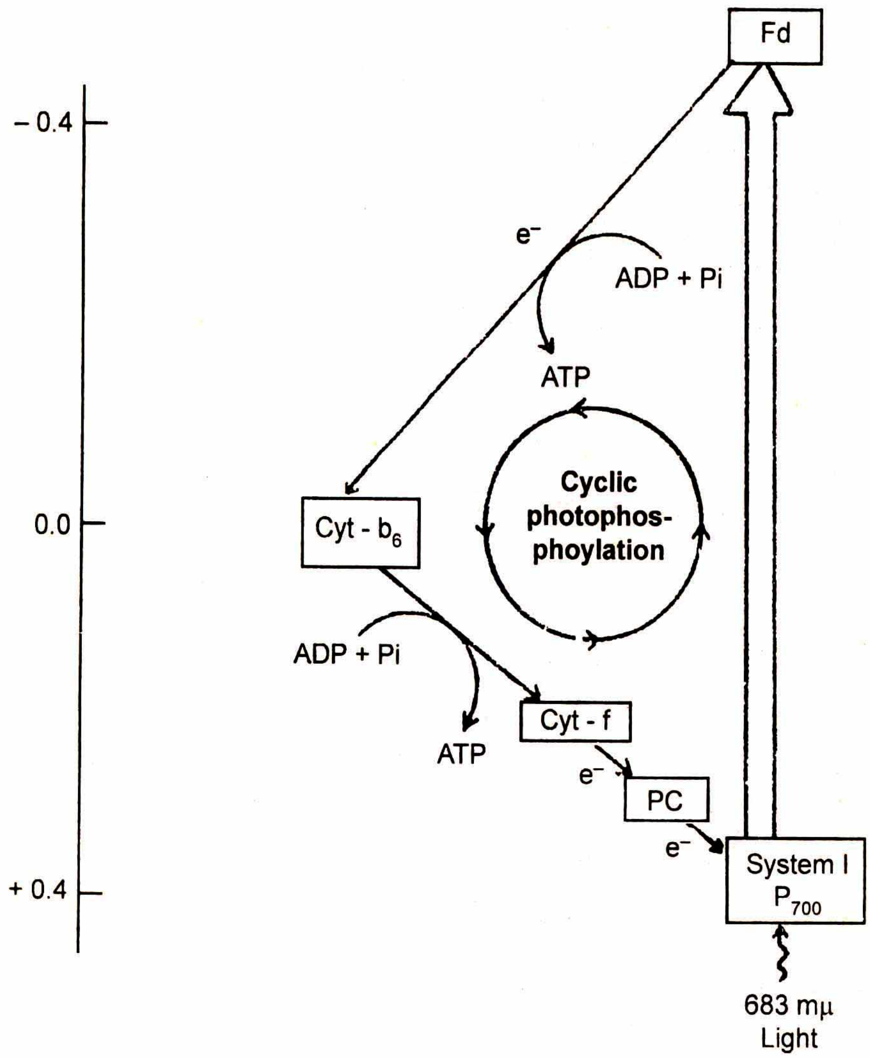
उपरोक्त वर्णन से यह स्पष्ट है कि फोटोसिस्टम I(PSI) व फोटोसिस्टम II(PSII) प्रकाश की विभिन्न तरंग दैर्ध्यों को अवशोषित करते हैं तथा इन दोनों तंत्रों के वर्ण को द्वारा अवशोषित ऊर्जा से ATP संश्लेषण (ATP syntheisis) होता है । प्रकाश की उपस्थिति ATP संश्लेषण की इस प्रक्रिया को प्रकाश फास्फोरिलीकरण (photophosphorylation) कहते है यह क्रिया क्लोरोप्लस्ट मे 'है व माइटोकॉन्ड्रिया में होने वाली ATP संश्लेषण की क्रिया ऑक्सी फॉस्फोरिलीकरण (oxidative phosphorylation) से भिन्न है क्योंकि इसमें प्रकाश ऊर्जा का स्रोत है तथा यह क्रिया O_2 पर निर्भर नहीं है । क्लोरोप्लास्ट में प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण क्रिया दो अलग-अलग क्रिया चक्रों में सम्पन्न हो सकती है

(a) चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Cyclic photophosphorylation)

(b) अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Noncylic photophosphorylation)

6.4.3 (a) चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Cylic Photophosphorylation)

इस प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में केवल फोटोसिस्टम I भाग लेता है यह चक्र क्लोरोप्लास्ट को 680nm से अधिक तरंग दैर्ध्य के द्वारा प्रदीप्त (illuminted) करने पर कार्यशील होता है । इस चक्र में P_{700} से निष्कासित इलेक्ट्रॉन प्रकाश द्वारा अपनी अतिरिक्त ऊर्जा को विमुक्त करने के पश्चात पुन: इसी क्लोरोफिल अणु को प्राप्त होता है । अत: इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण की इस विधि से ATP संश्लेषण की प्रक्रिया चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (cyclic photophosphorylation) कहलाती है ।



चित्र 6.14: चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण

(Fd= फेरीडॉक्सिन;PC= प्लास्टोसायनिन;Cyt= साइटोक्रोम)

क्लोरोफिल अणु द्वारा प्रकाश ऊर्जा अवशोषित करने पर इनके अभिक्रिया केन्द्र P_{700} के इलेक्ट्रॉम उत्सर्जित होता है जिसके फलस्वरूप क्लोरोफिल अणु ऑक्सीकृत हो जाता है । निष्कासित इलेक्ट्रॉन आर्यरन -सल्फर युक्त प्रोटीन - फेरीडॉक्सिन (ferredoxin) ग्रहण कर लिया जाता है (चित्र 6.14) । अपचयित फेरीडॉक्सिन से यह इलेक्ट्रॉन अन्य तीन इलेक्ट्रॉन ग्राहियों साइटोक्रोम (Cyt b_6) 1, साइटोक्रोम f (Cyt f) व प्लास्टोसायनिन (plastocyanin) से होता हुआ पुन ' ऊर्जा क्लोराफिल अणु P7 को प्राप्त होता है ।

यह ऑक्सीकृत क्लोरोफिल अणु भी इलेक्ट्रॉन ग्राही का काम करता है । सभी इलैंट्रान ग्राही इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने से पूर्व अवस्था में व इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने के पश्चात् अपचयित हो जाते हैं। इलेक्ट्रॉन जब उच्च ऊर्जा स्तर से निम्न ऊर्जा स्तर को होता है तो उससे विमुक्त ऊर्जा ATP संश्लेषण में प्रयुक्त होती है ।

इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण में ऊर्जा निम्नलिखित दो चरणों में विमुक्त होती है

(a) जब इलेक्ट्रॉन फेरीडॉक्सिन से साइटोक्रोम b_6 (Cyt b_6) मैं स्थानान्तरित होता है, तथा

(b) जब इलेक्ट्रॉन साइटोक्रोम b_6 (Cyt b_6) से साइटोकोम f (Cyt f) में स्थानाप्तीरत होता है । (चित्र 6.14) ।

6.4.3 (b) अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Non-cyclic photophosphorylation)

अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण चक्रीय फॉस्फोरिलीकरण की तुलना में जटिल प्रक्रिया है इसमें फोटोसिस्टम I व फोटोसिस्टम दोनों ही भाग लेते हैं व दोनों फोटोसिस्टम के वर्णकों द्वारा प्रकाश अवशोषित किया जाता है ।

फोटोसिस्टम 1 व 11 दोनों के क्लोरोफिल अणु प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित कर इलेक्ट्रॉन को निष्कासित करते हैं P_{700} (PSI) निष्कासित इलेक्ट्रॉन NADP को अपचयित करने में प्रयुक्त होता है व इसके (P_{700}) इलेक्ट्रॉन की पूर्ति P680 (PSII) से इलेक्ट्रॉन द्वारा की जाती है तथा P68० के इलेक्ट्रॉन की पूर्ति जल के अणु द्वारा की जाती है (चित्र 6.15) ।

अध्ययन की सुविधा के लिए इस प्रक्रिया (अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण) को निम्नलिखित तीन चरणों में विभक्त ' सकता है ।

(i) P_{700} (PSI) से इलेक्ट्रॉन का स्थानान्तरण व $NADPH_2$ का निर्माण

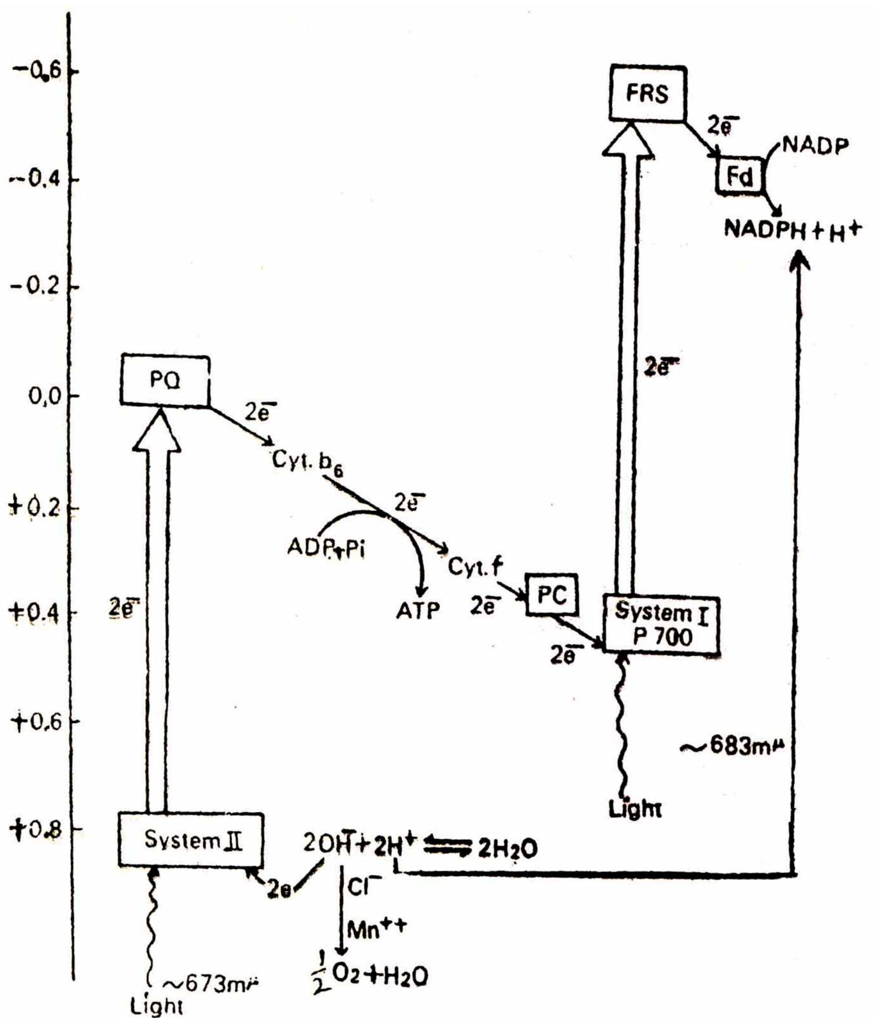
(ii) P_{680} (PSII) द्वारा P_{700} (PSI) के इलेक्ट्रॉन की पूर्ति

(iii) जल का प्रकाशिक अपघटन (photolysis), P_{680} के इलेक्ट्रॉन की पूर्ति व ऑक्सीजन का विमोचन

(i) **P_{700} (PSI) से इलेक्ट्रॉन का स्थानान्तरण व ओर $NADPH_2$ का निर्माण** (Transfer of electron from P_{700} formation of $NADPH_2$) P_{700} से उच्च ऊर्जा इलेक्ट्रॉन बाहर निकलता है व फेरीडॉक्सिन (Fd) द्वारा लिया जाता है अपचयित फेरीडॉक्सिन से यह इलेक्ट्रॉन अन्य इलेक्ट्रॉन ग्राही NADP(Nicotinmide Ader diphosphate) द्वारा ग्रहण करा लिया जाता है तथा जल के अपघटन से उत्पन्न H के सहयोग से $NADPH_2$ का होता है । अत : यह इलेक्ट्रॉन पुन : P_{700} में वापस नहीं आ सकता (जैसा कि चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में होता है

(ii) **P_{680} (PSII) द्वारा P_{700} के इलेक्ट्रॉन की पूर्ति** (Replacement of P_{700} electron from P_{680}) P_{700} इलेक्ट्रॉन के निष्कासन के पश्चात् यह निष्क्रिय व ऑक्सीकृत हो जाता है । इसे पुन : सक्रिय बनने के लिए किसी भी स्व इलेक्ट्रॉन की आवश्यकता होती है, यह इलेक्ट्रॉन उसे P_{680} (PSII) से प्राप्त होता है । P_{680} प्रकाश ऊर्जा अवशोषित कर एक इलेक्ट्रॉन निकालता है जो कि प्लास्टोसायनिन (PQ) साइटोक्रोम b_6 (Cyt b_6) साइटोक्रोम f प्लास्टोसायनिन (PC) से होता हुआ P_{700} में पहुँचता है ।

प्रक्रिया में जब इलेक्ट्रॉन $cytb_6$ Cyt_f को स्थानान्तरित होता है तब पर्याप्त मात्रा में ऊर्जा विमुक्त होती है जिसे ATP लिए काम में लिया जाता है (चित्र 6.15) ।



चित्र 6.15 : अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरन (PQ प्लास्टोक्यिनोन;PC प्लास्टोसायनिन; FRS= फेरीडॉक्सिन रिडयूसिंग सगटेन्स;FD= फेरीडॉक्सिन;Cyt साइटोक्रोम)

जल का प्रकाशिक अपघटन,P680 के निष्कासित इलेक्ट्रॉन द्वी पूर्ति एवं ऑक्सीजन का विमोचन photolysis of water, replacement of ejected electron from P680 & evolution of oxygen). प्रकाश की उपस्थिति जल का अपघटन प्रकाशिक अपघटन (photolysis) कहलाता है । इससे तीन उद्देश्यों की पूर्ति होती है

(a) P_{680} ऑक्सीकृत अवस्था में जल के अणु में दबाव डालता है जिसके फलस्वरूप यह विघटित होकर H^+ और OH^- बनाता है यह विघटन प्रकाश की उपस्थिति में होता है व Cl^- व Mn^{++} आयन उत्प्रेरक का कार्य करते हैं

$$4H_2O \xrightarrow{\underline{Mn^{++}Cl^-}} 4\left(OH^-\right) + 4H + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

ऑक्सीकृत P_{680} अन्तर इलेक्ट्रॉन OH आयन से प्राप्त करता है ।

$$4\left(OH\right) - 4e^- \rightarrow 4\left(OH\right)$$

(b) समीकरण 2 से प्राप्त OH समूह आपस में संयोजित होकर जल बनाते हैं व इस प्रक्रिया में O_2 विमुक्त होती है । '

$$4(OH) \rightarrow 2H_2O + O_2 \qquad \text{......... (3)}$$

(c) NADP एक सक्रिय हाइड्रोजन ग्राही है यह जल के विघटन से प्राप्त H+ आयन (समीकरण 1) को ग्रहण अपचयित हो जाता है ।

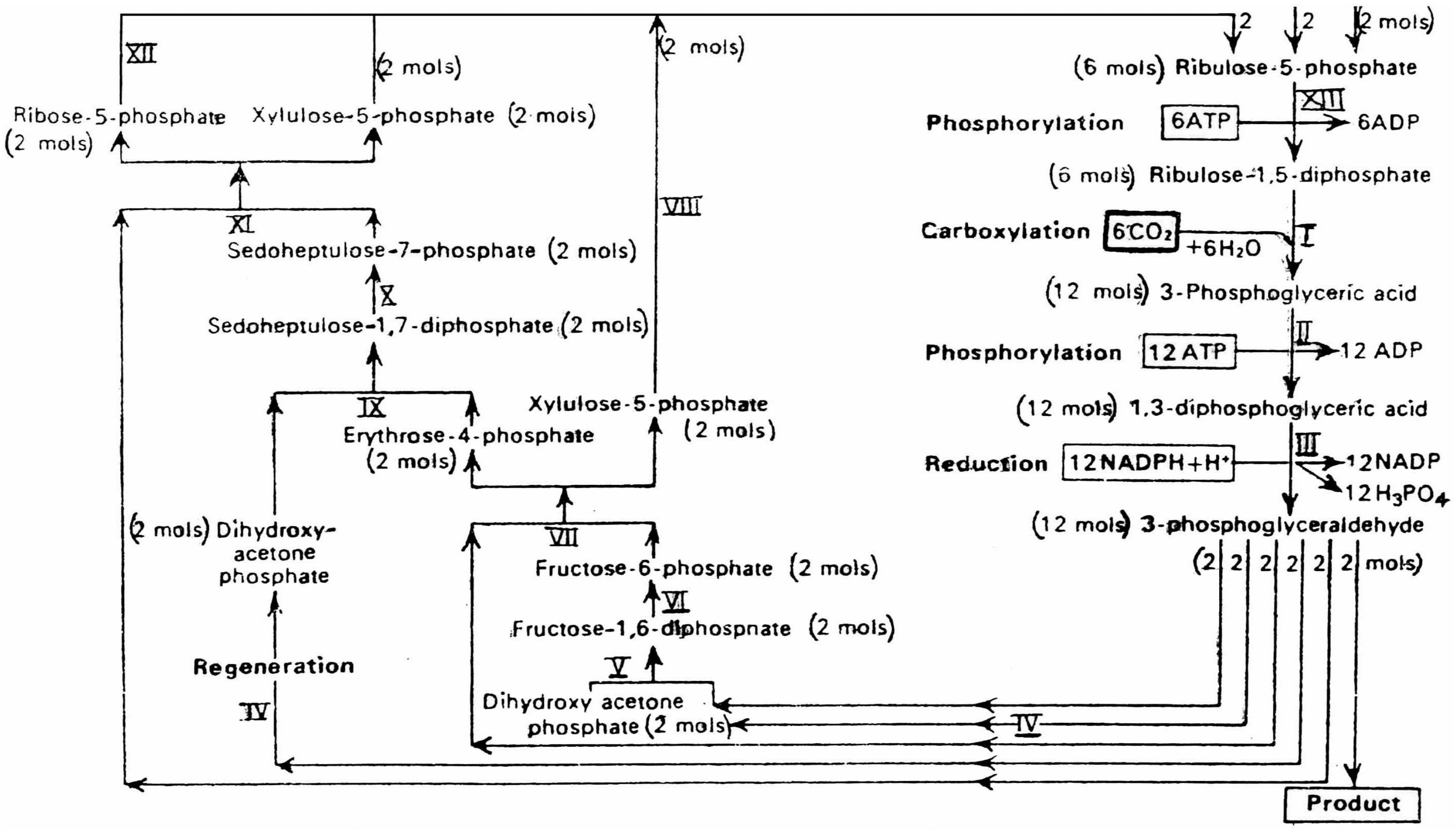
$$2NADP + 4H^+ \rightarrow 2NADPH_2$$

सारणी 6 : चक्रीय व अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में अन्तर

चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Cyclic Photophosphorylation)	**अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Non Cyclic hotophosphorylation)**
1. इसमें केवल (PS-I) ही कार्य करता है ।	1. इसमे PS-I व PSII दोनों ही कार्य करते हैं।
2. इसमें तत्र एक बंद चक्र के रूप में कार्य करता है, सक्रिय क्लोरोफिल अणु से निकला इलेक्ट्रॉन ग्राही पदार्थो से होता हुआ पुन : उसी क्लोरोफिल में आ जाता है।	2. इसमें स्वतंत्र इलेक्ट्रॉन दाता (donar) H_2O की आवश्यकत होती है, NADP अन्तिम इलेक्ट्रॉन ग्राही होता है । इसमे क्लोरोफिल से निकला हुआ इलेक्ट्रॉन पुन : उसे वापस प्राप्त नहीं होता है ।
3. इसमें $NADPH_2$ का निर्माण नहीं होता है जिसके फलस्वरूप CO_2 का अपचयन घटता जाता है ।	3. $NADPH_2$ का निर्माण होता है जो CO_2 अपचयन को जार रखता है ।
4. इसमें जल का प्रकाश अपघटन नहीं होता अत : O_2 नहीं निकलती है ।	4. इसमें जल का अपघटन होता है इसलिए O_2 का विमोचन होता है ।
5. इसमें इलेक्ट्रॉन का प्रवाह क्रमश : PS-I $\rightarrow$Fd $\rightarrow$Cyt b6 $\rightarrow$Cytf $\rightarrow$PC $\rightarrow$ PS-I चक्रीय क्रम में होता है ।	5. इसमें इलेक्ट्रॉन प्रवाह क्रमश : 6. PSII $\rightarrow$PQ $\rightarrow$CYT b_6 $\rightarrow$Cytf $\rightarrow$ps $\rightarrow$FRS $\rightarrow$FD $\rightarrow$NADP को होता है ।
6. चक्रीय फॉस्फोरिलीकरण में 2ATP बनते हैं।	7. अचक्रीय फॉस्फोरिलीकरण में ATP व 2 $NADPH_2$ निर्माण होता है ।
7. यह हरे पादपों में तथा प्रकाश संश्लेषी जीवाणुओं में पाया जाता है ।	8. यह हरे पादपों में ही पाया जाता है ।
8. DCMU (डाइक्लोरो डाइमिथाइल यूरिया) की उपस्थिति का इस पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है ।	9. DCMU की उपस्थिति में यह क्रिया बद हो जाती है ' यह इलेक्ट्रॉन के बहाव को जल से NADP+ की ओर रोकता है।

6.5 अप्रकाशिक अभिक्रिया (Dark Reaction)

1905 में ब्लैकमेन (Blackman) ने यह स्थापित कर दिया था कि प्रकाश संश्लेषण में अप्रकाशिक अभिक्रिया भी होती है । इस अवस्था को ब्लैकमेन अभिक्रिया (Blackman reaction) या संश्लेषण अवस्था (synthetic phase) भी कहते हैं. इसके अन्तर्गत CO_2 के अपचयन से कार्बोहाइड्रेट का निर्माण होता है ।



चित्र 6.16 : कैल्विन चक्र (C_3 चक्र) की अभिक्रियाएँ I से XIII एन्जाइम्स I. रूबिस्को, II. फॉस्फोग्लिसरेट काइनेज, III. फास्फोग्लिसरेल्डिहाइड डिहाइड्रोजिनेज, IV. ट्रायोज फॉस्फेट आइसोमरेज, V. एल्डोलेज, VI. फॉस्फेटेज, VII. ट्रांसकिटोलेज, VIII. एपिमरेज, IX. एल्डोलेज, X. फॉस्फेटेज, XI. ट्रांसकिटोलेज, XII. आइसोमरेज, XIII. फॉस्फोपेन्टोकाइनेज।

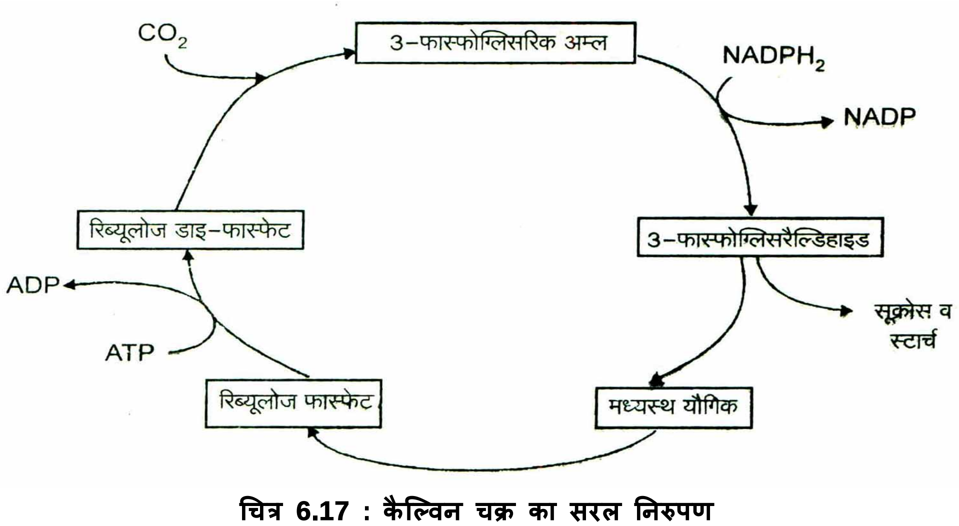
कैलीफोर्निया के मौल्विन मैल्विन (Melvin Calvin) व उनके सहयोगियों ए.ए. बैन्सन जे. बासहैम (A.A.Bensom &J.Bassham) ने 1951 में रेडियों एक्टिव तकनीक व क्रोमेटोग्राफी तकनीकों के प्रयोग से कार्बन स्वांगीकरण या प्रकाश संश्लेषण के कार्बन पथ की खोज की व उन्हें इस महान कार्य के लिए 1961 में नोबल पुरस्कार से सम्मानित किया गया।

कैल्विन व उनके साथियों ने अपने प्रयोगों के लिए क्लोरेला (Chlorella) तथा सेन्देस्मस (Scenedesmus) नामक जलीय शैवालों को चुना तथा आइसोटोपिक C_{14} युक्त O_2 के प्रयोगों के निष्कर्ष के आधार पर बताया कि कार्बन अपचयन एक चक्रीय प्रक्रिया है C_{14} युक्त O_2 देने के पश्चात उन्होंने छोटे -छोटे अन्तराल पर उनमें बने कार्बन यौगिकों को कार्बन की रेड़ियो धर्मिता के आधार पर पहचाना । इस चक्र में 3 -फॉस्फोग्लिसीरक अम्ल (3-Phosphoglyceric acid-PGA) प्रथम स्थायी यौगिक है जो C^{14} O_2 के वातावरण में रखने के लगभग 5 सेकेन्ट बाद बनता है । क्लोरेला की कोशिकाओं को जब $C_{14}O_2$ के माध्यम में 30 व 60 सेकेन्द रखने के बाद परीक्षण किया गया तो रेडियोएक्टिव कार्बन अन्य अहुत सी कार्बनिक यौगिकों में पाया । 30 सेकेन्द के बाद रेडियो एक्टिव कार्बन की अधिकांश मात्रा ट्रॉयोज शर्करा (triose sugar) व 60 सेकेन्ड के बाद हैक्सोज शर्करा (hexose sugar) में उपस्थित थी ।

कैल्विन चक्र : C_3 चक्र (Calvin Cycle: C_3 Cycle) : इस चक्र के खोजकर्ता के नाम के आधार पर इसे कैल्विन चक्र कहते हैं तथा इसमें प्रथम स्थायी उत्पाद 3C यौगिक होता है अत : इसे C_3 चक्र भी कहते हैं यह चक्र जिन पौधों में पाया जात है उन्हें C_3 पादप (C_3 plants) कहते हैं

इस चक्र में हैक्सोज शर्करा के एक अणु के संश्लेषण में 18ATP व 12 $NADPH_2$ के अनुओ की आवश्यकता होती है । यह ऊर्जा चक्रीय व अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण के 6 चक्र पूरे होने पर मिलेगी क्योंकि एक चक्र में 3ATP अणु व $2NADPH_2$ अणु का निर्माण होता है ।

प्रकाश संश्लेषण में कार्बन -डाई - ऑक्साइड के अपचयन की विभिन्न अभिक्रियाओं को चित्र 6.16 में दर्शाया गया है ।



चित्र 6.17 : कैल्विन चक्र का सरल निरुपण

कैल्विन चक्र को अध्ययन की सुविधा के लिए चार प्रमुख चरणों में बाँटा जा सकता है :

6.5.1 कोर्बोक्सिलीकरण (Carboxylation)

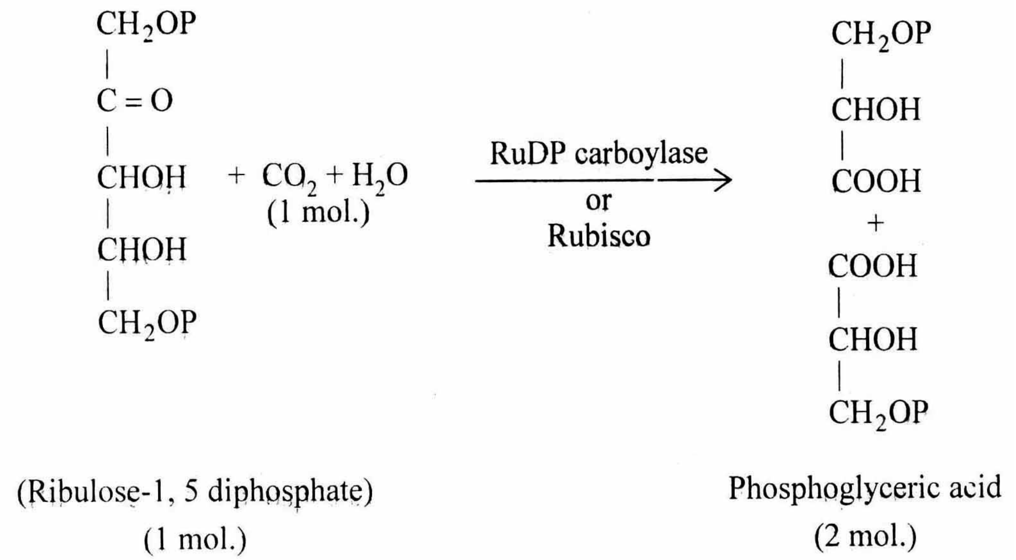
6.5.2 फॉस्फोरिक अम्ल का अपचयन (Reduction of PGA)

6.5.3 हेक्सोज शर्करा का संश्लेषण (Synthesis of hexose sugar) तथा

6.5.4 राइबुलोज 5- फॉस्फेट का पुनरुद्भवन (Regeneration of RUDP)

6.5.1 कार्बोक्सिलीकरण Carboxylation)

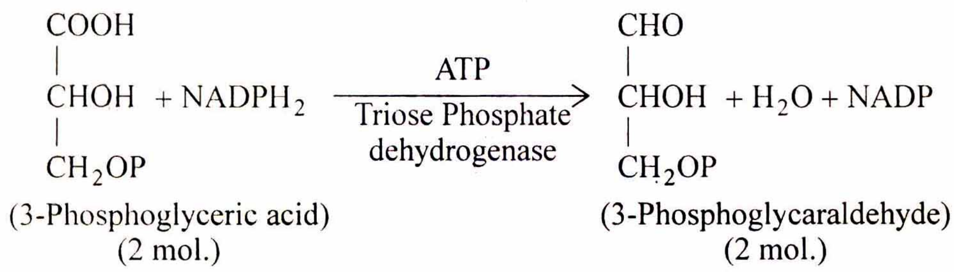
इस चक्र में CO_2 सर्वप्रथम 5 -कार्बन यौगिक राइबुलोज 1, 5 डाइफॉस्फेट (Ribulose1,5-diphosphate) द्वारा ग्रहण कर ली जाती है जिसके परिणामस्वरूप एक 6 कार्बन युक्त अस्थिर यौगिक (unstable compound) बनता है । जिसके तुरन्त जल अपघटन से 3C यौगिक फॉस्फोग्लिसीरक अम्ल (Phosphoglyceric acid :PGA) के 2 अणु बनते हैं । यह अभिक्रिया राइबुलोज डॉइफॉस्फेट कार्बोक्सिलेज (Ribulose diphosphate carboxylase) एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है । यह एन्जाइम सभी प्रकाश संश्लेषी कोशिकाओं में प्रचुर मात्रा में मिलता है ।



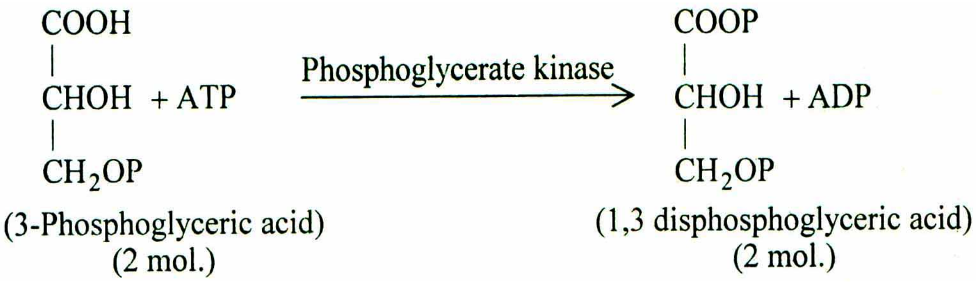
फॉस्फोग्लिसीरक अम्ल की प्रकाश संश्लेषण प्रक्रिया में महत्वपूर्ण भूमिका होती है । यह ऑक्सीकरण (oxidation) तथा अपचयन (reduction) दोनों क्रियाओं में प्रवेश कर सकता है ।

6.5.2 फॉस्फोरिक अम्ल का अपचयन (Reduction of PGA)

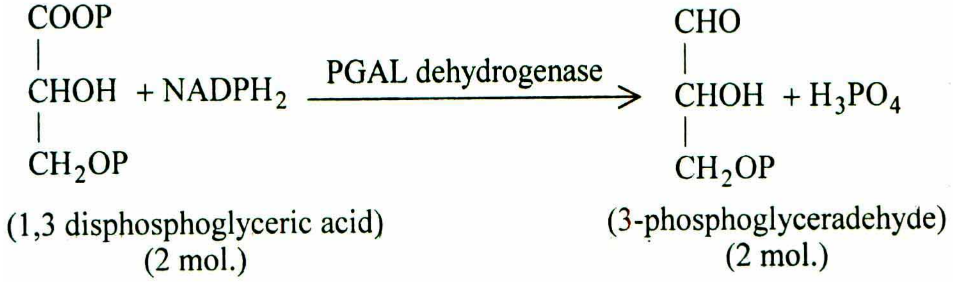
3 -फॉस्फोरिक अम्ल का अपचयन फॉस्फोग्लिसरैल्डीहाइड (Phosphoglyceraldehyde) में होता है यह अभिक्रिया $NADPH_2$ व ATP के सहयोग से होती है जिनका निर्माण प्रकाश अभिक्रिया में होता है ।



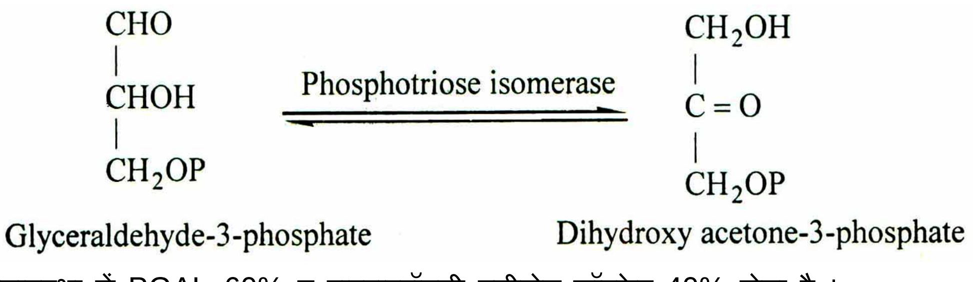
उपरोक्त अभिक्रिया दो चरणों में सम्पन्न होती है प्रथम चरण में PGA से ATP के द्वारा 1, 3 डाइफॉस्फोग्लिसीरक अम्ल (1,3 diphosphoglyceric acid) बनता है यह अभिक्रिया फॉस्फोग्लिसीरक काइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में होती है



दूसरे चरण में 1, 3 डाइफॉस्फोग्लिसीरक अम्ल $NADPH_2$ द्वारा 3-फॉस्फोग्लिसरैल्डिहाइड (3-phosphoglyceraldehyde) में परिवर्तित हो जाता है । यह क्रिया पी.जी.ए.एल डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति -में सम्पन्न होती है ।



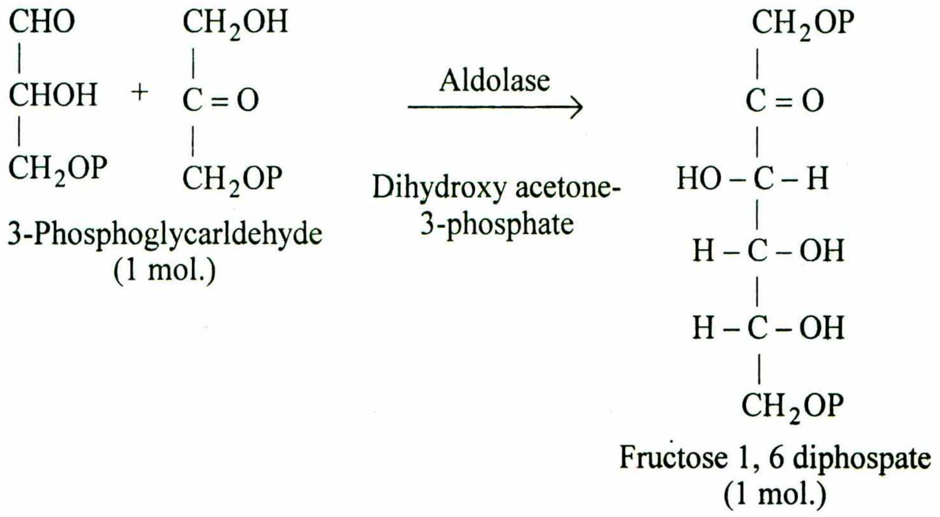
ग्लिसरैल्डिहाइड - 3 फॉस्फेट (3-PGAL) की कुछ मात्रा इसके समावयवी (isomer) डाइहाइड्रॉक्सी ऐसीटोन 3 -फॉस्फेट (Dihydroxy acetone 3phosphate) में परिवर्तित हो जाती है यह क्रिया फॉस्फोट्रायोज आइसोमरेज (phosphotriose isomerase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।



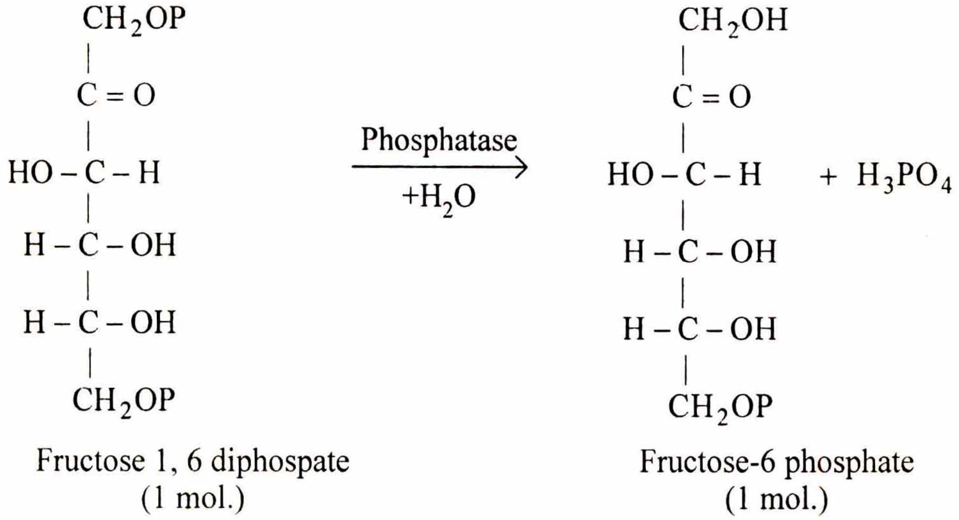
साम्यावस्था में PGAL 60% व डाइहाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट 40% होता है ।

5.6.3 हैक्सोज शर्करा का संश्लेषण (Synthesis of hexose sugar)

इस प्रक्रिया में फॉस्फोग्लिसरैल्डिहाइड (phosphoglyceraldehyde) तथा डाइहाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट (dihydroxy acetone phosphate) का एक-एक अणु एन्जाइम एल्डोलेज (aldolase) की उपस्थिति में संघनित होकर प्रक्टोज 1, 6
डाइफॉस्फेट (fructose 1,6 -diphosphate) का निर्माण करते हैं ।



फ़क्टोज 1,6 डाइफॉस्फेट (fructose 1,6 diphosphate) का फॉस्फेटेज (phosphatase) एन्जाइम की उपस्थिति में डिफॉस्फोरिलीकरण (dephosphorylation) हो जाता है जिससे फ़क्टोज-6-फॉस्फेट C Fructose-6-phosphate) बनता है ।



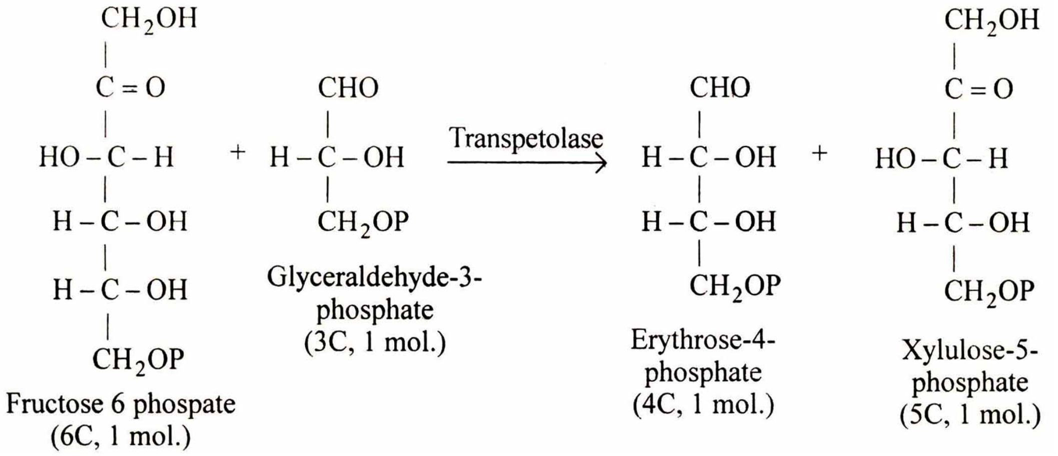
फ्रक्टोज 6-फॉस्फेट का 1/3 भाग (अर्थात् तीन अणुओं में से एक अणु) प्रकाश संश्लेषण के मुख्य उत्पाद के रूप में विमुक्त हो जाता है जो बाद में ग्लूकोज (glucose) का निर्माण करता है तथा ग्लूकोज संघनित होकर सुक्रोज व स्टार्च का निर्माण करता है । फ्रक्टोज 6 फॉस्फेट की शेष 2/3

मात्रा का उपयोग कार्बन-डाइऑक्साइड ग्राही अर्थात राइबुलोज- 5 फॉस्फेट के पुनर्जनन (regeneration) में होता है ।

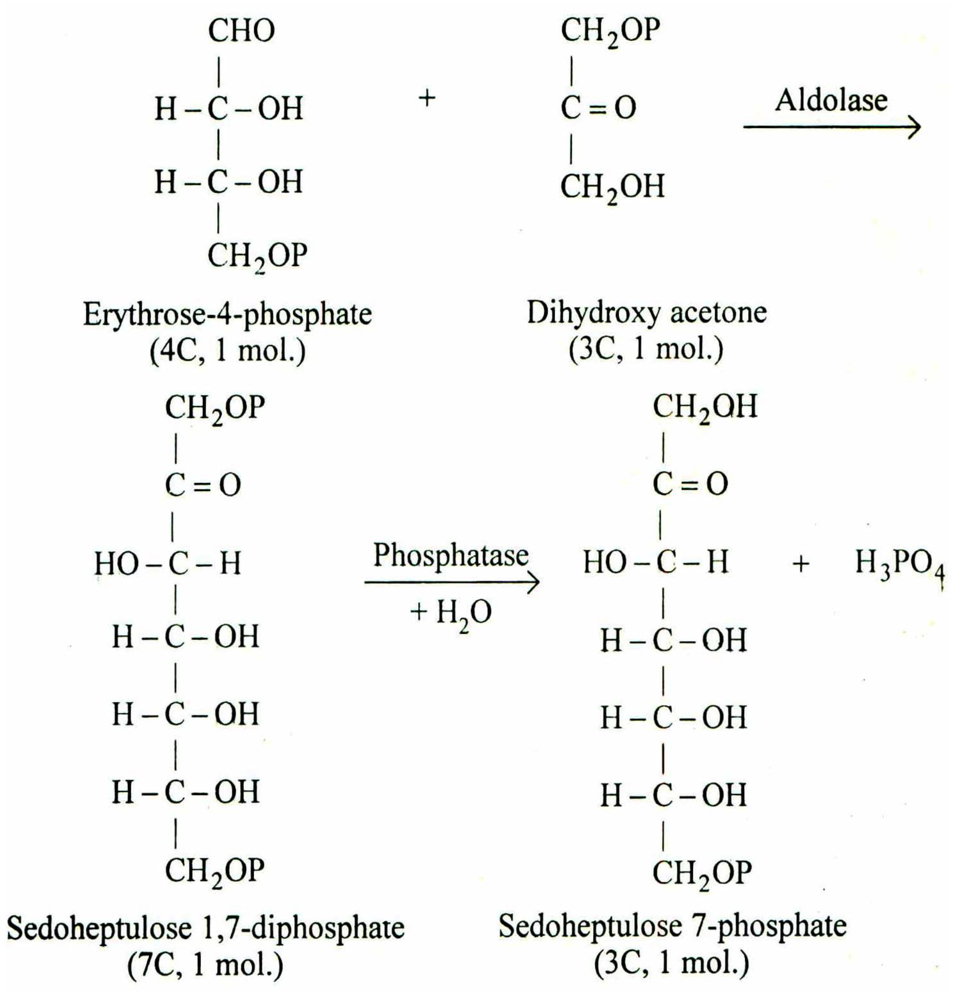
6.5.4 रिबुलोज- 5 -फॉस्फेंट का पुनर्जनन (Regenration of Ribulose-5-Phosphate)

चूंकि कैल्विन चक्र एक चक्रीय (cyclic) प्रक्रम है अत' इस अभिक्रियाओं के एक चक्र की समाप्ति पर दूसरे नये चक्र का प्रारम्भ होता है प्रथम चक्र की तरह दूसरे चक्र का प्रारम्भ पुन' RUMP (राइबुलोज मोनोफॉस्फेट) से होता है अत' यह आवश्यक है कि प्रत्येक चक्र की समाप्ति पर राइबुलोज मोनोफॉस्फेट का पुनर्निमाण हो जो आगे के चक्र में प्रवेश कर इसे प्रारम्भ कर सके यह प्रक्रिया अनेक चरणों में होती है ।

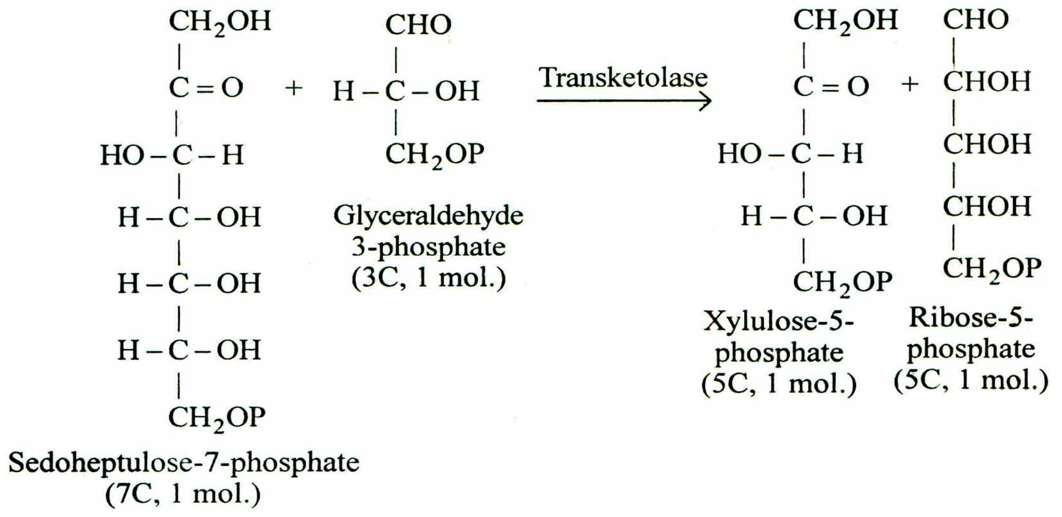
(1) सर्वप्रथम फ़क्टोज 6-फॉस्फेट (6C) का एक अणु ग्लिसरैल्डिहाइड- 3 -फॉस्फेट (3C) के एक अणु से मिलकर इरीब्रोजय- फॉस्फेट (Erythrose-4-phosphate,(4C) व जाइक्टोज- 5-फॉस्फेट (XYLULOSE-5-PHOSPHATE,(5C) का एक-एक अणु बनाते हैं । यह अभिक्रिया ट्राँसकिटोलेज (transketolase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।



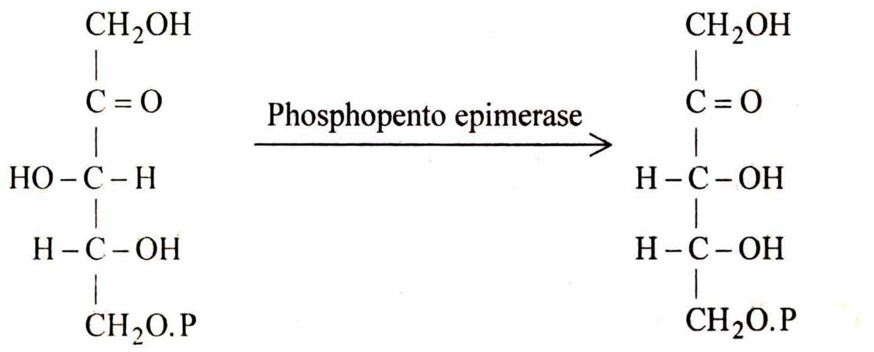
(2) इरीथ्रोज-4-फॉस्फेट(4c) व डाइहाइड्रोक्सी एसीटोन फॉस्फेट (3c)संघनित होकर 7 कार्बन यौगिक सीडो-हैप्ट्रयुलोज 1, 7 - डाइफॉस्फेटस(sedoheptulose1, diphosphate) बनाते हैं यह क्रिया एल्डोलेज की उपस्थिति में होती है । सीडो-हैजूयूलोज1,7-डाइफास्फेट का जल की उपस्थिति मे डिफॉस्फोरिलीकरण(dephosphorylation) का निर्माण होता है । यह अभिक्रिया फॉस्फेटेज एन्जाइम की उपस्थिति में सम्पन्न होती है ।



(3) सीडो हैप्ट्लोज 7-फॉस्फेट तथा ग्लिसरैल्डिहाइड- 3- फॉस्फेट (3c) ट्राँस किटोलेज की उपस्थिति में दो पेन्टोज शर्करा जाइल्यूलोज़- 5-फॉस्फेट (xylulose-5phosphate (5c) तथा राइबोज- 5 -फॉस्फेट बनाते

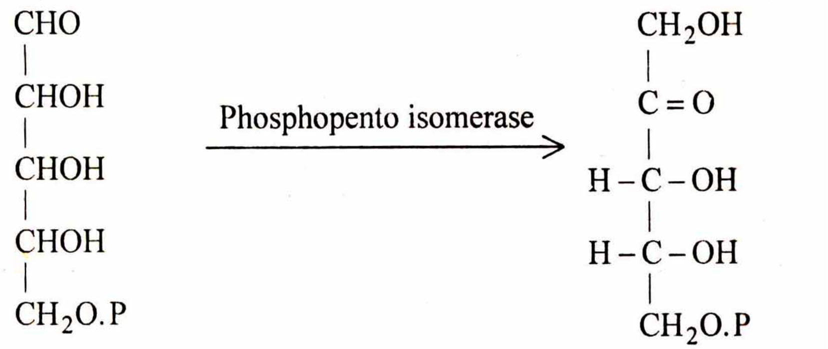


(4) जाइल्यूलोज- 5 -फॉस्फेट का राइबूलोज- 5-फॉस्फेट में समावयवीकरण एपीमरेज (epimerase) एन्जाइम के द्वारा होता हे ।



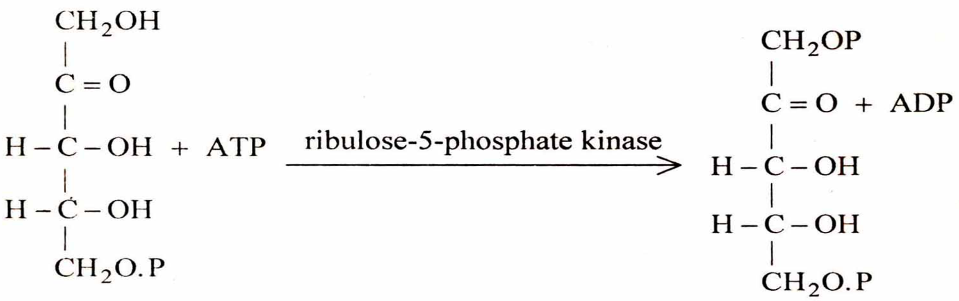
Xylulose-5-phosphate (5C, 1 mol.) Ribulose-5-phosphate (5C, 1 mol.)

इसी प्रकार राइबोज 5 -फॉस्फेट का समावयवीकरण आइसोमरेज (isomerase) एन्जाइम द्वारा होता है ।



Xylulose-5-phosphate (5C, 1 mol.) Ribulose-5-phosphate (5C, 1 mol.)

(5) राइबूलोज 5 -फॉस्फेट के ATP द्वारा फॉस्फोरिलीकरण से राइबूलोज 1, 5 डाइफॉस्फेट का निर्माण होता है जो कि कार्बन- डाइऑक्साइड का प्रारम्भिक ग्राही है । यह क्रिया राइबूलोज- 5 -फॉस्फेट काइनेज एन्जाइम से उत्प्रेरित होती है



Ribulose-5-phosphate (5C, 1 mol.) Ribulose 1,5-diphosphate (5C, 1 mol.)

केल्विन चक्र की विभिन्न अभिक्रियाओं का सारांश इस प्रकार से है.

1. $6H_2O+6O_2=+6Ribulose-1,5\ diphosphate\ \underrightarrow{Carboxylase}\ 12PGA(c_3)$
2. $12PGA+12ATP+12NADPH_2\ \frac{Tripose\ phosphate}{dehydrogenase}\ 12PGAL(DiHAP)$ $+12NADP+12H_3PO_4$
3. $3PGAL+3DiHAP\ \underrightarrow{Aldolase}\ Fructose-1,\ 6-diphosphate\ (C_6)$
4. $3C_3$ (fructose-1,6-diphosphate)+$3H_2O\xrightarrow{Phosphatase}3C_2$ (Fructose-6-phosphate) + H_3PO4
5. $2C_3$(PGAL)+$2C_6$(Fr.6-phosphate)$\xrightarrow{Transketolase}2C_4+2C_5+2H_3PO_4$
6. $2C_3$ (DiHAP) $2C_4\xrightarrow{Aldolase}2C_7$ (Sedoheplutose-1,7 diphosphate)
7. $2C_7+2H_{2O}\xrightarrow{Phosphotase}2C_7+2H_3PO_4$
8. $2C_7+2C_3$ (PGAL)$\xrightarrow{Transketolase}2C_5+2C_5$
9. $6C_5$ + 6 ATP $\xrightarrow{Phosphopenkorinase}$ 6 Ribulose-1, 5-diphosphate
10. $6C0_2+18ATP+12NADPH_2\rightarrow C_6H_{12}O_6$ + 18 ADP + 18 iIP^+ 12 NADP

बोध प्रश्न

अतिलधुउत्तरीय प्रश्न

1. प्रकाश संशलेषण के अंतिम उत्पाद क्या हैं?

....

....

2. प्रकाश संशलेषण में विमुक्त ऑक्सीजन का स्रोत क्या होता है?

....

....

3. उस वर्णक का नाम बताइये जो क्लोरोफिल के प्रकाशीय ऑक्सीकरण को रोकता है ।

....

....

4. सीमित कारकों का सिद्धान्त' किसने व कब प्रतिपादित किया?

....

....

5. किन्ही तीन प्रकाश संशलेषी वर्णकों के नाम बताइये ।

....

....

6. रेड ड्राप की खोज किसने की? यह दृश्य स्पैक्ट्रम के किस भाग में पाया जाता है?

....

....

7. वर्णक तंत्र I व वर्णक तंत्र II के अभिक्रिया केन्द्र बताइये ।

....

....

8. C_3 व C_4 चक्र के ग्राहियोंके नाम बताइये ।

....

....

9. CAm चक्र किस प्रकार के पादपों में पाया जाता है?

....

....

10. C_3 व C_4 चक्र के प्रथम स्थाई यौगिकों के नाम बताइये ।

....

....

11. प्रकाश संशलेषण की प्रकाश अभिक्रिया के फलस्वरूप उत्पन्न अपचयन शक्ति (reducing power) का नाम बताइये।

....

....

12. कैल्विन चक्र में CO_2 के 6 अणुओं को स्थिर करने के लिए कितने ATP व $NADPH_2$ अणुओं की आवश्यकता होती है।

....

....

13. पादप कोशिका में प्रकाश संशलेषण की प्रकाश अभिक्रिया की स्थिति क्या है?

....

....

14. ग्लूकोज संशलेषण के लिए हाइड्रॉजन परमाणुओं का स्रोत क्या है?

....

....

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये

1. क्लोरोफिल अणु में .... धातु का एक परमाणु स्थित होता है ।
2. वर्ष 1961 में .... को नोबल पुरस्कार, प्रकाश संशलेषण में CO_2 स्थिरीकरण को समझाने के लिए प्रदान किया गया ।
3. क्लोरोफिल अणु में पोरफाइरिन शीर्ष .... तथा फाइरोल सिरा ....

प्रकृति का होता है ।

4. प्रकाश संशलेषण की प्रकाश अभिक्रिया में उत्पन्न स्वांगाकारी शक्ति .... व .... के रूप में प्राप्त होती है ।
5. प्लास्टिड्ज में प्रकाश अभिक्रिया .... में होती है ।
6. $C^{14}O_2$ .... के पथ को निर्धारित करने में प्रयुक्त होती है ।
7. वर्णक तंत्र I व II का सक्रिय केन्द एक विशिष्ट क्लोफिल अणु होता है जिसे .... व.......................... कहते हैं ।
8. वर्णक तंत्र .... तथा .... से सम्बन्धित होता है।
9. फोटोसिस्टम II में अभिक्रिया केन्द्र द्वारा ह्रास इलेक्ट्रॉन .... से प्राप्त इलेक्ट्रॉन द्वारा विस्थापित हो जाता है ।
10. वह रसायन जो CO_2 को शीघ्रता से अवशोषित कर लेता है तथा प्रकाश संशलेषण प्रयोग में सामान्यत: प्रयुक्त होता है,..................... कहलाता है ।
11. फोटोसिस्टम II के लिये तीन खनिज तत्वों की आवश्यकता होती है, क्लोरोफिल में................साइटोक्रोम में...........स्टोसायनिन में........................ ।

6.6 सारांश (Summary)

प्रकाश संशलेषण (Photosynthesis) एक उपचयी (anabolic) क्रिया है जो कि पौधों की क्लोरोफिल युक्त कोशिकाओं में CO_2, प्रकाश व जल की उपस्थिति में सम्पन्न होती है ।

समस्त प्राणी जगत भोजन व अन्य आवश्यकताओं के लिए प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से इस क्रिया पर आश्रित हैं ।

यह अभिक्रिया दो चरणों (I) प्रकाशीय व (II) अप्रकाशिक में सम्पादित होती है ।

प्रकाशीय अभिक्रिया के अन्तर्गत प्रकाशीय फॉस्फोरिलीकरण की क्रिया होती है । यह दो प्रकार का होता है ।

(i) चक्रीय प्रकाश फौस्फोरिलीकरण तथा

(ii) अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण

प्रकाशीय अभिक्रिया में ऊर्जा (ATP) व अपचायक ($NAPDH_2$) का निर्माण होता है जिसे प्रकाशिक अभिक्रिया के अन्तर्गत कार्बन-डाईऑक्साइड के स्थिरीकरण के लिए उपयोग में लाया जाता है ।

प्रकाश संशलेषण के अप्रकाशीय चरण में कार्बन-डाइओंक्साइड का स्थिरीकरण व अपचयन होता है जिसके फ्लस्वरूप कार्बोहाइड्रेट्स का निर्माण व O_2 का विमोचन होता है जिसे कैल्विन चक्र कहते हैं । इस चक्र में बनने वाला प्रथम स्थायी यौगिक 3 कार्बन युक्त फोंस्फोग्लिसरिक अम्ल होता है अत: इसे C_3 चक्र भी कहा जाता है ।

6.7 शब्दावली

प्रकाश संश्लेषण (Photosynthesis) : क्लोरोफिल युक्त कोशिकाओं में प्रकाश की उपस्थिति मे जल एवं कार्बन-डाइऑक्साइड से कार्बोहाइड्रेट के निर्माण की प्रक्रिया ।

क्वान्टासोम (Quantasome) : थाइलेकॉइड की आन्तरिक सतह पर पाई जाने वाली सूक्ष्म व गोलाकार कणिकाएँ जिन्हें प्रकाश अभिक्रिया की सरंचनात्मक एवं कार्यात्मक इकाई माना जाता है।

प्रकाश फ़ॉस्फोरिलीफरण (Photophosphorylation) : प्रकाश की उपस्थिति में ATP संशलेषण की प्रक्रिया ।

6.8 सन्दर्भ ग्रन्थ

1. Pandey, S.N and Sinha, B.K. 2000, Plant Physiology, Vikas publishing House Pvt. Ltd. New Dehli.
2. सक्सेना, एन. बी. वर्मा, एम. एल. एवं चौधरी, बी. एल. 1998, पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन, अल्का पब्लिकेशन्स, अजमेर ।
3. सिंह, वी. पाण्डे, पी. सी. एवं जैन डी. के. 2002 - 03, पादप शरीर -क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स शिवाजी रोड़, मेरठ ।
4. 'त्रिवेदी पी. सी. शर्मा, निरंजन एवं धनखड़, आर.एस. 2004 - 05, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्‌योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर ।

6.9 बोध प्रश्नों के उत्तर

अति लघुउत्तरीय

1. ग्लूकोज, ऑक्सीजन
2. जल
3. कैरोटिनॉईड
4. एफ. एफ. ब्लैकमैन ने 1905 में
5. क्लोरोफिल, कैरोटिनोंइड, फाइकोबिलिन
6. इमरसन, लाल प्रकाश
7. P_{700} एवं P_{680}
8. राइबूलोज 1, 5-डाइफॉस्फेट व फॉस्फोइनोल पाइरुवेट
9. 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (3PGA ऑक्सेलो एसिटिक अम्ल (OAA))
11. NADPH
12. 18 ATP व 12 $NADPH_2$
13. क्लोरोप्लास्ट के ग्रेना
14. जल व $NADPH_2$ अणु

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये

1. मैग्नीशियम
2. एम. कैल्विन
3. जलरागी, वसारागी
4. ATP, $NADPH_2$
5. ग्रेना
6. कार्बन
7. P_{700}, P_{680}
8. जल अपघटन, O_2 विमोचन
9. जल
10. KOH

11. Mg, Fe, Cu

6.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

लघुत्तरात्माक प्रश्न

1. हिल अभिक्रिया से क्या तात्पर्य है?
2. इमरसन प्रभाव किसे कहते हैं?
3. निरन्तर प्रकाश की अपेक्षा आन्तरायिक प्रकाश (intermittent light) में प्रकाश संश्लेषण की दर उच्च होती है क्यों?
4. वर्णक तंत्र I व वर्णक तंत्र II में अन्तर बताइए ।
5. चक्रीय व अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में अंतर बताइए ।
6. विभिन्न प्रकार के क्लोरोफिल के नाम बताइए ।
7. जल के प्रकाशिक अपघटन (photolysis) को समझाइए ।
8. चक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में इलेक्ट्रॉन प्रवाह का मार्ग दर्शाइए ।
9. अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में किस प्रकार ATP, $NADPH_2$ व ऑक्सीजन का निर्माण होता है?

निबन्धात्मक प्रश्न (Essay type Questions))

1. प्रकाश संशलेषण की प्रकाश अभिक्रिया का वर्णन कीजिए ।
2. क्लोरोप्लास्ट की परासंरचना का वर्णन कीजिए ।
3. कार्बन स्थिरीकरण के C_3 चक्र का विस्तार से वर्णन कीजिए ।
4. इमरसन प्रभाव तथा लाल पतन से क्या तात्पर्य है? इमरसन प्रभाव की खोज से क्या निष्कर्ष प्राप्त हुआ स्पष्ट कीजिए।

इकाई 7 : प्रकाश संशलेषण : C_4 चक्र, प्रकाशीय श्वसन, क्रास्यूलियन एसिड मेटाबोलिज्म (CAM), प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक-1 (Photosynthesis : C_4 Cycle, Photorespiration, Crassulian Acid Metabolism (CAM), Factors affecting Photosynthesis)

इकाई की रूपरेखा

7.0 उद्देश्य

7.1 प्रस्तावना

7.2 हैच व स्लैक चक्र अथवा C_4 चक्र

- 7.2.1 C. चक्र की खोज
- 7.2.2 C_4 पादप
- 7.2.3 C_4 पादपों की संरचनात्मक विशेषता
- 7.2.4 C_4 चक्र की क्रियाविधि
- 7.2.5 C_4 चक्र का महत्व

7.3 क्रास्यूलियन एसिड मेटाबोलिज्म (CAM)

- 7.3.1 CAM चक्र की क्रियाविधि
- 7.3.2 CAM तथा C_4 चक्र में अंतर

7.4 प्रकाशीय श्वसन

- 7.4.1 प्रकाशीय श्वसन का स्थल
- 7.4.2 प्रकाशीय श्वसन की क्रियाविधि
- 7.4.3 प्रकाशीय श्वसन का महत्व

7.5 प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक

- 7.5.1 बाह्य कारक
- 7.5.2 आंतरिक कारक

7.6 सारांश

7.7 शब्दावली

7.8 सन्दर्भ ग्रन्थ

7.9 बोध प्रश्नों के उत्तर

7.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

7.0 उद्देश्य (Object)

इस इकाई के अध्ययन के बाद आप इस योग्य हो जायेंगे कि निम्न बिन्दुओं को भलीभाँति समझ सकें ।

(i) हैच व स्लैक चक्र अथवा C_4 चक्र में किस प्रकार कॉर्बन-डाइऑक्साइड का स्वांगीकरण (assimilation) होता है ।

(ii) C_4 पादपों की पत्तियों की आंतरिक संरचना C_3 पादपों से किस प्रकार भिन्न है?

(iii) कैल्विन चक्र (C_3 चक्र) व हैच एवं स्लैक चक्र (C_4चक्र) में क्या अन्तर है?

(iv) C_3 C_4 पादपों में क्या अन्तर है?

(v) क्रास्यूलियन एसिड मेटाबोलिज्म (CAM) क्या है? तथा पादपों के किस समूह में पाई जाती है?

(vi) CAM, C_4 चक्र से किस प्रकार भिन्न है?

(vii) प्रकाशीय श्वसन किन परिस्थितियों में होता है व पादप को इससे क्या हानि होती है?

(viii) विभिन्न प्रकार के बाह्य व आंतरिक कारक 'प्रकाश संश्लेषण की क्रिया विधि को किस प्रकार प्रभावित करते हैं?

7.1 प्रस्तावना

पिछले अध्याय में आप प्रकाश संश्लेषण के विभिन्न पहलूओं जैसे: इतिहास, स्थल व क्रियाविधि के बारे में विस्तृत जानकारी प्राप्त कर चुके हैं । प्रकाश संश्लेषण की अप्रकाशिक अभिक्रिया के अन्तर्गत कार्बन-डाइऑक्साइड का स्वांगीकरण होता है ।

- पिछले अध्याय में आपने कैल्विन चक्र (C_3 चक्र) के बारे में विस्तार से जाना । हरे पौधों एक विशेष वर्ग में C_3 चक्र के अलावा हैच एव स्लैक चक्र (C_4 चक्र) भी पाया जाता है । यह पौधे C_4 पादप कहलाते हैं ।
- C_4 पादपों की पत्तियों में संरचनात्मक विशिष्टता पाई जाती है जिसे क्राज संरचना कहते हैं।
- मरुस्थलीय पादपों के एक विशेष वर्ग (माँसल व गूद्देदार) में CAM चक्र पाया जाता है
- अधिक O_2 की सान्द्रता व तेज प्रकाश में हरे पौधे प्रकाशीय श्वसन की क्रिया करते हैं जिससे CO_2 का स्वांगीकरण कम हो जाता है ।
- विभिन्न प्रकार के बाह्य व आंतरिक कारक प्रकाश संश्लेषण की क्रिया को प्रभावित करते हैं ।

अप्रकाशिक अभिक्रिया अथवा CO_2 स्थिरीकरण एवं कार्बोहाइड्रेट संश्लेषण के लिए अब तक तीन चक्र स्थापित हो चुके हैं ।

(i) कैल्विन चक्र (Calvin cycle or C_3 cycle)

(ii) हैच तथा स्लैक चक्र (Hatch & Slack cycle) तथा

(iii) क्रास्यूलियन एसिड मेटाबोलिज्म चक्र (Crassulian acid Metabolism cycle or CAM cycle)

इकाई 6 में कैल्विन चक्र का विस्तृत वर्णन दिया जा चुका है । अब हम इस इकाई में शेष दो चक्रों का अध्ययन करेंगे।

7.2 हैच व स्लैक चक्र अथवा C_4 व चक्र (Hatch and Slack cycle or C_4 cycle)

सामान्यत : पौधों में कार्बन का स्वांगीकरण कैल्विन चक्र द्वारा होता है । इस चक्र में कार्बन-डाइऑक्साइड के अवशोषण के पश्चात् पहला स्थिर उत्पाद 3 कार्बन परमाणु वाला यौगिक फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (PGA) है अत: इस चक्र को C_3 चक्र व जिन पौधों में यह पाया जाता है उन्हें C_3 पादप (C_3 plant) कहते हैं । परन्तु कुछ पौधों में CO_2 के अपचयन चक्र का पहला स्थिर उत्पाद एक चार कार्बन परमाणु वाला अम्ल ऑक्जेलोएसिटेट (oxaloaetate) या ऑक्जेलो एसिटिक अम्ल (oxaloacetic acid C_4 होता है । वह पौधे जिनमें यह चक्र पाया जाता है, C_4 पौधे (C_4 plants) कहलाते हैं ।

7.2.1 C_4 चक्र की खोज (Discovery of C_4 cycle)

एच. पी. कोर्ट्स चेक, सी. ई. हार्ट तथा जी. ओ. बर्र (H.P.Korts chak, C.E. Hart and G.O. Burr) ने 1965 में गन्ने की पत्तियों पर प्रकाश संश्लेषण अध्ययन में पाया कि प्रथम स्थायी उत्पाद 3-फॉस्फोरिक अम्ल न होकर मै C युक्त मैलिक अम्ल तथा एस्पार्टिक अम्ल (Malic acid and Aspartic acid होता है । अपने प्रयोगों में उन्होंने $C^{14}O_2$ का प्रयोग किया और पाया कि प्रकाश संश्लेषण के 1 सैकेन्ड में 50% CO_2 का स्थिरीकरण मैलेट व एस्पार्टेट के रूप एंव मात्र 10% PGA के रूप में होता है जो यह इंगित करता है कि इस पादप में प्रथम उत्पाद PGA न होकर मैलेट व एस्पार्टेट होते हैं । 1966 में एम. डी. हैच व सी. आर. स्लैक (M.D. Hatch and C.R. Slack) ने उपरोक्त परिणामों की पुष्टि करते हुए C_4 चक्र को खोज निकाला । उन्हीं के सम्मान में इसे हैच-स्लैक चक्र भी कहते हैं । उन्होंने $C^{14}O_2$ का प्रयोग करते हुए यह प्रमाणित किया कि प्रथम उत्पाद 4C ऑक्जेलो एसिटिक अम्ल (oxaloacetic acid C_4) होता है जिससे मैलिक अम्ल व एस्पार्टिक अम्ल का निर्माण होता है।

7.2.2 C4 पादप (C_4 plants) यद्यपि C_4 चक्र सर्वप्रथम ईख (Sugarcane) में पाया गया था परन्तु राघवेन्द्र एव दास (Raghvendra and Dass, 1978) के अनुसार यह चक्र एन्जियोस्पर्मसू पौधों के 13 विभिन्न कुलों की लगभग 500 जातियों में ज्ञात है । एक बीजपत्री पौधों में मुख्यत: ग्रेमिनी अथवा पोएसी त था साइप्रेसी कुल के सदस्य हैं । एन्जियोस्पर्मस के अतिरिक्त अन्य पादप वर्गों में C_4 चक्र नहीं पाया जाता है ।

प्रमुख p 4 जातियाँ निम्न प्रकार हैं:

एकबीजपत्री (Monocotyledons)

I. **साइप्रेसी (Cyperaceae)** : साइप्रस कॉम्प्रेसस (Cyperus compressus), सा.फ्लेबैलीफोर्मिस (C. flabelliformis), सा. ग्लोबोसा (C. globosa), सा. इरिया (C. iria)

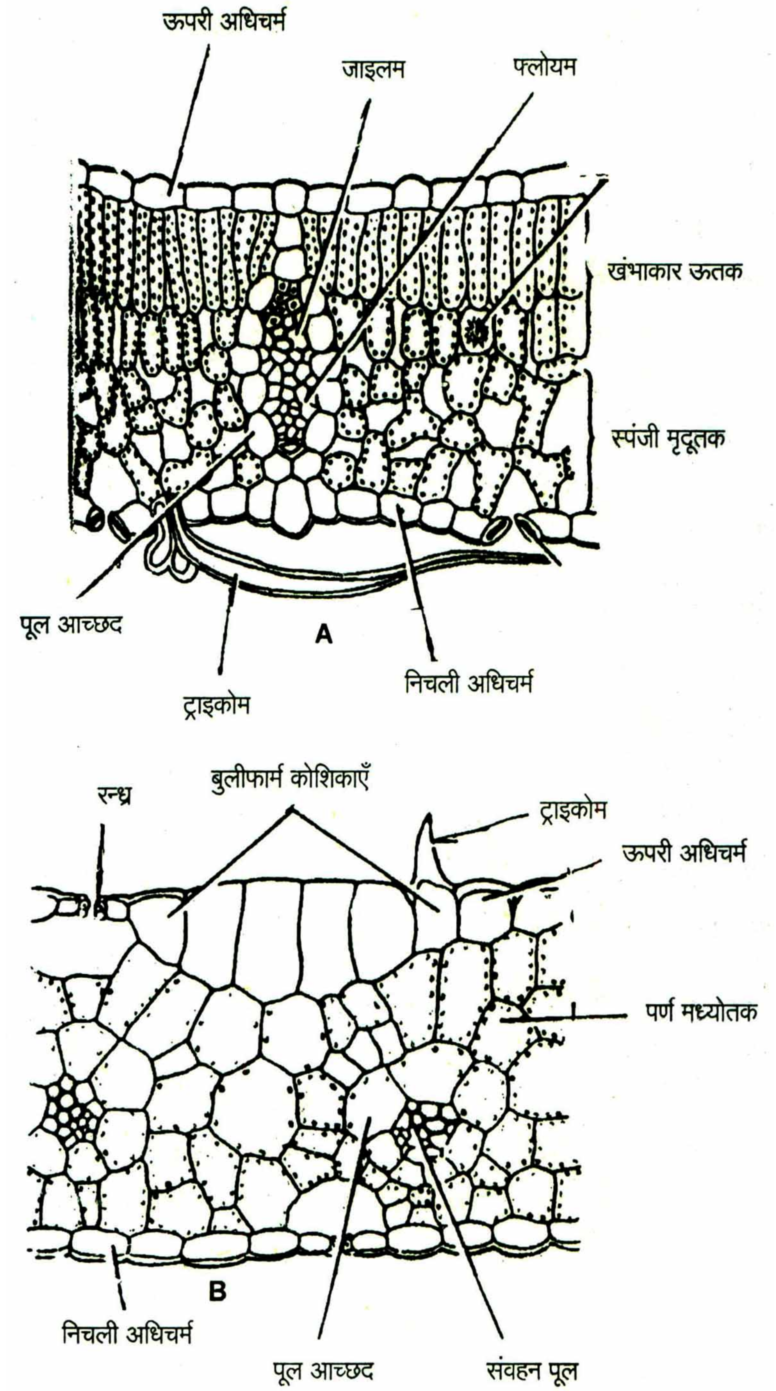
II. **पोएसी (poaceae) :** एन्ड्रोपोगोन स्पी (Andropogon spp), सैक्रंस सिलियेरिस (Cenchrus ciliaris मरूठ,) इकाइनोक्लोआ कोलोनम (Echinochloa colonum सामको), साइनेडॉन डेक्टीलोन (Cyanodon dactylon) (दूब घास), हिट्रोपोगोन कोनटोरटस (Heteropogon contortus), पेनिकम मॉक्सीमम (Panicum maximum) पैनीसिटम अमेरिकाना (Pennisetum Americana (बाजरा), सैकेरम ऑफिसिनेरम (Saccharum offcinarum गन्ना) सोरधम वल्गेर (Sorghum vulgare ज्वार), जिया मेज (Zeqa mays) (मक्का) ।

द्विबीजपत्री (Dicotyledons) : एट्रिप्लेक्स स्पी. (Airplex spp) हेलोजाइलोन सेलिकोरनिकम (Haloxylon Salicornicum), कोचिया स्कोपेरिया (Kochita scoparia), सालसोला फॉटिडा (Salsola foetida), स्यूड़ा फ्रूटिकोसा (Suaeda fruticosa), आदि सभी चिनोपोडिएसी (Chenopodiaceae) कुल के सदस्य हैं । इनके अलावा एमटेथेसी कुल के एमेरेन्थस ग्रेसिलिस (Amaranthus gracilis चंदलाई), ए. स्पाइनोसस (A. spinosus) व गोमफ्रेन सेलिसिआई डिस (Gomphrena celesiodes) एमरेथेसी कुल के, ग्लोसोकार्डिया बोसवलिया (Glossocardia boswallia) व फ्लेवेरिया ट्राइनर्विया (Flaveria trinervia) एस्टरेसी कुल के, यूफोर्बिया हिरटा (Euphorbia hirta) व यू. थाइमीफोलिया (E.thiymifolia) यूफोर्बिएसी कुल के व पोर्चुलाकेसी (Portulacaceae), जाइगोफाइलेसी (Zygophylaceae) तथा एजोएसी (Aizoaceae) का ट्रायन्थिमा पोर्चुलाकेस्ट्रम (Trianthema portulacastrum सांटी) आदि कुलों के सदस्य हैं ।

7.2.3 C_4 पादपों की संरचनात्मक विशेषता (Structural Specialities of C_4 plants)

C_3 पौधो की पत्तियों में पर्णमध्योतकक प्राय: पेलीसेड (palisade) व स्पंजी ऊतकों (spongy tissues) में विभेदित होता है । पेलीसेड कोशिकायें संहत (compactly) रूप से व्यवस्थित होती है जबकि स्पंजी कोशिकाओं के मध्य वृहत अंतर्कोशिकीय अवकाश (intercellular spaces) पाये जाते हैं (चित्र 7.1 म A) । इसके विपरीत C_4 पादपों की पत्तियाँ अपेक्षाकृत पतली होती हैं व पर्णमध्योतक पेलीसेड व स्पंजी ऊतकों में विभेदित नहीं होता है । संवहन पूल एक दूसरे के निकट स्थित होते हैं । प्रत्येक संवहन पूल के चारों ओर पतली भित्ति युक्त कोशिकाओं का पूल आच्छद (bundle sheath) पाया जाता है (चित्र 7.1 B) । पूलाच्छद कोशिकाओं में अधिक संख्या में क्लोरोप्लास्ट पाये जाते हैं । पूलआच्छद कोशिकाएँ संवहन पूल के चारों ओर एक माला (हार) के समान व्यवस्थित होती है अत: C_4 पौधों की पत्तियों की इस प्रकार की आंतरिक संरचना क्रांज (Kranz) कहलाती है (जर्मन भाषा में Kranz का अर्थ फूलों की माला wreath

होता है । इसके अलावा पर्णम ध्योतक कोशिकाओं के बीच अन्तर्कोशिकीय अवकाश छोटे होते हैं (चित्र 7.1 B) ।



चित्र 7.1 : पत्ती की संरचना : A. C_3 पौधों की पत्तियों मे खंभाकार ऊतक (Palisade) एवं स्पंजी ऊतक; B.C_4 पौधों की पत्तियो की क्रांज संरचना (Kranz Structure)

C_4 पौधों की पत्तियों के पूल आच्छद कोशिकाओं के क्लोरोप्लास्ट में ग्रेना का अभाव होता है जबकि पर्णमध्योतक कोशिकाओं में सुविकसित ग्रेना पाये जाते हैं । इस प्रकार C_4 पौधों में क्लोरोप्लास्ट द्विरूपता (dimorphism) दर्शाते हैं । लेकिन कुछ C_4 पौधों में पूल आच्छद में भी ग्रेना पाये जाते हैं जैसे: ब्रमूडा-ग्रास । C_4 पौधों में दो संवहन पूलों के पूलाच्छदों के मध्य प्राय: एक या दो कोशिकाएँ ही होती है आंतरिक संरचना की इस विशेषता के कारण पत्ती के अन्दर वायु एव द्रवों का विसरण सरलता से हो जाता है अत: यह C_4 पौधों की प्रकाश संशलेषी दक्षता (photosynthetic efficiency) को बढ़ाती है ।

पर्ण मध्योतक कोशिकाओं में क्लोरोप्लास्ट सामान्य आकार के जबकि पूल आच्छद कोशिकाओं में बड़े आकार के होते हैं कैल्विन चक्र के एन्जाइम केवल पूल आच्छद कोशिकाओं में ही पाये जाते हैं तथा इन कोशिकाओं में प्रकाश तंत्र-II(PS -II) अनुपस्थित होता है ।

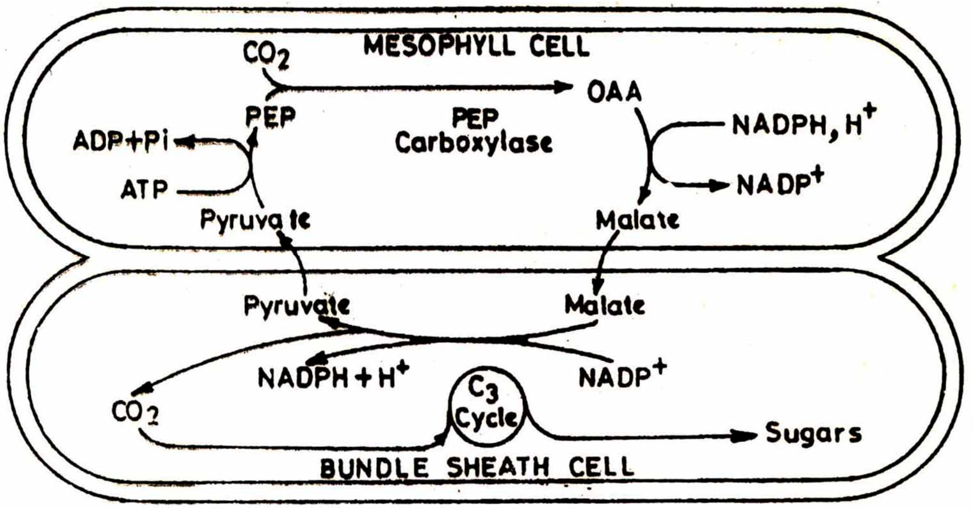
पूल आच्छद कोशिकाओं में राइबूलोज 1,5, डाइफॉस्फेट कार्बोक्सिलेज (ribulose) 1,5-diphosphate carboxylase तथा पर्णमध्योतक कोशिकाओं में फॉस्फोइनोल पाइरुवेट कार्बोक्सिलेज़ (PEP carboxylase) एन्जाइम उपस्थित होता है ।

7.2.4 C_4 चक्र की क्रियाविधि (Mechanism of C_4 Cycle)

C_4 चक्र की अभिक्रियाओं को समझने से पहले दो तथ्यों को स्पष्ट करना आवश्यक है

(i) C_4 पादपों में भी कार्बन-डाइऑक्साइड का अपचयन कैल्विन चक्र द्वारा ही होता है वैकल्पिक चक्र (C_4 चक्र) का उद्देश्य कैल्विन चक्र हेतु CO_2 की पर्याप्त सान्द्रता को उपलब्ध करवाना है । यह कार्य पत्ती की पर्णमध्योतक कोशिकाओं द्वारा किया जाता है (चित्र 7.2) ।

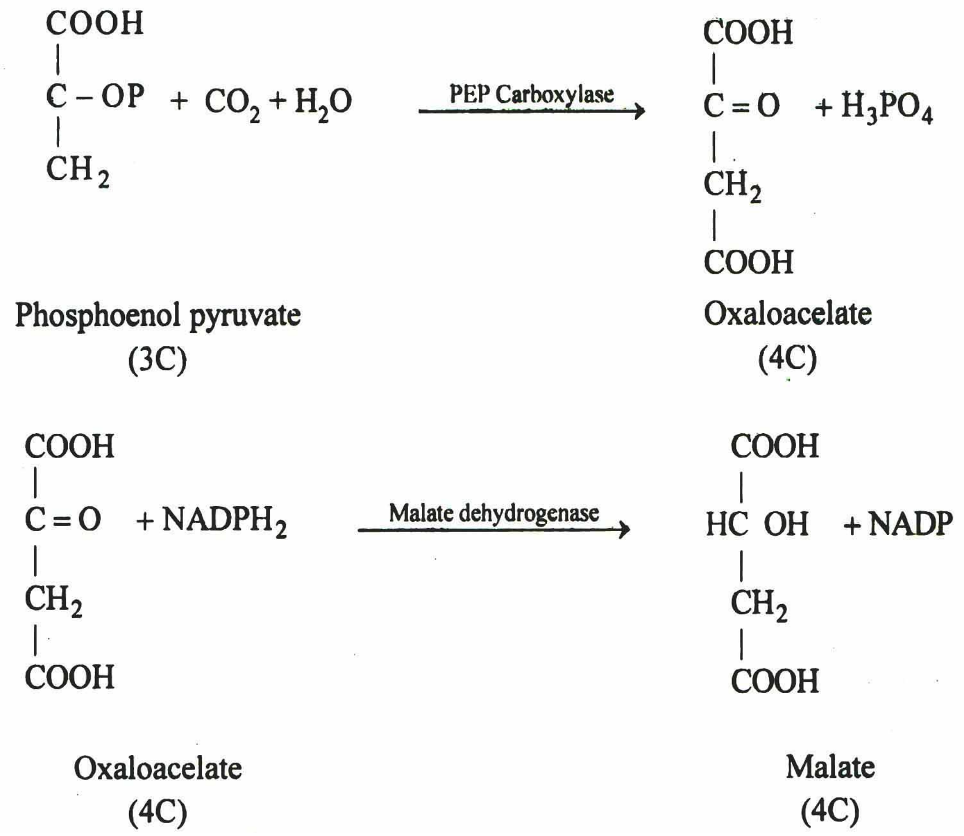
(ii) C_4 पौधों में कैल्विन चक्र की अभिक्रियाएँ केवल पूल आच्छद कोशिकाओं में होती हैं ।



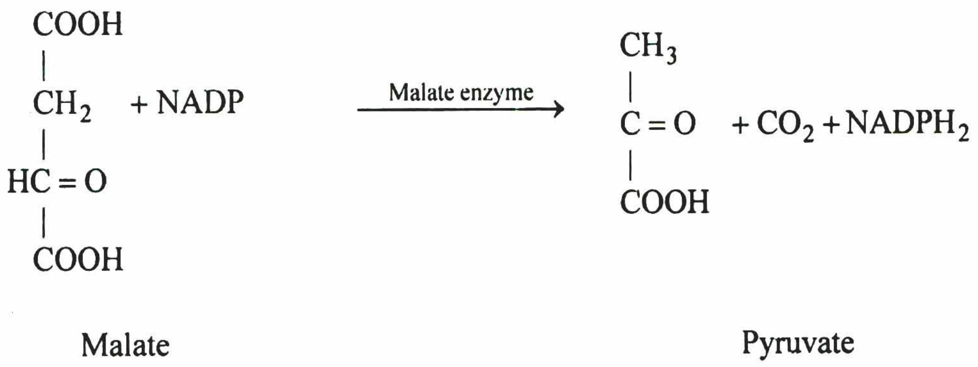
चित्र 7.2 : हेच तथा स्लैक चक्र का आयोजना आरेख

C_4 पौधों में, पर्णमध्योतक तक कोशिकाओं के क्लोरोप्लास्ट में उपस्थित 3C यौगिक फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (phosphoenol pyruvate, PEP) CO_2 ग्राही का कार्य करता है । यह क्रिया फोंस्फोइनोल पाइरुवेट कार्बोक्सिलेज (phosoenol pyruvate carboxylase) एन्जाइम द्वारा उत्पेरित होती है (PEP श्वसन के ग्लाइकोलाइसिस चरण का मध्यवर्ती उत्पाद हैं । कार्बोक्सिलिकरण की इस क्रिया के परिणामस्वरूप 4C यौगिक ऑक्सेलोएसिटेट (oxaloacetate) या ऑक्सेलो एसिटिक एसिड (oxalo acetic acid) का निर्माण होता है यह एक अस्थिर यौगिक है जो तुरन्त ही मैलेट (malate) या एस्पार्टेट (aspartate) में अपचयित हो जाता है जो अपेक्षाकृत स्थिर यौगिक है इसलिये इसे चक्र को C_4 चक्र कहते हैं ।

यह क्रिया $NADPH_2$ द्वारा डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति मे होती है ।

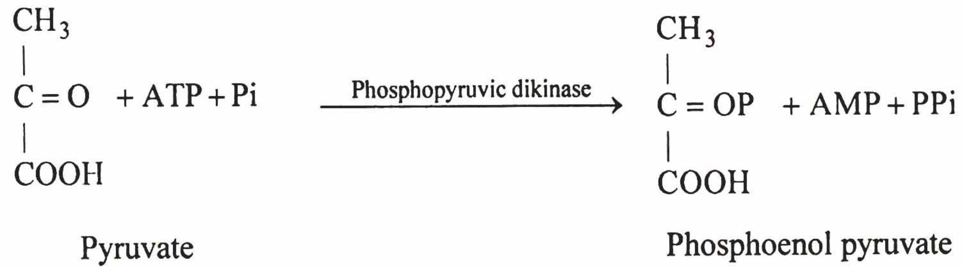


मैलेट अथवा एस्पार्टेट अब पर्णमध्योतक कोशिकाओ से पूल आच्छद कोशिकाओ (bundle sheath cells) के क्लोरोप्लास्टमे स्थानान्तरित हो जाता है । यहाँ मैलेट का विकार्बोक्सिलीकरण एक NADP विशिष्ट मैलिक एन्जाइम उपस्थिति मे होता है जिसके फलस्वरूप पाइरुवेट तथा कार्बन-डाइऑक्साइड बनते हैं ।



उपरोक्त क्रिया में निर्मित पाइरुवेट पूल आच्छद कोशिकाओं के क्लोरोप्लास्ट से पर्णमध्योतक कोशिकाओं के क्लोरोप्लास्ट में स्थानान्तरित हो जाता है जहाँ यह ATP द्‌वारा प्रकाश तथा डाइकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में पुन: फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP, CO_2 ग्राही) में परिवर्तित हो जाता है ।

इसके साथ मुक्त का उपयोग राइबूलोज 1-5 डाइफॉस्फेट के कार्बोक्सिलीकरण (carboxylation) में होता है जिसके फलस्वरूप PGA का निर्माण होता है । यह क्रिया पूल आच्छद कोशिकाओं में ही होती है । इस प्रकार हेक्सोज का निर्माण C_3 चक्र द्‌वारा ही होता है ।



उपरोक्त अभिक्रिया में ATP का AMP में रूपान्तरण होता है । AMP से पुन: ATP बनने में 2 ATP की आवश्यकता होगी इसी कारण C_4 चक्र में C_3 चक्र की तुलना में 12 अतिरिक्त ATP की आवश्यकता होती है ।

कोलेट एवं ओगरेन (Chollet and Ogren, 1975) ने C_4 पादपों को तीन वर्गों में विभेदित किया है:

1. प्रथम समूह में वे पादप हैं जिनमें CO_2 का स्थिरीकरण फॉस्फोइनोल पाइरुवेट द्‌वारा होता है व ऑक्जेलोएसीटेट द्‌वारा निर्मित मैलेट मूल आच्छद कोशिकाओं में स्थानान्तरित हो जाता है उदाहरण - मक्का (Zea mays)व गन्ना (Saccharum officinarum)
2. द्‌वितीय समूह के पादपों में ऑक्सेलोएसीटेट के ट्राँसएमिनेशन से एस्पार्टेट का निर्माण होता है जो पूल आच्छद कोशिकाओं में स्थानान्तरित होता है । वहाँ पर इसके पुन: ट्राँसएमिनेशन से ऑक्सेलोएसीटेट बनता है जो कि फॉस्फोइनोल पारइरुवेट व CO_2 में रूपान्तरित हो जाता है। उदाहरण - पेनीकम मैक्सिमम (Panicum maximum) तथा क्लोरिक गयाना (chloric gayana)

3. तृतीय समूह के पादपों में ऑक्सेलोएसीटेट से मैलेट का निर्माण होता है जिसका पूल आच्छद कोशिकाओं में स्थानान्तरण हो जाता है । यहाँ इसके ट्राँसएमिनेशन से ऑक्सेलोएसीटेट बनता है तथा ऑक्सेलोएसीटेट के विकार्बोक्सिलीकरण से PEP व CO_2 बनते हैं । उदाहरण - एट्रिप्लेक्स स्पोन्वियोसा (Atriplex spongiosa)

7.2.5 चक्र का महत्व (Significance of C_4 Cycle)

इस चक्र द्‌वारा पूलाच्छद कोशिकाओं में CO_2 की समुचित सान्द्रता बनी रहती है क्योंकि इन पौधों में प्रकाश संश्लेषी कार्बन अपचयन (कैल्विन चक्र) के एन्जाइम केवल पूलाच्छद कोशिकाओं में ही होते हैं जैसा कि ऊपर दिये गये C_4 चक्र के विवरण से स्पष्ट है कि C_4 पौधों में CO_2 का स्थानान्तरण कार्बन अम्लो (मैलेट व एस्पार्टेट) के माध्यम से होता है । इन अम्लो का पूलाच्छद कोशिकाओं में विकार्बोक्सिलीकरण होता है जिसके फलस्वरूप CO_2 बनती है । इसी कारण C_4 पौधों की पूलाच्छद कोशिकाओं में CO_2 की सान्द्रता C_4 पौधों की तुलना में लगभग दस गुनी ज्यादा पाई जाती है । CO_2 की उच्च सान्द्रता से प्रकाशीय श्वसन (photorespiration) की दर में कमी व प्रकाश संश्लेषण की दर में वृद्धि होती है । C_4 पादपों में प्रकाश संश्लेषण की दर C_3 पादपों की तुलना में दो से तीन गुना अधिक होती है ।

अनुकूल परिस्थितियों में C_4 पादपों में CO_2 स्वांगीकरण (assimilation) की दर C_3 पौधों की तुलना में 2-3 गुना अधिक होती है । परन्तु C_4 पौधों की अधिक उत्पादकता के साथ उनकी ऊर्जा आवश्यकता भी अधिक होती है (चित्र 7.2) । पूलाच्छद कोशिका में CO_2 के प्रत्येक अणु के विमुक्त होने के बाद PEP के पुर्नजन्म में ATP अणुओं की आवश्यकता होती है । यह ऊर्जा कैल्विन चक्र में उपयोग होने वाले ATP व NADPH के अतिरिक्त है (चित्र 6.16) देखें । इस प्रकार C_4 चक्र में CO_2 के प्रत्येक अणु के स्वांगीकरण के लिए पाँच ATP व दो NADPH अणुओं की आवश्यकता होती है । यह चक्र मरुद्भिद आवासीय पादपों में विशिष्ट महत्व रखता है । C_4 पौधों की कोशिकाओं में फॉस्फोइनोल पाइरुवेट कार्बोक्सिलेज एन्जाइम होता है जिसकी CO के प्रति अधिक बन्धुता (affinity) होती है जिसके कारण वातावरण में CO_2 की सान्द्रता बहुत कम होने पर भी पौधे इसे समुचित मात्रा में अवशोषित कर लेते हैं व अत्यधिक तापमान पर रन्ध्रों के आंशिक बन्द होने पर भी प्रकाश संश्लेषण की क्रिया जारी रखते हैं । क्योंकि 10 पी.पी.एम. CO_2 पर भी प्रकाश संश्लेषण जारी रहता है अतः यह C_4 पादप कम जल, उच्च ताप तथा तेज प्रकाश के प्रति अनुकूलित हो जाते हैं ।

सारणी 7.1 : C3 एवं C4 पादपों की तुलना

(Comparison between C3 and C4 plants

लक्षण (chracter)	C_3 पादप (C_3 plants)	C_4 पादप (C_4 Plants)
1. वितरण	ये पादप व्यापक वितरित होते हैं	ये सामान्यतः उपोष्ण (subtropical तथा उष्ण कटिबंधीय (tropical) प्रदेश के

		शुष्क भाग मे पाये जाते है
2. प्रकाश संश्लेषण के लिए अनुकूल तापमान	10-25^{o}C	30-45^{o}C
3. प्रकाश संश्लेषण के केन्द्र	सभी कोशिकाओ मे कार्बन स्वांगीकरण (assimilation) कैल्विन चक्र द्‌वारा होता है।	पर्ण मध्योतक कोशिकाओ मे हैच स्लैक चक्र (C4 चक्र) तथा पुलाच्छद कोशिकाओ मे कैल्विन चक्र द्‌वारा कार्बन स्वांगीकरण होता है
4. पत्ती की आतंरिक संरचना	क्रांज प्रकार की आंतरिक संरचना का अभाव होता है।	क्रांज प्रकार की आंतरिक संरचना पायी जाती है।
5. क्लोरोप्लास्ट	क्लोरोप्लास्ट एकरूपी संरचना प्रदर्शित करते है।	क्लोरोप्लास्ट द्‌विरूपी (dimorphic) संरचना प्रदर्शित करते है
6. प्रकाश संश्लेषी कोशिकाएँ	प्रकाश संश्लेषण मे भाग लेने वाले सभी कोशिकाएँ एक प्रकार की होती है ।प्रत्येक क्लोरोप्लास्ट मे वर्णक तंत्र I एवं वर्णक तंत्र II (PSI व PSII) उपस्थित होते है तथा इनमे सुविकसित ग्रेना पाये जाते है ।	प्रकाश संश्लेषण मे भाग लेने वाली पर्ण मध्योतक तथा पूलाच्छद कोशीकाएँ संरचना मे भिन्न होती है। पर्णमध्योतक कोशीकाओं मे C_3 की भाँति दोनों वर्णक तंत्र व सुविकसित ग्रेना पाये जाते है परंतु पूलाच्छद कोशिकाओं मे वर्णक तंत्र-II (PS II) तथा ग्रेना अनुपस्थित होते है
7. CO_2 ग्राही	CO_2 ग्राही केवल राइबूलोज 1, 5-डाइफॉस्फेट (ribulose 1,5-diphosphate) क्लोरो-प्लास्ट युक्त कोशिकाओ मे पाया जाता है।	CO_2 ग्राही दो है (i) पर्ण मध्योतक मे फोंस्फ़ोइनोल पाइरुवेट (PEP) तथा पूलाच्छद कोशिकाओ मे राईबूलोल 1, 5 डाइफॉस्फेट होता है
8. कार्बोक्सिलीकरण	कार्बोक्सिलीकरण की केवल एक क्रिया होती है ।	कार्बोक्सिलीकरण दो बार होता है।
9. प्रथम स्थिर यौगिक	कार्बोक्सिलीकरण के बाद प्रथम स्थिर यौगिक 3 कार्बन परमाणु वाला यौगिक 3 फोस्फ़ोग्लिसरिक	कार्बोक्सिलीकरण के पश्चात चार कार्बन युक्त ओक्सेलोंएसीटेट बनता है परंतु यह आस्थिर होता

	अम्ल या 3 फोस्फ़ोग्लिसरेट (3 PGA) होता है । -	है और तुरंत ही मैलेट तथा एस्पार्टेट मे परिवर्तित हो जाता है । ये दोनों यौगिक चार कार्बन युक्त होते है ।
10. प्रकाश संश्लेषण की दर	प्रखर प्रकाश मे प्रकाश संश्लेषण की शुद्ध दर 15-35 mg $CO_2dm^{-2}h^{-1}$ होती है ।	प्रकाश संश्लेषण की शुद्ध दर 40-80 mg $CO_2dm^{-2}h^{-1}$ होती है।
11. O_2 का प्रभाव	O_2 का प्रकाश संश्लेषण दर पर समन्दक (inhibitory) प्रभाव पड़ता है ।	O_2 का इस पर समन्दक प्रभाव नही होता है ।
12. प्रकाशीय श्वसन (photorespiration)	प्रकाशीय श्वसन होता है व उसका संसूचन (detection) आसानी से किया जा सकता है।	प्रकाशीय श्वसन मुलाच्छद कोशिकाओं मे अत्यधिक कम जबकि पर्ण मध्योतक कोशिकाओ मे अनुपस्थित हटा है ।
13. CO_2 अवशोषण	CO_2 अवशोषण क्षमता कम होती है तथा उच्च ताप पर यह क्षमता और भी कम हो जाती है।	CO_2 अवशोषण क्षमता अधिक तथा उच्च ताप पर यह क्षमता और बाद जाती है ।
14. CO_2 प्रतिफलमान	CO_2 प्रतिफल मान (compen-sation point) 50-150 ppm CO_2 होता है ।	CO_2 प्रतिफल मान 0-10 ppm CO_2 होता है ।
15. CO_2 सान्द्रता	पत्ती के आंतरिक उत्तकों मे CO_2 सान्द्रता लगभग 200 ppm होती है ।	CO_2 सान्द्रता 100 ppm रहती है ।
16. वष्पोत्सर्जन अनुपात व दर	वष्पोत्सर्जन अनुपात 500-1,000 व दर अधिक होती है ।	वष्पोत्सर्जन अनुपात 200-300 व दर कम होती है ।
17. उपज (yield)	इनमे उपज (yield) सामान्य होती है ।	इनमे उपज अधिक होती है ।
18. ATP की आवश्यकता	इनमे ग्लूकोज के एक अणु के संश्लेषण मे 18 ATP की आवश्यकता होती है ।	इनमे एक अणु ग्लूकोल के संश्लेषण मे 30 ATP की आवश्यकता होती है ।

$$\text{Transpiration Ratio (TR)} = \frac{\text{Molecules of water transpired}}{\text{Molecules of CO2 assimilated}}$$

7.3 क्रास्थूलियन एसिड मेटाबोलिज्म (Crassulian Acid Metabolism, CAM)

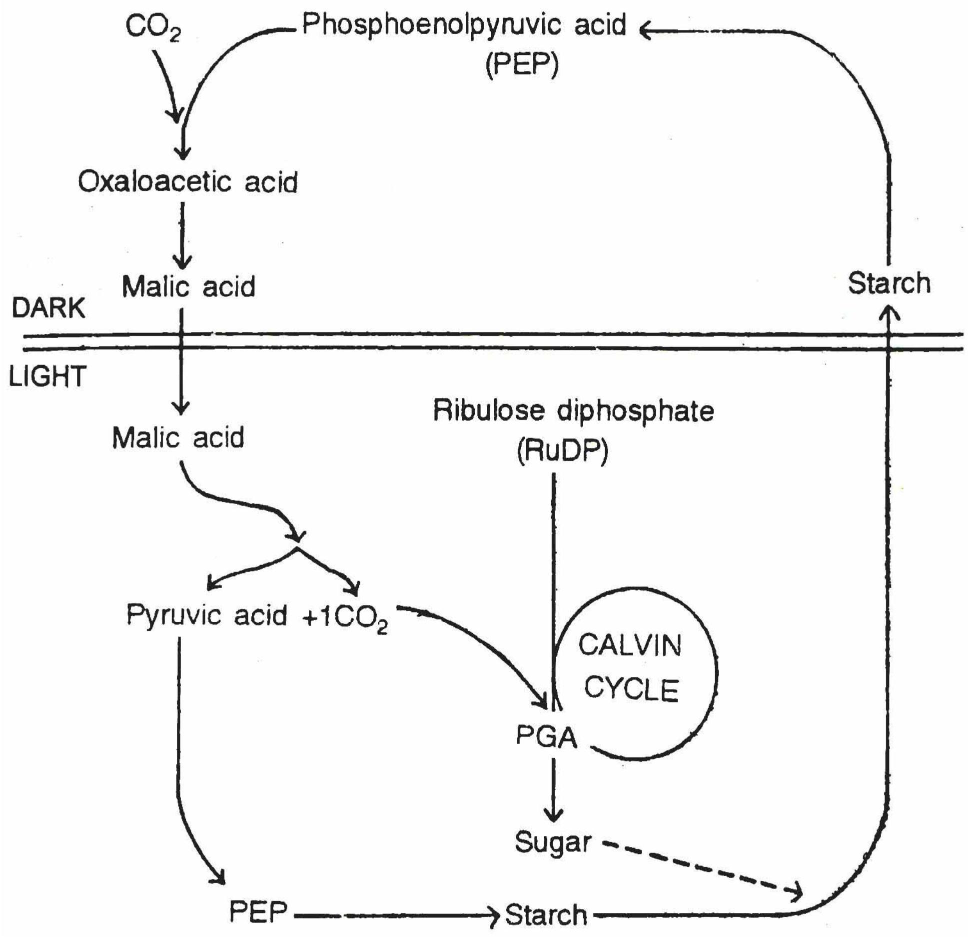
C_3 व C_4 पादपों में रन्ध्र सामान्यत: दिन में खुलते हैं (जब उनके द्वारा CO_2 पत्ती के अन्दर प्रवेश करती है) और रात को बंद रहते हैं । वाष्पोत्सर्जन (transpiration) की दृष्टि से रंध्रों का दिन में खुलना पौधों के लिए हानिकारक है क्योंकि दिन में अधिक तापमान व शुष्क वायु की वजह से वाष्पोत्सर्जन की दर अधिक होती है । वाष्पोत्सर्जन की इस समस्या से निबटने के लिए पौधों के एक तीसरे समूह (C_3 व C_4 के अतिरिक्त) में एक आंतरिक विधि है, इनके रन्ध्र मुख्यत: रात को खुलते हैं और दिन में बंद अथवा बहुत कम खुलते हैं ये पौधे प्रकाश संश्लेषण के लिए रात में CO_2 की पर्याप्त मात्रा को कार्बनिक अम्लो के रूप में एकत्रित कर लेते हैं तथा दिन में इन अम्लो के विकार्बोक्सिलीकरण (decarboxylation) से मुक्त CO_2 को कैल्विन चक्र द्वारा कार्बोहाइड्रेट्स में अपचयित कर लिया जाता है ।

प्रकाश संश्लेषण का CAM चक्र मांसल, गूद्देदार (Succulents) पादपों में पाया जाता है । ये पौघे प्राय: शुष्क व मरुस्थली आवासों (xerophytic habitats) में पाये जाते हैं इन पादपों में मृदूतक कोशिकाओं की अधिकता होती है तथा ये कोशिकाएँ श्लेष्म युक्त होती हैं । इसके अतिरिक्त इन कोशिकाओं में बड़ी रिक्तिकाएँ भी पाई जाती हैं । चूकि इस चक्र का अध्ययन सर्वप्रथम क्रस्यूलेसी (Crassulaceae) कुल के सदस्यों में किया गया अत: यह चक्र क्रस्यूलियन ऐसिड मेटाबोलिज्म (Crassulacean Acid) Metabolism, CAM) कहलाता है । ऐन्जियोस्पर्मस के 26 कुलों के सदस्यों में यह चक्र मिलता है । जिनके प्रमुख कुल हैं क्रस्यूलेसी (Crassulaceae), केक्टेसी(Cactaceae), आर्किडेसी (Orchidaceae), लिलिएसी (Liliaceae), एस्कलेपियेडेसी (Asclepiadaceae), ब्रोमिलिएसी (Bromeliaceae) तथा यूर्फोबिएसी (Euphorbiaceae) आदि । कुछ टेरिडोफाइट्स व कुछ जिम्नोस्पर्मस [(उदाहरण - वेलवेटशियां मिराबिलिस (Welwetschia mirabills)] में भी CAM चक्र पाया जाता है । इस चक्र को प्रदर्शित करने वाले सभी पौधे गूद्देदार (माँसल) होते हैं परन्तु यह बताना आवश्यक है कि सभी गूद्देदार पौधों में CAM चक्र नही पाया जाता है ।

7.3.1 CAM चक्र की क्रियाविधि (Mechanism of CAM Pathway)

क्योंकि इन पौधों में रन्ध्र रात को खुले रहते हैं अत: पत्ती की कोशिकाएँ रात को CO_2 अवशोषित करती हैं । C_4 पौधों की भाँति इनमें भी फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP) CO_2 ग्राही का कार्य करता है । यह पर्ण मध्योतक कोशिकाओ के कोशिकाद्रव्य में उपस्थित होता है । PEP CO_2 को ग्रहण कर 4 कार्बन परमाणु वाला यौगिक ऑक्सेलोएसिटेट (oxaloacetate) का निर्माण करता है । इसके अपचयन से मैलेट (malate) बनता है जो पर्ण मध्योतक कोशिकाओ की रसधारियों (vacuoles) में संग्रहित रहता है अत: CAM चक्र को प्रदर्शित करने वाले पौधों की कोशिकाओं में मैलिक अम्ल (malic acid) की सान्द्रता होती है ।

दिन में मैलिक अम्ल पुन: रसधानियों से बाहर कोशिकाद्रव्य में आ जाता है और NAD मैलिक एन्जाइम की उपस्थिति में इसके विकार्बोक्सिलीकरण (decarboxylation) से फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP) तथा CO_2 बनते है । CO_2 विसरण द्वारा क्लोरोप्लास्ट में पहुँचती है जहाँ कैल्विन चक्र द्वारा इसके अपचयन से कार्बोहाइड्रेट्स बनते हैं । PEP का शर्करा, स्टार्च तथा अन्य यौगिकों में रूपान्तरण होता है तथा कुछ मात्रा श्वसन में प्रयुक्त होती है (चित्र 7.3) ।



चित्र 7.3: CAM चक्र

इस चक्र में महत्वपूर्ण बात यह है कि CO_2 स्थिरीकरण की प्रक्रिया रात में व CO_2 अपचयन व शर्करा निर्माण प्रक्रिया दिन में सम्पन्न होती है ये दोनों क्रियाएँ एक ही कोशिका में (C_4 के विपरीत जहाँ दोनों अलग-अलग कोशिकाओं में) सम्पन्न होती हैं । दोनों प्रकार के एन्जाइम एक ही कोशिका में मिलते हैं तथा मैलिक अम्ल का संग्रहण रिक्तिकाओं में होता है । PEP कार्बोक्सिलेज (PEP carboxylase) एन्जाइम दिन के समय निष्क्रिय अवस्था (inactive form) में परिवर्तित हो जाता है व CO_2 के प्रति बंधुता प्रदर्शित नहीं करता है ।

7.3.2 CAM तथा C_4 व चक्र में अंतर (Difference between CAM and C_4 Cycle)

प्रकाश संश्लेषण के CAM व C_4 चक्र दोनों मैं ही CO_2 ग्राही फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP) है (C_3 पादपों में CO_2 ग्राही राइबूलोज डाइफॉस्फेट होता है) PEP के कार्बोक्सिलीकरण से 4 कार्बन परमाणु वाले अम्ल (मैलेट 7 एस्पार्टेट) बनते हैं तथा इन अम्लो के विकार्बोक्सिलीकरण से निर्मित CO_2 का उपयोग कैल्विन चक्र में किया जाता है । अत: उपरोक्त दोनों PEP के कार्बोक्सिलीकरण व विकार्बोक्सिलीकरण से प्रकाश संश्लेषी कोशिकाओं में CO_2 की पर्याप्त सान्द्रता पाई जाती है लेकिन दोनों पथों में महत्वपूर्ण अन्तर मिलते हैं ।

(i) C_4 चक्र प्रदर्शित करने वाले पादपों की पत्तियों में क्राज प्रकार (kranz type) की आंतरिक संरचना पाई जाती है इसमें पर्ण मध्योतक कोशिकाओं में PEP के कार्बोक्सिलीकरण से मैलेट अथवा एस्पार्टेट बनते हैं जो पूलाच्छद कोशिकाओं में स्थानान्तरित हो जाते हैं यहाँ इनके विकार्बोक्सिलीकरण से PEP व CO_2 बनते हैं जबकि CAM पथ में PEP का कार्बोक्सिलीकरण व डिकार्बोक्सिलीकरण दोनों एक ही कोशिका में होते हैं तथा इसमें अंतर समय का है: PEP का कार्बोक्सिलीकरण रात में और विकार्बोक्सिलीकरण दिन में होता है ।

(ii) C_4 पादपों में PEP का पुर्नजनन पाइरुवेट (pyruvate) ऐलेनीन (alanine) आदि मध्यवर्ती उत्पादों से होता है जबकि CAM चक्र में कोशिका में उपस्थित कार्बोहाइड्रेट्स ग्लूकोज, स्टार्च से PEP बनता है ।

7.4 प्रकाशीय शवसन (Photorespiration)

शवसन की क्रिया माइटोकॉन्ड्रिया में होती है तथा इस क्रिया में ऑक्सीजन का अवशोषण व कार्बन - डाइऑक्साइड का विमोचन होता है । इसे कोशिकीय शवसन भी कहते हैं । यह क्रिया प्रकाश व अंधकार में समान दर से होती है अर्थात् प्रकाश से प्रभावित नहीं होती है अत: इसे अंधकार शवसन (dark respiration) भी कहते हैं ।

प्रकाश संशलेषण की क्रिया सामान्य शवसन से बिल्कुल विपरीत है, इसमें CO_2 का अवशोषण होता है व ऑक्सीजन का विमोचन और साथ ही यह क्रिया प्रकाश पर निर्भर है ।

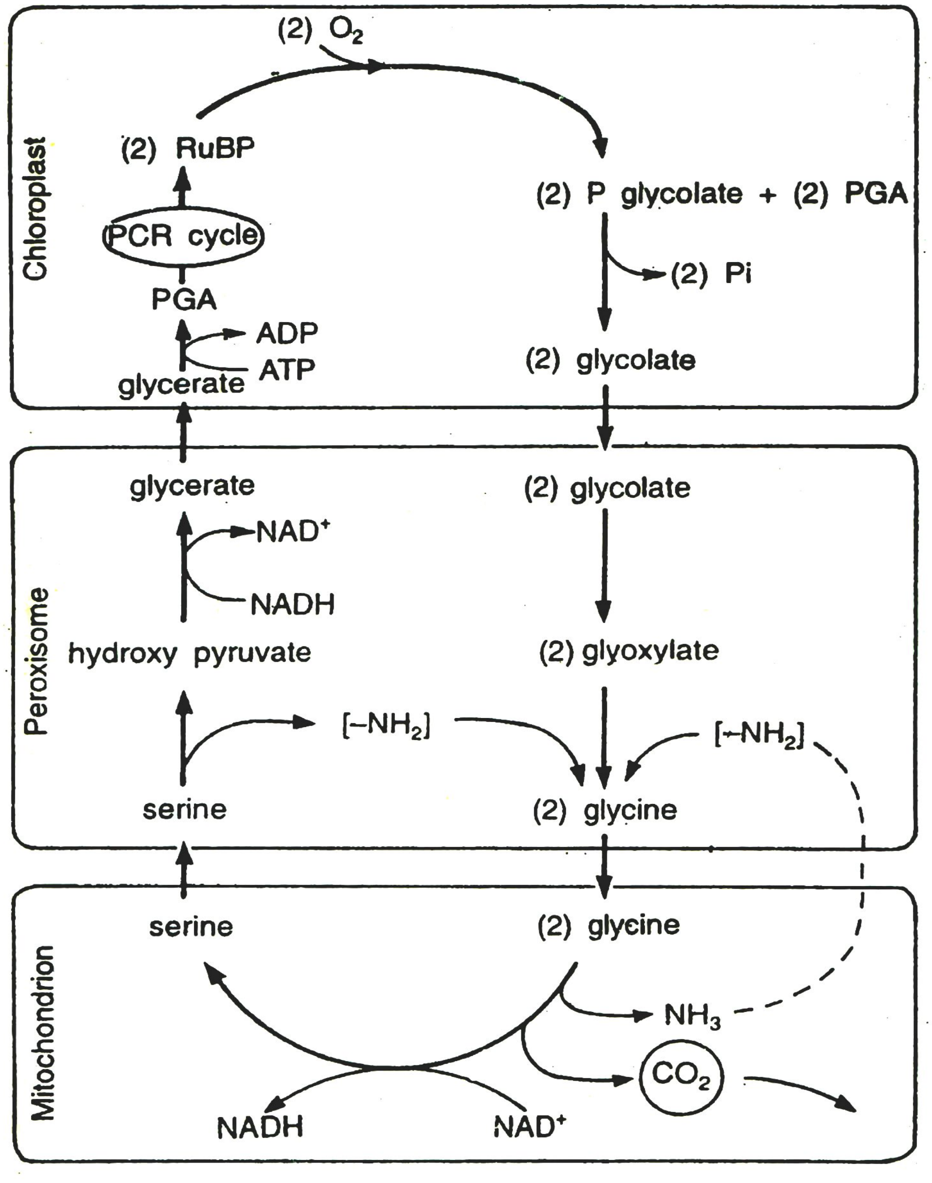
जर्मन जैव रसायन शास्त्री ओटो. वारबर्ज (Otto Warburg, 1920) ने अपने प्रयोगों में देखा कि वातावरण में ऑक्सीजन की उपस्थिति प्रकाश संशलेषण की दर को संदमित (inhibit) करती पुष्टि की । प्रकाशीय शवसन (Photorespiration) शब्द का प्रयोग सर्वप्रथम क्रोटकोव (Krotkov, 1963) ने प्रकाश की उपस्थिति में विमोचन के लिए किया था ।

औरगेन तथा बौ (Orgen and Bows, 1971) ने वारबर्ज प्रभाव का स्पष्टीकरण दिया उनके अनुसार CO_2 व O_2 में राइबूलोज बाइफॉस्फेट कार्बोक्सिलेज (ribulose biphosphate carboxylase) एन्जाइम के लिए प्रतिस्पर्धा होती है । यह एन्जाइम CO_2 की उपस्थिति में राइबूलोज 1, 5 बाइफॉस्फेट, RUBP के कार्बोक्सिलीकरण को उत्प्रेरित करता है, ऑक्सीजन की उपस्थिति में ये एन्जाइम ऑक्सीजनेज (oxygenase) के रूप में कार्य करता है तथा राइबूलोज डाइफॉस्फेट का ऑक्सीकरण फॉस्फोग्लाइकोलिक अम्ल (phosphoglycolic acid) में कर देता

है जिसके फलस्वरूप फास्फोग्लिसरेट (PGA) का निर्माण अवरुद्ध हो जाता है ।, इस प्रकार O_2 की उपस्थिति में CO_2 का स्वांगीकरण कम हो जाता हैं व PGA का संशलेषण कम हो जाता है।

7.4.1 प्रकाशीय शवसन का स्थल (Site of Photorespiration)

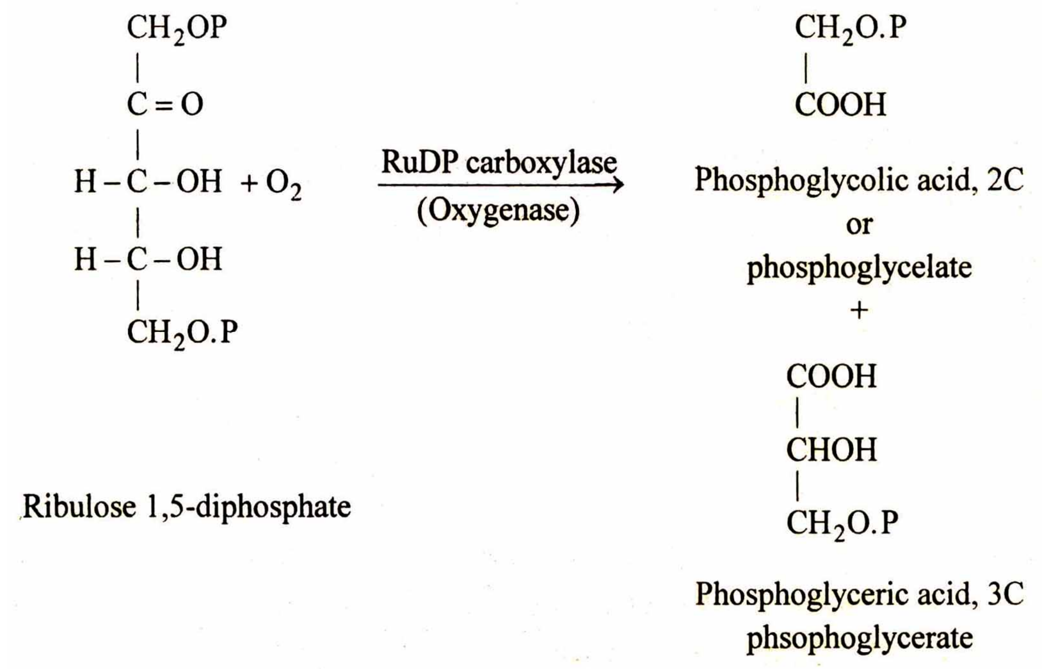
RUMP के ऑक्सीकरण से फॉस्फोग्लाइकोलेट व कार्बोक्सिलीकरण से फॉस्फोग्लिसरेट का निर्माण क्लोरोप्लास्ट में होता है । फॉस्फोग्लिसरेट का उपापचय कैल्विन चक्र द्‌वारा होता है (चित्र 7.4) जबकि फॉस्फोग्लाइकोलेट का उपापचय ग्लाइकोलेट चक्र (glycolate cycle) द्‌वारा तीन कोशिकांगों क्लोरोप्लास्ट, परऑक्सीजोम (peroxisome) व माइटोकॉन्ड्रिया में होता है । ये तीनों कोशिकांग एक इकाई के रूप में कार्य करते हैं (चित्र 7.4) ।



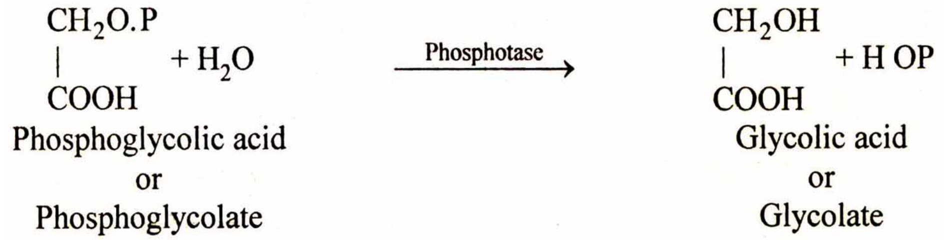
चित्र 7.4 : प्रकाशीय शवसन (Photorespiration) का ग्लाइकोलेट चक्र (glycolate cycle)

7.4.2 प्रकाशीय शवसन की क्रियाविधि (Mechanism of Photorespiration)

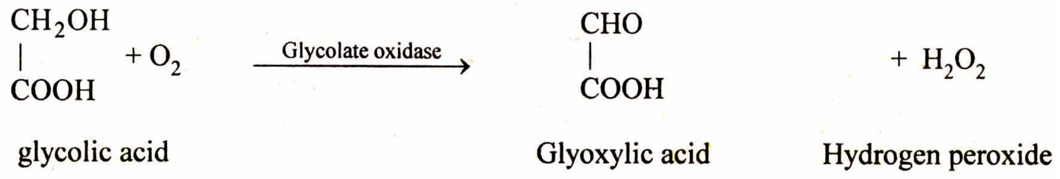
इसे प्रकाशसंशलेषी कार्बन ऑक्सीकरण चक्र (Photosynthesis Carbon Oxidation Cycle (PCO Cycle) अथवा C_2 ग्लाइकोलेटचक्र (C_2 glycolate Cycle) भी कहते हैं । प्रारम्भ में क्लोरोप्लास्ट में (उच्च ताप, प्रकाश की उपस्थिति, उच्च O_2 व निम्न CO_2 सान्द्रता पर) RuBP का ऑक्सीकरण होता है जिसके फलस्वरूप 2 कार्बन-फॉस्फोग्लाइकोलिक अम्ल (p-glycolate) तथा 3 कार्बन-फॉस्फोग्लिसीरक अम्ल (phosphoglycerate) का निर्माण होताहै ।



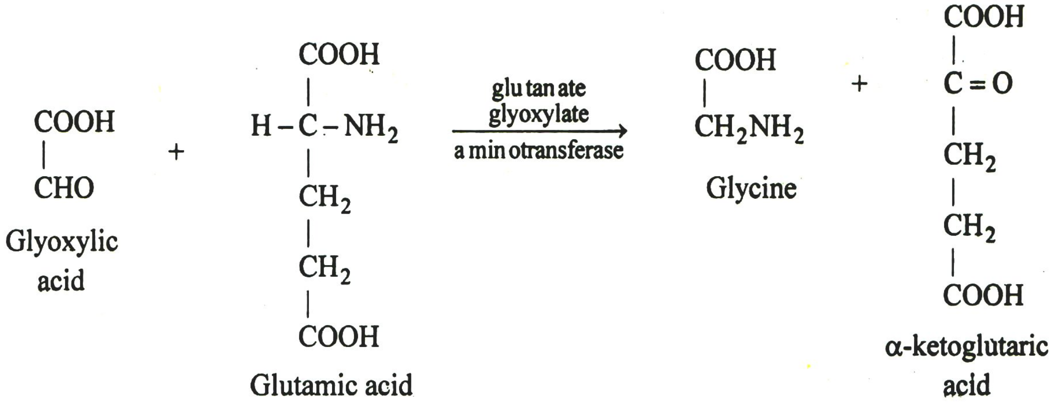
फॉस्फोग्लाइकोलेट के डिफॉस्फोरिलीकरण (dephosphorylation) द्वारा शीघ्र ही ग्लाइकोलेट बनताहै ।



ग्लाइकोलेट क्लोरोप्लास्ट से परऑक्सीसोम में स्थानान्तरित हो जाता है । परऑक्सीसोम में ऑक्सीकारक एन्जाइम होते हैं जिससे ग्लाइकोलेट का ग्लाइकोलेट ऑक्सीडेज (glycolate oxidase) द्वारा ग्लाइऑक्सिलिक अम्ल (glyoxylic acid) में ऑक्सीकरण होता है । इस क्रिया में हाइड्रोजन परऑक्साइड (hydrogen peroxide, H_2O_2) का निर्माण भी होता है जो परऑक्सीसोम में उपस्थित केटेलेज (catalase) एन्जाइम द्वारा जल तथा ऑक्सीजन में विघटितहो जाता है ।



ग्लाइऑक्सिलिक अम्ल का ट्राँस-एमीनेशन होता है जिसके फलस्वरूप ग्लाइसीन (glycine) नामक अमीनो अम्ल (amino acid) का निर्माण होता है ।



ग्लाइसीन का उपापचय माइटोकॉन्ड्रिया में होता है अत : यह परऑक्सीसोम से माइटोकॉन्ड्रिया में स्थानान्तरित हो जाता है । ग्लाइसीन के दो अणु मिलकर सीरीन (serine) नामक अमीनो अम्ल का एक अणु तथा CO_2 व NH_3 का एक अणु बनाते हैं ।

$$2 \text{ Glycine} + H_2O + NAD^+ \rightarrow \text{Serine} + CO_2 + NH_3 + NADH$$

इस प्रकार प्रकाशीय शवसन में CO_2 का स्रोत ग्लाइसीन है । सीरीन अब माइटोकॉन्ड्रिया से परऑक्सीसोम में स्थानान्तरित होता है जहाँ पर यह अपना अमीनो समूह ऑक्सीकृत ग्लाइऑक्सेलेट को दे देता है (जिससे ग्लाइसीन अमीनों अम्ल बनता है) और स्वंय हाइड्रॉक्सी पाइरुवेट (hydroxyl pyruvate) में परिवर्तित हो जाता है । हाइड्रॉक्सी पाइरुवेट का NADPH द्वारा अपचयन ग्लिसरिक अम्ल या ग्लिसरेट (glyceric acid or glycerate) में हो जाता है । ग्लिसरिक अम्ल का अन्ततः क्लोरोप्लास्ट में स्थानान्तरण होता है जहाँ इसके फॉस्फोरिलीकरण से 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (3PGA) का निर्माण होता है । इसका उपापचय कैल्विन चक्र द्वारा होता है और पुनः RuBP (CO_2 ग्राही) का निर्माण होता है ।

इस प्रकार प्रकाशीय शवसन की सम्पूर्ण अभिक्रिया चक्रीय क्रम में होती है इसलिए इसे प्रकाश शवसनी कार्बन ऑक्सीकरण चक्र (photorespiratory carbon oxidation cycle) कहते हैं ।

7.4.3 प्रकाशीय शवसन का महत्व (Significance of Photorespiration)

(i) प्रकाशीय शवसन की उपस्थिति व अनुपस्थिति के आधार पर पौधों को दो समूहों में बाँटा जा सकता है । प्रकाश शवसन युक्त पादप सामान्यत : शीतोष्ण क्षेत्रों में वितरित होते हैं जबकि प्रकाश शवसन रहित पादप उष्ण कटिबन्धीय क्षेत्रों में वितरित होते है ।

(ii) प्रकाश शवसन ऑक्सीजन द्वारा क्लोरोप्लास्ट के ऑक्सीकरण से सुरक्षा प्रदान करने में सहायक होता है क्योंकि प्रकाशीय शवसन के अभाव में O_2 सान्द्रता क्लोरोप्लास्ट को हानि पहुँचाती है ।

सारणी 7.2 : प्रकाशीय शवसन तथा अप्रकाशीय शवसन (कोशिकीय शवसन) में अन्तर

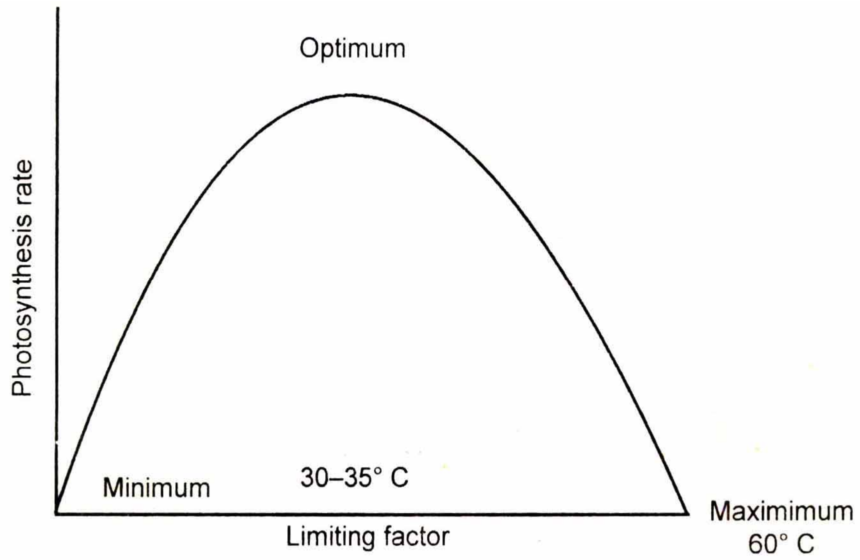
(Difference between Photorespiration and Dark Respiration)

प्रकाशीय श्वसन (Photo-respiration)	**अप्रकाशीय श्वसन (Dark-respiration)**
1. यह केवल प्रकाश की उपस्थिति में होता है।	1. यह प्रकाश व अंधकार दोनों अवस्थाओं में होता है।
2. यह केवल प्रकाश संशलेषी कोशिकाओं में होता है ।	2. यह सभी जीवित कोशिकाओं में होता है ।
3. इसमें श्वसनाधार ग्लाइकोलेट (glycolate) होता है ।	3. श्वसनाधार कार्बोहाइड्रेट, वसा या प्रोटीन हो सकता है ।
4. श्वसन धार नवनिर्मित होता है ।	4. श्वसनाधार नवनिर्मित या संचित भी हो सकता है।
5. यह क्रिया क्लोरोप्लास्ट, परऑक्सीसोम व माइटोकॉन्ड्रिया में सम्पन्न होती है ।	5. यह कोशिकाद्रव्य व माइटोकॉन्ड्रिया में सम्पन्न होती है ।
6. इसमें ट्राँसएमिनेशन अभिक्रिया होती है।	6. इसमें ट्राँसएमीनेशन अभिक्रिया नहीं होती है ।
7. इसमें ATP का उत्पादन नहीं होता है।	7. इसमें ATP का उत्पादन होता है ।
8. यह क्रिया O_2 उपलब्धता व तापमान वृद्धि के साथ तेज होती है।	8. यह क्रिया O_2 उपलब्धता पर निर्भर करती है परन्तु अधिक सान्द्रता तापमान प्रभाव अन्य जैव रासायनिक क्रियाओं के समान होता है ।
9. यह पादप के लिए आवश्यक क्रिया नहीं है ।	9. यह एक आवश्यक क्रिया है ।
10. इस क्रिया में H_2O_2 का निर्माण होता है ।	10. इसमें H_2O_2 का निर्माण नहीं होता है ।

7.5 प्रकाश संशलेषण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting Photosynthesis)

प्रकाश संशलेषण की क्रिया अनेक बाह्य व आंतरिक कारकों से प्रभावित होती है । प्रकाश संशलेषण की दर, विभिन्न कारकों की आपसी क्रियाओं (interaction of various factors) पर निर्भर करती है सेक्स (sachs, 1860) के अनुसार किसी भी कार्यिकी प्रक्रिया को प्रभावित करने वाले कारक के मान क्रमश: न्यूनतम (minimum) अनुकूलतम (optimum) व अधिकतम (maximum) होते हैं जिन्हें प्रधान बिन्दु (cardinal points) कहते हैं । किसी भी कारक का

न्यूनतम मान वह बिन्दु है जिस पर क्रिया प्रारम्भ होती है अनुकूलतम मान वह बिन्दु जिस पर क्रिया उच्चतम दर पर जारी रहती है त था अधिकतम मान वह कार्य है जिसके ऊपर क्रिया बंद हो जाती है (चित्र 7.5) ।



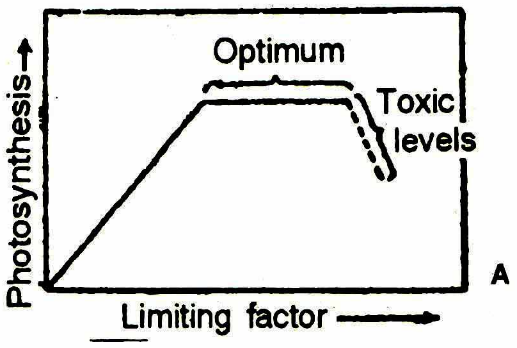
चित्र 7.5 : प्रधान बिन्दु (Cardinal point) संकल्पना प्रकाश संशलेषण व तापमान के मध्य

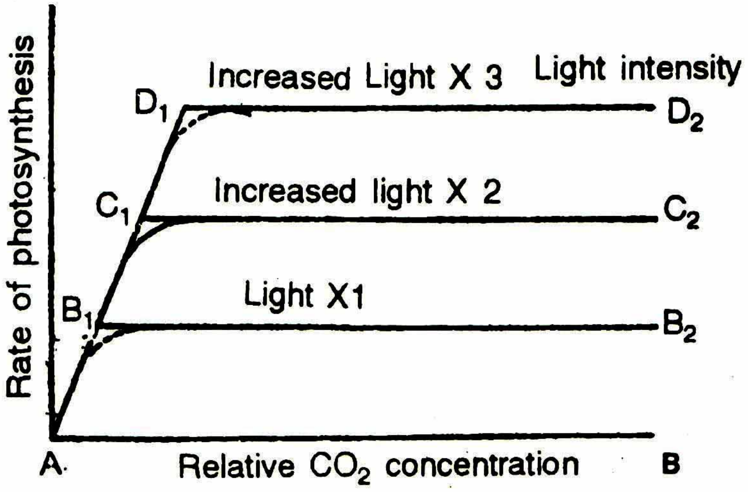
उन्नीसवीं शताब्दी में अनेक वैज्ञानिकों में प्रकाश संशलेषण की क्रिया पर प्रत्येक कारक की न्यूनतम, अनुकूलतम व अधिकतम मात्रा का अलग-अलग निर्धारण किया चूँकि उस समय वैज्ञानिकों को कारकों की पारस्परिक क्रियाओं का ज्ञान नहीं था अत: इन अध्ययनों में यह देखा गया कि किसी कारक की अनुकूलतम मात्रा स्थिर रहकर घटती बढ़ती रहती है उदाहरण के लिए CO_2 की अनुकूलतम सान्द्रता उच्च प्रकाश में धूमिल प्रकाश की अपेक्षा अधिक होती है ।

1843 में लीबिग (Liebig) ने सर्वप्रथम शरीर क्रियात्मक प्रक्रियाओं को प्रभावित करने वाले कारकों में सबसे न्यूनतम मात्रा में उपस्थित कारक को सबसे अधिक महत्वपूर्ण बताया । इसे लीबिग का न्यूनता का नियम (liebig's law of minimum) कहते हैं ।

एफ. एफ. ब्लैकमैन (F.F Blackman, 1905) ने इस नियम को विस्तृत रूप में प्रस्तुत किया जिसे 'सीमाकारी कारकों का सिद्धान्त' (Law of limiting factor) कहते हैं । इस नियम के अनुसार यदि कोई क्रिया अनेक कारकों से प्रभावित होती है तो क्रिया की दर उस कारक द्वारा नियंत्रित होती है जो सबसे कम मात्रा में होता है ।

यदि दो कारकों में से रष्क कारक सीमित मात्रा में हो तो दूसरे को बढ़ाने पर प्रकाश संशलेषण की दर अनुकूलतम मान (optimum) तक पहुँचकर रुक जाती है क्योंकि पहले कारक की मात्रा सीमित है अब यदि सीमाकारी कारक को बढ़ाए बिना दूसरे कारक की मात्रा को बढ़ाया जाये तो प्रकाश संशलेषण की दर बढ़ने की बजाए घटने लगेगी (चित्र 7.6A) ।





चित्र 7.6: ब्लैकमैन के सीमाकारी कारकों का सिद्धान्त :

A. एक कारक का आरेखी निरुपण; B. दो कारकों का आरेखी निरुपण (CO_2 एवं प्रकाश) ।

सीमाकारी कारकों के सिद्धांत को निम्न उदाहरण से भी समझा जा सकता है । यदि पत्ती को एक इकाई प्रकाश तीव्रता दी जाती है जो प्रकाश संशलेषण में 5 मि. ग्रा. CO_2 का अपचयन करने में सक्षम है तो ऐसी स्थिति में CO_2 की अनुपस्थिति में प्रकाश संशलेषण का अभाव होगा (चित्र 7.6B) । यदि CO_2 की सान्द्रता 1 मिग्रा. तक बढ़ा दी जाये तो प्रकाश संशलेषण की दर 'B_1' स्तर तक पहुँचकर स्थिर हो जाती है । इसे प्रकाश की तीव्रता में वृद्धि करके बढ़ाया नहीं जा सकता क्योंकि CO_2 सीमाकारी कारक है । परन्तु यदि CO_2 की सान्द्रता 2, 3 या 5 मिग्रा. प्रति घंटा कर दी जाये तो प्रकाश संशलेषण दर क्रमशः C_1D_1 E_1 स्तर तक बढ़ जाती है

अब यदि इसी प्रकाश तीव्रता पर CO_2 की मात्रा 5 मिग्रा. से अधिक कर दी जाये तो प्रकाश संशलेषण की दर में कोई वृद्धि नहीं होगी क्योंकि अब प्रकाश सीमाकारी कारक (limiting factor) बन जाता है । इस स्थिति में प्रकाश संशलेषण की दर में वृद्धि केवल प्रकाश तीव्रता बढ़ाने पर ही होगी । CO_2 व प्रकाश तीव्रता की तरह प्रकाश संशलेषण के अन्य कारक भी विभिन्न

परिस्थितियों में सीमाकारी कारक का कार्य करते हैं । सामान्यत: प्रकृति में भिन्न -भिन्न परिस्थितियों में एक कारक अवश्य सीमाकारी होता है । समय -समय पर अनेक वैज्ञानिकों ने ब्लैकमैन के सीमाकारी कारकों के नियम की समालोचना की तथा इनका रूपान्तरण भी किया परन्तु फिर भी ब्लैकमैन के नियम की मूलभूत धारणा को अब भी प्राथमिकता दी जाती है ।

प्रकाश संशलेषण को प्रभावित करने वाले विभिन्न कारकों को दो मुख्य वर्गों में विभेदित किया जाता है ।

7.5.1 बाहय कारक (External factor)

7.5.2 आंतरिक कारक (Internal factor)

7.5.1 बाहय कारक (External factor)

1. **प्रकाश (Light) :** बाहय कारकों में प्रकाश एक महत्वपूर्ण कारक है । पत्तियों पर पहुँचने वाले कुछ प्रकाश का 80-85%, भाग अवशोषित कर लिया जाता है तथा शेष में से 12% परावर्तित (reflect) व 5% परागत (transmit) हो जाता है । अवशोषित प्रकाश का केवल 0.5-3.5% प्रकाश संशलेषण में प्रयुक्त होता है तथा शेष ऊष्मा के रूप में नष्ट हो जाता है ।

प्रकाश की तीन विशेषताएँ तीव्रता (intensity) : प्रकृति अथवा तरंग दैर्ध्य (quality or wave length) तथा अवधि (duration) प्रकाश संशलेषण को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं ।

(a) **प्रकाश की तीव्रता (Intensity of light) :** इकाई क्षेत्र पर गिरने वाले फोटॉन की संख्या प्रकाश की तीव्रता कहलाती है । किसी अन्य सीमाकारी कारक की अनुपस्थिति में प्रकाश तीव्रता तथा प्रकाश संशलेषण की दर में सीधा सम्बन्ध है प्रखरता अथवा तीव्रता बढ़ने से दर बढ़ती है परन्तु अधिक प्रखर प्रकाश में यह दर निम्न दो कारणों से रूक जाती है ।

(i) अधिक तीव्र प्रकाश में अन्य कारक सीमाकारी हो जाते हैं जो प्रकाश संशलेषण की दर को प्रभावित करते है ।

(ii) अत्यधिक तीव्र प्रकाश से क्लोरोप्लास्ट तथा कोशिका के अन्य घटकों का प्रकाश ऑक्सीकरण (photo oxidation) होने से ये नष्ट हो जाते हैं इस क्रिया को सौरीयन (solarization) कहते हैं । यह क्रिया प्रकाश संशलेषण पर निरोधी प्रभाव डालती है । प्रकाश की एक निशचित तीव्रता पर शवसन में विमुक्त कार्बन -डाइऑक्साइड की मात्रा प्रकाश संशलेषण में उपयोग की जाने वाली कार्बन -डाई - ऑक्साइड की मात्रा के बराबर होती है यह स्थिति संतुलित प्रकाश तीव्रता (compensation point) कहलाती है । छाया रागी पादपों (shade loving plants, sciophlous) में इसका मान कम व प्रकाशरागी पौधों (light loving plants, photophilous) में इसका मान अधिक होता है । ऐसा सम्भवत : दो कारणों से होता है

(i) छायारागी पौधों की शवसन दर (respiration rate) बहुत कम होती है तथा इनमें प्रति पत्ती कोशिकाओं की संख्या प्रकाशरागी पौधों की तुलना में कम होती है । अत: इन्हें अपनी क्रियाओं के लिए अधिक ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती है ।

(ii) छायारागी पादप कम प्रकाश तीव्रता पर भी इनका अवशोषण बढ़ी दक्षता से कर लेते हैं अत : कोशिकाओं की संख्या कम होने पर भी ऊर्जा का अवशोषण अधिक होता है।

(b) **प्रकाश की तरंग दैर्ध्य (Wave length of light):** प्रकाश के दृश्य स्पेक्ट्रम (visible spectrum), अर्थात 350nm-750nm न की तरंग दैर्ध्य ही प्रकाश संशलेषण की क्रिया को प्रभावित करती है अवरक्त (infra red) त था पराबैंगनी (uttravoilate) तरंग दैर्ध्य प्रकाश संशलेषी वर्णकों द्वारा अवशोषित नहीं होती है हालांकि 575nm-720nm के बीच की तरंग दैर्ध्य प्रकाश संशलेषण के अनुरूप है परन्तु प्रकाश संशलेषण दर सबसे अधिक नारंगी लाल प्रकाश में (700nm) होती है । इसके विपरीत हरे प्रकाश (550nm) की तरंग दैर्ध्य में सबसे कम प्रकाश संशलेषण होता है ।

(c) **प्रकाश की अवधि (Durationof lenght) :** यदि प्रकाश तीव्रता अनुकूल हो तो प्रकाश अवधि बढ़ाने से प्रकाश संशलेषण की दर भी अधिक होती है । ग्रेसनर (Grassner, 1937) ने अपने प्रयोगों में देखा कि यदि इलोडिया (Elodea) के पौधों को 6 दिनों तक सतत् प्रकाश दिया जाए तो प्रकाश संशलेषण की क्रिया निर्बाध रूप से चलती रहती है । इसी तरह बोहनिंग (Bohning, 1949) द्वारा सेब के पौधे में 18 दिन तक सतत् प्रकाश देने पर प्रकाश संशलेषण निर्बाध रूप से जारी पाया गया । लेकिन पौधे को अंधकार में रखने पर कार्बन-डाइऑक्साइड का स्वांगीकरण (assimilation) तुरन्त रुक जाता है क्योंकि जीवों में CO_2 के स्वांगीकरण के लिए प्रकाश ऊर्जा को पर्याप्त मात्रा में संचित रखने की कोई क्रियाविधि नहीं होती है ।

2. **कार्बन -डाइऑक्साइड (Carbondioxide) :** प्रकाश संशलेषण की क्रिया में CO_2 कच्ची सामग्री के रूप में प्रयुक्त होती है अत: यह प्रकाश संशलेषण को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती है । वातावरण में CO_2 की सान्द्रता 0.0357 (350ppm) के लगभग होती है जो बहुधा एक सीमाकारी कारक है इसलिए CO_2 सान्द्रता बढ़ने पर (1% तक) प्रकाश संशलेषण की दर में वृद्धि होती है । यद्यपि सामान्य परिस्थितियों में CO_2 सान्द्रता इतनी अधिक नहीं पाई जाती है । औद्योगिक विकास के कारण इसकी अधिकतम सान्द्रता 0.04% (400ppm) के लगभग है । स्थलीय पादपों में CO_2 की 0.1% सान्द्रता पर सबसे अधिक प्रकाश संशलेषण देखा गया इसके विपरीत कुछ जलीय शैवालों में 1% सान्द्रता तक प्रकाश संशलेषण में वृद्धि देखी गई । CO_2 की अत्यधिक सान्द्रता पर रन्ध्र बंद हो जाते हैं इसके कारण गैसों का विनिमय (gaseous exchange) कम हो जाता है तथा प्रकाश संशलेषण दर भी कम हो जाती है ।

3. **ऑक्सीजन (Oxygen):** वातावरण में ऑक्सीजन की सान्द्रता बढ़ने पर संशलेषण की दर कम हो जाती है । प्रयोगों से यह स्पष्ट हुआ है कि यदि ऑक्सीजन की सान्द्रता 21% से घटकार 0.5% कर दी जाये तो प्रकाश संशलेषण में 30 से 50% की वृद्धि होती है । ऑक्सीजन की उच्च सान्द्रता के प्रकाश संशलेषण दर पर प्रतिकूल प्रभाव के निम्न कारण हो सकते हैं ।

(i) O_2 की अधिकता में शवसन की दर बढ़ जाती है जिसके फलस्वरूप प्रकाश संशलेषी चक्र के मध्यवर्ती उत्पादों का इस क्रिया द्वारा उपयोग कर लिया जाता है जिसके परिणामस्वरूप प्रकाश संशलेषण के मध्यवर्ती उत्पादों की कमी हो जाती है अत : प्रकाश संशलेषण की दर भी कम हो जाती है ।

(ii) ऑक्सीजन की अधिक मात्रा व अधिक प्रकाश तीव्रता में क्लोरोप्लास्ट व अन्य कोशिकांगों का ऑक्सीकरण या सौरीयन (solarization) हो जाता है ।

(iii) C_3 पादपों में उच्च O_2 व कम CO_2 होने पर प्रकाशीय शवसन दर बढ़ जाती है जिससे प्रकाश संशलेषण दर पर निरोधी प्रभाव अधिक पड़ता है इसके विपरीत C_4 पादपों में प्रकाशीय शवसन कम होता है अत : प्रकाश संशलेषण पर निरोधी प्रभाव कम होता है ।

4. **तापमान (Temprature) :** तापमान का प्रकाश संशलेषण की प्रकाश अभिक्रिया (light reaction) पर अधिक प्रभाव नहीं पड़ता है परन्तु एन्जाइमी अथवा अप्रकाशिक क्रियाएँ (dark reaction) पूर्णरूप से तापमान पर निर्भर रहती है तथा इससे सीधे ही प्रभावित होती है । 10^oC से 35^oC के मध्य प्रकाश संशषण की दर तीव्र होती है तथा प्रत्येक 10^oC तापमान में वृद्धि से प्रकाश संशलेषण की दर दोगुनी हो जाती है । अर्थात् इस क्रिया का तापमान गुणांक (Q_{10}=2) होता है । कुछ पौधों में अत्यन्त असाधारण तापमान पर भी प्रकाश संशलेषण होता है । जैसे : कुछ कोनीफरों (conifers) में प्रकाश संशलेषण अत्यधिक कम ताप (26 to 36^oC) पर जबकि कुछ शैवालों में यह क्रिया उच्च ताप (50-75^oC) पर भी सम्पन्न होती है । अधिकांश पादपों में 35^oC से अधिक ताप पर प्रकाश संशलेषण की दर कम होने लगती है ।

उच्च ताप पर एन्जाइमों के विकृतीकरण से सक्रियता का ह्रास होता है और प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जाती है ।

इसके अतिरिक्त अधिक तापमान पर कलाओं की पारगम्यता CO_2 के प्रति कम हो जाती है जिससे प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जाती है । इसी प्रकार अत्यधिक निम्न तापमान पर जीवद्रव्य के जल का हिमायन (freezing) हो जाता है जिससे एन्जाइमों की सक्रियता समाप्त हो जाती है जिनके फलस्वरूप प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जाती है ।

सामान्यत: शीतोष्ण पादपों (C_3 पादप) के लिए प्रकाश संशलेषण का अनुकूलतम तापमान (optimum temprature) 10- 25^oC तथा उष्कटिबंधीय पादपों (C_4 पादप) के लिए 30-45^o है।

5. **जल (Water) :** जल प्रकाश संशलेषण का एक अनिवार्य अवयव है जो कच्चे पदार्थ के रूप में प्रयुक्त होता है । इसके अलावा यह एक सार्वत्रिक विलायक है जिसके विलगन में सभी जैव रासायनिक अभिक्रियाएँ सम्पन्न होती है । पौधों द्वारा अवशोषित जल का केवल 1% प्रका संशलेषण में उपयोग होता है । अत : यह प्रकाश संशलेषण क्रिया में सीमाकारी कारक (limiting factor) के रूप में यदाकदा (rarely) ही कार्य करता है । प्रकाश संशलेषण दर को जल अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करता है । मृदा जल की उपगध मात्रा प्रकाश संशलेषण दर को प्रत्यक्ष रूप से उस समय प्रभावित करती है जब इसका मान आशिक या स्थायी मुरझान (temporary or permanent urlting) स्तर पर पहुँच जाता है ।

जल की कमी का प्रकाश संशलेषण क्रिया पर प्रभाव निम्नलिखित कारणों से होता है.

(i) कोशिका भित्तियों के सूखने से उनकी CO_2 के प्रति पारगम्यता कम हो जाती है ।

(ii) पत्तियों में जल की कमी से रन्ध्र आंशिक या पूर्ण रूप से बंद हो जातेहै जिससे कार्बन-डाइऑक्साइड के विसरण की दर कम हो जाती है ।

(iii) कोशिका द्रव्य के निर्जलीकरण (dehydration) से एन्जाइम सक्रियता कम हो जाती है ।

(iv) कोशिकाओं में जल की कमी से शर्करा का संचयन बढ़ जाता है जिससे शवसन की दर तेज तथा प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जाती है ।

(v) जल की कमी से क्लोरोफिल संशलेषण दर पर विपरीत प्रभाव पड़ता है अर्थात् यह कम हो जाती है ।

6. **खनिज पदार्थ (Minerals) :** खनिज तत्व क्लोरोफिल तथा प्रकाश संशलेषी एन्जाइमों के घटक का कार्य करते हैं Mg. क्लोरोफिल अणु का महत्वपूर्ण संरचनात्मक घटक है तथा Mn, Cu Fe आदि क्लोरोफिल अणु के संशलेषण के लिए बहुत आवश्यक होते हैं प्रकाश संशलेषण में काम आने वाले एन्जाइमों में ये तत्व सहकारक का कार्य करते हैं इनकी अनुपस्थिति में एन्जाइम सक्रियता सम्भव नहीं हो पाती है अत : उपरोक्त खनिज तत्वों की न्यूनता या अनुपस्थिति प्रकाश संशलेषण की दर को अत्प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती है ।

7. **वायु प्रदूषक (Air Pollutants):** सल्फर डाइऑक्साइड (SO_2) व नाइट्रोजन के ऑक्साइड (NOx) प्रकाश संशलेषण की दर को कम करते हैं । यह प्रभाव सम्भवत: CO_2 व SO_2 में राइबूलोज डाइफॉस्फेट कार्बोक्सिलेज (ribulose diphosphate carboxylase) (यह CO_2 ग्राही एन्जाइम है) के सक्रिय स्थानों (active sites) से संयोजित होने की प्रतिस्पर्धा के कारण होता है ।

7.5.2 आन्तरिक कारक (Internal factor)

1. **क्लोरोफिल अंश (Chlorophyll Contents):** क्लोरोप्लास्ट प्रकाश संशलेषण के स्थल हैं तथा क्लोरोफिल महत्वपूर्ण वर्णक जो कि प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित कर प्रकाश संशलेषण की क्रिया में उपयोग में लाता है । विलस्टैटर एव स्टौल (Will Statter and Stoll, 1918) ने क्लोरोफिल की मात्रा तथा प्रकाश संशलेषण में सम्बन्ध स्थापित किया जिसे प्रकाश संशलेषी संख्या (Photosynthesis number) अथवा स्वांगीकरण संख्या (assimilatory number) से व्यक्त किया ।

एक ग्राम क्लोरोफिल द्वारा एक घंटे में अवशोषित कार्बन -डाइऑक्साइड की मात्रा को स्वांगीकरण संख्या कहते हैं ।

$$\text{प्रकाश संशलेषी संख्याप्रति अथवा स्वांगीकरण सख्या} = \frac{\text{प्रति घंटा अवशिशित } CO_2 \text{ की मात्रा (ग्राम)}}{\text{1 ग्राम क्लोरोफिल}}$$

उन्होंने एक ही जाति के पौधों की हरी व पीली पत्तियों के प्रकाश संशलेषण की दरों की तुलना करने पर देखा कि पत्तियों की क्लोरोफिल मात्रा का इस पर बहुत कम प्रभाव पड़ता है । लेकिन

प्रकाश संशलेषी सख्या के आधार पर पीली पत्तियों में हरी पत्तियों की अपेक्षा अधिक CO_2 अवशोषित की जाती है ।

इमरसन (Emerson, 1929) ने भी क्लोरेला (Chlorella) शैवाल पर किये गये प्रयोगों के आधार पर यह निष्कर्ष निकाला कि क्लोरोफिल की मात्रा व प्रकाश संशलेषण दर में कोई सीधा सम्बन्ध नहीं होता है ।

2. **जीवद्रव्यी कारक (Protoplasmic Factor) :** जीवद्रव्य विभिन्न जैव रासायनिक अभिक्रियाओं के लिए आवश्यक होता है इसके जलयोजन मे कमी होने पर एन्जाइम निष्क्रिय हो जाते हैं जिससे प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जाती है ।

ब्रिग्स (Briggs, 1922) व अन्य वैज्ञानिकों ने प्रयोगों द्वारा यह प्रदर्शित किया कि जीवद्रव्य में कुछ अज्ञात कारक उपस्थित होते हैं जो प्रकाश संशलेषण की दर को प्रभावित करते हैं ये संभवत: एन्जाइम प्रकृति के होते हैं व इन्हें समय कारक (time factor) कहा जाता है । अधिक तापमान (35^oC से अधिक) तथा प्रकाश में प्रकाश संशलेषण दर में कमी या इसका समाप्त होना इस ओर इंगित करता है कि जीवद्रव्य कारक भी प्रकाश संशलेषण पर अपना प्रभाव डालते हैं ।

3. **प्रकाश संशलेषी उत्पादों का संचयन (Accumulation of End Product) :** यदि प्रकाश संशलेषी उत्पादों का पत्तियों से अन्य भागों को स्थानान्तरण न हो तो ये उत्पाद प्रकाश संशलेषी कोशिकाओं में एकत्र होने लगते हैं जिसके फलस्वरूप प्रकाश संशलेषण की दर कम हो जानी है यह कमी दो कारणों से होती है

(i) प्रकाश संशलेषी उत्पादों के संग्रहण से शवसन की दर बढ़ जाती है, तथा

(ii) प्रकाश संशलेषी उत्पाद स्टार्च में परिवर्तित होकर क्लोरोप्लास्ट की सतह पर एकत्र हो जाते हैं जिससे क्लोरोप्लास्ट की दक्षता कम हो जाती है ।

बोध प्रश्न

अतिलधुत्तरीय प्रशन (Very Short Answer Type Questions)

1. C_4 चक्र में पाइरुवेट को PEP में परिवर्तन से सम्बन्धित एन्जाइम का नाम बताइये ।

....

....

2. दो C_4 पादपों (एक द्विबीजपत्री तथा एक एकबीजपत्री) के नाम बताइए ।

....

....

3. CO_2 स्थिरीकरण से सम्बन्धित तीन चक्रों के नाम बताइए ।

....

....

4. उस एन्जाइम का नाम बताइए जिसकी बन्धुता अत्यधिक ऑक्सीजन सान्द्रता में CO_2 के लिए कम हो जाती है तथा O_2 के लिए बढ़ जाती है ।

....

....

5. प्रकाशीय शवसन (photorespiration) के लिए कौन सी वातावरणीय दशायें जरुरी हैं?

....

....

6. CAM पादपों में CO_2 ग्राही का नाम बताइये ।

....

....

सत्य व असत्य कथन बताइये (True & False Statement)

1. C_4 पादपों की तुलना में C_4 पादप CO_2 स्थिरीकरण में कम दक्ष होते हैं ।
2. $2C_3$ पौधों में कार्बन स्थिरीकरण पर्णमध्योतक कोशिकाओं जबकि C_4 पौधों में पूल आच्छद कोशिकाओं में सम्पन्न होता है ।
3. चक्रीय फॉस्फोरिलीकरण में ATP व $NADPH_2$ का निर्माण होता है । ()
4. हैच व स्लैक चक्र में प्रथम स्थायो यौगिक 3PGA होता है । ()
5. प्रकाश संशलेषण में जल मूलत: इलेक्ट्रॉन दाता का कार्य करता है । ()
6. C_4 पौधों की पूल आच्छद कोशिकाओं के क्लोरोप्लास्ट में ग्रेना पाये जाते हैं । ()
7. प्रकाशीय रासायनिक अभिक्रिया के लिए Q_{10} का मान लगभग एक होता है । ()
8. प्रकाश संशलेषण में लाल प्रकाश सबसे प्रभावी होता है । ()
9. सीमाकारी सिद्वान्त के अनुसार अनेक कारकों द्‌वारा नियंत्रित प्रक्रिया की दर सबसे न्यून कारक पर निर्भर: करेगी । ()
10. क्लोरोप्लास्ट व माइटोकॉन्ड्रिया दोनों अंगकों ATP संशलेषण होता है । ()
11. कार्बन का एक आइसोटोप 'C' 18 प्रकाश संशलेषण की अंधकार अभिक्रिया के विभिन्न चरणों के पथ को ज्ञात करने में उपयोगी है । ()

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए (Fill in the blanks)

1. C_4 पादपों में.......................... CO_2 ग्राही का कार्य करता है तथा ....नामक C_4 यौगिक का निर्माण करता है ।
2. प्लास्टिड्स में अंधकार अभिक्रिया.................. में होती है ।
3. एक C_3 पौधे में कार्बन स्थिरीकरण.................... कोशिकाओं में व C_4 पौधे में.................. कोशिकाओं में सम्पन्न होता है ।
4. सर्वाधिक प्रकाश संशलेषण...................... परितन्त्र में होता है ।

5 .... पादपों की तुलना में...................... पादपों में प्रकाश संशलेषण की दर अधिक होती है ।

6. C_4 पादपों में.................. का अभाव होता है ।

7. C_3 पादपों में ग्लूकोज के एक अणु के संशलेषण में 18 ATP की आवश्यकता होती है, जबकि C_4 पादपों में........ ATP की ।

7.6 सारांश (summary)

प्रकाश संश्लेषण की अभिक्रिया दो चरणों में (i) प्रकाशीय व (ii) अप्रकाशीय में सम्पन्न होती है ।

अप्रकाशीय चरण में कार्बन -डाइऑक्साइड का स्वांगीकरण होता है । यह क्रिया सामान्यत : कैल्विन चक्र (C_3) चक्र द्‌वारा सम्पादित होती है । परन्तु पौधों के एक विशेष वर्ग में C_3 चक्र के अलावा हैच एवं स्लैक चक्र (C_4 चक्र) भी पाया जाता है । यह पादप C_4 पादप कहते हैं इनकी पत्तियों में क्रांज आंतरिक संरचना मिलती है । इनमें दो प्रकार का क्लोरोप्लास्ट पाया जाता है । पूल आच्छद कोशिकाओ के क्लोरोप्लास्ट में ग्रेना का अभाव होता है जबकि पर्णमध्योतक कोशिकाओं में सुविकसित ग्रेना पाये जाते हैं । अत:C_4 पादपो की पर्णमध्योतक कोशिकाओं में C_4 चक्र तथा पूलाच्छद कोशिकाओं में. C_3 चक्र द्‌वारा CO_2 का स्वांगीकरण होता है ।

C_4 पादपों में CO_2 के दो ग्राही होती हैं (i) पर्ण मध्योतक में फॉस्फोइनोल पाइरुवेट (PEP) तथा (ii) पूलाच्छद कोशिकाओं में राइबूलोज 1, 5डाइफॉस्फेट

C_4 पादपों में प्रकाशीय श्वसन नहीं के बराबर होता है जबकि C_3 पादपों में इसका संसूचन आसानी से किया जा सकता है ।

C_3 पादपों में प्रकाशीय श्वसन के कारण CO_2 का स्वांगीकरण कम हो जाता है । प्रकाशीय श्वसन की क्रिया तीन कोशिकांगों में क्लोरोप्लास्ट, परऑक्सीसोम व माइटोकॉन्ड्रिया में सम्पन्न होती है ।

CAM चक्र माँसल पादपों में पाया जाता है, इस चक्र में CO_2 स्थिरीकरण की प्रक्रिया रात्रि में तथा CO_2 अपचयन व शर्करा निर्माण की प्रक्रिया दिन में सम्पन्न होती है । प्रकाश संशलेषण की प्रक्रिया विभिन्न आंतरिक व बाह्‌य कारकों से प्रभावित होती है । CO_2 की सान्द्रता जल की उपलब्धता व प्रकाश की तीव्रता, प्रकृति व अवधि प्रकाश संशलेषण को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं ।

7.7 शब्दावली

प्रकाशीय श्वसन (Photorespiration) प्रकाश संश्लेषी भागो मे प्रकाश की उपस्थिति में होने वाली श्वसन क्रिया ।

7.8 सन्दर्भ ग्रन्थ

1. Pandey, S.N. and Sinha, B.K. 2000, Plant Physiology, Vikas publishing House Pvt. Ltd. New Delhi.

2. सक्सेना, एन.बी. वर्मा, एमएल. एवं चौधरी, बी.एल. 1998, पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन, अल्का पब्लिकेशन्स, अजमेर ।
3. सिंह, वी., पाण्डे, पीसी. एवं जैन डी.के 2002-03, पादप शरीर-क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स शिवाजीरोड, मेरठ ।
4. त्रिवेदी पी.सी. शर्मा, निरंजन एवं धनखड, आर.एस. 2004-05, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश
5. बुक डिपो, जयपुर ।

7.9 बोध प्रश्नों के उत्तर

अति लधुत्तरीय प्रश्न

1. पाइरुवेट फॉस्फेट काइनेज
2. कोचीया स्कोपेरिया (Kochia scoperia) व सैकेरम आफिसीनेरम (Saccharum officinarum)
3. C_3 चक्र, C_4 चक्र व CAM
4. RuBp कार्बोक्सिलेज (Rubisco)
5. प्रकाश व अत्यधिक ऑक्सीजन
6. फॉस्फोइनॉल पाइरुविक अम्ल (PEP)

सत्य व असत्य क धन बताइये

1. सत्य	2. सत्य	3. असत्य	4. अस	5. सत्य
6. असत्य	7. असत्य	8. सत्य	9. सत्य	10. सत्य
11. असत्य				

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिये

1. फॉस्फोइनेल पाइरुवेट (PEP), मैलेट (Malate)
2. स्ट्रोमा
3. पर्ण मध्योतक, पूल आच्छद
4. समुद्री
5. C_3, C_4
6. प्रकाशीय श्वसन (Photorespiration)
7. 30 ATP

7.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

लघुत्तरात्मक प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. C_3 व C_4 पादपों कोई 6 अन्तर बताइये ।
2. C_4 चक्र का महत्व बताइये ।
3. क्रांज संरचना से क्या तात्पर्य है? यह किन पादपों में पाई जाती है?

4. C_4 पौधों में C_3 पौधों की अपेक्षा प्रकाश संश्लेषी दर उच्च होती है क्यों?
5. C_3 पौधों में प्रकाश की उच्च तीव्रता कार्बन -डाइऑक्साइड के स्थिरीकरण को क्यों संयमित (inhibit) करती है?
6. वार बुर्ज (Warburg effect) किस प्रकार प्रकाशीय श्वसन से सम्बन्धित है?
7. उच्च तापमान पर प्रकाश संशलेषण की दर क्यों घटती है? समझाइये ।

निबन्धात्मक प्रश्न (Essay Type Questions)

1. C_4 चक्र का सविस्तार वर्णन किजिए तथा इसका महत्व बताइए ।
2. CAM 'नें चक्र किस प्रकार के पादपों में पाया जाता है?
3. ब्लैकमैन का सीमाकारी कारकों का नियम (Blackman's law limiting factor) क्या है? प्रकाश संशलेषण
4. को प्रभावित करने वाले बाह्य व आन्तरिक कारकों का वर्णन कीजिये ।
5. प्रकाशीय श्वसन (Photorespiration) क्या है? यह सामान्य श्वसन से किस प्रकार अलग है? यह किन वातावरणीय
6. कारकों से प्रोत्साहित होता है, कारण सहित लिखिये ।

इकाई 8 : श्वसन: वायवीय एवं अवायवीय श्वसन, ग्लाइकोलाइसिस, क्रेब्स चक्र, इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र एवं ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण,श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक (Respiration: Aerobic and Anaerobic respiration, Glycolysis, Kreb’s Cycle, Electron Transport System & Oxidative Phosphorylation, Factor affecting Respiration)

इकाई की रूपरेखा

8.0 उद्देश्य

8.1 प्रस्तावना

8.2 श्वसन: एक परिचय

8.3 श्वसन तथा प्रकाश संशलेषण में अन्तर

8.4 श्वसन के प्रकार

8.4.1 ऑक्सी श्वसन

8.4.2 अनॉक्सी श्वसन

8.5 श्वसन के क्रियाधार

8.6 श्वसन की क्रियाविधि

8.6.1 ग्लाइकोलाइसिस

8.6.1 (a) फॉस्फोरिलीकरण

(b) हैक्सोज शर्करा का विघटन

(c) पाइरुविक अम्ल का संशलेषण

8.6.2 ग्लाइकोलाइसिस में ऊर्जा उत्पादन

8.6.3 पाइरुविक अम्ल का वायवीय ऑक्सीकरण

(a) एसीटिल कोएन्जइम A का निर्माण

(b) क्रेब्स चक्र अथवा TCA चक्र

8.6.4 क्रेब्स चक्र के ऊर्जा सम्बन्ध

8.7 इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र

8.8 पाइरुविक अम्ल का अवायवीय विघटन
8.8.1 पाइरुविक अम्ल से इथिल ऐल्कोहॉल का निर्माण
8.8.2 पाइरुविक अम्ल से लैक्टिक अम्ल का निर्माण
8.8.3 अवायवीय श्वसन में ऊर्जा उत्पादन
8.9 श्वसन गुणांक
8.10 श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक
I. आंतरिक कारक
II. बाहय कारक
8.11 सारांश
8.12 शब्दावली
8.13 सन्दर्भ ग्रन्थ
8.14 बोध प्रश्नों के उत्तर
8.15 अभ्यासार्थ प्रश्न

8.0 उद्देश्य (Object)

इस इकाई के अध्ययन के पश्चात् आप इस योग्य हो जायेंगे कि निम्न बातों को भली-भाँति समझ सकें :

(i) श्वसन किस प्रकार की क्रिया विधि हे?
(ii) श्वसन व प्रकाश संशलेषण में क्या अन्तर है?
(iii) वायवीय व अवायवीय श्वसन में क्या अन्तर है?
(iv) श्वसन के क्रियाधार कौन होते हैं?
(v) श्वसन की क्रियाविधि के प्रमुख चरण क्या हैं?
(vi) आक्सीय व प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में क्या अन्तर है?
(vii) पाइरुविक अम्ल का विघटन वायवीय व अवायवीय परिस्थितियों में किस प्रकार होता है?
(viii) इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में किस प्रकार इलेक्ट्रॉन ऑक्सीजन तक पहुँचते हैं?
(ix) विभिन्न प्रकार के आंतरिक व बाहय कारक श्वसन की क्रियाविधि को किस प्रकार प्रभावित करते हैं?

8.1 प्रस्तावना (Introduction)

श्वसन एक अपचयी (catabolic) क्रिया है जिसमें जटिल कार्बनिक पदार्शों के ऑक्सीकरण के फलस्वरूप सरल अकार्बनिक पदार्थ CO_2 व H_2O बनते हैं ।

यह प्रक्रिया सभी जीवित कोशिकाओं में होती है । श्वसन प्रक्रिया में क्रियाधार ग्लूकोज, प्रोटीन, वसा अन्य भोज्य पदार्थ व ऑक्सीजन होते हैं ।

इस क्रिया में रासायनिक पदार्थों म संचित ऊर्जा का ऑक्सीकरण द्वारा विमोचन होता है ।

ऑक्सीजन की उपस्थिति व अनुपस्थिति के आधार पर श्वसन दो प्रकार का होता है (i) ऑक्सी श्वसन (ii) अनॉक्सी श्वसन

यह क्रिया तीन चरणों में सम्पन्न होती है ।

(i) ग्लाइकोलाइसिस

(ii) पाइरुविक अम्ल का विघटन तथा

(iii) क्रेब्स चक्र या TCA चक्र

श्वसन में विजल अपघटन (dehydrolyis) व विकार्बोक्सिलीकरण (decarboxylation) अभिक्रियाएँ होती है ।

इस क्रिया में O_2 का अवशोषण व CO_2 का विमोचन होता है ।

ऑक्सी फॉस्फोरिलीकरण क्रिया माइटोकॉन्ड्रिया तथा प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण क्लोरोप्लास्ट में सम्पन्न होती है ।

8.2 श्वसन: एक परिचय (Respiration : Introduction)

सभी सजीवों को अपनी जैविक क्रियाओं के संचालन हेतु ऊर्जा की आवश्यकता होती है, पृथ्वी पर ऊर्जा का मुख्य स्रोत सूर्य है, हरे पौधे सूर्य की विकिरण ऊर्जा (radiation energy) को प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा जटिल कार्बनिक अणुओं में रासायनिक ऊर्जा (chemical energy) के रूप में संचित कर लेते हैं ।

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{choloroplast}]{\text{Sun light}} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

जीवधारियों में इन जटिल कार्बनिक पदार्थों का ऑक्सीकरण विभिन्न रासायनिक क्रियाओं की एक श्रृखला में होता है इस श्रृंखला के विभिन्न चरणों में ऊर्जा मुक्त होती है जिसका उपयोग पादप या सजीव अपनी जैविक क्रियाओं में करते हैं । इस प्रकार जटिल कार्बनिक पदार्थों के ऑक्सीकरण के द्वारा ऊर्जा मुक्त होने की प्रक्रिया को श्वसन (respiration) कहते हैं । यह एक जैविक क्रिया है जो सभी जीवित कोशिकाओं में होती है । पौधे के वृद्धि क्षेत्रों जैसे: पुष्प कलिका, कायिक कलिका, अंकुरित बीजों, प्ररोह व मूल शीर्ष में श्वसन क्रिया अपेक्षाकृत ज्यादा होती है । पहले श्वास लेने, की प्रक्रिया को श्वसन माना जाता था परन्तु अब इसे कोशिकीय स्तर पर होने वाली एक प्रक्रिया माना जाता है । सामान्यत: श्वसन में ऑक्सीजन का उपभोग व कार्बन -डाइऑक्साइड का विमोचन होता है परन्तु ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में भी श्वसन क्रिया होती है । कई अनॉक्सी जीवाणुओं में ऑक्सीजन के अभाव में श्वसन क्रिया निरन्तर होती रहती है ।

1615 में क्रूक (Crooke) ने जन्तुओं में श्वसन के महत्व को बताया था परन्तु पौधों में यह क्रिया सर्वप्रथम शील (Scheele 1717) द्वारा देखी गई । उन्होंने बताया कि अंकुरित बीज ऑक्सीजन लेते हैं व कार्बन -डाइऑक्साइड निकालते हैं, बाद में डीसॉसर (De saussure, 1979) ने अपने प्रयोगों द्वारा बताया कि अंकुरित बीजों द्वारा ली गई ऑक्सीजन की मात्रा उनके द्वारा निकाली गई कार्बन -डाइऑक्साइड की मात्रा के बराबर होती है । श्वसन क्रिया में मुख्य रूप से ग्लूकोज (कार्बोहाइड्रेट) का ऑक्सीकरण होता है जिसके फलस्वरूप CO_2 का

विमोचन व रासायनिक ऊर्जा (chemical energy) का गतिज ऊर्जा (kinetic energy) में रूपान्तरण होता है । यह ऊर्जा कोशिका में ATP के रूप में संचयित रहती है ।

श्वसन क्रिया को निम्न समीकरण द्‌वारा दर्शाया जा सकता है :

$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686$ K. cal. --------------- (2)

लेकिन ऑक्सीजन ग्लूकोज से सीधे अभिक्रिया नहीं करती है इसके लिए जल अणुओं की आवश्यकता होती है इस क्रिया को निम्न समीकरण द्‌वारा दर्शाया जा सकता है ।

$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \rightarrow 6CO2 + H_2O +$ Energy ------------- (3)

लेकिन श्वसन क्रिया एक जटिल क्रिया है जिसमें अनेक माध्यमिक उत्पाद बनते हैं और प्रत्येक चरण एक विशिष्ट एन्जाइम की उपस्थिति में सम्पन्न होता है ।

श्वसन क्रिया में निम्न घटनाएँ होती है ।

1. ऑक्सीजन का ग्रहण होना
2. जटिल कार्बनिक पदार्थों (कार्बोहाइड्रेट) का ऑक्सीकरण व सरल पदार्थों (CO_2 + H_2O) में विघटन ।
3. ऑक्सीकरण से ऊर्जा का विमोचन व ATP के रूप में संचयन ।
4. क्रिया के दौरान अनेक मध्यवर्ती उत्पादों का बनना जो उपापचय में सहायक होते हैं ।
5. क्रिया में उत्पन्न CO_2 का विमोचन ।
6. इस प्रक्रिया के फलस्वरूप पादप के शुष्क भार में कमी होना ।

8.3 श्वसन तथा प्रकाश संशलेषण में अन्तर (Difference between Respiration and Photosynthesis)

ऊपर दी गई अभिक्रिया 1 व 2 से यह स्पष्ट है कि श्वसन व प्रकाश संशलेषण दो विपरीत क्रियाएँ हैं प्रकाश संशलेषण एक उपचयी (anabolic) क्रिया है जिसमें कार्बन -डाइऑक्साइड का अवशोषण, ऑक्सीजन का विमोचन तथा कार्बनिक पदार्थों का संशलेषण होता है इसके विपरीत श्वसन में ऑक्सीजन का अवशोषण कार्बन -डाइऑक्साइड का विमोचन तथा कार्बनिक पदार्थों का ऑक्सीकरण होता है । अत: श्वसन एक अपचयी (catabolic) क्रिया है । इन दोनों क्रियाओं में मुख्य अन्तर निम्न प्रकार से हैं ।

सारणी 8.1 : श्वसन व प्रकाश संशलेषण में अन्तर

(Difference between Respiration and Photosynthesis)

श्वसन (respiration)	प्रकाश संशलेषण (Photosynthesis)
1. यह एक अपचयी (catabolic) क्रिया है जिसमें जटिल कार्बनिक पदार्थो का ऑक्सीकरण सरल पदार्थों में होता है।	1. यह एक उपचयी (anabolic) क्रिया है जिसमें सरल कार्बनिक अकार्बनिक पदा थीं मे जटिल कार्बनिक पदार्थो का निर्माण होता है ।
2. इस क्रिया में कार्बनिक पदार्थों का	2. इस प्रक्रिया में कार्बनिक पदार्थों का संश्लेषण

उपयोग होता है अतः पौधे शुष्क भार में कमी होती है ।	होता है के जिससे पौधे के शुष्क भार में वृद्धि होती है ।
3. यह क्रिया प्रकाश उपस्थिति व अनुपस्थिति दोनों में होती है ।	3. यह क्रिया केवल प्रकाश की उपस्थिति में होती है।
4. इस प्रक्रिया में क्रियाधार (substrate) ग्लूकोज, प्रोटीन, वसा व अन्य भोज्य पदार्थ व ऑक्सीजन होते हैं ।	4. इसमें क्रियाधार कार्बन- डाइ ऑक्साइड व जल होते हैं।
5. यह एक ऊष्माक्षेपी (exothermic) क्रिया है ।	5. यह एक ऊष्माशोषी (endothermic) क्रिया है।
6. यह क्रिया सभी जीवित कोशिकाओं में होती है ।	6. यह क्रिया केवल क्लोरोफिल युक्त कोशिकाओं में होती है ।
7. इस क्रिया में O_2 का अवशोषण व CO_2 का विमोचन होता है ।	7. इस क्रिया में CO_2 का अवशोषण तथा O_2 का विमोचन होता है ।
8. इस प्रक्रिया में रासायनिक पदार्थों में संचित ऊर्जा का ऑक्सीकरण द्वारा विमोचन होता है । का	8. इस क्रिया में विकिरण ऊर्जा जटिल कार्बनिक पदार्थों 9. में संचित होती है ।
9. इसमें विजल अपघटन (dehydrolysis) तथा वि-कार्बोक्सिलीकरण (decarboxylation) क्रियाएँ होती है ।	10. इसमें जल अपघटन (hydrolysis) तथा कार्बोक्सिलीकरण(carboxylation) क्रियाएँ होती है ।
10. इस क्रिया के क्रियाफल (end products) CO_2 जल व ऊर्जा है ।	11. इसके क्रियाफल कार्बोहाइड्रेट व O_2 है ।
11. ग्लूकोज के एक अणु के ऑक्सीकरण से ATP के 38 अणु बनते हैं ।	12. ग्लूकोज के एक अणु के संशलेषण के लिए ATP के 18 अणुओं की आवश्यकता होती है।

8.4 श्वसन के प्रकार (Types of Respiration)

श्वसन मुख्य रूप से ऑक्सीकरण (oxidation) की क्रिया है जिसमें जटिल कार्बनिक पदार्थों के टूटने से ऊर्जा का विमोचन होता है । जब श्वसन में ऑक्सीजन का उपयोग होता है तो इसे ऑक्सी श्वसन (anaerobic respiration) कहते हैं और जब यह क्रिया ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होती है तो तब इसे अनॉक्सी श्वसन या अवायु श्वसन (anaerobic respiration) कहते है ।

8.4.1 ऑक्सीश्वसन (Aerobic)

यह श्वसन की सामान्य विधि है जिसमें ऑक्सीजन की उपस्थिति में कार्बनिक पदार्थों का CO_2 व जल में पूर्ण विच्छेद होता है । अधिकांश पौधों व सभी जन्तुओं में श्वसन की यही विधि पाई जाती है । इसे निम्न अभिक्रिया द्वारा दर्शाया जाता है ।

$$C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 686 \text{ K. Cal}$$

8.4.2 अनॉक्सी श्वसन (Anaerobic respiration)

जब कार्बनिक पदार्थों का अपघटन (ऑक्सीकरण) ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होता है तो इसे अनॉक्सी श्वसन कहते हैं इसमें कार्बनिक पदार्थों का पूर्ण ऑक्सीकरण नहीं होता है तथा CO_2व जल का निर्माण नहीं होता है बल्कि एल्कोहॉल व CO_2 बनते हैं व ऊर्जा का अल्प मात्रा में उत्पादन होता है । इसे निम्न समीकरण से दर्शाया जाता है ।

$$C6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 56 \text{ K.Cal.}$$

उपरोक्त उदाहरण में ग्लूकोज के एक अणु से अवायवीय श्वसन में केवल KCal ऊर्जा उत्पन्न होती है जबकि वायवीय श्वसन में 686 KCal ऊर्जा निकलती है ।

कुछ कवक व जीवाणु सामान्यत: वायवीय श्वसन ही करते हैं और वे अविकल्पी अवायुजीव (obligate anaerobes) कहलाते हैं । अनेक पौधे व जीवाणु ऐसे भी है जिनमें सामान्यत: वायवीय श्वसन होता है परन्तु आवश्यकता पड़ने पर कुछ समय के लिए अवायवीय श्वसन कर सकते हैं ऐसे जीव विकल्पी अवायुजीव (facultative anaerobes) कहलाते हैं ।

किण्वन (fermentation) एक प्रकार की अवायवीय श्वसन क्रिया है । इसमें कवक व जीवाणु आदि कार्बनिक पदार्थो का सरल पदार्थो में विच्छेदन करते हैं । इनकी विशेषता यह है कि इसमें क्रियाधार (substrate) कोशिका से बाहर द्रव माध्यम (liquid medium) में होते हैं । इस क्रिया के अंतिम उत्पाद एल्कोहॉल व कार्बनिक अम्ल जैसे ब्यूटैरिक अम्ल (butyric acid), लैक्टिक अम्ल (lactic acid), ऐसीटिक अम्ल (acetic acid) आदि है । इस क्रिया में ऊर्जा की अधिकांश मात्रा ऊष्मा के रूप में निकल जाती है ।

सारणी 8.2 : ऑक्सी त था अनॉक्सी श्वसन में अन्तर

(Difference between Aerobic and Anaerobic Respiration)

ऑक्सी श्वसन (Aerobic Respiration)	अनॉक्सी श्वसन (Anaerobic Respiration)
1. इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है व शर्करा का पूर्ण विघटन होता है	1. इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है व शर्करा का अपूर्ण विघटन होता है ।
2. अन्तिम उत्पाद जल व कार्बन-डाइऑक्साइड होते हैं ।	2. अन्तिम उत्पाद कार्बन-डाइऑक्साइड एथाइल एल्कोहॉल या लैक्टिक अम्ल हटे है ।

3. इसमें अधिक ऊर्जा का उत्पादन होता है । एक ग्लूकोज अणु से 38 ATP प्राप्त होते हैं ।	3. इसमें कम ऊर्जा का उत्पादन होता है, एक ग्लूकोज अणु से 2ATP प्राप्त होते है ।
4. उच्च पादपों में यह श्वसन हमेशा होता रहता है ।	4. उच्च पादपों में अस्थाई रूप से व असामान्य परिस्थितियों में ही होता है ।
5. इस श्वसन से पौधों में विषकारी प्रभाव नहीं पड़ता है ।	5. इससे पौधों पर विषकारी प्रभाव पड़ता है।
6. यह क्रिया कोशिकाद्रव्य व माइटोकॉन्ड्रिया में होती है ।	6. यह क्रिया पूर्णत: कोशिका द्रव्य में होती है ।

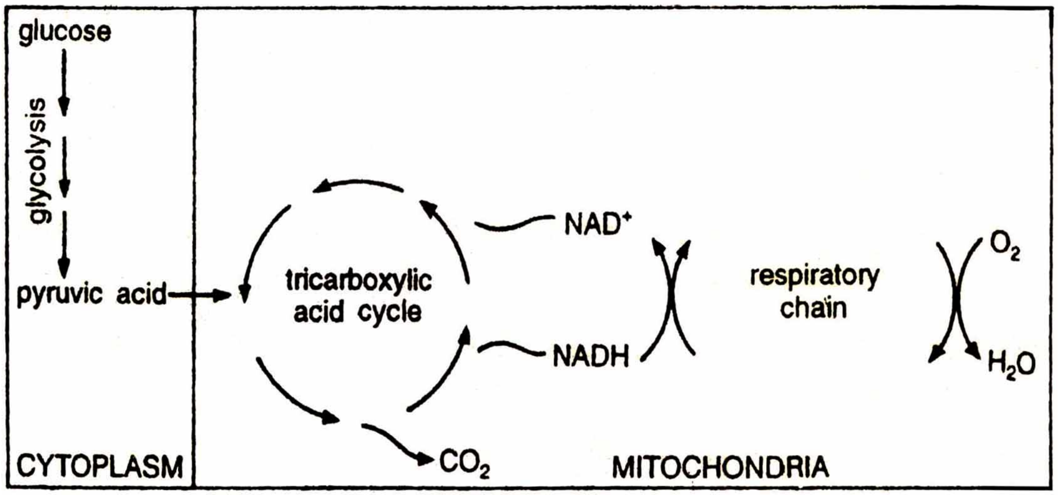
8.5 श्वसन के क्रियाधार (Respiratory Substrates)

वे कार्बनिक पदार्थ जो श्वसन क्रिया में ऑक्सीकृत होकर ऊर्जा का विमोचन करते हैं श्वसन के क्रियाधार (respiratory substrates) कहलाते हैं । तेल युक्त बीजों के अलावा सभी पौधों में कार्बोहाइड्रेट ही श्वसन के क्रियाधार होते हैं परन्तु इनमें भी वसा का पहले सरल कार्बोहाइड्रेटस में परिवर्तित कर लिया जाता है इसके अलावा कुछ परिस्थितियों में कोशिका प्रोटीन का श्वसन में उपयोग करती है । ब्लैकमैन (Blackman) ने उस श्वसन क्रिया को जिसमें कार्बोहाइड्रेटस व वसा क्रियाधार होते हैं प्लवी श्वसन (floating respiration) कहा तथा जिसमें क्रियाधार जीवद्रव्य के प्रोटीन होते हैं उसे जीवद्रव्य श्वसन (protoplasmic respiration) का नाम दिया ।

ब्लैकमैन (Blackman) व डीलीएनो (Deleano) ने पौधे से अलग की गई पत्तियों में छोट-छोटे अंतराल पर शवसन का अध्ययन किया तथा देखा कि श्वसन में प्रोटीन का उपयोग क्रियाधार के रूप में तभी किया जाता है जब कोशिका में उपस्थित कार्बोहाइड्रेट तथा वसा सम्पूर्ण मात्रा में ऑक्सीकृत हो चुके हों । येम (Yemm, 1936) ने भी जी के पौधे से अलग की गई पत्तियों में किये गये प्रयोगों से यह निष्कर्ष निकाला कि उनमें 24 घंटे बाद जीवद्रव्य श्वसन प्रारम्भ होता है अर्थात् 24 घंटे तक पत्ती की कोशिकाओं में उपस्थित कार्बोहाइड़ेट व वसा श्वसन के काम आते है। सामान्यत: पौधे से आलग्न (attached) पत्तियों में जीवद्रव्यी श्वसन की संभावना नही होती है क्योंकि प्रकाश संशलेषण द्वारा कार्बोहाइड्रेट्स की उपलब्धता निरन्तर बनी रहती है ।

8.6 श्वसन की क्रियाविधि (Mechanism of Respiration)

जैसा कि हम ऊपर पढ़ चुके हैं कि श्वसन क्रिया में जटिल कार्बनिक पदार्थ ऑक्सीकृत होकर CO_2 व जल में विघटित होते हैं व ऊर्जा का विमोचन होता है । वास्तव में यह प्रक्रिया रासायनिक अभिक्रियाओं की एक श्रृंखला द्वारा होती है ।
इन अभिक्रियाओं को तीन चरणों में विभाजित किया जा सकता है (चित्र 8.1) ।



चित्र 8.1 : श्वसन क्रिया के सामान्य परिपथ के प्रमुख चरण

1. **प्रथम चरण (First step) :** इसमें श्वसन के क्रियाधार मुख्यत: हैक्सोज शर्करा - ग्लूकोज फ्रक्टोज होते हैं । इनका प्रत्येक अणु पाइरुविक अम्ल (pyruvic acid) के दो अणु बनाता है। इस चरण को ग्लाइकोलाइसिस (glycolysis) कहते हैं । यह एक अवायवीय प्रक्रिया है जिसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है अत: ग्लाइकोलाइसिस वायवीय तथा अवायवीय दोनों प्रकार के श्वसन का सामान्य चरण है ।
2. **द्वितीय चरण (Second step) :** इस चरण में पाइरुविक अम्ल से कार्बन-डाइऑक्साइड का एक अणु विमुक्त होता है जिससे यह एसीटाइल को एन्जाइम A (Acetyl coA) में परिवर्तित हो जाता है । यह प्रक्रिया ऑक्सीजन की उपस्थिति में होती है । ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में पाइरुविक अम्ल एथाइल एल्कोहॉल व कार्बन-डाइऑक्साइड बनाता है ।
3. **तृतीय चरण (Third step) :** इस चरण में ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है इसमें एसीटाइल कोएन्जाइम A ऑक्सीकरण अपचयन की (oxidation-reduction) की अनेक क्रियाओं से कार्बन - डाइऑक्साइड व जल में विघटित हो जाता है । विघटन क्रियाओं की इस श्रृंखला को ट्राई कार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र (tricarboxylic acid cycle, TCA Cycle) या सिट्रिक एसिड चक्र (citric acid cycle) कहते हैं । क्योंकि इस श्रृंखला को सर्वप्रथम ब्रिटिश वैज्ञानिक हैन्स ए. क्रेब्स तथा डब्लू. ए. जोन्सन (Hans A. Krebs and W.A. Johnson, 1937) ने वर्णित किया था अत: इसे क्रेब्स चक्र (Kreb's cycle) भी कहते हैं।

8.6.1 ग्लाइकोलाइसिस (Glycolysis)

ग्लाइकोलाइसिस सभी प्रकार की श्वसन प्रक्रियाओं का प्रथम चरण है इस प्रक्रिया की खोज तीन जर्मन वैज्ञानिकों एम्बडेन, मेयरहॉफ तथा पारनास (Embden, Meyerhoff and Parnas) ने की थी अत: इन वैज्ञानिकों के नाम के आधार पर इसे ई. एम.पी. पथ (E.M.P. Pathway) कहते हैं इस पथ में ग्लूकोज के एक अणु का अवायवीय प्रक्रिया से पाइरुविक अम्ल के दो अणु में विच्छेदन होता है । ग्लाइकोलाइसिस की सभी क्रियाएँ कोशिकाद्रव्य में होती हैं अत: इसे कोशिकाद्रव्यी श्वसन (cytoplasmic respiration) भी कहते हैं । इस पथ की प्रक्रिया ग्लूकोज

अथवा फ्रक्टोस से प्रारम्भ होती है त था इसका अन्तिम उत्पाद पाइरुविक अम्ल है । इसे निम्नलिखित अभिक्रिया से दर्शाया जा सकता है ।

$$C6H12O6 \xrightarrow{\text{ग्लाइकोलाइसिस}} 2C3H4O3 + 4H$$

Hexose sugar (pyruvic acid)

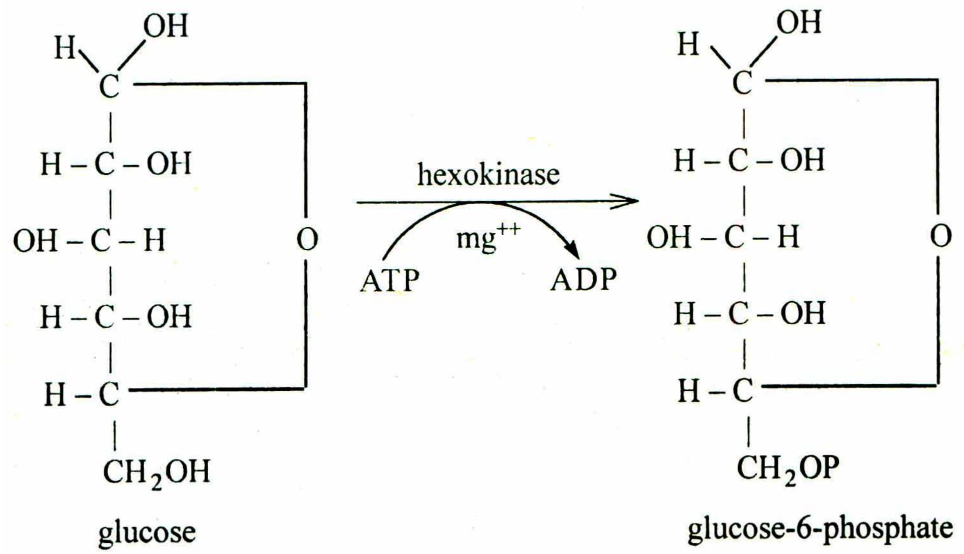
उपरोक्त परिवर्तन अभिक्रिया की एक श्रृंखला में सम्पन्न होता है तथा प्रत्येक अभिक्रिया एक विशिष्ट एन्जाइम द्वारा प्रेरित होती है । ग्लाइकोलाइसिस (ई.एम.पी.पथ) में निम्न तीन प्रमुख चरण हैं ।

1. **फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation) :** इसमें सर्वप्रथम ग्लूकोज के अणु का फॉस्फोरिलीकरण होता है जिसके परिणामस्वरूप फ़क्टोस 1, 6 - डाइफॉस्फेट का निर्माण होता है । ग्लूकोज के प्रत्येक अणु के फॉस्फोरिलीकरण के लिए दो ATP अणुओं की आवश्यकता होती है ।
2. **हैक्सोज शर्करा का विघटन (Break down of hexose sugar) :** इस चरण में फ्रक्टोस 1,6 -डाइफॉस्फेट का विघटन 3 -फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड (3-phosphogly ceraldehyde) व डाइहाइड्रॉक्सी फीटोन फॉस्फेट (dihydroxy acetone phosphate) में होता है । इन दोनों यौगिकों में कार्बन के तीन परमाणु होते है व इनका दोनों यौगिकों का परस्पर अंतरा रूपान्तरण (inter conversion) होता रहता है ।
3. **पाइरूविक अम्ल का संशलेषण (Synthesis of Pyruvic Acid) :** ग्लाइकोलाइसिस के इस तीसरे व अन्तिम चरण में 3- फॉस्फोग्लिसरलडिहाइड विघटित होकर 3 कार्बन परमाणु यौगिक पाइरुविक अम्ल का एक अणु बनाता है ।

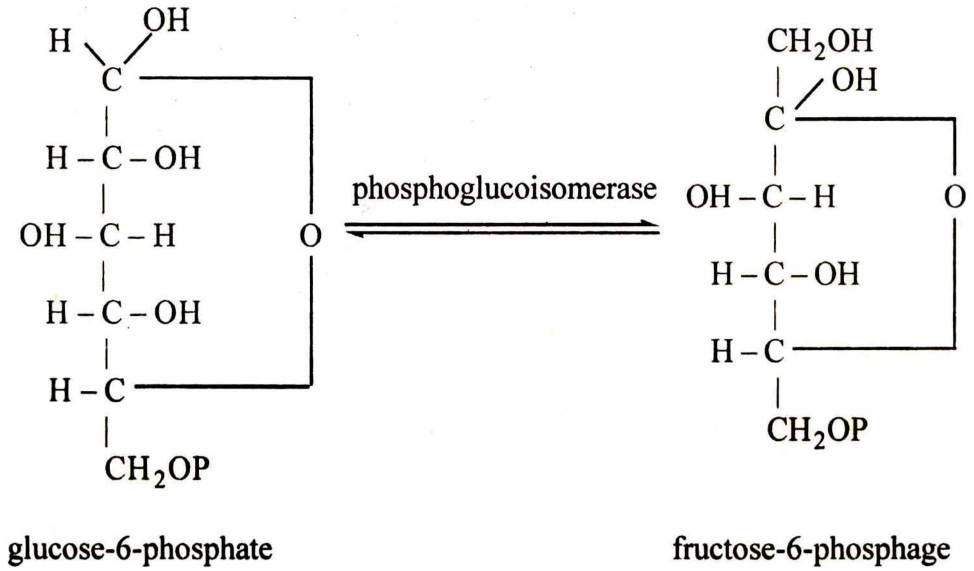
नीचे विस्तार से सभी चरणों की अभिक्रियाओं का वर्णन दिया जा रहा है (चित्र 8.2) ।

8.6.1 (a) फॉस्फोरिलीकरण (Phosphorylation)

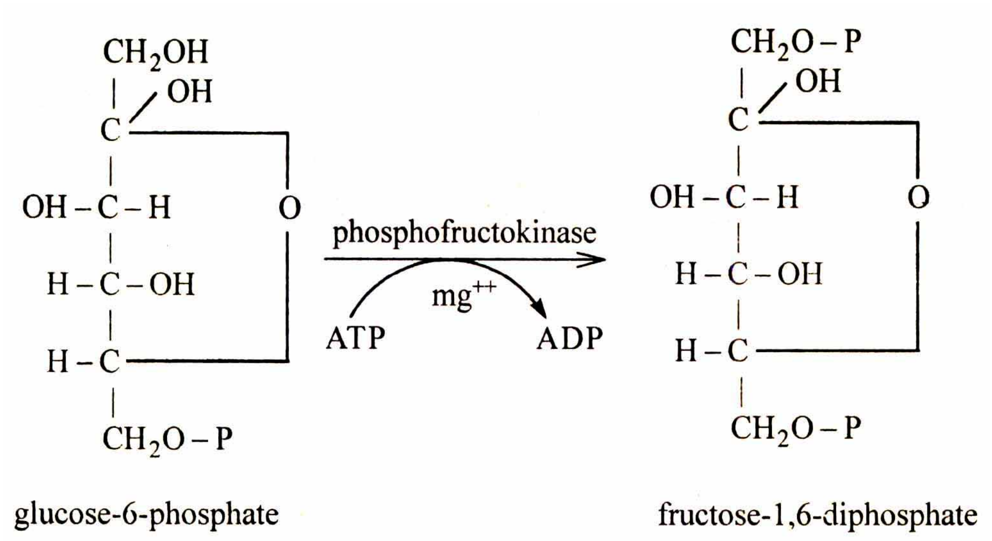
(i) सर्वप्रथम खोज, स्टार्च आदि कार्बोहाइड्रेट्स के जल अपघटन से अनेक मोनोसेकैराइड्स (monosaccharides) जैसे ग्लूकोज व फ्रक्टोस बनते हैं । ये हैक्सोज शर्करा (ग्लूकोज) हैक्सोकाइसेज एन्जाइम की उपस्थिति में फॉस्फेट से संयोजित होकर ग्लूकोज -6-फॉस्फेट बनाती है, इस क्रिया को फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं । इस क्रिया में आवश्यक फॉस्फेट ATP से प्राप्त होता है ।



(ii) दूसरी अभिक्रिया में ग्लूकोज-6-फॉस्फेट का समावयवीकरण (isomerisation) फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट में होता है यह अभिक्रिया फॉस्फोग्लूको आइसोमरेज (phosphogluco isomerase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।

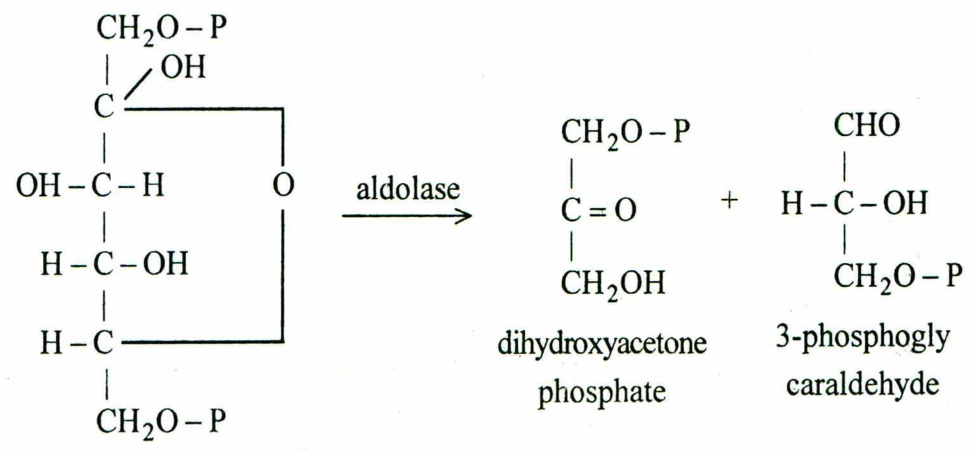


(iii) अब फ्रक्टोज-6 फॉस्फेट के 1 -कार्बन पर पुन: ATP द्वारा फॉस्फोरिलीकरण होता है जिससे फ्रक्टोज 1 ,6-डाइफॉस्फेट का निर्माण होता है । यह अभिक्रिया फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज (phosphofructokinase) नामक एन्जाइम से उत्प्रेरित होती है ।



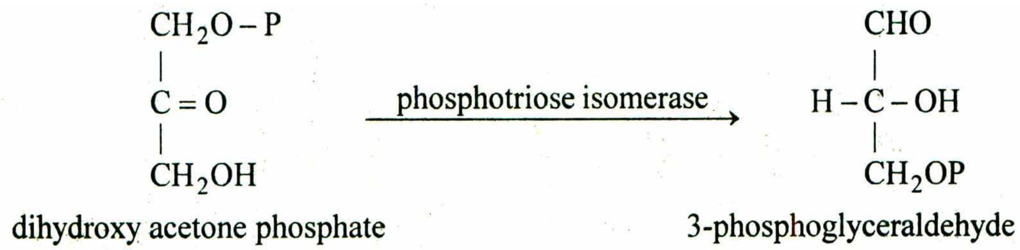
8.6.1 (b) हैक्सोज शर्करा का विघटन (Breakdown of hexose sugar)

(i) शर्करा के दोहरे फॉस्फोरिलीकरण के पश्चात् इसका विघटन होता है । फ्रक्टोज-1,6-डाइफॉस्फेट एल्डोलेज (aldolase) नामक एन्जाइम की उपस्थिति में 3-कार्बन परमाणु वाले दो यौगिकों 3-फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड (3-phosphoglyceraldehyde) व डाइहाइड्रॉक्सी ऐसीटोन फॉस्फेट (dihydroxy acetone phosphate) में विच्छेदित हो जाता है । इन दोनों यौगिकों का आपस में अंतरारूपान्तरण (inter conversion) होता है ।



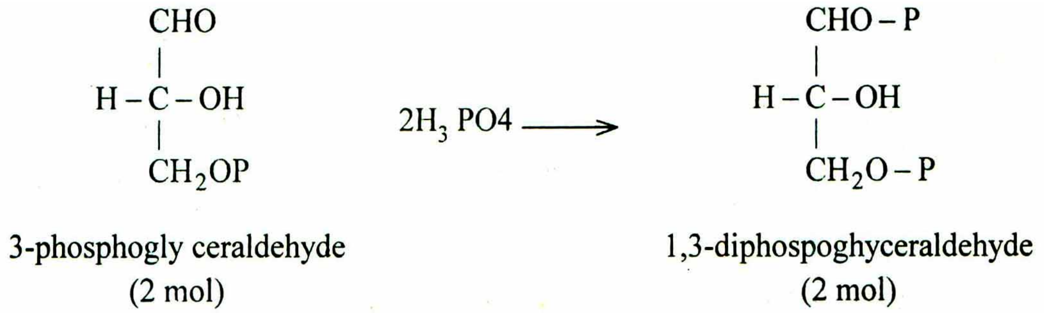
fructose-1,6-diphosphate

उपरोक्त दोनों यौगिकों का आपस में अंतरारूपान्तरण (interconversion) फॉस्फोट्रायोज आइसोमरेज (phosphotriose) एन्जाइम की उपस्थिति में होता है । परन्तु आगे की अभिक्रियाओं मे केवल 3-फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड ही भाग लेता है अत: यह कहा जा सकता है कि ग्लूकोज के प्रत्येक अणु से फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड के दो अणु बनते हैं ।



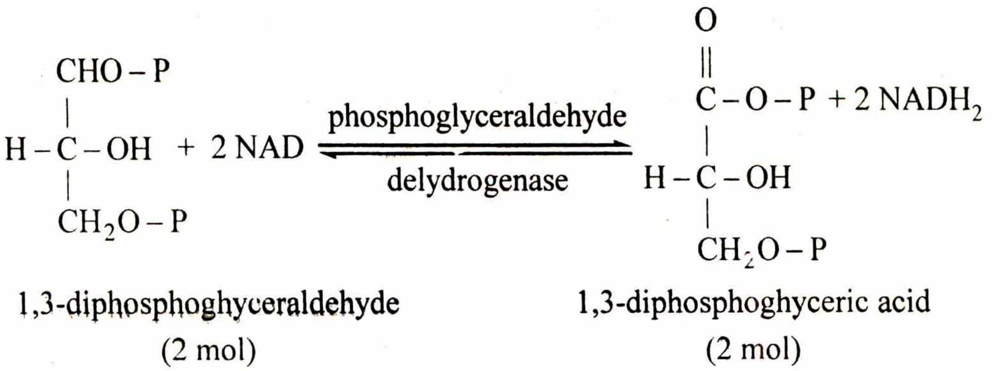
8.6.1 (c) पाइरुविक अम्ल का संशलेषण (Synthesis of Pyruvic acid)

(i) अब 3-फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड के ऑक्सीकरण से 1 ,3-डाइफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड का निर्माण होता है इस अभिक्रिया में अकार्बनिक फॉस्फेट (inorganic phosphate) की आवश्यकता होती है जो फॉस्फोरिक अम्ल (H_3PO_4)से प्राप्त होता है ।



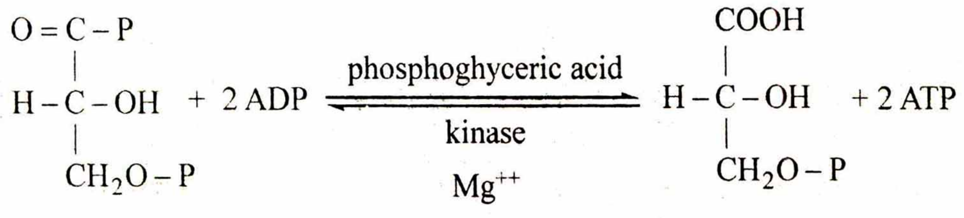
उपरोक्त अभिक्रिया किसी एन्जाइम से उत्प्रेरित नहीं होती है ।

(ii) अगले चरण में डाइफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड के ऑक्सीकरण से डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (diphosphoglyceric acid) बनता है । यह अभिक्रिया फॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड डिहाइड्रोजिनेस (phosphoglyceraldehyde dehydrogenase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है । इस क्रिया निकोटिनामाइड एडीनीन डाइन्यूक्लियोटाइड (Nicotinamide adenine dinucleotide, NAD) हाइड्रोजन ग्राही के रूप में कार्य करता है और अपचयित होकर $NADH_2$ बनाता है ।



(iii) 1,3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के प्रत्येक अणु से एक फॉस्फेट समूह विमुक्त होता है जो 4∘9 से मिलकर 419 का निर्माण करता है । 1, 3-डाइफॉस्फोग्लिसीरक अम्ल के

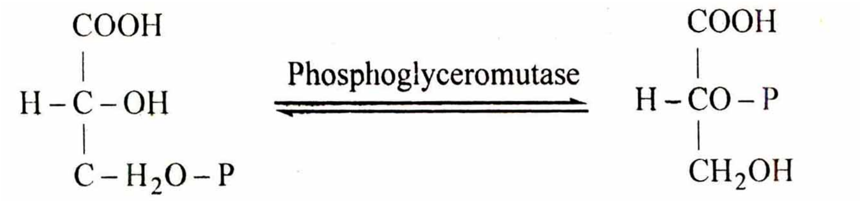
डिफॉस्फोरिलीकरण से 3-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण होता है । यह अभिक्रिया काइनेज (kinase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।



1,3-diphophoghyceric acid (2 mol)   3-diphosphoghyceric acid (2 mol)

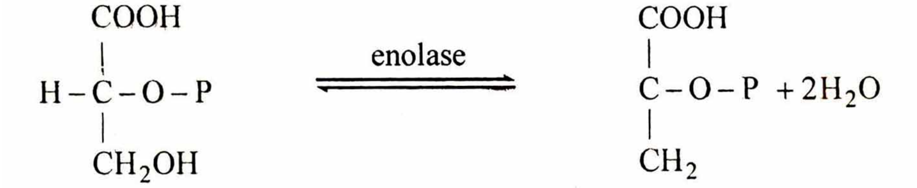
इस चरण में ग्लूकोज के एक अणु से के 2 अणु बनते हैं ।

(iv) 3-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के समावयीवकरण (isomerisation) से फॉस्फोग्लिसरोम्यूटेज (phosphoglyceromutase) एन्जाइम की उपस्थिति में 2-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल बनता है अर्थात् फॉस्फेट समूह कार्बन के तीसरे परमाणु से हटाकर दूसरे कार्बन परमाणु पर आ जाता है ।



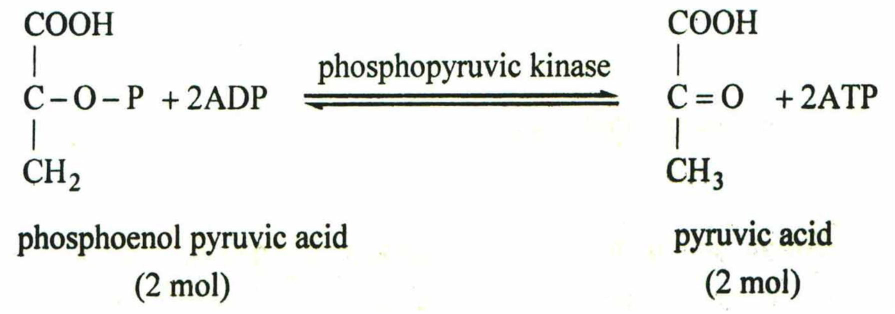
3-diphophoghyceric acid (2 mol)   2-phosphoglyceric acid (2 mol)

(v) 2-फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल इनोलेज एन्जाइम की उपस्थिति में फॉस्फोइनोल पाइरुविक अम्ल (phosphoenol pyruvic acid) में परिवर्तित हो जाता है । इस अभिक्रिया में जल का एक अणु मुक्त होता है ।



3-diphophoghyceric acid (2 mol)   2-phosphoenol pyruvic acid (2 mol)

(vi) ग्लाइकोलाइसिस के अन्तिम चरण में फॉस्फोइनोल पाइरुविक अम्ल का जल अपघटन (hydrolysis) होता है जिसके फलस्वरूप इसमें उपस्थित फॉस्फेट समूह निकल जाता है और पाइरुविक अम्ल बनता है । यह क्रिया फॉस्फोपाइरुविक काइनेज (phosphopyruvic kinase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।



अत: ग्लाइकोलाइसिसकसिम्पूर्णक्रियाकोनिमलिखितसमीकरणद्वारादर्शायाजासकताहै ।

$C_6H_{12}O_6$ + 4ADP + 2Pi + NAD + 2ATP → $CH_3CO.COOH$ + 4ATP + $NADH_2$ +2ADP)

Glucose (1 mol) (Pyruvic acid 2 mol)

8.6.2 ग्लाइकोलाइसिस मे ऊर्जा उत्पादन (Energy output of Glycolysis)

ग्लाइकोलाइसिस एक अवायवीय प्रक्रिया है इसकी प्रमुख विशेषताएँ एवं ऊर्जा सम्बन्धों का सारांश इस प्रकार है:

(i) ग्लूकोज के एक अणु से पाइरुविक अम्ल के दो अणु बनते हैं ।

(ii) इस प्रक्रिया में ATP के चार अणु बनते हैं परन्तु शर्करा के फॉस्फोरिलीकरण में ATP के दो अणुओं का उपयोग होता है अत: शुद्ध लाभ (net again) केवल 2ATP अणुओं का होता है।

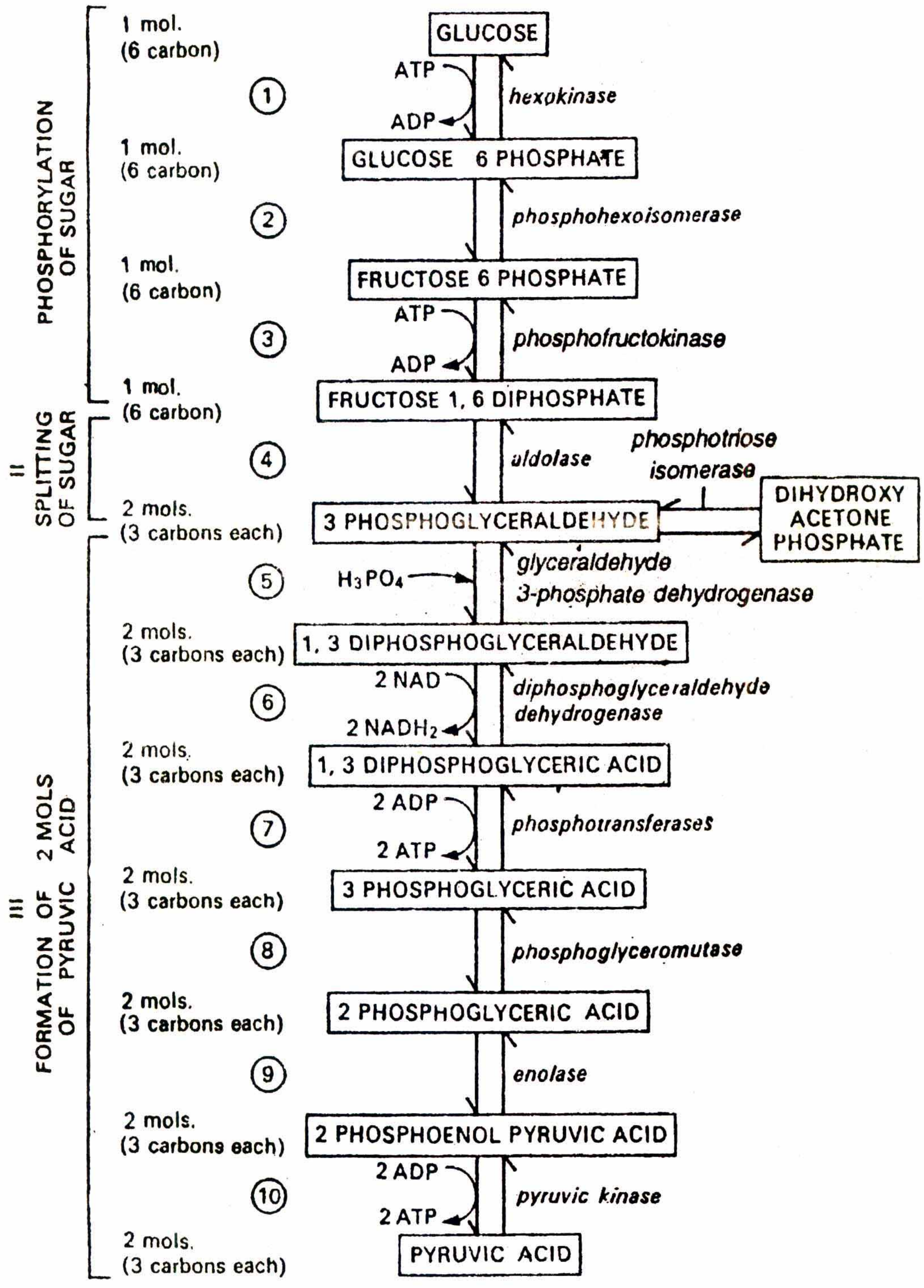
(iii) 1,3 डाइफॉस्फोग्लिसरल्डिहाइड से 1,3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के निर्माण में N ADH_2, का एक अणु बनाता है । चूँकि ग्लूकोज के एक अणु से 1,3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के दो अणु बनते हैं तो $NADH_2$ के भी दो अणु बनेंगे ।

(iv) वायवीय श्वसन के दौरान $NADH_2$ का प्रत्येक अणु इलेक्ट्रॉन अभिगमन तंत्र द्वारा ATP के 3 अणु व जल का एक अणु देता है । इस प्रकार $2NADH_2$ अणुओं से कुल 6 ATP प्राप्त होते हैं । अत: ग्लाइकोलाइसिस में कुल ऊर्जा लाभ निम्न प्रकार होगा:

2 ATP	+	6 ATP	→	8 ATP
(ग्लाइकोलाइसिस का शुद्ध लाभ)		वायवीय श्वसन में $NADH_2$ से अतिरिक्त लाभ		(कुल शुद्ध लाभ)

पाइरुविक अम्ल का विघटन (Breakdown of Pyruvic Acid)

पाइरुविक अम्ल ग्लाइकोलाइसिस का अन्तिम उत्पाद होता है । इनका आगामी विघटन ऑक्सीजन की उपस्थिति अथवा अनुपस्थिति निर्भर करता है । ये विघटन विभिन्न चार परिपथों के अनुसार हो सकता है (चित्र 8.3) ।



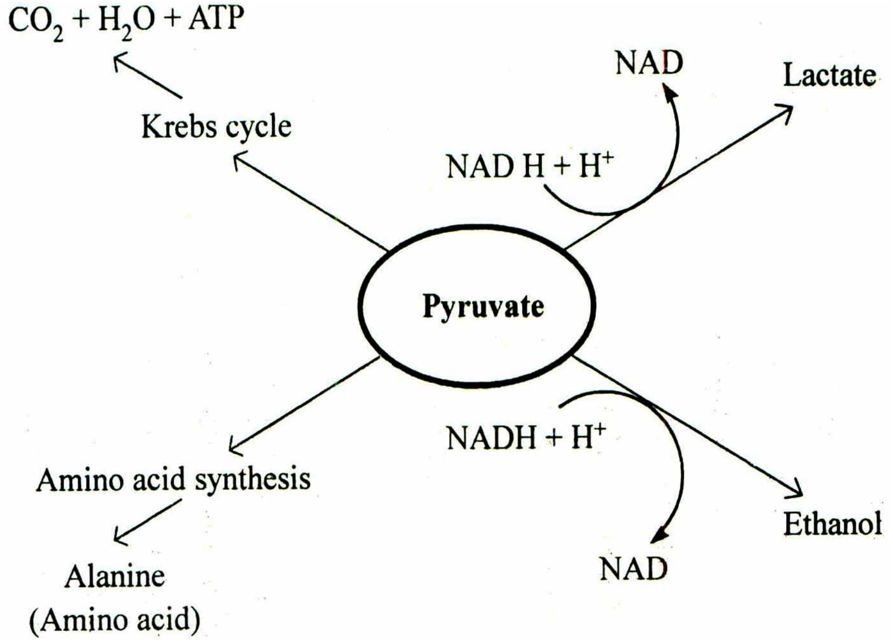
चित्र 8.2 : श्वशन : ग्लाइकोलाइसिस (glycolyis) की प्रमुख अभिक्रियाएँ

8.6.3 पाइरूविक अम्ल का वायवीय ऑक्सीकरण (Aerobic Oxidation of Pyruvic Acid)

पाइरुविक अम्ल का वायवीय ऑक्सीकरण दो चरणों में होता है ।

(a) ऐसीटिल कोएन्साइम-A का निर्माण

(b) क्रेब्स चक्र अथवा ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र



चित्र 8.3: पाइरुविक अप्लु का आगामी अपघटन

8.6.3 (a) ऐसीटिल कोएन्जाइम-ए का निर्माण (Formation of Acetyl Co.A)

ग्लाइकोलाइसिस से प्राप्त पाइरुविक अम्ल ने दोनों अणु क्रेब्स चक्र (kerbs cycle) में प्रवेश करने से पूर्व ऑक्सीकारी विकार्बोक्सिलीकरण (oxidative decaboxylation) द्वारा 2 कार्बन परमाणु युक्र यौगिक ऐसीटिल कोएन्जाइम-ए (acetyl coenzyme-A) बनाते हैं । ग्लाइकोलाइसिस की भाँति ऐसीटिल कोएन्जाइम - A के निर्माण की अभिक्रियाएँ भी कोशिकाद्रव्य में होती है । विकार्बोक्सिलीकग्ण क्रिया पाइरुवेट डिहाइड्रोजिनेज (pyruvate dehydrogenase) एन्जाइम सम्मिश्र (enzyme complex) द्वारा उत्प्रेरित होती है । इसमें वास्तव में तीन एन्जाइम हैं :

(i) पाइरुवेट डिकार्बोक्सिलेज (pyruvate decarboxylase),

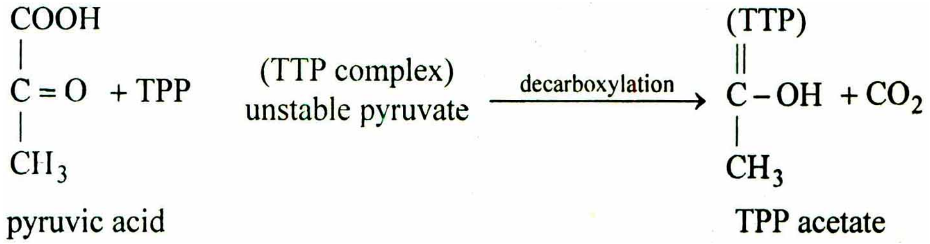
(ii) लिपोएट ऐसिटिल ट्राँसफरेज (lipoate acetyl transferase), व

(iii) लिपोएट डिहाइड्रोजिनेज (lipoate dehydrogenase) ।

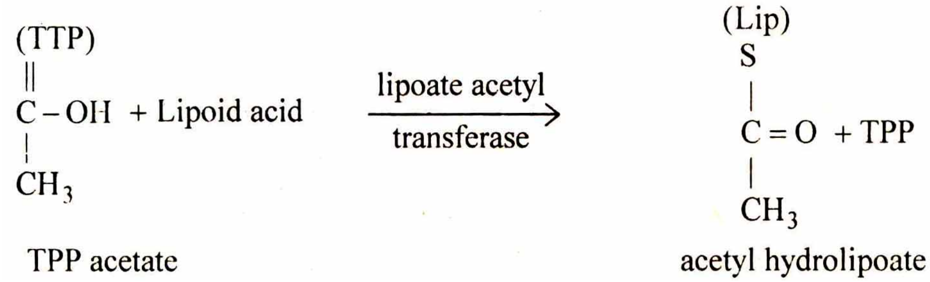
इसके अतिरिक्त इस प्रक्रिया में पाँच सहकारकों (co factors) की आवश्यकता होती है, ये सहकारक हैं : (i) मैग्नीज आयन (Mn^{++}) (ii) थायमिन पायरोफॉस्फेट (Thiamine pyrophosphate TPP),

निकोटिनामाइड ऐडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड (NAD) कोएन्जाइम-ए (Co-A) तथा लिपोइक अम्ल (lipoic acid) पाइरुविक अम्ल से एसीटिल कोएन्जाइम-ए के बनने के निर्माण में निम्न क्रियाएँ सम्पन्न होती है ।

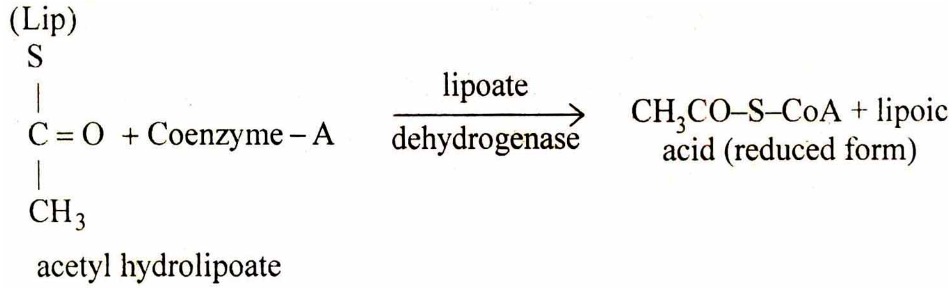
(i) सर्वप्रथम पाइरुविक अम्ल थायमिन पायरोफॉस्फेट (TPP) से संयोजित होकर एक अस्थाई यौगिक पायरोफॉस्फेट जटिल का निर्माण करता है जिसका तुरन्त विकार्बोक्सिलीकरण हो जाता है जिसके फलस्वरूप ऐसीटिल-TPP जटिल बनता है।



(ii) विकार्बोक्सिलीकरण के कारण TPP सम्मिश्र में उपस्थित अम्लीय समूह (acedic group) ऐल्डिहाइड समूह (aldehyde group) में परिवर्तित हो जाता है । इसके पश्चात् TPP ऐसीटेट से TPP का विस्थापन लिपोइक अम्ल द्वारा हो जाता है । जिसके फलस्वरूप ऐसीटिल हाइड्रोलिपोएट (acetyl hydrolipoate) बनता है । यह क्रिया लिपोएट ऐसीटिल ट्राँसफरेज (lipoate acetyle transferase) नामक एन्जाइम से उत्प्रेरित होती है ।



(iii) ऐसीटिल हाइड्रोलिपोएट की कोएन्जाइम-ए से क्रिया होती है, जिसके फलस्वरूप एसीटिल कोएन्जाइम-A का निर्माण होता है औंर लिपोइक अम्ल अपचयित (reduce) हो जाता है । यह अभिक्रिया लिपोएट डिहाइड्रोजिनेज (lipoate dehydrogenase) की उपस्थिति में होती है ।



(iv) अन्तिम चरण में अपचयित लिपोइक अम्ल का यह कारक NAD + द्वारा ऑक्सीकरण हो जाता है । इस प्रकार लिपोइक अम्ल का पुनर्जनन (regeneration) हो जाता है ।

$$Lipoicacid + NAD + \longrightarrow lipoicacid + NADH2$$

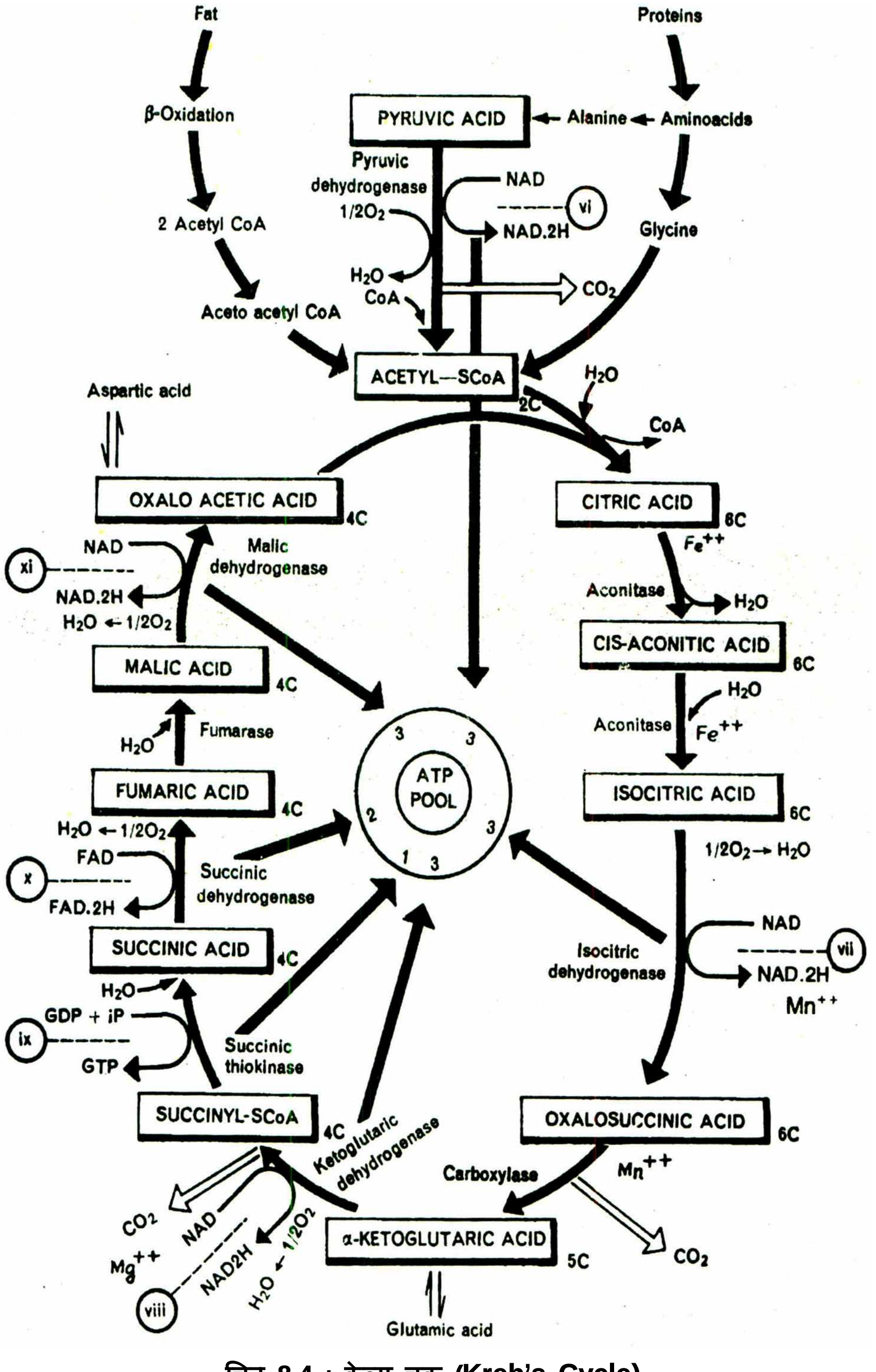
(reduced form) Oxidised

यह एक महत्वपूर्ण अभिक्रिया है क्योंकि ऐसीटिल कोएन्जाइम-A के निर्माण में केवल ऑक्सीकृत लिपोइक अम्ल का ही प्रयोग होता है । इसके अतिरिक्त NAD^+ को दो इलेक्ट्रॉन के स्थानान्तरण से $NADH + H^+(NADH_2)$ का निर्माण होता है (चित्र 8.4) ।

पाइरुविक अम्ल में ऐसीटिल कोन्जाइम-A के निर्माण की सम्पूर्ण अभिक्रियाओं को निम्नलिखित समीकरण से दर्शाया जा सकता है ।

$$\text{Pyruvic acid} + \text{Coenzyme -A} + NAD^+ \xrightarrow[\textit{dehydrogenase}]{\textit{pyruvate}} \text{AcetylCoA} + NADH_2 + CO_2$$

ऐसीटिल कोएन्जाइम-ए (acetyl Co-A) ग्लाइकोलाइसिस व क्रेब्स चक्र के मध्य एक योजक कड़ी का कार्य करता है । एसीटिल कोएन्जाइम-ए का ऑक्सीकरण ऑक्सी अवस्था में माइटोकॉन्ड्रिया में होता है । यह ऑक्सीकरण अनेक चरणों में क्रेब्स चक्र में होता है ।



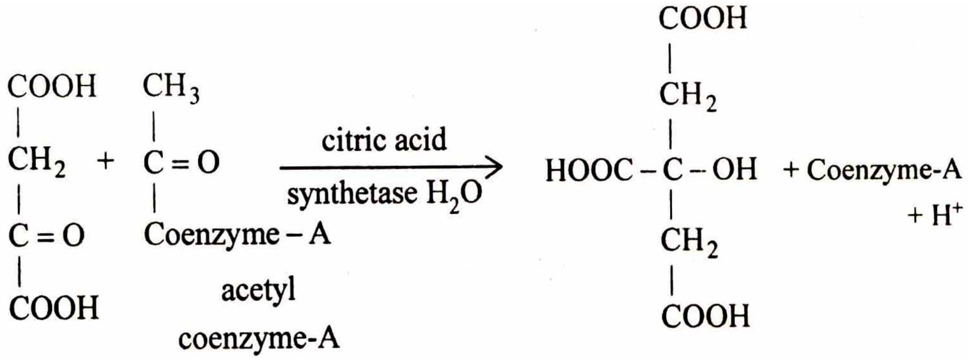
चित्र 8.4 : क्रेब्स चक्र (Kreb's Cycle)

8.6.3 (b) क्रेब्स चक्र अथवा ट्राईकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र(kreb's Cycle or Tricarboxylic Acid Cycle)

इस चक्र मे ऐसीटिल कोएन्जाम-ए का ऑक्सीकरण अनेक चरणों मे होता है तथा विमुक्त ऊर्जा, विशिष्ट अणुओं द्वारा ट्रेप (trap) कर ली जाती है । इस चक्र के प्रमुख चरण निम्न प्रकार से है:

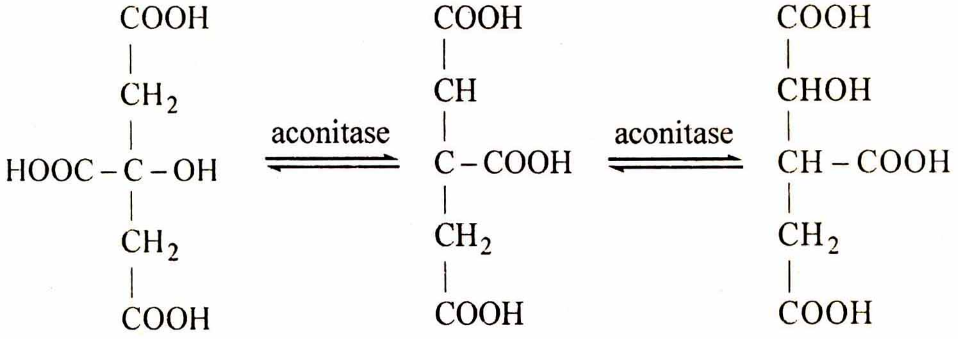
(i) प्रथम चरण मे ऐसीटिल कोएन्जाइम -A माइटोकॉन्ड्रिया मे उपस्थित चार कार्बन परमाणु यौगिक ऑक्सेलोएसीटिक अम्ल (oxaloacetic acid) से संयोजित होकर 6 - कार्बन परमाणु यौगिक सिट्रिक अम्ल(citric acid) का निर्माण करता है।

यह क्रिया सिट्रिक एसिड सिन्थैटेस (cirtic acid synthetase) एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है जो कि एक संघनक एन्जाइम (condensing enzyme) है । इस अभिक्रिया के फल स्वरूप को एन्जाइम-ए विमुक्त हो जाता है तथा पाइरुविक अम्ल के दूसरे अणुओं के अपघटन हेतु उपलब्ध हो जाता है ।



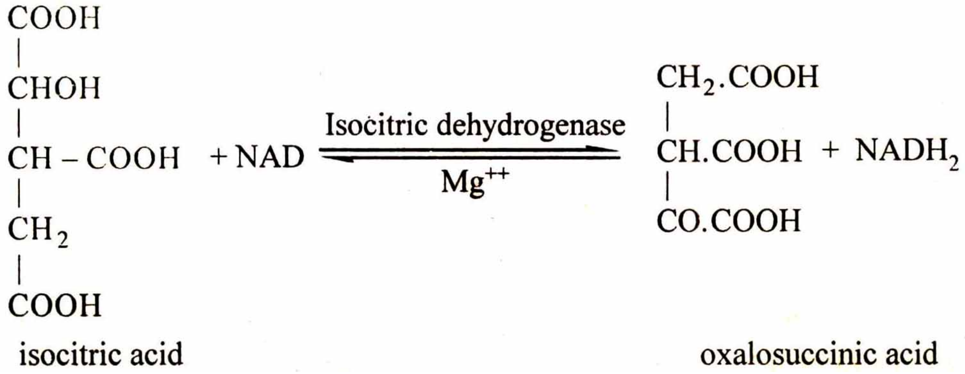
oxaloacetic acid citric acid

(ii) दूसरे चरण में सिट्रिक अम्ल का समवयवीकरण (isomerisation) आइसोसिट्रिक अम्ल (isocitric acid) में होता है । इस क्रिया मे सिट्रिक अम्ल पहले जल का एक अणु विमुक्त कर मध्यवर्ती यौगिक सिस-एकोनिटिक अम्ल (cis-aconitic acid) बनाता है जो पुन: जल अणु ग्रहण करके आइसोसिट्रिक अम्ल (iso citric acid) में परिवर्तित हो जाता है । ये अभिक्रियाएँ एकोनिटेज (aconitase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।

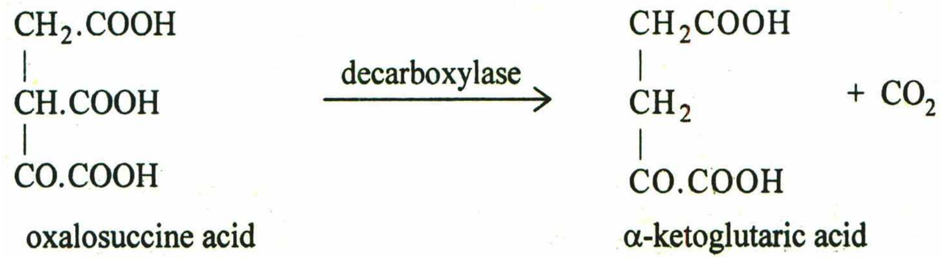


citric acid cis-aconitic acid iso-citric acid

(iii) अगले चरण में आइसोसिट्रिक अम्ल के ऑक्सीकरण से ऑक्सेलोसक्सिनिक अम्ल (oxalosuccinic acid) का निर्माण होता है । यह क्रिया आइसोट्रिक डिहाइड्रोजिनेज (isocitric dehydrogenase) एन्जाइम द्वारा उत्पेरित होती है । इस अभिक्रिया में हाइड्रोजन के दो परमाणु निकलते हैं जो NAD द्वारा ग्रहण कर लिये जाते हैं और $NADH_2$ का निर्माण होता है । $NADH_2$ काइलेक्ट्रॉन अभिगमन तंत्र (Electron transport system) द्वारा पुन: ऑक्सीकरण होता है और ऊर्जा का विमोचन होता है ।



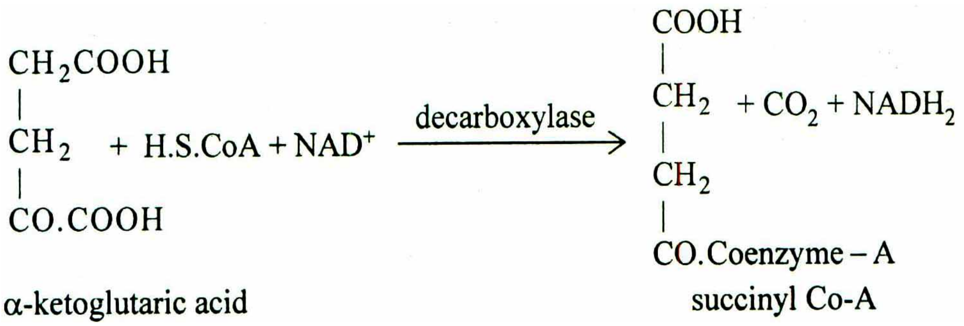
(iv) ऑक्सेसोक्सिनिक अम्ल के विकार्बोक्सिलीकरण से कीटोग्लूटेरिक अम्ल (ketoglutaric acid) का निर्माण होता है (इसे 2-ऑक्सोग्लूटेरिक अम्ल भी कहते हैं) । यह अभिक्रिया डिकार्बोक्सिलेज (decarboxylase) एन्जाइम से उत्प्रेरित होती है । जिसके अन्तर्गत CO_2 की विमुक्ति होती है ।



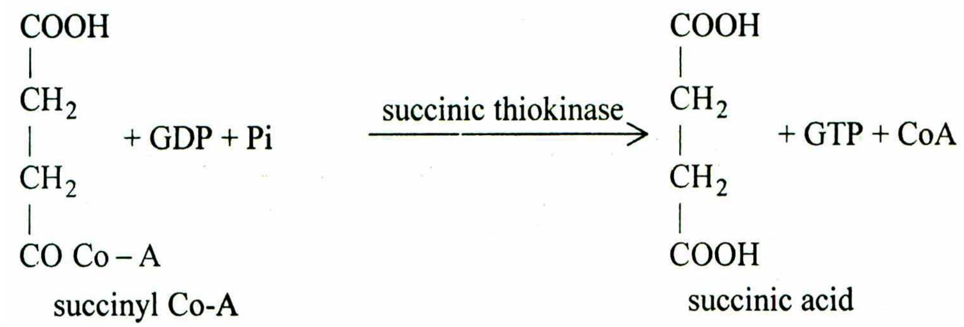
α- कीटोग्लूटेरिकक अम्ल केब्स चक्र का एक मात्र 5 कार्बन परमाणु युक्त मध्यवर्ती यौगिक है ।

(v) α-कीटोग्लूटेरिक अम्ल, α-कीटोग्लूटेरिक डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम का उपस्थिति में ऑक्सीकृत होकर सक्सिनिक अम्ल (succinic acid) बनाता है यह अभिक्रिया दो चरणों में होती है ।

(a) प्रथम चरण में α- कीटोग्लूटेरिक अम्ल के डिकार्बोक्सिलीकरण से सक्सिनाइल कोएन्जाइम-A (succinyl coenzyme-A) बनता है यह क्रिया α- कीटोग्लूटेरिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम तथा TPP, Mg^{++},NAD, FAD ऑक्सीकृत लिपोइक अम्ल की उपस्थिति में होती है ।



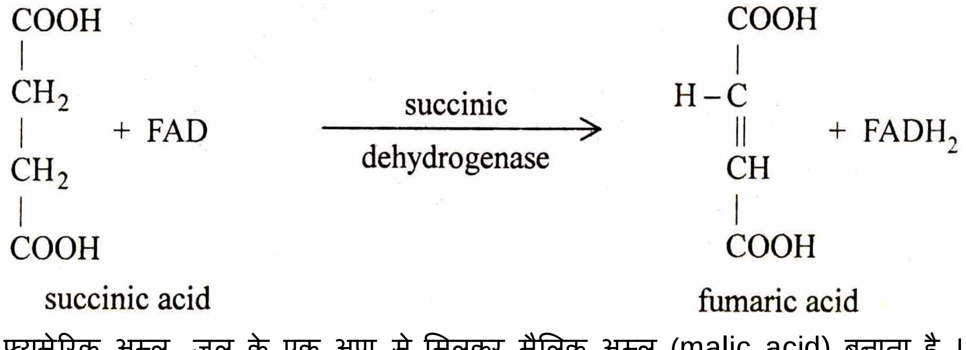
(b) दूसरे चरण में सक्सिनाइल कोएन्जाइम-A का सक्सिनिक थायोकाइनेज (succinic thiokinase) की उपस्थिति में सक्सिनिक अम्ल तथा कोएन्जाइम-A मे विच्छेदन हो जाता है । इस क्रिया में अकार्बनिक फॉस्फेट द्‌वारा गुअनोसिन डाइफॉस्फेट (GDP) के अणु का गुअनोसिन ट्राइफॉस्फेट (GTP) में परिवर्तन होता है ।



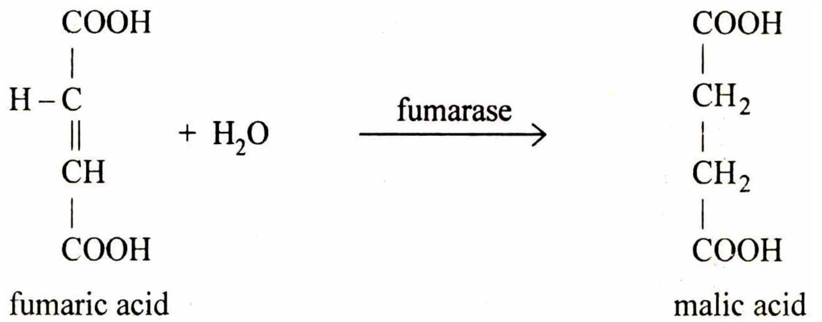
GTP बाद में मं ADP से संयोजित होकर ATP का निर्माण करता है ।

$$GTP + ADP \rightleftharpoons ATP + GDP$$

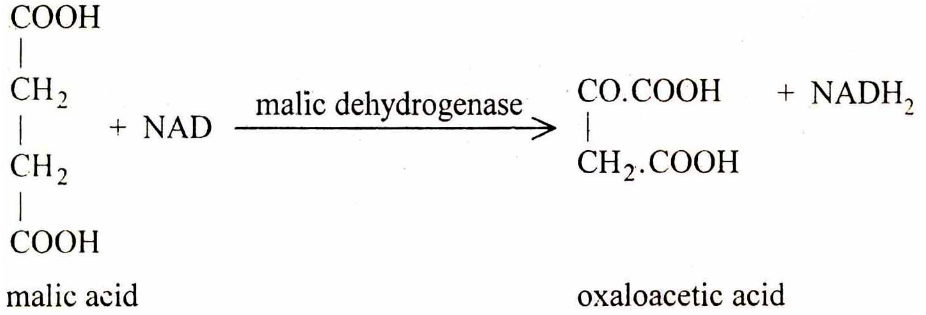
(vi) अगले चरण में सक्सिनिक अम्ल के ऑक्सीकरण से फ्यूमेरिक अम्ल (fumaric acid) का निर्माण होता है । लेकिन ऑक्सीकरण की इस क्रिया मे NAD के स्थान पर फ्लेविन ऐडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड (flavin adenine dinucleotide, FAD) हाइड्रोजन ग्राही का कार्य करता है । यह अभिक्रिया सक्सिनिक डिहाइड्रोजिनेज (succinic dehydrogenase) की उपस्थिति में होती है । $FADH_2$ इलेक्ट्रान अभिगमन तंत्र द्‌वारा पुन ऑक्सीकृत होकर ATP दो अणु देता है ।



(vii) फ्यूमेरिक अम्ल, जल के एक अणु से मिलकर मैलिक अम्ल (malic acid) बनाता है । यह क्रिया फ्यूमरेज (furmarase) एन्जाइम द्‌वारा उत्प्रेरित होती है ।



(viii) ऑक्सीकरण के अन्तिम चरण में ऑक्सेलोएसीटिक अम्ल (oxaloacetic acid) का पुनर्जनन (regeneration) होता है । मैलिक अम्ल, मैलिक डिहाइड्रोजिनेज (malic dehydrogenase) व NAD की उपस्थिति में ऑक्सीकृत होकर ऑक्सेलोएसीटिक अम्ल बनाता है ।



इस प्रकार क्रेब्स चक्र के द्वारा ऐसीटिल कोएन्जाइम-A का पूर्ण ऑक्सीकरण व ऑक्सेलोएसीटिक अम्ल का पुनर्जनन होता है (चित्र 8.4) ।

8.6.4 क्रेब्स चक्र के ऊर्जा सम्बन्ध (Energy Relations of Krebs Cycle)

क्रेब्स चक्र की अभिक्रियाएँ माइटोकॉन्ड्रिया के मैट्रिक्स में होती है । इसमें पाइरुविक अम्ल के दो अणुओं के पूर्ण ऑक्सीकरण में पाँच ऑक्सीकरण की व एक फॉस्फोरिलीकरण की क्रिया होती है इन अभिक्रियाओं से 30 ATP का शुद्ध लाभ होता है । इन क्रियाओं को निम्न प्रकार से दर्शाया गया है ।

1. **ऑक्सीकरण की क्रियाएँ** (Oxidation reactions) :

(i) Pyruvic acid (2 mols) $\xrightarrow{-2H}$ Acetyle coenzyme-A (2 mols)

2 NAD $\rightarrow$ 2 NADH

2 mol NADH $\times$ 3 ATP = 6 ATP

(ii) Isocitic acid (2 mols) $\xrightarrow{-2H}$ Oxalosuccinic acid (2 mols)

2 NAD $\rightarrow$ 2 NADH

2 mol NADX 3 ATP = 6 ATP

(iii) α - Ketoglutaric acid $\xrightarrow{-2H}$ Succinyl Co-A
(2 mols) (2 mols)

2 NAD $\rightarrow$ 2 NADH

2 mols NADH$\times$3ATP = 6 ATP

(iv) Succinic acid $\xrightarrow{-2H}$ Fumaric acid
(2 mols) (2 mols)

2 FAD $\rightarrow$ 2 $FADH_2$

2 mols $FADH_2\times$ 2 ATP = 4 ATP

(v) Malic acid $\xrightarrow{-2H}$ Oxaloacetic acid
(2 mols) (2 mols)

2 NAD 2 NADH

2 mols NADH$\times$3 ATP = 6 ATP

पाइरुविक अम्ल के दो अणुओं के ऑक्सीकरण से प्राप्त ऊर्जा = 28 ATP

2. **क्रियाधार स्तर के फॉस्फोरिलीकरण से प्राप्त ऊर्जा** (Energy Obtained through substrate level phosphoryylation) : क्रेब्स चक्र में इस प्रकार की केवल एक अभिक्रिया होती है इसमें सक्सिनाइल कोएन्जाइम -A के ऑक्सीकरण से GTP से बनता है।

Succinyl Co A $\xrightarrow{-GTP}$ Succinic acid
(2 mools) (2 mols)

2 mols $\times$ 1 GTP = 2 GTP = 2 ATP

अत : पाइरुविक अम्ल के दो अणुओं (अर्थात् ग्लूकोज के एक अणु) से

प्राप्त कुल ऊर्जा = 30 ATP

ग्लाइकोलाइसिस का शुद्ध लाभ = 8 ATP

इस प्रकार ग्लूकोज के एक अणु के वायवीय ऑक्सीकरण से प्राप्त ऊर्जा = 38 ATP

8.7 इलेक्ट्रान परिवहन तंत्र (Electron Transport System : ETS chain)

श्वसन मुख्य रूप से एक ऑक्सीकरण प्रक्रिया है । जिसमें ऑक्सीकरण मुख्यत : हाइड्रोजन के विस्थापन (dehydrogenation) से होता है । ऑक्सीकृत क्रियाधार से हाइड्रोजन युग्म का विस्थापन होता है और वह अपघटन द्वारा दो प्रोटोन व दो इलेक्ट्रॉन बनाता है । निष्कासित हाइड्रोजन, हाइड्रोजन ग्राही पदार्थों द्वारा ग्रहण कर ली जाती है । पाइरुविक अम्ल के ऑक्सीकरण में (क्रेब्स चक्र में) पाँच ऑक्सीकृत चरण है प्रत्येक चरण में हाइड्रोजन आयन तथा इलेक्ट्रॉन युग्म NAD के अपचयन में काम आते हैं तथा सक्सिनिक अम्ल से विस्थापित युग्म FAD द्वारा ग्रहण कर लिया जाता है ।

$$2H \rightarrow 2H^{+} + 2e^{-}$$

$$NAD^+ + 2H^+ + 2e^- \rightarrow NADH^+ + H^+ (NAHD_2)$$

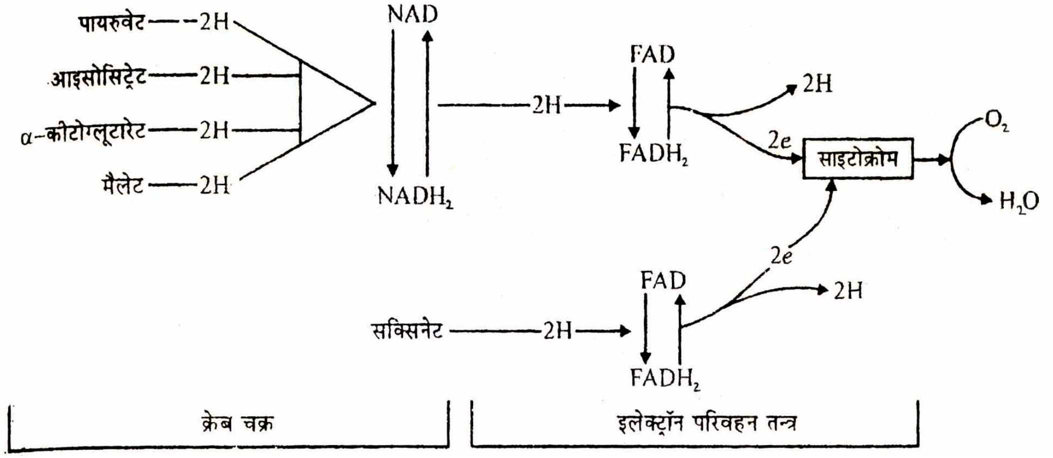
$$or\ FAD^+ + 2H^+ + 2e^- \rightarrow FADH_2$$

$NAHD_2$ व $FADH_2$ के ऑक्सीकरण से जल का निर्माण होता है ।

$$NAHD_2 \rightarrow NAD^+ + 2H^+ + 2e$$

$$2H^+ + 2e + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$$

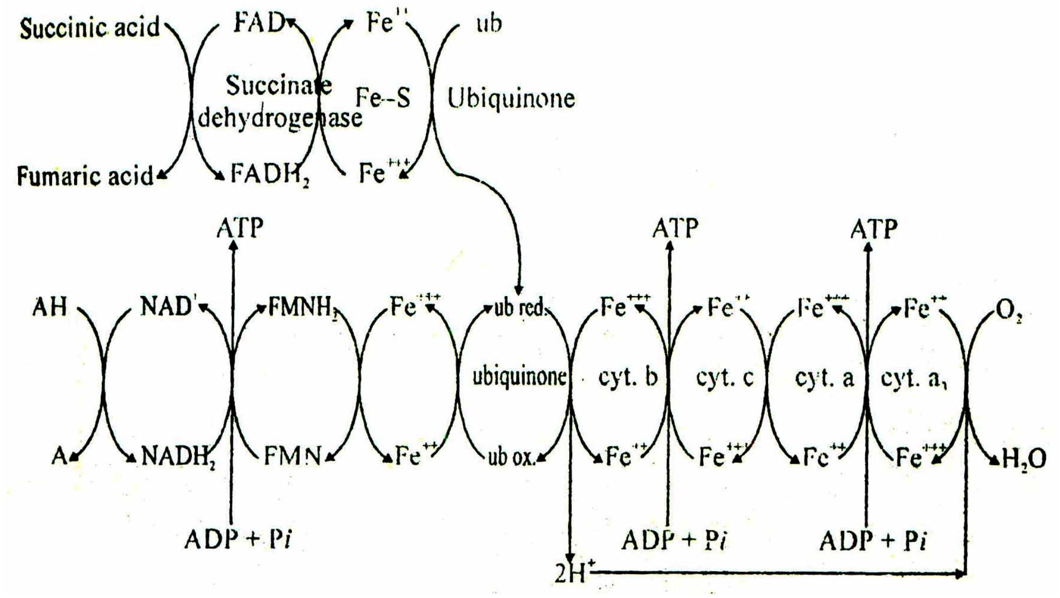
$NAHD_2$ या $FADH_2$ ऑक्सीजन से सीधे संयोजित नहीं होते हैं वास्तव में इन अपचायकों से इलेक्ट्रॉन वाहकों की एक श्रृंखला द्वारा ऑक्सीजन तक पहुँचते हैं । NADH व ऑक्सीजन अणुओं के बीच इलेक्ट्रॉन वाहकों की यह श्रृंखला इलेक्ट्रॉन परिवहन इलेक्ट्रॉन तंत्र (electron transport system) या इलेक्ट्रॉन परिवहन श्रृंखला (electron transport chain) कहलाती है। (चित्र 8.5) । इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र वस्तुत: एन्जाइम्स के अणुओं की श्रृंखला है माइटोकॉन्ड्रिया की भीतरी झिल्ली (innermembrance) में स्थित होता है तथा इसके फ्तोवोप्रोटीन (flovoprotein), को एन्जाइम या यूबीक्यूनोन (CoQ or udiquinone) व विभिन्न प्रकार के साइटोक्रोम (Cyta, Cyt b, Cyt c आदि) होते हैं (चित्र 8. 6) । इस श्रृंखला में एक एन्जाइम से दूसरे एन्जाइम को इलेक्ट्रेन के हस्तानान्तरण के दौरान काफी मात्रा में ऊर्जा विमुक्त होती है जो कि कुछ स्थानों पर ATP संश्लेषण के लिए पर्याप्त होती है । इस श्रृंखला में इलेक्ट्रान अभिगमन के दौरान ऊर्जा का विमोचन होता रहता है व अन्तत: दो इलेक्ट्रान व दो हाइड्रोजन आयन ऑक्सीजन के एक परमाणु से अभिक्रिया करके जल का एक अणु बनाते हैं ।



चित्र 8.5 : क्रेब्स चक्र के ऑक्सीकृत पद तथा इलेक्ट्रॉन परिवहन तन्त्र में सम्बन्ध

ETS में पहला हाइड्रोजन ग्राही (इलेक्ट्रॉन वाहक) फ्लेवो प्रोटीन (FMN) है । $NAHD_2$ से हाइड्रोजन ग्रहण कर FMN $FMNH_2$ में अपचयित हो जाता है तथा $NAHD_2$ ऑक्सीकृत (NAD) हो जाता है । अपचयित फ्लेवो प्रोटीन से ये इलेक्ट्रॉन तथा हाइड्रोजन आयन विभिन्न वाहकों से होते हुए साइटोक्रोम $a^3 (Cyta_3)$ तक पहुँचते हैं । ये वाहक अन्तत इलेक्ट्रॉन को ऑक्सीजन को स्थानान्तरित करते हैं । ऑक्सीजन हाइड्रोजन से संयोजित होकर जल का निर्माण

कर देती है । इस स्थानान्तरण के दौरान मुक्त ऊर्जा ADP व अकार्बनिक फॉस्फेट से संयुक्त होकर ATP का निर्माण करती है ।



चित्र 8.6 : इलेक्ट्रॉन परिवहन तन्त्र का निरूपण

$NAHD_2$ से FMN($NADH_2 \rightarrow FMN$) साइटोक्रोम b से साइटोक्रोम एवं साइटोक्रोम a से साइटोक्रोम a3 $(Cyta \rightarrow Cyta_3)$ के बीच इलेक्ट्रान स्थानान्तरण पर ATP का निर्माण होता है । इसी प्रकार $NADH_2$ के प्रत्येक अणु से 3ATP जबकि $FADH_2$ से ATP2 का निर्माण होता है । इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में सहकारको (cofactors) के ऑक्सीकरण के दौरान ATP संश्लेषण को ऑक्सीजन फॉस्फोरिलीकरण (oxidative phosphotylation) कहते हैं ।

सारणी 8 : ऑक्सी फॉस्फोरिलीकरण तथा प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण में अन्तर

(Difference between oxidative phosphorylation and Photophosphorylation)

ऑक्सीय फॉस्फोरिलीकरण (Oxidative Phosphorylation)	**प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Photophosphorylation)**
1. इस क्रिया के लिए प्रकाश की आवश्यकता नहीं होती है ।	1. इस क्रिया के लिए प्रकाश की आवश्यकता होती है ।
2. यह क्रिया सभी कोशिकाओं में होती है ।	2. यह केवल दीप्तमान हरित कोशिकाओं में होती है ।
3. यह क्रिया माइटोकॉन्ड्रिया में होती है ।	3. यह क्रिया क्लोरोप्लास्ट में होती है ।
4. यह क्रिया श्वसन के समय होती है ।	4. यह क्रिया प्रकाश संश्लेषण में होती है ।
5. इसमें आण्विक ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है ।	5. इसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है ।
6. इसमें इलेक्ट्रॉन परिवहन साइटोक्रोम तंत्र के	6. इलेक्ट्रॉन परिवहन PSI या PSI व PSII

माध्यम से होता है।	में होता है।
7. ATP निर्माण के लिए आवश्यक ऊर्जा कार्बनिक पदार्थों से में होता है ।	7. ATP निर्माण के लिए आवश्यक ऊर्जा सूर्य के विकिरण प्राप्त होती है प्राप्त होती है।
8. ATP का उपयोग विभिन्न उपापचयी (metabolic) क्रियाओं के लिए होता है ।	8. ATP का उपयोग कार्बन - डाइऑक्साइड के स्वांगीकरण में होता है ।
9. इस क्रिया में हाइड्रोजन व ऑक्सीजन की क्रिया से जल का निर्माण होता है ।	9. इस क्रिया में जल का प्रकाशीय अपघटन होता है ।

8.8 पाइरुविक अम्ल का अवायवीय विघटन (Anaerobic Breakdown of Pyruvic acid)

ग्लाइकोलाइसिस शीर्षक के अन्तर्गत, जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि इस चरण में ऑक्सीजन की आवश्यकता नहीं होती है । अतः यह वायवीय व अवायवीय दोनों श्वसन प्रक्रियाओं में सामान्य है । ऑक्सीजन की उपस्थिति में पाइरुविक अम्ल का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है और यह ब्रेक चक्र व इलेक्ट्रॉन परिवहन श्रृंखला द्वारा कार्बन - डाइऑक्साइड और जल में विघटित हो जाता है जिसका हम अध्ययन कर चुके हैं । परन्तु ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में पाइरुविक अम्ल का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है तथा इसे अवायवीय अथवा अनॉक्सी श्वसन कहते हैं । इस श्वसन में पाइरुविक अम्ल का किण्वन (fermentation) द्वारा इथाईल एल्कोहॉल या लैक्टिक अम्ल में अपघटन होता है ।

8.8.1 पाइरुविक अम्ल से इथाईल एल्कोहॉल का निर्माण (Formation of Ethyl Alcohol from Pyruvic Acid)

पाइरुविक अम्ल से एल्कोहॉल का निर्माण दो चरणों में होता है ।

प्रथम चरण में पाइरुविक अम्ल के विकार्बोक्सिलीकरण (decarboxylation) से एसीटेल्डिहाइड (acetaldehyde) बनता है यह क्रिया पाइरुविक डिकार्बोक्सिलेज (pyruvic decarboxylase) एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है । तथा इसमें co_2 का विमोचन होता है

$$\underset{Pyruvic\ acid}{CH_3CO.COOH} \xrightarrow[Mg^{++}]{pyruvic} \underset{\substack{acetaldehyde \\ (alcoholic\ dehydrogenase)}}{CH_3CHO + CO_2\uparrow}$$

दूसरे चरण में एल्कोहालिक डिहाइड्रोजिनेज (alcoholic degydrogenase) एन्जाइम की उपस्थिति में ऐसिटेल्डिहाइड अपचयित होकर इथाईल एल्कोहॉल का निर्माण करता है । इस अभिक्रिया में $NADH_2$ इलेक्ट्रॉन दाता का कार्य करता है (चित्र 8.7) ।

$$CH_3.CHO + NADH_2 \xrightarrow[dehydrogenase]{alcoholic} CH_3CH_2OH + NAD$$

Acetaldehyde ethylalcohol

एल्कोहॉलिक किण्वन यीस्ट (yeast) व कुछ अवायवीय जीवाणुओं बेसीलस बोट्रूलिनस (Bacillus botulinus) में सामान्य रूप से पाया जाता है ।

श्वसन की इस सम्पूर्ण क्रिया की निम्न समीकरण से दर्शाया जा सकता है:

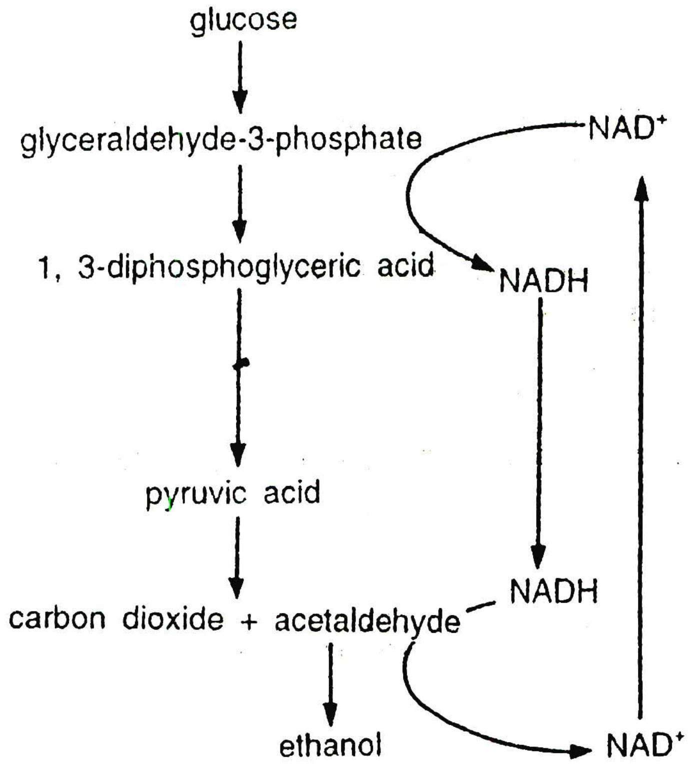
$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 energy(2ATP)$$

glucose ethyl alcohol

8.8.2 पाइरुविक अम्ल से लैक्टिक अम्ल का बनना (Formation of Lactic Acid from Pyruvic Acid)

यह क्रिया उच्च पादपों में नहीं पायी जाती है लेकिन कुछ जीवाणुओं लेक्टोबेसीलस (Lactobacillus), कवकों एवं प्राणी ऊतकों (माँसपेशियों) में पाई जाती है । अवायवीय परिस्थितियों में $NADPH_2$ द्वारा पाइरुविक अम्ल का अपचयन होता है जिसके फलस्वरूप लैक्टिक अम्ल का निर्माण होता है । यह क्रिया लैक्टिक डिहाइड्रोजिनेज (lactic dehydrogenase) एन्जाइम की उपस्थिति में होती है ।

$$\underset{pyruvic}{CH_3.CO + COOH + NADH + H^+} \xrightarrow{lactic\ dehydration} \underset{lactic\ acid}{CH_3CHOH.COOH + NAD}$$



चित्र 8.7 : किण्वन : ऐल्कोहॉलीय किण्वन (alcoholic fermentation)

8.8.3 अवायवीय श्वसन में ऊर्जा उत्पादन

(Energy Output in Anaerobic Respiration)

अवायवीय श्वसन में गलूक्रोज से ऐल्काहॉल अथवा लैक्टिक अम्ल निर्माण में केवल 2ATP ही, प्राप्त हैं I ग्लोइकोलाइसिल की कुल प्राप्ति 2ATP+2NADH$_2$ होती है लेकिन पाइरुविक अम्ल के डिहाइड्रोजिनेशन में 2NADH$_2$ का उपयोग हो जाता है अत: ग्लूकोज के एक अणु से अनॉक्सी श्वसन में कुल ऊर्जा प्राप्ति 2 ATP रहती है ।

8.9 श्वसन गुणांक (Respiratory Quotient)

श्वसन क्रिया में विभिन्न प्रकार के कार्बनिक पदार्थ जैसे : कार्बोहाइड्रेट, वसा, प्रोटीन का ऑक्सीकरण होता है ये पदार्थ अलग- अलग स्तर तक ऑक्सीकृत होते हैं । अत: विभिन्न क्रियाधारों के ऑक्सीकरण के लिए आवश्यक ऑक्सीजन की मात्रा व इस क्रिया में विमुक्त कार्बन-डाइऑक्साइड की मात्रा उनके ऑक्सीकरण स्तर पर निर्भर करती है । श्वसन में मुक्त कार्बन-डाइऑक्साइड तथा अवशोषित ऑक्सीजन के आयतन के अनुपात को श्वसनगुणांक (respiratory quotient,RQ) कहते हैं ।

$$\text{श्वसन गुणांक (RQ)} = \frac{\text{विमुक्त कार्बन डाइऑक्साइ का आयतन}}{\text{अवशोषित ऑक्सीजन का आयतन}}$$

कार्बोहाइड्रेट्स का श्वसन गुणांक (R.Q। of Carbohydrates) : पौधों के अधिकांश अंगों में कार्बोहाइड्रेट्स प्रमुख श्वसनाधार होते हैं, जैसे अंकुरित बीज, पत्तियाँ, पुष्प तथा फलों में इसकी मात्रा अधिक होती है । सभी प्रकार के कार्बोहाइड्रेट्स का पहले हेक्सोज में परिवर्तन होता है जो श्वसनाधार का कार्य करता है । इनके पूर्ण ऑक्सीकृत होने पर अवशोषित ऑक्सीजन की मात्रा विमुक्त कार्बन -डाइऑक्साइड के समान होती है । अत: इसका श्वसन गुणांक हमेशा एक होता है।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

$$\text{कार्बोहाइड्रेट का R.Q} = \frac{CO_2}{O_2} = \frac{6CO_2}{6O_2} = 1$$

सैद्धांतिक रूप से कार्बोहाइड्रेट का श्वसन गुणांक एक होता है परन्तु व्यवहार में यह एक से कम या अधिक भी हो सकता है ।

कम ऑक्सीजन उपलब्धता पर वायवीय श्वसन के साथ -साथ अवायवीय श्वसन भी होने लगता है ऐसी स्थिति में अवशोषित ऑक्सीजन की तुलना में विमुक्त कार्बन -डाई - ऑक्साइड का आयतन अधिक होता है अत: श्वसन गुणांक का मान एक से अधिक हो जाता है । इसके अतिरिक्त निम्न परिस्थितियों में श्वसन गुणांक का मान एक से कम या अधिक हो सकता है

(i) यदि कार्बोहाइड्रेटस का पूर्ण ऑक्सीकरण न हो पाए ।

(ii) यदि श्वसन में विमुक्त CO$_2$ का उपयोग कोशिकाओं द्‌वारा अन्य उपापचयी क्रियाओं में कर लिया जाये तथा

(iii) यदि अवशोषित ऑक्सीजन का उपयोग पूर्ण रूप से श्वसन में न होकर किसी अन्य प्रक्रिया में हो ।

वसा का श्वसन गुणांक (R.Q. of Fats) : वसा मुख्य रूप से तेलीय बीजों में संग्रहित होते हैं तथा बीजों के अकुरण के समय श्वसन के क्रियाधार का कार्य करते हैं । वसा के अणु में ऑक्सीजन की मात्रा कार्बोहाइड्रेट्स की तुलना में कम होती है इसलिए इनके पूर्ण ऑक्सीकरण के लिए अधिक ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है । इसी कारण वसा का श्वसन गुणांक एक से कम होता है ।

$$C_{18}H_{34}O_2 + 25.5O_2 \longrightarrow 18CO_2 + 17H_2O$$

olic acid

$$RQ = \frac{18\,Vol\ of\ Co_2}{25.5Vol\ of\ O_2} = 0.71$$

$$C_{51}H_{98}O_6 + 145O_2 \longrightarrow 102CO_2 + 98H_2O$$

$$RQ = \frac{102\,Vol\ of\ Co_2}{145\,Vol\ of\ O_2} = 0.7$$

$$C_{57}H_{104}O_6 + 83O_2 \longrightarrow 57CO_2 + 52H_2 0$$

Triolein fat

$$RQ = \frac{57\ Vol\ of\ Co_2}{83\ Vol\ of\ O_2} = 0.7$$

कुछ सरल वसा अम्लों जैसे एसीटिक अम्ल) में ऑक्सीजन की मात्रा लगभग कार्बन के बराबर होती है । इनके ऑक्सीकरण से विमुक्त CO_2 की मात्रा अवशोषित O_2 के बराबर होती है अत: श्वसन गुणांक कार्बोहाइड्रेट्स के समान एक होता है ।

$$CH_2COOH + 2O_2 \longrightarrow 2CO_2 + 2H_2O$$

$$RQ = \frac{2Vol\ of\ Co_2}{2\ Vol\ of\ O_2} = 1$$

प्रोटीन का श्वसन गुणांक (R.Q of Protein) : प्रोटीन युक्त बीजों में प्रोटीन तथा अमीनों अम्ल मुख्य श्वसन के क्रियाधार होते हैं । पौधों के अन्य भागों में प्रोटीन का उपयोग श्वसनाधार के रूप में तभी प्रयुक्त होता है जब कार्बोहाइड्रेट्स तथा वसा उपलब्ध न हों । वसा के समान प्रोटीन में भी कार्बन की मात्रा ऑक्सीजन की अपेक्षा बहुत अधिक होती है इसलिए इनके पूर्ण ऑक्सीकरण के लिए अधिक ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है इसी कारण प्रोटीन का श्वसन गुणांक भी वसा की तरह एक से कम होता है । प्रोटीन का श्वसन गुणांक सामान्यत: 0.79 के आसपास होता है ।

कार्बनिक अम्लों का श्वसन गुणांक (R.Q of Organic Acids) : कुछ माँसलोद्भिद् (succulents) पादपों जैसे नागफनी (opluntia) तथा क्रेस्यूलेसी (crussulaceae) कुल के पौधों में कार्बनिक अम्ल श्वसनाधार होते हैं । कार्बनिक अम्लों में ऑक्सीजन की मात्रा कार्बन की तुलना में अधिक होती है अत: इन पदार्थों के ऑक्सीकरण में अपेक्षाकृत कम ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है एवं अधिक मात्रा में CO_2 विमुक्त होती है । इसलिए इनका श्वसन गुणांक एक से अधिक होता है ।

उदाहरण : नीचे कुछ कार्बनिक अम्लों का श्वसन गुणांक समीकरण द्वारा समझाया गया है :

$$\left(COOH\right)_2 + O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

oxalic acid

$$RQ = \frac{4\ Vol\ Co_2}{1\ Vol\ O_2} = 4$$

$$C_6H_8O_7 + 9.O_2 \longrightarrow 12CO_2 + 8H \backslash O$$

citric acid

$$RQ = \frac{12\ Vol\ Co_2}{9\ Vol\ O_2} = 1.33$$

$$C_4H_6O_5 + 3O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 3H_2O$$

malic acid

$$RQ = \frac{4\ Vol\ Co_2}{3\ Vol\ O_2} = 1.33$$

$$2C_4H_6O_5 + 5O_2 \longrightarrow 8CO_2 + 6H_2O$$

trtaric acid

$$RQ = \frac{8\ Vol\ Co_2}{5\ Vol\ O_2} = 1.6$$

अवायवीय श्वसन करने वाले ऊतकों का श्वसन गुणांक (R.Q. of Tissues Respiring Anaerobically) :

अवायवीय श्वसन क्रिया में ऑक्सीजन का उपयोग नहीं होता परन्तु कार्बन - डाइऑक्साइड का विमोचन होता है अत: इनका श्वसन गुणांक एक से अधिक होता है ।

$$C_6H_{12}O_5 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

glucose   ethyl alcohol

$$RQ = \frac{2\ Vol\ of\ Co_2}{O\ Vol\ O_2} = \frac{2}{O} = \infty \inf inite$$

8.10 श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक (Factors affecting Respiration)

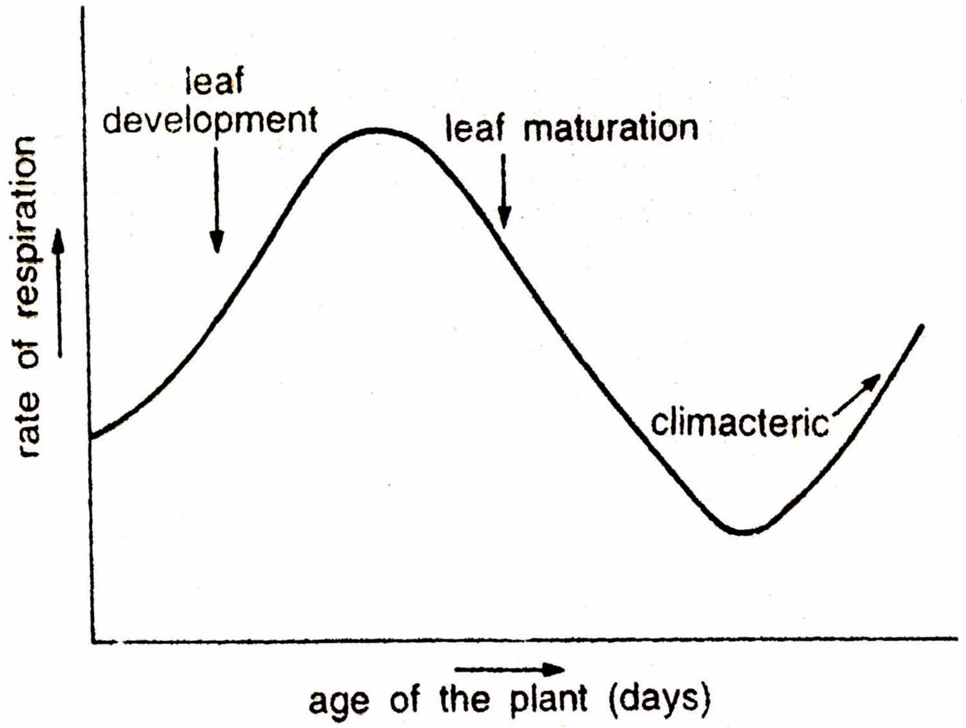
श्वसन एक एन्जाइमी ऑक्सीकारी क्रिया है अन्य उपापचयी क्रियाओं की तरह यह भी विभिन्न आंतरिक व बाह्य कारकों से प्रभावित होती है । श्वसन दर पौधे की विभिन्न वृद्धि अवस्थाओं तथा बाह्य कारकों जैसे, ऑक्सीजन, ताप, जल प्रकाश आदि से प्रभावित होती है । इसे प्रभावित करने वाले कारकों को दो वर्गों आंतरिक व बाह्य कारकों में बाँटा गया है ।

8.10.I. आन्तरिक कारक (Internal Factor)

(1) **जीवद्रव्य (protoplasm) :** श्वसन की दर कोशिका में उपस्थित जीवद्रव्य की मात्रा व गुणों (quantity and qunality) पर निर्भर करती है । युवा विभज्योतकी ऊतकों (young

meristematic tissues) की कोशिकाओं में जीवद्रव्य परिपक्व कोशिकाओं की तुलना में अधिक सघन व सक्रिय होता है अत: उनमें श्वसन दर अधिक होती है । परिपक्व कोशिकाओं में बड़ी रिक्तिकाओं की उपस्थिति व स्थूलन के कारण जीवद्रव्य की मात्रा कम होती है इसलिए उन में श्वसन दर कम होती है ।

सामान्यत: पादप अंगों का वृद्धि के दौरान श्वसन दर में वृद्धि होती है जो कि परिपक्वता तक बढ़ती है पूर्णत: परिपक्व पत्ती में श्वसन दर अधिकतम होती है । परिपक्वन के पश्चात् धीरे-धीरे श्वसन दर में निरन्तर कमी होने लगती है (चित्र 8.8.) ।



चित्र 8.8 : श्वसन : पत्ती के विकास की विभिन्न प्रवस्थाओं पर श्वसन में परिवर्तन

(2) **क्रियाधारों की सान्द्रता (Concentration of Respiratory Substrates) :** कोशिकाओं में उपलब्ध श्वसनीय पदार्थों की मात्रा (यदि कोई अन्य सीमाकारी कारक न हो तो) श्वसन दर को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करती है । प्रकाश में रखे पौधों की पत्तियों में प्रकाश संश्लेषण द्वारा शर्करा बनने के कारण श्वसन दर तीव्र होती है । इसके विपरीत लम्बे समय तक अंधेरे में रखे पौधे की पत्तियों में क्रियाधारों की कमी के कारण श्वसन दर मंद होती है । ऐसी पत्तियों को शर्करा के तनु विलयन में रखने पर श्वसन में तीव्र वृद्धि होती है । इस प्रकार श्वसनी क्रियाधारों की उपलब्धता श्वसन दर को सीधे प्रभावित करती है ।

8.10 II. बाह्य कारक (External Factor)

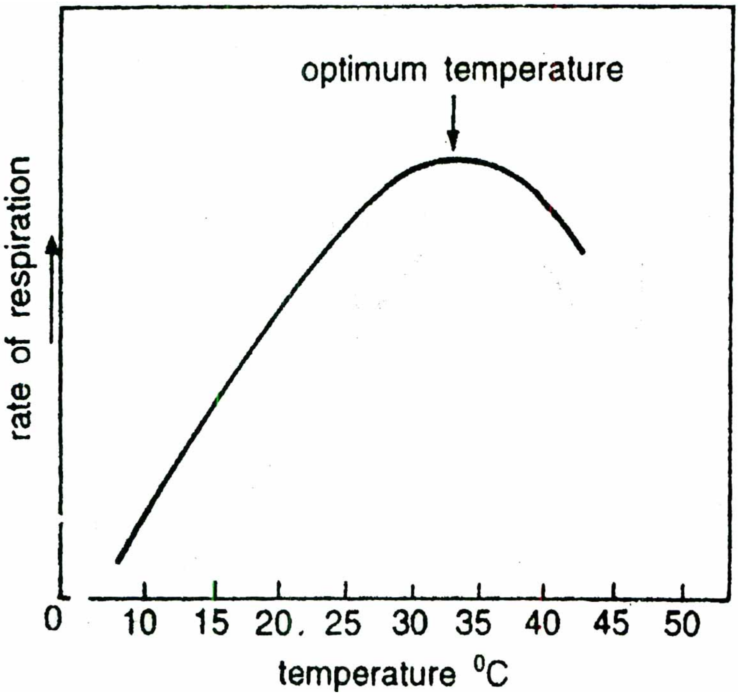
1. **तापमान (Temperature):** अन्य उपापचयी क्रियाओं की भांति श्वसन दर भी तापमान से प्रभावित होती हैं । सामान्यत: तापमान 350 तक बढ़ने पर श्वसन दर में लगातार वृद्धि होती

है (चित्र 8.9) । इस सीमा के अन्तर्गत तापमान में प्रति 10° वृद्धि से श्वसन दर दुगुनी हो जाती है । ये वान्ट होफ के नियम (Vont Hoffs rule) के अनुसार होती है ।

35° C से अधिक तापमान होने पर ऊष्मा के कारण एन्जाइम धीरे - धीरे विकृत (denatured) होने लगते हैं, जिससे श्वसन दर भी मद होने लगती है (चित्र 8.9) । मेयर एवं ऐन्डरसन (Meyer and Anderson, 1952) के अनुसार तापमान 35° अधिक होने पर श्वसन दर निम्नलिखित कारणों से कम हो सकती है :

(1) अधिक तापमान पर ऑक्सीजन की जल में विलेयता तथा विसरण (solubility and diffusion) कम हो जाती है जिससे यह कोशिका में सरलता से नहीं पहुँच पाती है ।

(2) उच्च तापमान पर CO_2 की सान्द्रता बढ़ने लगती है जो श्वसन दर को संदमित (inhibit) करती है ।



चित्र 8.9 : श्वसन : तापमान का श्वसन की क्रिया पर प्रभाव

(3) अधिक तापमान पर प्रकाश संश्लेषण दर कम हो जाती है जिससे क्रियाधारों का उपलब्धता कम हो जाती है ।

2. **प्रकाश (Light) :** श्वसन की क्रिया प्रकाश व अंधकार दोनों अवस्थाओं में समान रूप से जारी रहती है अत: यह कहा जा सकता है कि प्रकाश का श्वसन पर कोई प्रत्यक्ष (direct) प्रभाव नहीं पड़ता है। परन्तु प्रकाश श्वसन क्रिया पर निम्न प्रकार से परोक्ष रूप से प्रभाव डालता है:

(1) प्रकाश की उपस्थिति में पत्तियाँ प्रकाश संश्लेषण द्वारा कार्बनिक पदार्थो (श्वसन क्रियाधारों) का निर्माण करती है जिससे श्वसन क्रियाधारों की उपलब्धता बनी रहती है और श्वसन की दर बढ़ती है ।

(2) प्रकाश की उपस्थिति में रन्ध्र खुले रहते हैं, अत: पौधे से गैसों का विनिमय (exchange) सुगमता व तीव्रता से होता रहता है तथा श्वसन दर तेज होती है ।

(3) प्रकाश की उपस्थिति में जटिल कार्बोहाइड्रेट का घुलनशील शर्कराओं में परिवर्तन प्रेरित होता है जिससे ऑक्सीकरण क्रिया आसानी से होती है ।

(4) प्रकाश से तापमान में वृद्धि होती है जिससे श्वसन दर बढ़ती है ।

प्रकाश की तीव्रता के अलावा प्रकाश की किस्म भी श्वसन दर को प्रभावित करती है लाल प्रकाश इस क्रिया को तीव्र जबकि नीला प्रकाश इसे मंद करता है ।

3. **ऑक्सीज़न (Oxygen) :** कोशिकाओं में वायवीय श्वसन ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता है तथा अनुपस्थिति में अवायवीय श्वसन या किण्वन क्रिया होती है । अत: ऑक्सीजन की उपस्थिति या अनुपस्थिति श्वसन क्रिया का प्रकार निर्धारित करती हैं ।

इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में अपचयित हाइड्रोजन ग्राहियों के ऑक्सीकरण में ऑक्सीजन इलेक्ट्रॉन ग्राही का कार्य करती है । यह तंत्र ऑक्सीजन बंधुता (affinity) दर्शाता है इसलिए ऑक्सीजन की कम सान्द्रता पर भी कार्यशील रहता है । ऑक्सीजन की वायुमण्डल में सामान्य सान्द्रता 21% होती है । ऐसा देखा गया है कि अधिकांश ऊतकों में 3 से 20% ऑक्सीजन सान्द्रता के बीच श्वसन की दर लगभग समान रहती है । परन्तु O_2 की अधिक सान्द्रता होने पर श्वसनी क्रियाधार एवं एन्जाइम ऑक्सीकृत हो जाते हैं जिसके फलस्वरूप श्वसन दर कम हो जाती है ।

ऑक्सीजन की वह न्यूनतम सान्द्रता जिस पर वायवीय श्वसन हो सकता है विलोप बिन्दु (extinction point) कहलाता है । इस बिन्दु पर ऑक्सी व अनॉक्सी दोनों श्वसन साथ - साथ होते रहते हैं इस स्थिति में वायवीय श्वसन की दर कम परन्तु श्वसन गुणांक (R.Q) का मान इकाई से अधिक होता है । यदि 2 पूर्णत : अनुपलब्ध हो तो कोशिकाओं में-केवल अनॉक्सी श्वसन होने लगता है व श्वसन गुणांक का मान अनन्त (infinite) हो जाता है ।

4. **कार्बन-डाइऑक्साइड (Carbon -dioxide) :** वायुमण्डल में कार्बन -डाईऑक्साइड की सान्द्रता बढ़ने से श्वसन की दर कम हो जाती है । जिस मिट्टी में वातन (aeration) अच्छा नहीं होता उसमें सूक्ष्म जीवों तथा जड़ों के निरन्तर श्वसन से CO_2 की सान्द्रता बढ़ जाती है । इसके कारण जड़ की वृद्धि कम होती है तथा जल व खनिजों का अवशोषण भी कम हो जाता है । ऐसी मिट्टी में बीजों का अंकुरण भी संदमित होता है ।

वायुमण्डल में CO_2 की सान्द्रता रन्ध्रों की गति को प्रभावित करती है । इसकी उच्च सान्द्रता पर अधिकांश पादपों में रन्ध्र बंद हो जाते हैं । इसके विपरीत कम सान्द्रता पर खुल जाते हैं । चूकि पौधों में गैसों का विनिमय मुख्य रूप से रन्ध्रों द्वारा होता है अत; CO_2 की अधिक सान्द्रता पर CO_2 रन्ध्रों के बंद होने के कारण श्वसन दर कम हो जाती है ।

CO_2 की उच्च सान्द्रता पर श्वसन दर कम होने के कारण फलों को ऐसे वातावरण में रखा जाता है जहाँ CO_2 की सान्द्रता अधिक हो ताकि ऐसी स्थिति में सुषुप्तावस्था (dormancy) की अवधि को बढ़ाया जा सके ।

5. **जल (Water) :** सामान्यत: प्रकृति में पौधों को जल पर्याप्त मात्रा में उपलब्ध होता है अत: इसका श्वसन पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है परन्तु पौधों में जल की कमी होने पर श्वसन दर भी कम हो जाती है । उदाहरण के लिए सूखे बीजों में श्वसन की दर पत्ती की कमी के कारण बहु त कम होती है परन्तु अंकुरण के समय जब बीज जल अवशोषित कर लेते हैं तो श्वसन की दर भी तेज हो जाती है, जल की उपस्थिति में संग्रहित कार्बोहाइड्रेट स्टार्च अपघटित होकर घुलनशील +शर्करा में परिवर्तित हो जाता है, जिनका श्वसन में ऑक्सीकरण होता है ।

   जल श्वसन के लिए अनिवार्य कारक है क्योंकि.

   (1) इसकी उपस्थिति में ये श्वसन को उत्प्रेरित करने वाले एन्जाइमों की सक्रिय बनी रहती है।

   (2) यह कोशिकाओं को स्फीत रखता है, तथा

   (3) यह ऑक्सीजन को जीवद्रव्य में मिलाने का माध्यम है ।

6. **क्षति (Injury) :** क्षतिग्रस्त (injured) ऊतकों में श्वसन की दर कुछ समय के लिए बढ़ जाती है । हॉपकिन्स (Hopkins, 1927) के अनुसार क्षतिग्रस्त पादप ऊतकों में शर्करा की सान्द्रता तेजी से बढ़ती है । चूकि ऐसे ऊतकों को क्षतिपूर्ति के लिए अधिक ऊर्जा श्वसन से प्राप्त होती है अत: इसी कारण इनमें शर्करा की सान्द्रता में वृद्धि होती है ।

7. **यांत्रिक प्रभाव (Mechanical effect) :** ओड्स (Oodus, 1946)के अनुसार यांत्रिक उद्दीपन से जैसे पतियों को रगड़ने अथवा मोड़ने से श्वसन दर में 20% 180% तक वृद्धि देखी गई है । इस प्रकार श्वसन दर में होने वाली वृद्धि कुछ दिनों तक बनी रहती है । परन्तु यांत्रिक उद्दीपन क निरन्तर कई दिनों तक किसी आ। को दिये जाने पर उसका उद्दीपक प्रभाव (stimulatory effect) समाप्त हो जाता है ।

8. **रासायनिक संदमक (Chemical Inhibitors) :** अनेक रासायनिक पदार्थों का श्वसन क्रिया पर संदमक प्रभाव देखा गया है । ये पदार्थ मुख्यत: दो प्रकार के होते हैं ।

   (i) एन्जाइम संदमक (Enzyme inhibitors) सायनाइड (cyanides), एजाइड (azides), कार्बन मोनोऑक्साइड (CO), आयोडोएसीटेट (iodoacetate) आदि रासायनिक पदार्थ विभिन्न उपापचयी क्रियाओं के उपयोगी एन्जाइमों की सक्रियता को कम करते हैं ।

   (ii) संवेदनहारी पदार्थ (Anaesthetic substances) : क्लोरोफार्म (chloroform), ईथर (ether), एसीटोन (acetone), फॉर्मेल्डिहाइ (formaldehyde), ग्लूकोसाइडस (glucosides) आदि हालांकि सूक्ष्म मात्रा में श्वसन क्रिया को उद्दीपित करते हैं परन्तु इनकी अधिक मात्रा से श्वसन दर में तेजी से गिरावट आती है ।

9. **अकार्बनिक लवण (Inorganic salt):** अकार्बनिक लवणों की अधिकता में श्वसन दर तेज होती है । जब किसी पौधे को जल या तनु लवण विलयन से अधिक सान्द्रता के विलयन में स्थानान्तीरत किया जाता है तो उनकी श्वसन दर सामान्य की तुलना में तेज हो जाती है । इसे 'लवण श्वसन' (salt respiration) कहते हैं ।

10. **प्रदूषक (Pollutants) :** कैडमीयम (Cadmium), लैड (lead), तथा अन्य भारी खनिज तत्वों का श्वसन पर संदमक प्रभाव होता है । इसके अतिरिक्त SO_2,NO तथा ओजोन (O_3) आदि कम सान्द्रता पर श्वसन दर को बढ़ाते हैं लेकिन इनकी उच्च सान्द्रता से श्वसन पर सदमक प्रभाव (inhibitory effect) पड़ता है ।

बोध प्रश्न

अतिलघुत्तरीय प्रश्न (Very Short Answer type Questions)

1. EMP' पथ के अन्तिम उत्पाद का नाम बताइये ।

   ....

2. कोशिका की ऊर्जा इकाई क्या है?

   ....

3. कोशिका के कि भाग में क्रेब्स चक्र पूर्ण होता है?

   ....

4. श्वसन में विमुक्त CO_2 व अवशोषित O_2 के आण्विक अनुपात को क्या कहते हैं?

   ....

5. यदि आप (i) ऑक्सी जीव (ii) एक अनॉक्सी यीस्ट कोशिका तथा (iii) लैक्टिक अम्ल जीवाणु को पाइरुविक अम्ल दें, तो प्रत्येक दशा में अन्तिम उत्पाद क्या होगा?

   ....

6. क्रेब्स चक्र का दूसरा नाम क्या है?

   ....

7. किन्हीं दो श्वसनीय को- एन्जाइमों के नाम बताइये ।

सत्य या असत्य कथन बताइये (True or False Statement)

1. श्वसन में हाइड्रोजन ग्राही NAD है जबकि प्रकाश संश्लेषण में NADP होता है।

   ....

2. जब यीस्ट मदिरा का निर्माण करती है एसिटाइल को -एन्जाइम - A । निर्मित नहीं होता है ।

   ....

3. यूकेरियोटिक कोशिका में ग्लाइकोलाइसिस प्रक्रिया माइटोकॉन्ड्रिया में तथा प्रोकेरियोटिक कोशिका में कोशिका द्रव्य में सम्पन्न होती है ।

   ....

4. इलेक्ट्रॉन परिवहन श्रृंखला अणुओं का एक समूह है जो माइटोकॉन्ड्रिया के मैट्रिक्स में स्थित होता है ।

   ....

5. अंकुरित वसीय बीजों में श्वसन गुणांक का मान एक से कम होता है ।

....

रिक्त स्थानों का कीजिए (Fill in the blanks)

1. प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण क्रिया............में जबकि ऑक्सीकारी फॉस्फोरिलीकरण क्रिया................. में होती है ।
2. ग्लूकोज के एक अणु के ग्लाइकोलाइसिस से.................... व........................ अणुओं का शुद्ध लाभ होता है ।
3. ऑक्सी श्वसन के तीन चरण हैं.....................,.......................... व...।
4. ऑक्सी श्वसन में ATP का उत्पादन मुख्य रूप से ....में होता है ।
5. यदि एक पौधा अनॉक्सी श्वसन कर रहा है, को आप ऑक्सीजन उपलब्ध करा दें तो यह माइटोकॉन्ड्रिया में ATP निर्माण .... देगा ।
6. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में प्रोटोनों का अन्तिम ग्राही........................ है ।
7. यदि श्वसन क्रियाधार वसा है तो श्वसन गुणांक एक से..,........ होता है।
8. प्रोकेरियेटिक कोशिका में, प्रति ग्लूकोज अणु के ऑक्सीकरण से............. ATP अणु निर्मित होते हैं ।

8.11 सारांश (Summary)

श्वसन एक अपचयी (catabolic) क्रिया है जो कि सभी जीवित कोशिकाओं में सम्पन्न होती है । इस क्रिया में जटिल कार्बनिक पदार्थों के ऑक्सीकरण से सरल कार्बनिक पदार्थ बनते हैं ।

इस क्रिया में श्वसन क्रियाधार ग्लूकोज, प्रोटीन वसा व अन्य भोज्य पदार्थ तथा ऑक्सीजन होते हैं । इस क्रिया में रासायनिक पदार्थो में संचित ऊर्जा का ऑक्सीकरण द्वारा विमोचन होता है ।

श्वसन क्रिया तीन चरणों में सम्पादित होती है - (i) ग्लाइकोलाइसिस (ii) पाइरुविक अम्ल का विघटन तथा (iii) क्रेब्सचक्र या TCA चक्र।

ग्लाइकोलाइसिस की क्रिया कोशिका द्रव्य में जबकि क्रेब्स चक्र माइटोकॉन्ड्रिया में सम्पादित होते हैं । ऑक्सीजन की उपलब्धता होने या न होने के आधार पर श्वसन दो प्रकार का होता है- (i) ऑक्सी या वायवीय श्वसन (ii) अनॉक्सी या अवायवीय श्वसन ।

इस क्रिया में ऑक्सीजन का अवशोषण तथा कार्बन-डाइऑक्साइड का विमोचन होता है ।

ATP संश्लेषण की प्रक्रिया दो प्रकार से होती है ।

प्रकाश की उपस्थिति में होने वाली क्रिया को प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं तथा यह क्लोरोप्लास्ट में होती है ।

आण्विक ऑक्सीजन की उपस्थिति में ATP संश्लेषण प्रक्रिया ऑक्सीय फॉस्फोरिलीकरण कहलाती है तथा यह माइटोकॉन्ड्रिया में सम्पन्न होती है ।

श्वसन में मुक्त को CO_2 व अवशोषित के आयतन के अनुपात को श्वसन गुणांक (Respiratory Quotient) कहते हैं यह कार्बोहाइड्रेट्स में इस का मान एक, परन्तु प्रोटीन व वसा में एक से कम होता है ।

श्वसन की प्रक्रिया विभिन्न आंतरिक व बाह्य कारकों से प्रभावित होती है । तापमान, ऑक्सीजन की सान्द्रता, कार्बन-डाइऑक्साइड की सान्द्रता व जल श्वसन को प्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं।

8.12 शब्दावली (Glossary)

ऑक्सी श्वसन (Aerobic respiration) : ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने वाली श्वसन की सामान्य विधि । जिसमें कार्बनिक पदार्थों के पूर्ण ऑक्सीकीण से CO_2 व O_2 का निर्माण होता है।

अनॉक्सी श्वसन (Anaerobic respiration) : ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में कार्बनिक पदार्थो का अपघटन जिसमे कार्बनिक पदार्थो के अपूर्ण ऑक्सीकरण से CO_2 व एथिल ऐल्कोहॉल का निर्माण होता है ।

8.13 सन्दर्भ ग्रन्थ

1. Pandey , S.N and Sinha, B.K. 2000,Plant physiology,Vikas publishing House Pvt. Ltd. New Delhi
2. सक्सेना, एन. बी. वर्मा, एम. एल. एवं - चौधरी, बी. एल. 1998, पादप कार्यिकी, एवं, जैव रसायन, अल्का पब्लिकेशन्स,अजमेर ।
3. सिंह, वी. पाण्डे, पी. सी. एवं जैन डी. के. 2002 - 03, पादप शरीर -क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स,शिवाजी रोड़, मेरठ.
4. त्रिवेदी पी. सी. शर्मा, निरंजन एवं धनखड़, आर. एस. 2004 - 05, पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर ।

8.14 बोध प्रश्नों के उत्तर

अतिलघुउत्तरीय प्रश्न

1. पाइरुविक अम्ल
2. ATP
3. माइटोकॉन्ड्रिया
4. श्वसन गुणांक
5. CO,H_2O (ii) इथाइल ऐल्कोहॉल (iii) लैक्टिक अम्ल
6. ट्राई कार्बोक्सिलिक एसिड (TCA चक्र)
7. TPP,C_0A

सत्य व असत्य कथन बताइये

1.सत्य 2. सत्य 3. असत्य 4. असत्य 5. सत्य

रिक्त स्थानों की पूर्ति कीजिए

1. क्लोरोप्लास्ट, माइटोकॉन्ड्रिया
2. $2ATP, 2NADH_2$
3. ग्लाइकोलाइसिस, क्रेब्स चक्र व इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र
4. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र
5. बढ़ा
6. ऑक्सीजन
7. कम
8. 2

8.15 अभ्यासार्थ प्रश्न

लघुत्तरात्मक प्रश्न (Short Type Questions)

1. ऑक्सी श्वसन की तुलना में अनॉक्सी श्वसन में कम ऊर्जा उत्पन्न होती है, क्यों?
2. पाइरुविक अम्ल का ऑक्सी व अनॉक्सी अवस्था में अपघटन किस प्रकार होता है?
3. श्वसन गुणांक से क्या तात्पर्य है? कार्बनिक अम्लों का श्वसन गुणांक बताइये ।
4. तेलीय बीजों के परिपक्वन के समय तथा उनके अंकुरण के समय श्वसन गुणांक का मान क्या होता है?
5. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र का क्या कार्य है? यह किस प्रकार कार्य करता है तथा संचालन के लिए किस स्रोत से अपचायक शक्ति प्राप्त करता है?
6. प्रकाश संश्लेषण व श्वसन में अन्तर बताइए ।

निबन्धात्मक प्रश्न (Essay Type Questions)

1. ग्लाइकोलाइसिस की विभिन्न अभिक्रियाओं तथा इसके ऊर्जा सम्बन्धों का विस्तार से वर्णन कीजिये ।
2. पाइरुविक अम्ल का वायवीय विघटन किस प्रकार होता है? इस प्रक्रिया में विमुक्त ऊर्जा का भी विवरण दीजिए । 3. क्रेब्स चक्र का विस्तार से वर्णन कीजिए
3. इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र क्या है? विस्तार से वर्णन कीजिए ।
4. श्वसन को प्रभावित करने वाले विभिन्न बाह्य व आंतरिक कारकों का वर्णन कीजिए ।
5. अवायवीय श्वसन किन परिस्थितियों में होता है? इस प्रक्रिया में प्राप्त होने वाले उत्पाद क्या हैं?

इकाई 9 : नाइट्रोजन उपापचय (Nitrogen Metabolism)

इकाई की रूपरेखा (Structure of unit)

9.0 उद्देश्य (Aim)

9.1 प्रस्तावना (Introduction)

9.3 नाइट्रोजन स्थिरीकरण : नाइट्रोजनके स्रोत (Nitrogen Fixation: Sources of Nitrogen)

9.2.1 भौतिक या अजैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण (Physical or Non-biological N-Fixation)

9.2.3 असहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण (Non-symbiotic N-Fixation)

9.2.4 सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण (Symbiotic N-Fixation)

9.2.5 मूल ग्रन्थियाँ-निर्माण एवं महत्व (Root Nodules-Formation and Importance)

9.3 नाइट्रोजिनेज : एन्जाइम सम्मिश्र (Nitrogenase Enzyme Complex)

9.3.1 आण्विक नाइट्रोजनका अपचयन (Reduction of Molecular Nitrogen)

9.3.2 नाइट्रेटोंका अपचयन (Reduction of Nitrates)

9.3.3 नाइट्रेटीग्डक्टेज (नाइट्रोजिनेज एन्जाइम सम्मिश्र का महत्व एवं नियमन (Importance of Nitrate Reductase and its Regulation)

9.3.4 आनुवांशिकी अभियान्त्रिकी (Genetic Engineering)

9.3.5 नाइट्रोजन स्थिरीकरण की जैव रासायनिक क्रियाविधि (सोपानीय प्रक्रम) (Mechanism of Biochemical Nitrogen Fixation-Step by step Process)

9.3.6 अमोनिया (अमानियम) सवांगीकरण (Ammonia Assimilation)

9.4 नाइट्रोजन चक्र परिपथ एवं उपयोगिता (Nitrogen cycle-path and Importance)

9.5 सारांश (Summary)

9.6 शब्दावली (Glossary)

9.7 संदर्भ ग्रन्थ (References)

9.8 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers)

9.9 अभ्यासार्थ प्रश्न (Exercise Questions)

9.10 अभ्यासार्थ प्रश्नों के उत्तर

9.0 उद्देश्य (Objective)

प्रस्तुत इकाई का उद्देश्य आपको (पाठकों) को इस योग्य बनाना है कि इसके अध्ययन के उपरान्त आप :

1. नाइट्रोजन उपापचय पादप जीवन के एक महत्वपूर्ण पक्ष को परिभाषित कर सके,
2. नाइट्रोजन तत्व के विविध स्रोतों को पहचान पाये,
3. नाइट्रोजन स्थिरीकरण को पादपों के संदर्भ में उजागर कर, अजैविक एवं जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण को विभेदित कर इनकी उपयोगिता एवं परिसीमा को स्पष्ट कर सके,
4. मूल ग्रन्थियों के निर्माण, संरचना एवं कार्य को भली -भाँति जान पाये,
5. नाइट्रोजन स्थिरीकरण में नाइट्रोजिनेज एन्जाइम के कार्य का मूल्यांकन रख नियमन की व्याख्या कर सके,
6. नाइट्रोजन स्थिरीकरण की जैव रासायनिक क्रियाविधि के सोपानीय प्रक्रमों को प्रतिपादित कर सके,
7. अमोनिया संवागीकरण की जटिलता को समझ सके,
8. नाइट्रोजन चक्र की प्रासंगिकता का चित्रण कर इसकी उपयोगिता की सार्थकता को जान सके।

उपरोक्त उद्देश्य बिन्दुओं द्वारा नाइट्रोजन' उपापचयी एवं स्थिरीकरण को आप भली- भाँति समझ सकेंगे ।

9.1 प्रस्तावना (Introduction)

पादप जगत द्वारा प्राय ' 1, 00, 00, 000 टन अकार्बनिक नाइट्रोजन प्रतिवर्ष ग्रहण की जाती है । एक सामान्य पादप की पत्तियों के शुष्कभार का लगभग 1-15% भाग नाइट्रोजन द्वारा निर्मित होता है । नाइट्रोजन की इतनी उच्च मात्रा में उपस्थिति पादपों में इसकी अनिवार्यता का प्रमाण है । नाइट्रोजन का पादप उपापचय में एक विशिष्ट स्थान है । यह तत्व कई महत्वपूर्ण पादप जैव रसायनों जैसे अमीनो अम्लों, एन्जाइमों, प्रोटीनों, न्यूक्लिक. अम्लों, विटामिनों, पादप हारमोनो, पर्णहरित आदि का संरचनात्मक घटक है । यद्यपि वायुमण्डल में नाइट्रोजन, की अपार मात्रा अर्न्तनिहित है, फिर भी पुष्पी पादप इस को तत्व के रूप में ग्रहण एवं उपयोग करने में असमर्थ होते हैं । सर्वप्रथम 19वीं सदी के मध्य में एक फ्रांसीसी कृषि रसायन वेत्ता बोसीन्गल्ट (Boussingault)प्रदर्शित किया, कि हरे पौधे वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को सीधे रूप में ग्रहण नहीं कर सकते हैं । अधिसंख्य पादप नाइट्रोजन को इसके नाइट्रेट्स यौगिक ऋणायनों (NO_3^-) के रूप में अधिग्रहित करते हैं । हालांकि कुछ पादप अमोनियम या धनायनों (NO_4^+)के रूप में भी नाइट्रोजन को ग्रहण कर सकते हैं ।

यह वास्तव में एक अलौकिक घटना है कि वायुमण्डल में निहित लगभग 78% गैसीय नाइट्रोजन को पादप यौगिकीय रूपों में परिवर्तित कर ग्रहण करते हैं । यौगिकीय नाइट्रोजन का पादपों के द्वारा मृदा (soil) से अवशोषण या अधिग्रहण किया जाता है एवं तत्पश्चात् इस अवशोषित नाइट्रोजन का पौधों द्वारा अमीनों अम्लों एवं प्रोटीन संश्लेषण में उपयोग किया जाता है । इसके आधार पर कहा जा सकता है कि सभी जड़ युक्त पौधों के लिए मृदा ही नाइट्रोजन का एकमात्र स्रोत है । मृदा में विद्यमान नाइट्रोजनीय पदार्थों की मात्रा में वृद्धि के लिए कुछ सूक्ष्मजीव (Microorganisms) उत्तरदायी होते हैं जिनमें वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को नाइट्रोजन यौगिकों जैसे नाइट्राइट्स एवं नाइट्रेट्स में रूपान्तरित करने की अहपूर्व क्षमता होती है । इस प्रक्रिया को

जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण (Biological N-fixation) कहा जाता है तथा यह सम्भवत ' पादप पोषण के लिए प्रकाश-संश्लेषण के बाद दूसरी सर्वाधिक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है ।

उपरोक्त तथ्य के आधार पर यह स्पष्ट होता है कि नाइट्रोजन उपापचय पादप जीवन का एक महत्वपूर्ण पक्ष है, जिस पर प्रत्यक्ष या परोक्ष रूप से समस्त प्राणी जीवन निर्भर करता है । अत : नाइट्रोजन उपापचय की परिभाषा निम्न वाक्यों के अन्तर्गत हम प्रस्तुत कर सकते हैं '

पौधों के भीतर या बाहर घटित महत्वपूर्ण एवं श्रृंखलाबद्ध जैव रासायनिक परिवर्तन जिनके परिणामस्वरूप सरल रूपों से जटिल नाइट्रोजनी खाद्य पदार्थों का निर्माण तथा जटिल नाइट्रोजनी कार्बनिक खाद्यों के इनके सरल रूपों में विघटन की परिघटनाओं को **नाइट्रोजन उपापचय** कहते हैं।

उपरोक्त परिभाषा में नाइट्रोजन उपापचय में अपचय (Catabolism) अर्थात् प्रोटीनलयन अमीनों अम्ल विघटन, नाइट्रीकरण एवं उपचय (Anabolism) अर्थात् नाइट्रोजन यौगिकीकरण; अमीनो अम्ल एवं प्रोटीन संश्लेषण आदि प्रक्रम सम्मिलित हैं ।

9.2 नाइट्रोजन स्थिरीकरण या यौगिकीकरण (Nitrogen Fixation)

नाइट्रोजन के स्रोत (Sources of Nitrogen)

कतिपय पादप जातियों की छोड़कर जो आण्विक नाइट्रोजन का स्थिरीकरण या यौगिकीकरण कर सकती है, अन्य सभी उच्चवर्गीय पादप केवल मृदा से ही स्थिरीकृत नाइट्रोजन (Fixed Nitrogen) का ही अवशोषण करते हैं । पौधों को आण्विक (वायुमण्डलीय) नाइट्रोजन के अतिरिक्त कुछ अन्य प्रारूपों में नाइट्रोजन उपलब्ध हो सकती है । इन्हें नाइट्रोजन के स्रोत कहा जाता है । ये नाइट्रोजन स्त्रोत 'निम्न प्रकार से हैं :

(i) **नाइट्रेट नाइट्रोजन (Nitrate Nitrogen):** यह पौधों के लिए नाइट्रोजन का सबसे महत्वपूर्ण स्रोत है । मृदा में प्राकृतिक रूप से जीवाणुओं एवं वर्षा द्वारा नाइट्रेटों का निरन्तर संभरण किया जाता है । जहाँ से आवश्यकतानुसार पौधों की जड़ों के द्वारा इनका निरन्तर अवशोषण होता रहता है । मृदा में नाइट्रोजनी कार्बनिक यौगिक भी विघटित होकर अमीनॉ अम्लों का निर्माण करते हैं जिनसे अमोनीकारी जीवाणुओं (Ammonifying bacteria) की मध्यस्था से अमोनिया (NH_3) मुक्त होती है ।

नाइट्रोसोमोनास (Nitrosomonas) नामक जीवाणु इस प्रकार मुक्त अमोनिया को नाइट्राइट (NO_2^-) में ऑक्सीकृत कर देते हैं । पुन ' इन नाइट्राइटों' को नाइट्रोबेक्टर. (Nitrobactor) जीवाणु नाइट्रेटों (NO_3^-) में ऑक्सीकृत कर देते हैं । स्मरणीय है कि कुछ विषमपोषी कवक प्रजाति जैसे एस्पर्जिलस फ्लेक्स एवं पैनिसीलियम भी नाइट्रीकारी जीवों की तरह कार्य करती है । उपरोक्त प्रक्रियाओं को निम्न प्रकार से स्पष्ट किया जा सकता है :

नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ (मुद्रा) $\xrightarrow{\text{विघटन}}$ अमीनो अम्ल

अमीनो अम्ल $\xrightarrow{\text{अमोनीकारी जीवाणु}}$ NH_3

NH_3+3O_2 नाइटरोसोमोनास $2HNO2+H_2O+$ ऊर्जा (158 किलो कैलोरी)

$2HNO_2+O_2$ $\xrightarrow{\text{नाइट्रोबेक्टर}}$ 2HNO3 + ऊर्जा (38 किलो कैलोरी)

नाइट्रेटों में अन्तर्विष्ट नाइट्रोजन अत्यन्त ऑक्सीकृत रूप मैं उपस्थित रहती है । पौधों में उपयोग से पूर्व उसको अपचयित कर पुन: अमोनिया' में बदल दिया जाता है । यह अपचयन क्रिया काफी तीव्र होती है ,व उच्च पादपों की मूलों में सम्पन्न होती है । वैसे कभी -कभी नाइट्रेटों की अधिक उपलब्धता की स्थिति में मूल उनका प्रत्यक्ष रूप से अवशोषण कर लेती है, जहाँ से ये इसी रूप में पत्तियों में स्थानान्तरित हो जाते हैं । मास्केल एवं मेसन (Maskell and Mason 1930) के अनुसार नाइट्रेटों की पत्तियों में यह स्थानान्तर क्रिया प्राय : दारु वाहिकाओं (xylem verssels) द्वारा सम्पन्न होती है ।

(ii) **अमोनियम नाइट्रोजन (Ammonical Nitrogen):** ज्ञातव्य है, कि कार्बनिक पदार्थों विशेष कर अमीनो अम्लों से मृदा में प्रचुर मात्रा में अमोनियम लवणों का निर्माण होता है । यह कार्य अनेक ऑक्सी एवं अनॉक्सी जीवाणुओं जैसे बेसीलस रेमोसस एवं बे. माइकोडेस द्वारा सम्पन्न किया जाता है । चूँकि मृदा में अमोनियामय नाइट्रोजन अत्यधिक अपचयित यौगिकों के रूप में पाई जाती है अत : यह सीधे ही पादप शरीर संगठन में प्रविष्ट हो सकती है । जिस मृदा में नाइट्रोजन अमोनियम युक्त लवणों के रूप में पाई जाती है, उसमें कुछ विशेष प्रकार के फसल उत्पादन पादप जैसे, आलू चावल एवं अन्नानास की वृद्धि एवं उत्पादन बहुत अधिक एवं सफलतापूर्वक होता है । प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध हुआ है कि अमोनिया अधिक वयस्क या जीर्ण पौधों में विषैला प्रभाव उत्पन्न करती है । अत ' इसका निरापद उपयोग स्वस्थ एवं तरुण पौधों पर ही किया जाना चाहिये । बिगोनिया ऑक्सालिस आदि अमोनियम पादप की श्रेणी में आते हैं, क्योंकि इनके कोशिका द्रव्य में अधिक अम्लता पाई जाती हैं ।

(iii) **कार्बनिक नाइट्रोजन (Organic Nitrogen);** अकार्बनिक नाइट्रोजन या अमोनियामय नाइट्रोजन लवणों के अतिरिक्त मृदा में नाइट्रोजनी कार्बनिक यौगिकों की भी प्रचुरता होती है । मृदा से सामान्यत : वे ही पौधे कार्बनिक नाइट्रोजन का अवशोषण करते हैं जिनकी मूलों में कवक मूलें (संकवक,Mycorrhize) उपस्थित होती है, जैसे ' जिन मूलों में कवक मूल गठबन्धन का अभाव होता है, वे कार्बनिक नाइट्रोजन को केवल घुलनशील अवस्था में ही अवशोषित कर सकते हैं । घुलनशील प्रारूप में कार्बनिक नाइट्रोजन प्रमुख रूप से मृदा में दो प्रकार की पाई जाती है । ये है एमाइड्स एवं अमीनो अम्ल तथा यूरिया ।

एमाइड्स एवं अमीनो अम्ल (Amides and Amino acids): इनका निर्माण प्रोटीनों के अवक्रमण (Degradation)परिणाम है । कई पौधों की मूलों द्वारा भी इनका स्रावण होता है । वैज्ञानिकों का मत है अगर अमीनो अम्लों का इसी रूप में अवशोषण कर लिया जाये तो ये सीधे प्रोटीन श्रृंखला में प्रवेश कर जाते हैं । लेकिन अधिकांश पौधे इनका सीधा अवशोषण करने में

सक्षम नहीं होते हैं क्योंकि अमीनो अम्लों की अपेक्षा अकार्बनिक नाइट्रोजनी यौगिकों का प्राथमिकता के कम में अवशोषण किया जाता है । इसके अलावा कुछ अमीनो अस्त तो पौधों की वृद्धि पर भी निरोधक प्रभाव डालते हैं ।

यूरिया (Urea): हिन्सवार्क एवं वेब्सटर (Hinsvark and Webster, 1953) के अनुसार यूरिया के पल्लवी अनुप्रयोग (Foliar application) द्वारा नाइट्रोजन प्राप्त करने में पौधे अत्यन्त दक्ष पाये गये हैं । उदाहरणार्थ, सेम के पौधे यूरिया का अवशोषण रख संचय कर सकते हैं । पादपों द्वारा यूरिया का दो प्रकार से उपयोग किया जाता है । प्रथम एन्जाइम यूरिएज की उपस्थिति में अकार्बनिक अमोनिया एवं कार्बन डाई ऑक्साइड में परिवर्तित कर दिया जाता है । इसी प्रकार बाह्य स्रोत से दिये गये यूरिया को भी अधिकांश मृदाओं में अमोनिया में परिवर्तित कर दिया जाता है ।

$$CO\ (NH_2) + N_2O \xrightleftharpoons{\text{यूरिएज}} CO_2 + 2NH_3$$

द्वितीय रूप में यूरिया का अमीनो अम्लों के निर्माण में सीधा उपयोग कर लिया जाता है । यह क्रिया ऑर्निथीन के अभिकरण तथा एन्जाइम आर्जिनेज (Arginase) की उपस्थिति में पूर्ण होती है ।

$$\text{यूरिया} + \text{ऑर्निथीन} \xrightleftharpoons{\text{आर्जिनेज}} H_2O + \text{आर्जिनीन}$$

यह कार्बामाइल फॉस्फेट भी बना सकता है, जो की कुछ अमीनो अम्लों का प्रमुख प्रथम होता है ।

$$\text{यूरिया} + Pi \longrightarrow \text{कार्बामाइल फॉस्फेट} + \text{अमोनिया}$$

(iv) **नाइट्राइट नाइट्रोजन (Nitrite Nitrogen):** क्यूस्टेल (Quastel, 1965) के अनुसार पौधों में नाइट्राइटों का उपयोग नाइट्रोजनी पदार्थों के निर्माण में किया जाता है । ये नाइट्रीकरण प्रक्रिया के प्रथम चरण में निर्मित होते हैं, फिर भी मृदा में इनका संचय नहीं होता है, क्योंकि अजैविक क्रिया द्वारा इनकी नाइट्रोजन का गैस के रूप में ह्रास होता है । अतः नाइट्राइट, नाइट्रोजन का महत्वपूर्ण स्रोत नहीं है । कभी-कभी इनकी अल्प मात्रा पौधों के लिए निरोधी प्रभाव (Inhibitory effects) भी उत्पन्न कर सकती है ।

(v) **आण्विक नाइट्रोजन (Molecular Nitrogen):** वायुमण्डल में पाई जाने वाली तात्विक या आण्विक नाइट्रोजन हमारी पृथ्वी पर उपलब्ध नाइट्रोजन का सबसे बड़ा एवं प्रमुख स्रोत है (लगभग 78%) फिर भी अधिसंख्य उच्चवर्गीय पादप इसका सीधे उपयोग करने में असमर्थ होते हैं । केवल कुछ निम्नवर्गीय पादप तथा प्रोकेरियोट्स जैसे कतिपय जीवाणु एवं नीलहीरत शैवाल (cynabacteria) ही आण्विक नाइट्रोजन का सीधे उपयोग करने में दक्ष होते हैं । यही प्रक्रम नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहलाता है ।

जैसा कि पूर्व में वर्णित किया गया है, शिम्बी या लेग्यूम पौधे (कुल लेग्यूमिनोसी या फेबेसी के सदस्य) सूक्ष्म जीवों की मध्यस्थता से नाइट्रोजन का सीधे गैस रूप में उपयोग कर सकते हैं । इस प्रकार वीनोग्रेस्की (winograsky 1891-94) द्वारा प्रस्तुत तथ्य अर्थात् आण्विक या तत्वीय

अथवा वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को इनके अवशोषण योग्य लवणों में परिवर्तित कर नाइट्रोजनी कार्बनिक यौगिकों के निर्माण में उपयोग करने की प्रक्रिया को नाइट्रोजन स्थिरीकरण या यौगिकीकरण (N - fixation) कहते हैं । अध्ययन की सुविधा हेतु इस प्रक्रिया को निम्न प्रकारों में वर्णित किया जा सकता है ।

9.2.1 भौतिक या रासायनिक या अजैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण :

वर्षा ऋतु में तडित, गर्जन तथा प्रदूषण (Lighteing, thundering and pollution) से उत्पन्न अति उच्च तापक्रम से अक्रिय (inert) वायुमण्डलीय नाइट्रोजन, ऑक्सीजन से क्रिया कर नाइट्रिक ऑक्साइड (NO) तथा बाद में नाइट्रोजन ऑक्साइड (NO_2) बनाती है । NO_2 वर्षा के जल व वायुमण्डलीय O_2 के साथ क्रिया कर नाइट्रिक अम्ल (HNO_2) बनाती है । वर्षा के जल के साथ यह अम्ल मृदा में मिल जाता है एवं इस मृदा में उपस्थित क्षारीय पदार्थों से क्रिया कर नाइट्रेट्स बनाता है । इन अकार्बनिक नाइट्रेट्स का ही पौधों की जड़ों द्वारा अवशोषण कर उपयोग किया जाता है । निम्न रासायनिक समीकरण द्वारा उसे निरूपित कर सकते हैं :

$$N_2 + O_2 \xrightarrow{\text{तडित गर्जन}} 2NO$$ (नाइट्रिक ऑक्साइड)

$$2HO + O_2 \xrightarrow{\text{ऑक्सीकरण}} 2NO_2$$ (नाइट्रोजन पर ऑक्साइड)

$$4NO_2 + 2HO + O_2 \longrightarrow 4HNO_3$$ (नाइट्रिक अम्ल)

$$HNO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4 + NO_3$$ (अमोनियम नाइट्रेट)

$$HNO_2 + NH_3 \longrightarrow NH_4NO_2$$ (अमोनियम नाइट्राइट)

$$CaO + 2HNO_3 \xrightarrow{\text{मृदा}} Ca\left(NO_3\right) + H_2O$$

(Ca नाइट्रेट)

प्रथम विश्व युद्ध के दौरान जर्मन वैज्ञानिकों द्वारा हर्बर प्रक्रम द्वारा व्यापारिक स्तर पर रासायनिक नाइट्रोजन स्थिरीकरण अपनाया गया, जिसमें संश्लेषित अमोनिया को बनाया गया ।

$$N_2 \text{ (गैस) } + 3H2 \text{ (गैस) } \rightleftharpoons 2NH3 \text{ (गैस) } \quad \Delta H = 22Kcal$$

9.2.2 जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण या यौगिकीकरण

आण्विक या गैसीय नाइट्रोजन को विशिष्ट सूक्ष्म जीवों द्वारा नाइट्रोजनीय यौगिकों या लवणों में परिवर्तित करने के प्रक्रम को जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहते हैं । यह प्रक्रिया दो प्रकार के सूक्ष्मजीवों द्वारा सम्पन्न होती है ।

जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण की ऐतिहासिक पृष्ठ भूमि में ग्रीक द्वारा फसल चक्रण अपनाया जाने तक का समय आता हैं । थियोफ्रेस्टस (3.B.C.) से ही लेग्यूम फसलों द्वारा मृदा उर्वरता में वृद्धि को अवलोकित किया गया है । बाद में कई वैज्ञानिकों द्वारा कई सूक्ष्मजीवों के अध्ययन द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण को महसूस किया गया । जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण प्रक्रिया दो प्रकार से सम्पन्न होती है - (i) असहजीवी व (ii) सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण ।

9.2.3 असहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण

सूक्ष्मजीवों की नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने की क्षमता का सर्वप्रथम अध्ययन उन्नीसवीं शदी के उत्तरार्द्ध में किया गया था । इस प्रकार के स्थिरीकरण में स्वतंत्र जीव मुक्त रूप से नाइट्रोजन का यौगिकीकरण करते हैं । **वीनोग्रेस्की** (1894) ने सर्वप्रथम नाइट्रोजन स्थिरीकरण अनॉक्सी जीवाणु, क्लोस्ट्रीडियम पेस्टोरियेनम (Clostridium pasteurianum)का संवर्धन माध्यम में पृथक्करण किया । स्वतंत्र जीवी सूक्ष्मजीव प्रति एकड़ प्रतिवर्ष लगभग 10 - 20 पौण्ड नाइट्रोजन का स्थिरीकरण कर सकते हैं ।

पार्कर (Parker,1957) के अनुसार यह मात्रा अनुकूल परिस्थितियों में 60 पौण्ड तक पाई जाती है ।

असहजीवी नाइट्रोजन यौगिकीकरण करने वाले कुछ महत्वपूर्ण जीवाणु व कवकें निम्नांकित हैं :

(अ) अपूर्णतया अनॉक्सी जीवाणु: क्लोस्ट्रीडियम

(ब) अविकल्पी अनॉक्सी जीवाणु: इ. कोलाई., एन्ट्रोंबेक्टर

(स) ऑक्सी जीवाणु : एजेटोबेक्टर

(द) प्रकाश संश्लेषी जीवाणु : क्रोमेशियम, नीलरहित शैवाल

(य) कवकें, यीस्ट

असहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले कुछ महत्वपूर्ण स्वतंत्र जीवाणु एवं कवकें तथा इनके प्रमुख लक्षण निम्न प्रकार से हैं :

1. **क्लोस्ट्रीडियम :** यह एक छड़ाकार अनॉक्सी दण्डाणु है । इसकी प्रमुख प्रजाति क्लो. पेस्टोरियेनम एवं क्लो. ब्यूरेलिकम है ।
2. **एजोटोबेक्टर : बैजेरिक** (Beijerinck, 1901) द्वारा आविष्कार किया गया यह एक ऑक्सी, गोलाकार (cuccus) जीवाणु है । इसकी प्रमुख प्रजाति ए. क्रूकोकम (A. chroococcum) व ए. एजाइल (A. agile) है । इनके अतिरिक्त कुछ अन्य प्रजातियाँ ऐयरोबेक्टर (Aerobactor) मीथेनोबेक्टीरियत (Methanobacterium) एवं डेरेक्सियाँ (Derxia) की उपस्थिति एवं उपयोगिता का भी पता लगाया गया है ।
3. **प्रकाश संश्लेषी जीवाणु (Photosynthetic bacteria):** इस प्रकार के जीवाणु प्रकाश की उपस्थिति तथा अनॉक्सी परिस्थितियों में तत्वीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करते हैं । **रोडोस्यूडोमोनास केप्सूलेटस** (Rhodopsedomonas capsulatus) इस श्रेणी का एक उल्लेखनीय जीवाणु है जो धान के खेतों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण की क्रिया करता है । इसके अलावा रोडोस्पाइरीलम रूबम (Rhodospirillum rubrum) एवं क्रोमेशियम (Chraomatium) आदि अन्य उल्लेखनीय प्रकाश संश्लेषी जातियाँ है । **विरटेनन** एवं **माइटिनन** (Virtanen and Mietinen,1963) के अनुसार सभी प्रकाश संश्लेषी जीवाणु नाइट्रोजन यौगिकीकरण की क्षमता रखते हैं ।
4. **सायनोबेक्टीरिया या नीली हरित शैवाल** (Cyanobacteria or blue green algae) विविध प्रयोगों में भारी नाइट्रोजन (N^{15}) के उपयोग से यह भली - भाँति स्थापित किया जा

चुका है कि नीलहरित शैवाल जिनमें हेटेरोसिस्ट पाई जाती है नाइट्रोजन स्थिरीकरण करती है । वर्ग नोस्टोकेल्स के अधिकांश सदस्य जैसे: **ऑसिलाटोरिया** (Oscillatoria), ऐनाबीना (Anabaena), नोस्टॉक (Nostoc), स्पाइरूलीना (Spirullina) आदि नाइट्रोजन स्थिरीकरण करते हैं । भारतवर्ष के प्रमुख कवकवेत्ता प्रो. आर. एन. सिंह (1958) ने यह सिद्ध किया कि सायनोबैक्टीरिया धान के खेतों में नाइट्रोजन अवयवों की वृद्धि करने में विशेष रूप से महत्वपूर्ण विभिन्न वैज्ञानिकों द्वारा यह तथ्य प्रस्तुत किया गया है कि नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए वैसे तो किन्हीं विशेष परिस्थितियों आवश्यकता नहीं पाई जाती है, फिर भी कुछ तत्वों जैसे मोलीब्डीनम, आयरन एवं कैल्शियम की उच्च मात्रा इसमें अधिक सार्थक है । जैसा कि विल्सन (Wilson,1958) द्वारा समस्त नाइट्रोजन स्थिरीकरण जीवाणुओं की MO में स्वस्थ वृद्धि पाई जाती है परन्तु स्टाइलैस (stiles,1961) के अनुसार इन शैवालों की नाइट्रोजन स्थिरीकरण में वास्तविक भूमिका अभी एक पहेली बनी हुई है ।

5. **कवकें (Fungi):** यीस्ट जातियाँ (Saecharomyces spp.) एवं पूलूलेरिया (pullularia) आदि असजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण करती है ।

मृदा में नाइट्रेट की उपस्थिति सूक्ष्मजीवों की नाइट्रोजन स्थिरीकरण सक्रियता को प्रतिकूल रूप से प्रभावित करते हैं । इसी प्रकार कुछ अन्य अकार्बनिक पदार्थ जैसे कार्बन मोनो ऑक्साइड (CO) एवं आण्विक हाइड्रोजन आदि की विद्यमानता भी सूक्ष्मजीवों द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण की प्रक्रिया पर निरोधी प्रभाव उत्पन्न करती है । स्मरणीय है किये अकार्बनिक रसायन सामान्य कोशिकीय उपापचय को भी काफी हद तक प्रभावित करते हैं ।

9.2.4 सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण

इस प्रक्रिया के अन्तर्गत विशाल कुल जिन्हें शिम्बी पादप (Legumes) कहते हैं तथा जो फेबेसी, पुराना नाम लेग्यूमिनोसी कुल के सदस्य होते हैं इनकी जड़ों में सूक्ष्म जीवों द्वारा सहचर्य या सहजीविता की अवस्था में नाइट्र्ञेजन स्थिरीकरण का कार्य किया जाता है । इसीलिए इस प्रक्रिया को **सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण** (Symbistic N-fixation) कहते हैं । **सहजीवी जीवाणु राइजोवियम लेग्यूमिनोसोरम** (Rhizobium leguminosarum), पुराना नाम **बैसीलस रेडिसीकोला** (Bacillus radicicola) शिम्बी पादपों की मूलों में पाया जाता है । दोनों जीवाणु एवं लेग्यूम पादप, में से कोई भी अकेले नाइट्रोजन स्थिरीकरण नही कर सकता है । शिम्बी पादपों की पार्श्व मूलों पर **राइजोबियम के वेधन** (Penetrtion) से निर्मित **ग्रन्थियाँ** या **गुहिकायें** (Nodules) नाइट्रोजन स्थिरीकरण के वास्तविक स्थल है ।

करीब 10 प्रकार के साहचर्य समूह नाइट्रोजन स्थिरीकरण में भाग लेते हैं, जिन्हे मोटे तौर पर दो वर्गों में वर्गीकृत किया जाता सकता है । प्रथम सहचर्य (Associative) उदाहरण के लिए लाइकेन, **पर्ण परिवेशी** (Phyllosphare) एवं अविकल्वी (Obligatory) उदाहणार्थ मूल ग्रन्थियाँ। प्रथम प्रकार के साहचर्य में नाइट्रोजन स्थिरीकरण सजीव पोषिता से दूर रहकर भी लगातार ओप -

स्थिरीकरण कर सकते हैं । दूसरे प्रकार के साहचर्य में दोनों जीवों (सहयेगी) के **संजीनों** (genomes) की आवश्यकता होती है ।

अत: सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण को तीन वर्गों में समूहित कर सकते हैं ।

I. शिम्बीय पादपों में ग्रन्थियों निर्माण द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण ' इसके अन्तर्गत लगभग शिम्बी पादपों की करीब 2500 जातियाँ आती है ।

II. अशिम्बीय पादपों में ग्रन्थियाँ निर्माण द्वारा N- स्थिरीकरण : इसमे प्राय: वृक्ष व शाक है, जो अशिम्बी प्रकृति के है ।

III. अग्रन्थिय द्वारा N -स्थिरीकरण इसमें करीब आठ प्रकार का अग्रन्थियल सहजीवन पाया जाता है (सारणी 9.1) ।

सारणी 9.1: सहजीवी निकाय जिनमें नाइट्रोजन स्थिरीकरण पाया जाता है ।

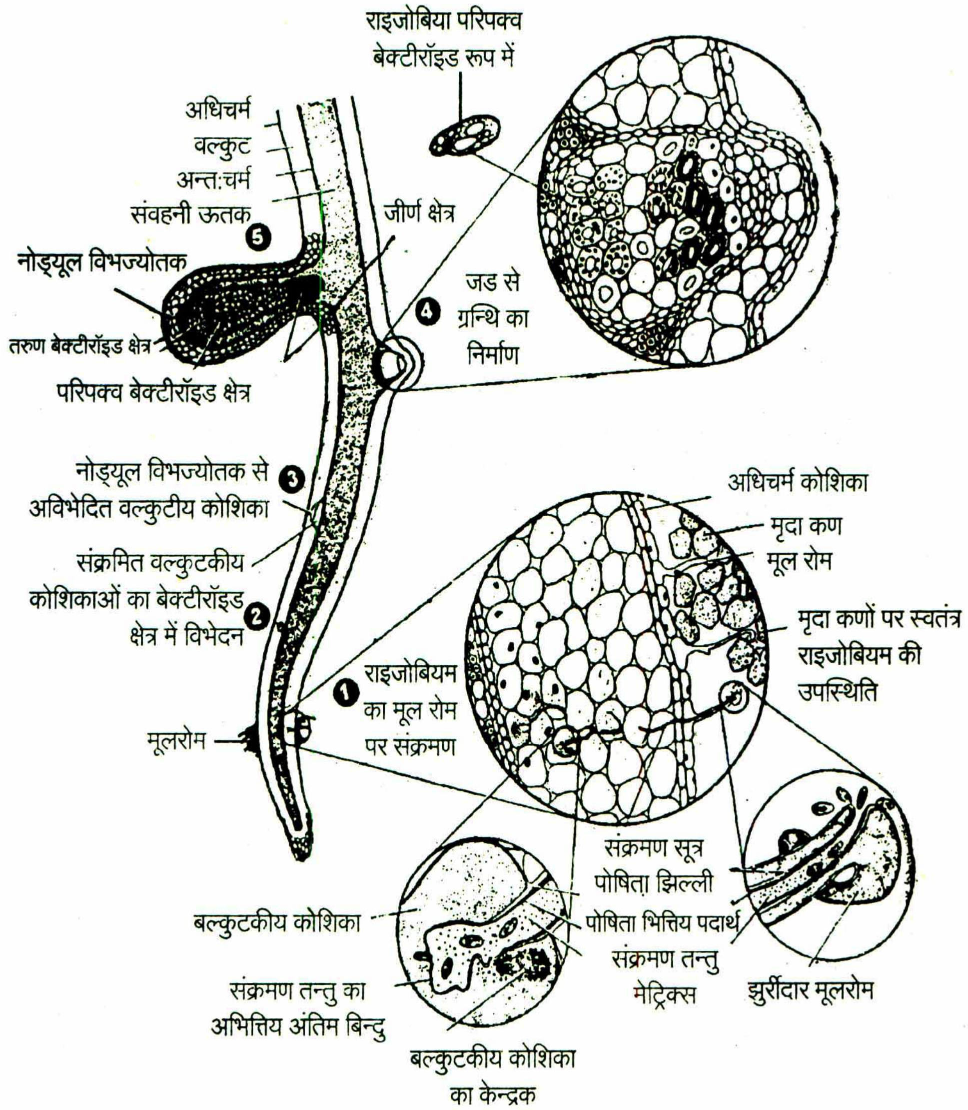
1. गुटिकीय या ग्रन्थिय उदाहरण : **लेग्यूम एवं राइजोबियम शिम्बी (मूल)** (Legume nodulted)
2. गुटिकयि अशिम्बी मूल उदाहरण. **केजुराइना एवं फ्रेन्किया** (Non-legume moduted (Roof)
3. पर्ण ग्रन्थियाँ या गुटिकायें: उदाहरण: **रूबऐसी कुल के सदस्य** (Leaf nodules)एवं जैन्थोमोनास, माएकोबेक्टेरियम
4. साइकेड मूल ग्रन्थियाँ (कॉरेलॉइड) उदाहरण : **साइकेड्स वंश** (Cycad root nodules (coralloid) साइकस एवं नास्टॉक
5. पर्ण परिवेशी साहचर्य (Phyllospero association) उदाहरण : **एजोटोबेक्टड एवं वृक्ष की पर्ण**
6. कवक मूल (My corrhiaza) = उदाहरण: **पाइनस एवं कवक**
7. सायनो बेक्टोरिया युक्त लाइकेन = उदाहरण : **लाइकेन** (Lichens having blue-green algae)
8. सायनो बेक्टेरियायुक्त लिवरवर्ट उदाहरण: **एन्थोसिरोस** (Liverworts Blue green algae)
9. एजोला- एनाबीना साहचर्य = उदाहरण : **ऐजोला (फर्न)** (Azolla -Anabaena association) एवं एनाबीना (शैवाल)
10. गून्नेरा स्तम्भ ग्रन्थियाँ = उदाहरण = गून्नेरा (Gunnera stem glands)

उपरोक्त में प्रथम 9 प्रकार के सहजीवी गठबन्धन को बॉंड (Bond, 1968) ने प्राकृतिक रूप से वर्णित किया है । इनमें गुटिकीय शिम्बी ही सर्वोपरि हैं ।

9.2.5 मूल ग्रन्थियाँ या गुटिकाएँ - निर्माण एवं महत्व (Root nodules-formation and Importance)

लेग्यूम फसलों की जड़ों में राइजोबियम जीवाणुओं का प्रवेश एवं मूल ग्रन्थियाँ का निर्माण एक अत्यन्त रोचक पहलू है । उसे चित्र 9.1 एवं 9.2 द्वारा स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है । मृदा जीवाणुओं का प्राय : पादप मूलों, विशेषकर शिम्बी पादपों की मूलों के निकटतम क्षेत्र में एकत्रित

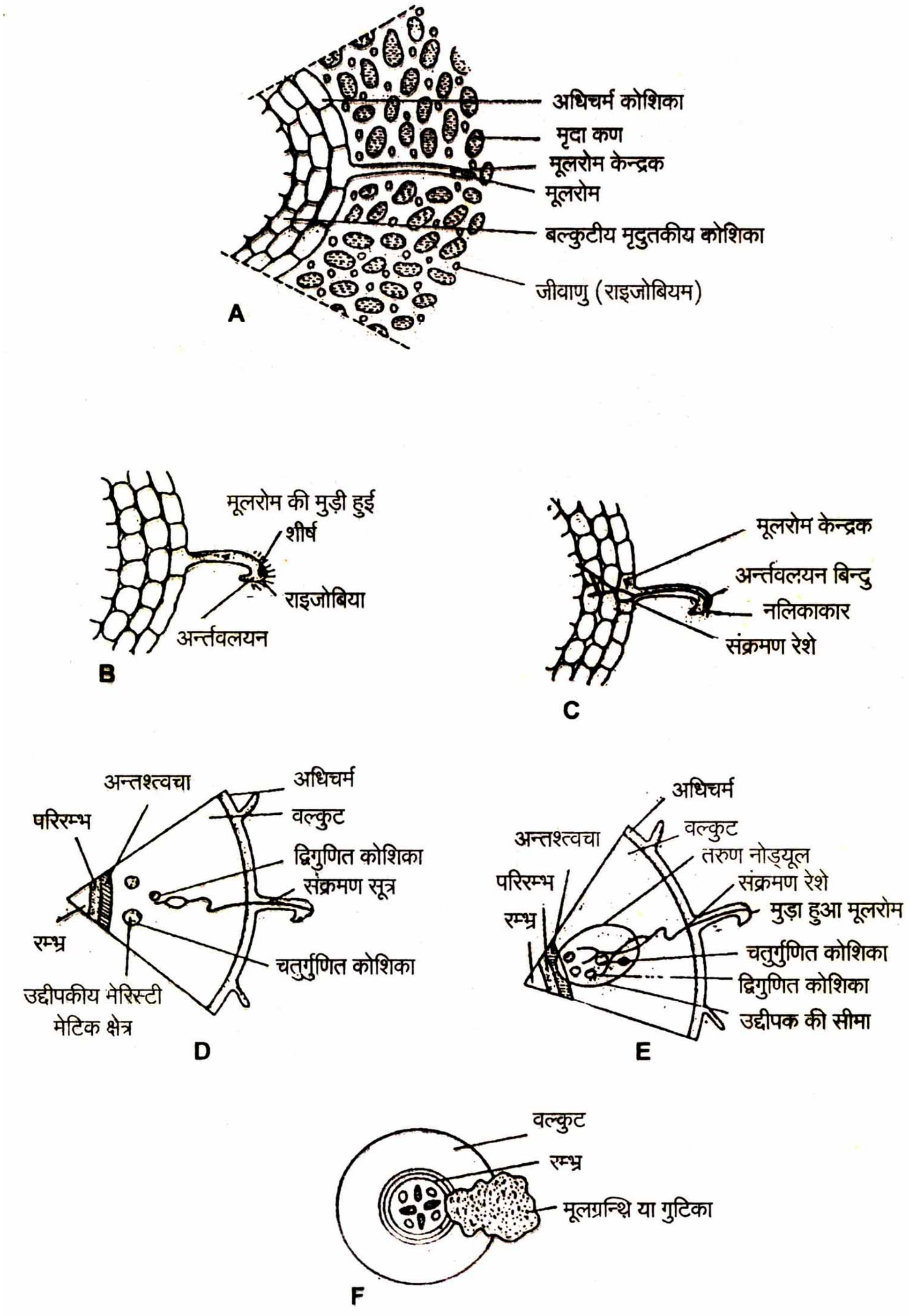
हो जाना एक आम अवलोकन है (चित्र 9.1 एवं 9. 2) । इसका मुख्य कारण यह है कि इन पादपों की जड़ो द्वारा कुछ वृद्धि कारक पदार्थो का स्राव मृदा में किया जाता है । ये पदार्थ जीवाणुओं के बहु गुणन (multiplication) को अभिप्रेरित हैं ।



चित्र 9.1 राइजोबियम का शिम्ब पादप मूल में भेदन, मूलरोम कुर्रीयता, संक्रमण तन्तु, निर्माण एवं अन्त में गुटिका का परिवर्धन

जड़ों के आसपास इस प्रकार एकत्र मृदा जीवाणु शनैःशनै जड़ों के अपेक्षाकृत कोमल या क्षतिग्रस्त भागों का वेधन कर मूल के भीतर एक संक्रमण रेशे (Infection thread) के रूप में प्रगति करते हैं । अन्ततोगत्वा यह रेशा मूल के वल्कुट का भेदन करते हुये अन्तश्चर्म (Endodermis) एवं प्रारम्भ (pericycle) क्षेत्र तक पहुँचकर फट जाता है, जिससे जीवाणु पर पोषी की कोशिकाओं में विमुक्त हो जाते हैं । परिणामतः इस क्षेत्र की कोशिकाओं में शीघ्र ही द्रुतगति से कोशिकाभाजन

(cell division) आरम्भ हो जाता है रख मूलग्रन्थि (nodule) की तेजी से वृद्धि होती है (चित्र 9.1) ।



चित्र 9.2 A. मूलरोभ, मृदाकण एवं जीवाणु; B. मूलरोम का जीवाणु द्वारा संक्रमर्ण C. मूलरोम तथा वल्कुट में संक्रमण रेशा; D-F- मूलग्रन्थि का निर्माण

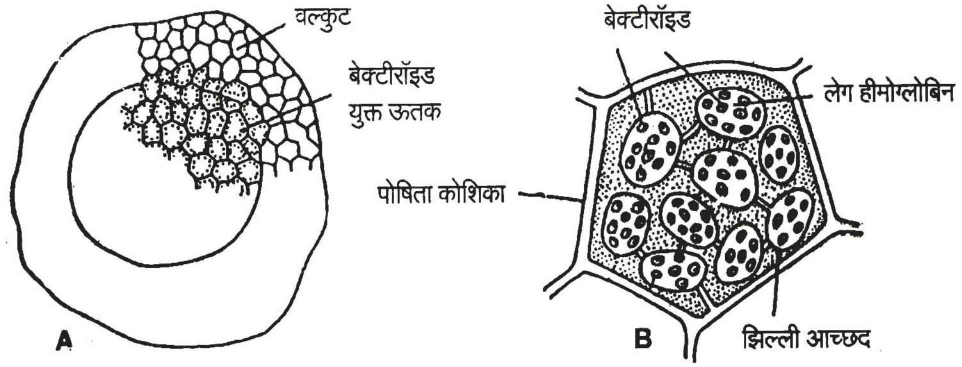
विफ एवं **कूपर** (wipf and Cooper, 1993), ने अपने विस्तृत अध्ययनों द्वारा नोडयूल कोशिकाओं में एक दिलचस्प पहलू को खोजा एवं बताया कि मूलग्रन्धि कोशिकाओं में पादप की सामान्य कोशिकाओं की तुलना में गुणसूत्रों की दुगुनी संख्या होती है । अर्थात् भूलग्रन्थि कोशिकायें चतुर्गुणित (tetraploid) होती है । उन्होंने स्पष्ट किया कि मटर के पौधे में मूल ग्रन्थियाँ का निर्माण तभी सम्भव होता है जबकि राइजोबियम जीवाणु चतुर्गुणित कोशिकाओं में प्रवेश करते हैं । जीवाणुओं के प्रवेश से चतुर्गुणित कोशिकाओं की विभाज्योतक क्षमता में सक्रियता अथवा उद्दीपनता आ जाती है । इसके विपरीत यह भी पाया गया है कि यदि जड़ के उस क्षेत्र में जहाँ जीवाणु उनंतवेधन कर भीतर प्रवेश करते हैं, वहाँ यदि चतुष्कगुणिता कोशिकाओं का अभाव होता हो तो मूल ग्रन्थियाँ का निर्माण नहीं होगा ।

सहजीवी जीवाणुओं द्वारा संक्रमित लेग्यूम मूल कोशिकाओं पर प्रचुर संख्या में नोड्यूलों के निर्माण की वास्तविक क्रियाविधि अभी तक अज्ञात है । वैसे इस प्रक्रिया के अन्तर्गत राइजोबियम जीवाणु -एक पादप हॉर्मोन इन्डोल ऐसिटीक अम्ल (Indole acetic acid, IAA) का संश्लेषण करता है । इस विचारधारा से प्रेरित होकर **थीमन** (Thiman,1939) ने यह सुझाया था कि सम्भवत : IAA मूल ग्रन्थियाँ के निर्माण में प्रेरक का कार्य करता है, लेकिन प्रारम्भ में इस सिद्धान्त को सीमित मान्यता ही प्राप्त हो सकी, क्योंकि इस तथ्य से असहमत वैज्ञानिकों का यह दावा था कि ऐसे कई अन्य जीवाणु भी मृदा में उपस्थित होते हैं, जो IAA का निर्माण करते हैं, लेकिन उनमें कोई भी. मूल ग्रन्थि का निर्माण करने में समर्थ नहीं होता है । बाद में **टेनर** एवं **एन्डरसन** (Tanner,and Anderson, 1964) द्वारा किये गये अध्ययन के आधार पर थीमन की मान्यता को प्रामाणिकता प्राप्त हुई । इन अन्वेषकों के अनुसार मृदा में यौगिक नाइट्रोजन की उपस्थिति मूलग्रन्थि निर्माण में निरोधक है । इसका कारण यह है कि यौगिक नाइट्रोजन उदाहरण नाइट्रेट (NO_3^-) राइजोबियम में IAA के निर्माण में बाधा पहुँचाती हैं जिसके परिणामस्वरूप शिम्बी मूल कोशिकाओं की विभाजी क्षमता में त्वरण उत्पन्न नहीं हो पाता है एवं मूल ग्रन्थियाँ के निर्माण में एक प्रकार का ठहराव आ जाता है ।

मूल ग्रन्थि की संरचना (Structure of root nodule) :एक परिपक्व मूल ग्रन्थि की संरचना काफी जटिल है । इसकी संरचना में अग्रस्थ विभाज्योतक (Apical meristem) एवं सुविकसित रंभ्र तत्र (stele system) पाया जाता है । ग्रन्थि के केन्द्र में एक संकमित क्षेत्र (Infected zone) होता है, जो मृदूतकीय वछट से घिरा होता है । संकमित क्षेत्र की कोशिकायें काफी बड़ी एवं रिक्तिकाओं युक्त होती है (चित्र 9.1 एवं 9.2) ।

लेगहीमोग्लोबिन (Leghaemoglobin): शिम्बी मूल ग्रन्थियाँ के काट के दौरान इनमें एक लाल वर्णक (Red pigment) की उपस्थिति का अवलोकन किया जा सकता है । इस वर्णक के लक्षण लाल रक्त कणिकाओं (RBC) के हीमोग्लोबिन वर्णक से सर्वथा समान प्रतीत होते हैं । इसी कारगा मूल ग्रन्थि वर्णक को लेगहीमोग्लोबिन नाम दिया गया है (चित्र 9.3) । इसका संश्लेषण

परपोषी कोशिकाओं तथा जीवाणु कोशिका द्वारा होता है । जीवाणु कोशिका प्राय : उस वर्णक के प्रोटीन भाग का अंशदान करती है, जबकि ही भागा जीवाणु द्वारा प्रस्तुत किया जाता है (कटिंग एवं शुल्मेन, 1968) मूल ग्रन्थि का गुलाबी रंग सक्रिय नाइट्रोजन स्थिरीकरण है ।



चित्र 9.3 : A. एक परिपक्य मूल ग्रन्थि का अनुप्रस्थ काट; B. पोषिता कोशिका बेक्टीरॉइय युक्त

लेगहीमोग्लोबिन, नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए अपरिहार्य सिद्ध हुआ है, क्योंकि मृदा राइजोबिया में इन वर्णक की अनुपस्थिति से ये नाइट्रोजन यौगिकीकरण करने में असमर्थ रहते हैं । इस प्रकार जब राइजोबियम जीवाणु शिम्ब पौधों की जड़ों में प्रविष्ट होते हैं तभी दोनों सहजीवी भागीदारों के सहचर्य से इस वर्णक का निर्माण होता है । N^{15} के उपयोग से किये गये आधुनिक प्रयोगों से यह प्रकट हुआ है कि N- स्थिरीकरण की क्षमता जीवाणुओं में निहित होती है, तथा इसके लिए इनकी कोशिकाओं में एक विशेष प्रकार का एन्जाइम नाइट्रोजिनेज (Nitrogenase) अन्तर्विष्ट होता है । एक अनुमन के अनुसार नाइट्रोजिनेज के संश्लेषण के लिए स्व विषीष्ट संदेशवाहक आर.एब ए. (mRNA) की भी आवश्यकता होती है जो परपोषी द्वारा प्रदान किया जाता है । मूल ग्रन्थियाँ में निहित लेगहीमोग्लोबिन वर्णक सम्भवत : ऑक्सीजन को ग्रहण करने का कार्य करता है । जिसकी मृदा में न्यूनता होती है । इसके अलावा यह वर्णक नाइट्रोजिनेज की स्वतंत्र ऑक्सीजन (free oxygen) से सुरक्षा करता है क्योंकि मुक्त या स्वतन्त्र ऑक्सीजन एन्जाइम को निष्क्रिय (inactive) कर देती है ।

उपरोक्त तथ्य के आधार पर यह कहा जा सकता है कि वर्णक लेगहीमोग्लोबिन का प्रमुख कार्य नाइट्रोजिनेज एन्जाइम को सक्रिय रखते हुये श्वसन क्रिया का अनुकूलतम सार बनाये रखने का होता है, जिससे आवश्यक मात्रा में ATP अणुओं का संश्लेषण सम्भव हो पाता है । मूल ग्रंथियों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए ATP अणु अति आवश्यक ऊर्जा स्रोत है ।

औसतन 80 - 100 पौण्ड नाइट्रोजन का प्रति एकड प्रति वर्ष की दर से शिम्बी मूल गुटिकाओं द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण किया जाता है । अनुकूल परिस्थितियों में यह मात्रा 400 पौण्ड तक हो सकती है । कभी -कभी कुछ परिस्थितियों में जब प्रकाश संश्लेषण की दर में कमी आ जाती है तो नोड्यूल से कुछ नाइट्रोजी पदार्थों का स्राव मृदा में किया जाता है जिसका नॉन लेग्यूम पौधे उपयोग कर लेते हैं । मृदा में नाइट्रेटों एवं अमोनियम लवणों की उपस्थिति मूलग्रन्थि परिवर्धन

को बाधित करती है । प्राय: मृदा में उक्त लवणों की उच्च सान्द्रता राइजोबियम को मूलरोम में प्रवेश करने से रोकती है । परिणामत ' मूल ग्रन्थियाँ का निर्माण अल्प मात्रा में ही हो पाता है । राइजोबियम लेग्यूमिनोसेरम शिम्बी पादपों की मूलों को संक्रमित कर मूल ग्रन्थि बनाने वाली प्रमुख जाति है कुछ कार्यकर्ताओं द्वारा इस जाति को सुडोमोनास रेडिसीकोला तथा बेसिलस रेडिसीकोला इत्यादि नामों से भी अंकित किया है । अधिकतर जातियों का नाम उनके द्वारा संक्रमित फसल पर आधारित है ।

वृद्धि के आधार पर राइजोबियमको दो मुख्य वर्गो में बाँटा गया है :

(i) **ब्रेकीराड़जोबियम** (Brochyrhizobium) : इस वश में तीव्र वृद्धि करने वाली जातियों को रखा गया है ।

(ii) **राइजोबियल** (Rhizobium): इस वंश में समस्त धीमी वृद्धि करने वाली जातियों आती है । लेकिन दोनोंही वर्गों की जातियाँ के जीवाणु ग्राम घनात्मक, लघु ऑक्सी एवं बगैर बीजाणु वाली जातियाँ हैं ।

वैसे तो प्राय: लेग्यूमीनोसी के उपकुल पेपीलियोनेसी में ही मूल ग्रन्थियाँ निर्मित होती है, लेकिन कभी-कभी उपकुल मीमोसोइडी तथा सिजलपिनोइडी के पौधों की जड़ों में भी नोड्यूल का निर्माण होते देखा गया है । यही नहीं, शिम्बी पौधों के अतिरिक्त कुछ अन्य पादपकूलों के सदस्यों, जैसे केजुराइना (Casurina), एल्नस (Alnus), माइरिया (Myria), एलिग्नस (Elaegnus), सिएनोथस (Ceanothus), साइकस (Cycas), पोडोकापर्स (Podocarpus), डिसकेरिया (Discaria), कोरिएरिया (Coriaria) इत्यादि में भी मूल ग्रन्थियों का निर्माण पाया जाता है । यहाँ यह पुन : बताना आवश्यक नहीं है कि सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकारण में परपोषी तथा संक्रमण जीवाणु दोनों सामूहिक रूप से ही यह प्रक्रिया सम्पन्न करते हैं । इनमें से कोई भी हिस्सेदार स्वतंत्र रूप से नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने में अक्षम होता है । अत ' यह सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण के उत्तम उदाहरण है (सारणी 9.1) । लेकिन मूल ग्रन्थियों में लेग्यूम पादप ही सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण के सर्वोपीर उदाहरण है ।

बोध प्रश्न - 1

1. नाइट्रोजन उपापचय से क्या अभिप्राय है?

   ....

   ....

2. एक सहजीवी जीवाणु, सायेनोबेक्टेरिया एवं कवक का नाम बताइए जो N_2 का स्थिरीकरण कर सकते हैं ।

   ....

   ....

3. लेगहीमोग्लोबिन क्या है? इसकी उपयोगिता बताइये ।

   ....

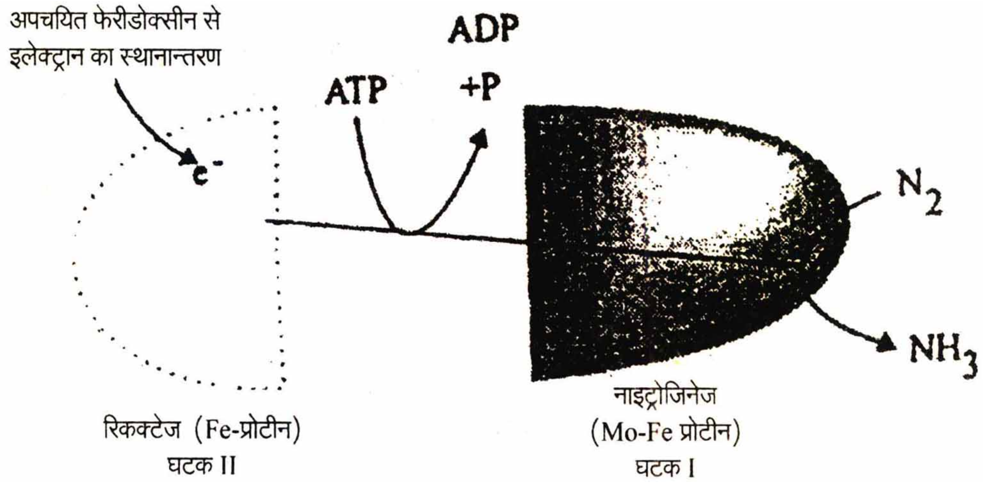
   ....

9.3 नाइट्रोजिनेज - एन्जाइम सम्मिश्र

नाइट्रोजिनेज सम्मिश्र जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण में एक मुख्य एन्जाइम (key enzyme) है। यह एक उच्च संरक्षित जटिल प्रोटीन है । इस एन्जाइम संकुल (complex) द्वारा वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का अमोनिया के रूप में यौगिकीकरण होता है । नाइट्रोजिनेज एन्जाइम जटिल सदैव अवायव (anaerobic) अवस्था में ही सक्रिय होता है । यह सम्मिश्र दो प्रोटीन अवयव या उपइकाईयों का सम्मिश्रण हैं जिन्हें घटक I (Dinitrogenase) एवं घटक II (Dinitrogenase reductase) कहते हैं । घटक I (Component I) एक Mo= मोलिब्डेनम एवं Fe = लौह या फेरस) जबकि घटक II Fe - प्रोटीन (लौह -प्रोटीन) होता है, जो प्रोटीन की चार श्रृंखलाओं जिनमें से α व β की दो -दो श्रृंखलाएँ तथा 2Mo परमाणुओं व 28 Fe परमाणुओं से निर्मित होती है । इसका आण्विक भार (MW) लगभग 2, 10, 000 - 2, 401, 000 डॉल्टन होता है घटक II यानि Fe - प्रोटीन (आण्विक भार 55, 000 से 60,000 I डॉल्टन) 4Fe परमाणुओं व दो प्रोटीन अणुओं से निर्मित होता है । इसमें ATP के लिए दो स्थल पाये जाते हैं ।

नाइट्रोजिनेज की संरचना को सर्वप्रथम कार्नहेन एवं सहयोगियों (Carnahan et al. 1960) ने अनॉक्सी पात्रे अध्ययन द्वारा प्रस्तुत किया एवं इसकी सक्रियता के रूप में MoFe उपइकाई कम सक्रियताकाल Fe -प्रोटीन घटक से कहीं अधिक होता है । येटेस (Yates,1980) के अनुसार घटक I अर्थात् ने MoFe -प्रोटीन नाइट्रोजिनेज एन्जाइम सम्मिश्र के नाइट्रोजिनेज व Fe -प्रोटीन रिंडक्टेज भाग को प्रदर्शित करता है (चित्र 9.3) ।

नाइट्रोजन स्थिरीकरण का वास्तविक स्थल घटक I ही होता है इस घटक के Fe परमाणु N =N से जुड़ व अपचयित कर इसे अमोनिया में परिवर्तित कर देते हैं जो शीघ्र ही NH_4^+ के रूप में विमुक्त हो जाती है । घटक II का कार्य इलेक्ट्रॉन दाता के रूप में होता है वो प्राय: अपचचित फेरिडोक्सीन से इलेक्ट्रोनों (e^-) को घटक I (MoFe) प्रोटीन उपइकाई) को स्थानान्तरित करता है । इस क्रिया में ATP का ADP मध्य में रूपान्तरण हो जाता है ।



चित्र 9.3 : नाइट्रोजिनेज एन्जाइम सम्मिश्र में रिडक्टेज एवं नाइट्रोजिनेज घटक

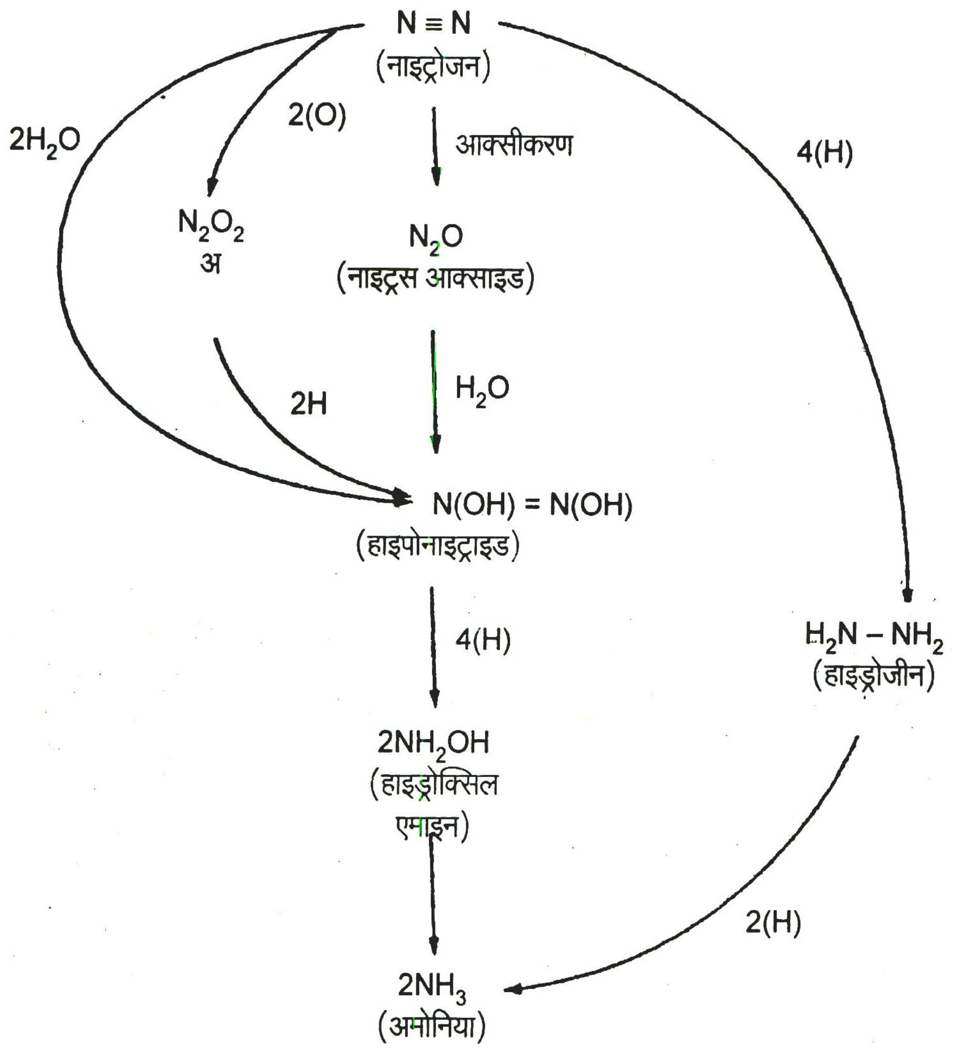
कार्बनिक नाइट्रोजन का उपयोग : उच्च वर्गीय पौधे नाइट्रोजन का सीधे अकार्बनिक रूप में उपयोग नहीं कर सकते हैं क्योंकि यह उच्च ऑक्सीकृत रूप में होती है, जबकि कार्बनिक नाइट्रोजन, उच्च अपचयित रूप में होती है । बहुधा यह पाया गया है कि अमोनिया (अपचयित रूप) लगभग सीधे ही कार्बनिक पदार्थों के निर्माण में प्रवेश करती है । अत: अकार्बनिक नाइट्रोजन के उपापचय में अमोनिया एक निर्देशक मध्यवर्ती (Intermediate) यौगिक के तौर पर प्रयुक्त होती है । अकार्बनिक नाइट्रोजन के यौगिकों का अमोनिया के रूप में अपचयन कुछ विशिष्ट विधियों द्वारा सम्पन्न होता है जो कि निम्न प्रकार है

9.3.1 आण्विक नाइट्रोजन का अपचयन (Reduction of Molecular Nitrogen)

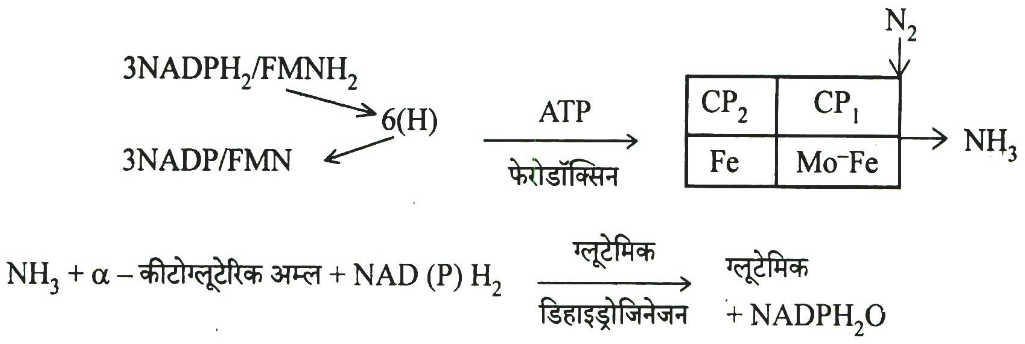
आण्विक नाइट्रोजन के अपचयन में प्रकाश या अंधकार -जनित अपचयनकारी पदार्थ या NADPH[2] ऊर्जा स्रोत APT एवं कुछ एन्जाइमों की आवश्यकता होती है । विभिन्न पादपवेत्ताओं ने नाइट्रोजन अणु के ऑक्सीकरण, अपचयन तथा जल विश्लेषण के आधारी पर अलग - अलग प्रकार के परिपथ प्रस्तुत किये हैं ।

वेब्सटर (Webster,1959) व **चेट तथा ले** (Chat and Leight,1968) ने सैद्धान्तिक आधार बताया कि आण्विक नाइट्रोजन का कार्बनिक नाइट्रोजन में सीधा अपचयन सम्भव नहीं है, वरन पूर्व में इसको सक्रिय करने के लिए नाइट्रोजिनेज नामक एन्जाइम की जरूरत होती है । एक सक्रियक वर्ग के रूप में कोबाल्ट प्रयुक्त होता है । इसी तरह नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए एक अन्य एन्जाइम हाइड्रोजिनेज भी आवश्यक होता है, जिसका अतिरिक्त वर्ग फ्लेवोप्रोटीन युक्त मोलीब्डीनम है । आण्विक नाइट्रोजन ऑक्सीकृत होकर नाइट्रेट ऑक्साइड (N_2O) या नाइट्रस डाइऑक्साइड में परिवर्तित हो जाती है (चित्र 9.4) ।

इस प्रकार नाइट्रस डाइऑक्साइड अपचयित व नाइट्रस ऑक्साइड जलविश्लेषित होकर हाइपोनाइट्राइट $N(OH)_2$का निर्माण करते हैं । कभी -कभी नाइट्रोजन सीधे जल विश्लेषित होकर भी हाइपोनाइट्राइट बना देती है । हाइपोनाइट्राइट पुन : हाइड्रोक्सिल एमाइन में अवकृत होते हुये अन्तत : अमोनिया (NH_3) का निर्माण कर देता है । एक अन्य परिपथानुसार आण्विक नाइट्रोजन सीधी अपचयित होकर मध्यवर्ती यौगिक बनाते हुये अमोनिया में परिवर्तित हो जाती है । बुरिस (Buris,1966) ने नाइट्रोजन यौगिकीकरण की एक अन्य कार्यशील परिकल्पना का सुझाव दिया है, जिसमें $NADPH_2$,ATP तथा नाइट्रोजिनेज की भूमिका के बारे में भी संकेत किया गया है । इस प्रकार विभिन्न परिभाषानुसार अनेक मध्यवर्ती पदार्थ बनाते हुये नाइट्रोजन उपापचयी निकास में प्रवेश करने से पूर्व स्थायी यौगिक अमोनिया में अपचयित हो जाती है (चित्र 9.5) ।



चित्र 9.4 : आण्विक नाइट्रोजन के अपचयन के सम्भावित परिपथ



चित्र 9.5 : बुरिस द्वारा प्रस्तुत नाइट्रोजन स्थिरीकरण परिपथ

9.3.2 नाइट्रेटों का अपचयन (Reduction of NItrates)

आण्विक नाइट्रोजन की भाँति ही नाइट्रेट यौगिकों को प्रयुक्त करने से पूर्व इनका भी अपचयन होता है तथा अमोनिया का निर्माण होता है ।

$NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO \rightarrow NH_2 \rightarrow OH \rightarrow NH_3$

नाइट्रेट → नाइट्राइट → हाइपोनाइट्रेट → इड्राक्सिल → एमाइन → अमोनिया

पादपों के हरे या हरितलवक युक्त भागों में, जैसे पत्तियों में, हाइड्रोजन दाता पदार्थ एवं ATP प्रत्यक्ष अधिग्रहण प्रकाश संश्लेषण प्रक्रिया से ही कर लिया जाता है । बर्सट्रॉम (Burstom,1945) ने बताया कि कुछ पौधे विशेषकर तरुण गेहूँ के पौधे की पत्तियों में नाइट्रेट यौगिकों का अपचयन प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया के साथ अत्यधिक जुड़ा हुआ है । इसलिए अपचयन कार्य गे प्रयुक्त ऊर्जा के स्रोत के तौर पर सूर्य का प्रकाश ही प्रयुक्त होता है । अभिनव अध्ययनों के अनुसार ऐसे पादपों की पत्तियों में नाइट्रेट यौगिकों के अपचयन की दर प्रकाश में तीव्र हो जाती है । हरित शैवालों जैसे क्लोरैला (Chlorella) की कोशिकाओं को प्रकाश में उदभासित करने पर नाइट्रेट की उपस्थिति में तुलनात्मक रूप से ऑक्सीजन का निष्क्रमण अधिक मात्रा में होता है । अत : नाइट्रेट अपचयन के परिणामस्वरूप ऑक्सीजन की उत्पत्ति होती है एवं नाइट्रेट यौगिकों की अनुपस्थिति में ऑक्सीजन भी कम मात्रा में उत्पन्न होती है ।

नाइट्रेट अपचयन में एक मेटेलो फ्लेवो प्रोटीन एन्जाइम सम्मिश्र अर्थात् एक विशिष्ट एन्जाइम तथा अपचयनकारी संकुल की आवश्यकता होती है, जिसे नाइट्रेट -रिडक्टेज कहते हैं । यह एक अस्थायी एन्जाइम है । इसकी कार्य प्रणाली को संक्षिप्त रूप से निम्न रासायनिक प्रक्रियाओं द्वारा प्रस्तुत किया जा सकता है:

$$NO_3 + NADPH_2 \xrightarrow{\text{नाइट्रेट रिडक्टेज}} NO_2 + NADP + H_2O$$

$$NO_2 + 2NADPH_2 \text{ नाइट्राइट रिडक्टेज } NH_2OH + 2NADP + H_2O$$

$$NH_2OH + NADH \xrightarrow[\text{रिडेक्टेज}]{\text{हाइड्रोक्सिल एमीन}} + H_2ONAD$$

अत : समग्र रूप से नाइट्रेट अपचयन एवं अमोनिया का निर्माण इस प्रकार प्रदर्शित किया जा सकता है

$$NHO3 + 8H \xrightarrow{\text{डिहाइड्रोजिनेज}} NH_3 + 3H_2O$$

अमोनिया क्रेब्स चक्र के विभिन्न मध्यवर्ती कार्बनिक अम्लों से संयोग कर अमीनो अम्लों, एमाइडों, ऑक्सिम्स (oximes) आदि का निर्माण करती है । विभिन्न अमीनो अम्ल विशिष्ट RNA की उपस्थिति में संयोग कर आवश्यक प्रोटीन संश्लेषित करते हैं ।

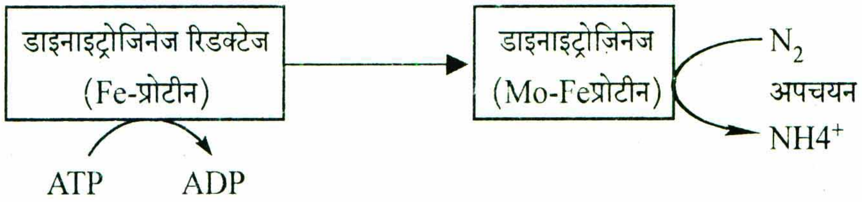
9.3.3 नाइट्रेट रिडक्टेज (नाइट्रोजिनेज एन्जाइम संकुल) का महत्व एवं नियमन

नाइट्रोजन उपापचय में एन्जाइम नाइट्रेट रिडक्टेज एवं नाइट्राइट रिडक्टेज का अति महत्वपूर्ण महत्व है । सर्वविदित है कि वायुमण्डलीय मुक्त नाइट्रोजन के स्थान पर पौधे मृदा में उपस्थित नाइट्रोजन के यौगिक नाइट्रेट व अमोनिया द्वारा नाइट्रोजन की पूर्ति करते हैं । वैज्ञानिकों ने बताया कि अधिकांश **धान्य पादप** (cereals) मृदा से नाइट्रेट लवणों का जबकि आलू, अन्नानास व चावल (एक धान्य फसल) अमोनिया के अवशोषण को अधिक पसंद करते हैं । पौधों की मूलें अम्लीय PH मृदा से नाइट्रेटों का जबकि क्षारीय या उदासीन pH की अवस्था में अमोनिया का अवशोषण करते हैं । **नाइट्रेट रिडक्टेज** एवं नाइट्राइट रिडक्टेज का उपयोग ऊपर वर्णित अभिक्रिया में दर्शाया गया है । नाइट्रेट रिडक्टेज एन्जाइम को न्यूरोस्पोरा (Neurospora) कवक व

उच्चवर्गीय पादपों में सबसे पहले ईवान्स तथा नेसन (Evan and Nason, 1953, 54) ने पृथक किया । बाद में भारतीय वैज्ञानिक **श्रीवास्तव** (h.S. Srivastava,1980) एवं नायक एवं साथियों (Naik et. al 1982) ने कई भारतीय उच्च पादप वंशों में अध्ययन किया एवं नाइट्रेट रिडक्टेज के महत्व एवं नियमन पर विस्तृत विवरण प्रस्तुत किया । अभिनव खोजों में उस एन्जाइम को लगभग सभी पादपों में पाया गया है । यह एन्जाइम एक **समद्वितीय** (HOmodimar) है जिसके प्रत्येक **एकलक** (Monomer) का आकार 100 - 120 k डॉल्टन होता है । नाइट्रेट रिडक्टेंज एक अस्थायी एन्जाइम है जिसका प्रोस्थेटिक समूह एक धात्वीय फ्लेवोप्रोटीन एडिनीन ड्राइन्यूक्लिओटाइट (FAD) फ्लेवोप्रोटीन के रूप में विद्यमान होता है । इस एन्जाइम प्रणाली में अपचयित NAD या NADP (Nicotinomide adenine dinucleotide) भी इलेक्ट्रॉन दाता के रूप में कार्य करता है । नाइट्रेट रिडक्टेज अवायु (Anaerobic) परिस्थितियों में सक्रिय रहता है । अत : यह एक अस्थायी प्रेरणीय (INducible) एन्जाइम है जो क्रियाधार (Substrate) या विप्रेरक (Inducer) की उपस्थिति में ही पाया जाता है । यही कारण है कि क्रियाधर के अभाव में नाइट्रेट रिडक्टेज का अस्तित्व नहीं होता है । स्मरणीय है कि प्रेरणीय एन्जाइमों के विपरीत अहेतुक एन्जाइम (Constitutive enzymes) कोशिका में सदैव पाये जाते हैं चाहे उनका क्रियाधार उपस्थित हो या नही हो ।

नाइट्रेट रिडक्टेज एन्जाइम की संरचना एवं नियमन से पता चलता है कि यह एन्जाइम वास्तव में एक जटिल, संकुल या सम्मिश्र के रूप में क्रियाशील होता है जिसे नाइट्रोजिनेज एन्जाइम सम्मिश्र कहते हैं । इसी संकुल द्वारा वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का अमोनिया के रूप में स्थिरीकरण होता है । जो इस प्रकार है :

अपचयित फेरोडॉक्सिन से इलेक्ट्रॉन



नाइट्रोजिनेज एन्जाइम की सक्रियता का नियमन ~~निम्न बिन्दुओं द्वारा~~ स्पष्ट कर सकते हैं

1. नाइट्रोजिनेज संकुल की सक्रियता को सबसे ज्यादा ऑक्सीजन एवं नाइट्रोजन यौगिकों की उपस्थिति प्रभावित करती है । स्मरणीय है कि यह संकुल अवायु अवस्थाओं में पूरी तरह क्रियाशील होता है । जबकि ऑक्सी (O_2 की उपस्थिति) अवस्था इस एन्जाइम के उत्पादन एवं सक्रियता को कम कर देती है । शुद्व जीवाणु संवर्धों में 0. 5 वायुमण्डलीय या अधिक ऑक्सीजन इस सम्मिश्र को अक्रियाशील कर देती है ।
2. विभिन्न नाइट्रोजन स्थिरीकरण जीवों में अवायु वातावरण उत्पन्न करने की युक्तियाँ पाई जाती है । वायवीय सूक्ष्मजीव O_2 का तत्काल उपयोग कर नाइट्रोजिनेज पर ऑक्सीजन के प्रभाव को नहीं पड़ने देते है जबकि प्राकृतिक रूप से अवायु जीव अवायु वातावरण स्वत: ही प्रदान कर लेते हैं ।

3. लेग्यूम पादपों की जड़ों की ग्रन्थियों में विद्यमान लेग्हीमोग्लोबिन लाल वर्णक नाइट्रोजिनेज को 0_2से बचाये रखता है।
4. कुल सायनोबेक्टीरिया में विशिष्ट रचना **हेटेरोसिस्ट** (Heterocysts) में सिर्फ प्रकाश तंत्र I (PSI) ही होता है जिससे इनमें O_2 उत्सर्जन नहीं होता एवं नाइट्रोजिनेज की सक्रियता बनी रहती है । सर्वविदित है कि हेटेरोसिस्ट रहित नीलरहित शैवालों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण रात्रि में जबकि प्रकाश संश्लेषण दिन में सम्पन्न होता है ।
5. **राइजोबियम** में नाइट्रोजिनेज की सक्रियता का नियमन कुछ विशिष्ट nif जीन्स द्वारा किया जाता है ।
6. अधिक अमोनिया के निर्माण एवं ADP की अधिक मात्रा भी नाइट्रोजिनेज सक्रियता को नियंत्रित करती है ।
7. नाइट्रेट रिडक्टेज पर प्रकाश, कार्बन -डाइऑक्साइड एवं कैल्शियम के प्रभाव को कई वैज्ञानिकों ने खोजा है । कन्नानगारा एवं **वूलहाउस** ने 1960 में बताया कि प्रकाश व CO_2, की अधिक मात्रा प्रकाश संश्लेषण की दर को बढ़ाती है जिससे नाइट्रेट रिडक्टेज के संश्लेषण में वृद्धि पाई जाती है । **पॉल्सन** एवं **हार्पर** ने 1968 में Ca-न्यूनता वाले पौधों में नाइट्रेटों की अधिकता इस एन्जाइम संश्लेषण को रोकती है । '

9.3.4 आनुवांशिक अभियान्त्रिकी (Genetic Engineering)

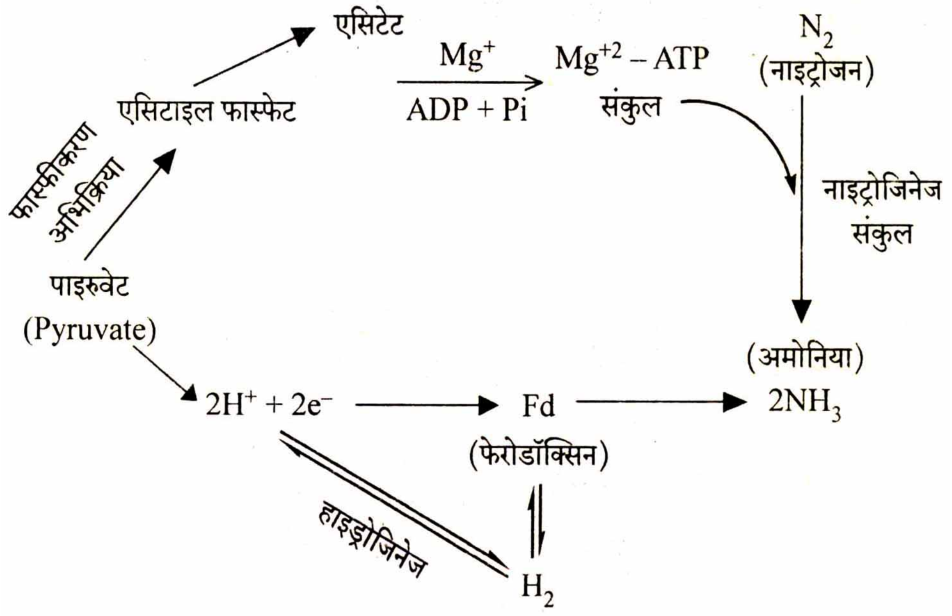
राइजोबियम (मूल ग्रन्थि जीवाणु) में नाइट्रोजन स्थिरीकरण के लिए आवश्यक एन्जाइम नाइट्रोजिनेज की सक्रियत जीवाणु में व्याप्त एक प्लाज्मिड पर उपस्थित जीन (genes) द्वारा नियंत्रित होती है, जिन्हें nif जीन्स (Nitrogen fixing genes) कहते हैं । nif genes कि क्रियाशीलता को वायुमण्डलीय नाइट्रोजन तो किसी भी प्रकार प्रभावित नहीं करती है लेकिन नाइट्रोजन यौगिकों जैसे अमोनिया, नाइट्रेट, अमीनो अम्ल आदि जीन्स की सक्रियता एवं अभिव्यक्ति को व्यापक रूप से अवरोधित करते हैं । मूल ग्रन्थि बनाने वाले जीन्स नोड (Nod genes) कहलाते हैं । आनुवांशिक अभियान्त्रिकी की सहायता से शिम्ब पादपों के अलावा भी अन्य पादपों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण को समावेशित किया जाता है । राइजोबियम के nif genes को स्वतंत्र N -स्वांगीकरण जीवाणु क्लेबसीला एरोगेन्स (Klebsielle aerogens) एक स्वतंत्र नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले में स्थानान्तरित किया गया है । **वॉन बूलोब** एवं **डॉवरनायर** (Von Bulow and Dobereiner, 1975) ने एक स्वतंत्र नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले स्पीरीलुम लिपज्फेरम (spirillum lipzferum) को मक्के की जड़ों में समावेशित (INtroduced) किया है । अत : अभिनव आनुवांशिक अभियान्त्रिकी द्वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण को अन्य फसलों में भी सुगमता से स्थानान्तरित किया जा रहा है जिससे फसल उत्पादकता को व्यापक स्तर पर बढ़ाया जा सकेगा ।

9.3.5 नाइट्रोजन स्थिरीकरण की जैव रासायनिक क्रियाविधि (सोपानीय प्रक्रम)

यद्यपि नाइट्रोजन स्थिरीकरण की जैवरासायनिक क्रियाविध पूर्णतया ज्ञात नहीं है लेकिन **शेकनेडर** एवं सहयोगियों ने (1960) आइसोटोप नाइट्रोजन (N^{15} भारी नाइट्रोजन) एवं स्वतंत्र कोशिकीय नाइट्रोजन स्थिरीकरण निर्माण द्वारा नाइट्रोजन का अमोनिया में रूपान्तरण बताया ।

बुरिस (Burris,1966,1978) ने नाइट्रोजन स्थिरीकरण का एक सोपानीय उल्लेख किया है, जिसमें $NADPH_2$,ATP एवं नाइट्रोजिनेज की भूमिका को इंगित किया है । (चित्र 9.6) । नाइट्रोजन स्थिरीकरण का सोपानीय प्रक्रम संक्षेप में निम्न प्रकार है :

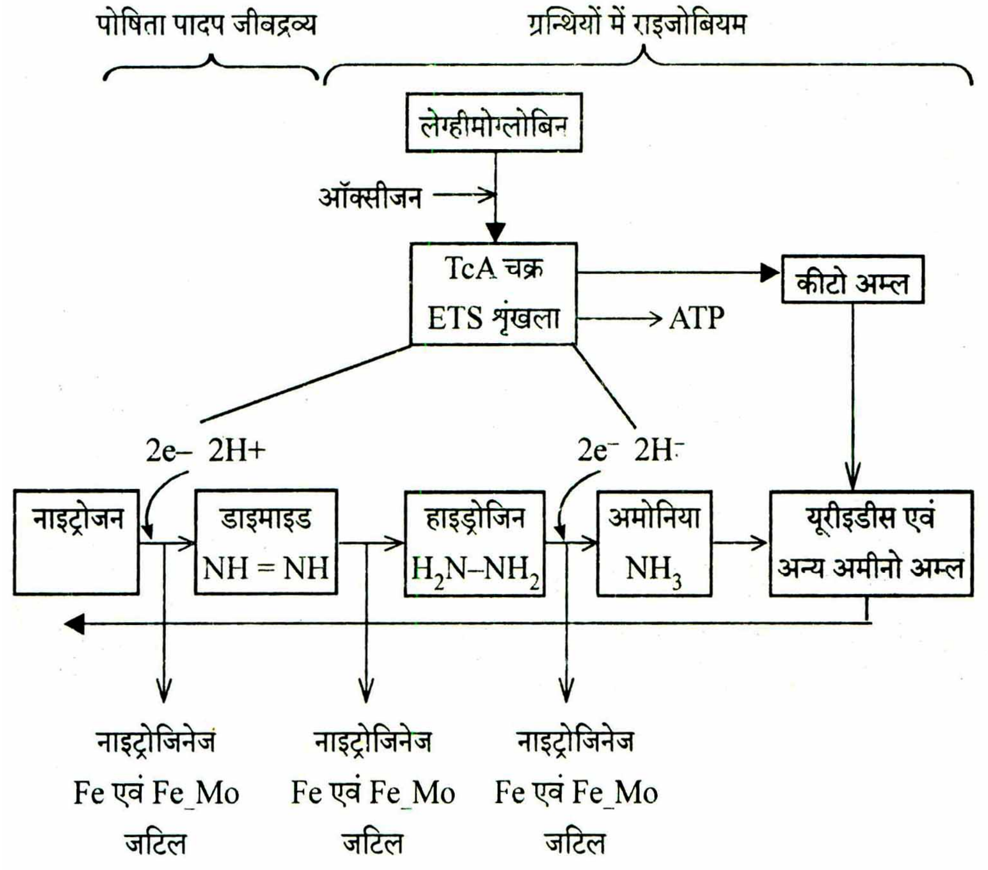
1. ग्लाइकोलाइसिस के अन्तिम उत्पाद पाइरुविक अम्ल के फॉस्फोरीकरण से एसिटिल फॉस्फेट, CO_2 एवं H_2 बनते हैं।
2. एसिटिल फॉस्फेट ADP से क्रिया करके एसिटेट में बदल जाता है एवं ATP का एक अणु उत्सर्जित होता है ।
3. पारुवेट से उत्सर्जित इलेक्ट्रान फेरोडॉक्सिन द्वारा ग्रहण कर लिया जाता है, इस प्रकार फेरोडॉक्सिन अपचयित हो जाता है ।



चित्र 9.6 : बुरिस (1978) द्वारा प्रतिपादित ओर N_2 स्थिरीकरण का पथ

4. अपचयित फेरोडॉक्सिन Fe-प्रोटीन घटक (नाइट्रोजिनेज का घटक) को इलेक्ट्रॉन प्रदान कर Fe-प्रोटीन अपचयित हो जाता है |
5. यह अपचचित Fe-प्रोटीन ATP से जुड़कर ($mg^{+}2$ की उपस्थिति में) सक्रियक हो जाता है तथा नाइट्रोजिनेज संकुल के MO-Fe प्रोटीन घटक को अपचयित कर देता है ।
6. अपचयित Mo-Fe प्रोटीन उपइकाई नाइट्रोजन को सोपानवत e प्रदान कर नाइट्रोजन को अमोनिया में अपचयित कर देता है । यह नाइट्रोजिनेज एन्जाइम पूरी N_2 के अमोनिया यौगिक में अपचयित होने पर पुन : मुक्त हो जाता है ।

चाट एवं सहयोगियों (Chatt et al, 1978) एवं हार्नेले (Haoneley,1980) द्वारा नाइट्रोजिनेज सम्मिश्र एन्जाइम द्वारा नाइट्रोजन का अमोनिया में सोपानीय प्रक्रम जो कि एक श्रृंखलावत अपचयन प्रक्रम है, प्रस्तुत किया है । चित्र 9.7 में राइजोबियम बेक्टेरियॉइड द्वारा N_2 स्थिरीकरण को प्रदर्शित किया गया है ।



चित्र 9.7 : नाइट्रोजिनेज एन्जाइम सम्मिश्र द्वारा राइजोबियम बेक्टेरियॉड में नाइट्रोजन स्थिरीकरण के मुख्य पदों का निरूपण

9.3.6 अमोनिया (अमोनियम) संवागीकरण (Ammonia assimilation)

पूर्व में वर्णित कथन के अनुसार पादपों में नाइट्रेटों का एन्जाइम नाइट्रेट रिडक्टेज की उपस्थिति में नाइट्राइटों में अपचयन हो जाता है तथा नाइट्राइटों का एन्जाइम नाइट्राइट रिडक्टेज द्वारा अमोनियम आयनों (NH_4+) में परिवर्तन हो जाता है । इस प्रक्रिया का प्रथम चरण कोशिका द्रव्य में जबकि नाइट्राइटों का अपचयन हरितलवक में होता है । अत : साइटोसोल (कोशिका द्रव्य का तरल भाग) मे निर्मित नाइट्राइटों का हीरतलवकों में स्थानन्तरण होता है जहाँ नाइट्राइट रिडक्टेज के उत्प्रेरण में नाइट्राइटों का अपचयन अमोनियम आयनों में होता है । पत्तियों में NO_2- के NH_4+ में अपचयन के लिए आवश्यक 6 इलेक्ट्रॉन क्लोरोप्लास्ट में अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण के द्वारा H_2O से प्राप्त होते हैं ।

$$NO_2^- + 3H_2O + 2H^+ + 6e^- \xrightarrow[\text{प्रकाश}]{\text{नाइट्रेट रिडक्टेज}} NH_4^+ + 2H_2O + 1.5O_2$$

अमोनिया का कार्बनिक पदार्थो में परिवर्तन : अमोनियम आयन **आविषालु** (Toxic) होने के कारण पादप कोशिकाओं में संचित नहीं होते हैं । जड़ों द्वारा मृदा से सीधे अवशोषित या पौधों में NO_3^- के अपचयन से निर्मित अमोनियम आयनों का उपयोग शीघ्र ही ग्लूटेमिक अम्ल के साथ मिलकर अमीनो अम्ल ग्लूटेमिन बनाने में होता है ।

$$\text{ग्लूटेमिक अम्ल} + NH_4^+ + ATP \xrightarrow[\text{सिन्थेटेज}]{\text{ग्लूटेमिन}} + \text{ग्लूटेमिन } ADP + ip + H^+$$

इस प्रकाश आवश्यकतानुसार अमीनो अम्ल व प्रोटीन का निर्माण होता है । अत: अमोनिया का कई कार्बनिक पदार्थों के संश्लेषण में उपयोग हो जाता है ।

अनुभागीय सारांश: नाइट्रोजन का पादप उपापचय में एक विशिष्ट है जैसे अमीनो अम्ल, एन्जाइम, प्रोटीन, न्यूक्लिक अम्ल, विटामिन, पादप हॉर्मोन्स, पर्णररित आदि का संरचनात्मक घटक । कतिपय पादप जातियों को छोड़कर जो आण्विक नाइट्रोजन का स्थिरीकरण कर सकती है, अन्य सभी पादप जातियाँ भूमि, स्थिर नाइट्रोजन के अलावा नाइट्रोजन, नाइट्रेट नाइट्राइट अमोनियम, कार्बनिक, रूप में भी उपलब्ध होती है । नाइट्रोजन के स्थिरीकरण में दो प्रक्रम (i) अजैविक (ii) जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण प्रमुख है । अजैविक प्रक्रम पूर्णतया भौतिक या रासायनिक प्रक्रिया है, लेकिन जैविक नाइट्रोजन स्थिरिकरण में असहजीवी तथा सहजीवी नाइट्रोजन प्रक्रियाएँ है, जिनमें जैविक सहजीवी नाइट्रोजन का विशेष महत्व है जो सूक्ष्म जीवों के सहचर्य का परिणाम है । अत: जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण पौधों के लिए विशेष महत्व रखता है, क्योंकि कई बैक्टेरिया, नीलहरित शैवाल, कवकें व अन्य पादप जातियाँ सहजीवी व असहजीवी जीवन अपना कर वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का स्थिरीकरण करती है । जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण के अन्तर्गत नाइट्रोजिनेज एक महत्वपूर्ण एन्जाइम संकुल है, जो कई सूक्ष्मजीवों द्वारा स्रावित कर नाइट्रोजन यौगिकों का निर्माण करते हैं । ये जीव मूल ग्रन्थियों या अन्य ग्रन्थियों में सहजीविता अपनाते हैं जो प्रकृति का एक अद्भुत सहचर्म है । अत वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को अमोनिया यौगिकों में बदलना एवं पौधों द्वारा इनका उपयोग नाइट्रोजन उपापचय का प्रमुख जैव रासायनिक प्रक्रम है ।

बोध प्रश्न - 2

1. नाइट्रोजिनेज एन्जाइम में कितने मेटेलिक घटक होते हैं ?

   ....

   ....

2. संक्रमण सूत्र से क्या अभिप्राय है ?

   ....

   ....

3. राइजोबियम जीवाणु किन पौधों की मूलों में ग्रन्थियों का निर्माण कर नाइट्रोजन स्थिरीकरण करता है? दो ऐसे पौधों के वानस्पतिक नाम बताइए ?

....

....

9.5 नाइट्रोजन चक्र -परिपथ एवं उपयोगिता

पृथ्वी का वायुमण्डल नाइट्रोजन का सर्वोत्तम स्रोत होता है । लेकिन इस अकार्बनिक वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को कार्बनिक नाइट्रोजनीय यौगिकों में संश्लेषित करने का काम पौधों द्वारा ही सम्पन्न किया जाता है । इस प्रकार जन्तुजात (Animals) अपनी आवश्यकतानुसार नाइट्रोजन आपूर्ति के लिए पौधों पर ही निर्भर करते हैं । यद्यपि पौधे सामान्यतया: अमोनिया व नाइट्रेट के रूप में व्याप्त अकार्बनिक नाइट्रोजन का ही उपयोग कर सकते हैं । अत: **वायुमण्डल से नाइट्रोजन की प्राप्ति, एवं इसके कई चरणों से होते हुये नाइट्रोजन के पुन: वायुमण्डल में पहुँचने के सम्पूर्ण परिपथ** (जो कि एक चक्रीय प्रक्रम है) को नाइट्रोजन चक्र कहते हैं । जिसका प्रकृति में निरन्तर सुगमता से अवलोकन कर सकते हैं (चित्र 9.7) । एक प्रारूपिक नाइट्रोजन चक्र निम्न प्रमुख चरणों में सम्पन्न होता है:

(अ) नाइट्रोजन स्थिरीकरण (N_2 Fixation)

(ब) अमोनीकरण (Ammonification)

(स) नाइट्रीकरण (Nitrification)

(द) विनाइट्रीकरण (Denitrification)

(अ) नाइट्रोजन स्थिरीकरण (N_2 Fixation): वायुमण्डलीठ नाइट्रोजन का मुख्यतया दो अजैविक एवं जैविक विधियों द्वारा स्थिरीकरण पूर्व में इसी अध्याय में किया जा चुका है ।

(ब) अमोनीकरण (Ammonification): प्रकृति में पाये जाने वाले केवल कुछ सूक्ष्मजीव ही वायुमण्डलीय आण्विक नाइट्रोजन का उपयोग करने में सक्षम होते हैं । विविध जीवों की मृत्यु के पश्चात् इनके मृत अवशेषों के सड़ने या विघटन से अमोनिया (NH_3) के उत्पन्न होने को अमोनियाकरण या अमोनीकरण कहते हैं । सजीवों की मृत्यु के उपरान्त नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ मृदा में विमुक्त हो जाते हैं, जहाँ इनका अधिकांश भाग अमीनो अम्लों में परिवर्तित हो जाता है । अमोनियाकर सूक्ष्मजीवों जैसे वेसीलस रेमोसस बे. माइकोडेस, प्रोटियस, स्यूडोमोनास आदि जीवाणु अमोनियाकरण द्वारा अमोनिया विमुक्त करते हैं । अमोनियाकरण जीवाणु की अभिक्रिया से निर्मित अमोनिया का कुछ भाग वायुमण्डल में मिल जाता है, लेकिन अधिकाँश भाग मृदा में अमोनियम आयनों के रूप में मृदा कणों से जुड़ा रहता है । कुछ पौधे इन्हें सीधे ही अवशोषित कर लेते हैं, लेकिन अधिक मात्रा में विषैला प्रभाव उत्पन्न करने के कारण, ये नाइट्रीकरण द्वारा नाइट्रेटों में ऑक्सीकृत हो जाते हैं ।

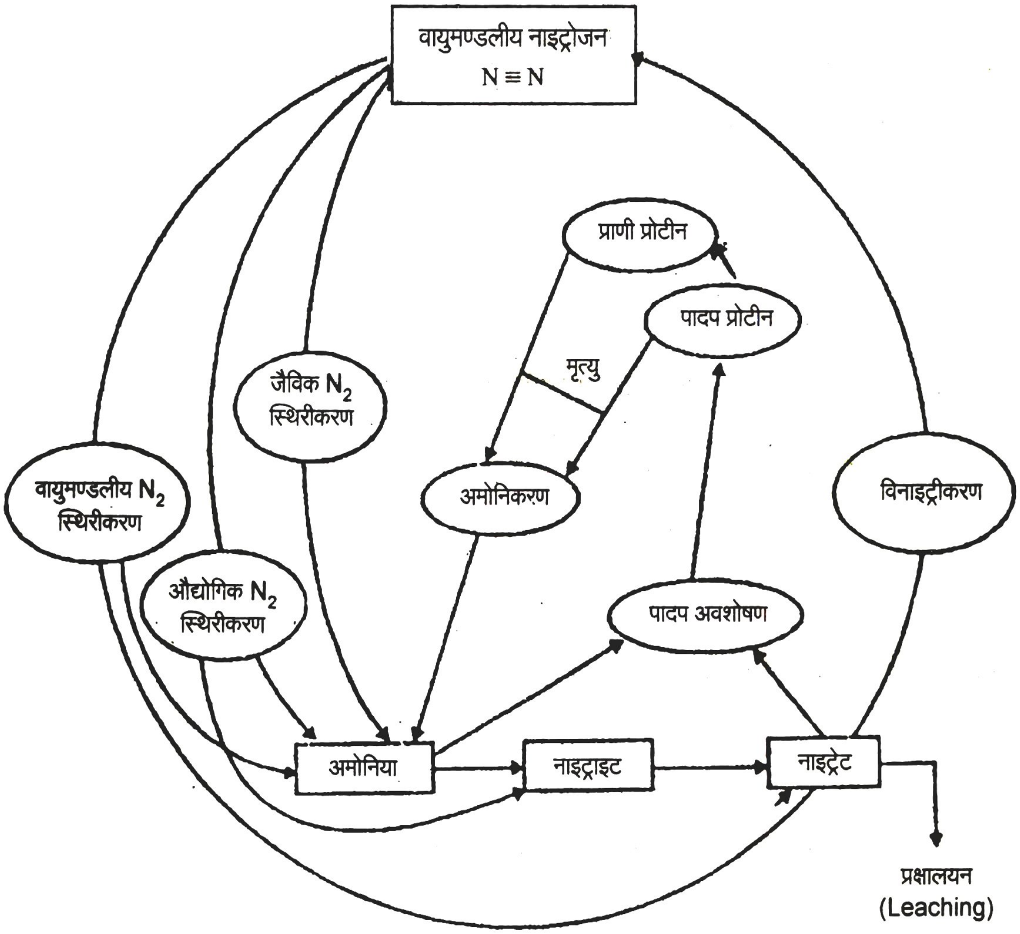
(स) नाइट्रीकरण (Nitrification) : अमोनियम आयनों का ऑक्सीकरण होकर इनसे नाइट्रेटों के निर्माण की क्रिया को **नाइट्रीकरण** कहते हैं । यह क्रिया भी कुछ जीवाणुओं तथा कवकों द्वारा संचालित होती है । नाइट्र ओसोमोनास (Nitrosomonas),नाइट्रोसोकोकस

(NItrosococcus), नाइट्रोबेक्टर (Nitrobacter) आदि प्रमुख नाइट्रीकारी जीवाणु हैं । इसी प्रकार पेनिसिलीयम (Penicillium) तथा एस्पर्जिलस (Aspergillus) की कुछ जातियाँ भी नाइट्रीकारी कवकें हैं । इनकी कुछ प्रमुख प्रजातियाँ NH_4^+ आयनों को NO_2 व NO_3 में परिवर्तित करती है ।

यह नाइट्रीकरण प्रक्रिया दो चरणों में सम्पन्न होता है । प्रथम चरण में अमोनियम आयनों का जीवाणु नाइट्रोसोमोनास द्वारा नाइट्राइटों में तथा द्वितीय चरण में नाइट्राइटों का जीवाणु नाइट्रोबेक्टर द्वारा नाइट्रेटों में ऑक्सीकरण होता है।

$$NH_4^+ + 2O_2 \xrightarrow[\text{जीवाणु कवक}]{\text{नाइट्रीकारी}} No_2- + 2H_2O$$

$$2NO_2^- + O_2 \xrightarrow[\text{जीवाणु, कवक}]{\text{नाइट्रीकारी}} 2NO_3^-$$

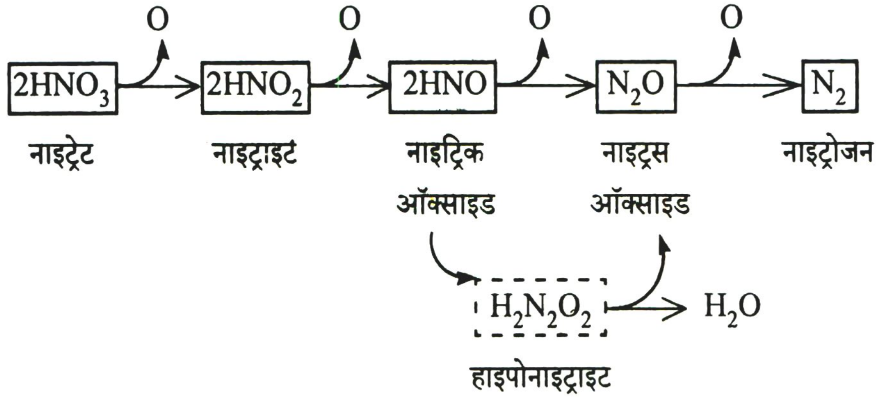


चित्र 9.7 : नाइट्रोजन चक्र : परिपथ एवं कार्य का निरूपण

मृदा में नाइट्राइटों का अधिक एकत्रीकरण नहीं होता है । इसी प्रकार मृदा में अमोनियम आयनों की अपेक्षा नाइट्रेटों को धारण करने की क्षमता भी कम होती है, क्योंकि नाइट्रेट

अपक्षालन (Leaching) द्वारा मृदा में नीचे प्रवाहित हो जाते हैं, इसलिए अत्यधिक नाइट्रीकरण मृदा उर्वरकता के लिए हानिकारक (Harmful) होता है ।

(द) विनाइट्रीकरण (Denitrification) : जलाक्रांत (Waterlogged) तथा ऑक्सीजन न्यून मृदाओं में नाइट्रेटों तथा नाइट्राइटों का तत्वीय नाइट्रोजन में अवकरण हो जाता है । इस क्रिया को **विनाइट्रीकरण** कहते हैं । यह भी कुछ मृदा सूक्ष्मजीवों द्वारा किया जाता है । इनमें सबसे प्रमुख जीवाणु सुडोमोनास डीनाइट्रीफिकेन्स (Pseudomonas denitrifications) तथा इसकी अन्य जातियाँ हैं । कुछ अन्य जातियों हैं सु. एरुजिनोसा (P.aeruginosa, विषमपोषी)तथा थायोबेसीलस डिनाइट्रीफिकेन्स (Tiobacillus dernitrificans स्वपोषी) आदि उल्लेखनीय जीवाणु है । ये विनाइट्रीकारी जीवाणु वैकल्पिक अनॉक्सी प्रकार के (Facultative) होते हैं । अत : ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में ये नाइट्रेटों का उपयोग, हाइड्रोजन ग्राही के रूप में करते हैं, जिसके परिणामस्वरूप नाइट्रेट कृत्रिम रूप से अवकृत होकर अन्ततः आण्विक नाइट्रोजन (N_2)- में परिवर्तित हो जाते हैं इन क्रमिक अभिक्रियाओं को निम्नांकित प्रकार से दर्शाया जा सकता है, जिनके दौरान नाइट्रेट का क्रमश ' नाइट्राइट, हाइपोनाइट्राइट, नाइट्रिक ऑक्साइड, नाइट्रस ऑक्साइड में परिवर्तन हो अन्त में मुक्त नाइट्रोजन का निर्माण होता है (चित्र 9.8) ।



चित्र 9.8 : विनाइट्रीकरण के चरण

इस प्रकार प्रकृति में व्याप्त इस सतत् नाइट्रोजन चक्र का महत्वपूर्ण योगदान है, जो प्राणी व वनस्पति के संयोग से निरन्तर चलता रहता है ।

बोध प्रश्न - 3

1. जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण से क्या अभिप्राय है ?

....

....

2. उच्च पादपों के लिए नाइट्रोजन के स्रोत कौन-कौन से हैं ? वायुमण्डलीय N_2 का उच्चवर्गीय पादप सीधे ही उपयोग नहीं कर पाते हैं ?

....

....

9.5 सारांश (Summary)

इस तथ्य से हम भली-भाँति अवगत है कि यद्यपि CO_2, को वायुमण्डल में सिर्फ 0.03% प्रतिशत मात्रा ही पाई जाती है, फिर भी हरे पादपों में व्याप्त रन्ध्रों (Stomata) द्वारा इसका विसरण बड़ी आसानी से हो जाता है । इसके विपरीत वायुमण्डल में 78% प्रतिशत नाइट्रोजन पाई जाती है, लेकिन इसका पौधे कार्बन -डाइऑक्साइड के समान उपयोग नहीं कर पाते हैं परन्तु नाइट्रोजन को तत्व के रूप में न करके यौगिकों के रूप में प्रयुक्त करते हैं । यौगिकीय नाइट्रोजन को पौधे जड़ों द्वारा मृदा से अवशोषित कर आवश्यक कार्बनिक यौगिक बनाते हैं । इसके आधार पर यह कहा जा सकता है कि सभी जड़ युक्त पौधों (Rooted plants) के लिए मृदा ही नाइट्रोजन का एकमात्र स्रोत है । मृदा में उपलब्ध नाइट्रोजनीय यौगिकों की मात्रा में वृद्धि के लिए सूक्ष्मजीव उत्तरदायी होते हैं जिनमें वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को नाइट्रोजन यौगिकों जैसे नाइट्राइट एवं नाइट्रेट में परिवर्तित करने की अभूतपूर्व क्षमता होती है । यह प्रक्रिया जैविक नाइट्रोजन यौगिकीकरण कहलाती है तथा यह सम्भवत: पादप पोषण के लिए प्रकाश संश्लेषण के बाद दूसरी सर्वाधिक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है जिसे नाइट्रोजन उपापचय कहते हैं । यह प्रक्रिया अजैविक व जैविक क्रियाओं द्वारा सम्पन्न होती है, लेकिन इनमें जैविक सहजीवी नाइट्रोजन उपापचय निम्न बिन्दुओं में सम्पन्न होता है ।

- नाइट्रोजन स्थिरीकरण सूक्ष्मजीवों को डॉयजोट्रॉप्स या द्विपोषीजीव कहते हैं ।
- नाइट्रोजन स्थिरीकरण करने वाले जीन्स nif जीन्स व मूल ग्रन्थि वाले जीन्स नॉडजीन्स (Nodgenes) कहलाते हैं ।
- nif जीन्स स्वतंत्र अवस्था में न पाकर एक क्षेत्र विशेष में समूह में पाये जाते हैं ।
- मूल ग्रन्थियों में व्याप्त सहजीवी जीवाणु नाइट्रोजन स्थिरीकरण करते हैं ।
- लेग्हीलोग्लोबिन वर्णक मूल ग्रन्थियों में व्याप्त नाइट्रोजिनेज एन्जाइम का ऑक्सीजन से होने वाले अवरोध से रक्षा करता है ।

नाइट्रोजन के यौगिक नाइट्रीकरण, अमोनिकरण, विनाइट्रीकरण व स्थिरीकरण द्वारा सूक्ष्मजीवों के सहचर्य से एक चक्रीय प्रक्रम में बनते एवं विघटित होते हैं । अत: मृदा में नाइट्रोजन के स्रोत विभिन्न यौगिकीय स्वरूपों में पाये जाते हैं, जो पौधों द्वारा अवशोषित पादप संगठन निर्मित करते हैं ।

9.6 शब्दावली (Terminology)

सहजीवन (Symbiosis) - असमान सजीवों के एक दूसरे के लाभ के लिए पाये जाने वाले सम्बन्ध को सहजीवन कहते हैं।

नाइट्रोजन स्थिरीकरण का यौगिकीकरण (N2 Fixation) : वायुमण्डल नाइट्रोजन को इनके अवशोषण योग्य लवणों में परिवर्तित कर नाइट्रोजनी कार्बनिक यौगिकों के निर्माण की क्रिया है ।

संक्रमण सूत्र (Infection thread) : सहजीवी जीवाणु का मूल में वेधन कर, परपोषी जीवाणुओं का वल्कुट में विमुक्त एक सूत्र के रूप में होता है, इसे संक्रमण रू कहते हैं ।

नाइट्रोजिनेज (Nitrogenase) : एक एन्जाइम संकुल, जो जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण में प्रयुक्त होता है ।

नाइट्रीकरण (Nitrification) : अमोनियम आयन को नाइट्रेट में ऑक्सीकरण करना ।

विनाइट्रीकरण (Denitrification) : ऑक्सीजन न्यून माध्यम में नाइट्रेटों या नाइट्राइटों का तत्वीय नाइट्रोजन में अपचयन।

9.7 सन्दर्भ ग्रन्थ (References)

1. रामाराव एवं सूर्यलक्ष्मी,1944 - 'टेस्ट बुक ऑफ बॉयोकेमेस्ट्री' यू. बी. एस. प्रकाशक - नई दिल्ली
2. सेलिसवुरे, फ्रेन्क्र एवं रॉस, 1969 - 'प्लान्ट फिजियोलॉजी' केलिफोर्निया ।
3. डेव्लिन एवं फ्रेन्सीस, 1983 'प्लान्ट फिजियोलॉली' पी. डब्लू. एस. प्रकाशक - बॉस्टन ।
4. त्रिवेदी, शर्मा एवं धनखड़ - 2005 'पादप कार्यिकी जैव रसायन' एवं जैव प्रौद्योगिकी - रमेश बुक डिपो - जयपुर(राज.)
5. वर्मा एवं चौधरी - 'पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन ' अल्का पब्लिकेशन्स, अजमेर (राज.) ।

9.8 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers)

बोध प्रश्न - 1

1. पादपों के अन्दर या बाहर होने वाले श्रृंखलाबद्ध जैव रासायनिक परिवर्तन जिनके फलस्वरूप सरल रूपों से जटिल नाइट्रोजनी खाद्य पदार्थो का निर्माण तथा जटिल नाइट्रोजनी कार्बनिक खाद्यों के इनके सरल रूपों में टूटना, ही नाइट्रज्ञेजन उपापचय कहलाता है ।
2. सहजीवी जीवाणु = राइजोबियम

   यनोबेक्टीरिया = नास्टॉक

   कवक = (यीस्ट) सैकेरोमाइसीज
3. लेग्यूम मूल ग्रन्थि में विद्यमान एक लाल वर्णक है इसका कार्य नाइट्रोजन स्थिरीकरण में नाइट्रोजिनेज एन्जाइम को ऑक्सीजन से सुरक्षा प्रदान करना है ।

बोध प्रश्न - 2

1. नाइट्रोजिनेज एन्जाइम में दो घटक या उपइकाईयाँ होती है ।

   घटक I : मोलिब्डेनम लौह प्रोटीन (Mo-Fe protein) बम घटक व प्रोटीन की चार श्रृंखलाओं से निर्मित होता है ।

   घटक II : लौह -प्रोटीन (Fe-protein) दो प्रोटीन अणुओं से निर्मित हौज है ।
2. सहजीवी जीवाणुओं का धीरे - धीरे लेग्यूम मूलों के अपेक्षाकृत कोमल भागों का भेदन कर मूल के अन्दर व्याप्त ऊतकों में जीवाणु गुणन कर विमुक्तन एक सूत्र के रूप में पाया जाता है । यही संक्रमण सूत्र होता है ।
3. राइजोबियम शिम्म (लेग्यूम) कूल फेबेसी की मूलों में मूल ग्रन्थि निर्माण करता है ।

उदाहरण : 1. पाइसम सटाइवम (Pisum sativam), 2. ट्राइगोनेला फोइनम ग्रेसिकम (Trigonella foenum graecum) मेथी, 3. ऐराकिस हाइपोजिया (Arachis hypogaea)=मूंगफली

बोध प्रश्न - 3

1. मृदा में उपलब्ध नाइट्रोजनी पदार्थो की मात्रा में वृद्धि के लिए कुछ सूक्ष्म जीव उत्तरदायी होते हैं जिनमें वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को नाइट्रोजन यौगिकों जैसे नाइट्रेट, नाइट्राइट आदि में रूपान्तरण करने की अभूतपूर्व क्षमता पाई जाती है । यही प्रक्रिया जैविक नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहलाती है ।
2. उच्च पादपों में नाइट्रोजन के प्रमुख स्रोत पाँच है :

   1. नाइट्रेट नाइट्रोजन, 2. अमोनियम नाइट्रोजन, 3. कार्बनिक नाइट्रोजन, 4. नाइट्राइट नाइट्रोजन, 5. आण्विक नाइट्रोजन वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का उच्च वर्गीय पौधे सीधे ही उपयोग नही कर पाते हैं क्योंकि यह पौधों के लिए टाक्सिस (विषैली) होती है । कतिपय पादप जातियों को छोड़कर अधिकतर पौधे वायुमण्डलीय नाइट्रोजन को नाइट्रोजन यौगिकों के रूप में बदल कर अवशोषित करते हैं व आवश्यक कार्बनिक यौगिक बनाकर पादप संगठन में नाइट्रोजन उपयोग करते हैं ।

9.10 अभ्यास प्रश्न (Exercises)

A. बहु विकल्पात्मक प्रश्न

1. अधिसंख्य पौधे नाइट्रोजन को ग्रहण करते हैं :

   (अ) अमोनियम

   (ब) नाइट्रेट

   (स) नाइट्राइट

   (द) आण्विक नाइट्रोजन के रूप में
2. भौतिक नाइट्रोजन स्थिरीकरण होता है :

   (अ) जीवाणु द्वारा

   (ब) कवक द्वारा

   (स) शैवाल द्वारा

   (द) तडित-गर्जन द्वारा

B. अतिलघुरात्मक प्रश्न

1. सहजीवी नाइट्रोजन स्थिरीकरण से क्या तात्पर्य है ? इस क्रिया से सम्बन्धित दो जीवाणुओं का नाम लिखिये ।
2. नाइट्रोजन के पादप उपापचय में दो महत्व बताइये ।
3. एक ग्राम घनात्मक एवं एक ग्राम ऋणात्मक जीवाणु का नाम बताइये, जो वायुमण्डलीय नाइट्रोजन स्थिरीकरण करता है।
4. अमोनियाकरण से मा तात्पर्य है? दो अमोनियाकरण सूक्ष्म जीवों के नाम बताइये ।

C. निबंधात्मक प्रश्न

1. सहजीवी सूक्ष्मजीवों द्‌वारा नाइट्रोजन स्थिरीकरण का विवरण दीजिये ।
2. पौधों में नाइट्रेट अपचयन का उल्लेख कीजिये ।
3. एन्जाइम नाइट्रोजिनेज का वर्णन लिखिये ।
4. प्रकृति में नाइट्रोजन चक्र के परिपथ व महत्व को समझाइये ।
5. नाइट्रोजन स्थिरीकरण की जैव रासायनिक क्रियाओं का उल्लेख कीजिये ।
6. मूल ग्रन्थि निर्माण एवं इसकी उपयोगिता बताइये ।"

9.11 अभ्यासार्थ प्रश्नों मे उत्तर

A. बहु विकलपात्मक प्रश्न

1. (ब)
2. (द)

इकाई 10 : कार्बोहाइड्रेट्स (Carbohydrates)

इकाई की रूपरेखा

10.0 उद्देश्य (Objectives)
10.1 प्रस्तावना (Introduction)
10.2 कार्बोहाइड्रेट्स- महत्व (Carbohydrates Importance)
10.2.1 वर्गीकरण (Classification)
10.2.2 कार्बोहाइड्रेट संरचना की सामान्य अभिमुखाएँ (General aspects of Carbohydrate structure)
10.2.3 मोनोसैकेराइड्स - संरचना, लक्षण एवं कार्य (Monosaccharides- Struture,properties & Functions)
10.2.4 डाइसैकेराइड्स या ऑलिगोसैकेराइड्स - संरचना, लक्षण एवं कार्य (Disaccharides or oligosaccharides - Structure, Properties and Functions)
10.2.5 पॉलीसैकेराइड्स - संरचना, लक्षण एवं कार्य (Polysaccharides- Structure, Properties and Functions)
10.3 ग्लाईकोसिडिक बन्ध (Glycosidic linkage)
10.3.1 कार्बोहाइड्रेट - परिवहन (Carbohydrates) - Transport
10.3.2 कार्बोहाइड्रेट्स - पारस्परिक परिवर्तन (Carbohydrates - Interconversion)
10.3.3 ग्लाइकोप्रोटीन्स (Glycoproteins)
10.4 अनुभागीय सारांश (Sectional summary)
10.5 कार्बोहाइड्रेट्स - संश्लेषण एवं ऑक्सीकरण, एक परिदृश्य (Carbohydrates - Synthesis and oxidation an overview)
10.6 सारांश (Summary)
10.7 शब्दावली (Glassary)
10.8 संदर्भ ग्रंथ (Refernces)
10.9 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers)
10.10 अभ्यासार्थ प्रश्न (Question)

10.0 उद्देश्य (Objectives)

प्रस्तुत इकाई का मुख्य उद्देश्य आपको इस योग्य बनाना है कि इसके अध्ययन के उपरान्त आप :

1. कार्बोहाइड्रेट्स जैव रसायनों को परिभाषित कर इनके महत्व को भलिभाँति जान पायें ।
2. कार्बोहाइड्रेट्स को वर्गीकृत कर विभिन्न प्रकार के इन जैव रसायनों को पहचान पायें ।
3. कार्बोहाइड्रेट संरचना की सामान्य अभिमुखताओं का अध्ययन कर सकें ।

4. मोनोसैकेराइड्स, डाइसैकेराइड्स एवं पॉलीसैकेराइड्स की संरचना, लक्षण एवं कार्यो को वर्णित कर सकें ।
5. कार्बोहाइड्रेट्स का परिवहन एवं संश्लेषण की पहचान कर सके ।
6. ग्लाइकोप्रोटीन्स का अध्य्यन कर सके ।

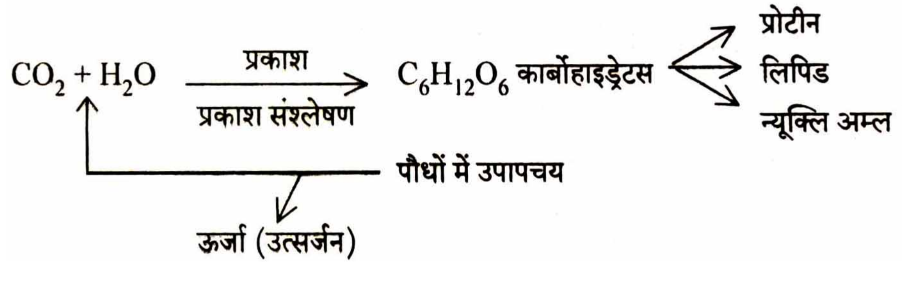
10.1 प्रस्तावना (Introduction)

पादप शरीर का निर्माण कई तत्वों से होता है, जो अनेक रूपों में संगठित होकर विविध जैव रसायनों का निर्माण करते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स इन जैव रसायनों के चार प्रमुख वर्गों में सर्वाधिक व्यापक समूह है । अन्य तीन प्रमुख वर्ग न्यूक्लिक अम्ल, प्रोटीन एवं लिपिड्स है । पौधों का अधिकांश भाग कार्बोहाइड्रेट्स निर्मित होता है । मक्का के एक पौधे के शुष्क भार का 18% भाग कार्बोहाइड्रेट्स 2% प्रोटीन एवं अन्य सभी जैव रसायनों का 1% भाग होता है । प्राणी कार्बोहाइड्रेट्स को ऊर्जा के मुख्य स्रोत के रूप में उपयोग करते हैं |

कार्बोहाइड्रेट्स की परिभाषा : कार्बोहाइड्रेट्स का शाब्दिक अर्थ है : कार्बन के हाइड्रेट्स अर्थात् कार्बन, हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन तत्वों के 1 : 2 : 1 संयोग से निर्मित कार्बनिक पदार्थ है । इनका मूलानुपाती सूत्र (Emperical Formula) CH_2O होता है ।

इनमें हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन का वही अनुपात 2 : 1 होता है, जो कि जल में पाया जाता है । वर्तमान समय में कार्बोहाइड्रेट्स माने जाने वाले पदार्थो की कसौटी को अधिक व्यापक किया गया है, जिसमें कई सल्फर एवं नाइट्रोजन युक्त (जैसे, ग्लूकोसमीन) पदार्थो को भी कार्बोहाइड्रेट्स वर्ग में सम्मिलित करना सम्भव हो सका है । उसके विपरीत प्रकृति में कुछ ऐसे पदार्थ विद्‌यमान हैं, जो C,H,O के दृढ़ता से 1 : 2 : 1 के अनुरूप हो भी सकते हैं और नहीं भी। जैसे लैक्टिक अम्ल ($C_3H_6O_3$) एक कार्बोहाइड्रेट नहीं है जबकि इसमें C,H,O का अनुपात 1 : 2 : 1 है । अत: कार्बोहाइड्रेट्स को नितांत रूप में 'कार्बन के हाइड्रेट्स' (पूर्व मान्यता) ही नहीं कहा जा सकता है । अब इन्हें अधिक सामान्य वर्गों में विभाजित किया गया है । अत आधुनिक समय में कार्बोहाइड्रेट्स को इस प्रकार परिभाषित किया जाता है ' । "पालिहाइड्रॉक्सी ऐल्डिहाइड या पालिहाइड्रॉक्सी कीटोन रख उनके व्युत्पत्र (Derivatives) अथवा ऐसे जटिल पदार्थ, जिनके जल अपघटन से ऐसे पदार्थों का निर्माण होता है, कार्बोहाइड्रेट्स कहे जाते है" ।

प्रकृति में पौधे CO_2 एवं जल से सूर्य की ऊर्जा में कार्बोहाइड्रेट्स का संश्लेषण करते हैं, जो अन्य तीनों प्रमुख जैव रसायनों के संश्लेषण में भी उपयोगी होता है :



10.2 कार्बोहाइड्रेट्स - महत्त्व (Importance)

पादपों में कार्बोहाइड्रेट्स का कई दृष्टियों से महत्व है.

(अ) कार्बोहाइड्रेट्स प्रकाश संश्लेषण से प्राप्त ऊर्जा के संचय (Storage) के साधन हैं ।

(ब) ये पौधों को सीधे खड़े रखने हेतु आवश्यक ऊतकों (प्राय : यान्त्रिक ऊतक) के निर्माण में भाग लेते हैं ।

(स) अधिकतया कार्बन पदार्थों के संश्लेषण में ये 'कार्बन कंकाल' स्वरूप प्रदान करते हैं ।

(द) श्वसन अधोस्तर के रूप में प्रयुक्त होते हैं तथा ऊर्जा प्रदान करते हैं । इस कार्य में मोनोसैकेराइड्स शर्करायें प्रयुक्त होती हैं ।

(य) प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन अधोस्तर क्रियाओं के अन्तर्गत बने मध्यवर्ती यौगिक प्राय:' वसा या प्रोटीन उपापचय का नियमन करते हैं ।

अत : पौधों के सामान्य उपापचय एवं अन्य जीवनोपयोगी क्रियाओं में कार्बोहाइड्रेट्स का महत्वपूर्ण योगदान होता है ।

10.2.1 कार्बोहाइड्रेट्स का वर्गीकरण (Classification)

कार्बोहाइड्रेट्स को उनके रासायनिक गुणों एवं इनकी अणु संरचना के आधार पर निम्नलिखित तीन आधारभूत समूहों में विभाजित किया जा सकता है :

1. **मोनोसैकेराइड्स** (Monosaccharides)
2. **डाईसैकेराइड्स या ओलिगोसैकेराइड्स** (Disaccharides or oligosaccharides)
3. **पालिसैकेराइड्स** (Polysaccharides)

सैकेराइड शब्द की उत्पत्ति ग्रीक शब्द "शेकेहेरॉन (sakcharon)" से हुई है, इसका शाब्दिक अर्थ शर्करा (sugar) से होता है ।

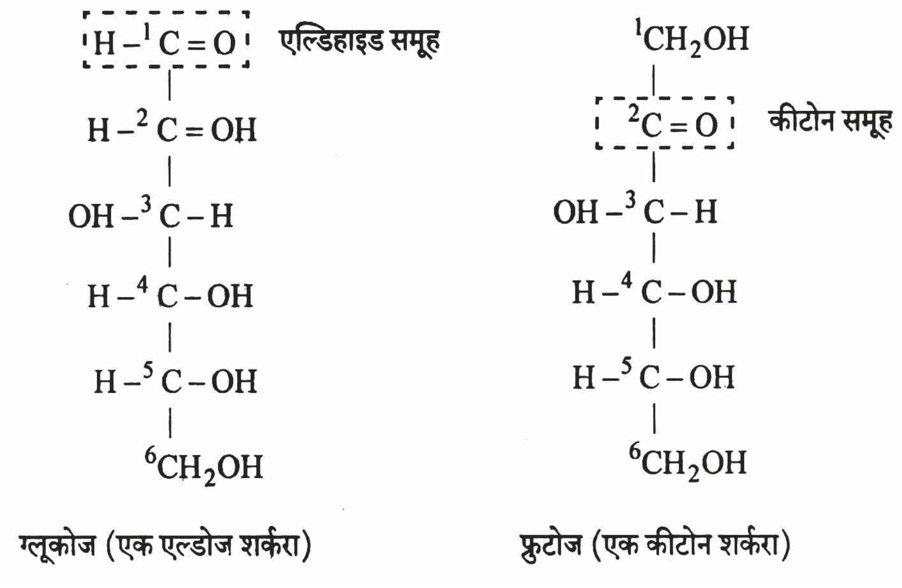
उपरोक्त तीनों सैकेराइर्डो में मोनोसैकेराइड्स सबसे सरल शर्कराएँ हैं जिनमें एक मुक्त एल्डिहाइड (-CHO) अथवा कीटोन (= Co) समूह तथा दो या अधिक हाइड्रॉक्सिल (- OH) समूह पाये जाते हैं । ये जल विश्लेषण से और सरल शर्करायें नहीं बनाते हैं । मोनोसैकेड्स अन्य जटिल शर्कराएँ (कार्बोहाइड्रेट्स), जैसे डाइसैकेराइड्स या पालिसैकेराइड्स के लिए वास्तु इकाईयाँ (Buliding blocks) भी हैं । ओलिगोसैकेराइड्स मोनोसैकेराइडो की दो, तीन या अधिकतम नौ इकाइयों के संघनन उत्पाद (Condensation products) है, जो ग्लाइकोसिडिक बन्धता से निर्मित होते हैं। पॉलिसैकेराइड्स अनेक मोनोसैकेराइड इकाइयों से निर्मित जटिल एवं उच्च अणुभार वाले कार्बोहाइड्रेट्स हैं, ये जल अपघटन द्वारा सरल कार्बोहाइड्रेट्स का निर्माण कर सकते हैं । डाइसैकेराइड्स एवं पालिसैकेराइड्स के बीच कोई स्पष्ट सीमा नहीं होती है । कई पॉलिसैकेराइड्स को डाइसैकेराइड्स वर्ग में तथा इसी प्रकार कुछ आलिगो सैकेइराइड्स को पॉलिसैकेराइड्स वर्ग में सम्मिलित किया जा सकता है ।

10.2.2 कार्बोहाइड्रेट संरचना की सामान्य अभिमुखतायें

कार्बोहाइड्रेट्स पॉलीहाइड्रॉक्सी एल्डिहाइड या कीटोन अथवा वे पदार्थ हैं, जो जल अपघटित होकर उपरोक्त में से एक पदार्थ को निर्मित करते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स के संगठन के कुछ सामान्य पहलू इस प्रकार है:

1. **एल्डोजेज एवं कीटोजेज (Aldoses and Ketoses) :** एल्डोजेज शर्करायें एल्डिहाइड या -CHO जबकि कीटोजेज शर्कराओं में कीटोन c = 0 समूह सन्निहित होता है । ग्लूकोज एक एल्डोज शर्करा है, जबकि फ्रुक्टोज एक कीटोज शर्करा है
(चित्र 10.1) ।

2. **अपचायक एवं अनअपचायक शर्करायें (Reducing and non- reducing sugars) :** एक एल्डिहाइड तथा कीटोन युक्त कार्बोहाइड्रेट्स में विविध धात्विक आयनों के घोलों को अपचयित करने की क्षमता होती है । ऐसे शर्कराएँ (कार्बोहाइड्रेट्स) अपचायक शर्करायें कहे जाते हैं, क्योंकि अन्य पदार्थों से इनका सहज ही ऑक्सीकरण हो जाता है एवं बदले में ये समूह स्वयं अपचयित हो जाते हैं । प्राय : सभी मोनोसैकेराइड्स अपचायक शर्कराएँ हैं । इसके विपरित ऐसे कार्बोहाइड्रेट्स जिनमें स्वतंत्र कार्बोनिल समूह (-CHO या = CO) का अभाव होता है एवं विविध धात्विक आयनों के घोलों को अपचयित करने का सामर्थ्य नहीं पाया जाता है, **अनअपचायक** शर्कराएँ कही जाती हैं ।
उदाहरणार्थ, सुक्रोज (चित्र 10.1) । '



चित्र 10.1 : एक एल्डोज एवं कीटोन शर्करा का चित्रण

3. **कार्बोहाइड्रेट्स में त्रिविम समावयवता (Stereoisomerism in Carbohydrates) :** कार्बोहाइड्रेट्स में असममित कार्बन परमाणु का पाया जाना, त्रिविम समावयवता को प्रदर्शित करता है । समावयवता मुख्यत : दो प्रकार की होती है

(i) **संरचनात्मक समावयवता (**Structural isomerism) : इसमें समावयवी शर्कराओं का आण्विक सूत्र समान होता है, परन्तु इनका संरचनात्मक सूत्र अलग होता है ।

(ii) **त्रिविम समावयवता** (Stereoisomerism) : इसमें आण्विक एवं संरचनात्मक सूत्र दोनों एक समान होते हैं, परन्तु ये विन्यास में भिन्नता प्रकट करते हैं ।

त्रिविम समावयवता पुन : दो प्रकारों की होती है : प्रथम **ज्यामितीय** (Geometrical or cis- trans) समावयवता में कार्बन श्रृंखला में उपस्थित द्विबन्ध के दोनों ओर स्थित समूहों की विशिष्ट ज्यामिति पायी जाती है । दूसरी **ध्रुवण** (optical) समावयवता में **समावयवी** (Isomers) **ध्रुवित प्रकाश** (Polarised) के तल (Plane) को घूर्णित (Rotate) कर देते हूँ तथा केवल अपने ध्रुवण गुणों में विविधता दर्शाते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स में सभी ध्रुवण समावयवी निम्न तीन रूपों में पाये जाते हैं :

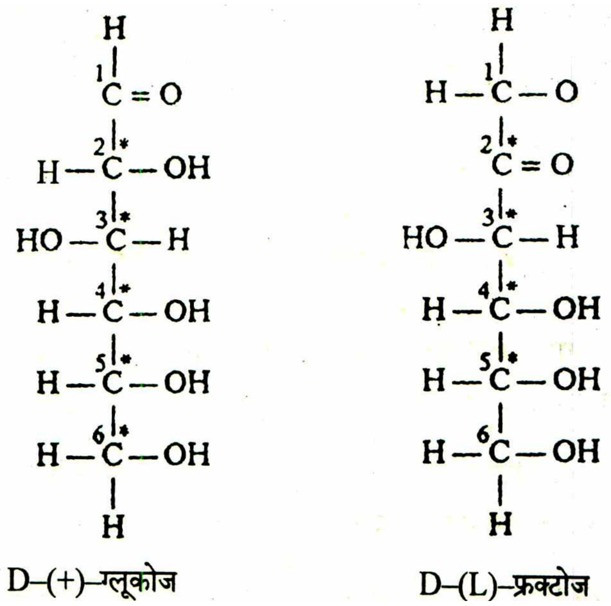
(अ) दक्षिण ध्रुवण घूर्णक (Dextro ratatory) : जो ध्रुवीयकृत प्रकाश के तल को दायीं ओर घूर्णन कर दे । इसे अंकित करने के लिए शर्करा के नाम से आगे तिर्यक शब्द 'd' या D या (+) चिह्‌न लगाया जाता है । अत : यह एक शर्करा का दक्षिणावती विन्यास समावयव है ।

(ब) वाम ध्रुवण घूर्णक या वामावर्ती (Levo- rotatory) : जो ध्रुवीयकृत प्रकाश का बायीं ओर घूर्णन कर दे अर्थात् इसके विलयन में से ध्रुवीयकृत प्रकाश को पारित किया जाए तो इसका बायीं ओर घूर्णन हो जाता है । इसको अंकित करने के लिए शर्करा के नाम के आगे तिर्यक शब्द 'l' या (-) या L लगाया जाता है ।

(स) रेसिमिक मिश्रण या dl (Racemicmixtureor dl) : एक निष्क्रिय स्वरूप है, जो ध्रुवण प्रकाश के तल को घूर्णित नहीं करता है ।

4 **कार्बोहाइड्रेट्स का 'D' एवं 'L' विन्यास (‘D’ and ‘L’ Configuration of carbohydrates) :** शर्कराओं में D या L विन्यास एल्डिहाइड या कीटों के समूह से सबसे उच्च संख्या वाले असममित कार्बन परमाणु के विन्यास पर निर्भर करता है । किसी शर्करा अणु का D- विन्यास उसके D ग्लिसैरल्डिहाइड के स्थानिक सम्बन्ध द्वारा मापा जाता है । फिशर प्रोजेक्शन सूत्र में D ग्लिसैरल्डिहाइड में, OH समूह का विन्यास दायीं ओर होता है । उदाहरण, हेक्सोज शर्करा (ग्लूकोज) में संख्या 5 पर स्थित कार्बन का हाइड्रोक्सिल समूह (-OH) D अथवा L प्रकार का माना जाता है । अगर पाँचवें कार्बन पर -OH को बायीं ओर लिखा होता तो, शर्करा L- (वामावर्ती) प्रकार की होती है । अधिकांश पादप शर्कराएँ दक्षिणावर्ती (D) विन्यास की होती हैं (चित्र 10.2) ।

उदाहरणार्थ - D फ्रुक्टोज एक वाम ध्रुवण घूर्णक (L) शर्करा है ।

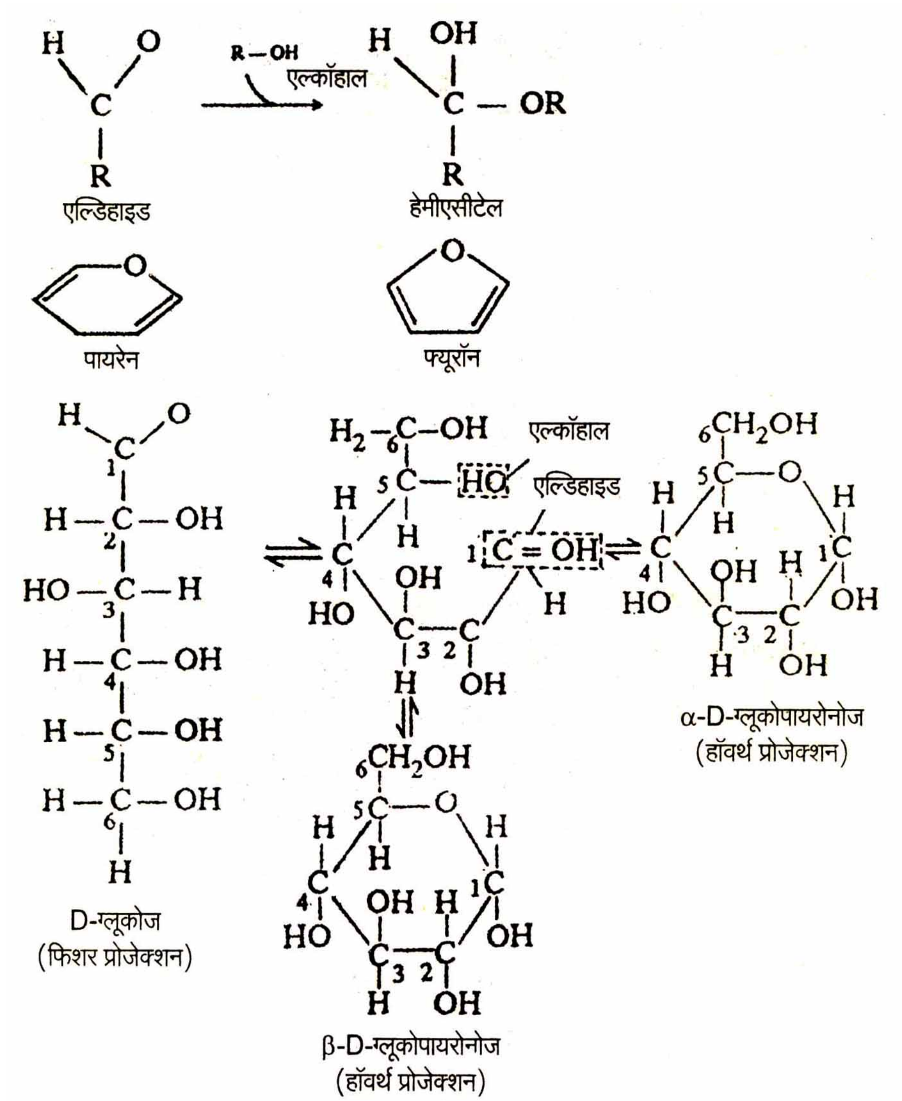


चित्र 10.2 : D ग्लूकोज एवं D एवं L फ्रक्टोज

5. **वलय संरचना (Ring structure) :** फिशर प्रोजेक्शन सूत्र के अनुसार शर्करा सीधी श्रृंखला कार्बन यौगिक है, परन्तु कार्बोहाइड्रेट्स प्राय : प्रगाढ़ रूप से चक्रीय (cyclic) या वलयों (rings) के रूप में पाये जाते हैं (चित्र 10.3) ।

   कार्बोहाइड्रेट्स में दो प्रकार के वलय रूप होते हैं : प्रथम वलय दशा में (अर्थात् -CHO की उपस्थिति में) एक फ्यूरान (Furan) वलय तथा दूसरी दशा में (अर्थात् = CO की उपस्थिति) एक पायरेन (Pyran) वलय पायी जाती है । शर्कराओं का वलय प्रारूप हॉवर्थ प्रोजेक्शन (Haworth projection) कहा जाता है ।

6. **बन्धुता या सहलग्नता** (Linkage) : मोनोसैकेराइड इकाइयाँ ग्लाइकोसिडिक बन्धों से जुड़कर ऑलिगो - या पॉलिसैकेराइड बनाती है । इस बन्ध के निर्माण के समय जल के एक अणु का निष्कासन होता है । अधिक विवरण इसी इकाई में अन्यत्र देखें ।



चित्र 10.3 : शर्कराओं का वलय स्वरूप (हॉवर्थ प्रोजेक्शन) एवं ग्लूकोज के अणु में असममिति कार्बन परमाणु केन्द्र

10.2.3 मोनोसैकेराइड्स : संरचना, लक्षण एवं कार्य

मोनोसैकेराइड्स सरल कार्बोहाइड्रेट्स एवं शर्करायें होती हैं, इन्हें जल विश्लेषित नहीं किया जा सकता है । इनका सामान्य C_n H_{2n} O_n होता है । कार्बन परमाणुओं की संख्या के आधार पर मोनोसैकेराइडो को डायोज (C_2 H_4 O_2), ट्राइओज (C_3 H_6 O_3), ट्रेटोज (C_4 H_8 O_4), पेन्टोज (C_5 H_{10} O_5), हैक्सोज (C_6 H_{12} O_6), हैप्टोज (C_7 H_{14} O_7) इत्यादि समूह में वर्गीकृत किया गया है । यद्यपि लगभग 70 मोनोसैकेराइड्स ज्ञात हैं, जिनमें से 20 प्रकृति में पाये जाते हैं, कुछ जैविक दृष्टि से उपयोगी मोनोसैकेराइड्स को सारणी 10.1 में अंकित किया गया है । मोनोसैकेराइड्स को अन्य वर्गीकरण पद्धति द्वारा एल्डोजेज (Aldoses- CHO) एवं कीटोजेज (Ketoses -C = O) वर्गों में बाँटा जा सकता है ।

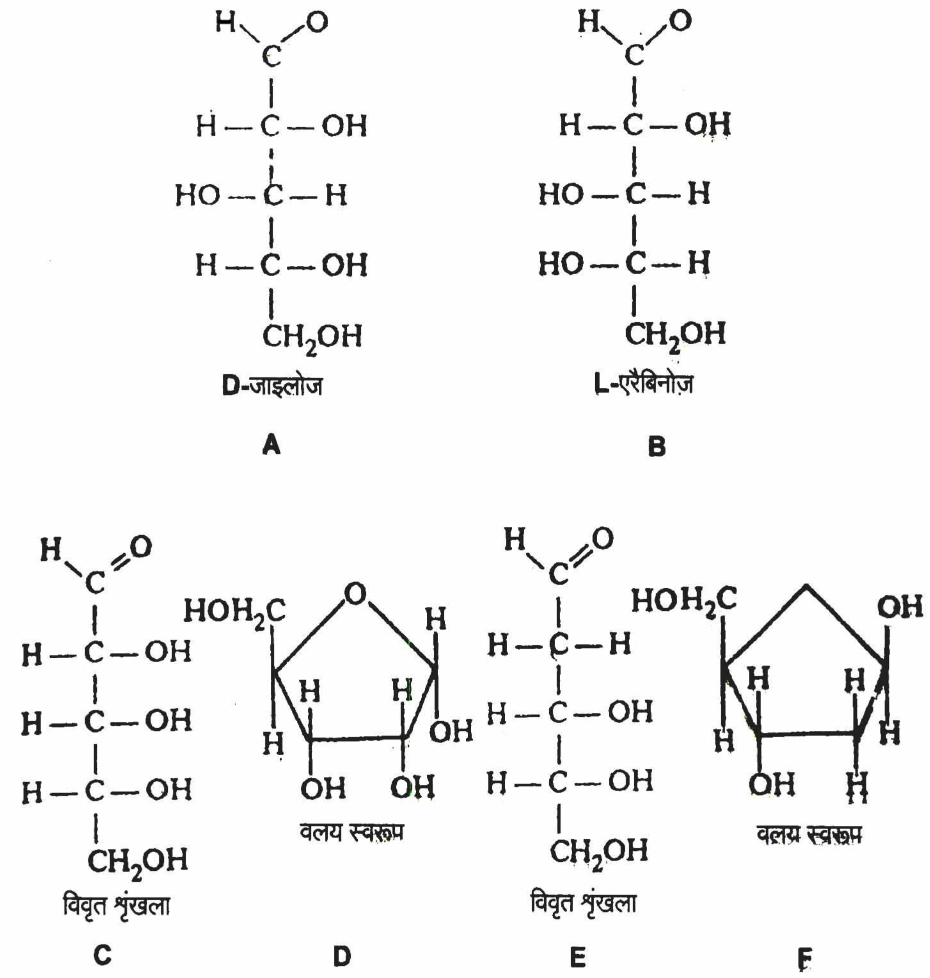
जीवों में पेन्टोज तथा हैक्सोज प्रमुख मोनोसैकेराइड्स है । पेन्टोज कोशिकाद्रव्य में कदाचित ही स्वतंत्र अवस्था में पायी जाती है । परन्तु पादपों में ये बहुतायत में कुछ जटिल कार्बोहाइड्रेट्रस के प्रमुख घटकों के रूप में व्याप्त रहती है, जबकि हेक्सोज प्राकृतिक रूप में पायी जाने वाली मुक्त शर्कराएँ हैं । अत: इस इकाई में पेन्टोज एवं हेक्सोज शर्कराओं का ही उल्लेख किया है ।

सारणी 10.1 : कुछ जैविक दृष्टि से उपयोगी मोनोसैकेराइड्स

क्र.सं.	**नाम**	**मुलानूपाति सूत्र**	**एल्डो शर्करायें**	**कीटोशर्करायें**
1.	ट्रायोज	$C_3H_6O_3$	ग्लिसरैल्डिहाइड	डाइहाइड्रोक्सी एसीटोन
2.	टेट्रोज	$C_4H_8O_4$	इरिथ्रोज	इरिथ्रोयूलोज
3.	पेन्टोज	$C_5H_{10}O_5$	राइबोज,डीऑक्सीराइबोज	राइब्युलोज
4.	हैक्सोज	$C_6H_{12}O_6$	ग्लूकोज,गेलेक्टोज	फ्रुक्टोस
5.	हैप्टोज	$C_7H_{14}O_7$	ग्लूकोहैप्टोज मेनोहेप्टलूलोज	स्यूडोहेप्टुलोज

पेन्टोसेस (Pentoses) : पेन्टोसेस 5 कार्बन वाली शर्करायें हैं, जो कि कोशिका द्रव्य में घुलित अवस्था में नहीं पायी जाती हैं, हालांकि अन्य जटिल पादप - कार्बनिक यौगिकों के अवयवों के रूप में इनकी पर्याप्त अधिकता होती है । प्राय: पौधों के चार पेन्टोसेस (प्राकृतिक रूप से) की बाहुल्यता पायी जाती है, ये हैं :

L-**ऐराबिनोज** (L-Arabinose), **डी.राइबोस** (D-ribose) **डी-जाइलोज** (D-xylose) तथा **2 -ड़ी-ऑक्सी-डी- राइबोज** (2-Deoxy- D-ribose) (चित्र 10.4) |



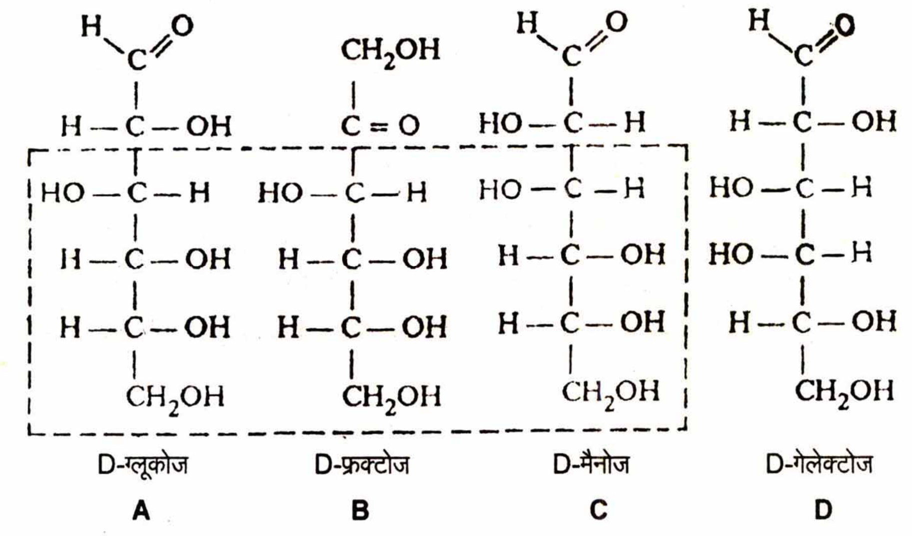
चित्र 10.4 : पैन्टोज शर्करा की संरचना : A: D-जाइलोज़, B.L एरैबिनोज, C-D.D- राइबोज की सीधी श्रृंखला व वलय स्वरूप, E-F डी ऑक्सी D-राइबोज़ की सीधी श्रृंखला व वलय स्वरूप

D- जाइलोज व L - ऐराबिनोज पौधों में क्रमश: जाइलेन (Xylans) व **एराबैन** (Arabans) के घटकों के रूप में पायी जाती हैं, जो कि विशाल पॉलिसैकेराइड्स है । ये कोशिकाभित्ति की संरचना एवं कार्य का नियमन करते हैं ।

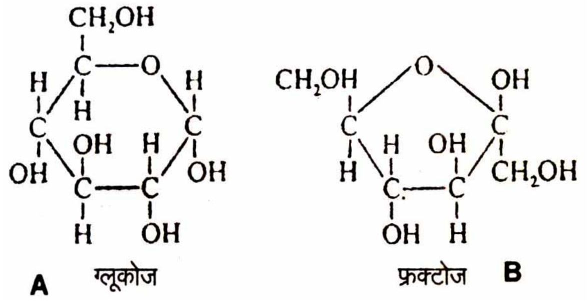
विशुद्ध रूप से रचनात्मक शर्करायें डी -जाइलोज एवं एल -ऐराबिनोज श्वसन अधोस्तर में उपयोगी नहीं होती है अर्थात् किसी भी पादप उपापचय क्रिया में सक्रियता नहीं रखती है । राइबोज व 2 -डी ऑक्सी D -राइबोज शर्कराएँ जीवों में DNA एवं RNA के घटकों के रूप में पायी जाती हैं । इसके अलावा हाइड्रोजन व समूह प्रतिस्थापन क्रिया में राइबोज समस्त जीवों में श्वसन एन्जाइमों (प्राय : कोएन्जाइमों) के मुख्य अवयव के रूप में भी पायी जाती है । D -राइबोज व 2 -डी ऑक्सी, D -राइबोज की संरचना में अत्यधिक समानता होती है । ये शर्करायें केवल द्वितीय कार्बन के प्रतिस्थापी में अन्तर रखती है । D -राइबोज में एक - OH समूह के स्थान पर एक H_2 हाइड्रोजन परमाणु होता है ।

हैक्सोसेज (Hexoses) : हैक्सोसेज 6 - कार्बन शर्करायें हैं । प्राकृतिक रूप (पौधों में) से पायी जाने वाली चार महत्त्वपूर्ण हैक्सोज़ शर्करायें यथा डी -ग्लूकोज़, D -फ्रुक्टोज़, D-मैनोज एवं D -गेलेक्टोज हैं (चित्र 10. 5A) । ये सभी जटिल कार्बनिक पदार्थों के अवयवों के रूप में या घुलित रूप में कोशिकाओं में पायी जाती हैं । प्राय : ग्लूकोज़ व फ्रुक्टोज़ घुलित अवस्था में पादप कोशिकाओं में पायी जाती हैं । इन चारों शर्कराओं का आण्विक भार समान होने के कारण ये **समावयव** (Isomers) होती है । समावयवों के दो प्रकार होते हैं :

I. **रासायनिक सूत्र समावयव** (Chemical formula isomers) : ग्लूकोज़, मैनोज़, फ्रुक्टोज़ व गेलेक्टोज एक दूसरे के रासायनिक सूत्र समावयव हैं, क्योंकि इनका रासायनिक सूत्र $C_6 H_{12} O_6$ समान होता है, यद्यपि इनमें परमाण्विक विन्यास भिन्नता पायी जाती है (चित्र 10.5B)।



चित्र 10.5A : A-D। हैक्सोज की खुली संरचना :
A.D-ग्लूकोज, B.D-फ्रुक्टोज़, C.D-गैलेक्टोज(प्राकृतिक हैक्सोसेज़)



चित्र 10.5B. ग्लूकोज (A) व फ्रूक्टोज़ (B) की वलय संरचना (समावयव)

II. **विन्यास समावयव** (**Sterioisomers**) : विन्यास समावयवों में असमित कार्बन परमाणु को घेरे हुए समान प्रकार के परमाण्विक वर्ग होते हैं, लेकिन इन वर्गों का विन्यास भिन्न -भिन्न प्रकार का पाया जाता है, अधिक विवरण इसी इकाई में त्रिविम समावयवता में देखें ।

ग्लूकोज के ऑक्सीकरण से कोशिका की ऊर्जा की आवश्यकता की तुरन्त पूर्ति होती है । रुधिर में कार्बोहाइड्रेट्स का अभिगमन भी ग्लूकोज ही करता है । शर्कराओं में सबसे मीठी शर्करा D-फ्रुक्टोज है, जो फलों के रस, शहद आदि में पाया जाता है ।

मोनो सैकेराइदस के लक्षण (Characteristies of Monosaccharides) :

I. भौतिक लक्षण (Physical Characters) :

1. मोनोसैकेराइड्ज मीठे, रंगहीन, ठोस पदार्थ है, जो जल में घुलनशील, अपेक्षाकृत एल्कोहल में कम व अन्य विलायकों (जैसे ईथर) में अघुलनशील होते हैं ।
2. इनकी संरचना में असममित कार्बन परमाणु की उपस्थिति के कारण ये विभिन्न समावयवी स्वरूपों में पाये जाते हैं।
3. जीवित तंत्रों (Living systems) से वियुक्त कार्बोहाइड्रेट्स अनेक समावयवीयों का मिश्रण होते हैं, अतः ये परिवर्ती ध्रुवण घूर्णन दर्शाते हैं ।

II. रासायनिक लक्षण (Chemical Characters) :

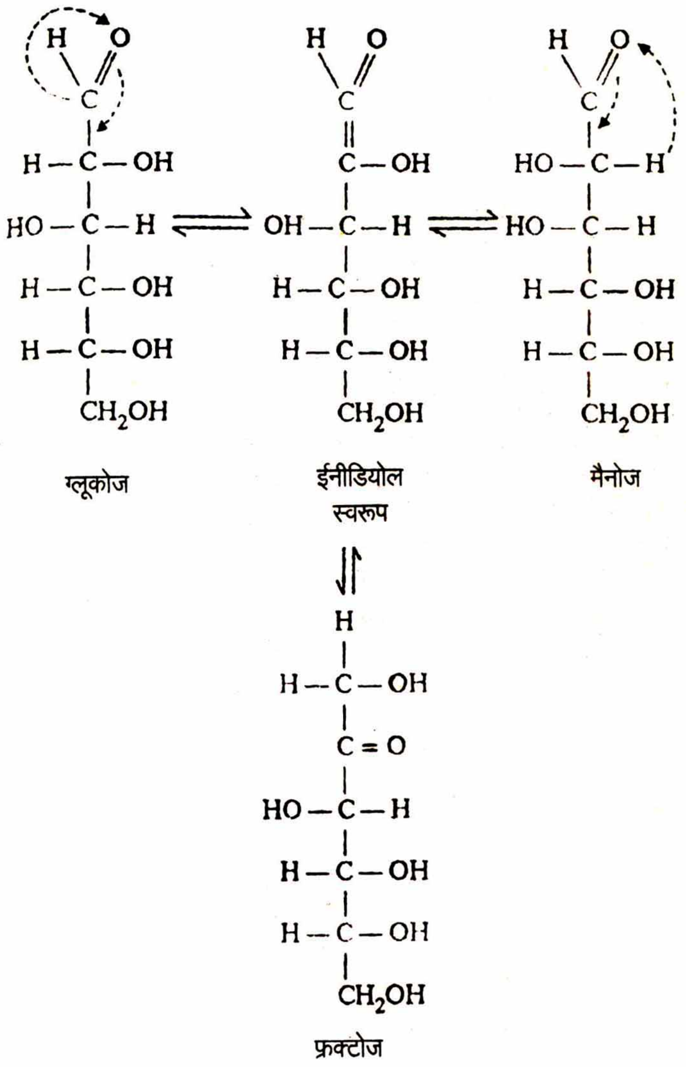
1. समस्त मोनोसैकेराइड्स पॉलिहाइड्रिक एल्कोहल के एल्डिहाइड अथवा कीटोनीक व्युत्पन्न हैं । अतः इनके रासायनिक गुणों में समूहों - OH, -CHO या = CO का विशेष महत्व होता है।
2. ग्लूकोज, फ्रुक्टोज या मैनोज तनु क्षारीय घोल (जैसे Ca $(OH)_2$, या Ba $(OH)_2$,) की उपस्थिति में कम तापक्रम पर एक दूसरे में रूपान्तरण दर्शाते हैं अर्थात् प्राप्त मिश्रण में उपरोक्त तीनों शर्करायें साम्यावस्था में पायी जाती हैं । यह अभिक्रिया **लाबरी डी ब्रुन एलबर्डा वॉन इकिस्टीन रूपान्तरण** कहलाती है । ऐसा क्षारक की उपस्थिति में इन शर्कराओं के ईनालीकरण (Enolization) के कारण होता है, परिणामस्वरूप ईनोल (Enol) का निर्माण होता है (चित्र 10.6)।

   यह ईनीडियोल मध्यवर्ती स्वरूप प्रायः तीनों शर्कराओं में उभयनिष्ठ है, तथा इसका सम्बन्ध साम्यावस्था स्थापित करने से है । उदाहरण के लिए जब ग्लूकोज का तनुक्षार से उपचार किया जाता है, तो साम्यावस्था में मैनोज व फ्रुक्टोज का भी निर्णय होता है ।
3. मोनोसैकेराइड्स का यीस्ट द्वारा किण्वन (Fermentation) से ईथाइल एल्कोहल बनता है ।

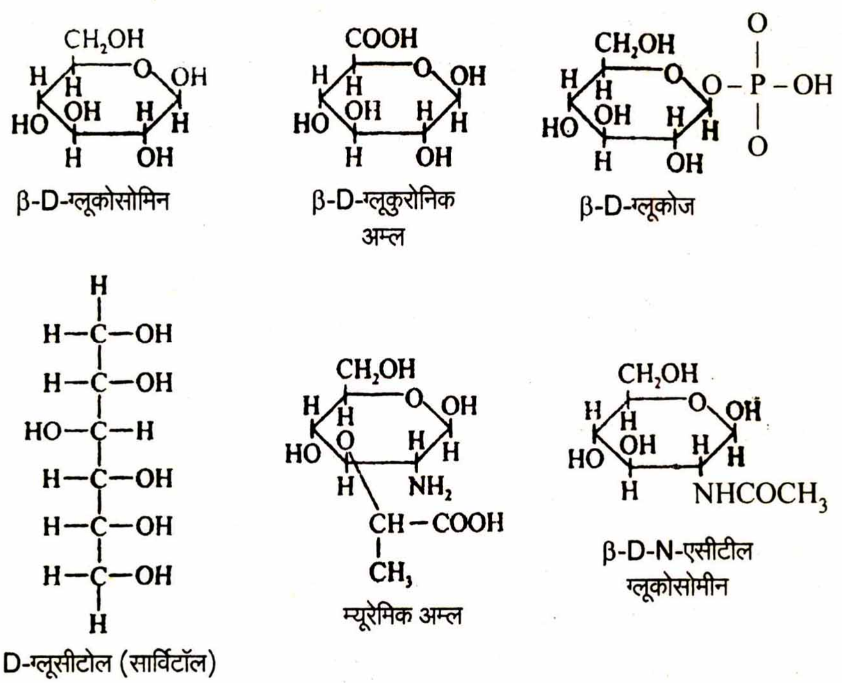
   $$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{यीस्ट}} 2C_2H_5OH + 2CO_2$$

   ग्लूकोज ईथाइल ऐल्काहॉल कार्बन -डाइऑक्साइड
4. मोनो सैकेराइड्स अपचयन, ऑक्सीकरण, एसिटाइलेशन आदि क्रियायें कर कई महत्वपूर्ण कार्बनिक यौगिकों का निर्माण करते हैं, उदाहरणार्थ एस्टर आदि ।
5. मोनोसैकेराइड्स के -HO समूह अन्य यौगिकों के साथ अभिक्रिया कर व्युत्पन्न मोनोसैकेराइड्स बनाते हैं । ये जैविक रूप से महत्वपूर्ण माने जाते हैं! उदाहरणार्थ, फास्फेट एस्टर (जैसे D- ग्लिसेरेल्डिहाइड 3 - फास्फेट, β-D- ग्लूकोज आदि) उपापचयी मध्यवर्ती है । अनेक एमीनो शर्करायें (जैसे B-D -गेलेक्टोसामीन) जटिल पॉलिसैकेराइड्स में पाये जाते हैं ।

इसी तरह क्यूरेमिक अम्ल, β -D-ग्लूमूटोनिक अम्ल आदि कोशिका कलाओं एवं जीवाणु कोशिकाभित्ति में पाये जाते हैं (चित्र 10.7) ।



चित्र 10.6 : लाबरी डी बुन एलबर्डा वॉन इकिस्टीन रूपान्तरण



चित्र 10.7 : मोनोसैकेराइदस के महत्त्वपूर्ण व्युत्पन्न स्वरूप

6. हाइड्रोजन सायनाइड (HCN) के साथ क्रिया करके जोड़ उत्पाद (Addition products) बनाते हैं, जो महत्वपूर्ण मध्यवर्ती है ।

मोनोसैकेराइड्स के कार्य (Functions Monosaccharides) :

1. ये जैविक तंत्र की उपापचयी क्रियाओं में प्रमुख भूमिका निभाते हैं । ट्रॉयोज, पैन्टोज व हैप्टोज प्रकाश संश्लेषी चक्र में मध्यवर्ती उत्पाद है, जो अन्तिम रूप से हैक्सोस शर्करा का संश्लेषण करते हैं ।
2. वसा व अमीनो अम्लों का निर्माण करते हैं । ईथ्रोजू एक ट्रायोज शर्करा है, जो एन्थोसाइनिन व लिग्निन का निर्माण करती है ।
3. पेन्टोज शर्करा राइबोस व डिऑक्सीराइबोस न्यूक्लिक अम्ल निर्माण में उपयोगी होते हैं ।
4. जाइलोज एक अपोषीय मीठे उत्पाद बनाने में काम आती है ।
5. गेलेक्टोज अगर - अगर का एक घटक होती है ।
6. श्वसन के समय ग्लूकोज के ऑक्सीकरण से ऊर्जा प्राप्त होती है ।
7. पेन्टोज शर्करायें को -एन्जाइमों के घटक हैं ।
8. राइब्यूलोज डाइफॉस्फेट, प्रकाश संश्लेषण में CO_2 ग्राही का कार्य करती है ।
9. एस्कार्बिक अम्ल (Vitamin C) एक शर्करा अम्ल है ।

10.2.4 डाइसैकेराइड या ऑलिगोसैकेराइड : संरचना, लक्षण एवं कार्य :

परिचय : ऑलिगोसैकेराइड्स प्राय: 2 - 9 मोनोसैकेराइड इकाईयों के संघनन उत्पाद हैं । मोनोसैकेराइड इकाईयों के संयोजन के समय एक जल अणु विमुक्त होता है त था मोनोसैकेराइड्स

इकाईयाँ एक ऑक्सीजन ब्रिज (oxygen bridge) द्वारा बंधित (ग्लाइकोसिडिक बन्ध) हो जाती हैं । ऑलिगोसैकेराइड्स में मोनोसैकेराइड इकाईयाँ एक समान अथवा विभिन्न हो सकती हैं । विभिन्न बन्ध विविध प्रकार के ऑलिगोसैकेराइड्स का निर्माण करते हैं । कुछ प्रमुख ऑलिगोसैकेराइड्स निम्न प्रकार हैं ।

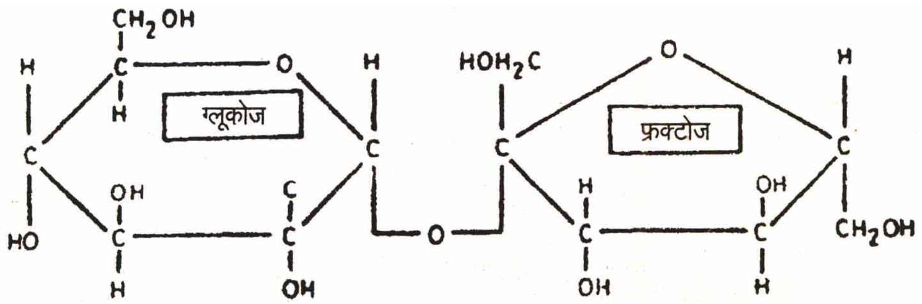
1. **डाइसैकेराइड** (Disaccharides) : ये शर्करायें दो मोनोसैकेराइड इकाईयों से निर्मित होती हैं :
   (1) माल्टोज़ (Maltose)
   (2) लैक्टोज़ (Lactose)
   (3) सूक्रोज़ (Sucrose)
   (4) सैलोबायोज़ (Cellobiose)
   (5) आइसोमाल्टोज़ (Isomaltose)
   (6) जैन्शियोबायोज़ (Gentiobiose)
2. **ट्राइसैकेराइड्स** (Trisaccharides) : ये शर्कराएँ तीन मोनोसैकेराइड इकाईयों से निर्मित होती हैं, उदाहरण :
   (1) माल्टोट्राइओज़ (Maltorise)
   (2) रैफनोज (Raffinose)
3. **ट्रेटासैकेराइड्स (**Tetraaccharides) : चार मोनोसैकेराइड इकाइयों से निर्मित होते हैं । उदाहरण : स्टैकियोज़ (stachyose) - 1 glu + fru + 2 gal इकाईयों ।

स्रोत (source) :

ऑलिगोसैकेराइड्स के प्राकृतिक स्रोत हरे पौधे हैं । जैविक दृष्टि से महत्वपूर्ण डाई सैकेराइड माल्तोज़ व सुक्रोज़ शर्कराएँ हैं, जो मुख्यत: फलों में पायी जाती हैं । लैक्टोज शर्करा दुग्ध (milk) में पायी जाती है । प्राकृतिक रूप में पायी जाने वाली ट्राइसैकेराइड्स जैन्शियोनोज (gentianose) व रैफ़ीनोज़ (raffinose) हैं । फ्रुक्सीन्स अमेरिकाना (Fraxinus americana), कुकुरबिटा पीपो (Cucurbita pepo), व वरबैसकम थैपसम (verbascum), आदि अनेक पौधों में स्टैकियोज़ (stachyose) ट्रेटासैकेराइड पायी जाती है ।

महत्वपूर्ण लक्षणों में अधिकांश ऑलिगोसैकेराइड्स रंगहीन ठोस क्रिस्टलीय पदार्थ हैं । ये जल में घुलनशील होते हैं । कुछ प्रमुख ऑलिगोसैकेराइड्स का संक्षिप्त वर्णन नीचे किया गया है ।

1. **डाइसैकेराइड सुक्रोज़ (Sucrose) :** उच्च पौधों का मुख्य डाइसैकेराइड सुक्रोज़ (sucrose) है। यह α-D ग्लूकोज़ व β-D फ्रुक्टोज़ के एक -एक अणु के संघनन से निर्मित होता है । दोनों मोनोसैकेराइड्स के मध्य ऑक्सीजन ब्रिज (oxygen bridge) ग्लूकोज़ के कार्बन 1 व फ्रुक्टोज़ के कार्बन 2 पर बनता है, जिससे इन दोनों शर्कराओं के मुक्त कार्बोनिल समूह (ग्लूकोज़ का - CHO समूह व फ्रुक्टोज़ का = CO समूह) विलुप्त हो जाता है । इस क्रिया में जल के एक अणु का निकास होता है (चित्र 10.8) । सुक्रोज का मूलानुपाती सूत्र $C_{12}H_{22}O_{11}$ होता है । यह एक सामान्य उपयोग की शर्करा का निर्माण प्रकाश संश्लेषण के दौरान होता है ।



चित्र 10.8 : डाइसैकेराइड सूक्रोज़ अणु का निर्माण

सुक्रोज़ का निर्माण दोनों सरल शर्कराओं के अपचायी समूह के एक दूसरे में बन्धित होकर होता है, अत : सूक्रोज़ की संरचना में ग्लूकोज़ एक 6 -सदस्यी वलय (Pyranose) व फ्रुक्टोज़ एक 5 -सदस्यी वलय (furanose) होता है अर्थात् दोनों शर्कराओं के मध्य ऑक्सीजन सेतु का निर्माण, ग्लूकोज के एक कार्बन पर व फ्रूकोज के 2 कार्बन पर होता है । सूक्रोज़ अणु की संरचना का निर्माण अपचायक शर्करायें करती हैं ।

लक्षण :

1. सूक्रोज़ एक क्रिस्टलीय रंगहीन पदार्थ है, इसका मूलानुपाती सूत्र $C_{12}H_{22}O_{11}$ होता है ।
2. इसका गलनांक 160^oC पर होता है ।
3. यह जल में घुलनशील है तथा दक्षिण ध्रुवण घूर्णन दर्शाता है । परिवर्ती अध्रुवण घूर्णन नहीं प्रकट करता है ।
4. तनु खनिज अम्ल या इन्वर्टेज एन्जाइम के सहयोग से शो धन किया जाये तो इसका जल विश्लेषी विदलन (cleavage) हो जाता है तथा ग्लूकोज व फ्रुक्टोज़ का निर्माण होता है ।

$$C_{12}H_{22}O_{11} \xrightarrow{+H2O} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

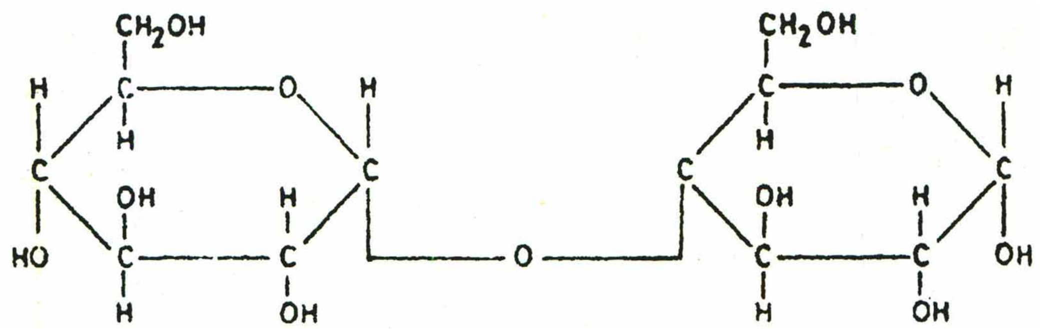
$$\text{सुक्रोज} \xrightarrow{\text{जल}} \text{ग्लूकोज फ्रुक्टोज}$$

महत्त्व: 1. सुक्रोज एक सामान्य उपयोग का डाइसैकैराइड है, जो वनस्पति व प्राणी जाति के लिए विशेष व्यापारिक महत्व रखता है ।

2. घरेलू उपयोग की शर्करा सूक्रोज़ ही है । अत: गन्ना, चुकन्दर आदि आर्थिक महत्व के पौधे हैं, क्योंकि इनमें वृहद मात्रा में सुक्रोज़ उत्पादित होती है ।

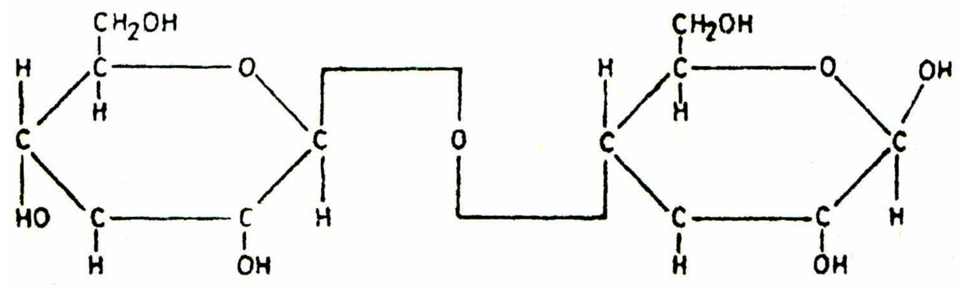
अन्य डाइसैकेराइस्स : सूक्रोज़ के अतिरिक्त जो अन्य डाइसैकेराइड्स है, वे प्राय : पॉलिसैकेराइड्स (स्टार्च, सैल्यूलोज़) के आंशिक अवकर्षण (partial degration) द्वारा उत्पन्न शर्कराएँ हैं ।

2. **माल्टोज़ (Maltose) :** यह अपचायी शर्करा का निर्माण पौधों में व्याप्त स्टार्च के आंशिक अपघटन से होता है । इसकी संरचना दो α-D- ग्लूकोज़ इकाइयों के संगठन से होती है (चित्र 10.9) । माल्टोज़ एक सुईनुमा क्रिस्टलीय पदार्थ है, जिसका गलनांक 135°C होता है । यह जल में घुलनशील व दक्षिण ध्रुवण घूर्णन दर्शाता है । माल्टेज एन्जाइम द्वारा जल अपघटन करने से यह दो D-ग्लूकोज इकाइयों में बँट जाता है ।



चित्र 10.9 : माल्टोज डाइसैकेराइड का अणु

3. **सैलिबियोज** (Cellobise) : इसका निर्माण सैल्यूलोज़ के आंशिक अपघटन से होता है । इसकी संरचना डी. ग्लूकोज़ के दो अणुओं के B (1-4) कार्बनों के आपस में जुड़ने से होती है। यह एक अपचायी शर्करा है, जो जलविघटन से B -D ग्लूकोज़ बनाता है (चित्र 10.10) ।



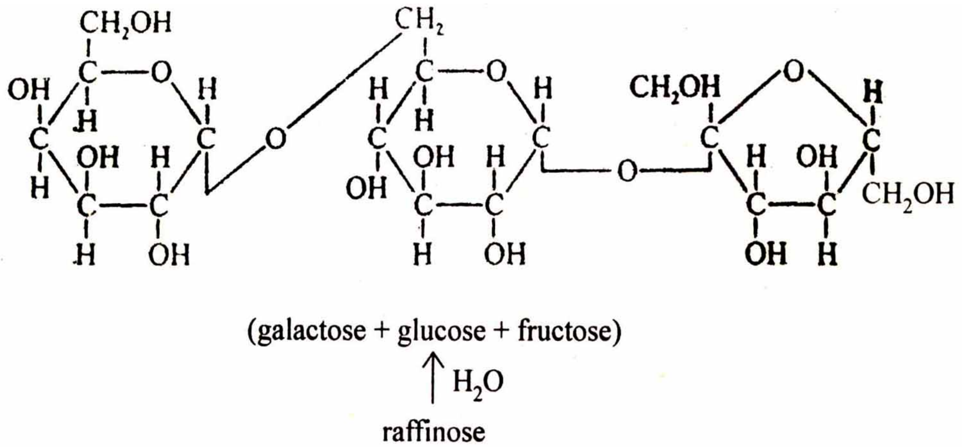
सैलिबियोज (β-1, बंध)

चित्र 10.10: सैलिबियोज एकडाइसैकेराइड अणु की संरचना

ट्राइसैकेराइड्स : प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले इन सैकेराइडों में **जैन्सियानोज** (Gentrainose) तथा **रैफीनोज़** (Raffinose) प्रमुख है ।

रैफीनोज़ (Raffinose) : रैफीनोज़ एक अनपचयी (non- reducing) ट्राइसैकेराइड (trisccharide) शर्करा है जो गेलेक्टोज़, ग्लूकोज़ व फ्रुक्टोज़ के एक -एक अणुओं के जुड़ने से निर्मित होती है (चित्र 10.11) । रैफीनोज के जल अपघटन से ग्लूकोज, फ्रुक्टोज एवं गेलेक्टोज प्रत्येक का एक अणु प्राप्त होता है ।

टेट्रासैकेराइड्स (Terasaccharides) : कई वृक्षों में स्टेक्योज (Stachyose) नामक टेट्रासैकेराइड पाया जाता है ।



चित्र 10.11 : रैफीनोज का अणु

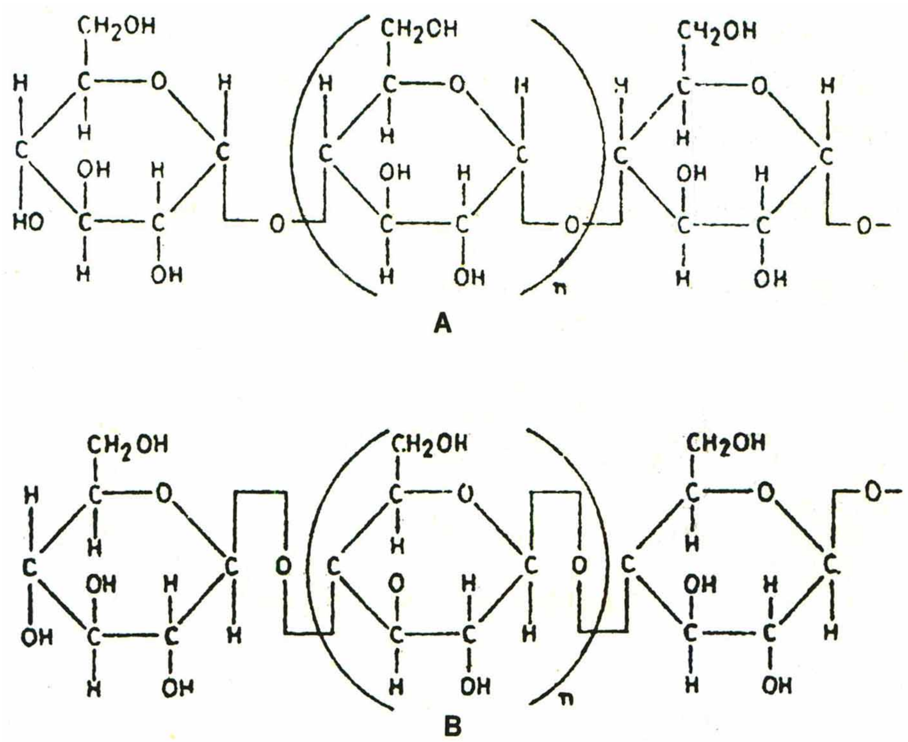
10.2.5 पॉलिसैकेराइदस : संरचना, लक्षण एवं महत्व

अधिकांश उदाहरणों में पादपों द्वारा प्रकाश संश्लेषण के अन्तर्गत उत्पादित सरल शर्करायें तत्काल उपयोग में नहीं लायी जा सकती हैं, यद्यपि इन्हें पॉलिसैकेराइडों में परिवर्तित कर दिया जाता है । पादपों में पाये जाने वाले दो प्रमुख पॉलिसैकेराइड्स स्टार्च एवं सैस्कूलोज विशेष महत्व के हैं (चित्र 10.12) ।

प्राय : पॉलीसैकेराइड्स मोनोसैकेराइड्स के बहुलक (प्राय : 10 से अधिक) हैं । ऐसे पॉलीसैकेराइड्स जिनकी संरचना में केवल एक ही प्रकार के मोनोसैकेराइड्स होते हैं, ग्लाइकान (glycan) कहलाते हैं । उदाहरणार्थ जाइलान (xylan), मैनान (mannan) व गेलेक्टोज़ (galactose) के बहुलक । स्टार्च (starch) व सेलुलोज़ (cellulose), **ग्लूकॉन** (glucans) कहलाते हैं । स्टार्च, ग्लाइकोजन, सेलुलोज़, हेमीसेलुलोज़, पैक्टिन व इनुलिन कुछ जैविक महत्व के पॉलीसैकेराइड्स हैं । इसके अतिरिक्त कुछ जटिल पॉलीसैकेराइड्स हैं, जो या तो व्युत्पन्न (derived) मोनोसैकेराइड (जैसे ग्लाइक्यूरोनिक अम्ल,glycuronic acid,एसिटाइलेटिड अथवा अमीनों व्युत्पन्न) इकाइयों से निर्मित होते हैं अथवा प्रोटीन से संलग्न (ग्लाइकोप्रोटीन, ग्लाइकोपेप्टाइड, पेप्टिडोग्लाइकॉन) होते हैं ।

1. **स्टार्च, मण्ड** (Starch) : स्टार्च α-D ग्लूकोज़ इकाइयों का एक जटिल बहुलक (polymer) है । पौधों में प्रकाश संश्लेषण में निर्मित अधिकांश शर्करा स्टार्च में रूपान्तरित हो जाती है । पौधों की जड़ों व बीजों में यह मुख्यत : कणिकाओं (granules) के रूप में पाया जाता है । वास्तव में यह दो प्रकार के पॉलीसैकेराइड्स - **एमाइलोज़** (amylose) व **एमाइलोपैक्टिन** (amyopectin) का एक मिश्रण है । एमाइलोज़ एक अशाखित पॉलीसैकेराइड है, जो स्टार्च का 15 - 20%' भाग बनाता है, जबकि एमाइलोपैक्टिन एक शाखित पॉलीसैकेराइड है, जो स्टार्च का 80 - 85% भाग बनाता है । एमाइलोज़ α-D- ग्लूकोज़ज के 100 से 500 अणुओं की एक सीधी बहुलक श्रृंखला है, जो α - (1$\rightarrow$ 4) बन्धों से जुड़ी रहती है । एमाइलोपैक्टिन में α - (1

→ 4) बन्धों के अतिरिक्त α - (1→ 6) बन्ध भी पाये जाते हैं, जिससे एमाइलोपैक्टिन अणु शाखित हो जाता है । इनके शाखन में 15 - 20 ग्लूकोज़ इकाईयों होती हैं ।



चित्र 10.12 : A.. स्टार्च की संरचना (पॉलिसैकेराइड), B. सैल्यूलोज़ की संरचना (पॉलिसैकेराइड)

लक्षण : स्टार्च ठण्डे जल में अविलेय (insoiuble) है, परन्तु इसे जल में उबाल कर फिर ठण्डा करने पर जैल (gel) अथवा पेस्ट (paste) बनता है । आयोडीन के साथ स्टार्च का नीला -काला रंग एमाइलोज़ के कारण होता है, जबकि एमाइलोपैक्टिन आयोडीन के साथ लाल बैंगनी रंग देता है ।

जब स्टार्च को किसी अम्ल अथवा एन्जाइम की सहायता से जल अपघटित किया जाता है, तो यह डैक्सट्रिन (dextrins,एमाइलोपैकिटन के छोटे अणु) बनाता है, जो माल्टोज़ व अन्तत : ग्लूकोज़ में खण्डित हो जाता है । कुछ डैक्सट्रिन (जैसे इरिथ्रोडैक्सट्रि न, erythrodextrins) आयोडीन के साथ गहरा लाल रंग देते हैं, जबकि अन्य (जैसे एक्रोडैक्सट्रिन, achrodextrins) कोई भी रंग नहीं देते हैं ।

स्टार्च →इरिथ्रोडैक्सट्रिन→ एक्रोडैक्सट्रिन→ माल्टोज़ →ग्लूकोज़

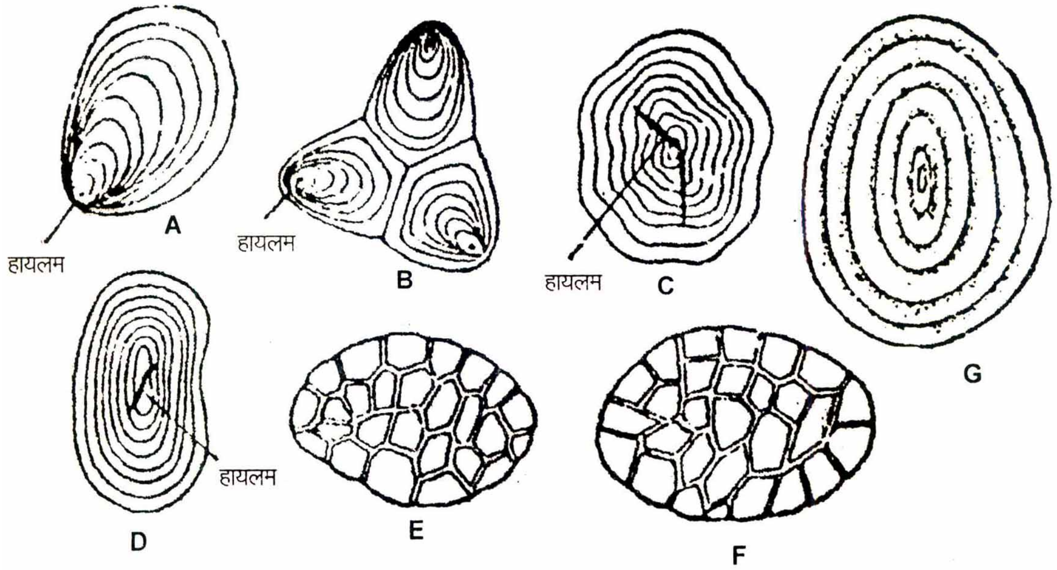
(नीला) (गहरालाल) (रंगहीन) (रंगहीन) (रंगहीन)

स्टार्च पादप ऊतकों में स्टार्च कणों के रूप में एकत्रित हो जाते हैं । संग्रहकारी अंगों, जैसे बीजों, बल्ब, कंद, प्रकन्द आदि में स्टार्च कण प्रमुखता से देखे जा सकते हैं । भिन्न - भिन्न पादपों व इनके अंगों में स्टार्च कणों की आकृतियाँ विविधतायें लिये पायी जाती हैं (चित्र 10.13) । जो कभी - कभी पादप भाग के अभिलक्षण को दर्शाती है ।

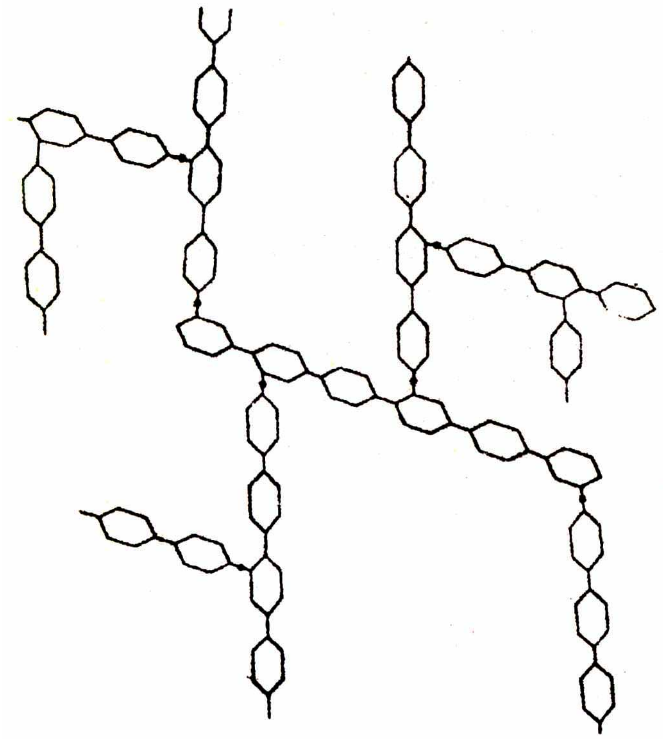
सामान्यतया : मण्ड को ग्लूकोज़ की श्रृंखला का बहुलक माना जाता है, परन्तु ये सही मायने में ऐमाइलोज़ एवं ऐमाइलोपैक्टिन (पॉलिसैकेराइड) द्वारा संगठित अणु होते हैं । ये दोनों ही पॉलिसैकेराइड जल - विश्लेषण से α -D -ग्लूकोज़ घटक उत्पन्न करते हैं । एमाइलोज ग्लूकोज घटकों के सीधे श्रृंखला बहुलक हैं, जबकि ऐमाइलोपैक्टिन शाखित बहुलक है ।

2. **ग्लाइकोज़न** (Glycogen) **या प्राणीमण्ड**(Animal starch) :

संरचना : यह जन्तु स्टार्च (animal starch) के नाम से भी जाना जाता है । यह जन्तु शरीर की अधिकांश कोशिकाओं में संचित कार्बोहाइड्रेट के रूप में मिलता है त था यकृत व पेशी ऊतक में बहुतायत से पाया जाता है । यह एमाइलोपैक्टिन के समान अत्यधिक शाखित अणु है परन्तु इसकी श्रृंखला की लम्बाई एमाइलोपैक्टिन की अपेक्षा कम होती है । इसकी संरचना में 10 - 15 α - D- ग्लूकोज़ अणु α - (1 4) बन्धों द्वारा जुड़े रहते हैं तथा ये α - (1 6) बन्धों के कारण शाखन दर्शाते हैं (चित्र 10.14) ।



चित्र 10.13 : स्टार्च कणों की आकृतियाँ : A. आलू का सरस कण B. आलू का संयुक्त कण C. मक्का का सरल कण D. मटर का सरल कण E.F. जई का संयुक्त कण G. गेहूँ का सरल कण



चित्र 10.14 : एक पॉलिमैक्केराइड ग्लाइकोज़न का अणु एक शाखीय संरचना

ग्लाइकोज़जन जल में घुलनशील एक सफेद पाउडर होता है तथा आयोडीन के साथ लाल नील-लोहित रंग देता है । जलीय घोलों में ईथाइल एल्कोहल द्‌वारा अवक्षेपित (precipited) हो जाता है । तनु अम्लों द्‌वारा जलअपघटन (hydrolysis) से यह α - D ग्लुकोज़ निर्मित करता है ।

ग्लाइकोजन के मुख्य कार्य : यकृत में व्याप्त यह रक्त की सहायता से शरीर की समस्त कोशिकाओं को ग्लूकोज का सम्भरण करता है । माँसपेशियों में विद्‌यमान ग्लाइकोजन अणु माँसपेशीय संकुचन का नियमन करता है ।

3. **सैल्यूलोज़** (Cellyulose) : एक पादप में मात्रा के हिसाब से सैल्यूलोज सबसे अधिक भार में देखा जा सकता है । यह पादप जगत में ही नहीं, यद्‌यपि संसार में व्याप्त संरचनात्मक यौगिकों में सर्वोत्तम कोटि का अणु है, जो मानव सभ्यता के विकास की कड़ी से जुड़ा हुआ है ।

सेलुलोज़ उच्च आण्विक भार वाला β-D ग्लूकोज़ इकाईयों का सीधी श्रृंखला बहुलक (polymer) है । ये इकाईयों β - $(1 \rightarrow 4)$ बन्धों द्‌वारा जुड़ी होती हैं । सेलुलोज़ की अणु श्रृंखला (molecular chain) में β - D ग्लूकोज़ की लगभग 300 - 500 इकाईयाँ होती हैं तथा इसका अणु भार 50kD से 90kD के बीच होता है । लगभग 200 अणु श्रृंखलाएँ मिलकर एक सूक्ष्मतंतुक (microfibril) बनाती हैं त था हजारों सूक्ष्मतंतुकों का समूह एक स्थूल तंतुक (macrofibril) बनाता है, जिसे इलैक्ट्रोन सूक्ष्मदशी से देखा जा सकता है (चित्र 10.12B) ।

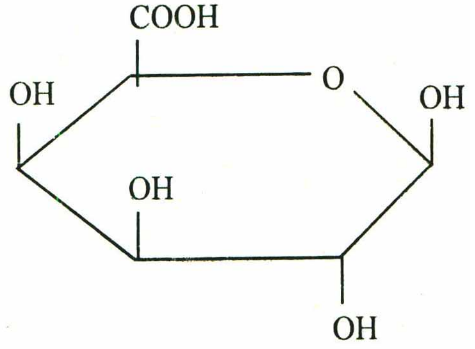
सेलुलोज़ कोशिका भित्ति का एक प्रमुख घटक है । अत : इसे प्रकृति में सर्वाधिक व्यापक रूप से वितरित कार्बनिक पदार्थ माना जा सकता है । यह एक अपेक्षाकृत निष्क्रिय श्वेत ठोस पदार्थ है, जो जल में अघुलनशील होता है, अत : इसे काफी कठिन रासायनिक उपचार के पश्चात् ही पूर्णत

: β-D ग्लूकोज़ इकाईयों में खण्डित किया जा सकता है । मनुष्यों में सेलुलोज़ को पचाने (digest) की क्षमता नहीं होती है, परन्तु रूमिनैन्ट जीव (ruminants, जैसे गाय, भैंस आदि) व कुछ जीवाणु इसे पचा सकते हैं ।

4. **हेमीसेलुलोज़ (**Hemicellulose) **:** हेमीसेलुलोज़ भी पादप कोशिका भित्तियों का एक घटक (component) है । यह क्षारीय घोल में घुलनशील होता है त था जाइलान (xylans), ग्लूकोयूरोनोज़ाइलान (glucouronaxylans) व ग्लूकोमैनान (glucomannans), जैसे पदार्थों का बहु लक (polymer) होता है ।

5. **पैक्टिक यौगिक** (Pectic Compounds) : सामान्यतया पौधों में तीन प्रकार के पैक्टिक यौगिक क्रमश : पैक्टिक अम्ल, पैक्टिन एवं प्रोटोपेक्टिन (पेक्टिक अम्ल के व्युत्पन्न) पाये जाते हैं ।

   i. **पेक्टिक अम्ल** (Pectic acid) : कोशिका भित्तियों के मध्य पायी जाने वाली मध्यपट्टिका (Middle lamella) का यह पॉलिसैकेराइड यौगिक प्राय : अम्ल के कैल्शियम व मैग्नेशियम लवणों के रूप में पौधों में व्यापक स्तर पर पाया जाता है । संरचना में यह एक अशाखित अणु है, जो प्राय : 100 डी -गेलेक्टूयूरोनिक अम्ल के अवशेषों द्वारा बनता है (चित्र 10.15)। पेक्टिक अम्ल जल में घुलनशील है एवं कैल्शियम आयनों से इसे **अवक्षेपित** (Precipitate) कर सकते हैं।



चित्र 10.15 : पेक्टिक अम्ल का अवशेष B - डी - गेलेक्टूयूरोनिक अम्ल का अणु

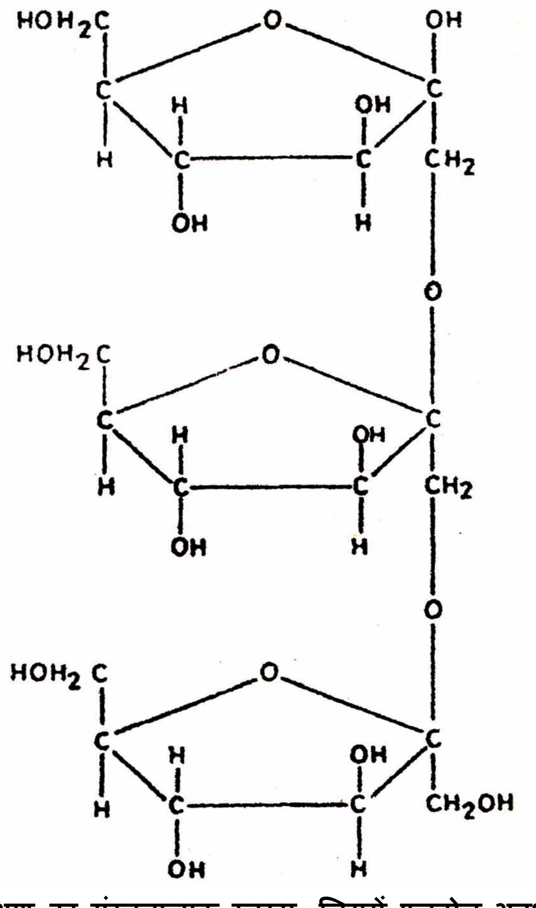
   ii. **पैक्टिन** (Pectin) : पैक्टिन β - D - गेलेक्टोयूरोनिक अम्ल (β - D galacturaonic) इकाईयों से निर्मित होते हैं, जिनमें कुछ कार्बोक्सिल समूहों (-COOH) का मिथाइल अथवा ईथाइल एल्कोहल से एस्टीकरण (esterification) हो जाता है तथा अन्य मैग्नीशियम व कैल्शियम आयनों से संयोजित हो जाते हैं । इसके अणु में जाइलोज, एरैबिनोज जैसी अन्य शर्कराएँ भी पार्श्व श्रृंखलाओं (side chains) के रूप में संयोजित पायी जाती हैं ।

   पैक्टिन उच्च पौधों के अंतरकोशिकयि क्षेत्रों (intercellular regions) में बहु तायत में पाया जाता है । जल के साथ पैक्टिन **कोलाइडी निलम्बन (**Colloidal suspension) बनाते हैं । इसमें एल्कोहल या शर्करा का सान्द्र विलयन मिलाने पर **जेल** (Gel) के रूप

में अर्धठोस (Semi solid) हो जाता है । यही कारण है कि इस यौगिक का व्यापारिक स्तर पर उपयोग होता है ।

iii. **प्रोटोपैक्टिन** (Protopectin) : ये समस्त अघुलनशील पैक्टिक पदार्थ होते हैं एवं अस्थायी प्रकृति के होते हैं । ये रासायनिक संरचना में पैक्टिक अम्ल व पैक्टिन से बड़े होते हैं । कुछ कच्चे फलों, जैसे नाशपाती, एवं सेव में इनकी प्रचुर मात्रा पायी जाती है ।

6. **इनुलिन** (Inulin) या **डेहलिया मण्ड** (Dahlia starch) : यह फ्रुक्टोज का बहुलक है, अत : यह एक फुक्टासन पालिसैकेराइड है, जो गरम जल में घुलनशील है । ऐस्ट्रेसी कुल के सदस्यों में बहुतायत से पाये जाने वाला यह बहुलक अशाखित होता है, जो प्राय : 35 फ्रुक्टोज इकाईयों के परस्पर $\beta(1 \rightarrow 2)$ बन्धों के संयुग्मन से बनता है । इनुलिन का आण्विक संरचना में कम से कम दो ग्लूकोज अणुओं का भी समावेश होता है । वास्तव में यह फ्रुक्टोज अवशेषों को ही दर्शाता है (चित्र 10.16) । इनुलिन का व्यापारिक उत्पादन जेरूसलम आर्टिचोक के प्रकन्द से प्राप्त करते हैं । एन्जाइम इनुलेज इनुलिन को फ्रुक्टोज में जलअपघटित कर देता है । प्रकृति में इनुलिन कुछ छोटी श्रृंखला के फ्रुकटेन्स के साथ पाया जाता है ।



चित्र 10.16 : इनुलिन अणु का संरचनात्मक स्वरूप, जिसमें फ्रुक्टोज अवशेषों को निरूपित किया गया है ।

बोधप्रश्न - 1

1. कार्बोहाइड्रेट्स को परिभाषित कीजिये ।

   ....

   ....

2. असममित कार्बन परमाणु किसे कहते हैं? क्या कार्बोहाइड्रेट्स में असममित कार्बन परमाणु पाये जाते हैं?

   ....

   ....

3. आप किसी पादप ऊतक में स्टार्च की उपस्थिति कैसे दर्शायेंगे?

   ....

   ....

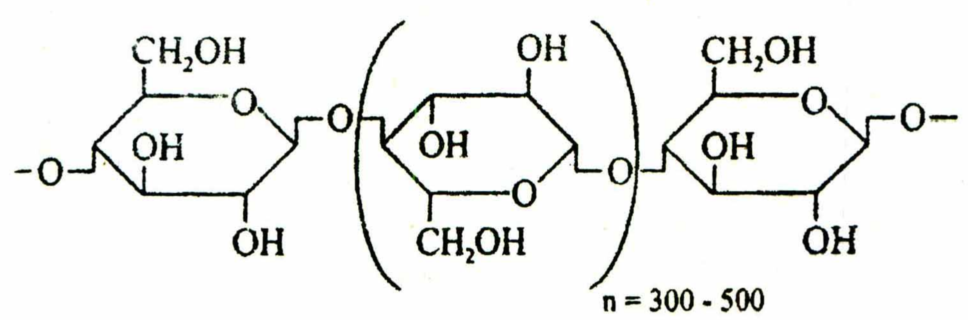
10.3 ग्लाइकोसिडिक बन्ध (Glycosidic Bonds)

मोनोसैकेराइडो की इकाईयों ग्लाईकोसिडिक बन्धों से जुड़कर ऑलिगो या पॉलिसैकेराइड बनाती है अर्थात् दो अणुओं का संयोजन इस बन्ध के द्वारा होता है तथा इस बन्ध के निर्माण के दौरान जल का एक अणु निष्कासित होता है । इसमें रोचक तथ्य यह है कि एक ही मोनोसैकेराइड विभिन्न बन्धों के कारण विभिन्न प्रकार के ऑलिगोया पॉलिसैकेराइड्स बनाती है ।

उदाहरण के लिए : α - 1,4 तथा α - 1,6 बन्धों से जुड़ने पर ग्लूकोज इकाईयाँ स्टार्च बनाती है, जबकि ये ही ग्लूकोज β -1,4 इकाईयाँ बन्धों से सैज्यूलोज का निर्माण करती है ।

इसी प्रकार α -D ग्लूकोज के दो अणु 1,4 बन्धों से जुड़कर माल्टोज का एक अणु बनाते हैं तथा β - D ग्लूकोज के दो अणु 1, 4 बन्धों से जुड़कर सैलोबायोज का एक अणु बनाते हैं ।

α - D - ग्लूकोज व β - D फ्रुक्टोज α - 1, β - 2 बन्धों से जुड़कर सुक्रोज का एक अणु बनाते हैं ।



चित्र 10.17 : Cellulose

$$D-glu(\beta 1\rightarrow 4)-[D-glu(\beta 1\rightarrow 4)]-D-glu$$

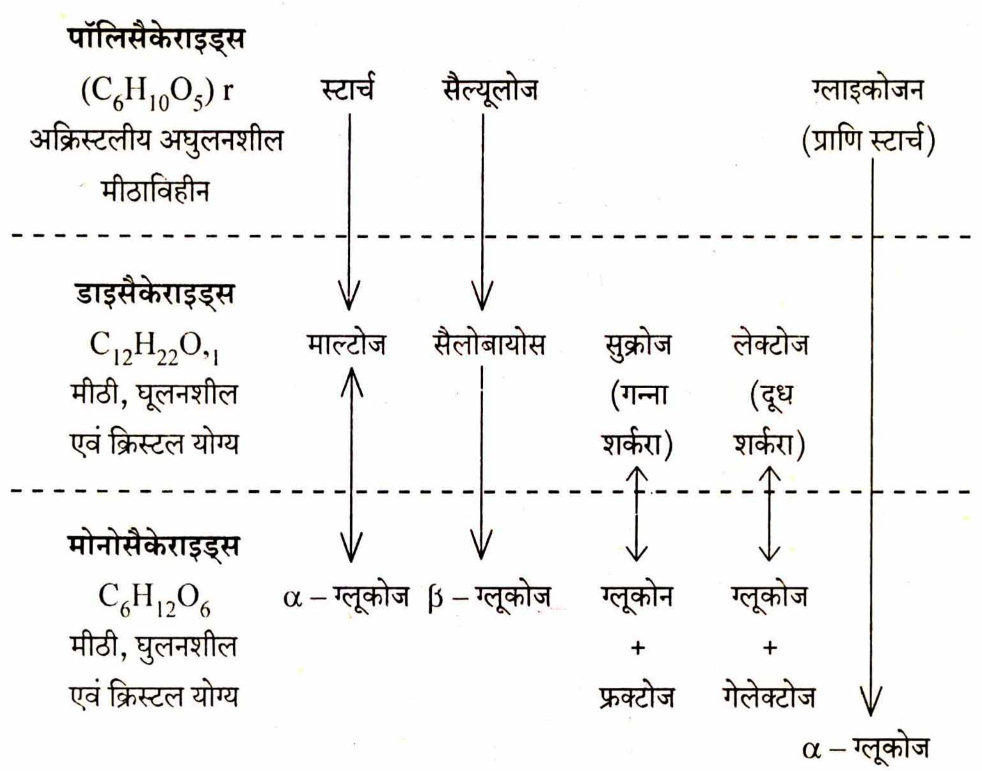
10.3.1 कार्बोहाइड्रेट्स परिवहन

उच्च पादपों में कार्बोहाइड्रेट्स का परिवहन ()Transport मुख्यतया सुक्रोज शर्करा के रूप में होता है, जिसे पादप कार्यिकी वेत्ताओं द्‌वारा रेडियोएक्टिव पदार्थों का उपयोग कर स्पष्ट रूप से प्रकट किया है । जब एक पौधे को प्रकाश संश्लेषण के दौरान रेडियोसक्रिय कार्बन डाईऑक्साइड ($C^{14}O_2$) उपलब्ध कराई गयी । प्रकाश संश्लेषण के उपरान्त इस रेडियोएक्टिव कार्बन को पत्ती से अन्यत्र परिवहित सुक्रोज़ के रूप में प्राप्त किया । अत : कार्बोहाइड्रेट्स संश्लेषण स्थल से (पत्ती से) पौधे के अन्य भागों में इस यौगिक का परिवहन यह सिद्ध करता है कि कार्बोहाइड्रेट्स का परिवहन पौधों में एक सक्रिय प्रक्रिया द्‌वारा सम्पन्न होता है, जो कि एक उपयोगी उपापचय कार्बनिक यौगिक है ।

10.3.2 कार्बोहाइड्रेट्स : पारस्परिक परिवर्तन :

कार्बोहाइड्रेट्स का पारस्परिक परिवर्तन अर्थात् मोनोसैकेराइडो से डाइसैकेराइड्स व पालिसैकेराइडो में परिवर्तन संघनन या जलविघटन द्‌वारा होता है । प्राय: ये परिवर्तन पादप कोशिका के अन्दर कई एन्जाइमों के सहयोग से होता है । सारणी 10.2 में कुछ परिवर्तन प्रदर्शित किये गये हैं ।

सारणी 10.2 : कार्बोहाइड्रेट्स का पारस्परिक परिवर्तन



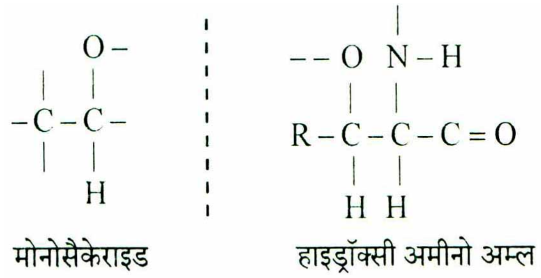
10.3.3 ग्लाइकोप्रोटीन्स

ग्लाइकोप्रोटीन्स विभिन्न प्रकार के कार्बोहाइड्रेट्स व प्रोटीन्स से निर्मित अणु है । IgG, मानव इम्यूनोग्लोबिन, रुधिर समूह एन्टीजन, अण्ड एल्बुमिन (Ovalbumin) व राइबोन्यूक्लिएज β - ग्लाइकोप्रोटीन्स के सामान्य प्रकार हैं ।

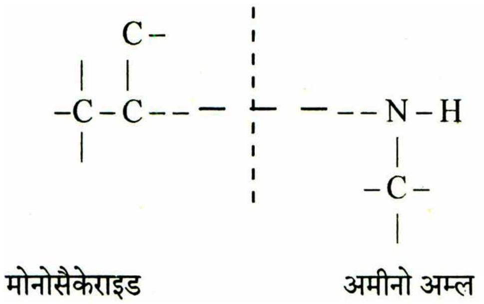
ग्लाइकोप्रोटीन्स पौधों एवं जन्तुओं में पाये जाते हैं, लेकिन जीवाणु में इनका अभाव होता है ।

संरचना : ग्लाइकोप्रोटीन्स में कार्बोहाइड्रेट्स या तो एक मोनोसैकेराइड होता है या एक छोटा ऑलिगोसैकेराइड होता है, जो एक प्रतिशत से 30 प्रतिशत तक या ज्यादा हो सकता है । प्रोटीन्स व कार्बोहाइड्रेट्स के मध्य पाये जाने वाले भित्र प्रकार के बन्धों को चित्र 10.17 में प्रदर्शित किया गया है । इससे स्पष्ट होता है कि ग्लाइकोप्रोटीन में प्रॉस्थेटिक समूह के रूप में अल्प मात्रा में कार्बोहाइड्रेट्स पाक जात' है, जैसे म्यूसिन (Mucin) ग्लूकोज

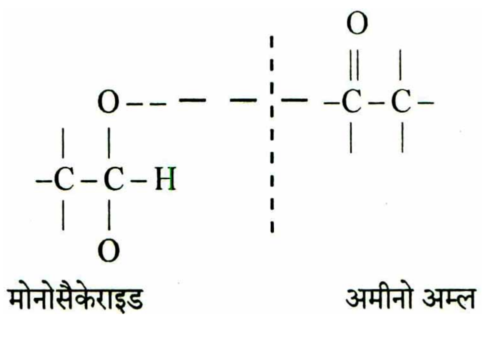
(i) O-ग्लाइकोसिडिक बन्ध



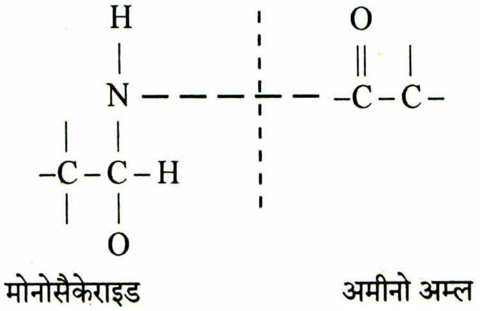
(ii) N-ग्लाइकोसिडिक बन्ध



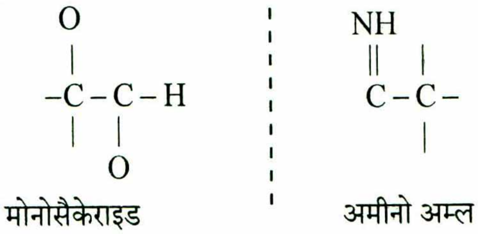
(iii) ऐस्टर



(iv) N-एसिटील ग्लाइकोसिल एमीन



(v) इमीडोऐस्टर (Imido aster)



चित्र 10.17 ग्लाइकोप्रोटीन्स में प्रोटीन, कार्बोहाइड्रेट्स अन्योन्य किया (बन्धों का निर्माण)

कार्य :

1. ग्लाइकोप्रोटीन्स जीवाणु व वायरस के विरुद्ध प्रोटीन अपघटन एन्जाइम से सुरक्षा का कार्य करते हैं ।
2. यह कोशिका वृद्धि में कोशिकीय आंसजन व सम्पर्क निरोधक का कार्य करते हैं ।
3. कुछ आर्कटिक व अनआर्कटिक मछलियों में एक एन्टी-फ्रीज प्रोटीन के रूप में ग्लाइकोप्रोटीन पाया जाता है ।

बोध प्रश्न - 2

1. कच्चे सेव व नाशपाती में क्या पाया जाता है?

   ....

   ....

2. ग्लाइकोप्रोटीन्स को परिभाषित कीजिये।

   ....

   ....

10.4 अनुभागीय सारांश (Sectional Summary)

कार्बोहाइड्रेट्स का अभिप्राय कार्बन के हाइड्रेट्स से है, जो कार्बन, हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन तत्वों के 1 : 2 : 1 अनुपात द्वारा निर्मित कार्बनिक पदार्थ हैं । कार्बोहाइड्रेट्स को उनके रासायनिक गुणों एवं अणु संरचना के आधार पर तीन आधारभूत समूहों, क्रमश: मोनोसैकेराइड्स, ऑलिगोसैकेराइड्स एवं पॉलिसैकेराइड में वर्गीकृत किया गया है । मोनोसैकेराइड्स प्राय: जैविक दृष्टि से महत्वपूर्ण होते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स में असममित कार्बन परमाणु की उपस्थिति के कारण संरचनात्मक एवं त्रिविम समावयवता पायी जाती है । मोनोसैकेराइड इकाईयों ग्लाइकोसिडिक बन्धों

से जुड़कर आलिगो या पालिसैकेराइड्स बनाती है । सुक्रोज, माल्टोज व सेलोबायोज डाइसैकेराइड्स के प्रमुख उदाहरण है । स्टार्च व सैन्यूलोज पादप संगठन में मुख्य भूमिका निभाते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स का प्रमुख कार्य ऊर्जा का उत्पादन, वसा उपापचय व अन्य संरचनात्मक पदार्थों के रूप में होता है ।

बोध प्रश्न - 3

1. दो पेन्टोज शर्कराओं के नाम बताइये, जो आनुवांशिक वाहकों के घटक हैं ।

   ....

   ....

2. दो मोनोसैकेराइड इकाईयों के संयोजन से एक डाइसैकेराइड्स के निर्माण में कितने जल अणु विमुक्त होते हैं?

   ....

   ....

10.5 कार्बोहाइड्रेट्स : संश्लेषण एवं ऑक्सीकरण एक परिदृश्य (Synthesis and Oxidation)

कार्बोहाइड्रेट्स का जैव संश्लेषण, प्रकाश संश्लेषण या ग्लाइकोलाइटिक पथ के द्वारा होता है, जिसमें CO_2, व H_2O जैसे सरल पदार्थ हरे पौधों की पत्ती में सूर्य के प्रकाश का उपयोग कर संश्लेषण करते हैं । मोनोसैकेराइड्स, जो एक सरलतम कार्बोहाइड्रेट्स है पारस्परिक परिवर्तन द्वारा जटिल कार्बोहाइड्रेट्स में बदल जाते हैं । इस प्रकार निर्मित कार्बोहाइड्रेट्स ऑक्सीकरण (श्वसन क्रिया) द्वारा पुन: सरल यौगिकों में विघटित हो जाते है तथा ऊर्जा प्रदान करते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स के संश्लेषण (प्रकाश संश्लेषण) व ऑक्सीकरण (श्वसन) का विस्तृत विवरण इसी पुस्तक में अन्यत्र देखें ।

बोध प्रश्न - 4

1. सैल्यूलोज की निर्माणकारी इकाई का नाम बताइये ।

   ....

   ....

2. D एवं L ग्लूकोज अणु से क्या अभिप्राय है?

   ....

   ....

10.6 सारांश (Summary)

पादप शरीर में सम्पन्न होने वाली विभिन्न उपापचयी क्रियाओं में कार्बोहाइड्रेट्स बहुत ही महत्वपूर्ण जैव रसायन होते हैं । कार्बोहाइड्रेट्स को मुख्यतया तीन वर्गों क्रमश: मोनो, ऑलिगो एवं पालिसैकेराइडों में वर्गीकृत करते हैं । पौधों में हैक्सोसेज व पेन्टोजेज शर्करायें अधिक महत्वपूर्ण मोनोसैकेराइड्स हैं तथा एक चक्रिय या वलय रूपों में पाये जाते हैं । ग्लूकोज, फुक्टोज आदि

महत्वपूर्ण शर्करा गैर, जो कई जटिल जैव रसायनों के संश्लेषण में उपयोगी है । सुक्रोज एक डाइसैकेराइड है, जो मानव के लिए विशेष व्यापारिक महत्व की है । स्टार्च व सैल्थूलोज दो अत्यन्त महत्वपूर्ण पालिसैकेराइड्स हैं, जो पौधे को एक संरचनात्मक स्वरूप प्रदान करते हैं । मानव सभ्यता के विकास में कार्बोहाइड्रेट्स का विशेष योगदान है, क्योंकि पृथ्वी पर विद्यमान समस्त जीवों के जीवन के लिये कार्बोहाइड्रेट्स आधार प्रदान करते हैं ।

10.7 शब्दावली (Terminology)

समावयव शर्करायें (Isomeric sugars) : जिन शर्कराओं का आण्विक भार समान होता है, समावयव शर्करा कहे जाते हैं, जैसे डी - ग्लूकोज, डी-फ्रुक्टोज, डी-मैनोज एवं डी-गेलेक्टोज ($C_6H_{12}O_6$)

अपचायक शर्करा (Reducing sugars) : एल्डिहाइड एवं कीटोन वर्ग युक्त शर्कराएँ, जिनका सहज में ही ऑक्सीकरण हो जाता है तथा बदले में ये वर्ग स्वयं अपचयित हो जाते है ।

ग्लाइकोसिडिक बन्ध (Glycosidic bonds) : मोनोसैकेराइड शर्कराएँ जिन बन्धों से जुड़कर आलिगो व पौलिसैकेराइड्स बनाती है ।

ग्लाइकोप्रोटीन्स (Glycoproteins) : प्रोटीन युक्त कार्बोहाइड्रेट्स को ग्लाइको प्राटीन्स कहते हैं ।

प्रोटोपेक्टिन (Protopectin) : समस्त अघुलनशील पेक्टिक पदार्थ, जो संरचना में अस्थायी होते हैं ।

10.8 सन्दर्भ ग्रन्थ (References)

1. सिंह, पाण्डे एवं जैन 2005 : पादप शरीर -क्रिया, विज्ञान एवं जैव रसायन । रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ ।
2. वर्मा एवं चौधरी, 2006 : पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन, अल्का पब्लिकेशन्स, अजमेर ।
3. वर्मा वी. 2000 : पादप कार्यिकी, एम. के. पब्लिकेशन्स, दिल्ली ।
4. भाटिया एवं पाराशर, 1992 : प्लान्ट फिजियोलॉजी, कृष्णा ब्रदर्स, नई दिल्ली ।
5. त्रिवेदी, शर्मा रथ धनखड़, 2006 पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन, रमेश बुक डिपो, जयपुर ।

10.9 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers)

बोध प्रश्न - 1

1. कार्बन के हाइड्रेट्स यानि कार्बन, हाइड्रोजन व ऑक्सीजन से निर्मित कार्बनिक पदार्थ । अभिनव परिभाषा के अन्तर्गत पॉलीहाइड्रॉक्सी एल्डिहाइड या कीटोन एवं उनके व्युत्पत्र होते हैं।
2. विन्यास समावयवों में असममित कार्बन परमाणु को घेरे हुए समान प्रकार के परमाण्विक वर्ग होते हैं । हाँ, कार्बोहाइड्रेट्स में भी असममित कार्बन पाया जाता है ।
3. उक्त ऊतक को आयोडीन से अभिक्रिया कराके, क्योंकि बैंगनी या नीला-काला रंग स्टार्च की उपस्थिति दर्शाता है ।

बोध प्रश्न - 2

1. प्रोटोपैक्टिन ।
2. जिन प्रोटीनों में प्रास्थेटिक समूह के रूप में सूक्ष्म मात्रा में कार्बोहाइड्रेट पाये जाते हैं ।

बोध प्रश्न - 3

1. डी -राइबोज एवं 2-डी ऑक्सी-डी-राइबोस ।
2. एक जल अणु ।

बोध प्रश्न - 4

1. D-ग्लूकोज ।
2. 2. - ग्लूकोज - हैक्सोस कार्बन, जो ध्रुवीयकृत प्रकाश का दायीं ओर घूर्णन कर दे । इस में ग्लूकोज अण्ड के आगे D या d लिखा जाता है अर्थात् **दक्षिणावर्ती** (Dextro-rotatory), जो अणु ध्रुवीयकृत प्रकाश का बायीं ओर घूर्णन कर दे । इसमें L या 1 शर्करा के आगे लिखा जाता है अर्थात् वामावर्ती l = (Levo-rotatory) ।

10.10 अभ्यासार्थ प्रश्न (Excercuses)

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न

1. किन्हीं दो आलिगोसैकेराइड्स के नाम लिखिये ।
2. कार्बोहाइड्रेट्स को मोटे तौर पर कितने वर्गों में बाँटा गया है?
3. गत्रा, चुकन्दर एवं अंगूर में कौनसी शर्करा पायी जाती है?
4. जैविक-तंत्र में कार्बोहाइड्रेट्स के तीन महत्व लिखिये ।
5. स्टार्च एवं सैज्यूलोज के पूर्ण जलअपघटन से निर्मित अन्तिम उत्पादों के नाम बताइये ।

लघुत्तरीय प्रश्न

1. वलय संरचना से क्या अभिप्राय है?
2. किसी एक हैक्सोसेस शर्करा का वर्णन कीजिये ।
3. ग्लाइकोजन, पैक्टिन एवं इनुलिन कौन से कार्बोहाइड्रेट्स हैं?
4. स्टार्च के अणु का चित्र बनाइये ।
5. रासायनिक संरचना में जटिलता के आधार पर निम्नलिखित कार्बोहाइड्रेट्स को व्यवस्थित कीजिये :
6. ग्लूकोज, ट्रायोज, माल्टोज, स्टार्च, सुक्रोज, इनूलिन ।

निबन्धात्मक प्रश्न

1. सबसे सरलतम कार्बोहाइड्रेट्स कौन से हैं? हैक्सोज शर्करा का वर्णन कीजिये ।
2. पैक्टिक यौगिकों के प्रकार, संरचना एवं कार्य का उल्लेख कीजिए ।
3. टिप्पणी लिखिए
   (i) त्रिविम समावयवता
   (ii) D एवं L स्वरूप ।
4. मोनोसैकेराइड्स का संक्षिप्त विवरण दीजिए ।

इकाई 11 : प्रोटीन (Protein)

इकाई की रूपरेखा (Structure of unit)

11.0 उद्देश्य (Objectives)

11.1 प्रस्तावना (Introduction)

11.2 प्रोटीन : नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ (Protein : The nitrogenous organic compounds)

11.2.1 अमीनो अम्ल - एक प्रोटीन इकाई (Amino acid - unit protein)

11.2.2 अमीनो अम्लों का महत्व (Significance of Aminoacids)

11.2.3 प्राकृतिक रूप में पाये जाने वाले अमीनो अम्लों का वर्गीकरण एवं जैव संश्लेषण (Classification of naturally occurring Amino Acids and biosynthesis)

11.2.4 अमीनो अम्लों की संरचना एवं गुणधर्म (Structure and properties of Aminoacids)

11.2.5 पेप्टाइड एवं हाइड्रोजन बन्ध (Peptide and Hydrogen bond or linkage)

11.3 प्रोटीन - संरचना (Protein - Structure)

11.3.1 प्रोटीनों का वर्गीकरण (Classification of proteins)

11.3.2 प्रोटीनों के प्रमुख गुणधर्म (Important of proteins)

11.3.3 प्रोटीन संश्लेषण (Protein synthesis)

11.3.4 अनुलेखन या अनुकृतन या mRND का संश्लेषण (Transcription or mRNA sythesis)

11.3.5 अनुवादन या स्थानान्तरण या संश्लेषण या अनुलिपिकरण (Translation)

11.3.6 प्रोटीन्स - जैविक महत्व (Protein - Biological significance) बीजांकुरण एवं जीर्णता के समय प्रोटीन परिवर्तन (Changes in proteins during seed germination and senescence)

11.4 अनुभागीय सारांश (Sectional summary)

11.5 प्रोटीन्स के जैविक महत्त्व या उपयोगिता (Biological significance or used of proteins)

116 इकाई सारांश एवं अभ्यास कार्य (Unit summary and Excercises)

11.7 शब्दावली (Glossary)

11.8 सन्दर्भ ग्रन्थ (Further readings)

11.9 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answers to SAQs)

11.10 अभ्यासार्थ प्रश्न (Practice questions)

11.0 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई का प्रमुख उद्देश्य आपको इस योग्य बनाना है कि इसके अध्ययन के फलस्वरूप आप :

1. कोशिकाओं में पाये जाने वाले स्थायी प्रकृति के नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थों अर्थात् प्रोटीन्स की जटिलता को समझ सकें ।
2. प्रोटीन इकाई के रूप में अमीनो अम्लों के पेप्टाइड बन्धों द्वारा इस बहुलक के निर्माण को स्पष्ट कर सकें ।
3. अमीनो अम्लों के वर्गीकरण संरचना एवं महत्व की व्याख्या कर सकें ।
4. विशिष्ट प्रकार के अमीनो अम्लों के संघनन में प्रयुक्त पेप्टाइड बन्ध एवं हाइड्रोजन बन्ध की प्रासंगिकता का चित्रण कर सकें । साथ ही इनके अध्ययन से आप इन बन्धों के मध्य सम्बन्ध एवं विभेदन को उजागर कर सकें ।
5. अमीनो अम्लों से निर्मित जटिल प्रोटीन अणु की संरचना एवं गुणों के विभिन्न कार्यात्मक पहलुओं को समझ सके।]
6. जटिल एवं कार्यों में विविधता दर्शाने वाले प्रोटीन्स के वर्गीकरण के आधारभूत पहलुओं को विभित्र वर्गों में विभाजित कर सकें ।
7. प्रोटीन संश्लेषण की क्रियाविधि को समझ सकें ।
8. प्रोटीन्स के जैविक महत्त्व को उपापचय प्रक्रमों एवं बीजांकुरण व जीर्णता में पहचान सकें ।

इसके अतिरिक्त इस इकाई में आपको ओर N_2 -उपापचय (पूर्व में वर्णित) अमीनो अम्ल संश्लेषण एवं प्रोटीन संश्लेषण के विशिष्ट पहलुओं की पूर्ण जानकारी प्राप्त हो सकेगी ।

11.1 प्रस्तावना (Introduction)

स्थायी प्रकृति के नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थों में प्रोटीन सर्वोपरि जैविक अणु है । समस्त पादप उपापचयी क्रियायें एन्जाइमों की उपस्थिति में सम्पन्न होती हैं तथा सभी एन्जाइम प्रोटीन द्वारा निर्मित होते हैं । **प्रोटीन** पद का उद्भव ग्रीक भाषा के शब्द **प्रोटोस** से हुआ है, जिसका शाब्दिक अर्थ है, "वह जो सबसे महत्वपूर्ण हो" । इस शब्द का गठन **मूलडर** (Mulder, 1938, Proteins =First place) ने किया था ।

संगठन (Composition) में पादप प्रोटीन कार्बन (50%), हाइड्रोजन (7%), नाइट्रोजन (16%), ऑक्सीजन (20%) तथा सल्फर व फास्फोरस (2%) के यौगिक होते हैं । कुछ प्रोटीन्स में लौह व आयोडीन भी पाया जाता है । प्रोटीन्स प्राय : वृहद् अणु होते हैं । इनके अणु कभी -कभी इतने विशाल होते हैं कि ये विलयन में प्रत्यक्ष कोलाइडी कणों के रूप में व्यवहार करते हैं । सामान्यत : इनका अणुभार 6000 (इन्सुलिन) से कई लाख तक होता है । पादप प्रोटीन्स अभी तक प्राकृतिक रूप से ज्ञात 20 अमीनों अम्लों द्वारा निर्मित होते हैं । प्रोटीन के अणुओं में ये अमीनो अम्ल विभिन्न क्रमानुसार प्रबन्धित रहते हैं, जिससे कि एक दीर्घ पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला का निर्माण होता है । एक प्रोटीन में एक या एक से अधिक पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला उपस्थित हो सकती है । जब एक प्रोटीन में एक या अनेक पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलायें उपस्थित होती है, तो ऐसी स्थिति में दो पालिपेप्टाइड श्रृंखलायें परस्पर द्विसल्फाइड बन्ध (Disulphide bond) द्वारा संयुक्त रहती है ।

प्रोटीन्स की संरचना में अत्यधिक विविधता होने के कारण प्रोटीन्स सजीवों में अनेक महत्वपूर्ण कार्य सम्पत्र करते हैं । ये कोशिकाओं व ऊतकों का निर्माण करते हैं, रासायनिक क्रियाओं को उत्पेरित करते हैं तथा जैविक पदार्थों के अभिगमन व आक्रामकों (Invaders), से शरीर की रक्षा करते हैं । सही मायने में शरीर का लगभग प्रत्येक भाग प्रोटीन निर्मित है तथा कोशिका संरचना का वह भाग, जो प्रोटीन्स से निर्मित नहीं होता, एन्जाइमों द्वारा संश्लेषित होता है । DNA अणु जो स्वयं प्रोटीन संश्लेषण का आधार है भी प्रोटीन्स (DNA पॉलीमेरेज व DNA लाइगेज) से निर्मित होता है । अत : प्रोटीन का अध्ययन करना जीवन की निर्माणकारी इकाईयाँ का अध्ययन करना है ।

11.2 प्रोटीन : नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ (Protein : Nitrogenous Organic Compounds)

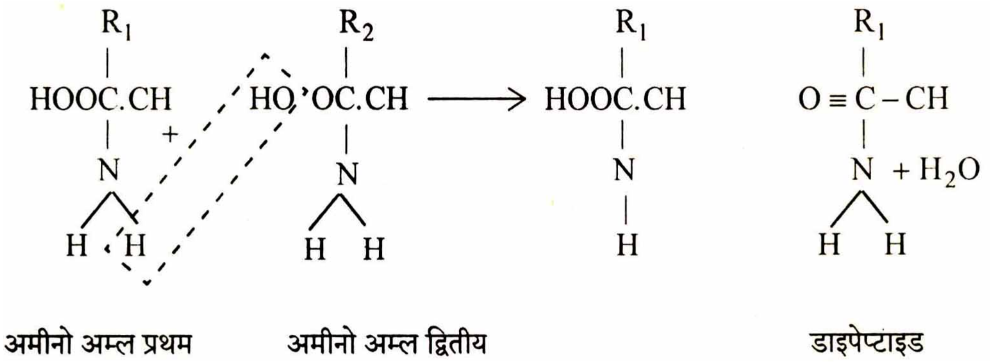
स्मरणीय है कि प्रोटीन्स अमीनो अम्लों (नाइट्रोजनीय अम्ल) से निर्मित कार्बनिक बहुलक है । ये जीवद्रव्य का लगभग 45% भाग बनाते हैं । स्पष्ट है कि ये कार्बनिक पदार्थों में सर्वाधिक मात्रा में पाये जाने के कारण प्रथम स्थान पर आते हैं । ये CHO व N के यौगिक होते हैं, जो मैग्नीशियम, लौह, सल्फर, आयोडीन, फास्फोरस व न्यूक्लिक अम्लों के साथ मिलकर अनेक महत्वपूर्ण यौगिकों का निर्माण करते हैं । प्रोटीन शब्द डच कृषिवेत्ता मुलडर के पेन (कलम) से लिखा वह शब्द है, जो प्राथमिक तौर से सजीव व निर्जीव के मध्य विभेदन के लिए जिम्मेदार है, क्योंकि ये जीवन की जैव रसायन में महत्वपूर्ण योगदान देते हैं । ये प्राय : घुलनशील अवस्था में कोशिकाद्रव्य में तथा अघुलनशील अवस्था में जैसे बीजों, कलिकाओं, कन्द, प्रकन्द आदि संग्रहक अंगों में पाये जाते हैं । अभिनव तकनीकों द्वारा प्रोटीन्स का पृथक्करण व शुद्धिकरण कर लिया गया है तथा इन पदार्थों (प्रोटीन्स) का रासायनिक एवं भौतिक संघटन ज्ञात किया जा चुका है, उदाहरणार्थ हीमोग्लोबिन, मायोग्लोबिन सायमोट्रिपसिन, पापेन (Papain), लाइसोजाइम, कार्बोक्सीपेप्टीडेज आदि ।

11.2.1 अमीनो अम्ल - एक प्रोटीन इकाई

रासायनिक संगठन में प्रोटीन अमीनो अम्ल के बहुलक होते हैं । प्रोटीन में अमीनो अम्ल अपने अमीनो (NH_3) तथा कार्बोक्सिल (COOH), समूह द्वारा एक दूसरे से जुड़े रहते हैं तथा अमीनो अम्लों की इस प्रकार की बन्धता को पेप्टाइड बन्धता कहते हैं । दो, तीन, चार - - - - अमीनो अम्ल वाले प्रोटीन क्रमश : डाइपेप्टाइड, ट्राइपेप्टाइड, पॉलिपेप्टाइड - - - - बन्धुता प्रदर्शित करते हैं । क्षारीय अमीनो अम्ल वाले प्रोटीन 7.4pH पर अम्ल की भाँति कार्य करते हैं, जैसे रुधिर प्रोटीन । पादप प्रोटीन्स में अमीनो वर्ग α कार्बन या अम्लीय समूह के निकटवर्ती कार्बन से संलग्न रहता है, अत: इन अमीनो अम्लों को α अमीनो अम्ल भी कहा जाता है । अलभग 100 से ज्यादा अमीनो अम्ल अभी तक ज्ञात है, लेकिन सिर्फ 20 अमीनो अम्ल ही प्रोटीन निर्माण में उपयोगी है । शायद इन्सुलिन सबसे छोटा प्रोटीन है, जिसमें 51 अमीनो अम्लों का योगदान पाया

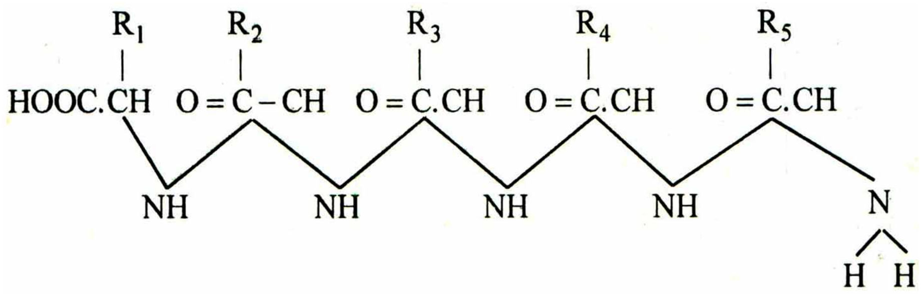
जाता है । इसी प्रकार काइमोट्रिपसिन (246 अमीनो अम्ल), मानव हीमोग्लोबिन (574 अमीनो अम्ल) अधिक अमीनो अम्लों वाले प्रोटीन अणु हैं ।

विभिन्न प्रोटीन्स अनेक अमीनो अम्लों के संघनन उत्पाद होते हैं तथा अमीनो अम्लों के संघनन का सबसे सरलतम प्रकार पेप्टाइड बन्ध -NH-CO- है । एक या एक से अधिक अमीनो अम्ल इन बन्धों के निर्माण में भाग लेते हैं ।\



एक डाइपेप्टाइड बन्ध

एक डाइपेप्टाइड एकाकी अमीनो अम्ल की तरह क्रियाशील हो सकता है, क्योंकि इसके एक सिरे पर कार्बोक्सिल वर्ग व दूसरे सिरे पर अमीनो वर्ग पाया जाता है । इस कारण यह अन्य अमीनो अम्लों से क्रिया कर एक बहुलक (polymer) निर्मित कर सकता है । ऐसे बहुलक को जिसमें अनेक पेप्टाइड बन्ध सत्रिहित होते हैं, पालिपेप्टाइड या प्रोटीन कहते हैं।



एक पॉलिपेप्टाइड (प्रोटीन) R_1,R_2,R_3,R_4,R_5, अर्थात् पार्श्व श्रृंखला

कभी -कभी विभित्र अमीनो अम्ल पेप्टाइड बन्ध के अतिरिक्त S-S बन्ध द्वारा भी संयुक्त होते हैं । अत : अमीनो अम्ल प्रोटीन की संगठात्मक इकाईयाँ हैं ।

11.2.3 अमीनो अम्लों का महत्व

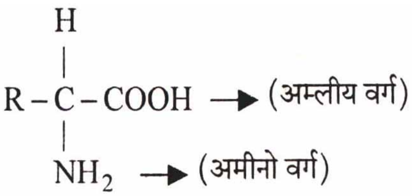
अमीनो अम्ल वे नाइट्रोजनी रासायनिक पदार्थ हैं, जिनमें α - कार्बन पर एक अन्लीय कार्बोक्सिल (-COOH) व एक क्षारीय अमीनो ($-NH_2$) समूह पाया जाता है । ये प्रोटीन्स की मौलिक संरचनात्मक इकाईयाँ हैं । प्रोटीन्स में लगभग 20 प्रकार के अमीनो अम्ल सार्वभौमिक रूप में पाये जाते हैं । अत: अमीनो अम्लों का व्यापक महत्व होता है ।

पादप उपापचय में अमीनो अम्लों द्वारा विविध कार्यों को सम्पादित किया जाता है । कुछ महत्वपूर्ण कार्य निम्नलिखित हैं :

1. अमीनो अम्ल समस्त जीवित कोशिकाओं के आवश्यक संघटक होते हैं, क्योंकि ये ही प्रोटीन निर्माण में भाग लेते हैं ।
2. प्रोटीन संश्लेषण में ये निर्माणकारी खण्ड है, जो समस्त जैविक क्रियाओं में उत्प्रेरण का कार्य करते हैं ।
3. अमीनो अम्लों द्वारा पादप कोशिकाओं में एमाइड्स के रूप में नाइट्रोजन का संचय किया जाता है । एमोइड्स का निर्माण प्रोटीनों के अवक्रमण के दौरान होता है ।
4. पादपों में अमीनो अम्लों के द्वारा एक स्थान से दूसरे स्थान तक अतिआवश्यक तत्त्व नाइट्रोजन का स्थानान्तरण किया जाता है ।
5. पादप उपापचय क्रियाओं के अतिआवश्यक अणुओं, जैसे एल्केलाइड्स, प्रोटोपोरफाइरीन तथा सहएन्जाइमों के संश्लेषण में अमीनो अम्लों का विशेष महत्व है । इसका अनुमान इससे लगाया जा सकता है कि एक जीवाणु कोशिका में करीब 0.4% शुष्क भार अमीनो अम्लों का पाया जाता है ।
6. कुछ स्वतंत्रत् अमीनो अम्ल कई महत्वपूर्ण जैव संश्लेषण पथ में महत्वपूर्ण पाये जाते हैं । जैसे आर्निथिन एवं सिट्रुलीन का उपयोग यूरिया चक्र में होता है । कुछ अमीनो अम्ल पूर्णवक (preurssors) के रूप में जैव संश्लेषण में उपयोगी होते हैं, जैसे ट्रिप्टोफॉन IAA संश्लेषण में ।
7. सल्फरयुक्त अमीनो अम्ल विशेषकर सिस्टीन, ऑक्सीकरण अपचयन क्रियाओं में भाग लेते हैं । ग्लूटाथायनीन एक सहएन्जाइम का निर्माण ग्लाइसीन, सिस्टीन एवं ग्लूटामीन अम्ल द्वारा होता है ।
8. अमीनो अम्ल कुछ विटामिनों, जैसे पेन्टोथिनिक अम्ल के संश्लेषण में उपयोगी होते हैं । उदाहरणार्थ प्यूरीन्स, थायोरॉक्सिन, पाइरीमिडिन्स आदि अमीनो अम्ल ।
9. कुछ अमीनो अम्ल कोशिकीय उपापचय के लिए CO_2 प्रदान करते हैं । इस क्रिया में ये एमाइन्स (उदाहरणार्थ β - एलानिन का निर्माण एस्पार्टिक अम्ल से) इसी प्रकार β - एलानिन का उपयोग CoA मे में होता है । मेलेट, ऑक्सलोएसिटेट एवं एस्पार्टिक अम्ल C_4 पादपों में Co_2 स्थानान्तरण में उपयोगी होते हैं ।
10. प्रतिजैविकों (Anotibiotics) के संश्लेषण में कुछ नॉनप्रोटीन अमीनो अम्ल पाये जाते हैं । ग्लाइकोप्रोटीन्स निर्माण में अमीनो अम्ल व पेप्टाइड का विशेष महत्व है, क्योंकि इनका उपयोग कई कोशिकीय कार्यों में देखा जा सकता है ।

11.2.3 प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले अमीनो अम्लों का वर्गीकरण व जैव संश्लेषण

अमीनो अम्ल वे नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ हैं, जिनमें अमीनो वर्ग ($-NH_2$) तथा अम्लीय कार्बोक्सिल वर्ग (-COOH) दोनों उपस्थित होते हैं । एक अमीनो अम्ल को निम्नांकित सामान्य सूत्र द्वारा इंगित किया जा सकता है :



कुछ अपवादों को छोड़कर प्रत्येक अमीनो अम्ल के α - कार्बन की चार संयोजकताओं में एक अम्लीय वर्ग (-NH2), एक कार्बोक्सिल वर्ग (-COOH), एक हाइड्रोजन तथा एक पार्श्व श्रृंखला (-R) होती है । कोशिका में एक प्रारूपिक pH मान पर ये समूह $NH_3^+, -COOH^-$ तथा = NH_2 में आयनीकृत हो जाते हैं ।

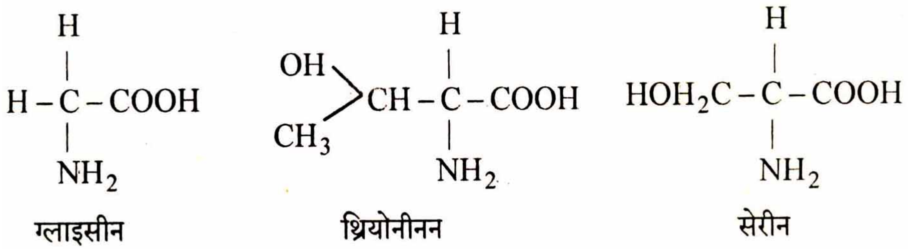
अमीनो अम्लों के सामान्य भौतिक व रासायनिक गुण उनमें उपस्थित -COOH व $-NH_2$ समूहों की उपस्थिति व विन्यास के कारण तथा उनके विशिष्ट गुण उनमें उपस्थित विभित्र R- समूहों की उपस्थिति के कारण होते हैं । इनमें उपस्थित परमाणुओं के आधार पर हे- समूह अत्यन्त क्रियाशील या रसायनत: निष्क्रिय हो सकते हैं ।

प्राकृतिक रूप में पाये जाने वाले अमीनो अम्लों को मूलत: तीन वर्गों में वर्गीकृत किया जा सकता है । (सारणी 11.1)।

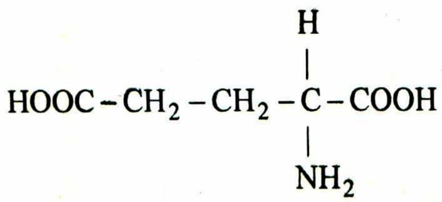
i. एलीफैटिक अमीनो अम्ल (Aliphatic Amino acids)
ii. ऐरोमैटिक अमीनो अम्ल (Asomatic Amino acids)
iii. विषम चक्रीय अमीनो अम्ल (Heterocyclic amino acids)

I. **एलीफैटिक अमीनो अम्ल** : इस वर्ग के अमीनो अम्लों में एल्काइल R- समूह उपस्थित होता है । प्रकृति के आधार पर इन्हें पुन: चार प्रकारों में विभक्त कर सकते हैं :

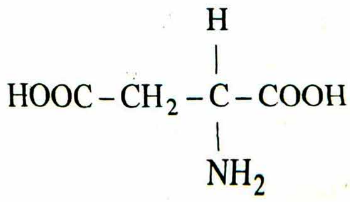
(i) **उदासीन एलीफैटिक अमीनो अम्ल :** इनमें एक कार्बोक्सिल (-COOH) समूह व एक अमीनो ($-NH_2$) वर्ग पाया जाता है । उदाहरण के लिए ग्लाइसीन, ऐलानिन, सेरीन, वेलीन, ल्यूसीन, आइसो ल्यूसीन, थ्रियोनीन आदि (सारणी 11.1) ।



(ii) **अम्लीय एलीफैटिक अमीनो अम्ल :** इनमें एक अंतिरिक्त -COOH समूह पाया जाता है, जैसे एस्पार्टिक अम्ल व ग्लूटामिक अम्ल ।

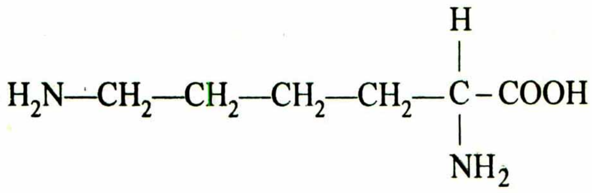


ग्लूटामिक अम्ल

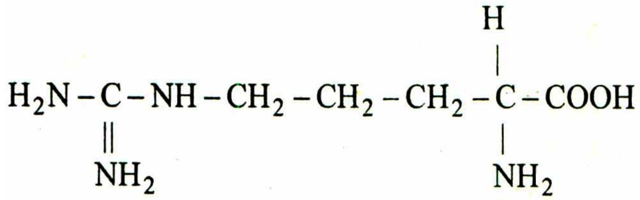


एस्पार्टिक अम्ल

(iii) **क्षारीय एलीफैटिक अमीनो अम्ल :** इनमें एक अतिरिक्त -NH_2) समूह पाया जाता है, जैसे लाइसीन व आर्जिनिन।

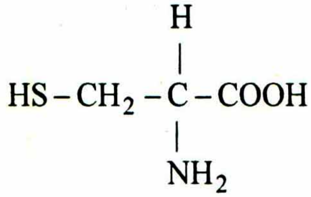


लाइसीन

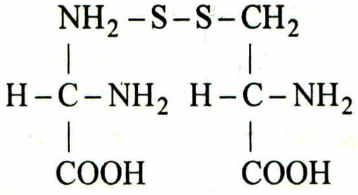


आर्जिनिन

(iv) **सल्फरयुक्त ऐलीफैटिक अमीनो अम्ल :** इनमे एक सल्फाइड्रिल (-SH) समूह पाया जाता है, उदाहरणार्थ सिस्टाइन, सिस्टीन व मेथाइओनीन । सिस्टाइन के दो अणु डाइसल्फाइड बन्धों (-S-S-) से आपस में जुड़कर सिस्टीन के अणु की रचना निर्मित करते हैं ।

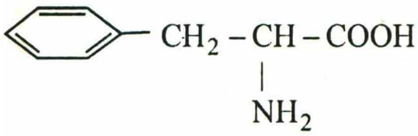


सिस्टाइन

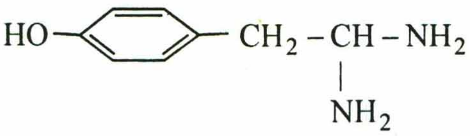


सिस्टीन

II. **एरोमैटिक अमीनो अम्ल :** इस वर्ग के अमीनो अम्लों की संरचना में एक बैन्जीन वलय (Benzene ring) पाया जाता है, जैसे फिनाइल ऐलेनाइन, टाइरोसीन आदि ।

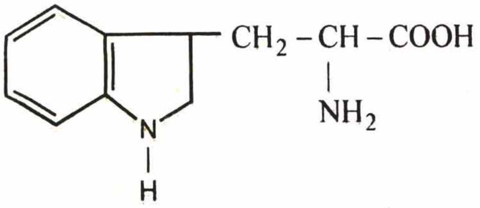


फिनाइलऐलानिन

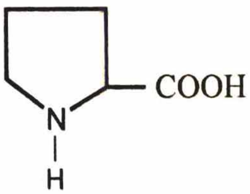


टायरोसीन

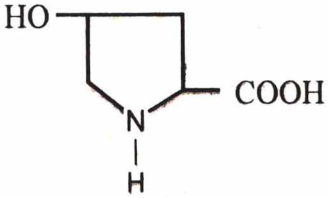
III. **विषमचक्रीय अमीनो अम्ल :** इस वर्ग में अमीनो अम्ल की संरचना में एक विषम चक्रीय वलय पायी जाती है अर्थात् पार्श्व श्रृंखला वलय में कार्बन के अलावा कम से कम एक अन्य तत्व होता है । उदाहरण के लिए ट्रिप्टोफेन, प्रोलीन, हाइड्रोक्सी प्रोलीन आदि ।



ट्रिप्टोफेन



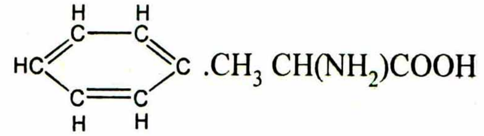
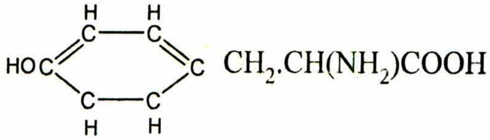
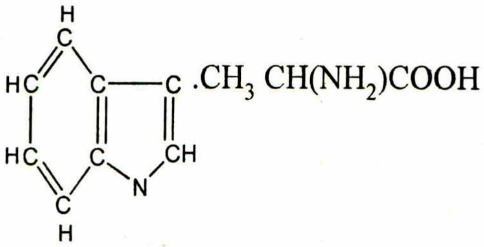
प्रोलीन

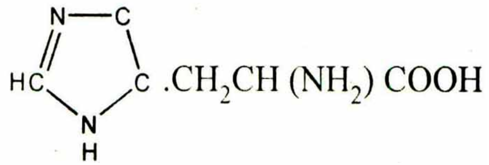
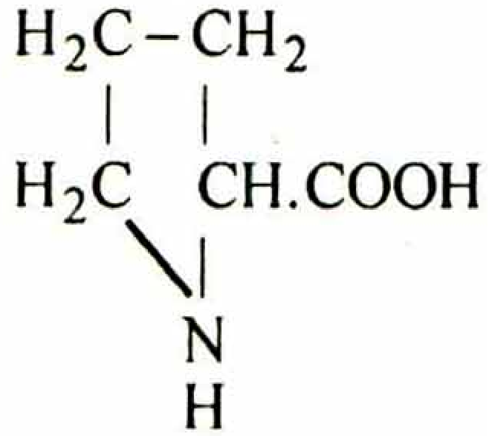
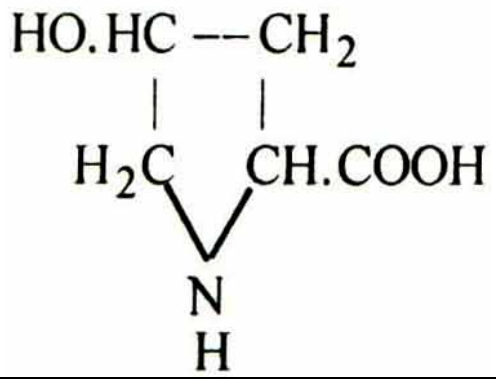


हाइड्रोक्सीप्रोलीन

सारणी 11.1 विभिन्न α अमीनो अम्ल (प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले)

क्र.सं.	नाम	सूत्र	संक्षेपित नाम 3- अक्षर संकेताक्षर
A.	**उदासीन (Neutral)**		
1.	ग्लाइसिन (Glycine)	NH_2CH_2COOH	GLY ,Gly
2.	ऐलानिन (Alanine)	$CH_3CH(NH_2)COOH$	ALA, Ala
3.	सेरीन (Serine)	$CH_2CHCH(NH_2)COOH$	SER, Ser
4.	थ्रिऑनीन (Threonine	$CH_3CHOH.CH(NH_2)COOH$	THR, Thr
5.	वेलीन (Valine)	$(CH_3)_2CHCH_2CH(NH_2)COOH$	VAL, Val
6.	ल्यूसीन (Leucine)	$(CH_3)_2CHCH_2CH(NH_2)COOH$	LEU,Leu

7.	आइसोलूसीन (Isoleucine)	CH_3 / CH_3 >$CHCH(NH_2)COOH$	ILEU,Ileu
B.	**अम्लीय (Acide)**		
8.	ऐस्पार्टिक अम्ल (Aspartic acid)	CH_2COOH $\vert$ $CH(NH_2)COOH$	ASP, Asp
9.	ग्लूटैमिक अम्ल (Glutamic acid)		GLU, Glu
C.	**क्षारीय (Basic)**		
10.	आर्जिनिन (Arginine)	H_2N / NH >$C\ NH\ (CH_2)_3\ CH\ NH_2.COOH$	ARG, Arg
11.	लाइसीन (Lysine)	$(NH_2)CH_2(CH_2)_3CH(NH_2)COOH$	LYS, Lys
D.	**सगंध (Aromatic)**		
12.	फेनिलऐलानिन (Phanylalanine)		PHE, Phe
13.	टाइरोसिन (Tyrosine)		TYR, Tyr
14.	ट्रिरोफेन (Trypotophan)		TRyp, Tryp
E.	**गंधकयुक्त (Sulphur containing)**		
15.	सिस्टीन (Cystine)	$S.CH_2.CH(NH_2)COOH$ $\vert\vert$ $S.CH_2.CH(NH_2)COOH$	CYST, Cyst

16.	सिस्टीइन (Cysteine)	$HS.CH_2.CH(NH_2)COOH$	CYS, Cys
17.	मेथाइओनीन (Methionine)	$CH_3.S.CH_2CH(NH_2)COOH$	METH, Meth
F.	**विषमचक्रीय (Heterocyclic)**		
18.	हिस्टीडीन (Histidine)		HIS, His
19.	प्रोलीन (Proline)		PROL, Prol
20.	हाइड्रोक्सीप्रोलीन (Hydroxyproline)		HPROL, Hprol

जैविक दृष्टि से अमीनो अम्लों को दो वर्गों, आवश्यक व अनावश्यक में विभक्त कर सकते हैं ।

1. **आवश्यक (Essential) अमीनो अम्ल :** इसके अन्तर्गत ऐसे अमीनो अम्ल हैं, जिन्हें स्तनधारी स्वयं संश्लेषित नहीं कर पाते हैं तथा इनकी पूर्ति वे सामान्यतया भोजन से करते हैं । इनकी कमी से शरीर में अनेक प्रकार की विकृतियाँ उत्पन्न हो सकती हैं । इसके अन्तर्गत

वेलीन, ज्यूसीन, आइसोल्थूसीन, थ्रियोनिन, ट्रिरोफॉन, लाइसीन, मिथियोनिन, फिनाइलऐग्लानिन, आर्जिनिन व हिस्टीडीन आते हैं ।

2. **अनावश्यक (Non-essential) :** अमीनो अम्ल : इनका संश्लेषण कीटों समूह के अम्लों द्वारा होता है । ऐलानिन, एस्पार्टिक अम्ल, सीरीन, ग्लाइसीन, ग्लूटेमिक अम्ल, सिस्टाइन व सिस्टीन इस वर्ग के अमीनो अम्ल है ।

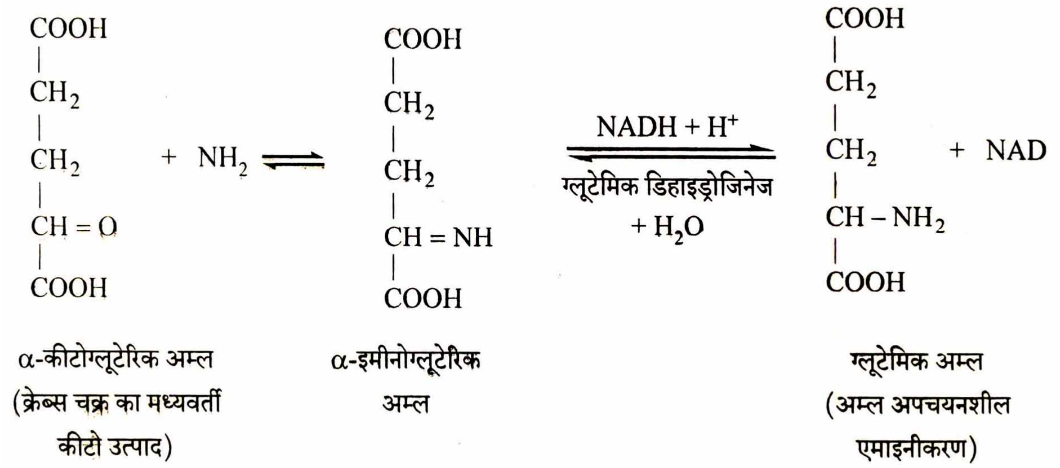
मोटे तौर पर अमीनो अम्लों को दो वर्गो में विभाजित किया जा सकता है य था, प्रोटीन अमीनो अम्ल तथा अप्रोटीन अमीनो अम्ल । प्रोटीन अमीनो अम्ल प्रोटीन के संरचनात्मक घटक हैं (प्राय 20,) जबकि अप्रोटीन अमीनो अम्ल मुक्त अवस्था में पाये जाते हैं तथा प्रोटीन निर्माण में भाग नहीं लेते हैं (प्राय: 60 या अधिक) । सारणी 11.1 में सिर्फ प्रोटीन अमीनो अम्लों को निरूपित किया गया है ।

अमीनो अम्लों का जैव संश्लेषण (Biosynthesis of Amino Acids)

अमीनो अम्लों का संश्लेषण सामान्यतया पादप की जड़ों या पत्तियों में होता है, जहाँ पर नाइट्रेट का अपचयन होता है । इन पादप अंगों की कोशिकाओं द्वारा क्रेब्स चक्र के विभित्र कार्बनिक अम्ल प्रदान किये जाते हैं, जो अमोनिया से संयुक्त होकर अमीनो अम्ल बनाते हैं । चूँकि क्रेब्स चक्र माइटोकॉन्ड्रिया के भीतर सम्पत्र होता है, अत: यह माना जाता है कि अमीनो अम्लों के संश्लेषण स्थल भी माइटोकॉन्ड्रिया ही हैं । अमीनो अम्लों क जैव संश्लेषण मुख्य रूप से दो विधियों द्वारा सम्पत्र होता है :

1. अपचयनशील या अपचायी ऐमीनीकरण एवं
2. एमायनी परिणयन, अमीनो समूह स्थानान्तरण अथवा विपक्ष एमीनन (Transamination) प्रक्रिया ।

1. **अपचयनशील या अपचार्या ऐमीनीकरण द्वारा (By reductive amination) :** इस प्रक्रिया में सर्वप्रथम अमोनिया α - कीटोग्लूटेरिक अम्ल में सीधे ही समावेश होता है ।



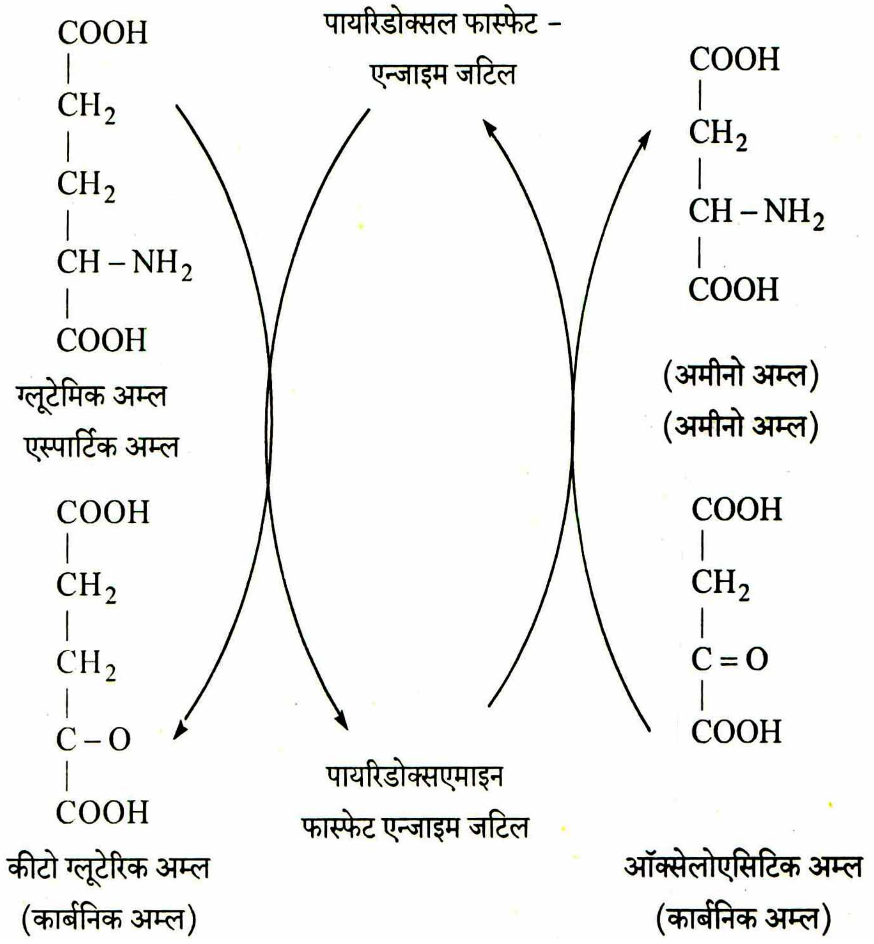
प्रथम प्रक्रम प्राय: स्वत: अग्रसर होती है, परन्तु द्वितीय चरण में ग्लूटेमिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम एवं हाइड्रोजन दाता $NADH_2$ की उपस्थिति में होती है । प्रायोगिक रूप से ग्लूटेमिक अम्ल (एक अमीनो अम्ल) का जैव संश्लेषण ही केन्द्रीय महत्त्व का होता है । क्योंकि यह

अभिक्रिया पौधों में नाइट्रोजन उपापचय के लिए अत्यधिक महत्व की है । कुछ अन्य अमीनो अम्ल का संश्लेषण भी अपचयनशील एमाइनीकरण द्वारा होता है ।

ऑक्सेलो ऐसिटिक अम्ल +NH_3 +NADPH2 $\xrightarrow{\text{डिहाइड्रोजिनेज}}$ एस्पार्टिक अम्ल+ NADP + H_2

फास्फोइनोल पाइरूविक अम्ल +NH_3 +$NADPH_2$ $\xrightarrow{\text{डिहाइड्रोजिनेज}}$ एलेनिन + NADP + H_2

2. **ट्रान्सऐमीनेशन या ऐमायनी परिणयन या अमीनो समूह स्थानान्तरण :** कोशिका में अमीनो अम्ल संश्लेषण में यह प्रक्रिया केन्द्रीय महत्व की है । इस प्रक्रिया के दौरान एक अमीनो अम्ल के अमीनो वर्ग का स्थानान्तरण एक कीटो अम्ल से होता है, जिसके फलस्वरूप एक नये अमीनो अम्ल का संश्लेषण होता है । प्राय: कोशिकाओं में ट्रासऐमीनेजेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित इस प्रक्रिया द्वारा करीब 17 प्रकार के अमीनो अम्ल बनते हैं (विल्सन एवं सहयोगियों, Wilson et al, 1954) ।

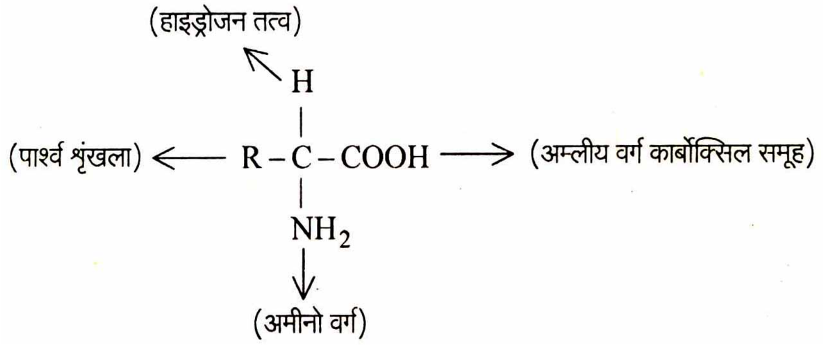


उपरोक्त प्रक्रिया में ग्लूटेमिक अम्ल के अमीनो समूह को ऑक्सेलो एसीटेट के काबोक्सिल समूह के स्थानान्तरण से एस्पार्टेट निर्माण से सम्बन्धित उत्प्रेरक एन्जाइम ग्लूटेमिक - एस्पार्टिक ट्रांसएमिनेज होता है । इन अभिक्रियाओं में पायरीडॉक्सिल फॉस्फेट सह एन्जाइम के रूप में कार्य करता है । अत: ट्रांसएमाइनीकरण द्वारा अमीनो अम्ल के संश्लेषण के लिए एक प्राथमिक अमीनो अम्ल (जैसे ग्लूटेमिक अम्ल) तथा विभिन्न कीटो अम्ल (क्रेब्स चक्र मध्यवर्ती) का निरन्तर

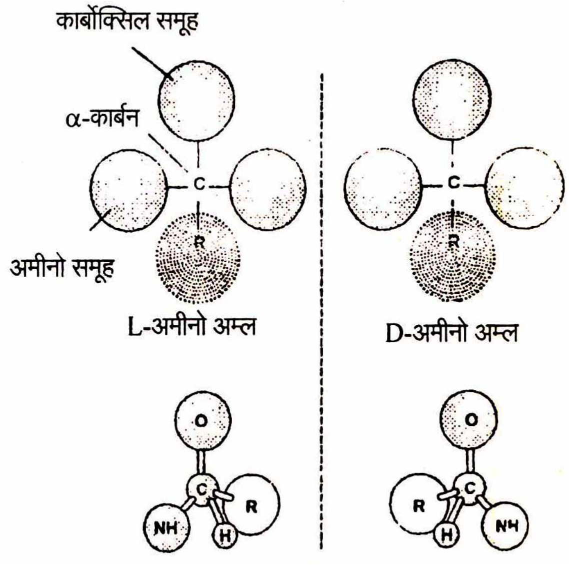
संचरण आवश्यक है, साथ ही पारिडॉक्सिल फास्फेट युक्त ट्रांसएमिनेज एन्जाइम की उपस्थिति भी अपरिहार्य है ।

11.2.4 अमीनो अम्ल की संरचना एवं गुणधर्म

संरचना : संरचनात्मक स्वरूप में अमीनो अम्ल में α - कार्बन पर एक अम्लीय कार्बोक्सिल (-COOH) व एक क्षारीय अमीनो (-NH_2) समूह पाया जाता है । एक अमीनो अम्ल की रासायनिक संरचना को निम्न प्रकार से प्रकट कर सकते हैं :



सारणी 11.1 में 20 मुख्य प्रकार के प्रोटीन अमीनो अम्लों की संरचना को निरूपित किया गया है । स्मरणीय है कि प्रत्येक अमीनो अम्ल की विशिष्टता उसके R -समूह पर निर्भर होती है । सरलतम अमीनो अम्ल ग्लाइसिन में R का प्रतिनिधित्व केवल H द्वारा होता है । हिस्टीडिन में R चक्रीय पाया जाता है । प्रोलीन एक अपवाद है, जिसमें -NH_2 वर्ग के स्थान पर >NH वर्ग पाया जाता है । केवल तीन अमीनो अम्ल क्रमश: सिस्टीन, सिस्टाइन व मिथाओनिन गंधक युक्त है । ग्लाइसिन के अतिरिक्त सभी अमीनो अम्ल प्रकाशीय सक्रियता युक्त त था **वामावर्ती** (Laevorstatory) होते हैं अर्थात् D- तथा L **प्रकाशीय समावयवी** (optical isomer) स्वरूप में मिलते हैं, परन्तु L- अमीनो अम्ल ही प्रोटीन का निर्माण करते हैं (चित्र 11.1) ।



चित्र 11.1 : अमीनो अम्ल का D व L- स्वरूप

गुणधर्म (Properties) : अमीनो अम्लों के गुणधर्मो का दो शीर्षकों के अन्तर्गत अध्ययन कर सकते हैं ।

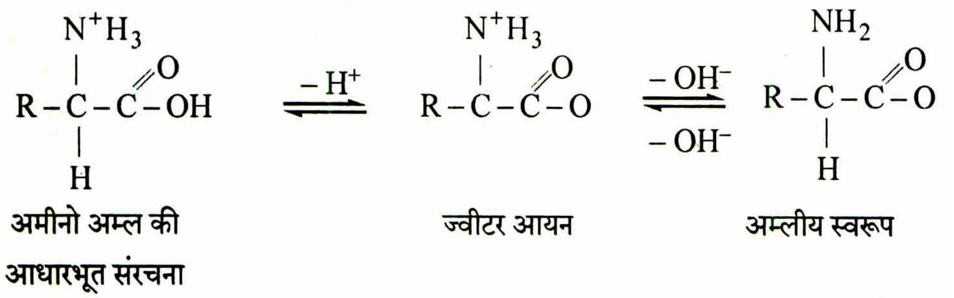
I. अमीनो अम्लों के भौतिक गुणधर्म (Physical properties of Amino acids) :

1. सामान्यतया अमीनो अम्ल रंगहीन क्रिस्टलीय पदार्थ होते हैं, जो जल में अत्यधिक घुलनशील एल्कोहल में कम घुलनशील एवं ईथर में अघुलनशील होते हैं । जल में इनकी विलेयता इनमें उपस्थित पार्श्व श्रृंखला की प्रकृति से निर्धारित होती है ।
2. इनके क्रिस्टल आकार सुई की आकृति से लेकर षट्कोणीय प्लेट के रूप में विविधता दर्शाते हैं।
3. अमीनो अम्लों का द्रवनांक (Melting point) उच्च होता है । इनका स्वाद विविधता रखता है । कुछ स्वादहीन होते हैं ।
4. इनकी लवणों की भाँति कार्यशीलता, इन्हें घोल में स्थायित्व प्रदान करती है ।
5. अमीनो अम्ल प्रकृति में उभयधर्मी (Amophteric) होते हैं अर्थात् अम्ल व क्षारक दोनों से अभिक्रिया करते हैं, लेकिन द्विकार्बोक्सिल अमीनो अम्ल प्रकृति में अम्लीय तथा क्षारीय अमीनो अम्ल अपेक्षाकृत अधिक घनात्मक आवेश वाले होते है ।
6. ग्लाइसीन को छोड़कर सभी अमीनो अम्लों में α- कार्बन असममित होता है । अत: ये ध्रुवीय घूर्णन समावयवता प्रदर्शित करते हैं । अमीनो अम्ल अलग - अलग समविभव pH (अणु पर धनात्मक व ऋणात्मक आवेश द्वारा संतुलन होना) दर्शाते है ।
7. प्राकृतिक 20 अमीनो अम्लों में से 9 जल विरागी (Hydrophobic) हैं, जबकि 11 जल स्नेही (Hydrophilic) होते है ।
8. UV का अवशोषण अमीनो अम्लों की विशेषता है तथा अधिकतर जैविक प्रोटीन्स की संरचना को स्पेक्ट्रोफोटोमेट्रीकरण में उपयोग किया जाता है ।

II. अमीनो अम्लों के रासायनिक गुणधर्म (Chemical properties of Amino acids)

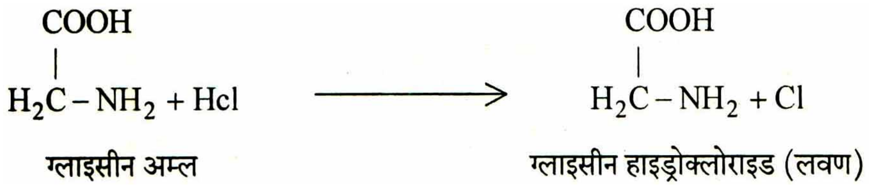
अमीनो अम्लों के रासायनिक गुण उनके क्रियाशील समूह -COOH एवं -NH_2 पर निर्भर करती है । कुछ रासायनिक गुणों का उल्लेख निम्न प्रकार से है

1. **ज्वीटर आयन निर्माण (Zusitter ion formation) :** अमीनो अम्लों के विलयन में आयनीकृत होकर ज्वीटर आयन (जर्मन, दोनों तरह के आयन) या द्विध्रुवीय आयन बनाते हैं।

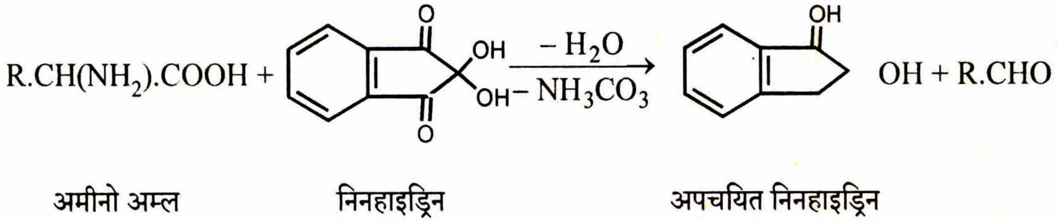


2. **ऐल्कोहलसे अभिक्रिया (Reaction with alcohol) :** एल्कोहॉल के साथ क्रिया कर अमीनो अम्ल एस्टर बनाते है ।

3. **अम्लों या क्षारकों से अभिक्रिया (Reaction with acids bases) :** अमीनो अम्ल इस अभिक्रिया में लवण बनाते है :



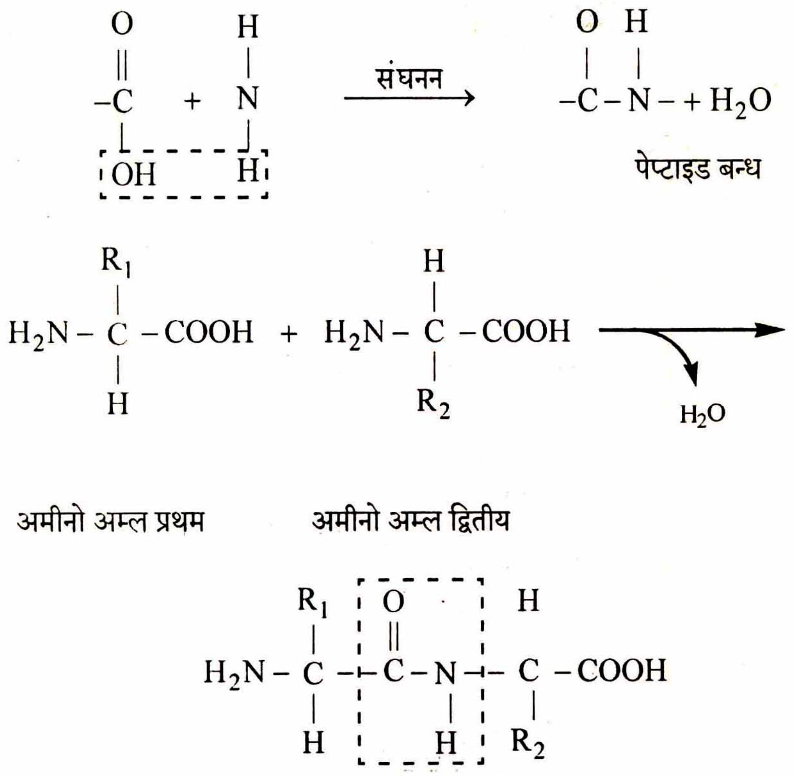
4. **अमोनिया के साथ अभिक्रिया :** अमीनो अम्ल अमोनिया के साथ क्रिया कर एमाइड्स बनाते हैं।
5. **सागर अभिकर्मक के सा थ अभिक्रिया (Reaction with sanger's regent) :** क्षारीय माध्यम में अमीनो अम्ल का अमीनो वर्ग सागर अभिकर्मक (FDNB, 1- फ्लूरो- 2, 4 डाइनाइट्रोबेन्जीन) के साथ संघनित हो जाता है ।
6. **निनहाइड्रिन से अभिक्रिया (Reaction with Ninhydrin) :** अमीनो अम्ल निनहाइड्रिन के साथ गर्म करने पर अपना अमीनो समूह मुक्त कर देते हैं एवं एक नीले रंग का संघनन उत्पाद बनाते हैं । इस अभिक्रिया में प्रोलीन एवं हाइड्रॉक्सीप्रोलीन एक पीला रंग देते हैं ।



इस अभिक्रिया का उपयोग अमीनो अम्ल के परिमापन (Determination) में किया जाता है । यह सामानयतया पेपर क्रोमेटोग्राफी एवं कॉलम क्रोमेटोग्राफी में महत्वपूर्ण अभिक्रिया है ।

11.2.5 पेप्टाइड एवं हाइड्रोजन बन्ध

प्रोटीन वास्तव में अमीनो अम्लों के बहुलक होते हैं, जिन्हें पॉलिपेप्टाइड कहते हैं और जिनकी तुलना प्राथमिक स्तर पर न्यूक्लिक अम्लों की पॉलिन्यूक्लियोटाइड्स श्रृंखलाओं से की जा सकती है । प्रोटीन में पाये जाने वाला बहुलक अमीनो अम्लों का बना होता है, जो पेप्टाइड बन्धों (CO-NH) बन्धों की सहायता से परस्पर जुड़े रहते हैं । एक अमीनो अम्ल के कार्बोक्सिल समूह तथा दूसरे अमीनो अम्ल के अमीनो समूह के मध्य एक सह -संयोजी बन्ध (Covalent bond) पेप्टाइड बन्ध कहलाता है । इसके अन्तर्गत एक जल के अणु का निकलना होता है । अतः पेप्टाइड बन्ध दो अमीनो अम्ल की एक श्रृंखला है, जिसे डाइपेप्टाइड कहते हैं तथा इन दोनों के बीच निर्मित बन्ध पेप्टाइड बन्ध हैं । इसे सर्वप्रथम ईमल फिशर 1903 ने प्रतिपादित किया । यह अमीनो अम्लों के संघनन (Condensation) का सबसे सरलतम रूप है ।

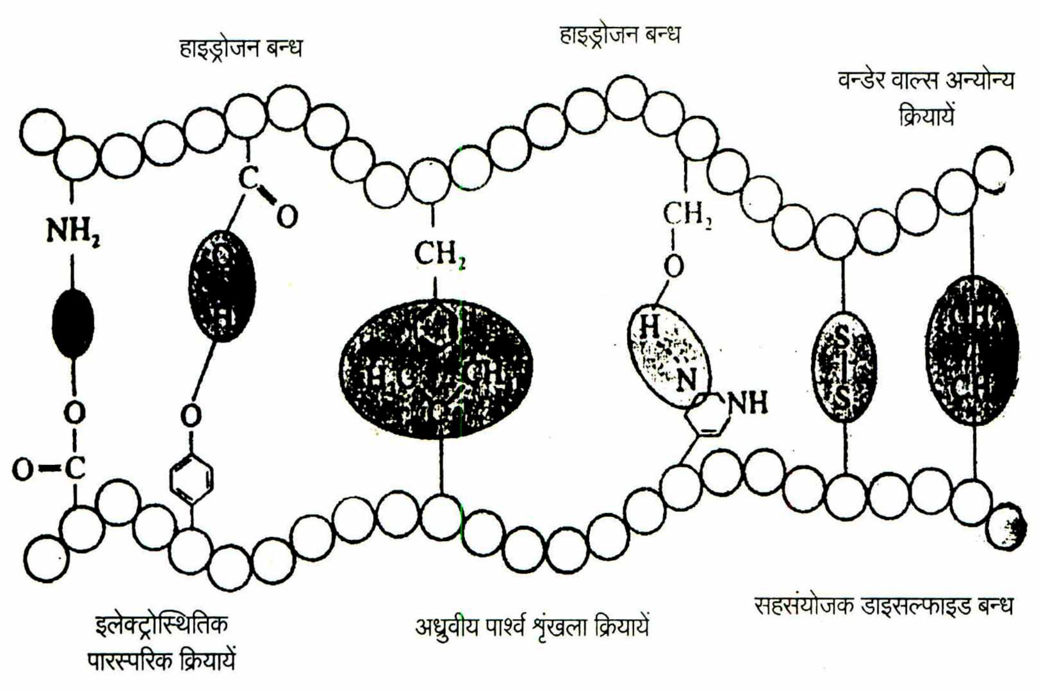


पेप्टाइड बन्ध डाइपेप्टाइड

पेप्टाइड बन्ध एक अमीनो अम्ल के α- कार्बन स्थिति पर उपस्थित कार्बोक्सिल सकू व दूसरे अमीनो अम्ल के α - कार्बन स्थिति पर उपस्थित अमीनो समूह के बीच विशिष्ट बन्ध होता है । विभिन्न अमीनो अम्लों के बीच पेप्टाइड बन्ध निर्माण से R- समूहों की गति सीमित हो जाती है । प्रोटीन अणु में पेप्टाइड बन्धों द्वारा जुड़े हुए विविध प्रकार के अमीनो अम्ल प्रोटीन्स के आकार व उनकी विलेयता का निर्धारण करते हैं । प्रोटीन के अणुओं में अमीनो अम्ल विभिन्न क्रमानुसार प्रबन्धित रहते हैं, जिससे कि एक दीर्घ पोलीपेप्टाइड श्रृंखला का निर्माण होता है ।

जब एक प्रोटीन में एक से अधिक पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलायें होती हैं तो ऐसी स्थिति में दो पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलायें परस्पर द्विसल्फाइड बन्ध द्वारा संयुक्त रहते हैं ।

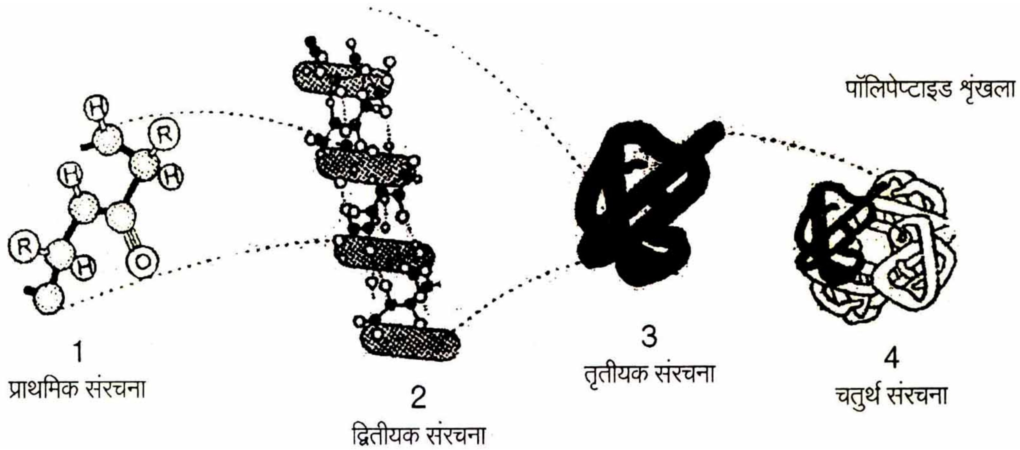
प्रोटीन की कुण्डलन संरचना (Helical structure) में α- हेलिक्स संरूपण प्रमुख होता है । इसके निर्माण में एक अमीनो अम्ल के -NH_2 समूह व दूसरे अमीनो अम्ल के (प्राय: श्रृंखला के चौथे अमीनो अम्ल) के मध्य हाइड्रोजन बन्धों के कारण पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला व्यावर्तित हो जाती है । हाइड्रोजन बन्ध प्राथमिक बलों की भाँति कार्य करते हैं, जो α- कुण्डलन की स्थिति में रखते हैं । यद्यपि हाइड्रोजन बन्ध अत्यन्त कमजोर होते हैं, तथापि अनेक हाइड्रोजन बन्ध मिलकर एक स्थायी संरचना का निर्माण करते हैं (चित्र 11.2) ।



चित्र 11.2 : प्रोटीन अणु में पाये जाने वाले कुछ बन्ध

11.3 प्रोटीन संरचना (Protein Structure)

प्रोटीन्स प्राय: जटिल भीमकाय अणु होते हैं, जिनमें अमीनो अम्लों की विशाल संख्या क्रमबद्ध रूप से पेप्टाइड बन्धों से संयोजित होती है । विभिन्न प्रोटीनों के निर्माण में 20 अमीनो अस्त एक इकाई संरचना को निरूपित करते हैं । इस प्रकार एक प्रोटीन अन्य प्रोटीनों से इसके अमीनो अम्लों के क्रम या उनकी संख्या, प्रकार तथा प्रबन्ध आदि में विविधता दिखाता है । प्रोटीन्स सभी जीवित कोशिकाओं के आवश्यक घटक हैं । अत: यह माना जाता है कि प्रोटीन्स में विशिष्ट जैविक गुण इनकी संरचना से सम्बन्धित होते हैं । प्रोटीन की संरचना को तीन स्तरों, क्रमश : प्राथमिक, द्वितीयक व तृतीयक स्तर पर स्पष्ट किया जाता है । लेकिन चतुर्थ स्थर भी प्रोटीन संरचना को मूलत: प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक तथा चतुर्थ स्तर पर स्पष्ट किया जा सकता है (चित्र 11.3) । प्राथमिक स्तर में अमीनो अम्ल एक क्रम में व्यवस्थित रहते हैं तथा उच्च स्तर का संठन अमीनो अम्लों के मध्य R- समूह को अन्योन्य क्रिया से या अणुओं के त्रिआयामी विन्यास से निर्मित होता है ।



चित्र 11.3 : प्रोटीन संरचना के चार स्तरों का चित्रण

सारणी 11.2 : प्रोटीन संरचना के विभिन्न स्तरों की तुलनात्मक विवेचना

संरचना का स्तर	संरचना का आधार	बन्धों के प्रकार एवं परस्परिक क्रियायें
1. प्राथमिक स्तर	अमीनो अम्ल अनुक्रम	सह संयोजक पेप्टाइड बन्ध
2. द्वितीयक स्तर	एक हेलिक्स,लहरिया यायाच्छादित या अनियमित वलय में कुण्डलन	हाइड्रोजन बन्ध
3. तृतीयक स्तर	एकल पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का त्रिविमिय वलयन	हाइड्रोजन बन्ध, डाइसल्फाइड बन्ध,वैधुत स्थितिक व वान्डरवाल पारस्परिक क्रियायें एव जल विरागी प्रभाव
4. चतुर्थ स्तर	दो या अधिक पॉलिपेप्टाइड पुंजित कर एक बहुआयामी प्रोटीन का निर्माण	तृतीय स्तर के समतुल्य

1. **प्राथमिक स्तर या संरचना (Primary structure, 1° structure) :** पेप्टाइड बन्ध, डाइसल्फाइड बन्ध तथा अमीनो अम्लों का निश्चित अनुक्रम (पॉलिपेप्टाइड) सम्मिलित रूप से प्रोटीन को प्राथमिक संरचना या स्तर प्रदान करती है । इस संरचना में अमीनो अम्ल का रैखिक विन्यास पाया जाता है । यह संरचना महत्वपूर्ण तो है, परन्तु क्रियाशील नहीं । इस रचना में α- अमीनो अम्लों की सख्या व क्रम सदैव निश्चितता लिये होता है । उदाहरणार्थ मानव मायोग्लोबिन में एक एकल पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला में 153 अमीनो अम्ल (प्राय : 40 से 1000 तक) होते हैं । अगर पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला 30 अमीनो अम्लों से छोटी हैं, तो इसे ऑलिगोपेप्टाइड कहते हैं । पॉलिपेप्टाइड के एक N ओर सिरे स्वतंत्र -NH_2 समूह व दूसरे सिरे C स्वतंत्र-COOH समूह से सम्बन्धित होते हैं ।

   महत्त्व : प्राथमिक संरचना आनुवांशिक व संरचनात्मक रूप से अधिक महत्वपूर्ण है, क्योंकि पॉलिपेप्टाइड में अमीनो अम्ल का क्रम mRNA को प्रोटीन निर्माण के संदेश DNA द्वारा

प्राप्त किये जाते हैं । अत: अपरोक्ष रूप से DNA का न्यूक्लियाटाइड पॉलिपेप्टाइड में अमीनो अम्लों का नियमन करते हैं ।

2. **द्वितीयक स्तर या संरचना (Secondary structure,2°structure) :** प्रोटीन्स की (प्राथमिक संरचना) दीर्घ श्रृंखलायें, कभी भी सीधी नहीं होती है, वरन् स्थान -स्थान पर वलयाकार रूप में कुण्डलित रहती है । ये वलयें प्रोटीन अणु के द्वितीयक स्तर या संरचना का निरूपण करती है (चित्र 11.3 - 2) । द्वितीयक संरचना की वलयों की वक्रता, हाइड्रोजन बन्ध, लवण बन्ध (salts links), वैधुत स्थितिक उपध्रुवीय पार्श्व श्रृंखला एवं वान्डर वाल पारस्परिक क्रियाओं द्वारा बनाये रखी जाती है । X- किरण विवर्तन तकनीक द्वारा बन्धों, बलों व वलयों के निश्चित नियमित **संरूपण** (Conformation) का यथेष्ट प्रमाण प्राप्त हुआ है । सामान्यत: पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला में निम्न तीन प्रकार के विन्यास प्रदर्शित किये जाते हैं :

   (a) **α- हैलिक्स :** पेप्टाइड श्रृंखला जब **कुण्डलित** (Helical) होती है, तब इसे α - हैलिक्स कहते हैं । रामचन्द्रन (Ramchandran 1960), **पोलिंग** एवं **कोरे** (Pauling and Corey) ने α - कुण्डलन आकार को कुछ प्रोटीन्स की द्वितीयक संरचना के रूप में मान्यता दी है । छड़ाकार α - कुण्डलन में अमीनो अम्ल स्वय कुण्डलित हो जाते हैं । इसमें रीढ़ (Backbone) अन्दर की ओर स्थित होती है । संरचना का स्थायीकरण एक पॉलिपेप्टाइड के कार्बोनिल के ऑक्सीजन अणु तथा दूसरे पॉलीपेप्टाइड के अमीनो समूह के मध्य हाइड्रोजन बन्ध निर्मित होने से होता है (चित्र 11.2)

   α - हैलिक्स के प्रति घुमाव में 3.6 अमीनो अम्ल व प्रोलीन में इसका अभाव पाया जाता है । अलग - अलग द्वितीयक प्रोटीनों में हैलिक्स की मात्रा भिन्न -भिन्न होती है । उदाहरणार्थ मानव मायोग्लोबिन में एक पेप्टाइड श्रृंखला में 8 α - हैलिक्स पाये जाते हैं ।

   (b) **β- लहरिया शीट (β-pleated sheet or α- pleated sheet) :** दो या दो से अधिक पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलाओं के जुड़ने का β - लहरिया शीट कहते हैं, कुछ वैज्ञानिक इसे α -लहरिया शीट भी कहते हैं । इसमें हाइड्रोजन बन्ध भिन्न या एक ही पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला के विभिन्न भागों में निर्मित होते हैं । β - लहरिया शीट में पड़ौसी पॉलिपेप्टाइड श्रृंखलायें या तो समानान्तर या प्रति समानान्तर क्रम में व्यवस्थित रहती है (चित्र 11.2)। कई प्रोटीनों में β - लहरिया शीट दृढ़ता व कठोरता प्रदान करती है, जैसे सिल्क फ्राइब्रोइन (silk fibroin) । ग्लोब्यूल प्रोटीन में पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला हेयर पिन या β - घुमाव प्रदर्शित करती है

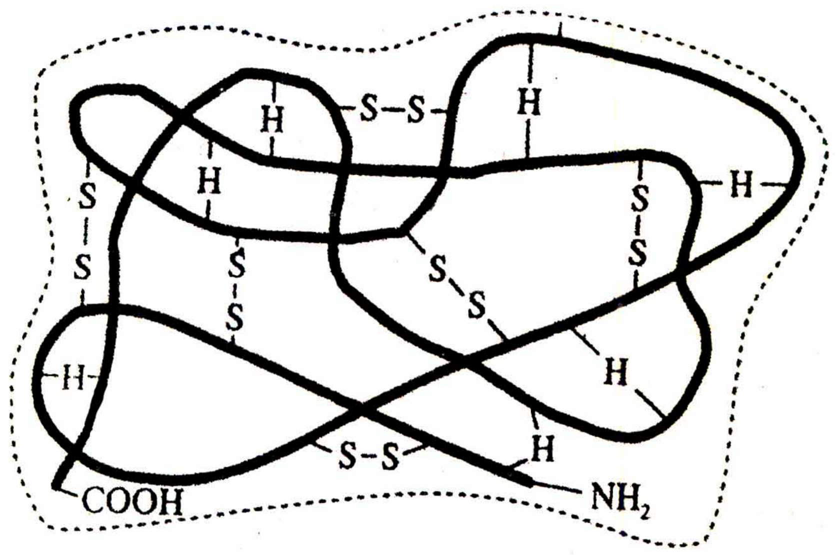
   (c) **अनियमित (Randons) :** इस संरूपण में द्वितीयक संरचना कोई हाइड्रोजन बन्ध प्रक्रम को दर्शित नहीं करती है । इसमें पेप्टाइड श्रृंखला में वलयन न होकर अमीनो अम्लों की पार्श्व श्रृंखलायें वलयन दर्शाती हैं।

3. **तृतीय स्तर या संरचना (Tertiary structure,3० structure):** प्रोटीन की द्वितीयक संरचना अथवा वलयों में भी पुन: विशिष्ट रूपों में कुछ पुट या सूक्ष्म वलय पाये जाते हैं । ये सूक्ष्म, वलय प्रोटीन की तृतीयक संरचना को निरूपित करती है (चित्र 11.3 - 3 एवं 11.4) ।

तृतीयक संरचना में पेप्टाइड श्रृंखला का अत्यधिक **वलयन** (folding) होता है जिससे द्‍वितीयक संरचनात्मक इकाईयाँ मुड़कर **गोलाकार** (globular), **दीर्घवृत्तीय** (ellipsoidal) व अन्य आकार प्राप्त करती है । ये अवशिष्ट पार्श्व श्रृंखलाओं के पारस्परिक क्रियाओं के फलस्वरूप बनते हैं ।

ऐसी पारस्परिक क्रियाओं में हाइड्रोजन बन्ध निर्माण, वान्डर वाल आकर्षण, वैद्‍युत स्थितिक आकर्षण, लवण बन्धन, डाइसल्फाइड बन्धन, आदि सम्मिलित हैं (चित्र 11.2) । वृहत **जलभीत R-समूहों** (hydrophobic R- groups) में समीपस्थ आने की प्रवृत्ति होती है तथा ये प्रोटीन अणु में अन्दर की ओर धंस जाते हैं तथा आयनिक R-समूह प्रोटीन अणु के बाहर की ओर आकर जल से क्रिया करते हैं । डाइसल्फाइड बन्ध तृतीयक संरचना को स्थायित्व प्रदान करते हैं । इस प्रकार ये सभी पारस्परिक क्रियायें अणु को एक अन्तिम आकार प्रदान करती हैं, जो प्रत्येक प्रोटीन के लिये विशिष्ट होता है ।

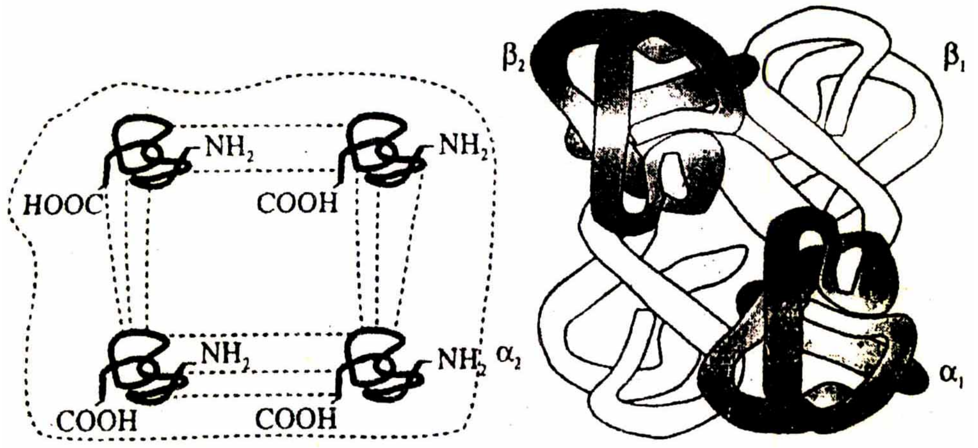
महत्त्व : तृतीयक संरचना प्रोटीन अणु का एक त्रिविमीय पैटर्न होता है । यह प्रत्यक्ष रूप से प्रोटीन के कार्य से सम्बन्धित है । सामान्यत: जिन प्रोटीन्स का कार्य समान होता है, उनकी तृतीयक संरचना भी लगभग समान होती है, जबकि इनकी प्राथमिक संरचनाओं में अत्यधिक विविधता हो सकती है ।



चित्र 11.4 : प्रोटीन अणु की तृतीयक संरचना
(काल्पनिक द्‍वितीयक अणु में व्यापक वलयों द्‍वारा गोलाकार रचना)

4. **चतुर्थ स्तर या संरचना (Quaternary structure ,4°structure) :** प्रोटीन्स की चतुर्थ संरचना पॉलीपेप्टाइड इकाई का बहुलीकरण दर्शाती है (चित्र 11.5 A,B) । प्रकृति में एक प्रोटीन अनेक पॉलीपेप्टाइड उप -इकाइयों के समुच्चय के रूप में पायी जाती है । एक उप - इकाई जो सामान्यत: **एकलक** (monomer) कहलाती है, कि अपनी तृतीयक संरचना तो होती है, परन्तु जब तक कि अनेक उपइकाइयाँ पुंजित होकर एक बहुलक का निर्माण नहीं कर लेती यह कोई जैविक गुण नहीं दर्शाती । पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाओं के बीच **आंतरआण्विक**

पारस्परिक प्रक्रियाओं (intermolecular interactions) के फलस्वरूप चतुर्थ संरचना का निर्माण होता है । इस प्रकार के प्रोटीन का एक अच्छा उदाहरण मानव हीमोग्लोबिन (hemoglobin) है, जो चार पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाओं - दो α- श्रृंखला, व दो β - श्रृंखला से निर्मित होता है ।



चित्र 11.5 : A. प्रोटीन अणु की चतुर्थ संरचना

(चार पॉलिप्टाइडों इकाइयों द्वारा क्रियाशील प्रोटीन का निर्माण),

B. एक चतुर्थ मानव हीमाग्लोबिन प्रोटीन की संरचना

(दो α- श्रृंखलायें व दो - β श्रृंखलायें बहुलीकरण में)

अभिनव शोधों से स्पष्ट होता है कि प्रोटीनों की द्वितीयक एवं तृतीयक संरचनायें इनके द्वारा सम्पादित जैविक कार्यो से निकटता का सम्बन्ध रखती है, क्योंकि प्रोटीन विकृतिकरण (Denaturation) द्वारा इन जैविक क्रियाओं की अक्रियता को प्रयोगों के माध्यम से प्रदर्शित किया जा सकता है ।

11.3.1 प्रोटीनों का वर्गीकरण (Classification of Proteins)

प्रोटीनों की संरचना अन्य न पदार्थों से भिन्न होने के कारण इनका उन पदार्थों से विभेद करना सरल है, परन्तु पारस्परिक समानता के कारण इनका आपस में वर्गीकरण करना बहुत कठिन होता है । प्रोटीनों की प्रचलित वर्गीकरण प्रणाली असंतोषजनक मानी जाती है, जो उनकी विलेयता एव भौतिक व रासायनिक भिन्नताओं पर आधारित होती है । प्रोटीनों को प्राय: आकार (shape), संघटन एवं विलेयता के आधार पर विभाजित किया जाता है ।

1. आकार के आधार पर वर्गीकरण (Classification based on their shape)

प्रोटीन का आकार

1. **गोलाकार प्रोटीन्स** (Globular proteins) : ये सामान्यत: गोलाकार, अणुभार अपेक्षाकृत कम तथा जल में विलेय होते हैं, उदाहरण एन्जाइम, इन्सूलिन, हीमोग्लोबिन आदि।

2. **रेशेदार प्रोटीन्स** (Fibrous proteins) : ये सामान्यत: दीर्घित या बेलनाकार, अणुभार अपेक्षाकृत अधिक तथा जल में कम विलेय होते हैं। उदाहरण किरेटिन, कोलेगन, ट्रोथोमायोसिन आदि।

प्रोटीन का आकार

II. संघटन के आधार पर वर्गीकरण (Classification based on their composition)

संघटन के आधार पर प्रोटीन्स को तीन वर्गों में वर्गीकृत करते हैं ।

A. **सरल प्रोटीन्स** (Simple proteins) : ऐसे प्रोटीन जिनके जल अपघटन के उपरान्त केवल अमीनो अम्ल प्राप्त हो, सरल प्रोटीन के अन्तर्गत आते हैं । विलेयता के आधार पर इन्हें पुन: 6 प्रकारों में विभाजित किया गया है ।

a. **ऐल्ब्यूमिन्स (Albumins) :** डेविस व सहयोगियों ने 1964 में जौ के एमाइलेज एन्जाइम को इस प्रकार में रखा, क्योंकि इस प्रकार के प्रोटीन्स जल व लवणों के तनु विलयनों में घुलनशील होते हैं एवं उच्चताप पर स्कंदित (coagulate) हो जाते हैं । उदाहरणार्थ अण्ड एल्ब्यूमिन, सोयाबीन व अनेक एन्जाइम्स ।

b. **ग्लोब्यूलिन्स (Globulins)** : ये जल में अल्प या अविलेय पर लवणों के तनु क्षारीय एवं अम्लीय विलयनों में विलेय होते हैं । उच्च तापक्रम पर स्कंदित हो जाते हैं । उदाहरण लेग्यूमिन (Legumin, दालों में), ट्यूबेरिन (Tuberin, आलू में), मायोसिन आदि ।

c. **ग्ल्यूटेलिन्स (Glutelins)** :ये उदासीन घोलों में अविलेय, परन्तु अत्यन्त तनु अम्लीय व क्षारीय घोलों में घुलनशील होते हैं । उदाहरण ग्ल्यूटेनिन (Glutenin अनाज या धान्य कणों में) ।

d. **प्रोलएमाइन्स (Prolamines):** ये जल में अघुलनशील परन्तु 70 - 80% इथेनॉल में घुलनशील होते हैं । इनमें अधिकतया प्रोलीन अमीनो अम्ल पाया जाता है । उदाहरण जीन (Zein-मक्का में), ग्लाइडिन (Gliadin -गेहूँ में) व हार्डिन (Hordein-जौ में) ।

e. **हिस्टोन्स (Histones) :** ये जल में विलेय होते हैं । इनमें क्षारीय अमीनो अम्ल जैसे आर्जिनिन, लाइसीन की प्रचुरता पायी जाती है । ये गुणसूत्रों में अधिकतर पाये जाते हैं । न्यूक्लियो प्रोटीन के प्रोटीन घटक आदि ।

f. **प्रोटेमाइन्स (Protamines) :** हिस्टोन्स की तरह इनमें भी अमीनों अम्लों की बहुल्यता पायी जाती है। ये जल में घुलनशील व ऊष्मा के प्रभाव से स्कंदित नहीं होते हैं । इनकी अधिकता न्यूक्लिक अम्लों में पायी जाती है ।

B. **संयुग्मी प्रोटीन्स (Conjugated proteins)** : इनमें α-अमीनो अम्लों के अतिरिक्त एक अन्य घटक जिन्हें व्यतिरिक्त वर्ग (prosthetic group) कहते हैं पाया जाता है, जो एक नॉन अमीनो अम्ल घटक होता है । सम्बन्धित प्रॉस्थैटिक समूह के आधार पर इन्हें पुन: 8 वर्गों में वर्गीकृत किया जा सकता है । (सारणी 11.2) ।

सारणी 11.2 : व्यतिरिक्त समूह के आ धार पर संयुग्मी प्रोटीन का हॉरबिज, 1950 के अनुसार वर्गीकरण

क्र.स.	संयुग्मी प्रोटीन	उदाहरण
1. न्यूक्लियोप्रोटीन (nucleoprotein)	न्यूक्लिक अम्ल	न्यूक्लियो हिस्टोन
2. ग्लाइकोप्रोटीन (Glycoproteins)	कार्बोहाइड्रेट्स (पाली सैकेराइड्स)	म्यूसिन, कोशिका कला के प्रोटीन
3. लिपोप्रोटीन (Lipoprotein)	लिपिड्स (जल में अघुलनशील)	कोशिका कला के लिपिड्स
4. क्रोमोप्रोटीन या बिलिप्रोटीन (Chromoprotein of bili proteins)	वर्णक, फाइकोबिलिन्स	बिलोप्रोटीन
5. मैटेलोप्रोटीन (Metallo proteins)	धातु जैसे Zn, Mn, Te, Cu आदि।	फैरीटिन (Fe- प्रोटीन सम्मिश्र)
6. फास्फोप्रोटीन (Phospho proteins)	फास्फेट समूह	केसीन (दुग्ध प्रोटीन)
7. क्लोरोप्लास्टिन (Chloroplatein)	पर्णहरित	क्लोरोफिल प्रोटीन
8. फ्लेवोप्रोटीन्स (Flavaproteins)	राइबोफ्लेबिन फास्फेट FAD	प्लेवोप्रोटीन

c. **व्युत्पन्न प्रोटीन्स (Derived proteins) :** ये प्रोटीन प्राय: सरल या संयुग्मी प्रोटीन्स के आशिक जल अपघटन (Hydrolysis),आंशिक पाचन (partial digestion) या विकृतीकरण (Denaturation) के उत्पाद होते हैं । जल अपघटन के आधार पर ये दो प्रकार के होते हैं:

(a) **प्राथमिक व्यूत्पन्न प्रोटीन** (Primary derived proteins) ये जल से अपघटित नहीं होते अर्थात् इनकी प्राथमिक संरचना में कोई बदलाव नहीं होता है । जैसे मेटाप्रोटीन्स, एल्ब्यूमिनोजेज, प्रोटीएज आदि ।

(b) **द्वितीयक व्यूत्पन्न प्रोटीन** (Secondary derived proteins) इनमें जल अपघटन के फलस्वरूप पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का निर्माण हो जाता है तथा अणु का आमाप क्रमश: घटता रहता है । उदाहरण - प्रोटीओजेज, पेप्टोन्स, पेप्टाइड आदि ।

स्मरणीय है कि व्युत्पन्न प्रोटीन्स का कोई स्वतंत्र अस्तित्व नहीं होता है और न ही पौधों में इनका संचय होता है ।

11.3.2 प्रोटीन्स के गुणधर्म (Properties of Proteins) :

प्रोटीनों के विशिष्ट गुण निम्न होते हैं :

1. क्रोमोप्रोटीन्स को छोड़कर अधिकतर प्रोटीन्स रंगहीन होते हैं ।
2. परिशुद्ध अवस्था में प्रोटीन्स स्वादहीन व गंधहीन होते हैं ।
3. विलेयता में प्रोटीन्स जल में घुलनशील होते हैं, परन्तु इनके अणुओं का बड़ा आकार होने के कारण कोलाइडल विलयन बनाते हैं ।
4. ये वृहत् अणु हैं तथा इनका अणुभार कुछ हजार से लेकर लाखों तक होता है, जैसे मायोग्लोबिन = 17, 000 से तम्बाकु टम्बाकु मॉजेक वीषाणु = 5, 90, 00, 000 आदि ।
5. प्रोटीन प्रकृति में उभयधर्मी होती है । प्रोटीन द्विध्रुवीय आयन के रूप में रहता है । इस बिन्दु पर प्रोटीन पर आवेश शून्य होता है ।
6. सामान्यत: प्रोटीन्स का द्रवनांक उच्च पाया जाता है, क्योंकि क्रिस्टल जालक (Crystal lattice) में द्विध्रुवीय आयनों के मध्य वैधुत स्थितिक बल को तोड़ने के लिए उच्च तापमान चाहिए, होता है ।
7. गोलाकार प्रोटीन्स, रेशेदार प्रोटीन्स की तुलना में ज्यादा विलेयता दिखाते हैं । समविभव pH प्रोटीन्स न्यूनतम विलेयता प्रदर्शित करते हैं । यदि ऐसे विलयनों में तनु अम्ल या क्षार डाल दिये जाये, तो प्रोटीन्स क्रमश: घनायन या ऋणायन बनायेगा ।
8. गोलाकार प्रोटीनों की अपेक्षा रेशेदार प्रोटीन्स का घोल अधिकतम विस्कासी (Highly viscous) होता है ।
9. अधिकांश प्रोटीन्स गर्म करने पर घोल में अविलेय होकर स्कंदित हो जाते हैं, ऐसा प्रोटीन अणुओं के विकृतीकरण के कारण होता है । विकृतीकरण के फलस्वरूप पेप्टाइड श्रृंखला खुलकर अवलित हो जाती है, जिसके कारण प्रोटीन संरचना का विघटन हो जाता है । प्रोटीन अणु के गुणों, जैसे विलेयता, विशिष्ट गुरुत्व, क्रिस्टलीकरण जैविक सक्रियता का हास आदि विकृतिकरण के परिणामस्वरूप होता है । सामान्य अवस्थाओं की उपक्तधता पर भी इन गुणों की पुन प्राप्ति नहीं हो पाती है ।
10. प्रोटीन्स की रंगों से विशिष्ट अभिक्रियायें होती हैं । विविध अभिकारकों द्वारा प्रोटीनों की पहचान की जा सकती है । ये विशिष्ट रंग अभिक्रियायें पेप्टाइड बन्ध या अमीनो अम्लों की पार्श्व श्रृंखला के कारण होती है । उदाहरण के लिये जैन्थोप्रोटेयिक परीक्षण में अगर प्रोटीन्स को सान्द्र नाइट्रिक अम्ल से गर्म करने पर पीला रंग उत्पन्न होता है ।

मिलोन परीक्षण : कुछ बूँद $HgNO_2$ की नाइट्रिक अम्ल व कुछ नाइट्रस अम्ल के अंश के साथ क्रिया करने पर लाल रंग विकसित होता है ।

बाइयूरेट परीक्षण : कॉपर सल्फेट के तनु क्षारीय विलयन में प्रोटीन अभिक्रिया करके बैंगनी (violet) रंग उत्पन्न होता है ।

11.3.3 प्रोटीन संश्लेषण (Proteins Synthesis) :

सजीवों में प्रोटीन संश्लेषण एक अत्यन्त जटिल एवं सुव्यवस्थित प्रक्रिया है, जो DNA द्वारा अत्यन्त दक्षतापूर्वक नियन्त्रित की जाती है । DNA के अलावा विभिन्न प्रकार के RNA तथा अमीनो अम्ल (प्राय: 20) भी प्रोटीन संश्लेषण में उपयोगी होते हैं । आधुनिक अन्वेषणों में इस प्रक्रिया में अतिसूक्ष्म स्तर पर महत्वपूर्ण एवं रोचक अनुसंधान हो रहे हैं । उपलब्ध सूचनाओं के आधार पर प्रोटीन संश्लेषण प्रक्रिया को समस्त जीवों में स्पष्ट रूप से चित्रित किया गया है ।

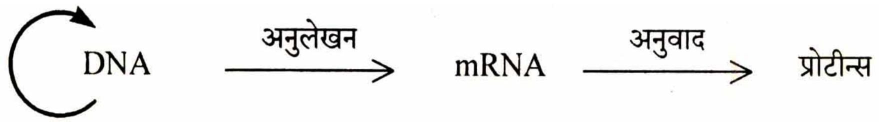
DNA के अणुओं में उपस्थित नाइट्रोजनी क्षारक एक निश्चित एवं विशेष अनुक्रम में संयोजित होती है । इनमें प्रोटीन संश्लेषण के लिए आवश्यक संदेश (code) को त्रिक या आनुवांशिक कुट (Triplet or genetic code) कहते हैं । सर्वप्रथम **पॉल जैमनिक** (Paul Zamenick, 1950) ने **कोशिका मुक्त** (cell free) प्रोटीन का संश्लेषण चूहे की यकृत कोशिकाओं पर कार्य करते हुए किया था । उनके अनुसार राइबोसोम ही कोशिका में प्रोटीन संश्लेषण का प्रमुख स्थल होते हैं एवं इस प्रक्रम में एकल रज्जुकी (Single stranded) RNA अर्थात् m - RNA, r-RNA एवं t - RNA का सक्रिय योगदान पाया जाता है । मोटे तौर पर प्रोटीन संश्लेषण प्रक्रम को निम्न दो सोपानों के द्वारा स्पष्ट किया जा सकता है:

I. **अनुलेखन या अनुकृतन (**Transcription) : यह प्रोटीन संश्लेषण का आरम्भिक सोपान है, जिसके अन्तर्गत DNA से आनुवांशिक सूचनाओं का m - RNA में स्थानान्तरण होता है, यह अनुलेखन कहा जाता है ।

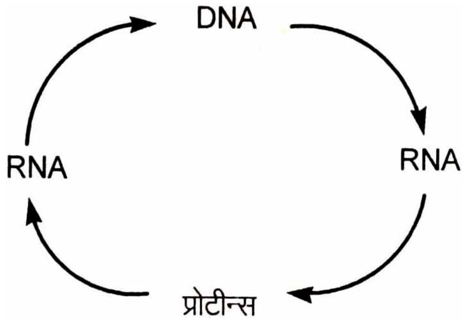
II. **अनुलिपिकरण या अनुवाद** (Translation). इन सोपान में न्यूक्लिक अम्लों द्वारा mRNA पर उपस्थित आनुवांशिक सूचनाओं की लिपि अर्थात् m RNA तथा विशिष्ट अमीनो अम्ल युक्त tRNA (स्थानान्तरण RNA) के संयुग्मन या प्रोटीनलिपि में स्थानान्तरण को अनुवाद कहते हैं ।

आनुवांशिक सूचनाओं के सम्प्रेषण की अवधारणाएँ (Concepts about the communication of genetic information) :DNA, RNA एवं प्रोटीन के मध्य आनुवांशिक सूचनाओं का सम्प्रेषण किस प्रकार होता है, इसके बारे में तीन परिकल्पनायें प्रस्तुत की गई हैं :

(अ) एकदिशीय सम्प्रेषण या सेन्ट्रल डोग्मा (Unidirectional communication or central dogma) : क्रिक (Crick, 1958) के अनुसार प्रोटीन संश्लेषण के दौरान आनुवांशिक सूचनायें केवल एक ही दिशा में सम्प्रेषित होती है । सर्वप्रथम ये सूचनायें अनुलेखन प्रक्रिया में m -RNA (मैसेन्जर आर. एन. ए.) को DNA द्वारा स्थानान्तरित होती है । इसके उपरान्त विभिन्न प्रकार के आर. एन. ए. के माध्यम से m- RNA इन सूचनाओं का प्रोटीन की भाषा में अनुलिपिकरण या अनुवाद करता है, यानि m - RNA में न्यूक्लयोटाइडों के क्रम का अमीनो अम्लों के क्रम के रूप में अनुवाद होता है । इस अवधारणा को सेन्ट्रल डोग्मा कहा गया है ।

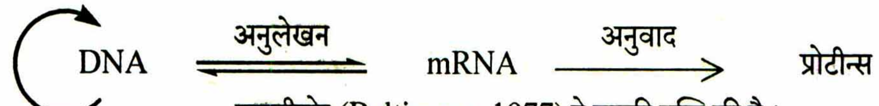


(ब) वृत्ताकार सम्प्रेषण (Circular Communication) : बेरी काम्नर Barry Commoner, 1968) द्वारा प्रस्तुत इस सम्प्रेषण में RNA को अनुलेखन के द्वारा प्रोटीन संश्लेषण के लिए DNA से सूचनाएँ प्राप्त होती हैं । DNA द्वारा सम्प्रेषित इन सूचनाओं का RNA द्वारा अमीनो अम्लों (AA) में अनुवाद होता है और प्रोटीन्स का निर्माण होता है । इसी क्रम में प्रोटीन्स RNA - संश्लेषण को निर्देशित करते हैं एवं इसके बाद यह RNA अनुलेखन के द्वारा DNA संश्लेषण को निर्देशित करता है ।



सूचनाओं का यही वृत्ताकार प्रक्रम पाया जाता है ।

(स) प्रतिलोमी सम्प्रेषण (Reverse communication) : टेमिन (RNA Tumor, 1974) द्वारा प्रस्तुत इस अवधारणा (टेमिनीकरण भी कहते हैं) में इनके द्वारा RNA अर्वुद वायरस (RNA Tumor Virus) से पृथक किये एन्जाइम RNA आधारित DNA पॉलिमेरेज (RNA dependent DnA poly merase) का वर्णन प्रस्तुत किया गया है, जो कि RNA के केवल एक रज्यू से DNA संश्लेषण को नियमित करता है । यह एन्जाइम (प्राय: प्रतिलोमी ट्रांसक्रिप्टेज) एक रज्जुकी वायरस RNA को टेम्पलेट के रूप में प्रयुक्त करके उससे द्विरज्जुकी DNA का निर्माण कर सकने का अनूठा गुण होता है ।



बाल्टीमोर (Baltimore, 1977) ने इसकी पुष्टि की है।

अध्ययन की सुविधा तथा स्पष्टता के दृष्टिकोण से प्रोटीन संश्लेषण प्रक्रम को निम्न बिन्दुओं में विभाजित कर समझना उचित होगा:

I. **प्रोटीन संश्लेषण का नियन्त्रण एवं निर्देशन** (Control and direction of protein synthesis): स्मरणीय है कि प्रोटीन संश्लेषण का नियंत्रण एवं निर्देशन DNA द्वारा होता है । DNA में व्याप्त न्यूक्लिओटाइडों (डी ऑक्सीराइबोज शर्करा, नाइट्रोजन क्षारक एवं फास्फेट समूह) की दोहरी श्रृंखलायें कुण्डलित होकर इस अणु का निर्माण करती है । DNA अपने द्वारा संश्लेषित एक विशेष प्रकार के mRNA के सहयोग से विशिष्ट अमीनो अम्लों के चयन तथा उनको निर्माणाधीन प्रोटीन अणु में यथोचित स्थान पर स्थापित करने की

महत्वपूर्ण भूमिका का निर्वाह करता है । mRNA में नाइट्रोजन युक्त क्षारों के अनुक्रम को जो एक अमीनो अम्ल का विशिष्टीकरण करता है, आनुवंशिक कुट या संकेत कहते हैं । यह संकेत तीन न्यूइक्लयोटाइडों की इकाई के रूप में पाया जाता है, अत: इसे त्रिक (Triplet) कहा जाता है । 64 त्रिकें (4 x 4 x 4 x 64) 20 अमीनो अम्लों की संख्या से काफी अधिक है । अत: वगैरह अतिव्यापन के ये त्रिकें स्वतंत्र रूप से विशिष्ट अमीनो अम्लों को संकेतित करते हैं (सारणी 11.3 एवं 11.4) ।

सारणी 11.3 : 20 अमीनो अम्ल एवं आरम्भक व समापन त्रिकें

क्र. सं	अमीनो अम्ल	त्रिक (संकेत, कूट)
1.	ऐलानिन	GCU,GCC,GCA,GCG
2.	आर्जिनिन	CGU.CGC,CGA,AGA,AGG
3.	एस्पार्टिक अम्ल	GAU,GAC
4.	सिस्टीइन (Cysteine)	UGU,UGC
5.	ग्लूटैमिक अम्ल	GAA,GAG.
6.	ग्लाइसिन	GGU,GGC,GGA,GGG
7.	हिस्टिडीन	CAU,CAC
8.	आइसोल्यूसीन	AUU,AUC,AUC
9.	ल्यूसीन	UUA,UUG,CUU,CUC,CUA,CUG
10.	लाइसीन	AAA,AAG
11.	मेथाइओनीन	AUG.(Also initiation triplet)
12.	फेनिलऐलानिन	UUU,UUC
13.	प्रोलीन	CCU,CCC,CCA,CCG
14.	सेरीन	UCU,UCC,UCA,UCG,AGU,AGC.
15.	थ्रिऑनीन	ACU,ACC,ACA,ACG.
16.	ट्रिप्टोफेन	UGG
17.	टाइरोसिन	UAU,UAC.
18.	वेलीन	GUU,GUC,GUA, GUG.
19.	ग्लूटैमिन	CAA,CAG.
20.	एस्पेराजीन	AAU,AAC.
21.	आरम्भक त्रिक	AUG.
22.	समापन त्रिंके	UAG,UAA,UGA. (आक्रे,एम्बर तथा ओपल त्रिकें)

सारणी 11.4 : आनुवांशिक संकेत एवं शब्दावली

द्‌वितीय क्षारक

द्वितीय क्षारक

प्रथम क्षारक	U	C	A	G	तृतीय क्षारक
U	UUU, UUC } Phe UUA, UUG } Leu	UCU, UCC, UCA, UCG } Ser	UAU, UAC } Tyr UAA, UAG } समापन	UGU, UGC } Cys UGA समापन UGG Try	U C A G
C	CUU, CUC, CUA, CUG } Leu	CCU, CCC, CCA, CCG } Pro	CAU, CAC } Tyr CAA, CAG } Gin	CGU, CGC, CGA, CGG } Arg	U C A G
A	AUU, AUC, AUA } Leu AUG } Met	ACU, ACC, ACA, ACG } Thr	AAU, AAC } Asn AAA, AAG } lys	AGU, AGC } Ser AGA, AGG } Arg	U C A G
G	GUU, GUC, GUA, GUG } Val	GCU, GCC, GCA, GCG } Ala	GAU, GAC } Asp GAA, GAG } Glu	GGU, GGC, GGA, GGG } Gly	U C A G

आनुवांशिक कूट या संकेत एक अमुक प्रोटीन के संश्लेषण के लिये आवश्यक जीन से प्रदत्त सम्बन्धित सूचनाओं का पूरा समुच्चय (Set) है । प्रायोगिक तौर पर 64 में से 61 त्रिकें 20 अमीनो अम्लों के लिए सकेत करती हैं तथा 3 त्रिकें प्रारम्भिक एवं समापन त्रिके हैं, जो श्रृंखला को नियन्त्रित व निर्धारित करती हैं ।

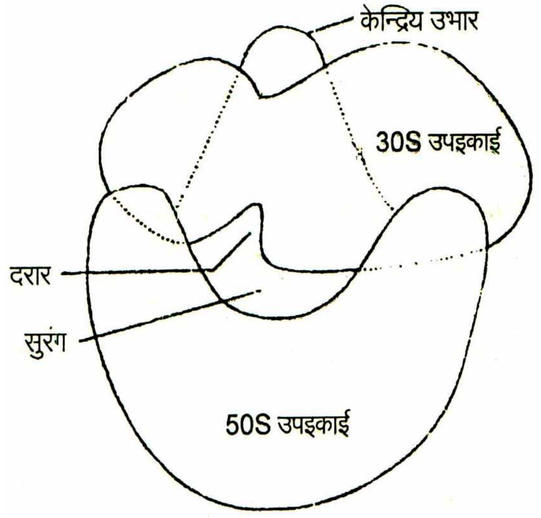
राइबोसोम : सर्वप्रथम **क्लॉडे** (Claude, 1941) ने EM द्‌वारा 150 - 250A° व्यास के सघन कणों को कोशिका द्रव्य में स्वतंत्र रख खुरदरी अन्त: प्रदव्यी जालिका पर देखा व माइक्रोसोम कहा, लेकिन **पैलाडे** (Plaade, 1955) ने इन कणों को राइबोसोम या राइबोन्यूक्लियो प्रोटीन कहा। ये सभी सजीव कोशिकाओं में प्रोटीन संश्लेषण में भाग लेते हैं । राइबोसोम एकक झिल्ली रहित कोशिकांग है, बो दो उपइकाइयों (subunits) से निर्मित होता है (चित्र 11.6) ।

प्रथम लघु उपइकाई में एक छोटा सिर (head) तथा बड़ी काय (body) होती है । दोनों उपइकाइयों के बीच एक दरार (cleft) पायी जाती है । जिसके कारण एक उभार प्लेटफार्म (platform) निर्मित होता है ।

द्‌वितीय दीर्घ उपइकाई में मुंडेर (ridge), एक केन्द्रिय उभार (central protuberance) और एक वृत्त (stalk) पाया जाता है । मुंडेर एवं केन्द्रिय उभार के मध्य एक सुरंग (tunnel) पायी

जाती है । जिसमें m-RNA का अणु स्थित होता है । दोनों उपइकाइयाँ जुड़कर सम्पूर्ण राइबोसोम को निर्मित करती हैं ।

कार्य : राइबोसोम कोशिका का इंजन है, क्योंकि प्रोटीन संश्लेषण (एन्जाइम) का स्थल है ।



चित्र 11.6 : एक राइबोसोम की रचना

RNA(राइबोन्यूक्लिक अम्ल) : एक द्वितीयक महत्वपूर्ण न्यूक्लिक अम्ल RNA सभी कोशिकाओं (यूकेरियोटिक, प्राकेरियोटिक एवं एकेरियोटिक) में प्रोटीन संश्लेषण का कार्य करता है, जो कोशिका द्रव्य एवं केन्द्रिका (Nucleolus) में पाया जाता है । यह (RNA) एक लड़ी के रूप में न्यूक्लियोटाइडों से बना होता है ।

RNA के प्रकार (Kinds of RNA) :

आनुवंशिक दृष्टि से दो प्रकार के RNA होते हैं - आनुवंशिक RNA व अनानुवंशिक RNA।

आनुवंशिक RNA (Genetic RNA)

कुछ पादप व जन्तु विषाणुओं में विभिन्न लक्षणों को एक पीढ़ी से दूसरी पीढ़ी तक स्थानांतरित करने तथा DNA के समान अन्य नियंत्रण कार्य RNA द्वारा सम्पूर्ण किये जाते हैं । इन्हें आनुवंशिक RNA (genetic RNA) कहा जाता है । ये एकलड़ीय (उदाहरण तथा तम्बाकू मोजेक वाइरस इंफ्लूएंजा वाइरस एवं पोलियो वाइरस) या द्विलड़ीय (रियोवाइरस) होते हैं ।

अनानुवांशिक RNA(Non genetic RNA)

प्राय: अधिकतर जीवों का आनुवांशिक पदार्थ DNA होता है, फिर भी जीवों में RNA बहुतायत मात्रा में उपस्थित होता है, परन्तु इसके द्वारा आनुवांशिकी का कोई कार्य सम्पन्न नहीं किया जाता । इस प्रकार के RNA को अनानुवांशिक RNA कहते हैं । इन RNA को DNA द्वारा संश्लेषित किया जाता है । ये मुख्यत: प्रोटीन संश्लेषण में प्रयुक्त होते हैं ।

अनानुवाशिक RNA तीन प्रकार के होते हैं, जो निम्न प्रकार हैं :

m-RNA (संदेशवाहक RNA या न्यूक्लियोलर RNA) (Messenger RNA or Nucleolar RNA) : ये कोशिकाद्रव्य के कुल RNA का 5 से 10 प्रतिशत भाग बनाते हैं । इनका अवसादी

गुणांक 8S होता है तथा इनके प्रत्येक अणु में न्यूक्लियोटाइडों की संख्या 900 से 1500 होती है । प्रत्येक अणु का अणुभार 50, 000 होता है ।

m-RNA की संरचना (Structure of mRNA)

m-RNA में निम्न स्थलों का विभेदन पाया जाता हैं:

टोपी (Cap) : यह 5' सिरे पर पायी जाती है, जो mRNA को राइबोसोम से संलग्न होने में मदद करती है ।

नॉन कोडिंग क्षेत्र (Non coding region NC 1) : यह 10 से 100 न्यूक्लिओटाइड्स से निर्मित होता है, जिसमें एडिनीन व यूरेसिल क्षार अधिक मात्रा में पाये जाते हैं । यह क्षेत्र प्रोटीन संश्लेषण में प्रयुक्त नहीं होता है ।

आरम्भन कोडॉन - स्थल (Initiation codon site) : इस स्थल पर AUG नाइट्रोजनी क्षार अनुक्रम पाया जाता है, जो कि प्रोटीन संश्लेषण का आरम्भन करता है ।

कोडिंग क्षेत्र (Coding region) : यह क्षेत्र 1500 न्यूक्लिओटाइडों द्वारा निर्मित होता है ।

समापन कोडॉन (Termination codon) : ये प्रोटीन संश्लेषण का समापन करते हैं । UAA, UAG व UGA समापन कोडॉन के रूप में जाने जाते हैं ।

नॉन कोडिंग क्षेत्र II (Non coding region II) : यह 50 से 150 न्यूक्लिओटाइडों द्वारा निर्मित होता है । इस क्षेत्र में AAUAAA है श्रृंखला उपस्थित होती है ।

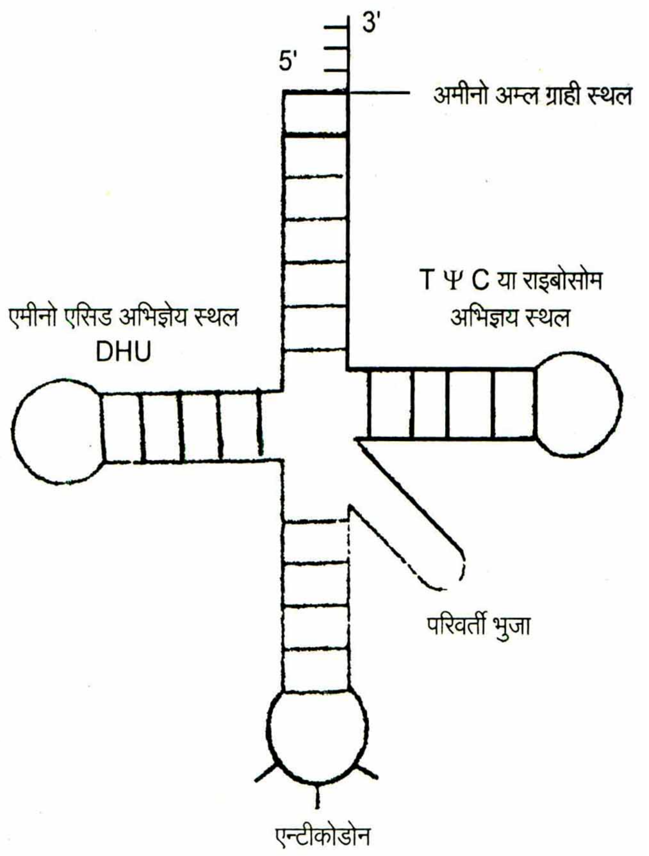
पॉली A क्रम (Poly A Sequence) : 3' सिरे पर पॉलीएडीनाइलेट या पॉली A श्रृंखला उपस्थित होती है, जिसमें 200 से 250 न्यूक्लिओटाइड पाये जाते हैं ।

राइबोसोमल RNA (r-RNA)

ये राइबोसोम में पाये जाते हैं एवं कुल RNA का 80 प्रतिशत भाग बनाते हैं । प्रोकेरियोट्स में 70S प्रकार के, जबकि यूकैरियोट्स में 80S प्रकार के राइबोसोम्स पाये जाते हैं । हालांकि ये एकलड़ीय होते हैं, परन्तु कुछ स्थानों पर कुण्डलित हो जाते हैं । इन कुण्डलित क्षेत्रों में पूरक क्षार होते हैं, जो हाइड्रोजन बंध से बंधित रहते हैं । जबकि अकुण्डलित स्ट्रैण्ड में पूरक क्षार अनुपस्थित होते हैं, इसी कारण rRNA में प्यूरीन्स व पिरीमिडीन क्षारकों का अनुपात निश्चित नहीं होता ।

rRNA का कार्य : rRNA प्रोटीन संश्लेषण के दौरान mRNA को राइबोसोमों की पर संयुक्त करने तथा संश्लेषण कार्य होने पर पुन: मुक्त करने का कार्य करता है ।

स्थानांतरण RNA (tRNA) (Transfer RNA) : tRNA कोशिकाद्रव्य में पाये जाते हैं तथा कुल RNA का 10 से 20 प्रतिशत भाग बनाते हैं । इनका अणुभार 25,000 से 80,000 होता है। आर. होले (R. Holley) द्वारा प्रस्तुत tRNA की द्विविमीय संरचना प्रतिरूप के अनुसार प्रत्येक tRNA में 72 से 93 न्यूक्लिओटाइड पाये जाते हैं । यह बहुन्यूक्लिओटाइड श्रृंखला कुण्डलित होकर क्लोवर पत्ती के समान संरचना निर्मित करती है । tRNA में 5 विशिष्ट भुजाएँ (arms) होती हैं । प्रत्येक भुजा का निर्माण स्तम्भ (stem) व लूप (loop) से होता है । स्तम्भ वाले क्षेत्र में क्षार आपस में युग्मित रहते हैं, जबकि लूप में क्षार युग्मन नहीं मिलता (चित्र 11.7) ।



चित्र 11.7 : t-RNA का क्लोवर पर्ण चित्र

अमीनो अम्ल संलग्न स्थल (Amino acid attachment site) : यह tRNA के 3' सिरे पर पाया जाता है, जिसमें लूप अनुपस्थित होता है । यह ATP की उपस्थिति में विशिष्ट अमीनो अम्ल से जुड़कर अमीनो एसाइल tRNA निर्मित करता है ।

अमीनो अम्ल अभिज्ञेय स्थल या DHU लूप Amino acid recognisation site or dihydrouridine loop) : इसमें उपस्थित क्षार अनुक्रम tRNA से विशिष्ट अमीनो अम्ल को जुड़ने के लिए प्रेरित करता है ।

राइबोसोम अभिज्ञय का स्थल T ψ C या भुजा (Ribosome recognition site or T ψ C arm) : यह क्षेत्र tRNA को राइबोसोम से जोड़ने में सक्षम होता है तथा 7 क्षारों का बना होता है ।

एन्टीकोडोन स्थल (Anticodon site) : यह tRNA को mRNA के विशिष्ट कोडोन से जुड़ने के लिए प्रेरित करता है ।

परिवर्ती भुजा (Variable site) : इसमें स्तम्भ का अभाव होता है ।

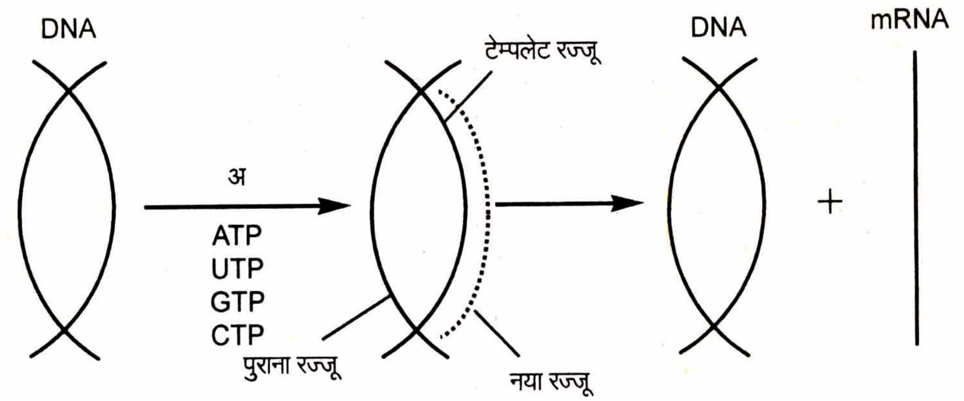
t-RNA का कार्य : -वह भिन्न -भिन्न अमीनो अम्लों को सक्रियित कर उन्हें राइबोसोम की सतह पर ले जाता है एवं स्वयं mRNA द्वारा निर्देशित क्षार क्रम के अनुसार राइबोसोम पर संयोजित

हो जाता है अर्थात् अमीनो अम्लों को कोशिकाद्रव्य की सतह तक स्थानान्तरित करने का मुख्य कार्य t-RNA करता है ।

प्रोटीन संश्लेषण की मुख्य विधि का निम्न दो पदों में अध्ययन किया जाता है:

11.3.4 अनुलेखन, अनुकृतन या mRNA का संश्लेषण :

सामान्य भाषा में DNA द्वारा mRNA के निर्माण को अनुलेखन कहते हैं । इस अनूठी प्रक्रिया को सम्पन्न करने के लिए एक विशेष एन्जाइम RNA पॉलिमेरेज की आवश्यकता होती है । RNA पॉलिमेरेज DNA के द्विकुण्डलिनी सर्पिलाकार सूत्रों के एक बिन्दु पर स्थापित होता है । यह प्रारम्भिक स्थल या प्रेरक सिरा (प्रोमोटर सिरा) है । इस बिन्दु पर DNA के दोनों सूत्रों की कुण्डलनें खुल जाती है और उनकी क्षारें H-बन्धों से मुक्त हो जाती है । दोनों DNA सूत्रों में एक सूत्र टेम्पलेट (खुला हुआ सूत्र) से छिलकर mRNA का निर्माण पूरा होता है । यह समापन बिन्दु (termination point) है । यह नवजात mRNA अणु परिपक्व mRNA की तुलना में 20% लम्बा पाया जाता है, क्योंकि इसका संश्लेषण (नवजात mRNA) विषमांगी केन्द्रकीय RNA के रूप में संश्लेषित होना है (चित्र 11.8) ।



चित्र 11.8 : द्विरज्जुकी DNA से mRNA का निर्माण

अनुलेखन प्रक्रिया को प्रोकेरियोटिक एवं यूकेरियोटिक सजीवों में अलग - अलग प्रकार से उल्लेख कर सकते हैं ।

प्रोकेरियोट्स जीवों में अनुलेखन (Transcription in Prokaryotes) प्रोकेरियोट्स (प्राय: जीवाणुओं) में केवल एक ही प्रकार का RNA पॉलिमेरेज एन्जाइम पाया जाता है, जो विभिन्न RNA प्रकारों, जैसे m-RNA ,r-RNA एवं t - RNA के माध्यम से अनुलेखन क्रिया सम्पन्न करता है (चित्र 11.8) ।

RNA पॉलिमेरेज एन्जाइम की कुछ संरचनायें व विशेषताएँ निम्नलिखित हैं :

1. यह सम्पूर्ण एन्जाइम, अनुलेखन के प्रारम्भ होने वाले पर DNA का वर्धक या प्रमोटर स्थल को पहचानने में सहायता करता है ।
2. वह एन्जाइम RNA पॉलीमेरेज, जो DNA ओर RNA टेम्पलेट के अनुसार RNA के संवर्धन में भाग लेता है, उसे होलोएन्जाइम (holoenzyme) कहते हैं ।

3. इस RNA पॉलीमेरेज होलोएन्जाइम के दो भाग होते हैं :

(A) **क्रोड एन्जाइम** (Core Enzyme)

(B) क्रोड एन्जाइम के साथ जुड़ने वाला **सिग्मा (σ) कारक** (the sigma factor), जो RNA के संवर्धन का प्रारम्भन (initiation) करता है (चित्र 13.8) ।

(A) क्रोड एन्जाइम - RNA पॉलीमेरेज (The Core Enzyme) :

यह एन्जाइम चार प्रकार के पॉली - पेप्टाइडों से निर्मित है:

I. दो α - श्रृंखलाएँ : इसमें क्रोड RNA पॉलीमेरेज में पॉलीपेप्टाइड की दो श्रृंखलाएँ पाई जाती हैं, ये पॉलीपेप्टाइड वर्धक (promotor) DNA के साथ बंध बनाते हैं ।

II. पहली β - श्रृंखला : RNA संवर्धन के लिए प्रयुक्त न्यूक्लिओटाइड को बाँधने (bind) का काम करती है ।

III. दूसरी β□- श्रृंखला : यह पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला टेम्पलेट DNA के साथ बंध स्थापित कर अनुलेखन क्रिया में सहायता करती है ।

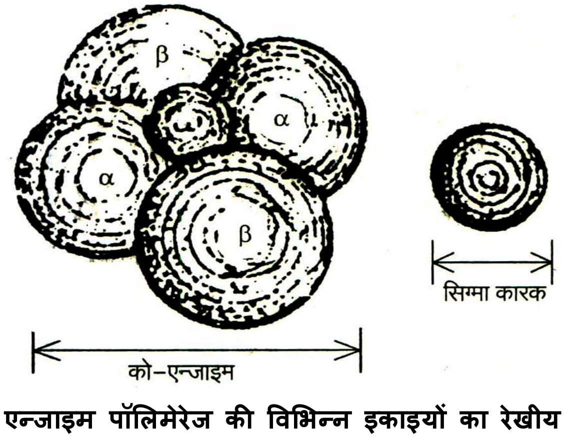
हालांकि क्रोड RNA पॉलीमेरेज एन्जाइम किसी भी स्थल पर अनुलेखन को **समारम्भ** (initiate) करने में सक्षम नहीं होता, लेकिन RNA संवर्धन के लिए यह आवश्यक है । यह आर एन ए का संवर्धन DNA के टेम्पलेट की सहायता से करता है । परन्तु इसकी सक्रियता सिग्मा कारक से सम्बद्ध होने के बाद ही आरम्भ होती है ।

(B) सिग्मा (σ) (Sigma factor) :

सिग्मा कारक क्रोड एन्जाइम के साथ सम्बद्ध होकर इसे सक्रिय बनाने का काम करता है । यह DNA के वर्धक या प्रमोटर स्थल की पहचान करके, क्रोड RNA पॉलीमेरेज को इसके साथ जोड़ता है एवं इस प्रकार अनुलेखन का समारंभ (initiation) करने में सक्रिय रूप से भाग लेता है (चित्र 11.9) ।

जीवाणुओं में RNA पॉलीमेरेज की m-RNA मे संश्लेषण में निम्न भूमिका होती है:

1. क्रोड RNA पॉलीमेरेज का सिग्मा कारक से सम्बद्ध (bind) होकर सक्रिय हो जाना ।
2. वर्धक स्थल (promoter site) पर सिग्मा युक्त RNA पॉलीमेरेज का बन्धन ।
3. DNA के दोनों रज्जुओं strands) का विकुण्डलन RNA द्वारा पृथक होना ।

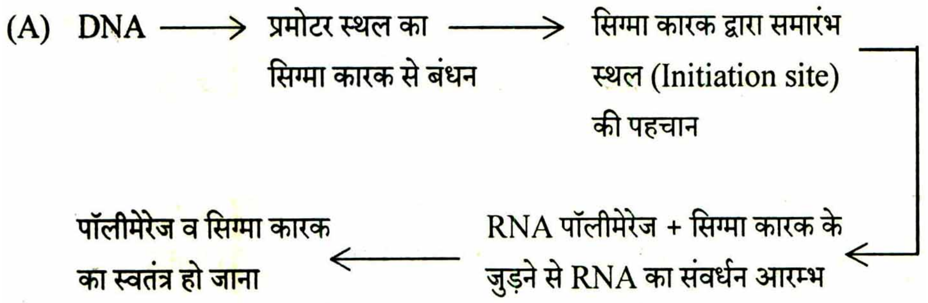


चित्र 11.9 : एन्जाइम पॉलिमेरेज की विभिन्न इकाइयों का रेखीय प्रस्तुतिकरण

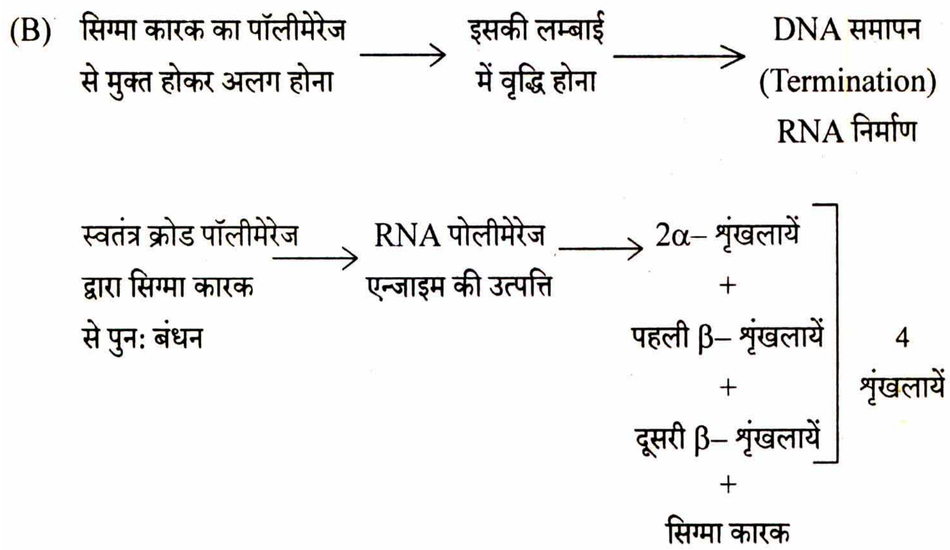
4. RNA पॉलीमेरेज एवं सिग्मा कारक का अलग होना ।

5. एक विशेष कारक (रो -σ - कारक) की उपस्थिति या अनुपस्थिति में m-RNA संश्लेषण का समापन (termination) ।

RNA के संवर्धन में (DNA से अनुलेखन की क्रिया में), इस पॉलीमेरेज की भूमिका को निम्न फ्लो चार्ट के द्वारा समझाया जा सकता है :



स्वतंत्र क्रोड एंडाइम



यूकेरियोट जीवो में अनुलेखन (Transcription in Eukaryotes) :

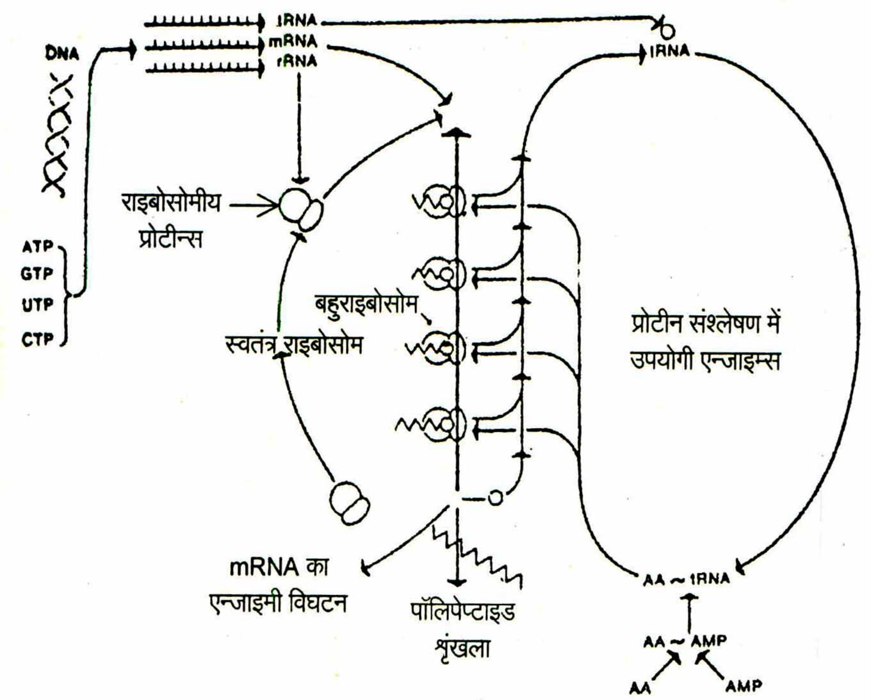
यूकेरियोटिक कोशिकाओं में RNA पॉलीमेरेज Polynerase in Eukaryotic Cells) प्रोकेरियोट्स की तुलना में यहाँ तीन प्रकार के RNA पॉलीमेरेज एन्जाइम पाये जाते हैं, जो कि विविध प्रकार के RNA संश्लेषण में सक्रिय योगदान देते हैं । ये निम्न प्रकार से है :

	स्थल (Site)	एन्जाइम (Enzyme)	आर एन ए संश्लेषण (RNA Synthesis)
1.	केन्द्रक द्रव्य (Nucleus)	RNA पॉलीमेरेजI	r-RNA के संश्लेषण में योगदान
2.	केन्द्रीय द्रव्य (Nucleoplasm)	RNA पॉलीमेरेजII	विषमांगी आर एन ए (HnRNA) के संश्लेषण में कार्यशील होता है । साथ ही Hn-RNA से यह m-RNA बनाता है । अतः इसे m-RNA

		का पूर्ववर्ती (precursor) भी कहते हैं।
3. केन्द्रकीय द्रव्य (Nucleoplasm)	RNA पॉलीमेरेज III	5'S RNA एवं t- RNA के संश्लेषण में कार्यशील होता है ।

Hn-RNA (विषमांगी केन्द्रकीय RNA) कार्य की दृष्टि से अनुप्रयुक्त होता है । अत: कोशिका द्रव्य में विसरित होने से पूर्व इसका कार्यशील RNA के रूप में संसाधन (Processing) होता है । इस क्रिया के अन्तर्गत Hn-RNA के सूत्र के 3' सिरे पर पॉलिएडिनिलिक अम्ल (poly-A) की लगभग 200 न्यूक्तिओटाइड्स का एक श्रृंखला जुड़ती है । इसमें क्षार अनुक्रम AAUAAA होता है । यह पूँछ (Poly -A श्रृंखला) poly +mRNA है, जो Hn-RNA की सम्पूर्ण परिपक्व मात्रा है । अतः Hn RNA का **पूर्ववर्ती** (Precurssor) कहा जाता है । अन्त में mRNA के 5' सिरे पर 7- मिथाइल ग्वानीन (7-Methyl uanine) जुड़ता है, जो m-RNA के संसाधन की क्रिया के पूर्ण होने का संकेत देता है । यह संरचना टोपी (Cap) कहलाती है, जो m-RNA अपघटन को रोकती है । अत: परिपक्व हुए m-RNA के 3' सिरे पर poly-A (पूँछ), 5' सिरे पर 7-मिथाइलाग्वानोक्सिन (टोपी) तथा इन दोनों के मध्य में राइबोन्यूक्लियोटाइडों की उपस्थिति के साथ ही यह mRNA स्वरूप केन्द्रक से कोशिका द्रव्य मेँ विसरित हो जाता है । m-RNA के संश्लेषण की यही प्रक्रिया अनुलेखन या अनुकृतन कहलाती है ।

तीनों प्रकार के RNAs का प्रोटीन संश्लेषण में विशेष महत्व होता है, जिनका जैव संश्लेषण केन्द्रक में पाया जाता है, जो कोशिका द्रव्य में विसरित होकर प्रोटीन संश्लेषण में महत्त्वपूर्ण कार्य करते हैं (चित्र 11.10) ।



चित्र 11.1 : विभिन्न प्रकार के RNAs एवं प्रोटीन संश्लेषण में इनकी उपयोगिता का चित्रण

11.3.5 अनुवाद या स्थानान्तरण या प्रोटीन संश्लेषण या अनुलिपिकरण :

mRNA तथा विशिष्ट अमीनो अम्ल युक्त tRNA के संयुग्मन को स्थानान्तरण कहते हैं । अनुवाद या अनुलिपिकरण के अन्तर्गत mRNA का त्रिक क्षारक अनुक्रम, अमीनो अम्लों (AA) के विशिष्ट अनुक्रम को एक पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला में विन्यासित करने के लिए निर्देशित करता है । यह प्रक्रम राइब्रोसोम पर सम्पन्न होता है । जहाँ tRNA के सहयोग से विभिन्न आवश्यक अमीनो अम्लों को संयोजित कर प्रोटीन अणु की एक लम्बी श्रृंखला का निर्माण कोशिका की सम्पूर्ण आवश्यकतानुसार होता है । प्राय: प्रोटीनों का अधिकतम संश्लेषण पौधे के वृद्धिशील अंगों एवं संग्रहकारी अंगों की कोशिकाओं में होता है तथा इस क्रिया हेतु आवश्यक अमीनो अम्लों का सम्भरण पत्तियों तथा मूलों द्वारा होता है ।

अनुलेखन एवं अनुलिपिकरण प्रोटीन संश्लेषण की दो महत्वपूर्ण प्रकियायें हैं । इसमें अनुवाद अपेक्षाकृत जटिल प्रक्रम है । कोशिका में प्रोटीन संश्लेषण क्रिया (अनुवाद) तीन सोपानों में सम्पन्न होती है.

(A) अमीनो अम्लों का सक्रियकरण

(B) सक्रियित अमीनो अम्ल tRNA जटिल का निर्माण (स्थानान्तरण)

(C) पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का निर्माण

A. **अमीनो अम्लों का सक्रियकरण** (Activation of Amino acide) : **पी. जैमेनिक** एवं सहयोगियों ने चूहे की यकृत कोशिका में सर्वप्रथम अमीनो अम्लों के सक्रियकरण को निरूपित किया । स्मरणीय है कि अमीनो अम्ल भण्डार (AA pool) कोशिका द्रव्य में पाया जाता है । इस भण्डार से सहायक अमीनो अम्लों का चयन तथा सक्रियकरण एक विशिष्ट एन्जाइम अमीनो - एसिल -सिन्थेटेज (E) तथा ATP द्वारा किया जाता है । प्रत्येक सक्रियकरण में विशिष्ट सक्रियकारी एन्जाइम काम में आता है । ATP की उपस्थिति में अमीनो अम्ल एवं सक्रियकारक एन्जाइम परस्पर संयोग कर एक उच्च ऊर्जा व एन्जाइम युक्त जटिल बनाते हैं । जिसे अमीनो - एसिल - AMP एन्जाइम सम्मिश्र कहते हैं । यहाँ एक पायराफॉस्फेट विमुक्त होता है ।

$Mg^{++\text{आयन}}$

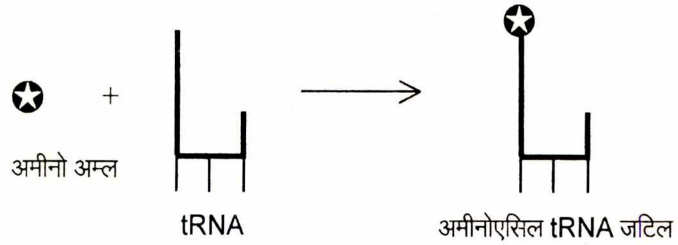
$$AA + E + ATP \xrightarrow{Mg^{++}\text{आयन}} E\text{-}AA\text{-}AMP + iPP$$

(अमीनो अम्ल) (एन्जाइम एमीनो एसिल सिन्थेटेज) अमीनो एसिल AMP एन्जाइम जटिल

समिश्र का अमीनो अम्ल एक सक्रियित अवस्था में होता है तथा यह tRNA के चयन तक मौजूद रहता है । एन्जाइम की इस दोहरी विशिष्टता (अमीनो अम्ल व tRNA चयन) के कारण ही अनुलिपिकरण का दूसरा सोपान सम्पूर्ण होता है ।

B. **सक्रियत अमीनो अम्ल का tRNA पर स्थानांतरण या AA -tRNA जटिल का निर्माण** (Transfer of Aminoacid to tRNA) : सक्रियित अमीनो ऐसिल AMP एन्जाइम सम्मिश्र एक विशिष्ट tRNA के साथ क्रिया कर अमीनो अम्ल को tRNA की ग्राही भुजा पर स्थानान्तरित कर देता है । सक्रिय अमीनो अम्ल का tRNA पर स्थानान्तरण अमीनोएसीलीकरण

(aminoacylation) कहलाता है । यह अभिक्रिया एक विशिष्ट एन्जाइम अमीनोएसिल tRNA सिन्थेटेज की उपस्थिति में सम्पूर्ण होती है । इस क्रिया द्वारा निर्मित उत्पाद अमीनोएसिल tRNA सम्मिश्र कहलाता है । इस अभिक्रिया में AMP तथा एन्जाइम अमीनो एसिलसिन्थेटेज विमुक्त हो जाते हैं । विशिष्ट अमीनो अम्ल, विशिष्ट tRNA (अडेप्टरअणु) से ही संलग्न होते हैं । अर्थात् 20 अमीनो अम्लों के लिए कम से कम 20 विभिन्न tRNA अणुओं की तथा 20 विभिन्न एन्जाइमों की आवश्यकता रहती है (चित्र 11.11) ।



चित्र 11.11 : अमीनो अम्ल का tRNA से संयोग

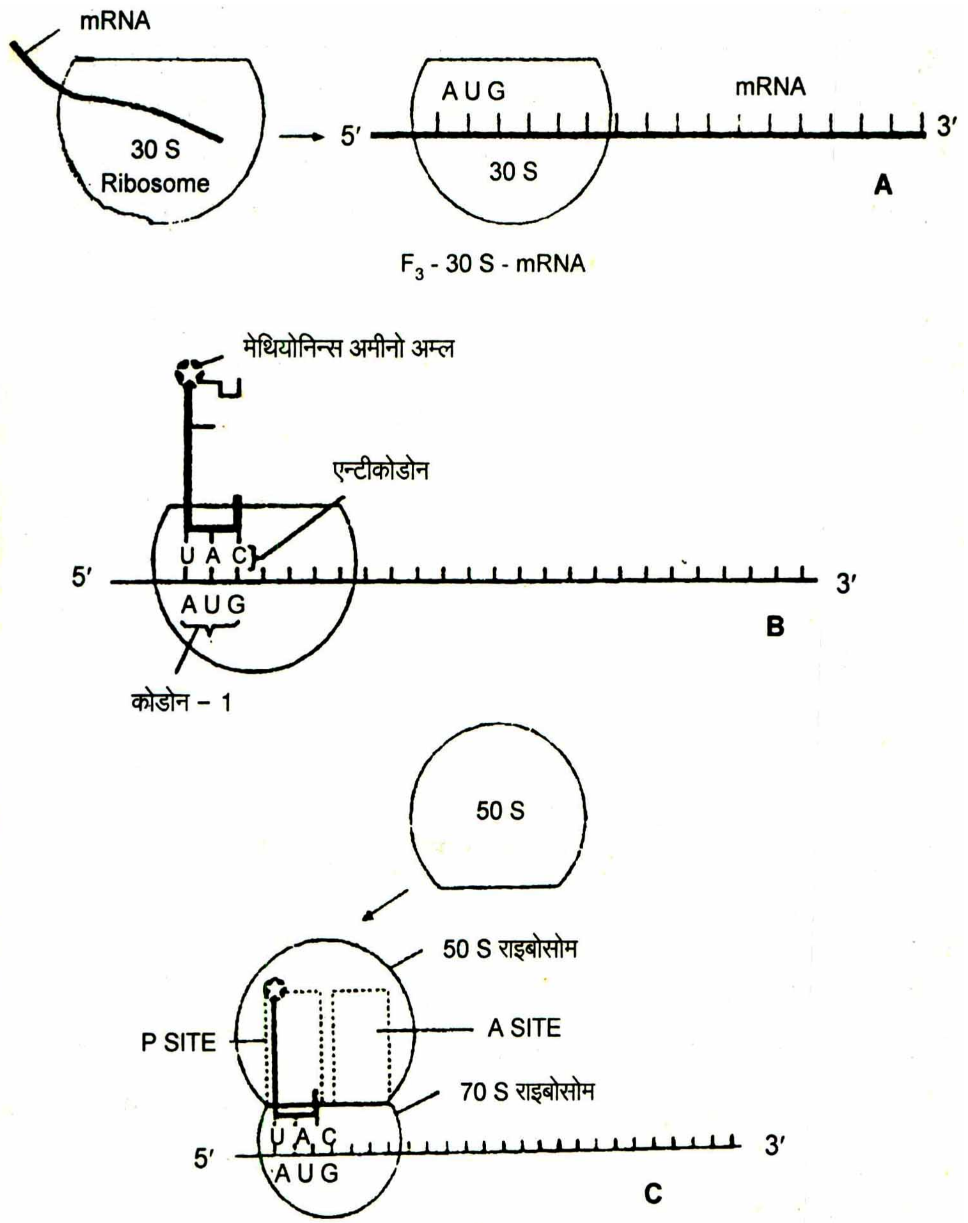
C. **पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का आरम्भन (Initiation of polypeptide chain) :** प्रोटीन संश्लेषण का आरम्भन प्रथम अमीनों अम्ल के चयन तथा इनके राइबोसोम पर स्थानांतरण द्वारा होता है । इस प्रक्रिया में राइबोसोम उपइकाईयों, अमीनो अम्ल tRNA सम्मिश्र, mRNA तथा आरम्भन कारक (initiation factors,IF) आवश्यक होते हैं ।

1. **अफोर्मिलेटीय व फार्मिलेटीय tRNA का निर्माण (Formation of non -formytable and formytable tRNA)** : पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला का समारम्भ मिथिओनिन अमीनो अम्ल के द्वारा होता है, जो कि AUG कोडोन द्वारा कोडित होता है । इ. कोलाई में दो भिन्न tRNA मिथिओनिन का वहन करते हैं:

   $tRNA^{met}{}_f$ (फॉर्मिलेटिय) : इसके द्वारा वहन किये गये मिथिओनिन अणु का फॉर्मिलीकरण सम्भव होता है । प्रोकेरयोट्स में प्रारम्भिक अमीनो अम्ल मिथिओनीन का फोर्मिलीकरण (formylation) आवश्यक है, फलस्वरूप$tRNA^{met}{}_f$,अणु मिथिओनीन को प्रथम अमीनो अम्ल के रूप में निक्षेपित कर देता है ।

   $tRNA^{met}{}_m$ (अफोर्मिलेटीय) : $tRNA^{met}{}_m$ द्वारा वहन किए गए मिथिओनीन अणु का फॉर्मिलीकरण सम्भव नहीं होता है ।$tRNA^{met}{}_m$ केवल अन्तर्वेशी स्थलों पर ही मिथिओनीन को निक्षेपित करते हैं ।

2. **फोर्मिल - मिथिओनिल $tRNA^{met}{}_f$ का बनना (Formation of formyl- methionyl tRNA met) :** मिथिओनिन अमीनो अम्ल $tRNA^{met}{}_f$ के अमीनो अम्ल संलग्न स्थल पर जुड़कर $tRNA^{met}{}_f$ निर्मित करते हैं । इस अणु का फोर्मिलीकरण, फार्मिल टेट्राहाइड्रोफोलिक अम्ल नामक फोर्मेट स्रोत की उपस्थिति में



चित्र 11.12 : A. राइबोसोम की 30 S उपइकाई का mRNA के 5' सिरे से जुड़ना, B. t-RNA का mRNA से जुड़कर राइबोसोम की 30S उपइकाई पर पूर्व आरम्भक जटिल का निर्माण, C. राइबोसोम की दोनों उपइकाइयाँ जुड़कर एक आरम्भक जटिल बनाती है । met-tRNA का 70S राइबोसोम के P-स्थल (दाता स्थल) से जुड़ना

3. 30S का mRNA के 5' छोर पर बन्धन (Binding of 30s with mRNA 5' end) : 30 S उपएकक उस AUG कोडॉन से जुड़ जाती हैं, जो mRNA के 5' छोर पर स्थित होता है । इस प्रक्रिया में एक प्रोटीन समारम्भ कारक F_3 व Mg^{2+} सहायक होता है । इसके उपरान्त बना उत्पादन mRNA -30S सम्मिश्र कहलाता है (चित्र 11.12-A) ।

4. **f-met-tRNA$_t$ ^{met}f, का 30S-mRNA के साथ बन्धन (Bindingof f-met-tRNA ^{met}f with 30s-Mrna complex)** : f-met-tRNAmetf, जिसमे tRNA ka एंटीकोडन UAC (AUG) का पूरक) mRNA -30 S सम्मिश्र पर स्थानांतरित होकर Mrna के आरंभ कोडान से जुड़ जाता है। इस प्रकार f,met tRNA ^{met}f, mRNA व 30S राइबोसोम उपइकाई से जुड़कर 30S पूर्वआरंभ सम्मिश्र (30S- preinitation complex) निर्मित करता है। इस प्रक्रिया में IF-2 IF-1 व GTP सहायक होते हैं (चित्र 11.12 - B)।
5. **राइबोसोम उप - एककों का जुड़ना (Association of ribosomal subunits) :** 30S पूर्वआरम्भ सम्मिश्र 50S राइबोसोम उपइकाई से जुड़कर आरंम्भक सम्मिश्र (intitation complex) निर्मित करते है अर्थात आरंभ सम्मिश्र 70S राइबोसोम, mRNA व f-met-tRNA^{met}f से मिलकर बना होता है। 70S राइबोसोम में दो उपस्थित होती है।

   P स्थल वाईए दाता स्थल (peptidy or donar site) : इस स्थल पर प्रथम tRNA अर्थात f-met-tRNA^{met}f आकर संग्लन होता है। इस प्रक्रम में आवश्यक ऊर्जा GTP द्वारा प्राप्त होती है।

   A स्थल या ग्राही स्थल (Aminoacyl or acceptor site) : इस स्थल पर दूसरा tRNA संग्लन होकर द्वितीय कोडान को बंधित करता है। (चित्र 11.21C)।

यूकेरियोट्स में प्रोटीन संश्लेषण का समारम्भ

(Initiation of Protein Synthesis in Eukaryotes)

1. यूकेरियोट्स में पालीपेप्टाइस श्रृंखला का आरम्भ पोकेरियोट्स से निम्न प्रकार अलग होता है। यूकेरियोट्स में लगभग दस या दस से अधिक समारम्भ कारक ज्ञात किए जा चुके हैं। इनमें से मुख्य समारम्भ कारक eIF1 eIF2, eIF3, eIF4A eIF4C, eIF4D, eIF5 तथा eIF6 हैं। प्रोकेरियोट्स के कारकों की पहचान पूर्वलग्न (prefix) e लगाकर करते हैं। इनमें eIF2, तथा eIF3, प्रोकेरियोट्स के IF2, व IF3 के समरूप होते हैं।
2. हालाँकी यूकेरियोट्स में मिथियोनिन अमीनो अम्ल प्रोटीन संश्लेशण का समारम्भ तो करता है, परन्तु इसका फार्मिलेशन नहीं होता, क्योंकि यूकेरियोट्स में ट्रांसफोर्मिलेज एन्जाइम का अभाव होता है। अर्थात उच्च श्रेणी के जीवों में मिथिओनीन के समारम्भ में बिना फोर्मिलिकरण के एचआई प्रयुक्त किया जाता है।
3. 40S उपएकक mRNAके 5’ से जुडकर mRNA - 40S सम्मिश्र निर्मित करता है। इस सम्मिश्र पर tRNA स्थानान्तरित होकर 40S पूर्व आरंभ सम्मिश्र निर्मित करता है। इसमे प्रोकेरियोट्स की भाँति दो खाँच पायी जाती है।
4. प्रोकेरियोट्स में अनुलेखन के साथ-साथ अनुवादन होता है, जबकि यूकेरियोट्स में अनुलेखन द्वारा बना RNA कोशिका द्रव्य में विसरित हो जाता है, वहीं पर अनुवादन होता है।

राइबोसोम या पॉलीसोमों पर पॉलिपेप्टाइड संश्लेषण की क्रिया प्राय: 6 प्रमुख चरणों में सम्पत्र होती है:

A. राइबोसोंम उपइकाईयो या राइबोसोम का संयोजन (Assembling)

B. पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का प्रारम्भ (Initiation)

C. पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का दिर्घीकरण (Elongation)

D. पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का समापन (Termination)

E. पॉलिपेप्टाइड का विमुक्तन (Releasing)

F. पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का वलन एवं संसाधन (Processing)

ज्ञातव्य है कि प्रोटीन संश्लेषण क्रिया राइबोसोमों के पंक्तिबद्ध होने से बनने वाली सतह पर होती है तथा पॉलिपेप्टाइड, प्रोटीन का ही दूसरा नाम है। उपरोक्त दो चरणों का चित्रण चित्र 11.12 में प्रदर्शित किया जा चुका है।

C. **पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का दिर्घीकरण या लम्बन (Elongation or Polypeptide chain) :** जैसे ही 70S राइबोसोम प्रारम्भ जटिल का निर्माण होता है, वैसे ही प्रथम अमीनो अम्ल में एक के बाद एक अमीनों अम्लों के जुडने लि प्रक्रिया

पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का दिर्घीकरण कहलाती है। प्रक्रिया mRNA के कोड़ॉन क्रम के अनुसार संपत्र होती है। इस प्रक्रिया के निम्न पद है:

1. **राइबोसोमों के A स्थल पर AA-** tRNA का बंधन (Binding of AA- tRNA at a site ‘A’ ribosome): अमीनों एसिल tRNA जिस प्रकार mRNA के द्वितीय कोड़ॉन का पूरक एंटीकोड़ॉन पाया जाता है वह आरम्भ सम्मिश्र के A पर चला जाता है। यह प्रक्रिया EF कारक (elongation factor) व GTP की मध्यस्था में सम्पत्र होती है। प्रोकेरियोट्स में तीन एफ प्रकार (EFTu, EFTs , EF-G) हैं, जबकि यूकेरियोट्स में चार (EFIα, EFIβ, EFIy, EF2) की आवश्यकता होती है।
2. **पेप्टाइड आबन्ध का निर्माण (Formation of peptidyl bond) :** यह उत्प्रेरण अभिक्रिया है, जिसमें ‘P’ स्थल पेप्टाइल tRNA के स्वतंत्र कार्बोक्सिल समूह(-COOH), व ‘A’ स्थल पर स्थित अमीनों एसिल tRNA के स्वतंत्र अमीनों समूह (-NH) के बीच एक पेप्टाइड आबन्ध बन जाने से डाइपेप्टाइट का निर्माण एचओटीए है। इस अभिक्रिया में पेप्टीडिल ट्रांसफरेज नामक एंजाइम प्रयुक्त होते है, जो कि 50S राइबोसोमी उपइकाई में उपस्थित होते है। पेप्टीडिल निर्माण के बाद ‘P’ स्थल पर स्थित tRNA का मिथिओनीन A स्थल में अमीनो अम्ल से संलग्न हो जाता है तथा tRNA अलग हो जाता है, इसे tRNA का डीएसिललीकरण (deacylation) कहते हैं। तथा यह प्रक्रिया tRNA एसीलाइलेज द्वारा सम्पन्न होता है। यूकेरियोट्स में यह क्रिया tRNA हाइड्रोलेज द्वारा सम्पन्न होती है।
   पृथक्कृत tRNA; P स्थल से हटाकर कोशिका द्रव्य में चला जाता है, जहाँ पुन: अमीनो एसीलीकरण हो जाता है (चित्र 11.13 A-I)।
3. **पालिपेप्टाइड tRNA का ‘A’ से ‘P’ स्थल को स्थानान्तरण (Translocation of peptidyl tRNA from ‘A’ to ‘P’ site) :** A स्थल पर उपस्थित पेप्टीडिल tRNA को अब ‘P’ स्थल पर स्थानान्तरित किया जाता है। इस प्रक्रिया में डीएसिलित tRNA ‘P’ स्थल से मुक्त हो जाता है। GTP व स्थानान्तरित कारक EF-G की सहायता से पेप्टीडिल tRNA

'A' से स्थल 'P' स्थानान्तरित हो जाता है। स्थानान्तरण कारक EF-G कों ट्रांसलोकेज (translocase) नाम से भी जाना जाता है इस प्रक्रिया में राइबोसोम mRNA पर 5'-3' दिशा में विस्थापित हो जाता है, जिससे mRNA के A- स्थल पर दूसरा कोडॉन आ जाता रहता है चित्र 11. 13 के अनुसार P स्थल व A स्थल के अमीनों अम्लों के मध्य से पेप्टाइड बंध के बनने से ट्राइ, ट्रेटा पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला निर्मित होती है। mRNA की लम्बाई के साथ राइबोसोम के विस्थापित होने पर mRNA पर स्थित समारम्भ बिन्दु मुक्त हो जाता है। यह पुन: दूसरे राइबोसोम के साथ समारम्भ सम्मिश्र बनाने के लिए तैयार किया रहता है। इस प्रकार एक ही mRNA से अनेक राइबोसोम संग्लन होकर पॉलीराइबोसोम सम्मिश्र (polyribosome complex) निर्मित करते है। प्रोटीन संश्लेषण के समय एक ही mRNA अणु से कई राइबोसोमों को जुड़े हुए प्रेक्षित किया जा सकता है। प्रत्येक राइबोसोमों पर एक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला निर्माणधीन होती है तथा विभिन्न राइबोसोमों पर पोलिपेप्टाइड श्रृंखलाओ का आकार भिन्न- भिन्न होता है (चित्र 11.13 D-E)

चित्र 11.13 में राइबोसोम पर पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला के संश्लेषण को स्पष्ट किया गया है। यूकेरियोटिक जीवों में भी पोलिपेप्टाइड श्रृंखला का लम्बन ऊपर वर्णित प्रोकेरियोट्स की भाँति ही होता है। इस क्रिया में EF_1 EF_2 तथा Ef - Ts की महत्वपूर्ण भूमिका होती है।

D. **पोलिपेप्टाइड श्रृंखला का अवसान (Termination of polypeptide chain) :** जब mRNA की अंतिम कोड अनुदित (Translated) हो जाती है, तब पोलिपेप्टाइड श्रृंखला के निर्माण का अवसान होता है। श्रृंखला का अवसान या अंत तीन समापन कोडोनों में से किसी भी एक के संकेत द्वारा होता है। स्मरणीय है कि तीन समापन कोडोनों (Terminate codons) है: UAA, UAG तथा UGA। ये कोडोनों किसी भी अमीनों अम्ल का संकेत नहीं करती हैं अत: प्रारम्भ में इन्हे निरर्थक त्रिकें (Nonsense triplets) कहते थे। UAA, UAG अथवा UGA में से कोई भी एक त्रिक राइबोसोम के A स्थल के समीप पहुँचती हैं, जहाँ उपयुक्त समापन या मोचन कारकों (Termination or releasing factors) कि सहायता से समापन कोडोन A स्थल से बंधित होकर जटिल बनाती है। प्रोकेरियोटा में तीन मोचन करकों की पहचान की गई हैं, जिन्हे RF_1, RF_2 तथा RF_3 (Releasing Factor 1,2,3) कहते है। ऐसा माना जाता है कि RF_1 द्वारा RF_2 की सक्रीयता को उत्प्रेरित किया जाता है। मोचन कारक द्वारा समापन कोडोनों को पहचाने के अतिरिक्त कुछ अन्य कार्य भी किये जाते है, जैसे कि (i) नवनिर्मित पेलिपेप्टाइड श्रृंखला के अंतिम एमिनो एसिल tRNA का श्रृंखला से विच्छेदन करना (ii) P स्थल से tRNA को मुक्त करना तथा (iii) 70S राइबोसोम का 30S तथा उपइकाईयों में वियोजन (Dissociation) करना। यह कार्य वियोजन कारक (DF, Dissociation factor) कि उपस्थिति में होता है (चित्र 11.31 F-G)।

E. **पेलिपेप्टाइड श्रृंखला का विमुक्तन** (Release of polypeptide chain) :- mRNA की समस्त कोडोनों के अनुसार अमीनों अम्लों के प्रबन्धक, समापन त्रिकों के द्वारा श्रृंखला

निर्माण के अवसान तथा राइबोसोमों के वियोजन के उपरान्त प्लेटफार्म के रूप में कार्य करने वाला mRNA विमुक्त होकर प्रोटीन श्रृंखला को साइटोसोल में मुक्त कर देता है। (चित्र 11.13 H-I)।

F. **पेलिपेप्टाइड श्रृंखला का वलन तथा संसाधन (**Folding and processing of polypeptide chain) : राइबोसोमों पर नवनिर्मित प्रोटीन श्रृंखला विशिष्ट रूप से वलित होकर द्वितीयक तथा तृतीयक संरचनाओं का निर्माण करती है। इन संरचनाओं की प्राप्ति के उपरान्त ही प्रोटीन विशिष्ट कार्यों के सम्पादन के योग्य बनता है। वलन के दौरान रेखीय पेलिपेप्टाइड श्रृंखला, त्रिविमितीय (Three dimensional) अणु में परिवर्तित हो जाती है।

वलन के दौरान प्रोटीन श्रृंखला में कुछ रासायनि परिवर्तन भी होते है, जिन्हें पश्च स्थानांतरित रूपान्तरण (Post translational modification) कहते है। ऐसे कुछ परूपान्तरण या परिवर्तन निम्नांकित हैं :

(a) श्रृंखला के एक सिरे पर स्थित एक अथवा अधिक संख्या में अमीनों अम्लों का पृथक होना।

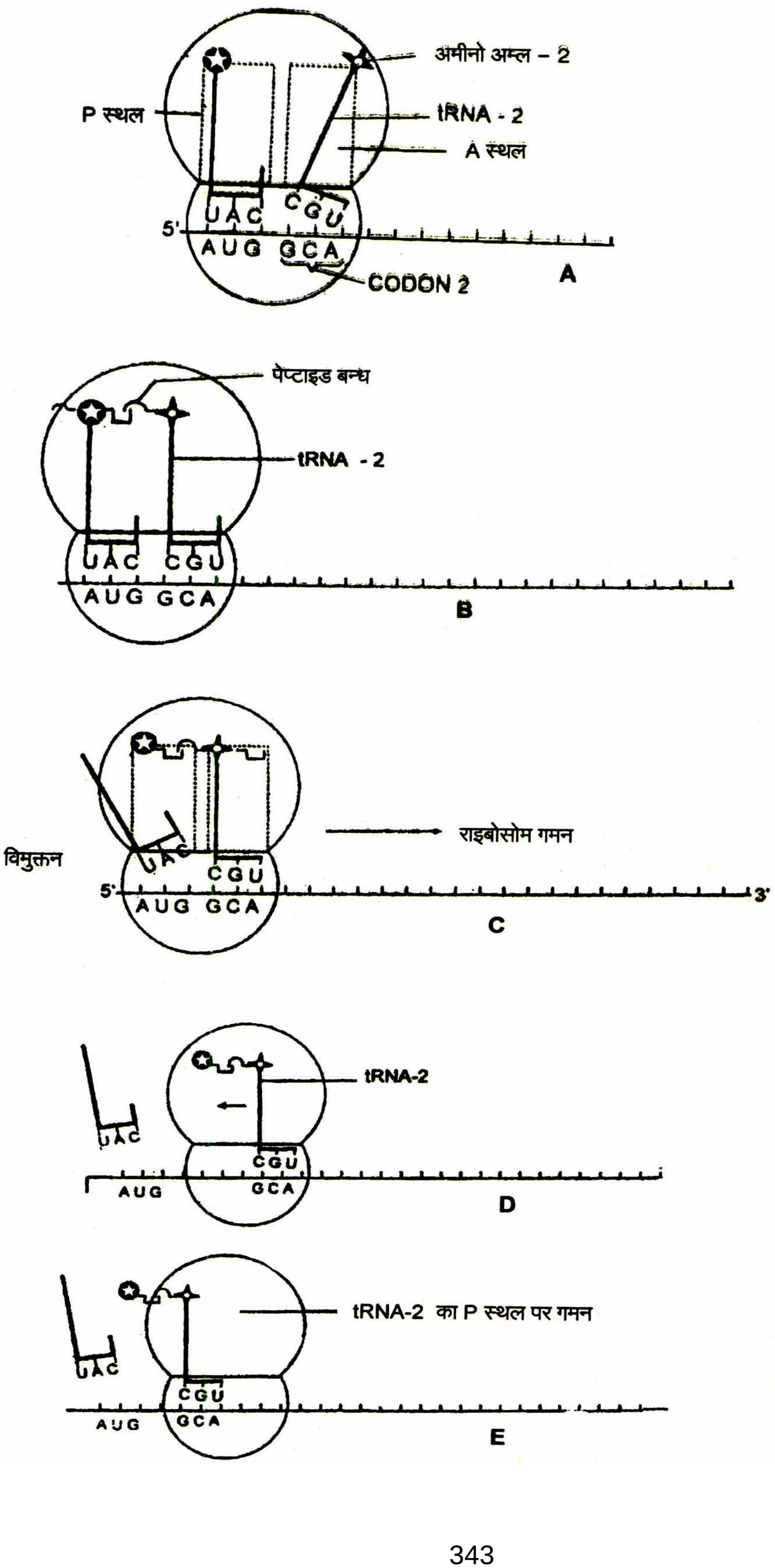
(b) संकेत क्रम (Signal sequence) वाले अमीनों अम्लों का हटाना।

(c) विभिन्न पाश्र्व श्रृंखलाओं, जैसे कार्बोहाइड्रेट श्रृंखलाओं का समायोजन ।

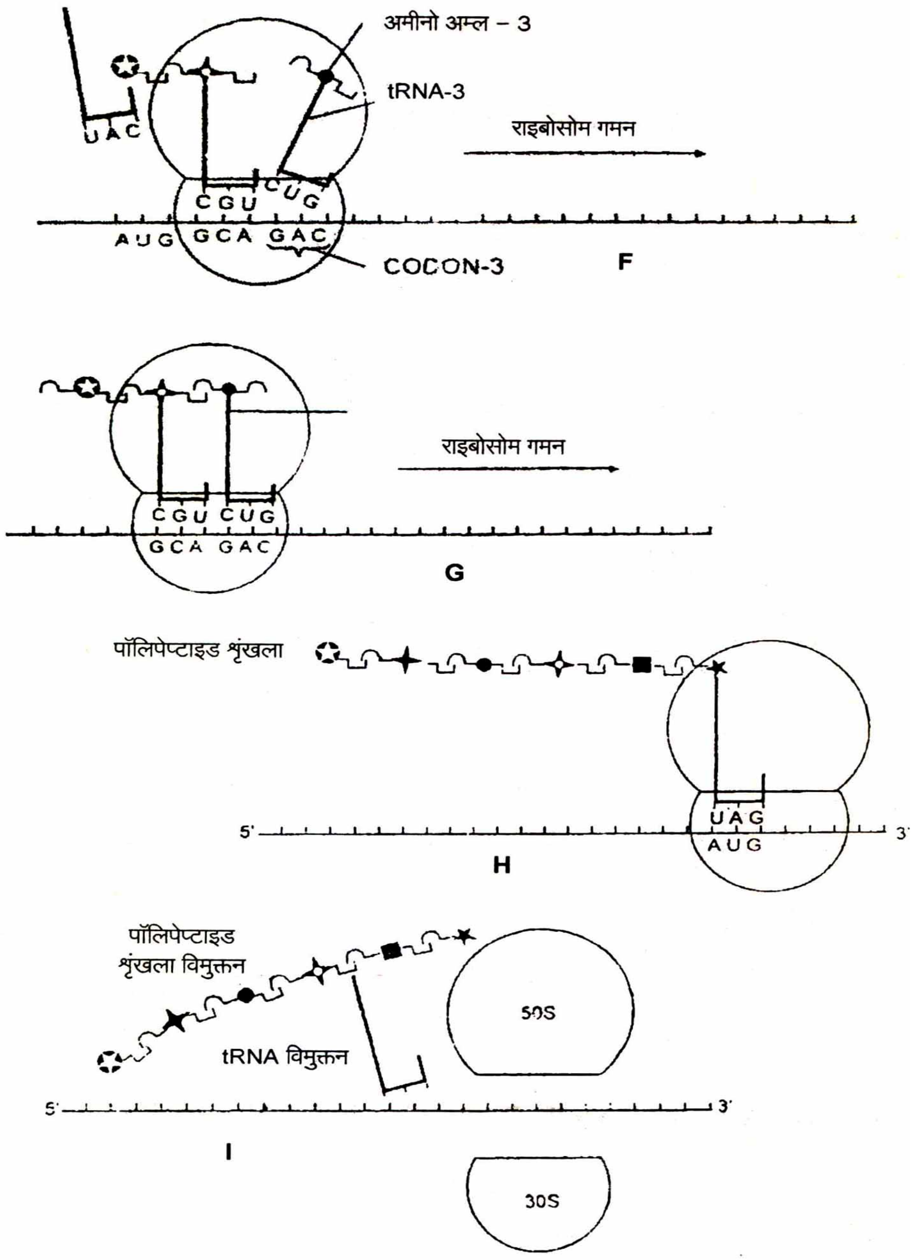
(d) विभिन्न बंधो, जैसे डाइसल्फाइड़ बंधों (गंधक युक्त अमीनों के मध्य) का निर्माण।

(e) एन्जाइम प्रोटीनों में विशिष्ट प्रोस्थैटिक समूहों का संग्लन होना।

इस प्रकार हम देखते हैं कि प्रोटेओन संश्लेषणप्रक्रिया में अमीनों अम्ल तो कच्ची सामग्री अथवा निर्माणकारी खण्डों के रूप में आवश्यक हैं ही, लेकिन इनका क्रमिक विन्यासन कर पोलीपेप्टाइड (प्रोटीन) का निर्माण करना, DNA के निर्देश तथा संकेत पर आश्रित है। वास्तव में प्रोटीन संश्लेषण में न्यूक्लिक अम्लों की महत्ता को वैज्ञानिकों ने बारीकी से अध्ययन कर जीवविज्ञान में एक महत्वपूर्ण उपलब्धि प्राप्त की है, जो विशेष जैवरसायन अभीक्रिया हैं।



अमीनो अम्ल – 2
P स्थल
tRNA - 2
A स्थल
UAC
CGU
5'
AUG GCA
CODON 2
A
पेप्टाइड बन्ध
tRNA - 2
UAC CGU
AUG GCA
B
विमुक्तन
राइबोसोम गमन
UAC
CGU
5'
AUG GCA
3'
C
tRNA-2
UAC
CGU
AUG
GCA
D
tRNA-2 का P स्थल पर गमन
UAC
CGU
AUG
GCA
E



चित्र 11.31 :A-I-A- राइबोसोम (70S) A स्थल पर द्‌वितीय अमीनों एसिल - tRNA का जुडना, B. एक डाइपेप्टाइड का निर्माण, C. P स्थल से प्रथम t-RNA का कोशीकाद्रव्य में विमुक्तन, D.E. कोडोन का गमन एवं tRNA का A से P स्थल पर गमन , F. तृतीय tRNA का A स्थल पर संयूग्मन, G. 5' - 3' दिशा में राइबोसोम का गमन, H. समापन कोडोन पर राइबोसोम का पहुँचना, I. पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला का विमुक्तन तथा राइबोसोम का 30S V 50S उपइकाइयों में वियोजन

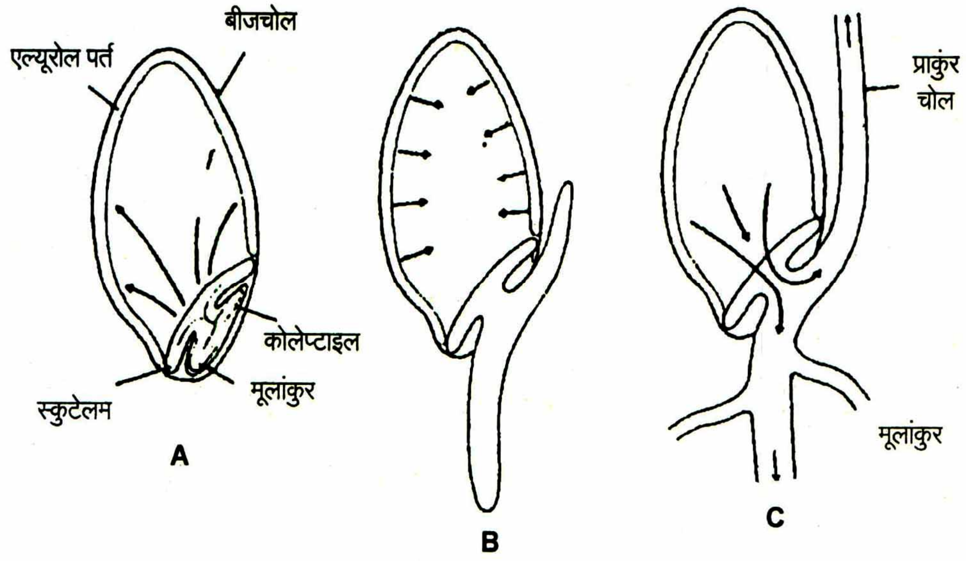
11.3.6प्रोटिंस का जैविक महत्व- बीजांकुरण एवं जीर्णता के समय प्रोटीन परिवर्तन :

प्रोटीन्स कोशिका के ठोस पदार्थ का लगभग 80% भाग होते हैं। कोशिकाओं के गुण जैविक परिवर्तनों एवं प्रक्रियाओं पर आश्रित है, जो एन्जाइमों (प्रोटिन्स) द्वारा नियंत्रित होती है। यहाँ हम दो महत्वपूर्ण जैविक प्रक्रियाओं, बिंजांकुरण एवं जीर्णता में प्रोटीन परिवर्तनों का विशेष उल्लेख करेंगे।

बीजांकुरण के दौरान प्रोटीन परिवर्तन (Change in protein during seed germination) :

बीजांकुरण के समय संचित पदार्थों, कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन एवं लिपिड्स का एन्जाइमों द्वारा जल उपघटन या अवक्रमण (Degradation) होता है। इस तरह बीजांकुरण के समय इन जैवरसायनों की मात्रा बीज में कम होती है, परंतु वृद्धि के साथ मूल व प्ररोह में बढ़ती जाती है। बीजांकुरण के समय बीज में DNA खण्डों से आवश्यक mRNA का राइबोसोम के साथ सहयोग कर प्रोटीन संश्लेषण एवं प्रोटीन अपघटनी एन्जाइम प्रोटीयेज का सक्रियण।

बीजों में संचित प्रोटीन का परिचालन (Mobilization of proteins) : प्राय: लेग्यूम पौधों के बीजों में प्रोटीन की अधिकांश मात्रा संचित भोजन के रूप में बीजोंपत्रो के रूप में पाई जाती है, जबकि अनाज के पोधों में प्रोटीन प्राय: स्टार्च भ्रूण पोष एवं अधिकांश मात्रा में एल्यूरोन पर्त के रूप में पाये जाते है। इसके अतिरिक्त कुछ एक बीज पत्री बीजों के स्कूटैलम एवं भ्रूण अक्ष में भी पाये जाते है।



चित्र 11.14 : A -C बीज में अंकुरण के समय संचित पदार्थों का अपघटन व परिचालन।

बीज के अंकुरण के समय संचयी प्रोटिनों का जल अपघटन प्रोटीन विघटनकरी एन्जाइमों, क्रमश: प्रोटियेस एवं पेप्टेस द्वारा होकर अमीनों एसिड्स (Amino acids) एवं पेप्टाइड्स का निर्माण होता है। अपघटन के पश्चात बनने वाले ये पदार्थ स्कूटलैम एवं भ्रूण पोष से होते हुए परिवर्धनशील भ्रूण में स्थानान्तरित हो जाते है, जहाँ इनके द्वारा आवश्यक नयी प्रोटीनों को

संश्लेषण होता है। लेग्यूम एवं अन्य द्विबीजपत्री पौधों के बीजों में अनेक प्रकार के प्रोटीनों का संश्लेषण होता है। संश्लेषण बीजों के अंकुरण के दौरान होता है, जबकि कुछ एन्जाइम पहले से ही बीजों में मौजूद होते है। इन प्रोटीनलयी एन्जाइमों को दो वर्गों में बाँटा जा सकता है (a) प्रोटिनेस (Proteinases) ; (b) पप्टाइडेस (Peptidase)

प्रोटीनेस एन्जाइम प्रमुख रूप से बड़े प्रोटीन अणुओं पर क्रिया करके उनको पॉलिपेप्टाइड (Polypeptide) एवं पेप्टाइड (Peptide) के रूप में विघटित कर देते है। इसके बाद इन पॉलिपेप्टाइडेस पर पेप्टाइडेस एन्जाइम क्रिया कर इनकों छोटे पेप्टाइड अणुओं एवं श्रमाइड्स में परिवर्तित कर देते है।

$$\text{प्रोटीन} \xrightarrow{\text{प्रोटीनेस}} \text{पेप्टाइडेस} \xrightarrow{\text{पेप्टाइडेस}} \text{अमीनों अम्ल}$$

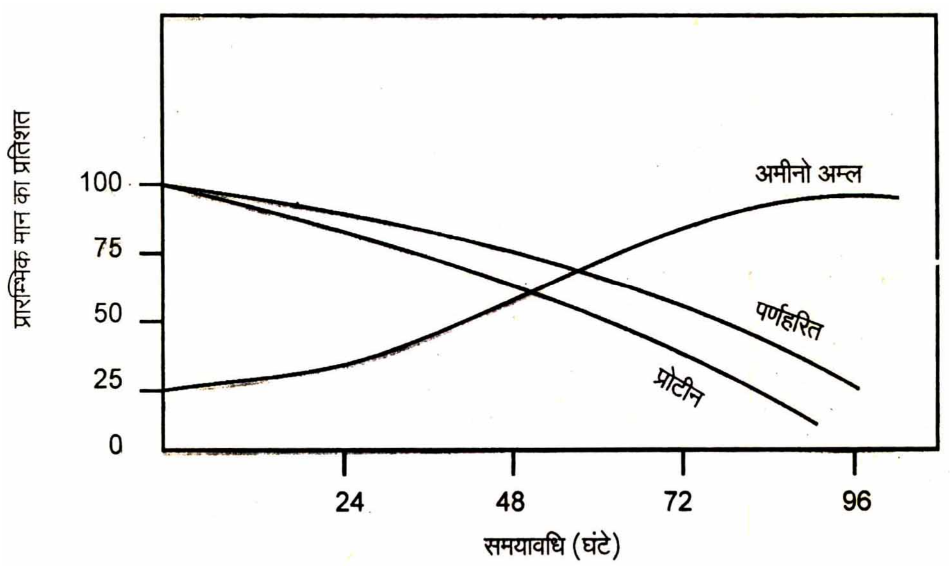
बीजों से संचयी ऊतकों से नवांकुर पौधों के इच्छित भागो में नाइट्रोजनी पदार्थ का स्थानान्तरण अमीनों अम्लों के बजाय कुछ अन्य अमाइड यौगिकों, जैसे एस्पार्जिन (Aspargine), ग्लूटेमिन (Glutamine) एवं कुछ अन्य पदार्थो के रूप में होता है। यही कारण है कि लेग्यूम बीजों के बीजपत्रो में एस्पार्जिन सिन्थेटेज एवं ग्लूटेमिन सिन्थेटेज इत्यादि एन्जाइमों की सक्रियता बढ़ जाती है। लेकिन अनेक पौधों के बीजों में नाइट्रोजनी पदार्थों का स्थानान्तरण (नवोदभिदों में) अमीनों अम्लो के रूप में होता है। अरण्डी (Castor) के बीज में प्रोटीनभ्रूणपोष में पायी जाती है एवं इस प्रोटीन के अपघटन के पश्चात बनने वाले अमीनों एसिड **ग्लूटामीन** नामक परिवर्तन (अवक्रमण या प्रोटीनलयन) की विस्तृत अध्ययन मुख्यत: अंकुरित हो रही है, लेकिन सम्पूर्ण प्रक्रिया अभी भी वैज्ञानिकों के लिए चुनौती है।

जीर्णता के समय प्रोटीन परिवर्तन (Protein changes during senescence):

कोई भी जीव अमर (Immortal) नहीं हैं, क्योंकि एक निश्चित **कालावधि** (life period) के बढ़ उसकी मृत्यु होना शाश्वत सत्य है। एक पादप के जीवनकाल में क्रमश:

बीजांकुरण → नवोद्भिद् → परिपक्व पादप → काल प्रभावन (Ageing) →जीर्णता →मृत्यु प्रावस्थायें पायी जाती हैं। परिपक्व पादप में होने वाली सभी अवतनकारी क्रियायें (Deteriarative processes), जों इसके मृत्यु का कारण बनती है। जीर्णता कहलाती है। (क्लिकिन्स, 1987) । पादप कोशिका में न्यूक्लिक अम्लों, प्रोटीनों तथा प्रोटिऐज व राइबोन्यूक्लिऐज कि सक्रियता में हिने वाले परिवर्तन जीर्णता का कारण है।

जीर्णता के समय पत्तियों में प्रोटीन कि मात्रा में तेजी से कमी आती है।- (i) protein संश्लेषण की दर में कमी अर्थात व नये प्रोटीनों का उत्पन्न न होना व (ii) प्रोटीन अपघटन की दर में वृद्धि। प्रोटीन्स का अपघटन अमीनों अम्लों में एचओटीए एचएआई, जिससे पौधों (प्राय: पत्तियों) में नाइट्रोजन की मात्रा में वृद्धि एवं पोशाक तत्वों का अन्य अंगो में स्थानान्तरण। जल अपघटनकारी एन्जाइम, जैसे प्रोटीएज एवं न्यूक्लिएज की सक्रियता में बढ़ोतरी के साथ DNA पॉलिमेरेज में तेजी से कमी के कारण उपाचयी क्रियायें कम हो जाती हैं तथा जीर्णता उत्पन्न हो जाती है। (चित्र 11.15)।



चित्र 11.15 : जीर्णता के समय प्रोटील अवक्रमक एवं पर्णविगलन

11.4 अनुभागीय सारांश (Sectional Summary)

पादप उपापचयी क्रियाओं में प्रोटीन्स सर्वोच्च स्थान पर अवस्थित है। पादप देह में सम्पन्न होने वाली अनेकानेक जैविक क्रियाओं की सफलता मूलत: विभिन्न प्रोटीन्स (एन्जाइम) के द्वारा नियंत्रित है। प्रोटीन प्राय : जटिल, भीमकाय अणु नहाई, जिसमे अमीनों अम्लों की विस्तृत संख्या क्रमबद्ध रूप से संयोजित होती है। विभिन्न प्रोटीनों के निर्माण में 20 अमीनों अम्ल भाग लेते है। प्रत्येक अमीनों अम्ल एक इकाई संरचना का कार्य करता है। इस प्रकार एक प्रोटीन अन्य प्रोटीनों से इनके अमीनों अम्लों के क्रम या संख्या, प्रकार एवं प्रबंध अधि में भिन्न होता है। प्रोटीन संश्लेषण एक अत्यन्त जटिल, लेकिन सुव्यवस्थित प्रक्रिया है, जो DNA द्वारा अत्यंत दक्षतापूर्वक नियंन्त्रित की जाती है। DNA के अलावा विभिन्न प्रकार के RNAs तथा अमीनों अम्लें भी प्रोटीन संश्लेषण के लिए आवश्यक एचएआई। DNA के अणुओं में उपस्थित नाइट्रोजनी क्षारक एक निश्चित एवं विशेष अनुक्रम में अणुवांशिक कूट या संकेत का कार्य करते है। प्रोटीन संश्लेषण की क्रिया केंन्द्रीय डोग्मा के अंतर्गत दो महत्वपूर्ण चरणों अनुलेखन एवं अनुलिपिकरण या प्रोटीन लिपि में सम्पन्न होती है। प्रोटीन एवं न्यूक्लिक अम्ल की संरचना में विशेष संबंध पाया जाता है, जिसे संक्षिप्त रूप में इस प्रकार इंगित कर सकते हैं।

न्यूक्लिक अम्ल	**प्रोटीन**
1. पॉलीन्यूक्लिकयोटाइड से निर्मित	1. पॉलीपेप्टाइड से निर्मित
2. चार प्रकार के न्यूक्लिकयोटाइड का पाया जाना (DNA) एवं RNA में।	2. 20 विभिन्न प्रकार के अमीनों अम्लों का पाया जाना
3. एक पॉलीन्यूक्लि	3. एक पॉलीपेप्टाइड में एक स्वतंत्र - COOH समूह व एक - NH_2 समूह (दोनों सिरो पर) की उपस्थिति
4. योटाइड श्रृंखला में 5' से 3' सिरे की ध्रुवता	
5. न्यूक्लिकयोटाइड फॉसफेट डाई एस्टर	4. अमीनो अम्ल पेप्टाइड बंधों से सहलग्न

बंधो से सहलग्न	
6. अनुवांशिक पदार्थ	5. एन्जाइमी पदार्थ
7. केंन्द्रक एवं जीवद्रव्य में उपस्थित	6. प्राय: कोशिका द्रव्य में उपस्थित जटिल अणु
8. एक सूत्रीय या द्विसूत्रीय संरचना	7. प्राथमिक से चतुष्ट संरचना की स्थिति

बोध प्रश्न

1. अमीनों अम्ल क्या होते है? पादप में प्रोटीन संश्लेषण में कितने अमीनों अम्ल भाग लेते है?

....

....

2. सरल प्रोटीन्स से क्या अभिप्राय है? इनके तीन प्रकार बताइये।

....

....

3. सेंट्रल डोग्मा क्या है?

....

....

4. प्रोटीन संश्लेषण के दौरान अमीनों अम्लों का सक्रियकरण किस प्रकार होताहै ? ये अपनी अम्ल tRNA से कैसे चिपकते है?

....

....

5. पेप्टाइड बन्ध क्या है ? यह कैसे बनता है।

....

....

6. पेप्टाइड श्रृंखला के समापन के कोडोन कोन से हैं।

....

....

7. प्रोटीन की बिता लहरिया शीट से क्या अभिप्राय है?

....

....

8. आमीनो अम्लों के संश्लेषण की डो विधियाँ बताइये

....

....

9. प्रोटीन संश्लेषण के प्रमुख दो सोपोनों का उल्लेख कीजिये।

....

....

10. प्रोटीन संश्लेषण में न्यूक्लिक अम्लों की संक्षिप्त भूमिका बताइये।

....

....

11.5 प्रोटीन्स - जैविक महत्व या उपयोगिता (Importance)

स्मरणीय है की एन्जाइमों का अधिकांश भाग प्रोटीनों से निर्मित होता है। सजीवों में प्रोटीन्स का जैविक महत्व निम्न बिन्दुओं में स्पष्ट कर सकते है:

1. प्रोटीन्स शरीर की वृद्धि एवं अणुरक्षण (Growth and Maintence) mein महत्वपूर्ण योगदान देते है। ये संरचनात्मक घटक के रूप में पादप वृद्धि एवं कोशिकीय प्रोटीन्स अनुरक्षण हेतु अमीनों अम्लों की पूर्ति करते है।
2. प्रोटीन्स शरीर की विभिन्न प्रक्रियाओं, कोशिकीय विकास आदि का नियंत्रण करते है।
3. जैविक अभिक्रियाओं में प्रोटीन्स उत्प्रेरण (catalyzer) का कार्य करते हैं, जो शरीर के तापक्रम Ph, संश्लेषण कारक अधि जैविक क्रियाओं को उत्प्रेरित करते है।
4. अणुओं का अभिगमन (Transport of molecules) के रूप में प्रोटीन्स अनेक आयनों व हीमोग्लोबिन अधि अणुओं का अभिगमन प्रोटीन मार्गों (Protein channels) द्वारा होता है।
5. हिस्टोन प्रोटीन युकैरियोटिक गुणसूत्र के DNA के चारों ओर लिपटकर क्रोमेटिन बनाता है, जो DNA का सक्रिय रूप है तथा यह प्रोटीन संश्लेषण में उपयोगी होता है।
6. प्रोटीन्स उपापचयी अभिक्रियाओं, वृद्धि व प्रतिरक्षी तंत्र को नियंत्रित करते हैं।
7. शरीर में ऊर्जा के स्रोत के रूप में इनका जैविक महत्व है, क्योंकि शरीर में सम्पूर्ण ऊर्जा का लगभग 12% भाग प्रोटीन से ही प्राप्त किया जाता है।
8. ग्लइकोप्रोटीन्स (ग्लूकान + प्रोटीन्स) शरीर कि जीवाणुओं वायरसों एवं प्रोटीनलयनकारी एन्जाइमों से रक्षा करते है।

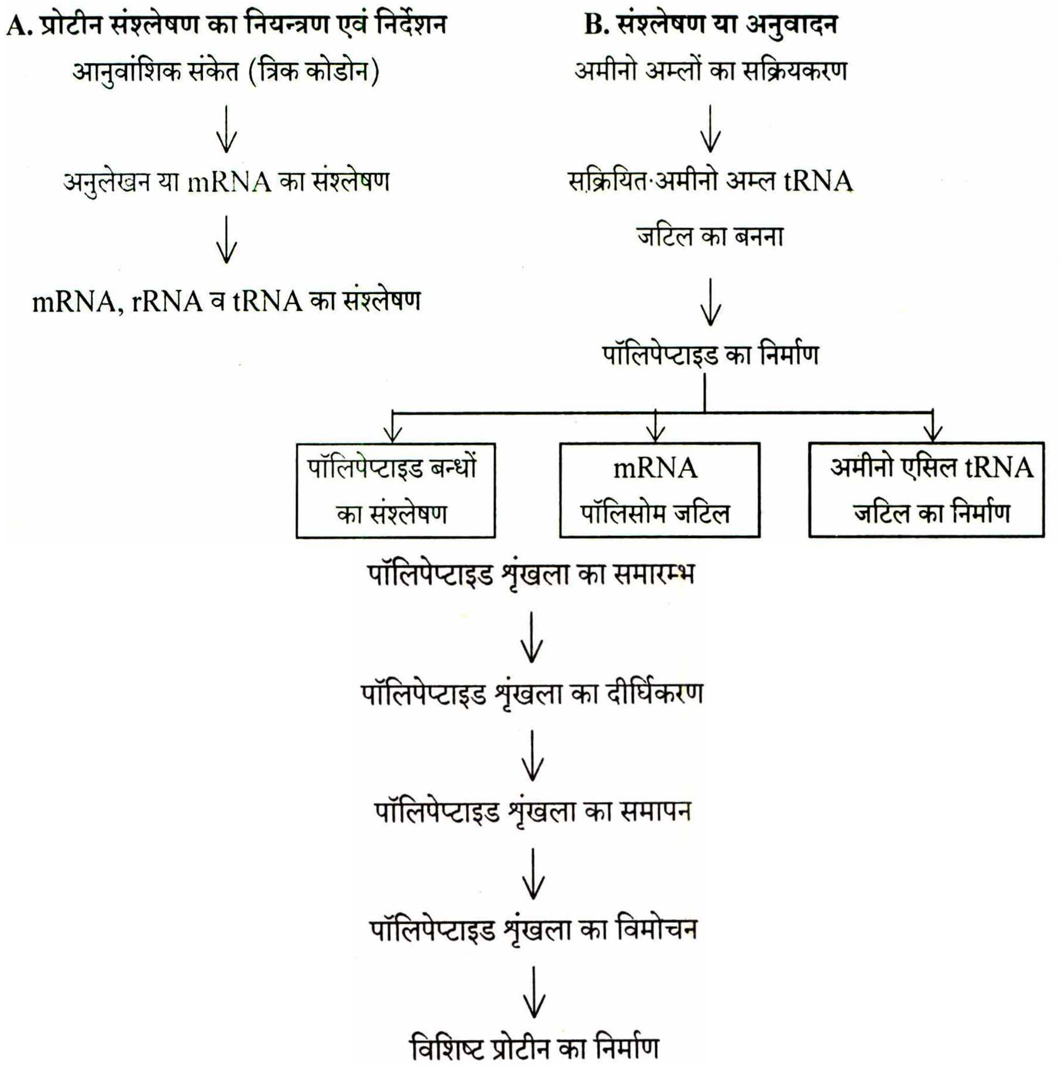
11.6 सारांश

प्रोटीन अत्यंत महत्वपूर्ण जैविक अणु है, जों कि जीवों के शरीर में संपन्न होने वाली रसायनिक क्रियाओं से संबन्धित होते है। रसायनिक रूप से प्रोटीन अमीनों अम्लों के बहू लक हैं जिनमें अमीनों अम्ल जुड़कर एक पेप्टाइड श्रृंखला निर्मित करते है। प्रोटीनों कि संख्या हजारों में होती है, लेकिन इनका निर्माण 20 प्रकार के अमीनों अम्लों द्वारा ही किया जाता है। यह DNA द्वारा नियंत्रित एक अति जटिल प्रक्रिया है। प्रोटीन संश्लेषण में राइबोसोमों RNA का भी महत्वपूर्ण योगदान है। एक अमीनों अम्ल में α - कार्बन पर एक अम्लीय कार्बोकेसिल (-COOH) व एक क्षारीय अमीनों ($-NH_2$) समूह पाया जाता है। प्राकृतिक रूप से कई प्रकार के अमीनों अम्ल पाये जाते हैं तथा भौतिक रूप से रंगहीन क्रिस्टलीय पदार्थ है।

अमीनों अम्लों के संघनन से प्रोटीन्स का निर्माण होता है, जों स्थायी प्रकृति के नाइट्रोजन कार्बनिक पदार्थ हैं। प्रोटीन्स संरचना में प्राय: तीन प्रकार या चार स्तर क्रमश: प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक व चतुर्थ प्रदर्शित करते हैं। प्रोटीन्स को इनके विलेयता व रासायनिक

विविधता के आधार पर तीन वर्गों , क्रमशः सरल, संयुग्मी एवं व्युत्पन्न प्रोटीनों में वर्गीकृत करते है।प्रोटीनों का अधिकतम संश्लेषण पौधे के वृद्धिशील अंगों एवं संग्रहकारी अंगों की कोशिकाओं में होता है। इसके लिए आवश्यक अमीनों का सम्भरण पत्तियों व मूलों द्वारा किया जाता है।

प्रोटीन संश्लेषण को अभिनव खोजो के आधार पर स्पष्ट रूप से निम्न 2 शीर्षकों द्वारा परिभाषित किया जा सकता है:



वास्तव में प्रोटीन संश्लेषण में DNA की भूमिका की खोज जैव रसायन विज्ञान के इतिहास में एक मील का पत्थर है, क्योंकि शरीर की 12% ऊर्जा एवं 80% शुष्क भार के रूप में इस जैव रसायन (प्रोटीन) का अध्ययन विशेष महत्व का है ।

11.7 शब्दावली (Glossary)

त्रिक (Triplet): त्रिक व कोडोन समानार्थ है । mRNA की एक लघु इकाई, जो अमुक अमीनो अम्ल के लिये विशिष्ट होती है, त्रिक कहलाती है ।

आनुवंशिक कूट (Genetic code) : एक अमुक प्रोटीन के संश्लेषण के लिये आवश्यक जीन से प्रदत्त सम्बन्धित सूचनाओं के समुच्चय (set) को आनुवांशिक कूट कहते हैं ।

अनुलेखन (Transcription): DNA द्वारा mRNA का निर्माण ।

अनुवादन (Translation): mRNA तथा अमीनो अम्ल युक्त tRNA का संयुग्मन एवं पॉलिपेप्टाइड का निर्माण ।

पॉलिपेप्टाइड (Polypeptide): प्रोटीन का दूसरा नाम । अमीनो अम्लो की एक राइबोसोम पर निर्मित शृंखला ।

पॉलिसोम (Polysome) : प्रोटीन संश्लेषण की क्रिया में राइबोसोमों के पंक्तिबद्ध होने को अर्थात् राइबोसोमो के समूह को पॉलिसोम कहते हैं ।

11.8 सन्दर्भ ग्रन्थ (References)

1. सिंह, पाण्डे एवं जैन, 2005 : पादप शरीर-क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन । रक्खोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ ।
2. श्रीवास्तव एच. एस. 2004 : पादप शरीर क्रिया विज्ञान एवं जैव रसायन, रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ ।
3. पी. के. गुप्ता, 2005. आण्विक जीव विज्ञान, रस्तोगी पब्लिकेशन्स, मेरठ ।
4. वर्मा एवं चौधरी, 2006. पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन, अलका पब्लिकेशन्स, अजमेर ।
5. त्रिवेदी, शर्मा एवं धनखड , 2006. पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर ।
6. भाटिया एवं पाराशर, 200 प्लान्ट फिजियोलोजी, कृष्णा ब्रदर्श, नई दिल्ली ।

11.9 बोध प्रश्नों के उत्तर (Answer of SAQs)

1. वे नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थ हैं, जिनमें अमीनो वर्ग (-NH2) व अम्लीय कार्बोक्सिल वर्ग (-COOH) दोनों ही पाये जाते हैं । 20 अमीनो अम्ल प्रोटीन संश्लेषण में भाग लेते हैं ।
2. जिनके जल विश्लेषण के उपरान्त सिर्फ अमीनो अम्ल प्राप्त हों, सरल प्रोटीन कहलाते हैं । एल्ब्यूमिन्स, ग्लोब्यूलिन्स, हिस्टोन्स, ग्ल्यूटेलिन्स आदि इसके उदाहरण हैं ।
3. डी. एन. ए. से अनुलेखन द्वारा mRNA का निर्माण व mRNA के न्यूक्लियोटाइडों के क्रम का अमीनो अम्लो के क्रम के रूप में अनुवाद सेन्ट्रल डोग्मा या सूचनाओं का एक दिशिक प्रक्रम कहलाता है ।
4. अमीनो अम्ल एन्जाइम, अमीनो एसिल- सिन्थेटेज तथा ATP द्वारा सक्रियकरण होता है । यह सक्रिय अमीनो अम्ल t-RNA से संयोग कर अमीनो एसिल t-RNA जटिल बनाता है ।
5. अमीनो अम्ल के संघनन के दौरान पेप्टाइड बंध -NH-CO- बनता है अर्थात् डाइपेप्टाइड के मध्य निर्मित बन्ध होता है ।
6. तीन समापन कोडोन -UAA, UAG एवं UGA है ।

7. द्वितीयक प्रोटीन में दो या दो से अधिक पालिपेप्टाइड श्रृंखलाओं के जुड़ने को β □-लहरिया शीट कहते हैं । यह हाइड्रोजन बन्धों से बनता है ।
8. अमीनो अम्लो के संश्लेषण की दो विधियाँ:
   (i) अपचयशील एमाइनीकरण व
   (ii) विपक्ष एमीनन हैं ।
9. प्रोटीन संश्लेषण के दो प्रमुख सोपान अनुलेखन व अनुवादन होते हैं ।
10. प्रोटीन संश्लेषण में DNA एवं RNA दोनों ही न्यूक्लिक अम्लो की प्रमुख भूमिका होती है । DNA द्वारा अनुलेखन अर्थात् mRNA का निर्माण तथा mRNA तथा tRNA का संयुग्मन, यही पॉलिपेप्टाइड (प्रोटीन) निर्माण का समारम्भन है ।

11.10 अभ्यासार्थ प्रश्न (Practice questions)

1. प्रोटीन की प्राथमिक, द्वितीयक व तृतीयक संरचना से क्या अभिप्राय है?
2. उदासीन, अम्लीय, क्षारीय व विषमचक्रीय अमीनो अम्लो को समझाइये ।
3. प्रोटीन की संरचना का वर्णन कीजिए ।
4. हरी पत्ती में अमीनो अम्ल संश्लेषण की विधियाँ लिखिये ।
5. प्रोटीन चरण के विभिन्न चरणों को समझाइये ।
6. विभिन्न प्रकार के RNAs की संरचना, निर्माण तथा प्रोटीन संश्लेषण में इनकी भूमिका लिखिये ।
7. प्रोटीन संश्लेषण में पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला का प्रारम्भन दीर्घिकरण. समापन किस प्रकार होता है? समझाइये ।
8. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिये :
   i. प्रोटीन्स के गुणधर्म
   ii. राइबोसोम
   iii. प्रोटीन का बीजांकुरण के समय परिवर्तन
9. प्रोटीन्स जीवन की निर्माणकारी इकाइयाँ हैं । इस कथन को समझाइये ।
10. टिप्पणी लिखिये :
    i. आनुवंशिक कूट
    ii. पेप्टाइड एवं हाइड्रोजन बन्ध
    iii. प्रोटीनों का वर्गीकरण
    iv. अमीनो अम्लों का महत्व

इकाई 12 : एन्जाइम (Enzymes)

इकाई की रूपरेखा

12.0 उद्देश्य
12.1 प्रस्तावना
12.2 एन्जाइम की खोज
12.3 एन्जाइम का वितरण
12.4 एन्जाइम का नामकरण, वर्गीकरण एवं E.C संख्या
12.4.0 क्रियाधार पर आधारित नामकरण
12.4.1 रासायनिक अभिक्रिया के आधार पर नामकरण
12.4.2 क्रियाधार व उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर नामकरण
12.4.3 क्रियाधार व उत्प्रेरित अभिक्रिया की प्रकार पर आधारित
12.4.4 आधुनिक नामकरण व वर्गीकरण
12.5 मुख्य वर्ग
12.6 एन्जाइम के गुण
12.7 एन्जाइम संरचना
12.8 एन्जाइम की आण्विक संरचना एवं सक्रिय स्थल
12.9 एन्जाइम क्रियाशीलता की क्रियाविधि
12.10 एन्जाइम गतिकी
12.11 सारांश
12.12 शब्दावली
12.13 संदर्भ ग्रन्थ
12.14 बोध प्रश्नों के उत्तर
12.15 अभ्यास प्रश्न

12.0 उद्देश्य (objective)

इकाई का उद्देश्य

(1) एन्जाइम्स क्या होते हैं, जीवित कोशिकाओं में इनका क्या महत्व है ।

(2) इनकी खोज किसने की, इनके नामकरण एवं EC संख्या के बारे में जानकारी प्राप्त करना ।

(3) एन्जाइम्स के गुण एवं लक्षण जानना ।

(4) इनकी क्रियाशीलता की क्रियाविधि, गतिकी, Km मान व सक्रिय स्थल का बोध कराना ।

12.1 प्रस्तावना (Introduction)

कुहन (Kuhne, 1878) ने सर्वप्रथम एन्जाइम शब्द का प्रयोग किया था तथा एन्जाइम शब्द की उत्पत्ति ग्रीक भाषा से हुई है (EN=inZyme = Yeast) एन्जाइम जटिल प्रोटीन यौगिक होते हैं

तथा इनका निर्माण केवल जीवित कोशिकाओं में ही होता है । ये वे कार्बनिक पदार्थ होते हैं, जो जीवित कोशिकाओं में रासायनिक अभिक्रियाओं को नियन्त्रित तथा निर्देशित करते हैं । वे कोशिकीय पदार्थ जिन पर एन्जाइम अभिक्रिया करते हैं, अभिकारक (substrate) कहलाते हैं तथा अभिक्रिया के अन्त में बनने वाले पदार्थ उत्पाद (Product) कहलाते हैं जबकि एन्जाइम अपरिवर्तित रहते हैं । इस प्रकार एन्जाइम केवल उत्प्रेरण का कार्य करते हैं । "एन्जाइम वे प्रोटीन यौगिक हैं, जो सजीव कोशिकाओं में रासायनिक अभिक्रियाएँ उत्प्रेरित करते हैं" या हम यह भी कह सकते हैं कि "एन्जाइम सरल अथवा जटिल प्रोटीन अणु होते हैं, जो विशिष्ट उत्प्रेरण का कार्य करते हैं"। इन्हें जैव उत्प्रेरक (biocatalysts) तथा जैव मध्यस्थ (Biological middlemen) आदि नामों से भी जाना जाता है ।

एन्जाइम तथा अकार्बनिक उत्प्रेरकों में कुछ समानताएँ पाई जाती हैं जो निम्न प्रकार है:

(1) दोनों रासायनिक अभिक्रिया के अन्त में अपरिवर्तित रहते हैं तथा दोनों बार-बार प्रयुक्त होते रहते हैं ।

(2) दोनों ही अत्यन्त कम सान्द्रता में प्रयुक्त होते हैं ।

(3) ये दोनों उत्क्रमणीय अभिक्रिया (reversible reaction) की साम्यावस्था को परिवर्तित नहीं करते हैं ।

(4) दोनों ही अभिक्रिया को प्रारम्भ (initiate) नहीं करते हैं अपितु अभिकारकों की सक्रियण ऊर्जा (activation energy) कोकम कर अभिक्रिया की दर बढ़ाते हैं ।

(5) दोनों ही क्रियाधार / अभिकारक के साथ मध्यवर्ती अस्थायी सम्मिश्र (complex) का निर्माण करते हैं ।

एन्जाइम अकार्बनिक उत्प्रेरकों से निम्न भिन्नता दर्शाते हैं:

(1) अकार्बनिक उत्प्रेरक सूक्ष्म अकार्बनिक अणु या आयन होते हैं, जबकि एन्जाइम जटिल प्रोटीन अणु होते हैं, जो त्रिविम (three-dimensional) संरचना प्रदर्शित करते हैं ।

(2) अकार्बनिक उत्प्रेरक अनेक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित कर सकते हैं, जबकि एन्जाइम विशिष्ट क्रियाधार पर ही सक्रिय होते है|

(3) एन्जाइम pH तथा तापमान के प्रति अधिक संवेदी (sensitive) होते हैं अकार्बनिक उत्प्रेरकों की तुलना में ।

(4) एन्जाइम की उत्प्रेरण क्षमता अकार्बनिक उत्प्रेरकों की तुलना में अधिक होती है ।

(5) अकार्बनिक उत्प्रेरकों की सक्रियता किसी नियन्त्रक अणु द्वारा नियंत्रित नहीं होती जबकि एन्जाइम की सक्रियता विशिष्ट नियन्त्रक अणुओं द्वारा नियंत्रित होती है ।

12.2 एन्जाइम की खोज (Discovery of Enzymes)

मानव द्वारा प्राचीनकाल से ही एन्जाइम का अनुप्रयोग किया जाता रहा है । पौराणिक ग्रन्थ ऋग्वेद (Rigveda) में एल्कोहालिक किण्वन का उल्लेख मिलता है । किण्वन प्रक्रिया द्वारा ही ग्रीक निवासी भी मदिरा (wine) का उत्पादन करते थे । इनके अतिरिक्त प्राचीनकाल से ही पनीर, डबलरोटी तथा सिरका आदि का निर्माण होता रहा है । ये सभी उत्पाद एन्जाइम सक्रियता

का परिणाम है । सर्वप्रथम रेने रियमुर (Rena Reamur, 1752) ने एन्जाइम क्रिया का अध्ययन किया तथा बताया कि बाज (Kite) का गैस्ट्रिक जूस भोजन को पचाता है । क्लॉड बर्नार्ड (Claude Bernard) ने बताया कि यकृत रस (Pancreatic juice) स्टार्च, प्रोटीन तथा वसा का अपघटन कर सकता है । डब्रनफॉट (Dubrunfaut, 1830) ने अध्ययन किया कि "माल्ट निस्तार " (Malt extract) स्टार्च को शर्करा में परिवर्तित करने में संक्षम होता है । अनेक वैज्ञानिकों बर्जिलियस (Berjelius), गैलूसाक (Gay-lusac) तथा लुई पाश्चर (Kuhan (,1860) आदि ने पाया कि यीस्ट कोशिकाओं में उपस्थित किण्व (ferment) शर्करा को एल्कोहॉल में परिवर्तित करता है । कुहन (Kunhan, 1878) ने यीस्ट के "किण्व" के लिए एन्जाइम (Enzyme : meaning in yeast) शब्द का प्रयोग किया । एडवार्ड बुक्नर (Edward Buchner, 1897) ने खोज की कि यीस्ट कोशिका से प्राप्त किण्व सार (ferment extract) उसी प्रकार शर्करा के घोल में किण्वन करता है जैसे यीस्ट की जीवित कोशिकाएँ करती है । इस सार (extract) को जाइमेस (Zymase) नाम दिया गया जो अब कुछ एन्जाइम का मिश्रण माना जाता है ।

जे. बी. सुमनर (J.B. Sumner, 1926) ने सर्वप्रथम यूरीएज (urease) नामक एन्जाइम को शुद्ध क्रिस्टल रूप में विमुक्त करने में सफलता प्राप्त कीं तथा यह निष्कर्ष निकाला कि एन्जाइम प्रोटीन के बने होते हैं । यह सुमनर का महत्वपूर्ण निष्कर्ष था क्योंकि इससे पूर्व जे. नार्थरॉप (J. Noorthrop, 1930-1936) ने पेप्सिन (Pepsin) ट्रिपसिन (Trypsin) तथा कीमोट्रिप्सिन (Chaemotripsin) एन्जाइमों को शुद्ध क्रिस्टल रूप में विमुक्त किया तथा एन्जाइमों को प्रोटीन प्रकृति को प्रमाणित (confirmed) किया ।

अब तक एक हजार से भी अधिक एन्जाइम ज्ञात है तथा इनमें से अनेक को शुद्ध क्रिस्टल रूप में विमुक्त किया जा चुका है । इनमें से कुछ एन्जाइम की अमीनो अम्ल श्रृंखला तथा त्रिविमिय संरचना (three-dinemsional structure) का अध्ययन किया जा चुका है ।

12.3 एन्जाइम का वितरण (Distribution of Enzymes)

एन्जाइम का निर्माण जीवित कोशिकाओं में होता है, ये सभी प्रोटीन होते हैं । प्रोटीन यौगिक होने के कारण एन्जाइम का उत्पादन जीनों (genes) के द्वारा नियन्त्रित होता है । एन्जाइम कोशिकाओं के अन्दर अथवा कोशिकाओं के बाहर कार्य कर सकते हैं । अगर एन्जाइम जिन कोशिकाओं में संश्लेषित होते हैं, वहीं कार्य करते हैं तब उन्हें अन्त : एन्जाइम (endoenzyme) अथवा अन्तर्कोशिक एन्जाइम (inyra-cellular anzymes) कहते हैं । इसके विपरीत कोशिकाओं के बाहर कार्य करने वाले एन्जाइम बहिएन्जाइम (exoenzyme) अथवा बहिर्कोशिक एन्जाइम (extra cellular enzyme) कहलाते हैं ।

बर्हिएन्जाइम (exoenzymes) उच्च पादपों में बहुतायत से नहीं पाये जाते हैं । उच्च पादपों में सामान्यत: माँसाहारी पादपों (insectivorous plants) जैसे ड्रॉसेरा (Drosera), निपेन्थीस (Nepenthes), डायोनिया (Dionea) तथा पिन्गुकुला (Pinguicula) आदि में स्रावित होते हैं । ये पादप ट्राइकोम अथवा पाचक ग्रन्थियों (digestive glands or trichomes) द्वारा

हाइड्रोजेज, जैसे: फॉस्फेटेज (Phoshatases) प्रोटीनओलेज (Proteolase), एस्ट्रेज (Esterases) राइबोन्यूक्लिएज (Ribonuclease) का स्रवण करते हैं, जो कीटों के पाचन में प्रयुक्त होते हैं । उच्च पादपों के परागकणों (Pollen grains) की बाह्यभित्ति (exine) में भी हाइड्रोलेज एन्जाइम उपस्थित होते हैं । कुछ खाद्यान्न फसलों (cereals) के स्क्यूटेलम (scutellum) भी एमाइलेज का स्रवण करते हैं । एमाइलेज एण्डोस्पर्म के स्टार्च का पाचन करता है, जिसे अवशोषित कर लिया जाता है ।

बैक्टीरिया तथा कवकों में बर्हिएन्जाइम (exoenzymes) बहुतायत से पाये जाते हैं । ये पोषाधार (substrate) पर एन्जाइम का स्रवण करते हैं जो जटिल कार्बनिक पदाथों का अपघटन कर सरल विसरणशील पदार्थो में परिवर्तित करते हैं । इन सरल पदार्थो का ये अवशोषण कर लेते हैं ।
अन्त : एन्जाइम (endoenzymes) कोशिका में विभिन्न प्रकार की अभिक्रियाओं का शृंखलाओं में निष्पादन करते हैं तथा विभिन्न प्रकार की अभिक्रिया श्रृंखला के अनुरूप ये विभिन्न कोशिका अंगकों (organelles) में पाये जाते हैं, जैसे माइटोकॉण्ड्रिया (Mitochondrion), क्लोरोप्लास्ट (Chloroplast), केन्द्रक (Nucleus), लाइसोसोम (Lysosome), पर ऑक्सीसोम (Peroxisome) आदि । माइटोकॉण्ड्रिया तथा क्लोरोप्लास्ट में सबसे अधिक एन्जाइम उपस्थित होते हैं तथा इन दोनों अंगकों (organelles) में इनका स्वयं का DNA भी पाया जाता है ।
माइटोकॉण्ड्रिया में श्वसन अमीनो अम्ल तथा प्रोटीन संश्लेषण से सम्बन्धित एन्जाइम उपस्थित होते हैं ।
केन्द्रक में RNA व DNA संश्लेषण सम्बन्धित, ग्लाइऑक्सीसोम में वसा अम्लों के B - ऑक्सीकरण, पाये जाते हैं। इनके अतिरिक्त कुछ एन्जाइम साइटोप्लाज्म में भी स्वतंत्र रूप में उपस्थित होते हैं, जो प्रोटीन संश्लेषण अमीनो अम्ल संश्लेषण तथा ग्लाइकोलिसिस (glycolysis) से सम्बन्धित होते हैं ।

12.4 एन्जाइम का नामकरण, वर्गीकरण एवं EC संख्या (Nomenclature & Classification of Enzymes; EC Number)

एन्जाइम का नामकरण अलग - अलग आधारों पर किया गया है । इनका नामकरण प्राय: उस पदार्थ के नाम पर आधारित होता है, जिस पर यह अभिक्रिया करता है अथवा उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर किया जाता है । एन्जाइम के नाम के अन्त में - ऐज (ase) प्रत्यय (Suffix) का प्रयोग किया जाता है (Duclaux, 1883)
एन्जाइमों के नामकरण की प्रचलित पद्धतियाँ निम्न हैं:

12.4.0 क्रियाधार पर आधारित नामकरण (Nomenclature based on Substatum)

इस पद्धति के अनुसार एन्जाइम जिस क्रियाधार को उत्प्रेरित करता है, उसके नाम के अन्त में एज (-ase) प्रत्यय लगा कर एन्जाइम का नामकरण किया जाता है । उदाहरण आर्जीनीन (arginine) पर क्रियाशील एन्जाइम आर्जीनेज (arginase), सूक्रेज पर क्रियाशील सूक्रेज (sucrase) आदि ।

इस पद्धति के अनुसार एन्जाइमों को समूहों में भी वर्गीकृत किया जाता है: लाइपेज (Lipase) प्रोटीनेज (Proteinase) न्यूक्लिएज (Nuclease) आदि ।

12.4.1 रासायनिक अभिक्रिया के आधार पर नामकरण (Nomenclature based on Reaction)

इस पद्धति में एन्जाइम का नाम उनके द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर रखा जाता है । उदाहरण - ऑक्सीकरण (oxidation) करने वाले एन्जाइम ऑक्सीडेज (oxidase), अपघटन करने वाने हाइड्रोलेज (hydrolase) फॉस्फोरिलीकरण वाले फॉस्फोरइलेज (phosphorylase) तथा इसी प्रकार डिहाइड्रोजिनेज (dehydrogenase carboxylase), कार्बोक्सीजेज (carboxylase) आदि ।

12.4.2 क्रियाधार व उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर रखा जाता है । उदाहरण - ऑक्सीकरण (oxidation) करने वाले एन्जाइम ऑक्सीडेज (oxidase), अपघटन करने वाने हाइड्रोलेज (hydrolase), फॉस्फोरिलीकरण वाले फॉस्फोराइलेज (phosphorylase) तथा इसी प्रकार डिहाइड्रोजिनेज (dehydrogenase), कार्बोक्सीजेज (cardoxylase) आदि ।

12.4.3 क्रियाधार व उत्प्रेरित अभिक्रिया की प्रकार पर आधारित नामकरण

(Nomenclature based on Substrate and type of Reaction)

उपरोक्त दोनों पद्धतियों में एन्जाइम की पूरी जानकारी प्राप्त नही होती, इसलिए यह पद्धति ज्यादा अपनाई जाती है । इसमें क्रियाधार तथा उत्प्रेरित अभिक्रिया की प्रकार, दोनों की पूर्ण जानकारी प्राप्त होती है । उदाहरण सक्सीनिक एसिड डिहाइड्रोजिनेज (succinct acid dehyrogenase) अर्थात् एन्जाइम सक्सीनिक एसिड पर क्रिया करता है तथा डिहाइड्रोजनी अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है, एस्कॉर्बिक एसिड ऑक्सीडेज (ascorbic acid oxidase) एन्जाइम एस्कॉर्बिक एसिड पर क्रिया करता है तथा ऑक्सीकरण अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है ।

12.4.4 आधुनिक नामकरण व वर्गीकरण (Modern Nomenclature & Classificaton)

अन्तर्राष्ट्रीय जैव रसायन संघ (International Union of Biochemistry IUB) के निर्देशन में एन्जाइमोलोजी आयोग (Commission on Enzymology, 1961) ने एन्जाइमों के

नामकरण तथा वर्गीकरण की क्रमबद्ध नाम पद्धति (systematic nomaclature) की सिफारिश की इसके प्रमुख बिन्दु निम्न प्रकार हैं (सारणी - 1)

(i) इस प्रणाली के अनुसार सभी एन्जाइमों को प्रमुख वर्गों (major classes) में विभक्त किया।

(ii) प्रत्येक मुख्य वर्ग को अनेक उपवर्गों (sub-classes) में विभक्त किया गया है ।

(iii) प्रत्येक उपवर्ग को पुन: उप-उपवर्गो (sub-subclasses) में विभक्त किया गया है ।

(iv) प्रत्येक एन्जाइम को चार अंकों की एक विशिष्ट कोड संख्या (code number) दि गई, जिसे E.C. Code (E.C = Enzyme Commission) कहते हैं ।

प्रथम संख्या मुख्य वर्ग (major class) को दर्शाती है, द्वितीय संख्या उपवर्ग (sub-class) को, तृतीय संख्या उप - उपवर्ग (sub-subclass) तथा चतुर्थ संख्या एन्जाइम का क्रमबद्ध नाम (specific name of enzyme) दर्शाती है । एन्जाइम के नाम में पहले क्रियाधार का नाम तथा बाद में उत्प्रेरित अभिक्रिया की प्रकार

उदाहरणार्थ, यहाँ कुछ विशिष्ट एन्जाइमों के क्रमबद्ध नाम (Systematic name) तथा EC code इस प्रकार हैं:

संकेत संख्या (Code. No.)	**क्रमबद्ध नाम (Systematic Name)**	**प्रचलित नाम (Trivial Name)**
1.E.C. 1.1.1.1	Alcohol : NAD oxidoreductase	Alcohol dehydrogenase
2. E.C. 3.1.1.1	Carboxylic ester hydrolase	Carboxylestrase
6. E.C. 4.1.1.1	2-oxi-acid carboxylase	Pyruvate decarboxylase
3. E.C. 1.6.6.1	Nitrate oxidoreductase	Nitrate Reductase
2. E.C. 1.1.1.27	L-lactate : NAD oxidoreductase	Lactate dehydrogenase
4. E.E. 2.7.1.1	ATP : D-hexose-6-phosphotransferase	Hexokinase

सारणी 1 : (I.U.B. International Union of Biochemistry)

अन्तर्राष्ट्रीय जैव रसायन संघ, 1964 द्वारा मान्य एन्जाइमों का वर्गीकरण

E.C. वर्ग उपवर्ग उप-उपवर्ग एन्जाइमों के संख्या

1. ऑक्सीडोरिडक्टेज (Oxidoreductase) : ऑक्सीजन, हाइड्रोजन व इलेक्ट्रोन का स्थानान्तरण

1.1 कार्यवाहक होते हैं CH-OH समूह के दाता पर

1.1.1 NAD और NADP ग्राही की तरह

1.1.2 Cytochrome ग्राही की तरह

1.1.3 0_2 ग्राही की तरह

1.1.99 बाकी दूसरे ग्राही की तरह

1.2 कार्यवाहक होते हैं एल्डीहाइड और कीटों समूह के दाता पर

1.3 कार्यवाहक होते हैं CH-=CH समूह के दाता

1.4 कार्यवाहक होते हैं CH-NH समूह के दाता

1.5 कार्यवाहक होते हैं = CNH समूह के दाता

1.6 कार्यवाहक होते है NDA और NADP समूह के दाता

(2) ट्रान्सफरेज (Transferase) : समूह का स्थानान्तरण

2.1 एक कार्बन (Cl) समूह

2.2 एल्डीहाइड और कीटोन समूह

2.3 एसाइल समूह

2.4 ग्लाइकोसिल समूह

2.5 एल्काहॉल और संबंधित समूह

2.6 नाइट्रोजन समूह

2.7 फॉस्फोरस समूह

2.8 सल्फर समूह

(3) हाइड्रोलेज (Hydrolase): जो बन्ध (bond) पर कार्य करते हैं

3.1 एस्टर बन्ध

3.2 ग्लाइकोसिल बन्ध

3.3 ईथर बन्ध

3.4 पेप्टाइड बन्ध

3.5 दूसरे C-N बन्ध

3.6 अम्ल एन्हाइड्राईड बन्ध

3.7 C-C बन्ध

3.8 हैलाइड बन्ध

3.9 P-N बन्ध

(4) लाइसेज (Lyases) : कार्यरत हैं निम्नलिखित बन्धों पर

4.1 C-C बन्ध

4.2 C-O बन्ध

4.3 C-N बन्ध

4.4 C-S बन्ध

4.5 C-हेलाइड बन्ध

(5) आइसोमरेज (Isomerases) : ये एन्जाइम क्रियाधार अणु में समावयवी परिवर्तन (isomaerisation) की गति बढ़ाना

5.1 रेसीमेसेस, इपिमरेसेस

5.2 Cis-trans आइसोमरेसेस

5.3 अन्तरा अणु ऑक्सीडोरिडकटेसेस

5.4 अन्तरा अणु ट्रान्सफरेसेस

5.5 अन्तरा अणु लाइसेज

(6) लाइगेज और सिन्थेटेज : ये विभिन्न प्रकार के बन्धों का संश्लेषण करते हैं

6.1 C-O

6.2 C-S

6.3 C-N

6.4 C-C

12.5 मुख्य वर्ग (Major Classes)

12.5.0 ऑक्सीडोरिडक्टेज (Oxidoreductase) :

ऑक्सीकरण तथा अपचयन क्रियाओं में भाग लेने वाने एन्जाइम इस वर्ग में सम्मिलित है । योग्यता के आधार पर इन्हें तीन वर्गों में रखा जाता है

(i) **ऑक्सीडेज** (Oxidase) : ये क्रियाधार का ऑक्सीकरण करते हैं, जिसमें ये एन्जाइम क्रियाधार से हाइड्रोजन का आण्विक ऑक्सीजन को स्थानांतरित कर H_2O या H_20_2 का निर्माण करते हैं । उदाहरण - ऑक्जेलेटा ऑक्सीडेज (Oxalate oxidase), एस्कॉर्बिक एसिड ऑक्सीडेज (Ascorbic acid oxidase) आदि ।

$$AH_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons A + H_2O$$

$$AH_2 + O_2 \rightleftharpoons A + H_2O$$

(ii) **डिहाइड्रोजिनेज** (Dehydrogenase) : ये क्रियाधार से ऑक्सीकरण द्वारा हाइड्रोजन हटाते हैं । उदाहरण - लेक्टेट डिहाइड्रोजिनेज (Lactate dehydrogenase) सक्सीनेट डिहाइड्रोजिनेज (Succinate dehydrogenase) एल्कोहॉल डिहाइड्रोजिनेज (Alcohol dehydrogenase) आदि ।

$$AH_2 \rightleftharpoons A + 2(H)$$

(iii) **रिडक्टेज** (Reductase) : ये क्रियाधार में हाइड्रोजन या इलेक्ट्रॉन को जोड़ते हैं तथा ऑक्सीजन को हटा देते हैं । उदाहरण - नाइट्रेट रिडक्टेज (Nitrate reductas)

$$NO_3 - + NADH_2 \rightleftharpoons NO_2 + NAD + H_2O$$

12.5.1 ट्रान्सफरेज (Transferase) :

ये एन्जाइम एक.अणु से दूसरे अणु पर समूह का स्थानान्तरण करते हैं । इस वर्ग में ट्रॉन्सऐमिनेज (Transaminase) तथा काइनेज (Kinase) समूह के एन्जाइम आते हैं ।

$$Glucose + A.T.P \xrightleftharpoons{\text{Hexokinase}} Glucose - 6 - Phosphate + ADP$$

(ग्लूकोज) (हेक्सोकाइनेज) (ग्लूकोज-6-फॉस्फेट)

$$Glutamic\ acid + oxaloacetic\ acid \xrightleftharpoons{\text{Transaminase}} a - Ketoglutaric\ acid + Aspartic\ acid$$

(अमीनो अम्ल) (कार्बनिक अम्ल) (ट्रांसएमिनेज) (का.अ.) (अ.अ)

12.5.2 हाइड्रोलेज (Hydrolases) :

ये एन्जाइम पदार्थो का जल अपघटन (hydrolysis) करते हैं । इस समूह में पाचक एन्जाइम (digestive enzymes) सम्मिलित है जैसे- कार्बोहाइड्रेज (carbohydrases), एस्ट्रेज (Estrases), प्रोटीएज (Proteases) आदि ।

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightleftharpoons{\text{Sucrase}} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$$

(सूक्रोज) (जल) (सूक्रेज) (ग्लूकोज) (फ्रक्टोज)

12.5.3 लाइसेज (Lyases) :

विभिन्न प्रकार के बन्धों को (C-C, C-O, C-X etc) ये एन्जाइम सीधे ही बिना जल के =non hydrolytically) तोड़ते हैं । उदाहरण फ्यूमरेज (Fumerase), कार्बोक्सिलेज (Carboxylase) एल्डोलेज (Aldolase) आदि ।

$$Fructose 1,6 - diphosphate \xrightleftharpoons{\text{adolase}} Dihydroxy\ acentone\ phosphate$$

(फ्रक्टोज 1,6 - डाइफॉस्फेट) (एल्डोलेज) (डाईहाइड्राक्सी एसीटोन फॉस्फेट)

PGAL + (फॉस्फो ग्लिसरएल्डीहाइड)

12.5.4 आइसोमरेज (Isomerases) :

ये एन्जाइम क्रियाधार अणु में समावयवी परिवर्तन (Isomeric changes : isomerisation) करते हैं । उदाहरण : आइसोमरेज (Isomerase) एपीमरेज (Epimerase), रेसीमेज (Racemase) आदि

$$Glucose-6-Phosphate \xrightleftharpoons{\text{Phosphohexo}} Fructose-6-Phosphate$$

(ग्लूकोज-6-फॉस्फेट) (फॉस्फोहेक्जो आइसोमरेज) (फ्रक्टोज-6-फॉस्फेट)

12.5.5 सिन्थेटेज या लाइगेज (Synthetase or Ligases) :

ये एन्जाइम विभिन्न प्रकार के बन्धों जैसे C-C, C-N, C-S, C-O आदि का संश्लेषण करते हैं।

उदाहरण : एस्पार्जिन सिन्थेटेज (Aspargine synthetase) ग्लूटामिन सिन्थेटेज (Glutamine synthetase) आदि ।

$$Aspartic\ acid + NH_3 + ATP \xrightleftharpoons{\text{एस्पार्जिन}} Asparg ine + ADP + P, i,$$

(एस्पार्जिन एसिड) सिन्थेटेज (एस्पार्जिन)

$$Glutamic\ acid + NH_3 + A.T.P \xrightleftharpoons{\text{ग्लूटेमिन}} Glumatine + ADP + iP$$

(ग्लूटामिक एसिड) सिन्थेटेज ग्लूटेमिन

12.6 एन्जाइम के गुण (Characteristics of Enzymes)

12.6.0 प्रोटीन प्रकृति (Proteinaceous nature) :

सभी एन्जाइम प्रोटीन होते हैं लेकिन सभी प्रोटीन एन्जाइम नहीं होते । इन्हें क्रिस्टल रूप में वियुक्त किया जा चुका है तथा तथ्यों से स्पष्ट हो चुका है कि ये एक या एक से अधिक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला के प्रोटीन अणु होते हैं । प्रोटीन के अतिरिक्त इनमें आयन, अणु अथवा कार्बनिक या अकार्बनिक समूह उपस्थित हो सकता है ।

एन्जाइम वृहद् अणु (macromolecules) होते हैं जिनका उच्च आण्विक भार होता है, उदाहरणार्थ फेरोडॉक्सीन (ferrodoxine), 11,500 पर ऑक्सीडेज (peroxidase) 40,000 कैटेलेज (catalase) 2,50,000 यूरियेज (uretase) 4,82,000 आदि ।

12.6.1 उत्प्रेरक प्रकृति (Catalytic Nature) :

एन्जाइम रासायनिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं तथा इनकी अत्यन्त सूक्ष्म मात्रा क्रियाधार (substrate) की काफी मात्रा को उत्पाद (product) में परिवर्तित करने की क्षमता रखती है । एन्जाइम के एक अणु द्वारा प्रति मिनट क्रियाधार के जितने अणुओं को उत्पाद में परिवर्तित

किया जाता है, वह उसकी आण्विक सक्रियता (molecular activity) या टर्नओवर संख्या (turnover number) कहलाती है ।

किसी एन्जाइम की टर्नओवर संख्या उसकी उत्प्रेरण क्षमता का माप होती है । मिग्रा एन्जाइम द्वारा प्रति मिनट क्रियाधार के μ मोल को उत्पाद में परिवर्तन की क्षमता एन्जाइम की विशिष्ट क्रियाशीलता कहलाती है, जिसे एन्जाइम के अणु भार के आधार पर टर्नओवर संख्या में परिवर्तित किया जा सकता है । कुछ प्रमुख एन्जाइमों की टर्नओवर संख्या निम्न प्रकार है:

लाइसोजाइम (Lysozyme)	–	50 हजार
फ्लेवोप्रोटीन (Flavoprotein)	–	10 हजार
सुक्रेज (Sucrase)	–	5 मिलियन
कैटेलेज (Catalase)	–	5 मिलियन
कार्बोनिक एन्हाइड्रेज (Carbonic anhydrase)	–	36 मिलियन

एन्जाइम रासायनिक अभिक्रिया की गति बढ़ाते हैं तथा अभिक्रिया से अप्रभावित रहते हैं । इसके अतिरिक्त ये साम्यावस्था को प्रभावित नहीं करते हैं ।

12.6.2 कोलॉइडी प्रकृति (Colloidal nature) :

एन्जाइम अणु वृहत् आकार के 'होने के कारण कोलॉइडी प्रकृति के होते हैं, इस वजह से इनमें अभिक्रियाओं के लिए बड़ा क्षेत्र होता है । इनकी प्रकृति उमयधर्मी (amphoteric) होती है जिसके फलस्वरूप ये अम्लीय या क्षारीय दोनों प्रकार के पदार्थो पर सक्रिय होते हैं । इसके अतिरिक्त ये जलप्रिय (hydrophilic) होते हैं, जिससे प्रोटोप्लाज्म में हाइड्रोसोल (hydrosol) के रूप में उपस्थित होते हैं ।

12.6.3 pH सभी एन्जाइम pH द्वारा प्रभावित होते हैं तथा विशिष्ट एन्जाइम विशिष्ट pH परास में पूर्ण क्रियाशीलता प्रदर्शित करता है तथा इस परास के बाहर एन्जाइम की क्रियाशीलता कम हो जाती है । यूरिऐज (urease) पर pH परिवर्तन का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है, जबकि पेप्सिन (pepsin) कम 9 pH (1.5) पर तथा ट्रिप्सिन (trypsin) उच्च pH (8.0) पर क्रियाशील होता है । pH में परिवर्तन एन्जाइम प्रोटीन का आयनीकरण तथा ऊष्मा के प्रति एन्जाइम की प्रवृत्ति को बदल देती है । pH में अत्यधिक परिवर्तन एन्जाइम को क्रियाविहीन (denatured) भी कर सकती है ।

12.6.4 ताप संवेदनशीलता (Heat sensitivity) :

एन्जाइम ताप के प्रति संवेदनशील होते हैं । सामान्यत :O^0C पर से निष्क्रिय (inactive) होते हैं तथा 25 -35^0 पर इनकी सक्रियता उच्चतम (optimum) होती है । उच्च ताप पर (60 - 65^0) अधिकतर एन्जाइम निष्क्रिय अथवा क्रियाविहीन (dentured) हो जाते हैं परन्तु शुष्क अवस्था में (low hydration), जैसे बीजों, बीजाणुओं आदि में 100 - 120^0 तापमान तक भी इनकी सक्रियता समाप्त नहीं होती है ।

12.6.5 अभिक्रिया की उत्क्रमणीयता (Reversibility of reaction) :

अभिक्रियाएँ जो एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती हैं वे उत्क्रमणीय (reverstible) होती है, उदाहरणार्थ : वसा, स्टार्च या सुक्रोज के संश्लेषण (synthesis) में जिन एन्जाइम की आवश्यकता होती है, वहीं एन्जाइम इनके अपघटन (hydrolyasis) का कार्य भी करते हैं । अभिक्रिया की दिशा अभिकारकों की उपलब्धता उत्पादों का उपभोग, ऊर्जा की उपलब्धता तथा pH आदि

12.6.6 विशिष्टता (Specificity) :

सभी एन्जाइम अपनी क्रियाशीलता में विशिष्ट होते हैं । विभिन्न एन्जाइम एक ही अभिकारक को विभिन्न उत्पादों में परिवर्तित करते हैं । इसके अतिरिक्त एक एन्जाइम विभिन्न अभिकारकों (specific reactant) पर क्रिया कर विभिन्न उत्पाद बनाते हैं । सामान्यत : एन्जाइम विशिष्टता निम्न प्रकार की होती है.

(i) **बन्धु विशिष्टता** (Bond specificity) : कुछ एन्जाइम अभिकारक के केवल एक विशिष्ट बन्ध (specific bond) के प्रति विशिष्ट होते हैं, उदाहरणार्थ राइबोन्यूक्लिएज - A (Ribonuclease-A) RNA में पिरिमिडीन के 3' सिरे पर फॉस्फोडाइएस्टर बन्ध को अपघटित करता है ।

(ii) **निरपेक्ष विशिष्टता** (Absolute specificity) : जब एन्जाइम केवल एक विशिष्ट अभिकारक पर क्रियाशील हो, उसे निरपेक्ष विशिष्टता कहते हैं । उदाहरणार्थ. यूरिएज (urease), माल्टेज (maltase) तथा आर्जीनेज आदि जो क्रमश : यूरिया (urea), माल्टोज (maltose) तथा आर्जिनीन निर्माण अथवा अपघटन को उत्प्रेरित करते हैं ।

(iii) **समूह विशिष्टता** (Group Specificity) : कुछ एन्जाइम समान क्रियाधारो के समूह पर क्रियाशील होते हैं (अर्थात एक एन्जाइम एक से अधिक अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करता है) उदाहरणार्थ: एल्कोहॉल डिहाइड्रोजिनेज (Alcohol dehydrogenase) विभिन्न एल्कोहॉल पर तथा हेक्सोकाइनेज (Hexokinase) विभिन्न हेक्सोज शर्कराओं पर क्रियाशील होता है ।

(iv) **त्रिविम विशिष्टता (Stereo specificity)** : कुछ एन्जाइम क्रियाधार के विशिष्ट त्रिविम समावयवी रूप (optical isomer) पर क्रियाशील होते हैं । उदाहरणार्थ L - अमीनो ऑक्सीडेज (L-amino oxidase) केवल L- अमीनो अम्ल तथा D- अमीनो ऑक्सीडेज केवल D- अमीनो अम्ल पर क्रियाशीलता दर्शाते हैं ।

12.6.7 सक्रियता (Activation) :

कुछ पदार्थ एन्जाइमों की सक्रियता को बढ़ाते हैं, जिन्हें सक्रियक (activators) कहते हैं । ये विभिन्न प्रकार से एन्जाइम सक्रियता बनाये रखते हैं, जैसे. कुछ सक्रियक पूर्ववर्ती (precursors) एन्जाइम से मिलकर सक्रिय एन्जाइम (active enzyme) का निर्माण करते हैं । इसके अतिरिक्त कुछ सक्रियक उच्चतम क्रियाशीलता के लिए अनुकूल वातावरण बनाने का कार्य करते हैं तथा कुछ अन्य प्रतिसमंदक (anti-inhibitors) का कार्य करते हैं ।

12.6.8 एन्जाइम समंदक (Enzyme inhibition) :

कुछ पदार्थ एन्जाइमों की क्रियाशीलता को बाधित करते हैं, उन्हें समंदक (inhibitors) कहते हैं ये दो प्रकार के होते हैं: उत्क्रमणीय / अप्रतियोगितात्मक (non-compentitive) ।

(i) **प्रतियोगितात्मक बाधक** : इनकी संरचना अभिकारक से मिलती -जुलती होती है, जिससे ये एन्जाइम की सक्रिय स्थल पर व्यवस्थित होकर उसे अभिकारक के लिए अनुपलब्ध कर देते हैं (उदाहरण : सक्सिनिक डिहाइड्रोजिनेज के लिए मेलोनेट, क्योंकि मेलोनेट की संरचना सक्सीनेट के अत्यधिक समान होती है ।

(ii) **अप्रतियोगितात्मक बाधक :** ये सक्रिय स्थल पर संलग्न नहीं होते अपितु एन्जाइम की संरचना या सक्रिय स्थल के विन्यास में परिवर्तन कर देते हैं जिससे एन्जाइम की क्रियाशीलता बाधित हो जाती है । उदाहरण : भारी धातु (Hg,Pb etc.) CO, H_2S, सायनाइड आदि ।

12.7 एन्जाइम संरचना (Structure of Enzymes)

एन्जाइम उच्च अणु भार वाले प्रोटीन अणु होते हैं । ये प्रोटीन के अतिरिक्त अन्य अप्रोटीन (non-protein) भाग युक्त हो सकते हैं । रासायनिक संगठन के आधार पर एन्जाइम दो प्रकार के होते हैं : सरल एन्जाइम तथा सयुग्मित एन्जाइम।

12.7.0 सरल एन्जाइम (Simple Protein enzymes) :

ऐसे एन्जाइम, जो केवल प्रोटीन के बने होते हैं सरल एन्जाइम कहलाते हैं । इस प्रकार ये मात्र अमीनो अम्लों से बने होते हैं तथा अभिक्रिया को अपने संघटक अमीनो अम्लों की पार्श्व श्रृंखलाओं द्वारा उत्प्रेरित करते हैं । अधिकांश एन्जाइम इस श्रेणी में आते हैं सरल एन्जाइम के प्रमुख उदाहरण निम्न है - पेप्सीन (pepsin), ट्रिप्सिन (trypsin), काइमोट्रिप्सिन (chymotripsin) एमाइलेज (amylase), यूरियेज (urease) व लाइपेज (lipase) आदि ।

12.7.1 संयुग्मित एन्जाइम (Conjugated Enzymes) :

ऐसे एन्जाइम जिनमें प्रोटीन भाग के अतिरिक्त अप्रोटीन भाग (non-protein part) भी उपस्थित होता है, संयुग्मित एन्जाइम (conjugated enzymes) कहलाते हैं । संयुग्मित एन्जाइम का प्रोटीन भाग एपोएन्जाइम (apoenzyme) तथा अप्रोटीन भाग सहकारक (cofactor) कहलाता है । एपोएन्जाइम तथा सहकारक जुड़कर एक सम्पूर्ण एन्जाइम या होलोएन्जाइम (holoenzyme) का निर्माण करते हैं । इस प्रकार संयुग्मित एन्जाइम दो घटकों से बना होता है ।

Apoenzyme	+	Cofactor	=	Holoenzyme
(एपोएन्जइम) प्रोटीन भाग		(सहकारक) अप्रोटीन भाग		(पूर्ण एन्जाइम)

एपोएन्जाइम तथा सहकारक स्वतंत्र रूप से एन्जाइमी क्रिया नहीं कर सकते हैं अर्थात् ये दोनों संयुक्त अवस्था में ही उत्प्रेरक का कार्य करते हैं ।

सहकारको (**Cofactors)** को दो मुख्य वर्गों में विभक्त किया जाता है. (I) को-एन्जाइम (II) सक्रियक कारक

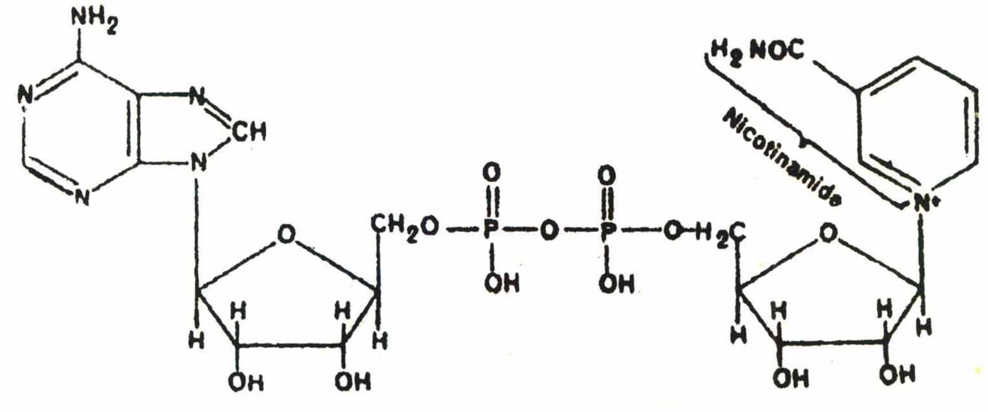
(I) **को-एन्जाइम या सह-एन्जाइम (Coenzymes) :** जब सहकारक (अप्रोटीन भाग) एक कार्बनिक पदार्थ होता है तो उसे सह-एन्जाइम (co-enzyme) ये कार्बनिक यौगिक एपोएन्जाइम के साथ ढ़ीला बंधन बनाते हैं तथा इन्हें आसानी से पृथक किया जा सकता है । ये सामान्यत: विटामिन या विटामिन जैसे यौगिक होते हैं परन्तु सभी विटामिन्स कोएन्जाइम का कार्य नहीं करते हैं । ये सामान्यत: समूह स्थानान्तरण अभिक्रियाओं में भाग लेते हैं । एक कोएन्जाइम भिन्न -भिन्न एपोएन्जाइम का घटक हो सकता है तथा अलग-अलग प्रकार की अभिक्रिया करा सकता है ।

कुछ कोएन्जाइम (co-enzyme) प्रोटीन भाग (एपोएन्जाइम) से दृढ़ता से जुड़े रहते हैं तथा इन्हें प्रोटीन को विघटित किये बिना पृथक नहीं किया जा सकता ये प्रोस्थेटिक समूह (prosthetic group) कहलाते हैं (eg FAD) कोएन्जाइम के विपरीत प्रोस्थेटिक समूह अभिक्रिया में सक्रिय भाग लेते हैं तथा अभिक्रिया के दौरान इनमें रासायनिक परिवर्तन होता है तथा अगली अभिक्रिया में भाग लेने से पूर्व इनकी संरचना सामान्य (restore) हो जाती है ।

कुछ महत्वपूर्ण कोएन्जाइम (co-enzyme) निम्न प्रकार है :

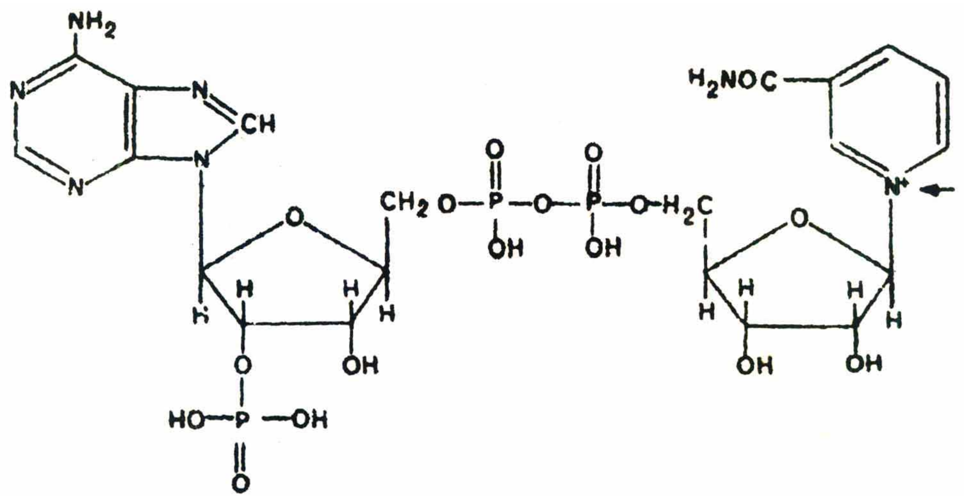
(A) हाइड्रोजन स्थानांतरण सम्बन्धी कोएन्जाइम

(i) निकोटिनेमाइड एडेनिन डाइन्यूयूक्लियोटाइड (Nicotinamide Adenine Dinucleotide, NDA) (चित्र 12.1) ।



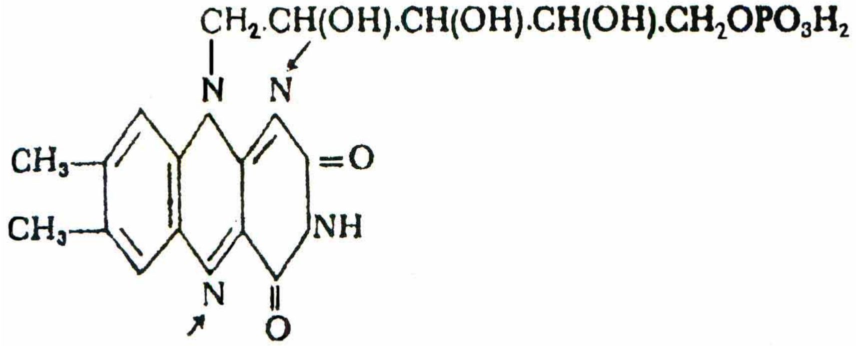
चित्र 12.1 : NDA^+ (ऑक्सीकृत रूप)

(ii) निकोटिनेमाइड एडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड फॉस्फेट Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate NDAP, (चित्र 12.2) ।



चित्र 12.2 : $NADP^+$ (ऑक्सीकृत रूप)

(iii) फ्लेविन मोनोन्यूक्लियोटाइड (Flavin Mononucleotide FMN, (चित्र 12.3)।

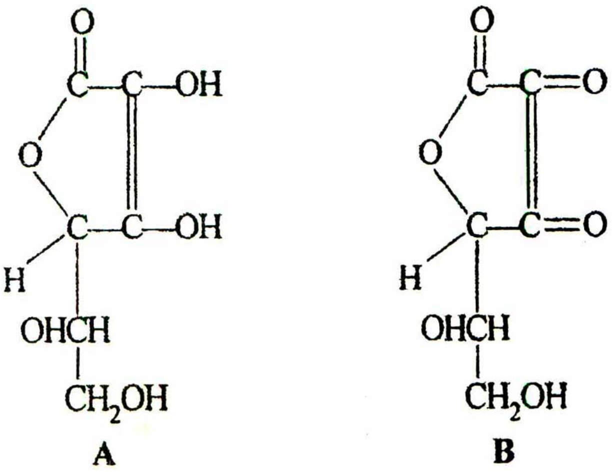


चित्र 12.3 : FMN (ऑक्सीकृत रूप)

(iv) फ्लेविन एडेनिन डाइन्यूक्लियोटाइड (Flavin Adenine Dinucleotide, NAD)

(v) यूबीक्विनोन (Ubiquinine) : यह कोएन्जाइ (co-enzyme) भी कहलाता है ।

(vi) एस्कॉर्बिक अम्ल (Ascorbic acid) (चित्र 12.4) ।



चित्र 12.4 : एस्कोर्बिक अम्ल A. अपचयित, B. ऑक्सीकृत

(B) समूह स्थानांतरण संबंधी कोएन्जाइम :

(i) एडिनोसाइन ट्राइफांस्फेए (Adenosine triphosphate, A.T.P)

(ii) एडिनोसाइन डाइफॉस्फेट (Adenosine Diphosphate, ADP)

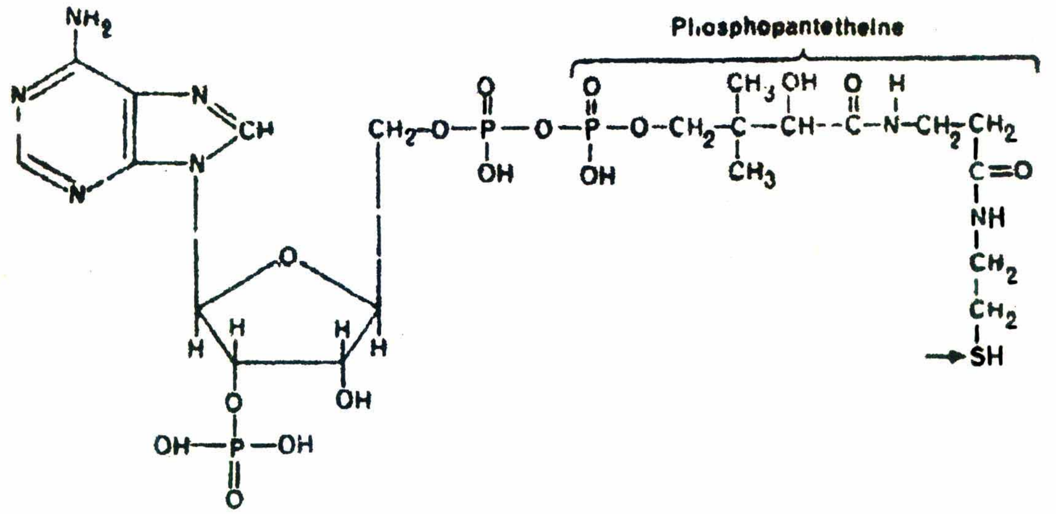
(iii) यूरिडिन डाइफॉस्फेट (Uridine Diphosphate, UDP) इसे कोएन्जाइम (co-e) भी कहते हैं ये शर्करा व यूरोनिक अम्ल का स्थानांतरण करता है ।

(iv) साइटिडिन डाइफॉस्फेट (Cytidine Diphosphate (DP) : फॉस्फोरिल क्लोरिन आदि का स्थानान्तरण करता है ।

(v) फॉस्फोएडिनोसाइल सल्फेट (Phosphoadenosyl Sulphate, PAPS- सल्फेट समूह का स्थानांतरण करते हैं ।

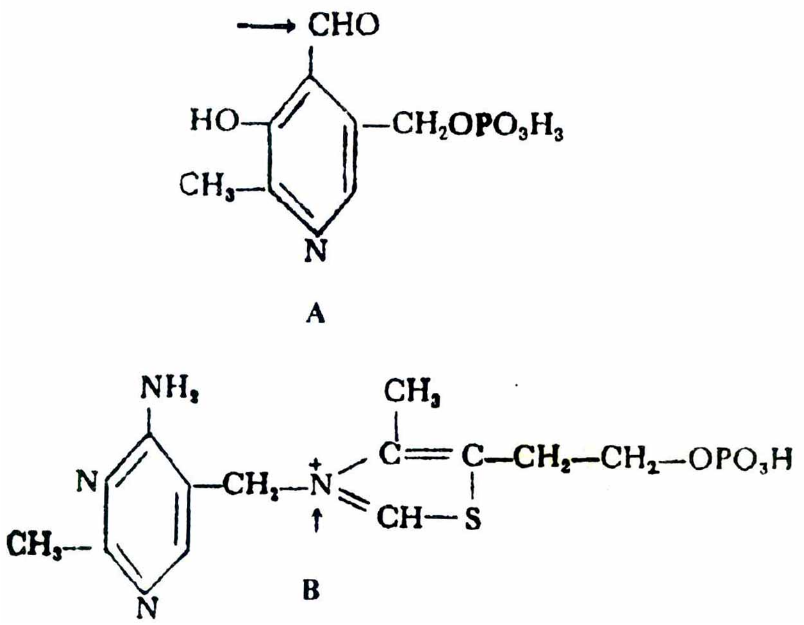
(vi) पायीरडॉक्सज फॉस्फेट (Pyridoxcal phosphate) PALP- अमीनो समूह का स्थानान्तरण करते हैं ।

(vii) कोएन्जाइम-ए (Coenzyme-A,(Co-A) एसाइल समूह का स्थानांतरण करते हैं (चित्र 12.5) ।



चित्र 12.5 : कोएन्जाइम-ए (Co-A)

(viii) थायमिन पायरोफॉस्फेट (Thiamine Pyrophosphate) T.P.P - एल्डिहाइड समूह का स्थानान्तरण करते हैं (चित्र 12.6)|



चित्र 12.6 : A. पायरिडॉक्सल फॉस्फेट (PALP), B. थायमिन पायरोफॉस्फेट (TPP)

(C) लायेज तथा आइमरेज से सम्बन्धित कोएन्जाइम

(i) थायमिन पायरोफॉस्फेट (Thiamine pyrophosphate)

(ii) यूरिडीन डाइफॉस्फेट (Uridine Diphosphate, UDP)

(iii) B-कोएन्जाइम (B-coenzyme) आदि ।

(D) लौह पोरफाइरिन को एन्जाइम

(i) पोरफीन (Porphin)

(ii) साइटोक्रोम (Cytchrome)

(iii) केटेलेज (Catalase) आदि ।

II. सक्रियक कारक (Activators)

जब सहकारक सरल अकार्बनिक पदार्थ (तत्व या धातु आयन) हो तो सक्रियक कारक (activators) कहलाते हैं । ये तत्व सामान्यत: ढीले बन्धन वाले धनायन (cantions) होते हैं । कुछ एन्जाइमों में ये तत्व एन्जाइम प्रोटीन (apoenzyme) के साथ सघनता से जुड़े रहते हैं (ऐसी स्थिति में इन्हें प्रोस्थेटिक समूह कहते हैं उदाहरण : साइटोक्रोम में आयरन) सक्रियक कारकों के कार्य निम्न हैं :

(i) ऑक्सीकरण - अपचयन अथवा इलेक्ट्रॉन वाहक के रूप में,

(ii) अभिकारक (क्रियाधार) कोएन्जाइम से संयुक्त करने में,

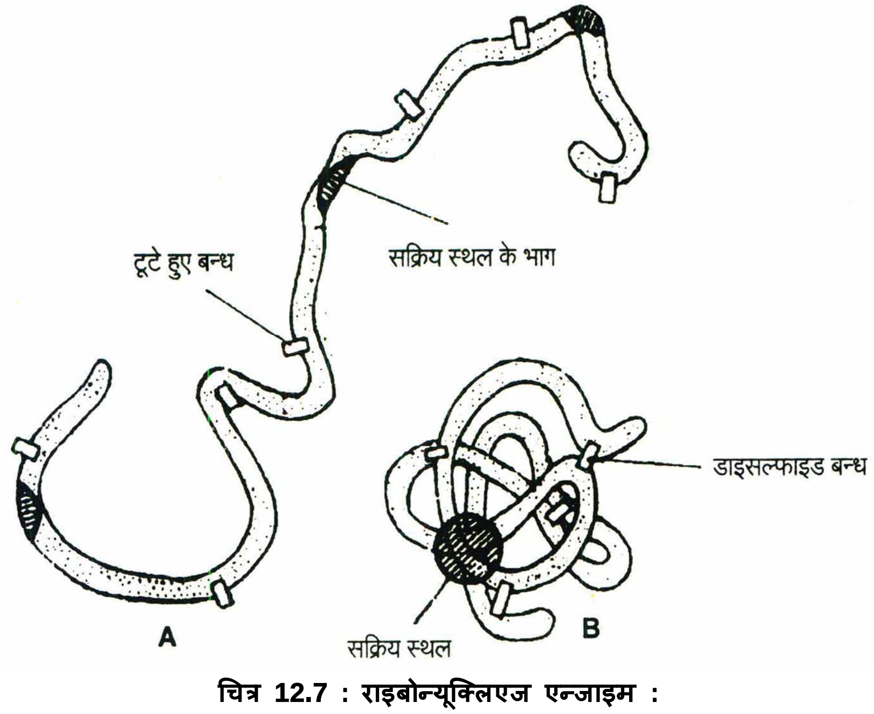
(iii) उत्पाद (end product) को हटाकर अभिक्रिया को आगे बढ़ाने में,

(iv) समंदकों (inhibitors) को दूर रखने में तथा

(v) एपोएन्जाइम (apoenzyme) का आवेश बदलना इत्यादि ।

12.8 एन्जाइम की आण्विक संरचना एवं सक्रिय स्थल (Molecular Structure and Active site of Enzyme)

एन्जाइम सामान्यत: केवल एक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला (Ploypeptide chain) का बना होता है परन्तु कभी-कभी इसमें एक से अधिक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाएँ हो सकती हैं । विभिन्न एन्जाइमों की पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला में अमीनों अम्लों की क्रमबद्धता (sequence) विशिष्ट होती है । पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला त्रिविम संरचना निर्माण (three dimensional struture) द्वारा एन्जाइम को आकार प्रदान करती है । यह एन्जाइम को विशिष्टता प्रदान करती है तथा सक्रियता के लिए आवश्यक होती है । एन्जाइम की त्रिविम संरचना समाप्त होने पर यह निष्क्रिय हो जाता है । उदाहरणार्थ : एन्जाइम राइबोन्यूक्लियेज (ribonuclease) में पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला चार डाइसल्फाइड बन्धों (S-S) द्वारा सघन अणु के रूप में बंधी रहती है । यदि इन बन्धों को mercaptoethanol द्वारा अपचयित कर दिया जाए तो डाइसल्फाइड समूह (S-S) सल्फाइड्रिल समूह (-SH) में परिवर्तित हो जाते हैं तथा एन्जाइम अणु की त्रिविम संरचना समाप्त हो जाती है, जिससे वह निष्क्रिय हो जाता है । इसके पुन : ऑक्सीकरण द्वारा डाइसल्फाइड बन्ध बन जाते हैं तथा एन्जाइम पुन: सक्रिय हो जाता है (चित्र 12.7)।



चित्र 12.7 : राइबोन्यूक्लिएज एन्जाइम :

A. विकुण्डलित श्रृंखला टूटे हुए डाइसल्फाइड बन्धों व सक्रिय स्थल सहित

B. कुण्डलित स्वरूप डाइसल्फाइड बन्धों सहित

एन्जाइम अणु क्रियाधार (Substrate) अणुओं की अपेक्षा आकार में काफी बड़े होते हैं । एन्जाइम की पूरी सतह उत्प्रेरण अभिक्रिया में सक्रिय नहीं होती अपितु एन्जाइम अणु का कुछ

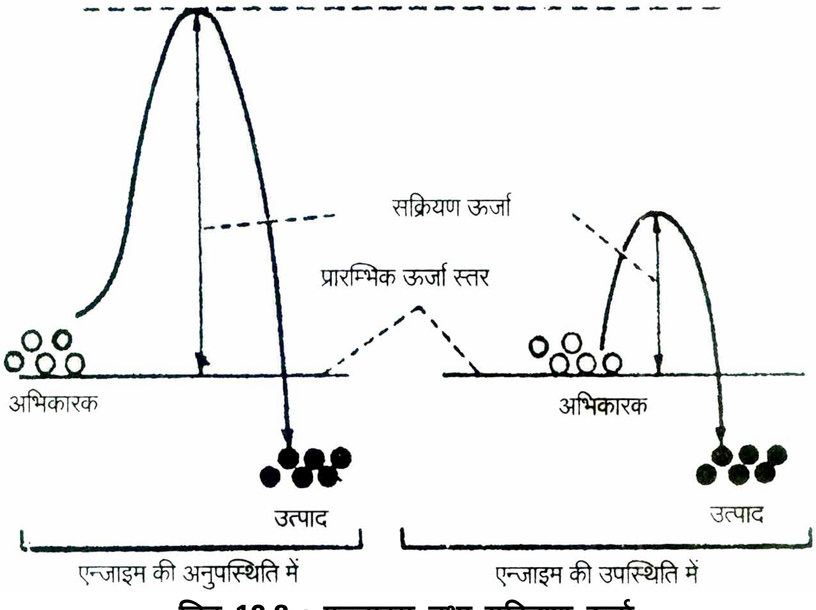
भाग ही क्रियाधार अणु के संपर्क में होता है जो सक्रिय स्थल अथवा (active site) कहलाता है । एन्जाइम का शेष भाग संरचनात्मक ढ़ाचा (structural frame) तैयार करता है ।

सक्रिय स्थल क्रियाधार अथवा क्रियाधारों को बांधने (bind) का कार्य करता है तथा उन्हें उत्पाद या उत्पादों में परिवर्तित करने का कार्य भी करता है । एक एन्जाइम में एक या अधिक सक्रिय स्थल होते हैं तथा प्रत्येक सक्रिय स्थल की विशिष्ट आकृति होती है । सक्रिय स्थल पर एन्जाइम अणु के त्रिविम संरचना के कारण विशिष्ट अमीनो अम्ल या अमीनो अम्लों का समूहन होता है । उदाहरण - एल्डोलेज एन्जाइम प्रोटीन में "ग्लाइसिन (glycine) हिस्टीडीन (histidine) एलेनिन (alanine) का समूहन" तथा पाइरुविक ऑक्सीडेज में "एस्पार्टिक अम्ल (aspartic acid) - सिस्टाइन (cystine) - एलेनिन (alanine) का समूहन" होता है ।

12.9 एन्जाइम क्रियाशीलता की क्रियाविधि (Mechanism of Active of Enzyme)

12.9.0 सक्रियण ऊर्जा (Activation Energy)

अधिकतर रासायनिक अभिक्रियाएँ स्वत: प्रारम्भ नहीं होती क्योंकि अभिकारकों अथवा क्रियाधारों (reactants) के अणुओं में ऊर्जा अवरोध (energy barrier) पाया जाता है, जिससे ये क्रियाशील नहीं हो पाते हैं । क्रियाधार अणुओं के इस ऊर्जा अवरोध को कम करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है, उसे सक्रियण ऊर्जा (activation energy) कहते हैं (चित्र 12.8)|



चित्र 12.8 : एन्जाइम तथा सक्रियण ऊर्जा

साधारण अभिक्रियाओं में उच्च ताप पर अभिक्रिया की गति तेज हो जाती है, क्योंकि अधिक तापमान पर ऊष्मीय विदोलन (thermal agitation) द्वारा अधिक अणुओं का सक्रियण होता है। परन्तु एन्जाइम की उपस्थिति में ऐसी अभिक्रियाएँ सामान्य ताप पर होती हैं क्योंकि एन्जाइम अभिकारक अणुओं की सक्रियण व ऊर्जा को कम कर देते हैं । एन्जाइम प्रारम्भिक अणुओं से

संयुक्त होकर अथवा अपनी सतह पर अधिशोषित कर मध्यवर्ती स्वरूप का निर्माण करता है । मध्यवर्ती स्वरूप (एन्जाइम -मध्यवर्ती सम्मिश्र) निर्माण के लिए कम ऊर्जा की आवश्यकता होती है, क्योंकि एन्जाइम क्रियाधार द्वारा आवश्यक सक्रियक ऊर्जा को कम कर देते हैं । इस प्रकार एन्जाइम अस्थायी मध्यवर्ती सम्मिश्र के निर्माण की दर को तथा अभिक्रिया दर को बढ़ा देते हैं क्योंकि सक्रियक ऊर्जा कम होने के कारण अपेक्षाकृत अधिक संख्या में आरम्भिक अणु भाग लेते हैं । सक्रियक ऊर्जा में कमी अभिक्रिया के दोनों दिशाओं (reversible) के लिए होती है, अत : एन्जाइम अभिक्रिया की गति को उस हद तक तेज करता है कि साम्यावस्थ (equilibrium) स्थापित हो जाये ।

सक्रियण ऊर्जा अभिक्रिया की दर के व्युत्क्रमानुपाती होती है अर्थात् सक्रियण ऊर्जा का मान कम होने पर एन्जाइम की क्रिया बढ़ जाती है । उदाहरण : सूक्रोज के जल अपघटन के लिए 32,000 cal/mol सक्रियण ऊर्जा की आवश्यकता होती है परन्तु इन्वटेज एन्जाइम की उपस्थिति में इसका मान केवल 9,400 cal/mol होती है । इसी प्रकार H_2O_2 के विघटन के लिए 18,000 cal/mol सक्रियण ऊर्जा की आवश्यकता होती है परन्तु कैटेलेज एन्जाइम की उपस्थिति में केवल 6400 cal/mol ऊर्जा की आवश्यकता होती है|

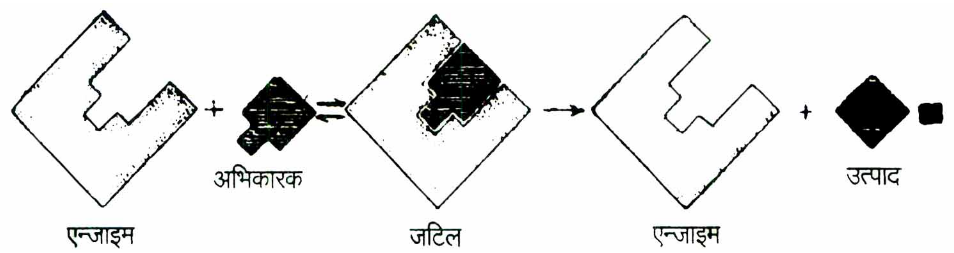
12.9.1 क्रियाविधि (Machanism)

एन्जाइम अभिकारक अणुओं को अधिशोषित कर अपनी सतह पर रासायनिक अभिक्रिया करते हैं जिसे सम्पर्क उत्प्रेरण (contact catalysis) कहते हैं । एन्जाइम क्रिया की क्रियाविधि के सम्बन्ध में दो प्रमुख सिद्धान्त प्रस्तुत किये गए हैं|

(i) ताला व चाबी सिद्धान्त (Lock and Key theory)

(ii) अनुरूप प्रेरण सिद्धान्त (Induced fit theory)

(i) **ताला व चाबी सिद्धान्त** (Lock key theory) : एमिल फिशर (Emil Fisher, 1894) ने यह सिद्धान्त प्रस्तुत किया तथा फिल्डस व वुड्स (Fildas and Woods) ने इसका विस्तृत अध्ययन किया था । इस मत के अनुसार एन्जाइम तथा क्रियाधार (substrate) के आकार में पूरक सम्बन्ध होता है । प्रत्येक एन्जाइम अणु पर एक या अधिक विशिष्ट बिन्दु होते हैं, जिन्हें सक्रिय स्थल या सक्रिय बिन्दु (active site or active spot) कहते हैं । ये स्थान या स्थल विशिष्ट प्रकार के क्रियाधार अणुओं (substrate molecular) से बन्धन करते हैं जिसके फलस्वरूप एक मध्यम यौगिक का निर्माण होता है, जिसे एन्जाइम क्रियाधार सम्मिश्र (enzyme-substrate complex) कहते हैं । इस सम्मिश्र में क्रियाधार अणु में रासायनिक परिवर्तन होते हैं जिससे क्रियाधार का उत्पाद (product) में परिवर्तन हो जाता है, जिसके फलस्वरूप अब यह एन्जाइम उत्पाद सम्मिश्र कहलाता है । अभिक्रिया के अन्त में एन्जाइम व उत्पाद मुक्त हो जाते हैं तथा एन्जाइम क्रियाधार के दूसरे अणु से संयुक्त हो जाता है ।



चित्र 12.9 : एन्जाइम सक्रियता का ताला-चाबी सिद्धान्त

En	+	S	$\rightleftharpoons$	EnS Complex
(एन्जाइम)		(क्रियाधार)		(एन्जाइम -क्रियाधार सम्मिश्र)
$\rightleftharpoons$		EnP Complex	$\rightleftharpoons$	En + P
		(एन्जाइम -उत्पाद सम्मिश्र)		(एन्जाइम) (उत्पाद)

इस सिद्धान्त के अनुसार एन्जाइम व क्रियाधार के बीच ताले व चाबी के समान सम्बन्ध होता है । जिस प्रकार एक विशेष चाबी से ही विशेष ताला खोला जाता है, उसी प्रकार एक विशेष क्रियाधार पर विशेष एन्जाइम सक्रिय होता है । एन्जाइम संरचना के सक्रिय स्थलों की तुलना ताले के खाचित भाग से की जा सकती है, जिससे समरूप डिजाइन या अभिविन्यास के क्रियाधार ही संयुक्त हो सकते हैं |

पक्ष में प्रमाण (Evidence)

(1) इस सिद्धान्त से प्रमाणित होता है कि एन्जाइम की अल्प मात्रा क्रियाधार की बड़ी सान्द्रता को उत्प्रेरित कर सकती है।

(2) एन्जाइम की मात्रा बढ़ाकर अभिक्रिया को तेज किया जा सकता है ।

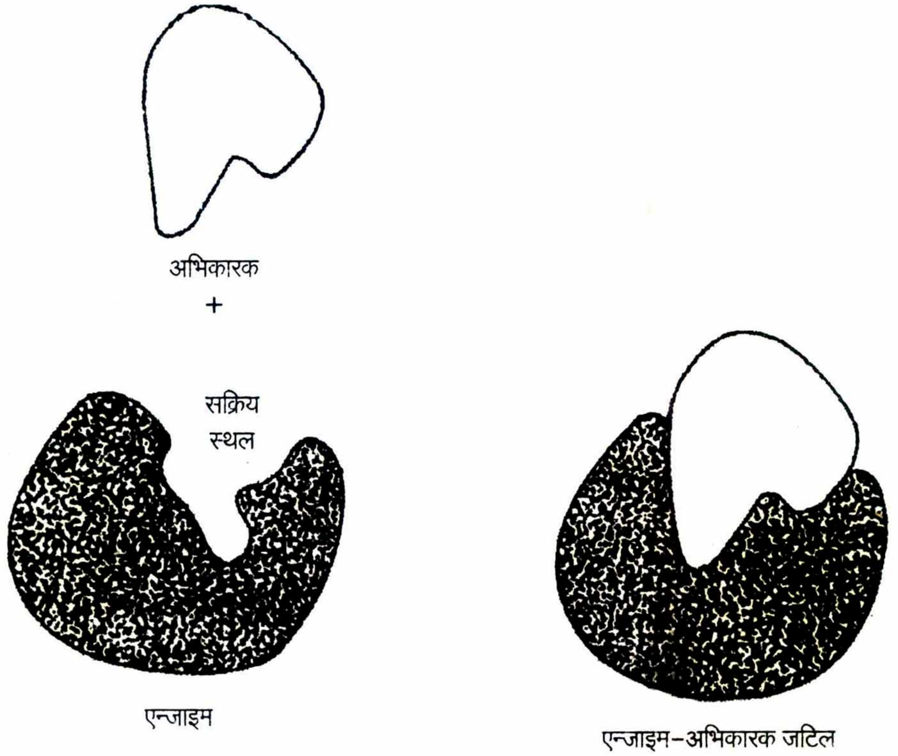
(3) यह स्पष्ट करती है कि अभिक्रिया के अन्त में एन्जाइम अपरिवर्तित रहता है जो दूसरे क्रियाधार से संयुक्त होने के लिए स्वतंत्र होता है ।

(4) बाधक या समंदक (inhibitors) की उपस्थिति में अभिक्रिया की दर कम हो सकती है क्योंकि ये एन्जाइम के सक्रिय स्थल को बांछित कर (क्रियाधार के समान संरचना होने पर) एन्जाइम समंदक सम्मिश्र बना देते हैं, जिससे सक्रिय स्थल क्रियाधार के लिए उपलब्ध नहीं रहता तथा वास्तविक अभिक्रिया रुक जाती है ।

(ii) **अनुरूप प्रेरण सिद्धान्त (Induced fit Theory):** यह सिद्धान्त कोशलैण्ड (Koshaland, 1959) ने प्रस्तुत किया था । इस मत के अनुसार एन्जाइम प्रोटीन के क्रियास्थलों में अभिक्रिया के दौरान सूक्ष्म ज्यामितीय परिवर्तन होता है । कोशलैण्ड के अनुसार एन्जाइम के सक्रिय स्थल (active site) पर दो समूह उपस्थित होते हैं, जिन्हें अवलम्बन समूह (buttressing group) तथा उत्प्रेरक समूह (catalytic group) कहते हैं । अवलम्बन समूह क्रियाधार को आधार प्रदान करता है जबकि उत्प्रेरक समूह अभिकारक (substrate) को उत्पाद (Product) में परिवर्तन करने का कार्य करता है । ये दोनों समूह पास-पास स्थित होते हैं ।

क्रियाधार एन्जाइम के अवलम्बन स्थल (buttressing site) पर स्थित हो जाता है तथा एन्जाइम-क्रियाधार सम्मिश्र का निर्माण करता है । एन्जाइम के विन्यास में इस प्रकार परिवर्तन

होता है कि उत्प्रेरक (cataylic group) स्थल क्रियाधार के जिस बन्ध को तोड़ना होता है उसके सामने या निकट आ जाता है तथा बन्ध तोड़ देता है, जिससे क्रियाधार उत्पाद में परिवर्तित हो जाता है । एन्जाइम-उत्पाद सम्मिश्र में व्युत्क्रमणीय परिवर्तन (reversible change) होता है, जिससे उत्पाद मुक्त हो जाता है (चित्र 12.10) ।



चित्र 12.10 : एन्जाइम सक्रियता का अनुरूप -प्रेरण सिद्धान्त

प्रमाण (Evidences)

निम्न प्रमाण इस सिद्धान्त के पक्ष में दिए जा सकते हैं :

(1) एन्जाइम अभिक्रिया के अन्त में अपरिवर्तित रहता है तथा पुन : दूसरे क्रियाधार अणु से क्रिया के लिए स्वतंत्र रहता है जिससे प्रमाणित होता है कि एन्जाइम की अल्प मात्रा क्रियाधार की बड़ी मात्रा को उत्प्रेरित कर सकता है ।

(2) विभिन्न तकनीकों द्‌वारा (X-Ray diffraction and optical rotation techniques) यह प्रमाणित किया जा चुका है कि एन्जाइम-क्रियाधार सम्मिश्र बनते समय एन्जाइम की सक्रिय स्थल पर विन्यास परिवर्तन होता है ।

(3) सिद्धान्न यह भी कहता है कि समंदक (inhibitor) एन्जाइम द्‌वारा उत्पाद में परिवर्तन नहीं हो सकता क्योंकि यह आलम्बक स्थल पर स्थिर तो हो जाता है परन्तु पूर्ण रूप से फिट नहीं हो पाता है, जिससे एन्जाइम में विन्यास परिवर्तन नहीं हो पाता है । विन्यास परिवर्तन के अभाव में उत्प्रेरक स्थल समंदक से दूर रहता है, इसलिए अभिक्रिया नहीं हो पाती है ।

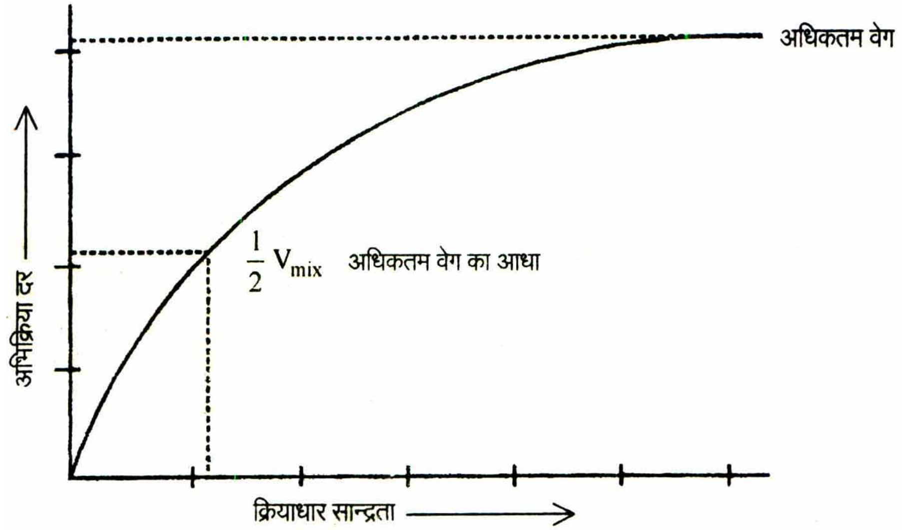
12.10 एन्जाइम गतिकी (Enzyme Kinetics)

एन्जाइम अभिक्रिया की दर तथा प्रायोगिक परिस्थितियों में परिवर्तन की अनुक्रिया के फलस्वरूप दर में होने वाले परिवर्तनों को एन्जाइम गतिकी (enzyme kinetics) कहा जाता है । एन्जाइम नियंत्रित अभिक्रियाओं में दो महत्वपूर्ण कारक (pH, तापमान व अन्य परिस्थितियों के अतिरिक्त) अभिक्रिया की दर को नियंत्रित करते हैं । ये हैं : (i) क्रियाधार सान्द्रता तथा (ii) एन्जाइम सान्द्रता ।

जैसे -जैसे अभिक्रिया आगे बढ़ती है, अर्थात् उत्पाद का निर्माण होता है, क्रियाधार सान्द्रता में परिवर्तन आता है ।

अभिक्रिया की प्रारम्भिक दर या गति का मापन उस समय किया जाता है जब क्रियाधार की सान्द्रता एन्जाइम सान्द्रता से काफी अधिक होती है तथा इसे प्रारम्भिक वेग V^0 कहा जाता है । इस अवस्था में क्रियाधार को अत्यधिक अल्पावधि के लिए स्थिर माना जाता है ।

जब क्रियाधार की सान्द्रता बढ़ाई जाती है तो V^0 में रेखीय वृद्धि होती है तथा एक अवस्था के पश्चात् V^0 में क्रियाधार सान्द्रता में वृद्धि के साथ अत्यन्त ही कम वृद्धि हो पाती है । इस अधिकतम दर को अधिकतम वेग (V_{max}) कहते हैं (चित्र 12.11) । क्रियाधार की वह सान्द्रता जिस पर प्रारम्भिक वेग अभिक्रिया वेग का आधा होता है, माइकेलिस -मेन्टन स्थिरांक (Michaelis-Menten constant) कहलाता है, जिसे Km कहते हैं ।



चित्र 12.11 : अभिक्रिया दर पर क्रियाधार सान्द्रता का प्रभाव

विक्टर हेनरी (Victor Henry, 1903) ने यह प्रतिपादित किया कि एन्जाइम (E) तथा क्रियाधार (S) संयुक्त होकर एन्जाइम कियाधार सम्मिश्र (ES) का निर्माण करते हैं । हेनरी की परिकल्पना के आधार पर मिकेलिस तथा मेन्टन (Michaelis and Menten) ने बाद में स्पष्ट किया कि एन्जइम (E) तथा क्रियाधार (S) व्युत्क्रमणीय रूप से संयुक्त होकर एन्जाइम क्रियाधार सम्मिश्र (ES) बनाते हैं, जो तुरन्त एन्जाइम (E) व उत्पाद (P) में परिवर्तित हो जाता है ।

$$E + S \underset{}{\overset{\text{तेज क्रिया}}{\rightleftharpoons}} ES \underset{}{\overset{\text{धीमी क्रिया}}{\rightleftharpoons}} P+E$$

ES से P निर्माण की क्रिया दर को सीमाकारी रूप से निर्धारित करती है । ES निर्माण का गति स्थिरांक K_1 तथा ES से E व P निर्माण का स्थिरांक K_2 कहलाता है ।

$$E + S \underset{K_2}{\overset{K_1}{\rightleftharpoons}} Es$$

तथा ES से P निर्माण का स्थिरांक K_3 कहलाता है ।

$$E + S \overset{K_3}{\rightleftharpoons} P$$

तीनों चरणों के लिए मिकेलिस स्थिरांक निम्न प्रकार होगा:

मिकेलिस स्थिरांक = ES के विलोपन का स्थिरांक

ES के निर्माण का स्थिरांक

$$Km = \frac{K_2 + K_3}{K_1}$$

विभिन्न एन्जाइमों के लिए Km का मान भिन्न -भिन्न होता है । अर्थात् एन्जाइम को संतृप्त करने के लिए आवश्यक क्रियाधार सान्द्रता विभिन्न एन्जाइमों के लिए भिन्न -भिन्न होती है । जिस एन्जाइम के हम का मान अधिक होता है, वह उच्च क्रियाधार सान्द्रता पर संतृप्त होता है तथा कम Km मान वाला एन्जाइम कम क्रियाधार सान्द्रता पर संतृप्त हो जाता है ।

बोध प्रश्न

बहु विकल्पी प्रश्न:

1. सर्वप्रथम किस एन्जाइम की खोज की गई थी ?
   (अ)ट्रान्सएमिनेज
   (ब) एमाइलेज
   (स) जाइमेज
   (द) आइसोमरेज
2. कोएन्जाइम होता हैं :
   (अ) अधिकतर एक धातु
   (ब) एक प्रोटीन
   (स) अकार्बनिक पदार्थ
   (द) अधिकतर एक विटामिन
3. होलोएन्जाइम होता है:
   (अ) एपोएन्जाइम + सहकारक
   (ब) एपोएन्जाइम + न्यूक्लियोटाइड
   (स) सहकारक + कोएन्जाइम
   (द) उपर्युक्त कोई नहीं

अतिलघुत्तरात्मक प्रश्न :

1. ताला-चाबी क्रिया विधि परिकल्पना का प्रतिपादन किसने तथा किस वर्ष में प्रस्तावित की थी?

....

....

2. एन्जाइम की प्रोटीन प्रकृति की स्थापना किसने की थी?

....

....

3. E.C. कोड में कितने अंक होते हैं?

....

....

12.11 सारांश (Conclusion)

एन्जाइम सरल अथवा जटिल प्रोटीन अणु होते हैं जो विशिष्ट उत्प्रेरण का कार्य करते हैं । इन्हें जैव उत्प्रेरक (biocatalysts) तथा जैव मध्यस्थ (biological middlemen) आदि नामों से भी जाना जाता है । कुहन (Kuhne, 1978) ने सर्वप्रथम एन्जाइम शब्द का प्रयोग किया था तथा एन्जाइम शब्द की उत्पत्ति ग्रीक भाषा से हुई है (En = in, zyme = yeast) वे कोशिकीय पदार्थ जिन पर एन्जाइम अभिक्रिया करते हैं, अभिकारक (substrate) कहलाते तथा अभिक्रिया के अन्त में बनने वाले पदार्थ उत्पाद (product) कहलाते हैं जबकि एन्जाइम अपरिवर्तित रहते हैं। इस प्रकार एन्जाइम केवल उत्प्रेरण का कार्य करते हैं । इनमें तथा अकार्बनिक उत्प्रेरकों में कुछ समानताएँ पाई जाती है । जैसे दोनों रासायनिक अभिक्रिया के अन्त में अपरिवर्तित रहते हैं, दोनों अत्यन्त कम सान्द्रता में प्रयुक्त होते हैं, दोनों उत्कमणीय अभिक्रिया (reversible reaction) की साम्यावस्था को परिवर्तित नहीं करते हैं । इनमें कुछ भिन्नताएँ भी होती है जैसा हम पूर्व में पढ़ चुके हैं । एन्जाइम कोशिकाओं के अन्दर (जहाँ उनका उत्पादन हुआ है) अथवा कोशिकाओं के बाहर कार्य कर सकते हैं । जो एन्जाइम जिन कोशिकाओं में संश्लेषित होते हैं, यदि वहीं कार्य करते हैं तब उन्हें अन्त:एन्जाइम (endoenzyme) अलवा अन्तर्कोशिक एन्जाइम (intra-cellular enzymes) कहते हैं । इसके विपरीत कोशिकाओं के बाहर कार्य करने वाले एन्जाइम बर्हिएन्जाइम (exoenzyme) अथवा बर्हिकोशिक एन्जाइम (extracellular enzyme) कहलाते हैं ।

एन्जाइम का नामकरण समय-समय पर अलग-अलग आधारों पर किया गया है । Duclaux,1883 के अनुसार इनका नामकरण प्राय: उस पदार्थ के नाम पर आधारित होता है जिस पर यह अभिक्रिया करता है अथवा उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर किया गया है ।

एन्जाइम के नाम के अन्त में -ऐज (-ase) प्रत्यय (suffix) का प्रयोग किया जाता है । एन्जाइमों के नामकरण की चार पद्धतियाँ प्रचलित हैं । (i) क्रियाधार पर आधारित नामकरण (ii)

रासायनिक अभिक्रिया के आधार पर नामकरण (iii) क्रियाधार व उत्प्रेरित अभिक्रिया की प्रकार पर आधारित नामकरण (iv) आधुनिक नामकरण व वर्गीकरण ।

अन्तर्राष्ट्रीय जैव रसायन संघ (IUB) के निर्देशन में एन्जाइमोलोजी आयोग (commission on enzymology, 1961) ने एन्जाइमों के नामकरण तथा वर्गीकरण की क्रमबद्ध नाम पद्धति (systematic nomenclature) की सिफारिश की । प्रत्येक एन्जाइम को चार अंकों की एक विशिष्ट कोड संख्या (code number) दी गई, जिसे E.C.code (E.C =Enzyme Commission) कहते हैं । प्रथम संख्या मुख्य वर्ग (major class), द्‌वितीय संख्या उपवर्ग (sub class) तृतीय संख्या उप - उपवर्ग (sub-subclass) त था चतुर्थ संख्या एन्जाइम का क्रमबद्ध नाम (specific name of enzyme) दर्शाती है ।

एन्जाइम के प्रमुख गुण इस प्रकार है (i) प्रोटीन प्रकृति (Protein nature) (ii) कोलॉइडी प्रकृति (Colloidal) (iii) ताप संवेदनशीलता (Heat sensitivity) (iv) उत्प्रेरक प्रकृति (Catolytic nature) (v) अभिक्रिया की उत्क्रमणीयता (Reversibility of reaction) (vi) विशिष्टता (specificity) (vii) pH (viii) सक्रियता (Activation) (ix) एन्जाइम समंदक (enzyme inhibition)

जब हम एन्जाइम संरचना का अध्ययन करते हैं तो पता चलता है कि एन्जाइम उच्च अणुभार वाले प्रोटीन अणु होते हैं । इनमें प्रोटीन के अतिरिक्त अन्य अप्रोटीन (non protein) भाग युक्त हो सकते हैं । रासायनिक संगठन के आधार पर एन्जाइम दो प्रकार के होते हैं सरल एन्जाइम त था संयुग्मित एन्जाइम । ऐसे एन्जाइम जो केवल प्रोटीन के बने होते हैं, सरल एन्जाइम कहलाते हैं । जिन एन्जाइम में प्रोटीन भाग के अतिरिक्त अप्रोटीन भाग (non protein part) भी उपस्थित होता है, संयुग्मित एन्जाइम (conjugated enzymes) कहलाते हैं । संयुग्मित एन्जाइम का प्रोटीन भाग एपोएन्जाइम (apoenzyme) तथा अप्रोटीन भाग सहकारक (cofactor) कहलाता है । एपोएन्जाइम त था सहकारक जुड़कर एक संपूर्ण एन्जाइम या होलोएन्जाइम (holoenzyme) का निर्माण करते हैं । एपोएन्जाइम त था सहकारक स्वतंत्र रूप से एन्जाइमी क्रिया नहीं कर सकते हैं अर्थात् ये दोनों संयुक्त अवस्था में ही उत्प्रेरक का कार्य करते हैं ।

विभिन्न एन्जाइमों की पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला में अमीनो अम्लों की क्रमबद्धता (sequence) विशिष्ट होती है । पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला त्रिविम संरचना निर्माण (three dimensional structure) द्‌वारा एन्जाइम को आकार प्रदान करती है । यह त्रिविम संरचना एन्जाइम को विशिष्टता प्रदान करती है त था सक्रियता के लिए आवश्यक होती है । एन्जाइम की त्रिविम संरचना समाप्त होने पर यह निष्क्रिय हो जाता है ।

अधिकतर रासायनिक अभिक्रियाएँ स्वत : प्रारम्भ नहीं होती क्योंकि अभिकारकों अथवा क्रियाधारों (reactants) के अणुओं में ऊर्जा अवरोध (energy barrier) पाया जाता है, जिससे कि क्रियाशील नहीं हो पाते हैं । क्रियाधार अणुओं के इस ऊर्जा अवरोध को कम करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है । न्यूनतम ऊर्जा का वह मान जो क्रियाधार अणुओं को अभिक्रिया में भाग लेने के लिए सक्रिय करता है, उसे सक्रियण ऊर्जा (activation energy) कहते हैं ।

एन्जाइम अपनी सतह पर अभिकारक अणुओं को अधिशोषित कर रासायनिक अभिक्रिया कराते हैं जिसे सम्पर्क उत्प्रेरण (contact analysis) कहते हैं । एन्जाइम क्रिया की क्रियाविधि के संबंध में दो प्रमुख सिद्धान्त प्रस्तुत किये गए हैं ।

(i) ताला व चाबी सिद्धान्त (Lock and Key Theory) (Emil Fisher, 1894)

(ii) अनुरूप प्रेरण सिद्धान्त (Induced Fit Theory) (Koshland,1959)

एन्जाइम अभिक्रिया की दर तथा प्रायोगिक परिस्थितियों में परिवर्तन की अनुक्रिया के फलस्वरूप दर में होने वाले परिवर्तनों को एन्जाइम गतिकी (enzyme kinetics) कहते हैं । एन्जाइम नियंत्रित अभिक्रियाओं में दो महत्वपूर्ण कारक (pH, तापमान व अन्य परिस्थितियों के अतिरिक्त अभिक्रिया की दर को नियंत्रित करते हैं क्रियाधार सान्द्रता व एन्जाइम सान्द्रता जैसे -जैसे अभिक्रिया आगे बढ़ती है, अर्थात् उत्पाद का निर्माण होता है, क्रियाधार सान्द्रता में परिवर्तन आता है ।

क्रियाधार की वह सान्द्रता जिस पर प्रारम्भिक वेग (Vo) अभिक्रिया वेग का आधा होता है माइकेलिस मेन्टन स्थिरांक (Michaelis-Menten Constant) कहलाता है जिसे Km कहते हैं।

तेज क्रिया घीमी क्रिया

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons P+E$$

$$E+S \underset{K_2}{\overset{K_1}{\rightleftharpoons}} Es$$

$$E+S \xrightarrow{K_1} P$$

$$Km = \frac{K_2 + K_3}{K_1}$$

विभिन्न एन्जाइमों के लिए Km का मान भिन्न -भिन्न होता है । अर्थात् एन्जाइम को संतृप्त करने के लिए आवश्यक क्रियाधार सान्द्रता विभिन्न एन्जाइमों के लिए भिन्न -भिन्न होती है । जिस एन्जाइम के Km का मान अधिक होता है वह उच्च क्रियाधार सान्द्रता पर संतृप्त होता है तथा कम Km मान वाला एन्जाइम कम क्रियाधार सान्द्रता पर संतृप्त हो जाता है ।

12.12 शब्दावली. (Terminology)

(1) **अभिकारक** (substrate): वे कोशिकीय पदार्थ जिन पर एन्जाइम अभिक्रिया करते हैं ।

(2) **अन्त :एन्जाइम** (Endoenzyme): जो एन्जाइम जिन कोशिकाओं में संश्लेषित होते हैं वहीं कार्य करते हैं ।

(3) **बहिएन्जाइम**(Exoenzymes): कोशिकाओं के बाहर कार्य करने वाले एन्जाइम ।

(4) **ऑक्सीडोरिडक्टेज** (Oxidoreductase): ऑक्सीकरण तथा अपचयन क्रियाओं में भाग लेने वाले एन्जाइम ।

(5) **उभयधर्मी (**Amphoteric): जो अम्लीय और क्षारीय दोनों प्रकार के पदार्थों पर सक्रिय होते हैं।

(6) **संयुग्मित एन्जाइम** (Amphoteric): से एन्जाइम जिनमें प्रोटीन भाग के अतिरिक्त अप्रोटीन भाग (protein part) भी उपस्थित होता है, संयुग्मित एन्जाइम कहलाता है ।

(7) **एपोएन्जाइम** (Apoenzyme): संयुग्मित एन्जाइम का प्रोटीन भाग ।

(8) **सहकारक** (Cofactor): संयुग्मित एन्जाइम का अप्रोटीन भाग ।

(9) **होलोएन्जाइम** (Holoenzyme): एपोएन्जाइम तथा सहकारक जुड़कर एक संपूर्ण एन्जाइम का निर्माण करते हैं उसे होलोएन्जाइम कहते हैं ।

(10) **को -एन्जाइम या सह - एन्जाइम** (Co-enzyme): जब सहकारक (अप्रोटीन भाग) एक कार्बनिक पदार्थ होता है तो उसे सह -एन्जाइम (Co-enzyme) कहते हैं ।

(11) **प्रोस्थेटिक समूह** (Prosthetic group) :कुछ कोएन्जाइम प्रोटीन भाग (एपोएन्जाइम) से दृढ़ता से जुड़े रहते हैं तथा इन्हें प्रोटीन को विघटित किये बिना पृथक नहीं किया जा सकता है ये प्रोस्थेटिक समूह कहलाते हैं ।

12.10 संदर्भ ग्रन्थ

1. प्रो. त्रिवेदी शर्मा, धनखड : पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैवप्रौद्योगिकी
2. एच. एस. श्रीवास्तव: पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी
3. कैलाश अग्रवाल, ज्योत्सना पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी
4. सैलिसबरी, रॉस: पादप कार्यिकी
5. जिजट, तायज: पादप कार्यिकी

12.14 बोध प्रश्नों के उत्तर

बहु विकल्पात्मक

1. (स) 2. (द) 3. (अ)

अतिलधुत्तरात्मक

(1) एमिल फिशर,1894

(2) एन्जाइम की प्रोटीन प्रकृति की स्थापना बुकनर ने की थी ।

(3) चार अंक प्रथम वर्ग के लिए, द्वितीय उपवर्ग के लिए तृतीय उप-उपवर्ग के लिए तथा चतुर्थ क्रमबद्ध नाम को दर्शाता है ।

12.15 अभ्यास प्रश्न

(1) एन्जाइस की प्रकृति, संरचना तथा वर्गीकरण का विस्तार से वर्णन कीजिए ।

(2) एन्जाइम सक्रियता की क्रियाविधि का विस्तार से वर्णन कीजिए ।

(3) निम्न पर टिप्पणी लिखिए ।

(a) कोएन्जाइम

(b) सक्रियण ऊर्जा

(c) एन्जाइम गतिकी

(d) एन्जाइम का नामकरण

इकाई 13 : लिपिड्स (Lipids)

इकाई की रूपरेखा

13.0 उद्देश्य
13.1 प्रस्तावना
13.2 लिपिड्स का वर्गीकरण
13.2.1 सरल लिपिड्स (Simple Lipids)
13.2.2 संयुक्त लिपिड्स (Compound lipids)
132.3 व्युत्पन्न लिपिड्स (Derived Lipids)
13.3 वसाओं की रासायनिक संरचना
13.4 वसा संश्लेषण
13.5 वसाओं का उपापचय या कार्बोहाइड्रेट्स में रूपान्तरण
13.5.1 ग्लिसरॉल का ऑक्सीकरण
13.5.2 वसीय अम्लों का ऑक्सीकरण (एल्फा एवं बीटा ऑक्सीकरण)
13.6 वसा का महत्व
13.7 सारांश
13.8 शब्दावली
13.9 संदर्भ ग्रन्थ
13.10 बोध प्रश्नों के उत्तर
13.11 अभ्यासार्थ प्रश्न

13.0 उद्देश्य (Objective)

इस इकाई का उद्देश्य

(1) यह जानना वसा किस प्रकार के पदार्थ होते हैं ।

(2) इनकी रासायनिक संरचना क्या है । इनमें कार्बोहाइड्रेट्स के समान कार्बन (C) हाइड्रोजन (H) व ऑक्सीजन (O) तत्व है या नहीं ।

(3) इनके वर्गीकरण के बारे में जानकारी हासिल करना ।

(4) वसा अम्लों का ऑक्सीकरण (एत्फा एवं बीटा ऑक्सीकरण) किस प्रकार होता है ।

(5) वसा का क्या महत्व है ।

13.1 प्रस्तावना (Introdution)

वसा व इसके समान पदार्थों को सामूहिक रूप से लिपिड कहते हैं । ये वसीय अम्ल तथा एल्कोहल के एस्टर होते हैं । लिपिड जल में अविलेय होती है लेकिन कार्बनिक विलायकों जैसे ईथर, क्लोरोफोर्म, बेंजीन, मिथेनोल व पेट्रोलियम ईथर में घुलनशील होती है । ये भी कार्बोहाइड्रेट्स के समान कार्बन (C), हाइड्रोजन (H) व ऑक्सीजन (O) रूपी घटक तत्वों से निर्मित होते हैं, लेकिन

इनमें कार्बोहाइड्रेट्स की तुलना में ऑक्सीजन का अनुपात कम होता है । यही कारण है कि लिपिड्स या वसाओं में संचित रासायनिक ऊर्जा तुलनात्मक रूप से अधिक अनुपात में पाई जाती है । इसमें ध्रुवीय तथा अध्रुवीय समूह पाये जाते हैं । ध्रुवीय समूह के कारण जल स्नेही (hydrophilic) विकसित हो जाते हैं । अध्रुवीय समूह के कारण लिपिड में जलविरामी (hydrophobic) गुण पाये जाते हैं । वसा पादपों के अन्दर बीजों तथा फलों में उपस्थित होती है जबकि प्राणियों में यह एडिपोज ऊतक, अस्थि मज्जा तथा तंत्रिका ऊतक में पाई जाती है ।

13.2 लिपिदस का वर्गीकरण (Classification of Lipids)

घटक पदार्थों (Components) की प्रकृति के आधार पर लिपिड्स को तीन श्रेणियों में वर्गीकृत किया गया है ।

13.2.1 सरल लिपिड्स (Simple Lipids)

वसीय अम्लों तथा एल्कोहॉल के संयोग से निर्मित एस्टरों को सरल लिपिड कहा जाता है । सरल लिपिड्स में इनके अतिरिक्त अन्य कोई यौगिक समूह उपस्थित नहीं होते । इनके प्रमुख उदाहरणों में मोम (waxes) एवं सत्य वसाओं (true fats) के नाम उल्लेखनीय हैं । इनमें से सत्य वसाओं को वसा एवं तेल इत्यादि दो श्रेणियों में विभाजित किया जा सकता है । इस प्रकार का विभेदन इनकी भौतिक अवस्था के आधार पर किया गया है । ग्लिसरॉल (glycerol) नामक ट्राइहाइड्रिक एल्कोहॉल सरल लिपिड्स में एल्कोहॉल के रूप में काम आता है, लेकिन मोमीय (waxy) पदार्थों के संश्लेषण में इसके बजाय कुछ अन्य लंबी श्रृंखलाओं वाले एल्कोहॉल प्रयुक्त होते हैं । क्यूटिन (cutin) एवं सुबेरिन (suberin) पदार्थों को भी सरल लिपिड्स की श्रेणी में रखा गया है ।

13.2.2 संयुक्त लिपिड्स (Compound lipids)

कुछ विशेष प्रकार के लिपिड्स जिनमें वसीय अम्लों एवं एल्कोहॉलों के अलावा कुछ अन्य समूह भी अतिरिक्त रूप (additional) में सम्मिलित होते हैं, इनको संयुक्त लिपिड्स कहा जाता है, जैसे फॉस्फोलिपिड्स (phospholipids), ग्लाइकोलिपिड्स (glycolipids) एवं सल्फोलिपिड्स (sulpholipids) इत्यादि इनमें से फॉस्फोलिपिड्स में एल्कोहॉल तथा वसीय अम्लों के अतिरिक्त कुछ फॉस्फेट युक्त या नाइट्रोजन युक्त यौगिक जैसे इथाइलएमीन्स (ethylamines) एवं कोलीन (choline) इत्यादि भी पाये जाते हैं । महत्वपूर्ण फॉस्फोलिपिड्स जैसे लेसीथीन (lecithin) एवं सिफेलीन (cephalin) के नाम उल्लेखनीय हैं । उपरोक्त दोनों फॉस्फोलिपिड्स प्लाज्मा झिल्ली के महत्वपूर्ण घटक (components) कहे जा सकते हैं । दूसरी तरफ सल्फॉलिपिड्स में गंधक एवं ग्लाइकोलिपिड्स में नाइट्रोजन युक्त यौगिक कार्बोहाइड्रेट्स के साथ संयुक्त होते हैं ।

13.2.3 व्युत्पन्न लिपिड्स (Derived Lipids)

विभिन्न प्रकार के लिपिड्स के जल अपघटन उत्पादों को व्युत्पन्न लिपिड्स (derived Lipids) की श्रेणी में रखा जाता है । ये जल अपघटन उत्पाद (hydrolysis products) वसा विलायक (fat solvent) पदार्थों में घुलनशील होते हैं, जैसे स्टेरॉल्स (sterols) ।

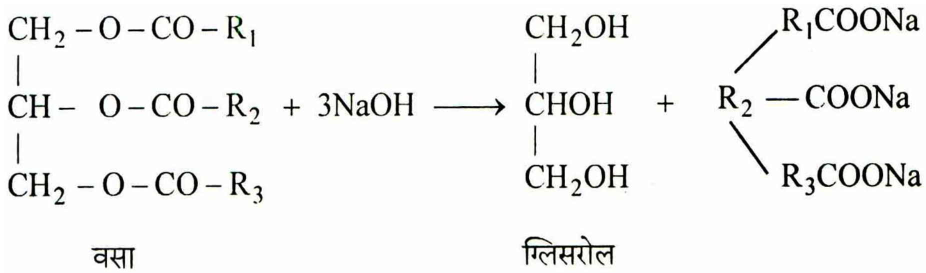
सत्य वसायें (True Fats) : संचयी ऊतक विभिन्न पौधों में तथा सत्य वसायें पादप भागों में प्रमुख रूप से ऊर्जा स्रोतों के रूप में संग्रहित रहती है । वस्तुत ये कार्बोहाइड्रेट्स द्वारा व्युत्पन्न (derived) कार्बनिक यौगिक होते हैं जो जरूरत पड़ने पर फिर से
कार्बोहाइड्रेट्स में रूपान्तरित हो जाते हैं । ऑक्सीकृत हो जाने के पश्चात् ये वसायें कार्बोहाइड्रेट्स की तुलना में अपेक्षाकृत अधिक ऊर्जा की मात्रा मुक्त करती है । एक ग्राम वसा के द्वारा लगभग 9.3 हे. K.Cals ऊर्जा का उत्पादन होता है, जबकि 1 ग्राम जटिल कार्बोहाइड्रेट इसकी तुलना में केवल 4.1 K.Cal का ही उत्पादन कर पाते हैं । यही कारण है कि अधिकांश परिपक्व फलों एवं बीजों में संग्रहित खाद्य पदार्थ वसा के रूप में ही पाये जाते हैं । बीजों गे संचित वसीय पदार्थ एन्जाइम सक्रियता (enzyme activity) के कारण अकुरण के समय फिर से कार्बोहाइड्रेट्स में परिवर्तित हो जाते हैं ।

13.3 वसाओं की रासायनिक संरचना (Chemical Structure of Fats)

संरचनात्मक दृष्टि से वसायें ट्राइग्लिसराइड्स (triglycerides) कहलाती है । वसीय अम्ल के तीन अणुओं एवं ग्लिसरॉल के एक अणु के बीच परस्पर एस्टरीकरण (esterification) की प्रक्रिया द्वारा वसाओं का निर्माण होता है । इस प्रकार की प्रक्रिया में भाग लेने वाले वसीय अम्लों के तीन अणु एक ही अथवा अलग - अलग वसीय अम्लों के हो सकते हैं । निम्न रासायनिक सामान्य सूत्र द्वारा वसाओं को निरूपित किया जा सकता है ।

$$\begin{array}{l} CH_2 - O - CO - R_1 \\ | \\ CH - O - CO - R_2 \\ | \\ CH_2 - O - CO - R_3 \end{array}$$

ग्लिसरॉल एवं वसीय अम्लों के बीच परस्पर होने वाली एस्टरीकरण प्रक्रिया के प्रत्येक चरण में जल का एक अणु निर्मित होता है । वसाओं का जल अपघटन (hydrolysis) क्षारों की उपस्थिति में करवा कर इसके संरचनात्मक घटक पदार्थों को फिर से प्राप्त किया जा सकता है । इस जल अपघटन प्रक्रिया के परिणामस्वरूप एस्टर बन्ध (ester bonds) टूट जाते हैं, एवं फिर से ग्लिसरॉल तथा वसीय अम्लों के लगा या एस्टरों (esters) का निर्माण होता है । यह अभिक्रिया साबुनीकरण (saponification) कहलाती है, जैसा कि नीचे लिखे समीकरण से स्पष्ट है :



13.4 वसा का संश्लेषण (Fat Synthesis)

यह सभी जानते हैं कि वसायें जल में अविलेय होती हैं इसलिए इनका विसरण एक कोशिका से दूसरी कोशिका में नहीं ही सकता इसलिए यही कहा जा सकता है कि जिन कोशिकाओं में वसा उपस्थित होती है, संभवत : इसका निर्माण भी वहीं होता होगा । यही नहीं, वे मध्यवर्ती पदार्थ जो कार्बोहाइड्रेट्स के संश्लेषण के दौरान निर्मित होते हैं, उनका उपयोग भी वसा संश्लेषण के लिए किया जाता है । इससे वसा संश्लेषण एवं श्वसन क्रिया के बीच गहरे सम्बन्धों की जानकारी मिलती है ।

वसा संश्लेषण की प्रक्रिया 'को तीन प्रमुख सोपानों में विभेदित किया गया है :

1. वसीय अम्ल का संश्लेषण
2. ग्लिसरॉल का संश्लेषण
3. वसीय अम्ल एवं ग्लिसरॉल का संघनन

13.4.1 वसीय अम्ल तथा उनका संश्लेषण (Fatty Acids & their Synthesis)

विभिन्न पौधों में प्राकृतिक रूप से पादप शरीर में निर्मित होने वाले वसीय अमल पाये जाते हैं, इनके कुछ प्रमुख उदाहरण निम्न प्रकार से हैं:

1. फॉर्मिक अम्ल (Formic Acid) H.COOH
2. ऐसिटिक अम्ल (Acetic acid) CH_3 COOH
3. प्रोपियोनिक अम्ल (Propionic acid) CH_3 (CH_2) COOH
4. ब्यूटाइरिक अम्ल (Butyric acid) CH_3 $(CH_2)_2$ COOH
5. केप्रोयिक अम्ल (Caprilic acid) CH_3 $(CH_2)_4$ COOH
6. केप्रिलिक अम्ल (Caprilic acid) CH_3 $(CH_2)_6$ COOH
7. केप्रिक अम्ल (Capric acid) CH_3 $(CH2)_8$ COOH
8. लार्रिक अम्ल (Lauric acid) CH_3 $(CH_2)_{10}$ COOH
9. पामिटिक अम्ल (Palmitic acid) CH_3 $(CH_2)_{14}$ COOH
10. स्टियरिक अम्ल (Stearic acid) CH_3 $(CH_2)_{16}$ COOH

उपरोक्त रासायनिक अम्लों से यह स्पष्ट होता है कि सभी वसीय अम्लों में आवश्यक रूप से कार्बन अणुओं की समसंख्या होती है, जो कि प्राय : 16 से 18 तक हो सकती है । यही नहीं, उपरोक्त सूची में से चार वसीय अम्ल क्रमश : क्र. सं. 1 से 4 तक के वसाओं के संश्लेषण में भाग नहीं लेते । उपरोक्त 10 वसीय अम्लों में से तीन क्रमश : केप्रोयिक, केप्रिलिक तथा केप्रिक अम्ल ताड़ तथा नारियल के तेल में पाये जाते हैं । इसी प्रकार पामिटिक अम्ल ताड़ के तेल में

रख स्टियरिक अम्ल पादप व जंतु वसाओं में मौजूद होता है । पेड़ पौधों में पाये जाने वाले वसीय अम्लों (plant fatty acids) को भी निम्न 3 वर्गों में बाँटा गया है:

(a) **संतृप्त वसीय अम्ल (Saturated fatty acid) :** इस प्रकार के वसीय अम्लों का प्रारूपिक रासायनिक सूत्र CH_3 $(CH_2)n$- 2 COOH होता है । इनमें दोहरे बन्धों (double bonds) का अभाव पाया जाता है । केप्रिक अम्ल पामिटिक अन्त एवं स्टियरिक अम्ल इस श्रेणी के वसीय अम्लों के प्रमुख उदाहरण है ।

(b) **असंतृप्त वसीय अम्ल (Unsaturated fatty acids) :** इस प्रकार के वसीय अम्लों में एक या दो कार्बन युग्मों के बीच दोहरे बन्ध (double bonds) पाये जाते हैं । इन वसीय अम्लों में हाइड्रोजन परमाणुओं की संख्या संतृप्त वसीय अम्लों की तुलना में अपेक्षाकृत कम रहती है । असंतृप्त वसीय अम्लों के योगदान द्वारा निर्मित वसाओं का गलनांक भी काफी कम होता है । इसलिए ये सामान्य तास्थ्य पर तेल के रूप में उपस्थित रहते हैं, तथा वायु के संपर्क में आने के बाद ये तेल शुष्क होकर ठोस पदार्थ में रूपान्तीरत हो जाते हैं एवं मोम का निर्माण करते हैं । असंतृप्त वसीय अम्लों द्वारा संश्लेषित वसाओं में सूरजमुखी, तथा आलसी के तेल के उदाहरण उल्लेखनीय है । क्योंकि इस प्रकार के तेलों में वायु के संपर्क में आते ही ठोस प्रारूप ग्रहण करने की क्षमता होती है । अत : इनका उपयोग प्राय : रंग -रोगन एवं वार्निश के लिए भी किया जाता है । सामान्यतया खाद्योपयोगी तेलों में असंतृप्त वसीय अम्ल में लिनोलिक अम्ल (linoleic acid 98 H_{32} O_2)रख ओलिक अम्ल (oleic acid C_{18} H_{34} O_2) के नाम उल्लेखनीय हैं । जो बहुलता से पाये जाने वाले असंतृप्त वसीय अम्ल है ।

(c) **अन्य वसीय अम्ल (Other fatty acids) :** सामान्यता अधिकांश वसीय अम्लों को उपरोक्त 2 श्रेणियों के अंतर्गत ही रखा जा सकता है, फिर भी यदाकदा या विरल रूप से ऐसे वसीय अम्ल भी देखे जा सकते है, जिनको उपरोक्त में से किसी भी श्रेणी में नहीं रख सकते । ऐसी अवस्था में इनके लिए एक अलग वर्ग का निर्धारण किया गया है । कुछ उदाहरण निम्न प्रकार है :

1. असंतृप्त हाइड्रॉक्सी अम्ल (Unsaturated hydroxyl acids) जैसे - रिसोनिलिक अम्ल (riconilic acid C_{18} H_{34} O_3)
2. संतृप्त हाइड्रॉक्सी अम्ल (Saturated fatty acids) जैसे - सेबिनिक अम्ल (Sabinic acid, C_{16} H_{32} O_3) व जूनिपेरिक अम्ल (JUniperic acid, C_{12} H_{24} O_3)
3. संतृप्त डाइहाइड्रॉक्सी अम्ल (Saturated dihydroxy acids) जैसे - अरंडी का तेल (cabtor oil, acid C_{16} H_{36} O_3)
4. संतृप्त हाइड्रोबेसिक अम्ल (Saturated dibasic acids) उदाहरण - जापानी मोम (acid C_{18} H_{32} O_2)
5. चक्रीय अम्ल (Cyclic acids) उदाहरण - चील मूग्रिक अम्ल (acid C_{18} H_{32} O_2)

संश्लेषण (Synthesis): ग्रीन (green,1960) द्वारा किये गये अध्ययन के अनुसार वसीय अम्लों के संश्लेषण के लिए दो एन्जाइम कॉम्पलेक्स (enzyme complex) एवं 5 प्रकार के

सहकारकों (Co - factors) जैसे - $Mn^{++} ATP,$ बायोटिन NAPDH व Co_2) की आवश्यकता होती है । वसीय अम्लों की लंबी श्रृंखलाओं का निर्माण एसिटाइल कोएन्जाइम - A (acety1 koenzyme - A दो कार्बन यौगिक) के द्‌वारा होता है । यह कोएन्जाइम (CH_3 CO $\approx$ COA) वसीय अम्लों के संश्लेषण में प्रमुख केन्द्रीय पदार्थ के रूप में भी प्रयुक्त होता है । पाइरुविक अम्ल की ऑक्सीकारी डिकार्बोक्सीलेशन (oxidative) प्रक्रिया के परिणामस्वरूप एसिटाइल (CoA का निर्माण होता इसमें पाइरुविक अम्ल के (CH_3 (एसिटाइल समूह) का अधिग्रहए HSCoA मूलक द्‌वारा कर लिया जाता है एवं इससे CH_3 COSCoA (एसिटाइल कोएंजाइम - ए) का निर्माण होता है । वसीय अम्लों के संश्लेषण की प्रक्रिया मैं एसिटिक अम्ल से अन्य दीर्घ श्रृंखलाओं वाले अम्लों का निर्माण होता है । उदाहरण के तौर पर एसिटिक अम्ल से ब्यूटाइरिक अम्ल का संश्लेषण निम्न चरणों में परिपूर्ण होता है :

$$(CH_3\ COOH) + CoA \longrightarrow CH_3\ CO \approx COA + H_2O$$

एसिटिक एसिड (एसिटाइल CoA)

$$CH_3CO \approx SCoA + CO_2 + ATP \xrightarrow[\text{Mn}^{++}]{\text{बायोटिनल मेलोनिल}} CoA + COA$$

एसिटाइल CoA + मेलोनिल CoA $\longrightarrow$ एसिटोमेलोनिल CoA + COA

एसिटोमेलोनिल CoA + 4NADPH$_2$ $\longrightarrow$ ब्यूटाइरिक CoA + 4NADP+ CO_2 + H_2O

ब्यूटाइल ब्यूटाइरिक CoA + H_2O $\longrightarrow$ ब्यूटाइरिक अम्ल + CoA

इस प्रकार की रासायनिक प्रक्रियाओं का यह क्रम बारम्बार दोहराया जाता है । इसके परिणामस्वरूप प्रत्येक बार ब्यूटाइरिल के साथ मेलोनिल -CoA संघनित होकर रेखीय क्रम में दीर्घ श्रृंखलाओं वाले वसीय अम्लों का संश्लेषण कर लेते हैं।

13.4.1 ग्लिसरॉल का संश्लेषण (The Synthesis of Glycerol)

यह देखा गया है कि ग्लिसरॉल नामक एल्कोहॉल का संश्लेषण सजीव कोशिकाओं में एक से अधिक विधियों द्‌वारा सम्पन्न होता है । अधिकांशतया निम्न प्रक्रिया प्रयुक्त होती है :

1. सर्वप्रथम डाइहाड्र ऑक्सी ऐसिटोन फॉस्फेट (DHAP) नामक यौगिक $NADH_2$ की उपस्थिति में अपचयित होकर ग्लिसरोफॉस्फेट (glycerophosphate) में परिवर्तित हो जाता है । यह प्रक्रिया एन्जाइम ग्लिसरोफॉस्फेट डिहाइड्रोजिनेज (glycerophosphate dehydrogenase) द्‌वारा अभिप्रेरित होती है । यह एक सर्वविदित तथ्य है कि डाइहाइड्रॉक्सी एसिटोन फॉस्टेट, श्वसन क्रिया में ग्लाइकोलिसिस (EMP परिपथ) के अंतर्गत एवं मध्यवर्ती यौगिक (intermediate compound) के रूप में निर्मित होता है । यहाँ इसका निर्माण एन्जाइम एल्डोलेस की उपस्थिति में फ़्रक्टोस - 1.6 - डाइफॉस्फेट (fructose) के एक अणु के विघटन से होता है ।
2. अंतत : डाइहाड्रॉक्सी एसिटोन फॉस्फेट के अपचयन द्‌वारा बनने वाले यौगिक ग्लिसरोफॉस्फेट का एक एन्जाइम फॉस्फेट (Phosphatase) उपस्थिति में डी -फॉस्फोराइलेशन होता है (dephosphorlation) जिसकी वजह से ग्लिसरॉल का निर्माण हो जाता है ।

(1)

डाइहाइड्रौक्सी एसिटोन फॉस्फेट ग्लिसरोफॉस्फेट

(2)

ग्लिसरोफॉस्फेट ग्लिसरॉल

13.4.2 ग्लिसरॉल एवं वसीय अम्लों का संघनन (Condensation of Glycerol & Fatty Acids)

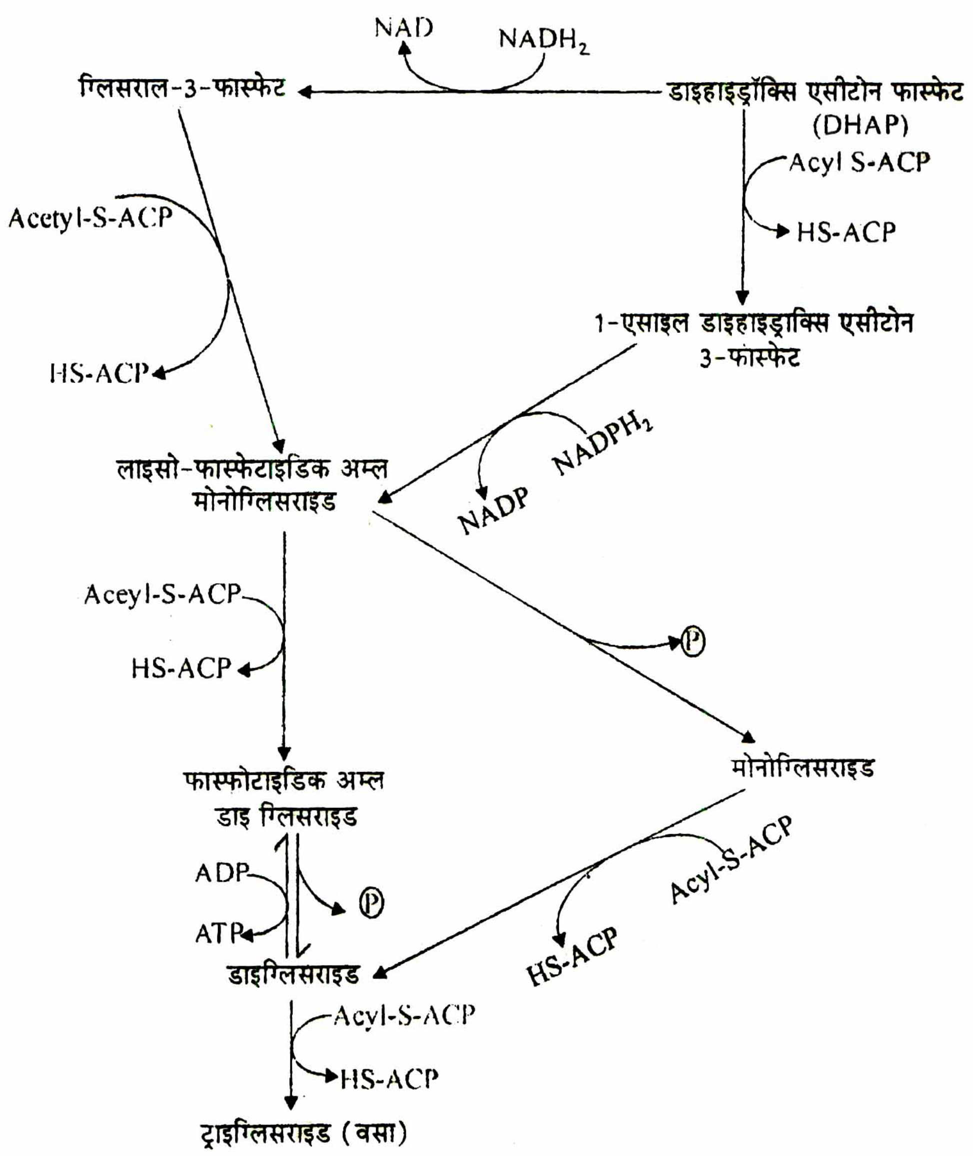
वसीय अम्लों एवं ग्लिसरॉल का संघनन, वसा संश्लेषण का तृतीय एवं अंतिम चरण है । प्राय : वसीय अम्लों एवं ग्लिसरॉल की मात्रा बहुत कम पाई जाती है । वैसे इसका निर्माण तो काफी अधिक मात्रा में होता है । इससे यह प्रतीत होता है कि सजीव पादप कोशिकाओं में जैसे ही वसीय अम्लों एवं ग्लिसरॉल का संश्लेषण होता है, वैसे ही इसका उपयोग वसा संश्लेषण के लिए कर लिया जाता है अर्थात् इसका संघनन हो जाता है ।

एसिटाइल कोएन्जाइम - A (acety1-CoA) की वसा संघनन अभिक्रियाओं में महत्वपूर्ण भूमिका होती है । इसमें सबसे पहले वसीय अम्ल, एसिटाइल CoA के साथ मिलकर एक सम्मिश्र का निर्माण करते हैं (fatty acid-acety CoA complex) सम्मिश्र या संकुल (complex) के तीन अणु दूसरे चरण में ग्लिसरॉल के एक अणु से संयुक्त होकर वसा के एक अणु का निर्माण करते हैं ।

उपरोक्त जैव रासायनिक क्रियाओं से यह स्पष्ट है कि लिपिड के एक अणु के निर्माण में ग्लिसरॉल के एक एवं वसीय अम्ल के तीन अणु काम में आते हैं । यहाँ लिपिड की प्रकृति या प्रकार के अनुसार वसीय अम्ल एक या एक से अधिक प्रकार के भी हो सकते हैं । सामान्य परिस्थितियों में वसीय अम्ल के तीन में से दो अणु एक प्रकार के वसीय अम्ल के रख तीसरा अणु अन्य प्रकार के वसीय अम्ल का होता है । वैसे कुछ वसाओं जैसे पामिटीन (palmitin) के वसीय अम्ल के तीनों अणु एक ही वसीय अम्ल (पामिटीन अम्ल) के होते हैं ।

कुछ वैज्ञानिकों जैसे होकिन (Hokin-1962) के अनुसार वसा संश्लेषण की उपरोक्त प्रक्रिया में यह संभावना भी प्रकट की गई है कि यहाँ Mg^{++}- एवं ATP जैसे सहकरक उपयोगी साबित हो सकते हैं । उपरोक्त अवधारणा को ध्यान में रखते हुये संघनन क्रिया द्वारा वसाओं के संश्लेषण के समग्र रूप से निम्न समीकरण के द्वारा निरूपित किया जा सकता है ।

ग्लिसरॉल. 3 वसीय अम्ल CoA संकुल $\frac{ATP}{Mg^{++}}$ लिपिड+ CoA



चित्र 13.0 : लिपिड संश्लेषण की सामान्य रूपरेखा

वसीय अम्लों के तीन अणुओं एवं ग्लिसरॉल के बीच सम्पन्न होने वाली इस अभिक्रिया को एस्टरीकरण (esterfication) भी कहते हैं । इस प्रकार की एस्टरीकरण अभिक्रिया से यह भी साबित होता है कि सजीव कोशिकाओं में ग्लिसरॉल की तुलना में वसीय अम्लों का संश्लेषण तीन गुणा अधिक तेजी से होता है ।

13.5 वसाओं का चयापचय या कार्बोहाइड्रेट्स में रूपान्तरण (Catabolism of Fats or Transformation in Carbohydrates)

अनेक उदाहरणों में वसाएँ श्वसन क्रिया में श्वसनधार (respiratory substrate) के रूप में प्रयुक्त की जाती है जिसके परिणामस्वरूप मी? अणु उत्पन्न होते हैं । पेड़-पौधो में जब संचित कार्बोहाइड्रेट पदार्थों की मात्रा बहु त कम रह जाती है या समाप्त होने लगती है तो ऐसी स्थिति में श्वसन पदार्थों के रूप में वसाओं का ही उपयोग किया जाता है । वसाओं में जल अपघटन (hydrolysis) की प्रक्रिया लाइपेस (lipase) नामक एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है, इसकी वजह से एस्टर बन्ध टूट जाता है एवं वसीय अक्ल तथा ग्लिसरॉल अलग हो जाते हैं । इसके पश्चात् वसीय अम्लों एवं ग्लिसरॉल का भी अपघटन होने लगता है ।

जल अपघटनी एन्जाइमों द्वारा वसा से ग्लिसरॉन एवं वसीय अम्ल फिर से उत्पन्न होते हैं । यह प्रक्रिया वसा सघनन या अपचय (anabolism) के ठीक विपरीत होती है तथा इसे हम साबुनीकरण (saponification) कहते हैं ।

वसा चयापचय में ग्लिसरॉल तथा वसीय अम्लों का ऑक्सीकरण अलग-अलग निम्न प्रकार से होता है.

13.5.1 ग्लिसरॉल का अपघटन या ऑक्सीकरण (Oxidation of Glycerol)

इसके अन्तर्गत वसा के जल अपघटन द्वारा उत्पन्न ग्लिसरॉल ATP से क्रिया करके 2 - गिलसरोफॉस्फेट नामक यौगिक का निर्माण करता है । इसके बाद इस ग्लिसरोफॉस्फेट का ऑक्सीकरण हो जाता है । ऑक्सीकरण की यह प्रक्रिया NAD^+ द्वारा डिहाइड्राजिनेज नामक एन्जाइम की उपस्थिति में सम्पन्न होती है । इसके परिणामस्वरूप एक 3C यौगिक डाइहाइड्रॉक्सी ऐसिटोन फॉस्फेट (DHAP) का निर्माण होता है, जो श्वसन क्रिया के ग्लाइकोलिसिस परिपथ में प्रवेश कर जाता है व आगे फिर से ऑक्सीकृत हो सकता है । उपरोक्त प्रक्रियाएँ अग्रानुसार सम्पन्न हो सकती है ।

$$\text{वसा} \xrightarrow[\text{लाइपेज}]{3HOH} \text{वसीय अम्ल} + \text{ग्लिसरॉल}$$

$$\text{ग्लिसरॉल} + ATP \longrightarrow \alpha \text{ ग्लिसरोफॉस्फेट} + ATP$$

$$\alpha \text{ गिल्सरोफॉस्फेट} + NAD^+ \longrightarrow \text{डाइहाइड्रॉक्सी ऐसिटोन फॉस्फेट} + NADH_2$$

13.5.2 अम्लों का अपघटन या ऑक्सीकरण (Oxidation)

विशेष प्रकार की प्रक्रियाओं एल्फा या बीटा ऑक्सीकरण द्वारा वसाओं के टूटने से स्वतंत्र हु ए वसीय अम्लों का अपघटन होता है । एल्फा या बीटा कार्बन परमाणुओं के सर्वप्रथम ऑक्सीकृत होने के आधार पर उपरोक्त दोनों प्रकार की ऑक्सीकरण प्रक्रियाओं का नामकरण किया गया है ।

एक प्रारूपिक वसीय अम्ल में एल्फा व बीटा कार्बन परमाणुओं की स्थिति निम्न प्रकार से होती है :

$$R— CH_2\ BCH_2\ \alpha\ CH_2\ COOH$$

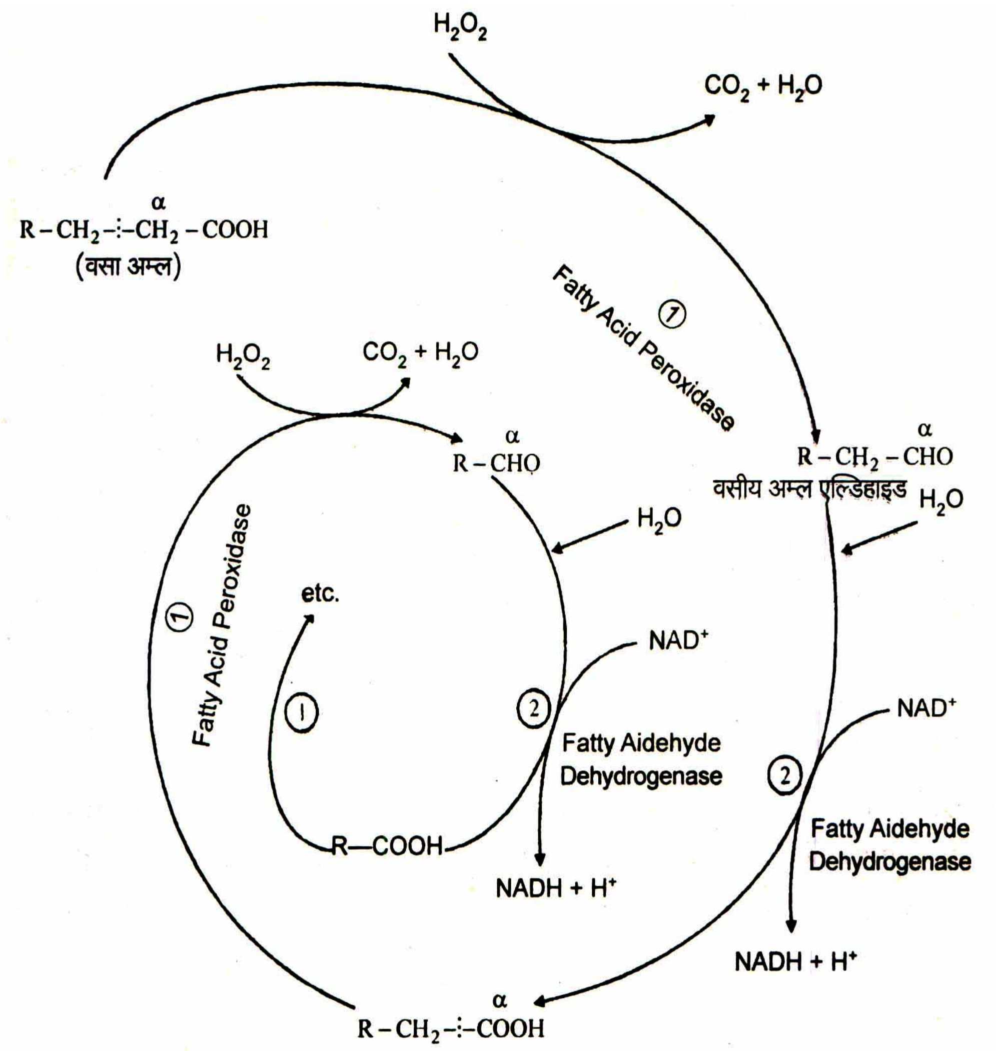
αएवं β ऑक्सीकरण प्रक्रियाओं का संक्षिप्त विवरण निम्न प्रकार से हैं :

(a) **एल्फा ऑक्सीकरण (Alpha oxidation) :** केवल कुछ उच्चवर्गीय पौधों में वसीय अम्ल का अल्फा ऑक्सीडेशन पाया जाता है, यह क्रिया जंतुओं में बिल्कुल नहीं पाई जाती है । यहाँ 13 से 18 कार्बन परमाणु युक्त लम्बी श्रृंखला वाले वसीय अम्ल आधारीय पदार्थ (substrate) के रूप में प्रयुक्त होते हैं । इस प्रक्रिया के द्वारा 13C से कम वाले वसीय अम्लों का अपघटन नहीं होता । अल्फा ऑक्सीकरण की प्रक्रिया दो चरणों में पूर्ण होती है इसमें से पहले चरण में विषम कार्बन परमाणु वाले वसीय अम्लों का रूपान्तरण इस संख्या वाले यौगिको में होता है इसके बाद इन का ऑक्सीकरण होता है। इस प्रकार एल्फा ऑक्सीकरण के दोनों चरण निम्न है :

(i) **वसीय अम्लों का परॉक्सीकरण (Peroxidation of fatty acids) :** कुछ ऑक्सीकारी पदार्थों; जैसे. H_2O_2 इत्यादि एवं परॉक्सीडेज एन्जाइम के उत्प्रेरण से वसीय अम्लों से कार्बन का एक अणु प्रतिस्थापित हो जाता है । इस प्रक्रिया को विकार्बनन कहते हैं एवं इसके परिणामस्वरूप वसीय अम्ल ऐल्डीहाइड में रूपान्तरित हो जाते हैं जिनमें कार्बन का एक परमाणु कम होता है । इस प्रक्रिया को निम्न समीकरणों के द्वारा निरूपित किया जा सकता है ।

$$R-CH_2-\alpha CH_2COOH \xrightarrow[\text{Preoxidase}]{H_2O_2} R-CH_2\alpha COOH + 3H_2O + Co_2$$

$$R-CH_2-CHO + H_2O + NAD^+ \rightarrow R-CH_2COOH + NADH_2$$



चित्र 13.1 : वसीय अम्लों का एल्फा ऑक्सीकरण

(ii) **NAD^+ के साथ एल्डीहाइड का सीधा ऑक्सीकरण** : एक विशेष एन्जाइम वसीय एल्डीहाइड डिहाइड्रोजिनेज द्वारा होता है इसके साथ ही कोएन्जाइम NAD^+ का अपचयन $NADH_2$ के रूप में हो जाता है एवं वसीय अम्ल से एक कार्बन परमाणु निष्कासित होकर चक्र में फिर से प्रवेश कर जाता है । इस प्रक्रिया को निम्न रासायनिक समीकरण के द्वारा निरूपित करते हैं (चित्र 14.2)

$$R-\beta CH_2-\alpha CH_2COOH \xrightarrow[\text{Fatty aldehyde dehydrogenase}]{H_2O_2} R-CH2\alpha CHO$$

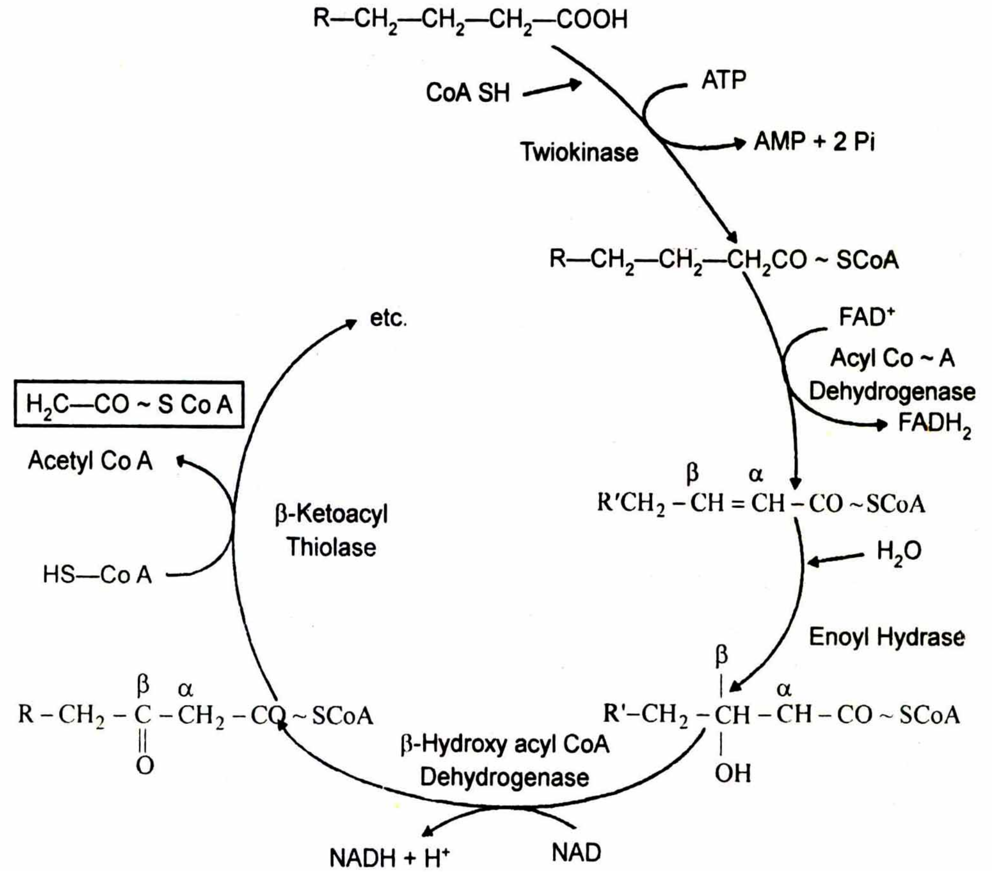
$$R-CH_2-\alpha CHO \xrightarrow{H_2O} R-CH_2\alpha COOH + NADH_2$$

(b) **बीटा ऑक्सीकरण (β- Oxidation)** : यह विभिन्न पौधों में वसीय अम्लों के अपघटन की सर्वाधिक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है । इसके परिणामस्वरूप एक साथ दो कार्बन परमाणु विमुक्त

होते हैं । यही नहीं इस प्रक्रिया में एसिटाइल कोएन्जाइम (CH_2CO + CoA) के रूप दो कार्बन खंडों का उत्तरोत्तर विमोचन होता रहता है । इस प्रक्रिया के प्रमुख चरण निम्न है|

(i) **वसीय अम्लों का सक्रियण (Activation of Fatty Acids) :** इसके अन्तर्गत थायोकाइनेस या ऐसाइल कोएन्जाइम -ए सिन्थेटेस की उपस्थिति में वसीय अम्ल का एक अणु अपने अंतिम सिरे द्वारा कोएन्जाइम "ए" से जुड़ जाता है एवं सक्रिय वसीय स्साइल कोएन्जाइम 'ए' बनाता है । इस प्रक्रिया में आवश्यक ऊर्जा ATP से दो फॉस्फेट समूह मुक्त होने से प्राप्त होती है 'ए एम पी' (AMP) का निर्माण होता है । इस सम्पूर्ण प्रक्रिया को निम्न समीकरण द्वारा निरूपित कर सकते हैं (चित्र 13.3) ।

वसीय अम्ल + कोएन्जाइम - ए + एटीपी $\rightarrow$ वसीय एसिल कोएन्जाइम - ए + ए एम पी + पी आई (Pi)



चित्र 13.2 : वसीय अम्लों का बीटा - ऑक्सीकरण

(ii) **विहाइड्रोजिनीकरण :** इस चरण में हर एक α व β कार्बन परमाणु से एक - एक हाइड्रोजन (2H) परमाणु का पृथक्करण होता है । एक विशेष एन्जाइम एसिल कोएन्जाइम एडिहाइड्रोजिनेस इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है । यहाँ हाइड्रोजनग्राही के रूप में हम FA D की जरूरत पड़ती है । विहाइड्रोजिनीकरण द्वारा वसीय एसिल

कोएन्नाइम 'ए' रूपान्तरित होकर ट्रॉन्स β - संतृप्त वसीय एसाइल कोएन्जाइमर बनाता है । यह निम्न प्रकार से होता है ।

वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' → ट्रॉन्स - β असंतृप्त वसीय फाइल कोएन्साइम 'ए' + $FADH_2$

(iii) **जलयोजन** : इस चरण में जल का एक अणु ट्रान्स - β असंतृप्त वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' के युग्म बन्ध पर जुड़ जाता है, जिससे β - हाइड्रॉक्सी कोएन्जाइम 'ए' का निर्माण होता है । यह प्रक्रिया एक एन्जाइम इनाइल हाइड्रोज की उपस्थिति में अभिप्रेरित होती है ।

ट्रॉन्स β असतृप्त वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए + H_2O →β - हाइड्रॉक्सी एसिल कोएन्जाइम 'ए'

(iv) **डिहाइड्रोजिनीकरण :** इसके अन्तर्गत बीटा -हाइड्रॉक्सी एसिल 'ए' का डिहाइड्रिजिनीकरण होता है तथा β□- कीटों वसीय एसिल कोएन्नाइम 'ए' बन जाता है । जहाँ हाइड्रोजन ग्राही के रूप में NAD कार्यशील होता है । यह प्रक्रिया एक विशेष एन्जाइम (β□-हाइड्रॉक्सी एसिल कोएन्नाइम 'ए' डिहाइड्रॉजिनेज की उपस्थिति में उत्प्रेरित होती है । इस प्रकार बीटा ऑक्सीकरण या कार्बोनिल कार्य का संचालन अब β□-कार्बन परमाणु पर होता है ।

हाइड्रोंक्सी एसिल कोएन्जाइम 'ए' + NAD→β -कीटों वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' + $NADH_2$

(v) **विदलन :** इसके अन्तर्गत वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' का एक अणु तथा एसिटाइल कोएन्नाइम 'ए' के दो अणु, β -कीटों वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' के थायोक्लास्टिक (thioclastic) विदलन द्वारा मुक्त होते हैं । इस प्रकार यहाँ क्रियाधार (substrate) दो खण्डों में विघटित हो जाता है ।

β -कीटों वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' + कोएन्जाइम 'ए'→वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' + एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' इस रासायनिक क्रिया में निर्मित वसीय एसिल कोएन्जाइम 'ए' में 2 कार्बन परमाणु कम संख्या में होते हैं । इसके बाद यह वसीय यौगिक फिर से β -ऑक्सीकरण चक्र में प्रवेश कर जाता है तथा इसमें तब तक बना रहता है जब तक कि इससे एसिटाइल कोएन्नाइम 'ए' के रूप में दो और कार्बन परमाणु नहीं निकल जाते । इस तरह बीटा -ऑक्सीकरण (β - oxidation) की प्रक्रिया में दीर्घ वसीय अम्ल श्रृंखला से 2 कार्बन इकाईयाँ निकल जाती है एवं दो एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' को अणुओं के रूप में ये निम्नीकृत (drgration) हो जाती है । यह प्रथम चरण में निर्मित मुख्य सक्रिय वसीय अम्ल की तुलना में कार्बन इकाईयों की कमी दर्शाता है एवं छोटा हो जाता है ।

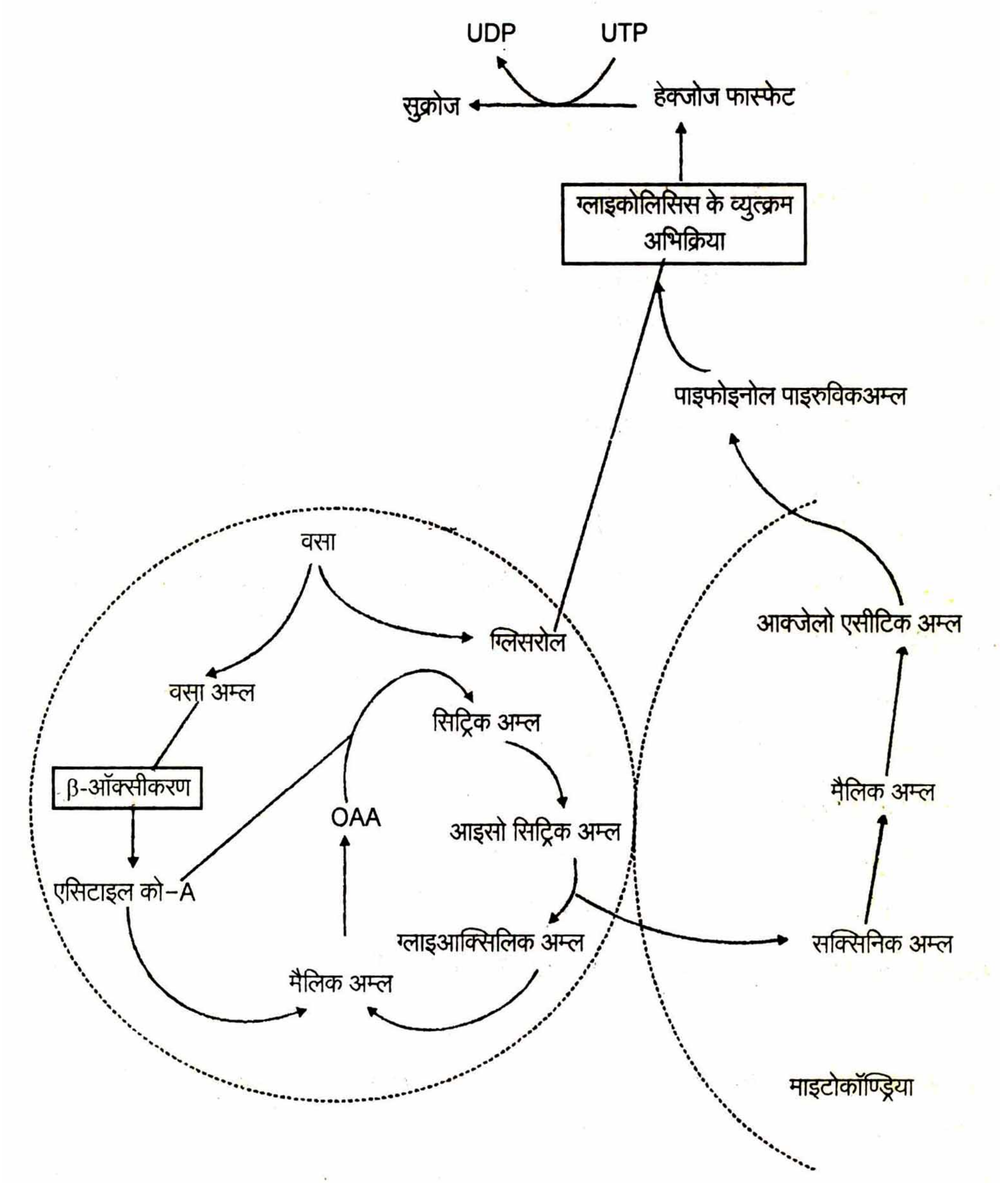
वसीय अम्ल ऑक्सीकरण द्वारा विमुक्त एसिटाइल कोएन्नाइम 'ए' का भविष्य (fates of Acetyl Coenzyme 'A' Liberated by Oxidation of Fatty Acids) : इस प्रकार बीटा ऑक्सीकरण के द्वारा मुक्ता एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' के अणु अब क्रेब्स चक्र की

अभिक्रियाओं में प्रवेश कर जाते हैं । यहाँ इनका विघटन या ऑक्सीकरण पूर्ण रूप से हो जाता है तथा ये CO_2 व H_2O के रूप में परिवर्तित हो जाते हैं व ऊर्जा विमुक्त होती है । इस अवस्था का वसीय अम्ल अणुओं में संग्रहित स्थितिज ऊर्जा (potenitial energy) मुक्ति की कार्यकुशलता (efficiency) एवं ऊर्जा संरक्षण के लिए विशेष महत्व है । एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' के अणुओं का वसीय बीजों के अंकुरण के समय घुलनशील सुक्रोस में रूपान्तरण ग्लाइऑक्सीलिक एसिड चक्र (glyoxylic acid cycle) के द्वारा हो जाता है । इससे यह तथ्य प्रमाणित होता है कि कार्बोहाइड्रेट्स की तुलना में वसाएँ गतिज ऊर्जा प्राप्ति के लिए अति उत्तम स्रोत है ।

ग्लाइऑक्सेलेट चक्र या वसा का सूक्रोस में रूपान्तरण (Glyoxylate cycle or transformation of fats into sucrose) : जब वसीय बीजों का अंकुरण होने लगता हैं तो उस समय वसा अणुओं का विलुप्तिकरण तथा सूक्रोस अणुओं का एकीत्रीकरण होने लगता है । सर्वप्रथम कॉर्नबर्ग एवं क्रेब्स (Kornberg & krebs,1957) ने ग्लाइऑक्सलेट चक्र (gly-oxalate acid cycle) को सूक्ष्मजीवों के द्वारा ऊर्जा प्राप्त की जाती है । इसके साथ ही कोएन्जाइम 'ए' सूक्ष्मजीवों की सक्रियता द्वारा शर्करा में रूपान्तरित हो जाते हैं । अंकुरित होते हुए वसीय बीजों में ग्लाइऑक्सेलेट चक्र की उपस्थिति का सर्वप्रथम अध्ययन वीबर्स (Beevers,1964) द्वारा किया गया (चित्र 13.3) ।

ग्लाइऑक्सीलेट चक्र का स्थल (Site of Glyoxylate cycle) : वसीय अम्लों में बीटा ऑक्सीकरण एवं ग्लाइऑक्सीलेट चक्र के सम्पादन की प्रक्रिया विशेष प्रकार के गोलाकार एकल झिल्ली युक्त कोशिकांगों में एसिड का फॉस्फोर्डनॉल पाइरुविक
एसिड में रूपान्तरण होता है लकिन सूक्रोस जैव संश्लेषण की अन्य स भी क्रियाएँ कोशिका द्रव्य में सम्पन्न होती है । मूलभूत रूप से ग्लाइ ऑक्सेलेट चक्र एक प्रकार से क्रेब्स चक्र का ही रूपान्तरण है, इसकी प्रमुख प्रक्रियाएँ निम्न प्रकार से हैं (चित्र 13.3) ।

1. सर्वप्रथम वसा का विघटन या निम्नीकरण वसीय अम्लों एवं ग्लिसरॉल में हो जाता है । इसके बाद ग्लिसरॉल के अणु ग्लाइकोलिसिस में प्रविष्ट हो जाते हैं । दूसरी ओर वसीय अम्लों का एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' में रूपान्तरण β -ऑक्सीकरण (β-oxidation) द्वारा होता है ।
2. इस प्रकार बीटा ऑक्सीकरण में निर्मित एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' ऑक्सेलोएसिटिक एसिड के साथ संयोजित होकर साइट्रिक अम्ल बनाता है ।
3. इसके बाद साइट्रिक अम्ल सिस - एकोनिटिक अम्ल में रूपान्तरित हो जाता है एवं इस प्रकार निर्मित सिस - एकोनिटिक अम्ल आइसोसाइट्रिक अम्ल में परिवर्तित होता है ।
4. अब एन्जाइम आइसोसाइट्रेस की उपस्थिति में आइसोसाइट्रिक अम्ल रूपान्तरण ग्लाइऑक्सेलिक अम्ल में हो जाता है ।



चित्र 13.3 : ग्लाइ ऑक्सीलेट चक्र

5. इसके बाद अगले चरण में क्रेब्स चक्र के समान अभिक्रियाएँ संचालित होती है अर्थात् सक्सीनिक अम्ल (succinic acid) का रूपान्तरण फ्यूमेरिक अम्ल में एवं फ्यूमेरिक अम्ल का परिवर्तन मेलिक अम्ल में तथा मेलिक अम्ल का रूपान्तरण क्रेब्स चक्र के समान ही आक्सेलोएसिटिक अम्ल में हो जाता है ।
6. तत्पश्चात् एन्जाइम मेलेट सिन्थेटेस की उपस्थिति में ग्लाइऑक्सेलिक अम्ल एसिटाइस कोएन्जाइम 'ए' के एक अणु से संयोजित होकर मेलिक अम्ल बनाता है ।
7. इसके बाद NAD एवं मेलिक डिहाइड्रोजिनेस एन्जाइम की उपस्थिति में मेलिक अम्ल का ऑक्सीकरण होता है एवं ऑक्सेलोएसिटिक अम्ल का निर्माण होता है ।

8. ऑक्सेलोएसिटिक अम्ल का डिकार्बोक्सीलीकरण (decarboxylation) ATP की उपस्थिति में होता है एवं फॉस्फोइनोल पाइरुविक एसिड (phosphoenol pyruvic acid P.E.P) का निर्माण होता है ।

9. इसके बाद ग्लाइकोलिसिस की एक प्रतिलोमित प्रक्रिया के रूप में फॉस्फोइनोल पाइरुविक एसिड (PEP) रूपान्तरित होकर ग्लूकोज फ्रक्टोस फॉस्फेट का निर्माण करता है ।

10. अन्त में ग्लूकोज एवं फ्रक्टोज के फॉस्फेटों के जुड़ने से सुक्रोस बनाता है ।

13.6 लिपिड का जैविक महत्व (Biological signification of lipid)

(1) **मुख्य भोजन संग्रह (Chief food storage) :** शरीर में उपस्थित लिपिड, स्थितिज रासायनिक ऊर्जा का मुख्य स्रोत है । कशेरुकी प्राणियों में लिपिड सभी अंगों में वितरित रहती है । त्वचा के नीचे यह एडिपोज ऊतकों के रूप में उपस्थित होती हैं । हृदय, वृक्क तथा आंत्रयोजियो के चारों ओर इनकी कुछ मात्रा उपस्थित होती है । यकृत भी वसा के संग्रह का मुख्य स्थल है । देह में उपस्थित वसा का उपयोग तथा ऑक्सीकरण उपवास (Fasting), भूख (starvation) अत्यधिक ठण्ड (cold), कसरत (exercise), प्रजनन (repoduction) तथा वृद्धि (growth) के दौरान होता है । यद्यपि प्राणियों में निरंतर वसा की कुछ मात्राएं रक्त के द्वारा शरीर के विभिन्न अंगों में वितरित होती रहती हैं । रक्त में लिपिड का परिवहन स्वतंत्र रूप में नहीं होता है बल्कि चिलोमाइक्रेन VLDL (Very low density Lipid), LDL (Low density Lipid), (HDL(High density Lipid), FFA (Free fatty Acid) के रूप में होता है । एडिपोज ऊतकों में संग्रहित ट्राईग्लीसराइड ऑक्सीकारक उपापचय में भाग लेता है । वसाओं के ऑक्सीकरण की दर, देह में होने वाले ऑक्सीकरण की तुलना में बहुत तीव्र होती है ।

(2) **श्वसन ऊर्जा का प्रचुर स्रोत (Rich source of energy) :** कार्बोहाइड्रेट, तथा प्रोटीन की तुलना में ट्राईग्लीसराइड का ऊर्जा महत्व अधिक होता है । एक ग्राम वसा के ऑक्सीकरण से 9. 5 K.Cal ऊर्जा का उत्पादन होता है । इस कारण ट्राईग्लीसरोस सर्वाधिक सांद्र प्रतिरूप है जिसमें स्थितिज ऊर्जा संग्रहित रहती है ।

(3) **हॉर्मोन संश्लेषण (Hormone synthesis) :** एड्रिनल कॅर्टेक्स, लिंग हॉर्मोन, विटामिन - D, का संश्लेषण लिपिड के व्युत्पन्नों से होता है ।

(4) **कोशिकाओं का संरचनात्मक घटक (Structural components of Cells) :** लिपिड कोशिकीय झिल्लियों के महत्वपूर्ण घटक हैं जो झिल्ली द्वारा परिवहित होने वाले अणुओं तथा आयनों को विनिमय का नियंत्रण करती है । मुख्य संरचनात्मक वसाएँ फॉस्फोलिपिड के रूप में पाई जाती है एवं प्रोटीन के साथ मिलकर संरचनात्मक संकुल का निर्माण करती है ।

(5) **ऊष्मारोधी (Heat insulation) :** स्तनधारियों में वसा की अधिकांश मात्रा उपत्वचीय वसा (subcutaneous fat) के रूप में उपस्थित होती है । इस वसा के कारण शरीर से ऊष्मा की क्षति बहुत कम होती है । क्योंकि यह कुचालक का कार्य करती है ।

(6) **एन्जाइम सक्रियण (Enzyme activation) :** कुछ एन्जाइमों के सक्रियण के लिए लिपिड के अणुओं की आवश्यकता होती है ।

(7) **यांत्रिक सुरक्षा (Meachanical production) :** देह में उपस्थित उपत्वचीय वसा, यांत्रिक आघातों से सुरक्षा प्रदान करती है ।

(8) **आवश्यक यौगिकों के वाहक (Carriers of Essential Compounds) :** कुछ बहु असंतृप्त वसीय अम्लों एवं वसा में घुलनशील विटामिन की आपूर्ति के लिए लिपिड की न्यूनतम मात्रा का भोजन के साथ उपस्थित होना आवश्यक है। आंत्र से इन पदार्थों के अवशोषण के लिए भी लिपिड का होना आवश्यक है ।

बोध प्रश्न

बहु विकल्पी प्रश्न

1. रासायनिक दृष्टि से वसा होती है :
   (अ) एस्टर
   (ब) एल्डीहाइड
   (स) कीटोन
   (द) एल्कोहॉल
2. संरचनात्मक रूप से वसाएँ हैं :
   (अ) मोनोग्लिसराइड
   (ब) पॉलीसेकेराइड
   (स) न्यूक्लिओटाइड
   (द) ट्राइग्लिसराइड...............

अतिलधुत्तरात्मक प्रश्न

1. वसाएँ किसमें अघुलनशील होती हैं ?
   ....
   ....
2. ग्लाइऑक्सेलेट चक्र किसमें सम्पन्न होता है ?
   ....
   ....
3. लिनोलिक अम्ल कौन सा वसीय अम्ल होता है ?
   ....
   ....

13.7 सारांश (Conclusion)

वसा व इनके व्युत्पन्न सामूहिक रूप से लिपिड कहलाते हैं । लिपिड, यौगिकों का विषमांगी समूह है जो वसीय अम्ल तथा एल्कोहल के एस्टर होते हैं । लिपिड जल में अघुलनशील होती है लेकिन

कार्बनिक विलायकों जैसे ईथर, क्लोरोफोर्म, बेंजीन ,मिथेनोल व पेट्रोलियम ईथर में घुलनशील होती है । कार्बोहाइड्रेट की तरह लिपिड भी 1C,H तथा O की बनी होती है लेकिन कार्बोहाइड्रेट की तुलना में इनमें ऑक्सीजन की मात्रा कम होती है । इनमें उपस्थित घटक पदार्थों की प्रकृति के आधार पर लिपिड्स को तीन वर्गों में बाँटा गया हैं सरल, संयुक्त तथा व्युत्प्न लिपिड्स ।

कार्बनिक रसायन के अध्ययन के अनुरूप वसाएँ संरचनात्मक दृष्टि से ट्राइग्लिसराइडस (triglycerides) कहलाती है । वसीय अम्ल के तीन अणुओं एवं ग्लिसरॉल के रष्क अणु के बीच परस्पर एस्टरीकरण (esterification) की प्रक्रिया द्वारा वसाओं का निर्माण होता है । वसा उपापचय को दो भागों में विभेदित किया गया है (1) वसा संश्लेषण व (2) वसा उपापचय। वसा संश्लेषण की प्रक्रिया को तीन प्रमुख सोपानों में विभेदित किया गया हैं - (i) वसीय अम्लों का संश्लेषण (ii) ग्लिसरॉल का संश्लेषण (iii) वसीय अम्ल रख ग्लिसरॉल का संघनन ।

वसा चयापचय (catabolism) में ग्लिसरॉल तथा वसीय अम्लों का ऑक्सीकरण के अन्तर्गत वसा के जल अपघटन द्वारा उत्पन्न ग्लिसरॉल ATP से क्रिया करके α- ग्लिसरोफॉस्फेट नामक यौगिक का निर्माण करता है । इसके बाद ग्लिसरोफॉस्फेट का ऑक्सीकरण हो जाता है । विशेष प्रकार की प्रकियाओं एल्फा या बीटा ऑक्सीकरण द्वारा वसाओं के टूटने से स्वतंत्र हुए वसीय अम्लों का अपघटन होता है । एल्फा या बीटा कार्बन परमाणुओं के सर्वप्रथम ऑक्सीकृत होने के आधार पर उपरोक्त दोनों प्रकार की ऑक्सीकरण प्रक्रियाओं का नामकरण किया गया है । एल्फा ऑक्सीकरण केवल कुछ उच्चवर्गीय पौधों के वसीय अम्ल में पाया जाता है । यह क्रिया जंतुओं में बिल्कुल नहीं पाई जाती है । यहाँ 13 से 18 कार्बन परमाणु युक्त लंबी श्रृंखला वाले वसीय अम्ल आधारीय पदार्थ (substrate) के रूप में प्रयुक्त होते हैं । इस प्रक्रिया के द्वारा 13 कार्बन से कम वाले वसीय अम्लों का अपघटन नहीं होता है । अल्फा - ऑक्सीकरण की प्रक्रिया दो चरणों में पूर्ण होती है इसमें से पहले चरण में विषम कार्बन परमाणु वाले वसीय अम्लों का रूपान्तरण सम संख्या वाले यौगिकों में होता है, उसके बाद इन यौगिकों का ऑक्सीकरण होता है । बीटा - ऑक्सीकरण (β- oxidation) विभिन्न पौधों में वसीय अम्लों के अपघटन की सर्वाधिक महत्वपूर्ण प्रक्रिया है । इसके परिणामस्वरूप एक साथ दो कार्बन परमाणु विमुक्त होते हैं । यही नहीं, इस प्रक्रिया में एसिटाइल कोएन्जाइम -ए ($CH_3CO \approx CoA$) के रूप में दो कार्बन खंडों का उत्तरोतर विमोचन होता रहता है । इस प्रक्रिया के प्रमुख चरण निम्न प्रकार हैं (i) वसीय अम्लों का सक्रियण (Activation of fatty acids) (ii) विहाइड्रजेजिनीकरण (iii) जलयोजन (iv) डिहाइड्रोजिनीकरण (v) विदलन । इस प्रकार बीटा ऑक्सीकरण के द्वारा मुक्त एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' के अणु अब क्रेब्स चक्र की अभिक्रियाओं में प्रवेश कर जाते हैं । यहाँ इनका विघटन या ऑक्सीकरण पूर्ण रूप से हो जाता है तथा ये CO_2 व H_2O ∘ के रूप में परिवर्तित हो जाते हैं व ऊर्जा विमुक्त होती है । इस अवस्था का वसीय अम्ल अणुओं में संग्रहित स्थितिज ऊर्जा (Potential energy) मुक्ति की कार्यकुशलता (efficiency) एवं ऊर्जा संरक्षण के लिए विशेष महत्व है । एसिटाइल कोएन्जाइम 'ए' के अणुओं का वसीय बीजों के अंकुरण के समय घुलनशील सुक्रोस में रूपान्तरण ग्लाइऑक्सीलिक एसिड चक्र (glyoxylic acid cycle) के द्वारा

हो जाता है । इससे यह तथ्य प्रमाणित होता है कि कार्बोहाइड्रेट्स की तुलना में वसाएँ गतिज ऊर्जा प्राप्ति के लिए अति उत्तम स्रोत है ।

13.8 शब्दावली (Terminology)

(1) **संतृप्त वसीय अम्ल (Saturated fatty acids) :** इस प्रकार के वसीय अम्लों में दोहरे बन्धों (double bonds) का अभाव पाया जाता है । केप्रिक अम्ल, पामिटिक अम्ल रख स्टियरिक अम्ल इस श्रेणी के वसीय अम्लों के उदाहरण हैं।

(2) **असंतृप्त वसीय अम्ल (Unasaturated fatty acids) :** इस प्रकार के वसीय अम्लों में एक या दो कार्बन युग्मों के बीच दोहरे बन्ध (double bonds) पाये जाते हैं । इन वसीय अम्लों में हाइड्रोजन परमाणुओं की संख्या संतृप्त वसीय अम्लों की तुलना में अपेक्षाकृत कम रहती है ।

(3) **एस्टरीकरण (Esterification) :** वसीय अम्ल के तीन अणुओं एवं ग्लिसरॉल के एक अणु के बीच परस्पर प्रक्रिया द्वारा वसाओं का निर्माण होता है उसे एस्टरीकरण कहते हैं ।

(4) **साबुनीकरण (Saponification) :** वसाओं का जल अपघटन (hydrolysis) क्षारों की उपस्थिति में करवा कर इसके घटक पदार्थों को फिर से प्राप्त किया जा सकता है । इसके परिणामस्वरूप एस्टर बन्ध (ester bonds) टूट जाते हैं, एवं फिर से ग्लिसरॉल त था वसीय अम्लों के लवण या एस्टरों का निर्माण होता है । यह अभिक्रिया साबुनीकरण कहलाती है ।

(5) **वसाओं का चयापचय (Catabolism of fat) :** ग्लिसरॉल एवं वसीय अम्लों का ऑक्सीकरण होना ।

(6) **ग्लाइऑक्सीसोम्स (Glyoxysomes) :** ये एक विशेष प्रकार के गोलाकार एकल झिल्ली युक्त कोशिकांग जिसमें वसीय अम्बों में बीटा ऑक्सीकरण एवं ग्लाइऑक्साइलेट चक्र के सम्पादन की प्रक्रिया होती है ।

13.9 संदर्भ ग्रन्थ

(1) प्रो. त्रिवेदी, शर्मा धनखड - पादप कार्यिकी, जैव रसायन रख जैव प्रौद्योगिकी, आर, बी. डी. जयपुर ।

(2) डॉ. के. सी. सोनी व डॉ. रावत बॉयोटेक्मोलॉजी - । सी. बी. सी. जयपुर ।

(3) सैलिसबरी व रॉस - पादप कार्यिकी

(4) एच. एस. श्रीवास्तव - पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रस्तोगी पब्लिकेशन, मेरठ

(5) तायाज व जीजर - पादप कार्यिकी

13.10 बोध प्रश्नों के उत्तर

बहु विकल्पी प्रश्नों के उत्तर

1. (अ) 2. (द)

अतिलधुत्तरात्मक प्रश्नों के उत्तर

1. वसाएँ जल में अघुलनशील होती हैं ।
2. ग्लाइऑक्सेलेट चक्र ग्लाइऑक्सीसोम में सम्पन्न होता है ।
3. लिनोलिक अम्ल असंतृप्त वसीय अम्ल होता है ।

13.11 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. बीटा - ऑक्सीकरण का विस्तृत वर्णन कीजिए ।
2. वसीय अम्ल तथा उनके संश्लेषण की प्रक्रिया समझाइए ।
3. ग्लाइऑक्सेलेट चक्र का विस्तृत वर्णन कीजिए ।
4. वसाओं के चयापचय की संक्षिप्त रूपरेखा लिखिए ।
5. वसाओं का जैविक महत्व समझाइए ।

इकाई 14 : बीज अंकुरण, प्रसुप्ति तथा पादप गतियाँ (Seed Germination,Dormancy & Plant Movement)

इकाई की रूपरेखा

14.0 उद्देश्य

14.1 प्रस्तावना

14.2 बीज अंकुरण

14.2.1 बीजांकुरण के समय उपापचयी परिवर्तन

14.3 बीजांकुरण के लिए आवश्यक परिस्थितियाँ

14.4 बीज प्रसुप्ति

14.5 बीज प्रसुप्ति के लिए उत्तरदायी कारक

14.6 बीज प्रसुप्ति भंग करने की विधियाँ

14.7 प्रसुप्ति का महत्व

14.8 पादप गतियाँ

14.9 पादप गतियों का वर्गीकरण

14.9.1 चलन गतियाँ

14.9.2 वक्रता गतियाँ

14.10 परिवर्तन की गतियाँ

14.10.1 स्वप्रेरित परिवर्तन गतियाँ

14.10.2 अनुप्रेरित परिवर्तन गतियाँ

14.11 सारांश

14.12 शब्दावली

14.13 संदर्भ ग्रन्थ

14.14 बोध प्रश्नों के उत्तर

14.15 अभ्यासार्थ प्रश्न

14.0 उद्देश्य (Objective)

इस इकाई का उद्देश्य

(1) यह जानना बीज अंकुरण क्या होता है । किस प्रकार होता है ।

(2) बीचांकुरण की आवश्यक परिस्थितियाँ क्या होती हैं, उनकी जानकारी प्राप्त करना ।

(3) वस्तु प्रसुप्ति क्या होती है, कौन से कारक है जो इसके लिए उत्तरदायी हैं ।

(4) प्रसुप्ति भंग करने की विधियों के बारे में जानकारी हासिल करना ।

(5) प्रसुप्ति का महत्व जानना ।

(6) पादप गतियाँ क्या होती हैं । कितने प्रकार की होती है ।

(7) इनका क्या वर्गीकरण है ।

14.1 प्रस्तावना (Introdution)

आवृतबीजियों में निषेचित बीजाण्ड से बीज का तथा अण्डाशय से फल का निर्माण होता है । हर बीज में एक भ्रूण, संचित भोजन जो भ्रूणपोष के रूप में होता है तथा इसके चारों और बीजावरण उपस्थित होता है जो सुरक्षात्मक कवच का कार्य करता है । द्विबीजपत्री भ्रूण में एक भ्रूणीय अक्ष होता है जिसके पार्श्व में दो बीजपत्र (cotyledons) संलग्न होते हैं । अक्ष का वह भाग जो बीजपत्रों के ऊपर की ओर स्थित होता है, बीजपत्रोपरिक (epicotyle) कहलाता है तथा बीजपत्रों के नीचे की ओर का भाग बीजपत्राधारी (hypocotyle) कहलाता है । (epicotyle) के शीर्ष भाग को प्रांकुर (plumule) कहते हैं तथा बीजपत्राधारी भाग के आधार को मुलांकुर (radicle) कहते हैं । एकबीजपत्री भ्रूण में केवल एक बीजपत्र होता है तथा घासों मे बीजपत्र को स्कयूटेलम (scutellum) कहते हैं । बीज में भ्रूण सामान्यत : विश्रामावस्था में रहता है तथा इसमें जल सीमित मात्रा (6 - 15 %) में उपस्थित होता है । बीज उचित अवस्थाओं में अंकुरित होकर क्रमिक परिवर्धन द्वारा एक स्वतंत्र स्वपोषी पादप का निर्माण करता है ।

पादप के जीवन चक्र की वह प्रावस्था जिसमें सक्रिय वृद्धि अस्थायी रूप से निलम्बित रहती है प्रसुप्तावस्था (dormancy) कहलाती है । इसका मुख्य उद्देश्य वृद्धि की प्रतिकूल परिस्थितियों को टालने का होता है । इस प्रकार यह वृद्धि की प्रारूपिक अवस्था है जो प्रतिकूल वातावरणी परिस्थितियों के प्रति अनुकूलन को दर्शाती है ।

वृद्धि एवं जनन के अतिरिक्त गति भी सजीवों का प्रमुख लक्षण है । पादप प्राणियों के समान एक स्थान से दूसरे स्थान तक नही जा पाते हैं । ये अपना पोषण वातावरण में उपस्थित पदार्थों से स्वयं बनाते है अथवा स्वपोषी (autotropic) कहलाते हैं । इसलिए इन्हें पोषण के लिए प्राणियों की तरह गतिशील होने की आवश्यकता नहीं पड़ती है । उच्च पादपों में गति पादप अंगों के झुकने (bending) ऐंठन (twisting) अथवा दीर्घन (elongation) के रूप में परिलक्षित होती है। इसके विपरीत कुछ निम्न वर्ग के पादप जो जल में वास करते हैं तथा कशाभिका युक्त होते हैं, जन्तुओं की भाँति चलन क्रिया कर सकते हैं ।

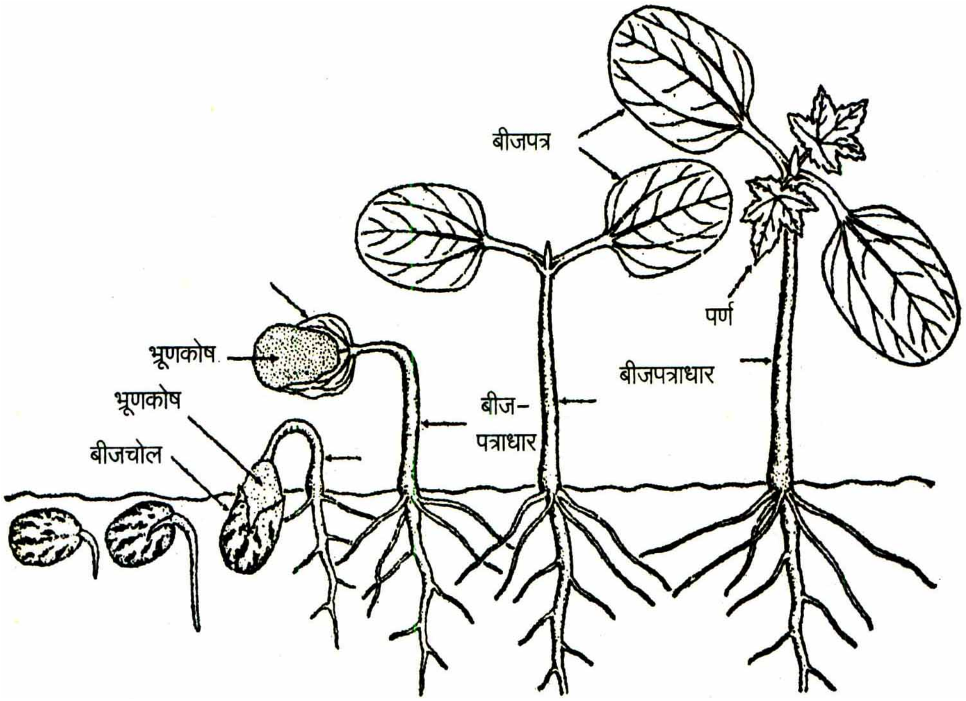
इस अध्याय मे सर्वप्रथम बीज अंकुरण, फिर बीज प्रसुप्तता व पादप गतियाँ का बारी -बारी अध्ययन करेंगे ।

14.2 बीज अंकुरण (Seed Germination)

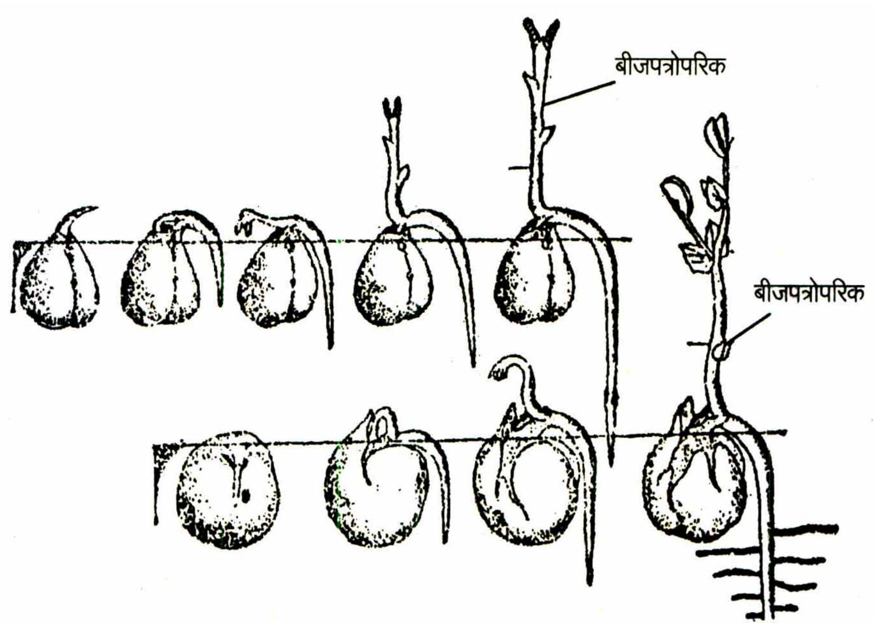
सर्वप्रथम बीज अंकुरण के समय बीज पारगम्य बीजचोल अथवा बीजाण्डद्वार के माध्यम से जल का अवशोषण करता है । जल अवशोषण से भ्रूण की कोशिकाओं का जीवद्रव्य सक्रिय हो जाता है तथा बीज में उपस्थित संचित खाद्य पदार्थों का एन्जाइमों द्वारा घुलनशील अवस्था में रूपान्तारण हो जाता है । इस प्रकार भोज्य पदार्थ आसानी से भ्रूण तक पहुँचने लगते हैं जिससे भ्रूण कोशिकाओं से विभाजन, दीर्घन तथा विभेदन तेज गति से होने लगता है । अंकुरण के समय सबसे पहले मूलांकुर तेजी से वृद्धि कर फूले हुए बीजचोल को भेदकर बाहर निकलता है । मूलांकुर पर मूलरोम विकसित हो जाता है तथा यह मृदा में स्थापित होकर प्राथमिक मूल संस्थान

(primary root system) का निर्माण करता है । मूल निर्माण के पश्चात् भ्रूण अक्ष का तीव्र गति से दीर्घन होता है । यदि बीजपत्रोपरिक क्षेत्र (epicotyylar region) का दीर्घन होता है तो बीजपत्र (cotyedons) नीचे भूमि में रह जाते हैं तथा इस प्रकार का अंकुरण अधोभूमिक (hypocotylar region) कहलाता है (चित्र 14.2) ।

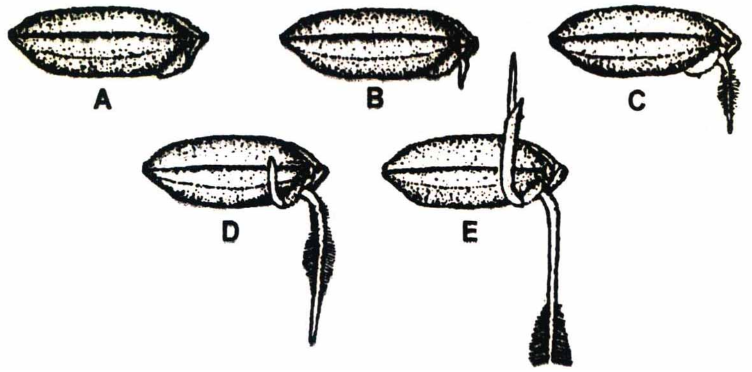
इसके विपरीत यदि दीर्घन बीजपत्राधारी क्षेत्र (hypocotylar region) में होता है तो प्रांकुर बीजपत्रों सहित भूमि की सतह पर निकल आता है । अर्थात् केवल मूलांकुर ही मृदा में रहता है, इस प्रकार का बीज अंकुरण उपरिभूमिक या मूम्योपरिक (epigeal) अंकुरण कहलाता है । भ्रूण की प्रारम्भिक वृद्धि बीज से संचित भोजन के उपयोग द्वारा होती है परन्तु शीघ्र ही प्रांकुर प्ररोह में रूपान्तरित हो जाता है जिसमें पर्णहरित का संश्लेषण होने से यह स्वयं भोजन निर्माण प्रारंभ कर देता है । समुद्र के किनारे जहाँ नमक (soil) में ज्यादा पाया जाता है वहाँ mangroove पादपों में बीज अंकुरण जब बीज मादा पादप पर होता तभी आरंभ हो जाता है ऐसे बीज अंकुरण को viviparous germination कहते हैं (चित्र 14.1, 14.2, 14.3,14.4,14.5) ।



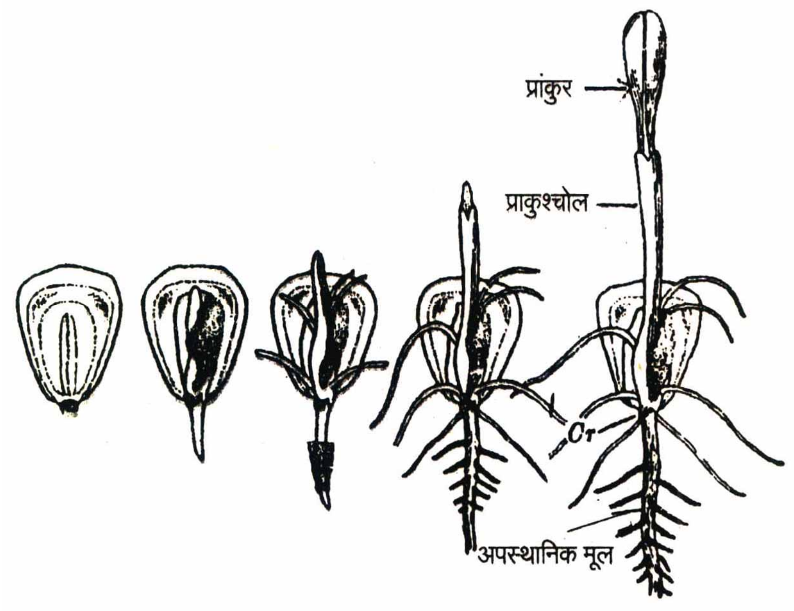
चित्र 14.1 : भूम्योपरिक अंकुरण की प्रावस्थाएँ (अरण्ड)



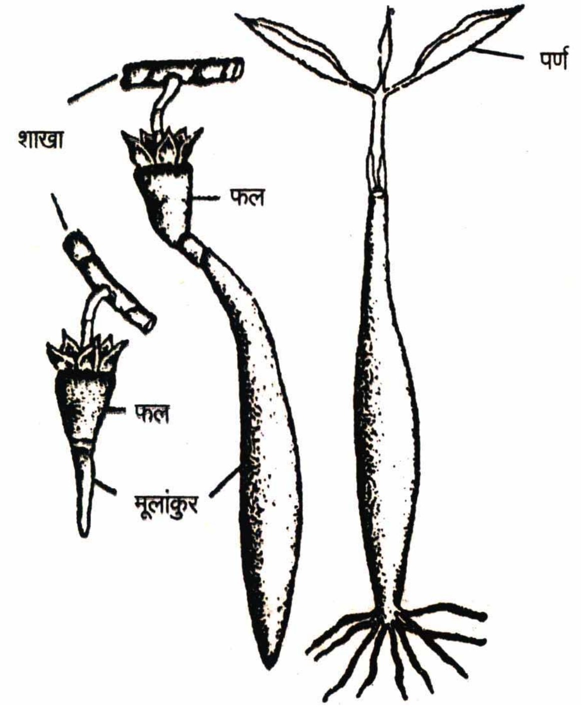
चित्र 14.2 : अधोभूमिक अंकुरण की प्रावस्थाएँ (चना) व (मटर)



चित्र 14.3 : बीजांकुरण (अधोभूमिक) की प्रावस्थाएँ (चावल)



चित्र 14.4 : बीजांकुरण (अधोभूमिक) की प्रावस्थाएँ (मक्का)



चित्र 14.4 : चित्र 14.5 : विविपेरस अंकुरण की प्रावस्थाएँ

14.2.1 बीजांकुरण के समय उपापचयी परिवर्तन (Metabolic Changes During Seed Germination)

उपापचयी क्रियाएँ न्यूनतम स्तर पर होती हैं शुष्क बीज में परन्तु बीजांकुरण के समय बीज के जल अवशोषण के तुरन्त पश्चात् उपापचयी क्रियाएँ तेज हो जाती हैं । बीजांकुरण के समय होने वाले महत्वपूर्ण परिवर्तन निम्न प्रकार हैं ।

14.2.2 श्वसन (Respiration)

अंकुरण के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है जो श्वसन से प्राप्त होती है । श्वसन दर में वृद्धि का सम्बन्ध बीज द्वारा अवशोषित जल मात्रा पर निर्भर करता है । प्रारम्भिक अवस्था में श्वसन दर में तेजी से वृद्धि होती है । इसके पश्चात् यह लगभग स्थिर हो जाती है तथा कुछ घन्टों बाद पुन : इसमें तेजी से वृद्धि होती है । सम्भवत : प्रथम प्रावस्था में बीज द्वारा जल अवशोषण होता है तथा द्वितीय प्रावस्था में जब श्वसन दर स्थित रहती है जल अवशोषण के फलस्वरूप बीज पूर्ण रूप से फूल चुका होता है । तृतीय प्रावस्था में जब श्वसन दर में पुन : वृद्धि होती है, बीज चोल टूट जाता है अर्थात् मूलांकुर व प्रांकुर बीजचोल को तोड़कर बाहर आ जाते हैं । श्वसन दर में होने वाली वृद्धि की उपरोक्त तीनों प्रावस्थाओं की अवधि विभिन्न बीजों में भिन्न -भिन्न होती है । इसके अतिरिक्त श्वसन दर ऑक्सीजन व कार्बन -डाई - ऑक्साइड सान्द्रता तथा तापमान आदि कारकों द्वारा भी प्रभावित होती है । अंकुरित बीजों की तुलना में शुष्क बीजों में माइटोकोन्ड्रिया अत्यधिक कम सक्रिय होते हैं जिससे यह इंगित होता है कि शुष्क बीजों में क्रेब्स चक्र क्रियाशील नहीं होता है । बीजांकुरण की प्रारम्भिक अवस्था में माइटोकॉन्ड्रिया गोलाकार संरचनाओं के रूप में होते हैं तथा इनमें क्रिस्टी अनुपस्थित अथवा अत्यधिक कम मात्रा में पाई जाती है परन्नतु जैसे - जैसे बीजांकुरण से परिवर्धन होता है क्रिस्टी संख्या में अधिक तथा स्पष्ट होती जाती है ।

14.2.3 संचित उत्पादों में परिवर्तन (Change in Storage Product)

बीजांकुरण के समय संचित पदार्थों कार्बोहाइड्रेट्, प्रोटीन व लिपिड्स का एन्जाइमों द्वारा जल अपघटन (hydrolysis) होता है । इस प्रकार बीजांकुरण के समय इनकी मात्रा बीज में कम हो जाती है, परन्तु वृद्धि के साथ मूल तथा प्ररोह में इक मात्रा बढ़ने लगती है ।

बीज में सचित कार्बोहाइड्रेटस (स्टार्च) का सामान्यत : α तथा β- एमाइलेज एन्जाइम्स द्वारा अपघटन होता है । शुष्क बीजों में सामान्यत: β- एमाइलेज उपस्थित होता है जबकि α-एमाइलेज का अंकुरण के समय संश्लेषण होता है । स्वामी तथा डेकर (Swami & Dekker,1966) के अनुसार α व β- एमाइलेज के साथ α ग्लूकोसाइडेज भी स्टार्च अपघटन में भाग लेता है ।

लाइपेज नामक एन्जाइम द्वारा लिपिड्स के अपघटन से वसा अम्लों तथा ग्लिसरॉल का निर्माण होता है । ग्लिसरॉल का उपापचय कार्बोहाइड्रेट के साथ होता है जबकि वसा अम्लों का उपापचय β- ऑक्सीकरण द्वारा होता है अथवा ग्लाइआक्सिसोम्स द्वारा इनका भी कार्बोहाइड्रेट में परिवर्तन होता है ।

प्रोटीन अपघटन के लिए दीं विभिन्न प्रकार के एन्जाइम्सप्प्स क्रमश : प्रोटीनेज (proteinases) तथा पेप्टाइज(peptidases) सक्रिय होते हैं ।

14.2.4 न्यूक्लिक अम्लों की सक्रियता (Activation of Nucleic Acids)

प्रोटीन संश्लेषण तथा न्यूक्लिक अम्ल की क्रिया बीजांकुरण के समय तेज हो जाती है । इस समय सभी प्रकार के RNA का सक्रिय संश्लेषण होता है । मूल व प्ररोह में बीजांकुरण के 48 घन्टे में न्यूक्लिक अम्लों की मात्रा में काफी वृद्धि हो जाती है । इस प्रकार घुलनशील

न्यूक्लियोटाइड्स की मात्रा में व्यापक वृद्धि देखी जा सकती है । बीजांकुरण के समय प्रोटीन संश्लेषण, दीर्घजीवी m.RNA के निर्देशन में होता है ।

14.3 बीजांकुरण के लिए आवश्यक परिस्थितियों (Conditions Necessary for Germination)

बीजांकुरण अनेक कारकों पर निर्भर करता है, जिसमें प्रमुख है बीज की जीवनक्षमता (viability) जो उसके आनुवंशिक संगठन पर निर्भर करती है । पर्यावरणी परिस्थितियाँ जिनमें बीज को संग्रहित किया जाता है उसकी जीवन क्षमता को प्रभावित करती है । विभिन्न बीजों की जीवन क्षमता भिन्न -भिन्न होती है तथा बीजों के संग्रहण के दौरान अनेक जैव रासायनिक परिवर्तन (biochemical changes) होते हैं जिससे इनकी जीवनक्षमता कम होती जाती है । एक जीवनक्षम (viable) बीज के अंकुरण के लिए अनेक अनुकूल परिस्थितियों की आवश्यकता होती है ।

14.3.0 बाह्य परिस्थितियाँ (External Conditions)

प्रकाश, ताप, कार्बन -डाइ - ऑक्साइड, जल व ऑक्सीजन आदि जो बीजों के अकुरण को प्रभावित करते हैं । ये इस प्रकार हैं :

(i) **प्रकाश (Light) :** अधिकतर फसली पौधों के बीज प्रकाश व अन्धकार में समान रूप से उगते हैं परन्तु जंगली जातियों के बीज प्रकाश व अंधकार के प्रति विभिन्नता दर्शाते हैं । प्रकाश के प्रति अंकुरण अनुक्रिया के आधार पर बीजों को तीन प्रमुख वर्गो में बाँटा जा सकता है । ये वर्ग निम्न प्रकार हैं ।

(a) **प्रकाश उदासीन (Light indifferent) :** इन पर अंकुरण के समय प्रकाश की उपस्थिति या अनुपस्थिति का कोई प्रभाव नहीं पड़ता है । उदाहरण : लाइकोर्पसिकम एस्कूलेन्टम (Lycopersicum esculentum) कुकुमिस सटाइवस(Cucumis sativus) तथा लेक्ट्रूका सैटाइवा (Lactuca sativa) की कुछ किस्में ज्वार (Sorghum Sp) आदि ।

(b) **घनात्मक प्रकाश प्रभावी (Positive photoblastic) :** इनका बीजांकुरण प्रकाश द्वारा उद्यीपित होता है । उदाहरण: एमरेन्थस रिट्रोफ्तेक्सस (Amaranthus retroflexus), कैप्सेला बर्सापेस्टोरिस (Capsella bursapastoris), डिजिटेलिस परपुरिया (Digitalis purpurea) एपिलोबियम हिर्स्यूटम (Epilobium hirsutum), लेक्ट्रूका सैटाइवा (Lactuca sativa var- Grand Rapids), निकोटियाना टोबेकम (Nicotiana tabaccum) तथा चिनोपोडियम रब्रम (Chenopodium rubrum) आदि ।

(c) **ऋणात्मक प्रकाश प्रभावी (Negative photoblastic) :** ये बीज प्रकाश की उपस्थिति में अंकुरित नहीं होते उदाहरण: नाइजेला डेमासिना (Nigella damascena), साइलेन आर्मोरिया (Silene armeria), धतूरा (Datura) stromonium), मिराबिलिस जलापा (Mirabills jalapa आदि । प्रकाश की किस्म भी अंकुरण दर को प्रभावित करती है । लेटयूस में बीजांकुरण लाल प्रकाश द्वारा उद्यीपित होता है । जबकि अवरक्त प्रकाश

(farred) द्वारा बाधित होता है । सम्भवत: फाइट्रोक्रोम की मध्यवस्था के फलस्वरूप अंकुरण पर इस प्रकार पड़ता है जो लाल प्रकाश में सक्रिय अवस्था तथा अवरक्त प्रकाश में निष्क्रिय अवस्था में होता है ।

(ii) **ऑक्सीजन (Oxygen) :** अंकुरण के लिए पर्याप्त ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है क्योंकि अधिकतर बीजों का अंकुरण वायवीय श्वसन पर ही निर्भर करता है । वायुमण्डल में ऑक्सीजन की 20% सान्द्रता अंकुरण के लिए अधिकतर बीजों में अनुकूलतम मानी जाती है । जैन्थियम में ऑक्सीजन की सान्द्रता 20% से अधिक होने पर अंकुरण दर में वृद्धि होती है । इसके विपरीत कुछ बीजों में न्यून ऑक्सीजन सान्द्रता में (eg. Typha atc) अच्छा अंकुरण होता है । इसके अतिरिक्त चावल (Rice) तथा अन्य जलोद्भिदों के बीज अवायवीय परिस्थितियों में अंकुरित होते हैं । सम्भवत: इनमें बीजांकुरण की प्रारम्भिक अवस्थाओं में अवायवीय श्वसन होता है तथा बीजचोल से प्रांकुर व मूलांकुर के बाहर आने पर वायवीय श्वसन होने लगता है । CO_2 सान्द्रता अंकुरण पर विपरीत प्रभाव डालती है तथा अधिकतर बीज CO_2 की उच्च सान्द्रता में अंकुरित नहीं हो पाते हैं । लेकिन Lactuea तथा Trifolium के बीजों में CO_2, की उच्च सान्द्रता बीजांकुरण को प्रेरित करती है ।

इथाइलीन की निम्न सान्द्रता बीजांकुरण को प्रेरित करती है । इसके अतिरिक्त वायुमण्डल में उपस्थित अन्य प्रदूषक गैसें जैसे NO_2,SO_2,O_3,NH_3 तथा H_2S आदि बीजांकुरण पर निरोधी प्रभाव डालती है ।

(iii) **जल (Water) :** बीजांकुरण की क्रिया के लिए सर्वप्रथम बीज अपने बाह्य वातावरण से जल का अन्त: शोषण करते हैं । जब बीजों को जल में भिगोया जाता है अथवा सिंचित मृदा में बोया जाता है तो ये अपने बीजचोल में उपस्थित कोलाइडी कणों द्वारा जल का अन्त :शोषण करते हैं । अन्तःशोषण के फलस्वरूप उपलब्ध जल के कारण बीज में उपस्थित अघुलनशील अथवा परासरणी निक्तिय भोज्याधारों का परासरणी सक्रिय रूप में परिवर्तन हो जाता है जिससे जल का परासरणी रूप से प्रवेश प्रारंभ हो जाता है । जल के अवशोषण के फलस्वरूप बीज में अन्य आवश्यक क्रियाएँ सम्पन्न होती है, जिनके फलस्वरूप अंकुरण सम्भव हो पाता है, जैसे :

(1) जल कोशिकाओं के जीवद्रव्य को सक्रिय करता है जिससे उपापचयी क्रियाएँ तेज हो जाती हैं ।

(2) बीजचोल का नर्म व मुलायम होना, जिससे इसकी पारगम्यता बढ़ जाती है ।

(3) बीजचोल के मुलायम होने से प्रांकुर व मूलांकुर इसे भेदकर आसानी से बाहर आ जाते हैं तथा पारगम्यता बढ़ने से ऑक्सीजन का प्रवेश बढ़ जाता है जिससे श्वसन दर तेज हो जाती है ।

(4) एन्जाइमों के सक्रियण से अघुलनशील भोज्य पदार्थ घुलनशील रूप में परिवर्तित हो जाते हैं ।

(5) उचित स्फीत दाब उत्पन्न हो जाता है जिससे कोशिका विभाजन व विवर्धन की क्रिया तेजी से होती है ।

(iv) **तापमान (Temperature) :** शुष्क बीज तापमान की दीर्घ परास (wide range) के प्रति सहनशील होते हैं, इसलिए इनकी जीवनक्षमता (viability) लम्बी अवधि तक बनी रहती है । परन्तु अंकुरण के लिए विभिन्न बीजों के लिए अनुकूलतम तापमान (optimum temperature) 15 - 30°C के मध्य होता है । कुछ बीजों को अंकुरण के लिए एक निश्चित तापक्रम की लम्बे समय तक आवश्यकता होती है, इसके विपरीत कुछ बीजों को अंकुरण के लिए सतत् निश्चित तापक्रम के बजाए परिवर्तनशील तापक्रम काल की आवश्यकता होती है । तापक्रम में वृद्धि के साथ-साथ अंकुरण दर में भी वृद्धि होती है तथा स्व निश्चित तापक्रम सीमा के पश्चात् अंकुरण. दर में गिरावट आने लगती है । इसके अतिरिक्त कुछ बीजों को अंकुरण से पूर्व शीत उपचार की आवश्यकता होती है ।

(v) **मृदा की स्थिति (Soil Conditions) :** बीजों का प्राकृतिक आवास में अंकुरण मृदा के भौतिक व रासायनिक संगठन पर निर्भर करता है । मृदा, वायु, लवणों की सान्द्रता तथा जलधारण क्षमता आदि विशेष रूप से बीजांकुरण को प्रभावित करते हैं । मृदा में लवणों की अधिकता परासरणी प्रभाव के कारण अंकुरण पर विपरीत प्रभाव डालती है ।

14.3.1 आन्तरिक परिस्थितियों (Internal Conditions)

(i) **जीवनक्षमता (Viability) :** उचित परिस्थितियों में बीज की अंकुरण क्षमता को उसकी जीवनक्षमता (Viability) कहते हैं । इस प्रकार अंकुरण के लिए यह आवश्यक है कि बीज जीवनक्षम (viable) हो । विभिन्न बीजों की जीवनक्षमता का निश्चित काल होता है । अधिकतर फसली पौधों के बीजों की जीवनक्षमता 2 - 6 वर्ष तक होती है । इस अवधि की समाप्ति के पश्चात् इनकी अंकुरण की क्षमता समाप्त होने लगती है । इसके विपरीत कुछ पौधों के बीजों की जीवनक्षमता 100 या अधिक वर्षो तक हो सकती है । इस प्रकार के बीजों की बीजचोल प्राय: कठोर व अपारगम्य होती है ।

(ii) **प्रसुप्ति (Dormancy) :** अनेक जीवनक्षम बीज उचित अंकुरणीय परिस्थितियों में भी अंकुरित नहीं हो पाते हैं, इस स्थिति को प्रसुप्ति कहते हैं । बीजों की प्रसुप्ति के विभिन्न कारण हो सकते हैं तथा इस प्रकार के बीजों के अंकुरण के लिए प्रसुप्ति का भंग होना आवश्यक होता है ।

14.4 बीज प्रसुप्ति (Seed Dormancy)

बीज का पूर्ण विकास हो जाने के पश्चात् उसकी वृद्धि रुक जाती है । कुछ पौधों में अनुकूल वातावरणी परिस्थितियाँ उपलब्ध होने पर ये अपने निर्माण के तत्काल पश्चात ही अंकुरित हो जाते हैं । परन्तु कुछ अन्य पौधों में अनुकूल वातावरणी परिस्थितियाँ उपलब्ध होने पर भी बीज अंकुरित नहीं हो पाते हैं । ये बीज क्रियात्मक रूप से निष्क्रिय होते हैं तथा बीजों की यह अवस्था प्रसुप्तावस्था (dormant stage)कहलाती है तथा इस घटना को प्रसुप्ति (dormancy) कहते हैं । एक जीवनक्षम बीज के अनुकूल अंकुरणीय परिस्थितियों में अन्र्तजात (endogenous) अथवा वातावरणी कारकों ([Environmental factors) के प्रभाव से अंकुरण के निरोधन को बीज

प्रसुप्ति कहते हैं अर्थात् जीवन क्षय बीज की अनुकूलन परिस्थितियों में सक्रिय वृद्धि के निलम्बन की अवस्था बीज प्रसुफता कहलाती है ।

प्राथमिक तथा द्वितीयक प्रसुप्ति (primary and Secondary Dormancy)

जब बीज परिपक्व होने के तुरन्त पश्चात् अनुकूल परिस्थितियाँ प्राप्त होने पर भी अपने आतरिक अथवा संरचनात्मक तथा क्रियात्मक कारणों से अंकुरित नहीं होता है तो इसे प्राथमिक प्रसुप्ति (Primary dormancy) कहते हैं । इस प्रकार की प्रसुप्ति निम्न में से एक या अधिक कारणों से हो सकती है :

(i) जल तथा ऑक्सीजन के लिए बीजावरण का अपारगम्य होना

(ii) भ्रूण का अपरिपक्व होना '

(iii) भ्रूण की वृद्धि में बाधा

(iv) विशिष्ट ताप या प्रकाश की आवश्यकता अथवा

(v) बीज में अंकुरण निरोधी (germination inhibitors) पदार्थों की उपस्थिति आदि ।

कुछ पौधों के बीजों में परिपक्वन के पश्चात् संग्रहण के दौरान होने वाले परिवर्तनों से प्रसुप्ति उत्पन्न होती है, इसे द्वितीयक प्रसुप्ति (secondary dormancy)कहते हैं । उदाहरण टेक्सस (Taxus) तथा फ़ेक्सिनस (Fraxinus) आदि के बीज परिपक्व होते ही तत्काल अनुकूलन परिस्थितियाँ प्राप्त होने पर अंकुरित होते हैं परन्तु किन्हीं कारणवश यदि इनका अंकुरण नहीं होता है तो ये प्रसुप्त बन जाते हैं जिसे द्वितीयक प्रसुप्ता कहा जाता है । इस प्रकार की प्रसुप्ति वातावरणी कारकों से उत्पन्न होती है ।

14.5 बीज प्रसुप्ति के लिए उत्तरदायी कारक Causes of Seed Dormancy)

बीजों की प्रसुप्ति निम्न एक या अधिक कारकों के प्रभाव से होती है ।

(i) **कठोर बीजावरण (Hard Seed Coat) :** कई बीजों में बीजावरण अत्यधिक कठोर होता है जो तीन प्रकार से प्रसुप्ति उत्पन्न कर सकता है ।

(a) **जल के प्रति अपारगम्य होना (Impermeable to water) :** अनेक पादपों में मुख्य रूप से लेम्यूमिनोसी कुल के पादपों में बीजावरण अत्यधिक कठोर होता है । इसके अतिरिक्त यह मोमी परत (wax like layer) द्वारा ढका रहता है जो जल के प्रति पूर्ण अपारगम्य (impermeable) होता है । कुछ बीजों में स्ट्रोफाइलर क्लेफट (Strophilar cleft) जिससे जल बीज में प्रवेश करता है, भी सूबेरिन युक्त होकर अपारगम्य हो जाता है । इस प्रकार बीजावरण के जल अवशोषण न कर पाने के कारण भ्रूण को जल उपलब्ध नहीं हो पाता है जिसके फलस्वरूप वह प्रसुप्ति अवस्था में बना रहता है ।

(b) **ऑक्सीजन के प्रति अपारगम्य होना (Impermeable to Oxygen) :** पौधों की कुछ जातियों में बीजावरण जल के प्रति permeable परन्तु ऑक्सीजन के प्रति impermeable होता है । इस प्रकार के बीज तब तक अंकुरित नहीं हो पाते जब तक वे प्रसुप्ति काल को पूरा नहीं कर लेते हैं । इस दौरान धीरे - धीरे ऑक्सीजन की

पारगम्यता बढ़ जाती है । उदाहरण : जेन्थियम (xanthium) इस पादप के फल में दो बीज पाये जाते हैं, एक ऊंपर की ओर दूसरा नीचे की ओर स्थित होता है । सामान्य परिस्थितियों में नीचे वाला बीज अंकुरित हो जाता है परन्तु ऊपरी बीज अंकुरित नहीं हो पाता है । ऊपरी बीज तभी अंकुरित हो पाते हैं जब उन्हें या तो ऑक्सीजनू कीं अधिक सान्द्रता में रखा जाए अथवा उनका बीजावरण हटा दिया जाए । वेअरिग तथा फोंडा (Wareing and Fonda1957) के अनुसार बीज में एक निरोधी (inhibiter) उपस्थित होता है जो इसे प्रसुप्ति अवस्था में बनाए रखता है । उच्च ऑक्सीजन सान्द्रता में यह ऑक्सीकृत होकर निष्क्रिय हो जाता है जिससे बीजांकुरण सम्भव हो पाता है ।

(c) **भ्रूण की वृद्धि के लिए यांत्रिक रूप से प्रतिरोधी होना (Mechanical Resistance to Growth of Embryo)** : कुछ पौधों में बीजावरण भ्रूण की वृद्धि को यांत्रिक विधि से रोकते हैं । उदाहरण. एमरेन्थस रेट्रोफ्तेक्सस (Amaranthus retroflexus) के बीजों का बीजावरण जल तथा ऑक्सीजन के प्रति पारगम्य होता है परन्तु सह भ्रूण के प्रसार पर निरोधी का कार्य करता है । बीजावरण को जब तक क्षीण नहीं किया जाता तब तक इनका अंकुरण सम्भव नहीं हो पाता है ।

(ii) **भ्रूण की अपूर्ण परिपक्यता (Immaturity of Embryo) :** अनेक कुलों के पादपों, जैसे; आर्किडेसी (orchidaceae), औरोबैंकी (orobanchease) तथा रेननकुलेसी (Ranunculaceae) आदि में बीजों का प्रकीर्णन भ्रूण के पूर्ण विकास होने से पहले ही हो जाता है । अत : इन बीजों का अंकुरण तब तक सम्भव नहीं होता है जब तक कि भ्रूण का परिवर्धन पूरा न हो जाए । इस प्रकार की प्रसुप्तता एक प्राकृतिक घटना है, क्योंकि पूर्ण के पूर्ण विकसित होने से पूर्व इनका अंकुरण संभव नहीं होता है । अनुकूलन परिस्थितयों में भ्रूण का परिवर्धन पूर्ण होने पर उचित अनुकरणीय परिस्थितियों में ये स्वत : ही अंकुरित हो जाते हैं । उदाहरण; गिंगो बाइलोबा (Ginkgo Biloba), नीटम निमोन (Gnetum gnemone), फ्रक्सिनस एक्सेल्सियोर (Fraxinus excelsior) रेननकुलस फिकेरिया (Ranunculus Ficaria), एनीमोन निमोरोसा (Anemone nemrosa) तथा आर्कीडेसी कुल के अनेक सदस्य ।

(iii) **उत्तर-पक्यन काल की आवश्यकता (Requirement of after Ripening Period) :** कई पौधों के बीज परिपक्व होने के तुरत बाद अंकुरित नहीं हो पाते हैं अपितु कुछ समय के विश्रामकाल के पश्चात् अनुकूल परिस्थितियों में अंकुरित होते हैं । विश्रामकाल के दौरान ये बीज अंकुरण की क्षमता अर्जित कर लेते हैं तथा इस काल को (विश्रामकाल) उत्तरपक्वन काल कहते हैं । कुछ जातियों में उत्तर पक्वन काल की क्रिया कम ताप तथा नमी की उपस्थिति में ही पूरी हो जाती हैं| जिसे स्तरण (strtification) कहते हैं, जबकि कुछ अन्य जातियों में यह क्रिया शुष्क भंडारण के समय पूरी होती है । विभिन्न जातियों में उत्तर पक्वन काल की अवधि कुछ सप्ताह से कुछ महीनों की होती है । अनेक सामान्य प्रकार के खाद्यान्न (Cerals), जी (oat),तथा गेहूँ (wheat) आदि में इस प्रकार की प्रसुप्ति पाई जाती है । इस प्रकार की प्रसुप्ति की बीजावरण हटाकर अथवा तापमान उपचार (2 -4 दिनों

तक 30- 35∘C पर) द्वारा भी दूर किया जा सकता है । ओलने तथा क्रियात्मक क्रियाएँ होती है । इन परिवर्तनों की प्रकृति के बारे में ज्ञात नहीं है परन्तु इनकी वजह से भ्रूण सक्रिय हो उठता है

(iv) **अंकुरण निरोधकों की उपस्थिति (Presence of Germination Inhibitors) :** गूद्देदार फलों (fleshy fruits) में स्थित बीज जैसे संतरा, टमाटर आदि तब तक अंकुरित नहीं हो पाते हैं, जब तक इनके फलों में काफी तरल पदार्थ, उपस्थित रहता है । फलों के गूदे में निरोधकों की उच्च सान्द्रता उपस्थित होती है जिसमें प्रमुख रूप से एब्लिसिक अम्ल (ABA), काउमेरिन (Coumerin), पारक्कोर्बिक अम्ल (per abcorbic acid), फिनोलिक अम्ल (phenolic acid) आदि उपस्थित होते हैं । इसके अलावा भ्रूण, भ्रूणपोष तथा बीज अन्य उत्तकों में लघु श्रृंखला वसा अम्ल उपस्थित होते हैं जो प्रसुप्ति का कारण होती है ।

ये पदार्थ अंकुरण सम्बन्धी ऐसी क्रियाओं का संदमन करते हैं जिनके कारण अंकुरण संभव नहीं हो पाता है । इन निरोधकों की अवस्था के अनुसार प्राकृतिक रूप से क्षरण (degradation)होता रहता है अथवा प्रतिनिरोधकों के संश्लेषण द्वारा इन्हें नष्ट कर दिया जाता है । इसके अतिरिक्त कुछ संदमक / निरोधी पदार्थ स्वत : उपचयित होकर निष्क्रिय हो जाते हैं । इस प्रकार निरोधी पदार्थों के नष्ट हो जाने के पश्चात् ये बीज अनुकूल परिस्थितियों में अंकुरित हो जाते हैं ।

बीजों के मृदा में पड़े रहने पर निरोधी पदार्थ धीरे - धीरे निक्षालित (washed away) हो जाते हैं । इसके अतिरिक्त इन पदार्थों के निरोधी प्रभाव को जिब्रेलिक अम्ल के अनुप्रयोग से दूर किया जा सकता है ।

(v) **विशिष्ट तापक्रम आवश्यकता (Specific Temperature Requirement) :** अनेक बीजों को अंकुरण से पूर्व शीतन उपचार की आवश्यकता होती है । ये बीज जब तक आर्दता की उपस्थिति में विशिष्ट शीतन -तापक्रम द्वारा उपचारित नहीं हो जाते, अंकुरित नहीं हो पाते हैं । शीत ऋतु में ऐसे बीज प्राकृतिक रूप से उपचारित हो जाते हैं । इस प्रकार की प्रसुप्ति शीतोष्ण वृक्षों के बीजों में (eg-peach,plum,cherry etc) सामान्यत : पाई जाती है । इनमें शीतन उपचार के लिए अनुकूल तापमान 0-5∘C होता है ।

शीतन उपचार की आवश्यकता बीजों के भ्रूण अथवा बीजावरण या दोनों को हो सकती है । कुछ बीज रोचक व्यवहार प्रदर्शित करते हैं । ये पतझड़ (autumn) में अंकुरित होकर मूल तन्त्र का निर्माण करते हैं परन्तु इनका एपिकोटाइल (epicotyle) तब तक वृद्धि नहीं कर पाता है जब तक कि आगामी शीतकाल में यह शीत ताप से अवभासित नहीं हो जाता है । इसे (epicotyls dormancy) कहते हैं । उदाहरण ओक oak बीजों में एपिकोटाइल प्रसुप्ति के साथ - साथ मुलांकुर प्रसुप्ति (redicle dormancy) भी पाई जाती है, उदाहरण पोलीगोनेटम (polygonatum) तथा ट्रिलियम (trillium)इस प्रकार की प्रसुप्ति स भवत : कुछ वृद्धि संदमको के कारण होती है तथा शीत उपचार से जिबरेलिन का संश्लेषण होता है जो इनके प्रभाव को समाप्त करते हैं ।

(vi) **विशिष्ट प्रकाश की आवश्यकता (specific Light Requirement) :** अनके बीजों का प्रकाश द्वारा प्रभावित होता है जिन्हें प्रकाश संवेदी (photoblastic) बीज कहते हैं । कुछ बीजों को प्रकाश की उपस्थिति अंकुरण के लिए आवश्यक होती है अर्थात् प्रकाश कुछ बीजों के अंकुरुण को प्रेरित करता है, इन्हीं धनात्मक प्रकाश संवेदी (positive photoblastic) कहते हैं । इसके विपरीत कुछ बीजों में प्रकाश की उपस्थिति में अंकुरण संभव नहीं होता है इन्हें ऋणात्मक प्रकाश संवेदी (negative photoblastic कहते हैं । एमेरेन्थस रिट्रोफलेक्सस (Amarnathus retroflexus Betula spp, Capsella bursa- pestorsis,Digialis purpurea, Lactuca sativa, Chenopodium spp Nicotiana tabaccum आदि प्रमुख धनात्मक प्रकाश संवेदी बीजों के उदाहरण है । प्रमुख ऋणात्मक प्रकाश संवेदी बीजों में मुख्यत : Nigella domascena Nemophila insiynis photoblastic) आदि सम्मिलित है जो सफेद प्रकाश में अंकुरित नहीं होते हैं । विभिन्न प्रकार की प्रकाश किरणें भी अकुरण को प्रभावित करती हैं । लेट्टुस Lettuce) पर किए गए कार्य से यह निष्कर्ष प्राप्त हु आ है कि लाल प्रकाश (red,650 nm) बीजांकुरण पर सर्वाधिक अनुकूल प्रभाव डालता है जबकि सुदूर लाल प्रकाश (infra red,730nm) अकुरण पर निरोधी प्रभाव डालता है ।

14.6 बीज प्रसुप्ति भंग करने की विधियाँ (Methods of Breaking Seed Dormancy)

बीजों की प्रसुप्ति भंग करने के लिए विभिन्न प्रकार की विधियाँ अपनाई जाती हैं । प्रसुप्ति भंग करने की विधि पादप जाति अथवा प्रसुप्ति के कारकों पर निर्भर करती है । यहाँ प्रसुप्ति भंग करने के कुछ सामान्य तरीकों का वर्णन किया गया है ।

(1) **खुरचना (Scarification) :** इस विधि में कठोर बीजावरण को तोड़कर अथवा खुरचकर कमजोर बना दिया जाता है । इसके द्वारा कठोर बीजावरण वाली प्रसुप्ति भंग की जा सकती है । जैसे बीजावरण का जल व ऑक्सीजन के प्रति अपारगम्य होना, यान्त्रिक प्रतिरोधिता अथवा अंकुरण निरोधकों की उपस्थिति आदि । यह उपचार यांत्रिक अथवा रासायनिक विधि से किया जाता है ।

(a) **रासायनिक विधि (Chemical method) :** इस विधि में कठोर बीजावरण वाले बीजों को खनिज अम्लों (जैसेH_2SO_4) या वसा विलायकों अथवा गर्म जल में भिगोया जाता है जिससे बीजावरण नरम हो जाता है ।

(b) **यान्त्रिक विधि (Mechanical method) :** इस विधि में बीजों को परस्पर घिसकर, किसी कठोर सतह पर लड़कर, चाकू से छीलकर, हथौड़े, से पीटकर अथवा मशीनों द्वारा बीजों के निस्तुषण (threshing)द्वारा बीजावरण को विदीरत अथवा कमजोर किया जाता है । इस प्रकार के उपचार में यह सावधानी रखने की आवश्यकता होती है कि बीजावरण के साथ भ्रूण क्षतिग्रस्त न हो अन्यथा बीज के अंकुरण की क्षमता समाप्त हो सकती है ।

(2) **एकान्तरित तापक्रमों द्वारा उदमासन (Exposure to alternate temperature) :** कुछ बीजों को, जैसे. रूमेक्स क्रिस्पस (Rumex crispus) व लाइकोपस यूरोपियस (Lycopus europeus) आदि को प्रत्यावर्ती उच्च व निम्न ताप से उद्भासित कर प्रसुप्ति को समाप्त किया जा सकता है । उच्च व निम्न ताप का मान जमाव बिन्दु से अधिक होना चाहिए तथा इनका अन्तर 10∘C p से अधिक नहीं होना चाहिए अन्यथा भ्रूण पर प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है । इस प्रकार की आवश्यकता अनेक बीजों को हो सकती है तथा प्रकृति में तापमान विभिन्नता प्राकृतिक रूप से इनकी प्रसुप्ति भंग करने में सहायक होती है । एकान्तरिक तापमान उपचार से बीजों की गैसों के प्रति पारगम्यता बढ़ जाती है तथा फाइटोक्रोम पुर्नचक्रण (Pr $\rightleftharpoons$ Pfr)होता है ।

(3) **दाब (Pressure) :** कुछ प्रसुप्त बीजों को 18∘C- 20∘C तापक्रम पर 5 से 20 मिनट के लिए उच्च द्रवचलित दाब (hydraulic pressure approx 2000) रखा जाए तो ये अंकुरण योग्य हो जाते हैं (डेविस, 1928) बीजों को उच्च दाब पर उपचारित करने से बीजावरण कमजोर हो जाता है तथा इसकी पारगम्यता में बढ़ोतरी हो जाती है । डेविस ने एल्फाल्फा (Medicago sativa) तथा स्वीट क्लोवर (Melilotus alba) से इस विधि से उपचारित बीजों की अंकुरण क्षमता में 50 से 200 प्रतिशत की वृद्धि दर्ज की ।

(4) **शीतन उपचार (chilling treatment) :** ऐसे बीज जिन्हें प्रसुप्ति भंग करने के लिए प्राकृतिक शरद उदभासन की आवश्यकता होती है, को कृत्रिम रूप से शीत -उपचारित कर इनकी प्रसुप्ति भंग की जा सकती है । नम माध्यम में बीजों को 0- 5∘C p पर कुछ दिनों से कुछ सप्ताह तक रखा जाता है । शीत उपचार की अवधि भिन्न -भिन्न जातियों में भिन्न -भिन्न समय की होती है ।

सामान्य : बीजों को मृदा में एकान्तरित परतों (alternate layers)में शरद ऋतु के निम्न ताप में उद्भासित होने के लिए छोड़ दिया जाता है । इस तकनीक को स्तरण (stratification)कहते हैं । निम्न ताप पर जिबरेलीन की सान्द्रता में वृद्धि होती है जो वृद्धि निरोधकों के प्रभाव को समाप्त कर देते हैं । इसके अतिरिक्त कुछ वैज्ञानिकों का विश्वास है कि कम ताप पर खाद्य पदार्थों का परिवहन भ्रूण की और बढ़ जाता है ।

(5) **ऑक्सीजन की उच्च सान्द्रता (High concentration of oxygen) :** जिन बीजों में बीजावरण ऑक्सीजन के प्रति अपारगम्य होता है उनकी प्रसुप्ति ऑक्सीजन की अधिक सान्द्रता द्वारा भंग की जा सकती है । राबर्ट्स (Roberts, 1964) के अनुसार ऑक्सीजन की उच्च सान्द्रता बीज में उपस्थित वृद्धि संदमकों (growth inhibitors) का, अपघटन कर देती है जिससे ये शीघ्र अंकुरित हो जाते हैं ।

(6) **प्रकाश (Light) :** कुछ घनात्मक प्रकाश संवेदी बीजों (positive photoblastic seed) को लाल प्रकाश से उद्भासित करने पर इनकी अंकुरण क्षमता में वृद्धि हो जाती है । एक मत के अनुसार लाल प्रकाश फाइटोक्रोम के माध्यम से साइटोकाइनिन संश्लेषण को प्रेरित करता है । साइटोकाइनिन अंकुरण बाधकों को निष्प्रभावी कर अंकुरण को प्रेरित करते हैं ।

(7) **वृद्धि नियन्त्रकों का उपयोग (Use of growth Regulators) :** जिन बीजों की प्रसुप्ति का कारण शीतन उपचार की आवश्यकता उत्तर प्रस्वन काल निरोधकों की उपस्थिति अथवा विशिष्ट प्रकाश आवश्यक होता है, उनकी प्रसुप्ति का भंगीकरण वृद्धि नियन्त्रक पदार्थों के अनुप्रयोग से किया जा सकता है । इस श्रेणी में जिबरेलिन, इथाइलीन क्लोरोहाइड्रीन ($ClCH_2CH_2OH$)तथा थायोयूईरया (NH_2CSNH_2) प्रमुख रूप सम्मिलित है । इनके अतिरिक्त साइटोकाइनिन तथा इथाइलीन भी अनेक बीजों में अंकुरण को प्रेरित करने में सहायक होते हैं । KH_{O3} भी अनेक बीजों में बीजांकुरण प्रेरित करने में सक्षम होता है ।

14.7 प्रसुप्ति का महत्व (Importance of Dormancy)

(1) कन्दों बीजों तथा प्रकन्दों आदि का विलम्बित अंकुरण (delayed germination) इनके भण्डारण में लाभप्रद होता है । इसी प्रकार प्रसुप्ति भंग करने की जानकारी के उपयोग से किसी विशिष्ट फसल को विभिन्न समय पर उगाकर उत्पादकता बढ़ाई जा सकती है ।

(2) बीजों, कलिकाओं तथा अन्य अंगों की प्रसुप्ति शीत अथवा सूखे की प्रतिकूल पीरस्थितियों को टालने में सहायक होती है । उचित अनुकूल परिस्थितियों के आगमन पर ये अंग अंकुरित या प्रस्फुटित होकर सामान्य रूप से वृद्धि करते हैं । प्रकृति में अनेक बीजों की प्रसुप्ति शीतकाल के पश्चात् या सूखे के बाद वर्षा ऋतु के आगमन पर भंग होती है जिससे इनकी आगामी वृद्धि सुरक्षित रूप से सम्पन्न होती है ।

(3) विभिन्न पादप जातियों के बीज जो पक्षियों द्वारा प्रकीर्णन होते हैं, प्रसुप्ति एक लाभदायक अनुकूलन है । ये बीज पक्षियों की आहारनाल से गुजरते है जिसके फलस्वरूप इनकी बीज चोल नरम हो जाती है तथा ये अनुकूल पीरस्थितियों में आसानी से अंकुरित हो जाते हैं ।

(4) मरुस्थलीय पादपों के बीजावरण में वृद्धि निरोधकों की उपस्थिति के कारण प्रसुप्ता पाई जाती है जिससे ये शुष्ककाल में निष्क्रिय पड़े रहते हैं । ये बीज तभी अंकुरित हो पाते हैं जब वर्षा ऋतु में इनके बीजावरण से वृद्धि निरोधक प्रक्षालित (wash away) हो जाते हैं । इस प्रकार इन बीजों की प्रसुप्ति इन्हें सूखे के वर्षों में सुरक्षित बनाए रखती है ।

14.8 पादप गतियों (Plant Movements)

सजीवों के किसी अंग या सम्पूर्ण शरीर के स्थान परिवर्तन को गति (movements) कहते हैं । सजीव के सम्पूर्ण शरीर द्वारा स्थान परिवर्तन को प्राय : चलन (Locomotion) तथा पादप के किसी भाग या अंग विशेष द्वारा स्थिति परिवर्तन को गति (movement) कहते हैं ।

14.8.1 उद्यीपन तथा अनुक्रिया (Stimulus and Response)

वातावरण का कोई 'भी कारक, जो पादप या जीव में किसी परिवर्तन अथवा प्रतिक्रिया को उत्पन्न करता है उद्यीपन (stimulus) कहलाता है तथा उद्यीपन के प्रति पादप या. जीव की प्रतिक्रिया को अनुक्रिया (response) कहते हैं । उद्यीपन के प्रति अनुक्रिया जीवद्रव्य भी उत्तेजनाशीलता (irritability) अथवा संवेदनशीलता (sensitivity) के कारण होती है । उदाहरणार्थ, छुई -मुई

(Mimosa pudica) की पत्तियों को स्पर्श करने पर वे झुक जाती हैं, यहाँ स्पर्श एक उद्यीपन है तथा पत्तियों का झुकना इस उद्यीपन के प्रति अनुक्रिया है ।

किसी भी उद्यीपन के प्रति विभिन्न पादपों, अथवा एक ही पादप के भिन्न -भिन्न भाग अनुक्रिया प्रदर्शित करते हैं । उदाहरण के लिए, गुरुत्व शक्ति पादप के विभिन्न भागों, जैसे: जड़, तना तथा पत्तियों को प्रभावित करती है । परन्तु इस उद्यीपन के प्रति तीनों अंगों की अनुक्रिया भिन्न - भिन्न होती है । इसके अतिरिक्त पादप के सभी अंग उद्यीपनों के प्रति संवेदनशील नहीं होते हैं । पौधों में उद्यीपनों को ग्रहण करने के कुछ अंग अथवा क्षेत्र होते हैं जिन्हें ग्राहो अंग (organ of perception) कहते हैं । सामान्यत : पादप में ग्राही अंग तथा अनुक्रियाशील अंग एक -दूसरे के परस्पर निकट या कुछ दूरी पर स्थित होते हैं । इस प्रकार यह कहा जा सकता है कि ग्राही अंग द्वारा प्राप्त उद्यीपन का प्रेरण अनुक्रियाशील अंग को स्थानान्तरित होता है ।

किसी उद्यीपन के प्रति निश्चित अनुक्रिया के प्रदर्शन के लिए यह आवश्यक होता है कि उद्यीपक एक निश्चित न्यूनतम अवधि तक ग्राही अंग पर क्रियाशील रहे । यह न्यूनतम समय प्रदर्शन काल (presentation time) कहलाता है तथा इसका मान ग्राही अंग की प्रकृति तथा उद्यीपन की तीव्रता पर निर्भर करता है । उद्यीपन का उद्यीपनग्राही क्षेत्र से अनुक्रिया क्षेत्र को संचरण होता है तो इस संचरण (transmission) में लगने वाला समय संचरण काल (transmission time) कहलाता है । पौधों में उद्यीपन के प्रति अनुक्रिया प्रदर्शित होने में कुछ समय लगता है तथा इस समय को प्रतिक्रिया काल (reaction time) कहते हैं । पौधों में उद्यीपन से उत्पन्न प्रभाव की कुछ समय पश्चात् अवनति होने लगती है तथा यह समय शिथिलन समय (relaxation time) कहलाता है ।

यदि पादप अथवा किसी अंग को बार -बार बहुत कम अंतराल पर उद्यीपत किया जाए तो उद्यीपन के प्रति पादप की अनुक्रिया अतिक्षीण हो जाती है इस स्थिति को श्रांति (fatigue)कहते हैं । यदि इस स्थिति में बार -बार उद्यीपत किया जाए तो अन्तत : अनुक्रिया की क्षमता पूर्णत : समाप्त हो जाती है यह स्थिति टिटेनस (tetanus) कहलाती है ।

विभिन्न प्रकार के उद्यीपक पादप गतियों को प्रेरित करने में सक्षम होते हैं जैसे गुरुत्कीय (gravitational) उष्मीय (thermic) प्रकाशीय (photic), रासायनिक (chemical) स्पर्श (contact) अथवा आघात (shock) आदि । उद्यीपक की दिशा के अनुरूप पादप में भिन्न प्रकार की अनुक्रियाएँ होती है । इसके अतिरिक्त अनुक्रिया अथवा पादप गति की तीव्रता एक निश्चित सीमा तक उद्यीपन की तीव्रता के समानुपाती होती है । उद्यीपक की वह न्यूनतम मात्रा जो दृश्यमान अनुक्रिया उत्पन्न करने में समर्थ होती है उसे प्रभाव सीमा मान (threshold value) कहते हैं ।

14.9 पादप गतियों का वर्गीकरण (Classification of plant Movements)

पादप गतियों को मुख्यत : दो वर्गों में विभक्त किया जाता है ।

I. चलन गतियाँ (Movement of locomotion), तथा

II. वक्रता गतियाँ (Movement of curvature)

14.9.1 चलन गतियाँ (Movement of Locomotion)

इस प्रकार की गति में सम्पूर्ण पादप अथवा पादप अंग एक स्थान से दूसरे स्थान तक गति करता है । चलन गतियाँ निम्न वर्ग के अनेक जलीय पौधों में अथवा उनकी जनन संरचनाओं में पाई जाती है । चलन गतियाँ कारकों के आधार पर दो प्रकार की होती है । यदि गति आंतरिक कारकों से उद्यीपित होती है तो उन्हें स्वत : प्रेरित चलन गतियाँ (autpnomic movements of Locomotion) कहते हैं । इसके विपरीत यदि गति किन्हीं बाह्य कारकों से उद्यीपित होती है तो उसे अनुप्रेरित चलन गतियाँ (tactic movments) कहते हैं ।

(i) स्वप्रेरित चलन गतियाँ (Autonomic movements of Locomotion)

(a) **पक्ष्मीय गतियाँ (ciliary movements);** एककोशिकीय शैवालों जैसे (Chlamydomonas) तथा निवही (colonial) शैवालों जैसे (Volvox, Eudorina)आदि तथा बीजाणुओं (spores) व युग्मकों (gametes) में पक्ष्म (cilia or flagella) उपस्थित होते हैं ।(चित्र14.6 C) इन पादपों तथा पादप संरचनाओं में पक्ष्मों की स्पंदन क्रिया के फलस्वरूप एक स्थान से दूसरे स्थान की ओर गति होती है ।

इस प्रकार की गति पक्ष्मीय गति (ciliary movement) कहलाती है । शैवालों के अतिरिक्त अनेक कवकों, (moss) त था फर्न (ferns) के antherozoids में भी पक्ष्मीय गतियाँ पाई जाती है ।

(b) **अमीबीय गतियाँ (Amoeboid movements) :** इस प्रकार की गतियाँ अवपक कवकों (slime molds,myxomycetes) के प्लाज्मोडिया (Plasmodia) द्वारा प्रदर्शित की जाती है । ये प्लाज्मोडिया आधार पर अमीबा (amoeba)के समान कूटपाद अथवा पादाभ (pseudpodia)जैसे प्रवर्ध बनाकर गति करते हैं । पादाभ अस्थायी संरचना होते हैं जो जीवद्रव्य के विलयकरण (solvation) त था जेलीकरण (gelation)के फलस्वरूप बनते हैं (चित्र 14.6D)।

(c) **विसर्पी गतियाँ (Gliding movements) :** कुछ शैवालों जैसे (diatoms, desmides तथा oscillatoria) आदि में फिसलन अथवा विसर्पी (gliding) गति पाई जाती है । ओसिलेटोरिया में इस प्रकार की गति में पादप काय अथवा तन्तु (trichome)आगे तथा पीछे की ओर विसर्पण करता है । विसर्पण गति सम्भवत : कोशिकाओं की विभिन्न क्रियाओं जैसे परासरणी बल (osmotic forces), श्लेष्म का स्रवण (secretion of mucilage) अथवा संकुचनशील तरंगों (contractile waves)के फलस्वरूप होती है ।

(d) **जीवद्रव्य भ्रमण गतियाँ (Cyclosis) :** अनेक पी धो की जीवित कोशिकाओं मुख्यत : युवा कोशिकाओं में रसधानियों के चारों और जीव द्रव्य की भ्रमण गति पाई जाती है । जीवद्रव्य के इस प्रकार के भ्रमण को जीवद्रव्य भ्रमण अथवा प्रवाही गतियाँ (cyclosis or streaming movement) कहते हैं ये गतिथाँ दो प्रकार की होती है (i) परिसंचरण (ii) तथा घूर्णन (rotation)

(i) **परिसंचरण (Circulation)** : इस गति में कोशिका का जीवद्रव्य अनेक रिक्तिकाओं के चारों और विभिन्न दिशाओं में गति प्रदर्शित करता है । एक कोशिका में कुछ रिक्तिकाओं के चारों और दक्षिणावर्त (clockwise) तथा अन्य के चारों और वामावर्त (anti clockwise) गति पाई जाती है । eg family cucurbitaceae ,Tradescantia तथा Commelina आदि के पुंकेसरी रोमों (staminal hairs) में देखी जा सकती है (चित्र 14.6B) ।

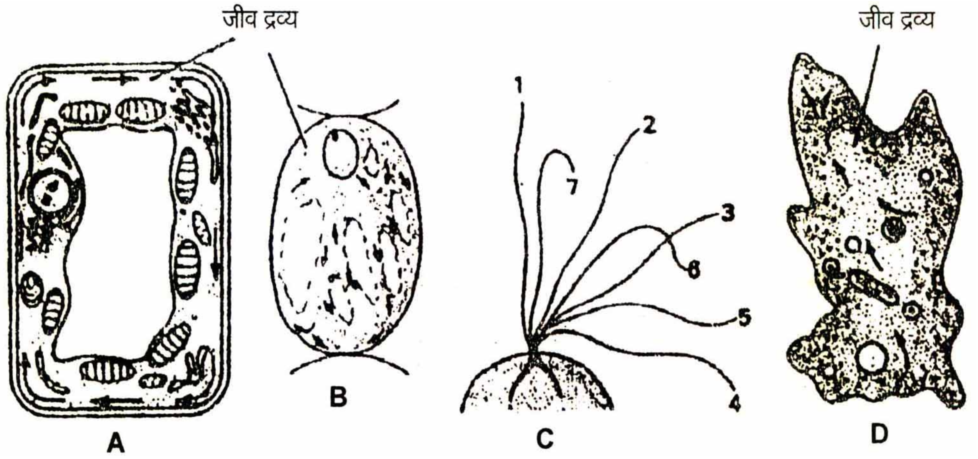
(ii) **घूर्णन (Rotation) :** जब जीवद्रव्य कोशिका में उपस्थित एक बड़ी केन्द्रीय रिक्तिका के चारों और गति करता है उसे घूर्णन (rotation) कहते हैं ।यह गति (clockwise) अथवा anticlockwise दिशा में होती है । ऐसे में जीवद्रव्य में उपस्थित कोशिकांग (plastid) आदि ।भी गति करते हैं । उदाहरणार्थ Vallisnaria, Hydrilla, Elodea आदि की युवा पर्ण कोशिकाओं तथा Chara ,Nitella आदि की कोशिकाओं में घूर्णन गति पाई जाती है (चित्र 14.6 A) ।

तालिका 14.1 : पादप गतियों का वर्गीकरण (Classification of Plant Movements)

पादप गतियाँ (Plant Movements)

- **(A) चलन गतियाँ** (Movements of Locomotion)
  - **(I) स्वत: प्रेरित गतियाँ** (Autonomic movements)
    - (i) पक्ष्माभी गतियाँ (Ciliary movements)
    - (ii) विसर्पी गतियाँ (Gliding movements)
    - (iii) अमीबीय गतियाँ (Amoeboid movements)
    - (iv) जीवद्रव्य भ्रमण (Cyclosis)
      - (a) घूर्णन (Rotation)
      - (b) परिसंचरण (Circulation)
  - **(II) अनुप्रेरित गतियाँ** (Paratonic movements/taxism)
    - (i) प्रकाशानुचलन (Phototactic)
    - (ii) तापानुचलन (Thermotactic)
    - (iii) रसायनानुचलन (Chemotactic)
- **(B) वक्रिता गतियाँ** (Movements of Curvature)
  - **(a) वृद्धि की गतियाँ** (Movements of growth)
    - **(I) स्वत: प्रेरित गतियाँ** (Autonomic movements)
      - (i) अनुकुंचन (Nastric)
        - (a) अधोकुंचन (Epinasty)
        - (b) अधोवृद्धिवर्तन (Hyponasty)
      - (ii) शिखाचक्रण (Nutations)
    - **(II) अनुप्रेरित/अनुवर्तन** (Paratonic/tropic)
      - (i) प्रकाशनुवर्तन (Phototropism)
      - (ii) गुरुत्वानुवर्तन (Geotropism)
      - (iii) जलानुवर्तन (Hydrotropism)
      - (iv) रसायनानुवर्तन (Chemotropism)
      - (v) स्पर्शानुवर्तन (Thigmotropism)
  - **(b) परिवर्तन की गतियाँ** (Movements of variation)
    - **(I) स्वत: प्रेरित गतियाँ** (Autonomic movements)
    - **(II) अनुप्रेरित** (Paratonic)
      - (i) निशानुकुंचन (Nyctinasty)
      - (ii) स्पर्शानुवर्तन (Thigmonasty)
      - (iii) कंपानुकुंचन (Seismonasty)

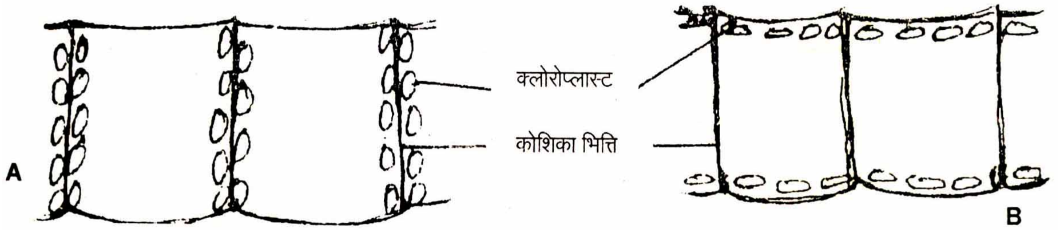
(iii) **अनुप्रेरित चलन गतियाँ (Paratonic Movement Of Locomotion) :** अनुप्रेरित चलन गतियों को अनुचलनी गतियाँ (tactic movement) भी कहते हैं । ये गतियाँ एकदिशीय बाह्य उद्‌यीपन (external stimulus)के प्रेरण द्‌वारा सम्पन्न होती है । इस प्रकार की गतियाँ उद्‌यीपकों की प्रकृति के आ धार पर प्रकाश अनुचलनी(phototactic) रसायन अनुचलनी (chemotactic) व ताप अनुचलनी (thermotactic) आदि कहलाती है ।



चित्र 14. 6 : पादप गतियाँ : A. घूर्णन, B. परिसंचरण, C. पक्ष्मगति, D. अमीबीय गति

(i) **प्रकाश अनुचलनी गतियाँ (Phototactic Movement or Photoxis) :** इस प्रकार की गति एकदिशीय प्रकाश के प्रति अनुक्रिया के परिणामस्वरूप होती है । कुछ विशेष शैवालों (Chlamydomonas, Volvox)आदि तथा इनकी जनन कोशिकाओं में एक नेत्र बिन्दु या दृक बिन्दु (eye spot) पाया जाता है । जो प्रकाश के प्रति संवेदनशील होता है । जब इन पादप या पादप संरचनाओं को एक और से हल्का या विसरित प्रकाश (diffuse light) दिया जाता है तो ये प्रकाश की ओर गति करती है तथा प्रकाश के इष्टतम क्षेत्र में पहुँचने के पश्चात् निरन्तर इसी क्षेत्र में रहने का प्रयास करते हैं । इस गति को धनात्मक प्रकाश अनुचलनी गति (positive phototactic movement) कहते हैं । इसके विपरीत यदि इन्हें तीव्र या प्रखर प्रकाश (hight intensity light) दिया जाता है तो वे प्रकाश के विपरीत दिशा में गति करने लगते हैं, इसे ऋणात्मक प्रकाश अनुचलनी गति (negative phototactic movement) कहते हैं ।

पत्तियों में पर्णमध्योतक कोशिकाओं में क्लोरोप्लास्ट भी प्रकाश उद्‌यीपक की अनुक्रिया में इसी प्रकार की गतियाँ देखी गई हैं । कम तीव्रता के प्रकाश में क्लोरोप्लास्ट इन कोशिकाओं की बाह्य व आन्तरिक भित्तियो पर एक पंक्ति में व्यवस्थित हो जाते हैं ताकि इन्हें अधिक प्रकाश उपलब्ध हो सके । इस स्थिति को एपीस्ट्रोफि (apistrophe) कहते हैं । इसके विपरीत तीव्र प्रकाश में क्लोरोप्लास्ट इन कोशिकाओं की पार्श्व भत्तियों पर विन्यासित हो जाते हैं तथा इस स्थिति को पेरास्ट्रोफि (parastrophe) कहते हैं (चित्र 14.7) ।



चित्र 14.7 : पर्ण मध्योतक कोशिकाओं में प्रकाश अनुचलन A. पेरास्ट्रोफि, B. एपिस्ट्रोफि

अंधकार में क्लोरोप्लास्ट इन कोशिकाओं में अनियमित रूप से व्यवस्थित रहते हैं तथा यह स्थिति एपोस्ट्रोफि (apostrophe) कहलाती है ।

(ii) **रसायन अनुचलनी गतियाँ (Chemotactic Movements or Chemotaxis) :** रासायनिक उद्‌यीपक की अनुक्रिया में होने वाली चलन गति रसायन अनुचलन कहलाती है । इस प्रकार की गति ब्रायोकाइटा व टेरिडोफाइटा के परमाणुओं द्‌वारा प्रदर्शित होती है । इन पादपों की स्त्रीधानियों में विशिष्ट कार्बनिक पदार्थ जैसे शर्करा त था मैलिक अम्ल आदि स्रावित होते हैं जो परमाणुओं को अपनी ओर आकर्षित करते हैं । इसके अतिरिक्त कुछ कवकों के चलबीजाणु भी कार्बनिक पदार्थो की ओर गति करते हैं । माध्यम की pH का भी इसमे प्रभाव होता है । कुछ जीवाणुओं में ऑक्सीजन की उपस्थिति भी गति को प्रभावित करती है । ऑक्सीजन सान्द्रता द्‌वारा उत्प्रेरित अनुचलनी गतियों को वायु अनुचलन गति (aerotactic movements) कहते हैं ।

(iii) **ताप अनुचलनी गतियाँ (Thermotactic Movement or Thermotaxis) :** अनेक पक्ष्मयुक्त शैवाल ताप उद्‌यीपक के प्रति अनुक्रिया प्रदर्शित करते हैं । ये शैवाल सदैव सामान्य तापमान क्षेत्र की ओर गति करते हैं तथा अधिक ठण्डे व गर्म स्थानों में विपरीत गति करते हैं । यदि किसी शीशे के बर्तन में ठण्डा पानी भर कर क्लेमाइडोमोनास या अन्य पक्ष्मयुक्त शैवाल को डालकर इस बर्तन की एक दीवार को गर्म किया जाता है तो शैवाल गर्म दीवार की ओर गति करता है । अर्थात् धनात्मक तापानुचलन (positive thermotaism) दर्शाता है । यदि इस स्थान का तापमान अधिक कर दिया जाए तो शैवाल विपरीत दिशा में गति करने लगते हैं अर्थात् ऋणात्मक तापानुचलन (negative thermotaxis) प्रदर्शित करते हैं|

14.9.2 वक्रता गतियाँ Movements of curvature)

इस प्रकार की गतियाँ उच्च पादपों में पाई जाती हैं जो एक स्थान पर स्थिर रहते हैं । इनमें पादप अंग वक्रीत अथवा झुकने या मुड़ने की क्रिया दर्शाता है । ये दो मुख्य प्रकार की होती है ।

(a) वृद्धि गतियाँ (growth movements)

(b) परिवर्तन गतियाँ (variation movements)

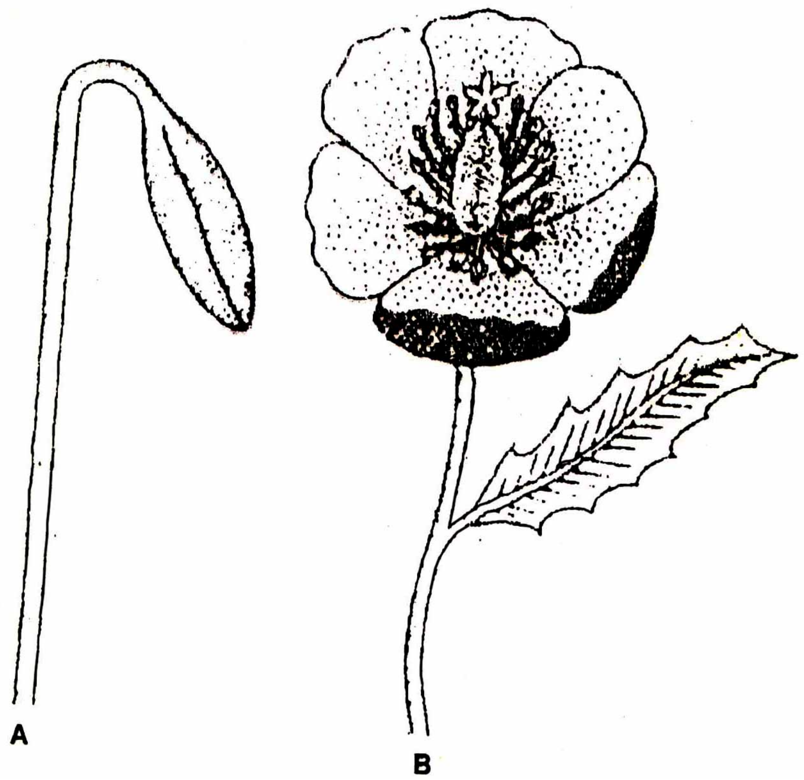
(a) **वृद्धि गतियाँ (Growth Movements):** ये पादप अंग में परिवर्तनशील वृद्धि होने के कारण उत्पन्न होती है । उद्‌यीपक के आधार पर इन्हें पुन : दो वर्गों में बाँटा जा सकता है. I. वृद्धि

की स्वप्रेरित गतियाँ (autonomic movement of growth) तथा II. वृद्धि की अनुप्रेरित गतियाँ (Paratonic movement of growth)

I. **वृद्धि की स्वप्रेरित गतियाँ (Autonomic Movement of Growth) :** पादप के किसी अंग (पत्ती, दल, बाह्यदल प्रतान आदि) में आंतरिक कारकों द्वारा असमान वृद्धि के फलस्वरूप होने वाली गतियाँ वृद्धि की स्वप्रेरित गतियाँ कहलाती है । ये निम्न प्रकार की हो सकती हैं

(i) **अनुकुंचन गतियाँ (Nastic Movements):** इस प्रकार की गतियाँ पादप के द्विपृष्ठीय अंगों (bifacial organs) जैसे पत्तियों, पुष्पी भागों, प्ररोह त था प्रतान आदि में दोनों सतहों की असमान वृद्धि के फलस्वरूप होती है । इनमें विकास के दौरान एक सतह की वृद्धि दूसरी सतह की अपेक्षा अधिक होती है । यदि ऊपरी सतह की तरफ ज्यादा वृद्धि होती है तो इस प्रकार की गति अधोकुंचन (epinasty)कहलाती है । पुष्पों का खिलना तथा कलिकाओं का नीचे को लटकना (drooping) इस प्रकार की गति के उदाहरण हैं । इसके विपरीत यदि निचली अथवा बाह्य सतह की वृद्धि अधिक होती है तो इसे अधोवृद्धिवर्धन (hyponasty)कहते हैं, फर्न की पत्तियों का तरुण अवस्था में कुण्डलित किसलय - विन्यास (circinate vernation) अधोवृद्धि वर्धन का उदाहरण है ।

पोपी (Papaver somnifera)के पुष्पों द्वारा अधोकुंचन तथा अधोवृद्धिवर्धन दोनों प्रकार की गतियाँ प्रदर्शित होती है । कलिकावस्था में अधोकुंचन के कारण पुष्प नीचे को झुके (drooping) होते हैं तथा कुछ समय पश्चात् अधोवृद्धिवर्धन के कारण पुष्पी अक्ष-सीधा हो जाता है (चित्र 14.8) ।



चित्र 14.8 :पोस्त में पुष्प कलिका

(ii) **शिखा चक्रण (Nutation) :** इस प्रकार की गति आरोही स्तम्भ व प्रतान आदि में पाई जाती है । इन अंगों के शिखाग्रों की दोनों सतहों पर एकान्तरित रूप से असमान वृद्धि होती है जिसके कारण ये अंग तदनुसार दाएँ तथा बाएँ झुकते हैं इस प्रकार की गति शिखा चक्रण कहलाती है । अनेक पौधो के शिखाग्रों में ऐसी गतियों का सामान्य रूप से प्रवर्तन होता है जिससे ये टेढ़े - मेढ़े हो जाते हैं ।

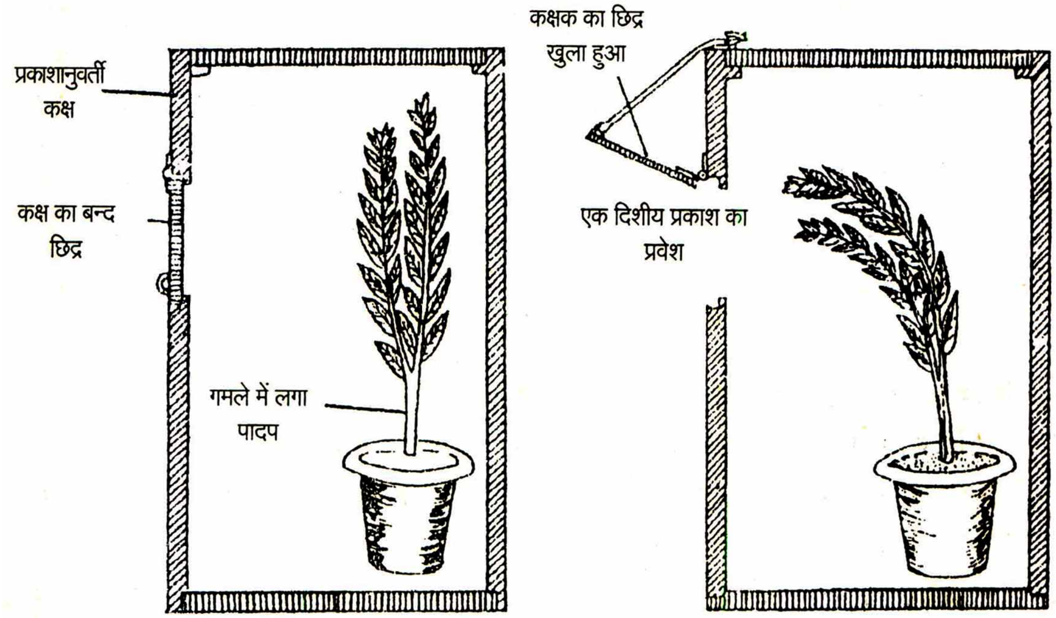
जब अधिकतम वृद्धि बारी - बारी से शीर्ष के चारों ओर होती है तो इस प्रकार की गति परिशिखाचक्रण (circumnutation) कहलाती है । इस वृद्धि गति के फलस्वरूप प्रतान स्प्रिंग के समान कुण्डलित हो जाते हैं जिससे आरोहरण में सहायता मिलती है ।

II. **वृद्धि की अनुप्रेरित गतियाँ (Paratonic Movements of Growth)** बाह्य कारकों द्वारा प्रेरित वृद्धि गतियों को प्रेरक या अनुप्रेरित वक्रता गतियाँ कहते हैं । ये कारक या उद्यीपक वृद्धि गतियों के लिए तब प्रभावकारी होते हैं जब वे एकदिशीय (unidirectional) हों । इन गतियों को सदिश (directional) गतियाँ या अनुवर्तनी गतियाँ (tropic movements) भी कहते हैं तथा इस परिघटना को अनुवर्तन (tropism) कहते हैं । यदि वृद्धि गति उद्यीपन की दिशा में होती है तो इसे धनात्मक अनुवर्तन (positive tropism) और यदि उद्यीपन के विपरीत दिशा में होती है तो इसे ऋणात्मक अनुवर्तन (negative tropism) कहते हैं उद्यीपक की प्रकृति के आधार पर इन्हें प्रकाशानुवर्तनी (phototropic), गुरुत्वानुवर्तनी

(geotropic), जलानुवर्तनी (hydrotropic), रसायनुवर्तनी (chemotropic), स्पर्शानुवर्तनी (thigmetropic) आदि प्रकारों में विभक्त किया जाता है ।

(i) **प्रकाशानुवर्तन (Phototropism)** : प्रकाशानुवर्तनी गतियों में पादप अंग की वक्रता प्रकाश की दिशा पर निर्भर करती है । यदि तरुण पादप की एकदिशीय प्रकाश से उदभासित कराया जाता है तो प्ररोह शीर्ष प्रकाश स्रोत की ओर वृद्धि करता है अर्थात्प्ररोह धनात्मक प्रकाशानुवर्तन (Positive Phototropism) दर्शाता है । इसके विपरीत मूल प्रकाश स्रोत के विपरीत दिशा में वृद्धि करती है अर्थात् ऋणात्मक प्रकाशानुवर्तन (negative phtotropism) दर्शाता है । कुछ पौधों में पत्तियाँ प्रकाश स्रोत के अलावा प्रकाश दिशा में समकोण पर व्यवस्थित होती है । पत्तियों की इस प्रकार की व्यवस्था को अनुलम्ब प्रकाशानुवर्तन (diaphototropism)कहते हैं । कुछ पादपों में, जैसे Neptunia olearacea की पत्तियाँ प्रकाश दिशा के अनुसार पूर्व से पश्चिम की ओर अभिमुख होती रहती हैं । इसी प्रकार (Helianthus annus)का पुथ-मुण्डक (पुष्पक्रम) प्रकाश की दिशा के अनुसार सदैव प्रकाश की ओर अभिमुख रहता है । Arachis hypogaea का पुष्पवृन्त परिवर्धन की विभिन्न अवस्थाओं में विभिन्न प्रकार की प्रकाशानुवतर्नी अनुक्रिया प्रदर्शित करता है । निषेचन से यह धनात्मक प्रकाशानुवर्तन दर्शाता है ।, परन्तु निषेचन के पश्चात यह ऋणात्मक प्रकाशानुवर्तन दर्शाने लगता है तथा मृदा की और मुड़कर अण्डाशय को मृदा सतह के नीचे ले जाता है जिसके फलस्वरूप मूंगफली के फल भूमिगत निर्मित होते हैं ।

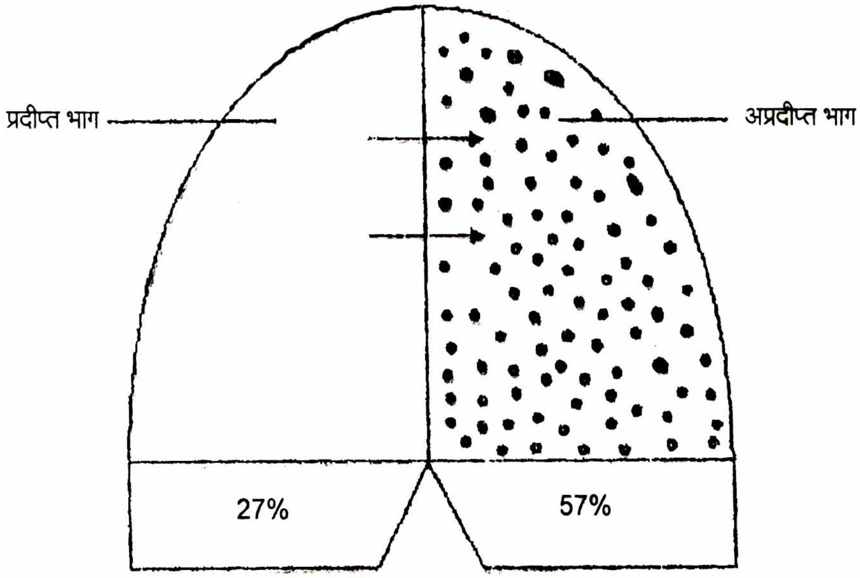
प्रयोगशाला में प्रकाशानुवर्तन प्रदर्शित करने के लिए प्रकाशानुवर्ती कक्ष (phototropic chamber) का उपयोग किया जाता है (चित्र 14.9)



चित्र 14.9 : प्रकाशानुवर्तन का प्रदर्शन

यह एक लकड़ी का बॉक्स होता है जिसमें प्रकाश के लिए एक दिशा में एक छोटा छेद रखा जाता है । गमले मैं लगे किसी पादप को इस बॉक्स द्वारा ढक दिया जाता है । कुछ समय पश्चात् हम देखते हैं कि पादप का शीर्ष इस छेद की ओर (जिसमें प्रकाश आता है) झुक जाता है । प्रकाशानुवर्तन में वक्रता प्रदीप्त भाग तथा अप्रदीप्त (अंधकार) भाग में प्रदीप्त भाग की अपेक्षा अधिक वृद्धि होती है जिसके फलस्वरूप ये अंग प्रकाश दिशा की ओर झुक जाते हैं । इसके विपरीत ऋणात्मक प्रकाशानुवर्तन वाले अंगों (मूल शीर्ष) में प्रदीप्त सतह पर, अंधकार सतह की अपेक्षा अधिक वृद्धि होती है जिसके फलस्वरूप ये प्रकाश के विपरीत दिशा में झुक या मुड़ जाते हैं । प्रदीप्त तथा अप्रदीप्त भाग की कोशिकाओं में असमान वृद्धि ऑक्सिन (auxin)हॉर्मोन द्वारा नियन्त्रित होती है ।

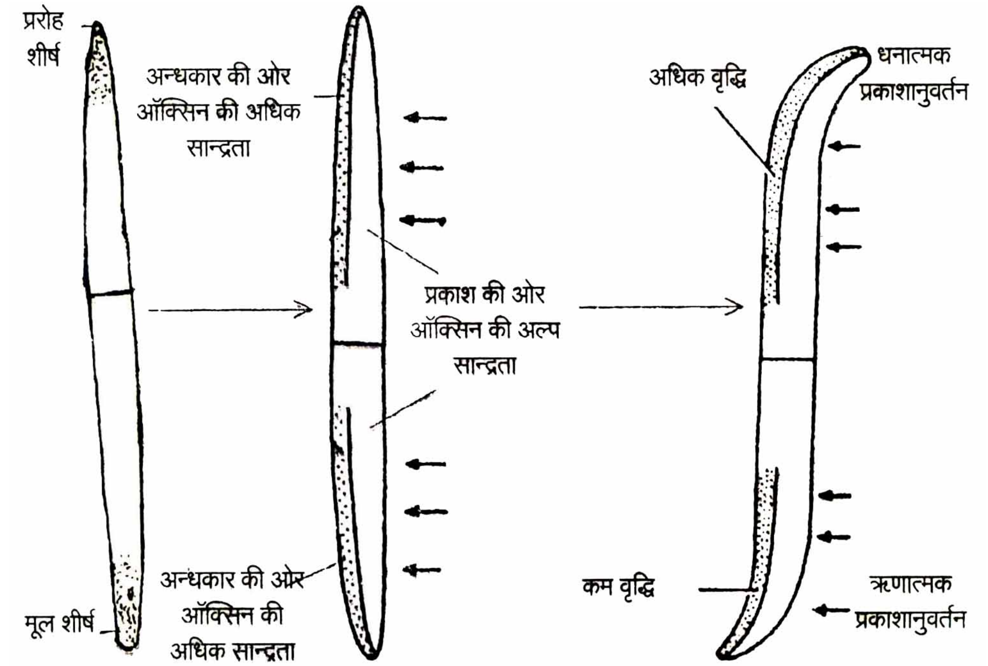
प्रकाशानुवर्तन की क्रियाविधि (Mechansim of phototropism) में कोलोने वेन्ट ने एक सिद्वान्त प्रतिपादित किया (cholodney-went theory), जिसके अनुसार प्रकाशानुवर्तन (phototropism) प्रकाश द्वारा पादप भाग में ऑक्सिन के वितरण को प्रभावित करने से उत्पन्न होता है । वेन्ट प्रांकुरचोल में प्रदीप्त तथा अप्रदीप्त स्तर पर ऑक्सिन के असमान वितरण को प्रयोगो द्वारा प्रभावित किया । उन्होंने पाया कि जब प्रांकुरचोल को केवल एक दिशा से प्रकाश दिया जाता है तब प्रकाश की ओर के क्षेत्र में ऑक्सिन की मात्रा लगभग 27% जबकि विपरीत (अंधकार की ओर) क्षेत्र में यह 57% होती है (चित्र 14.10) ।



चित्र 14.10 : ऑक्सिन वितरण पर प्रकाश का प्रभाव

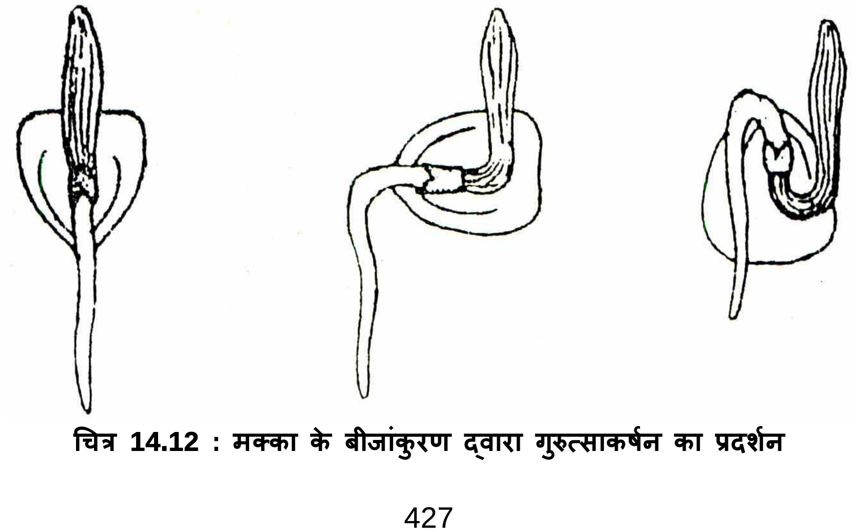
इसके विपरीत नियन्त्रण प्रयोग में प्रत्येक क्षेत्र में ऑक्सिन का समान वितरण पाया गया । इस प्रकार इन्होंने सिद्ध किया कि प्रकाश ऑक्सिन के असमान वितरण के लिए उत्तरदायी है । प्ररोह तथा मूल दोनों की शीर्षो में अंधकार वाले भाग में ऑक्सिन की मात्रा अधिक होती है परन्तु प्ररोह व मूल की ऑक्सिन सान्द्रता के प्रति अनुक्रिया भिन्न होती है । प्ररोह में ऑक्सिन उच्च सान्द्रता का अनुकूल प्रभाव पड़ता है अर्थात् वृद्धि बढ़ाते हैं इसलिए अप्रदीप्त भाग में वृद्धि अधिक होती है जिसके फलस्वरूप यह धनात्मक वक्रता प्रदर्शित करता है । इसके विपरीत मूल में ऑक्सिन

सान्द्रता का प्रतिकूल प्रभाव पड़ता है अर्थात् वृद्धि कम करते हैं इसलिए इन अंधकार क्षेत्र में कम वृद्धि होती है जिसके फलस्वरूप ये ऋणात्मक वक्रता प्रदर्शित करती है (चित्र14.11) ।



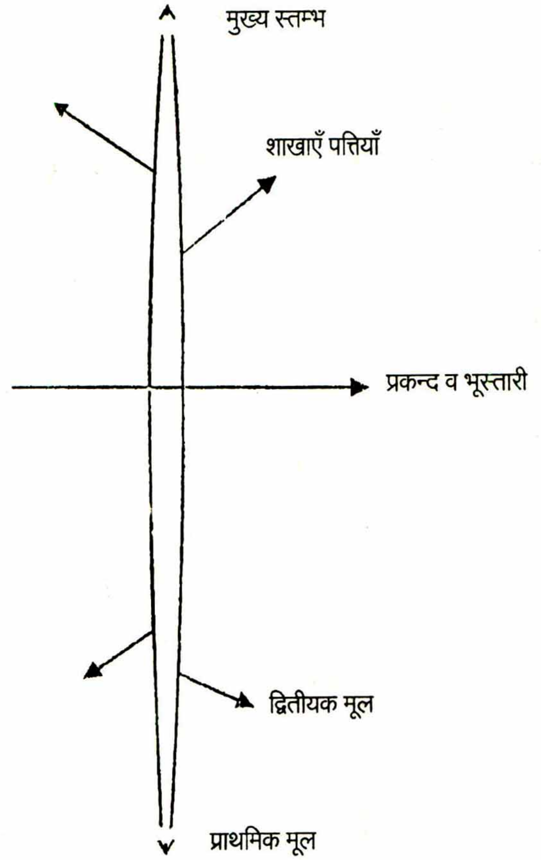
चित्र 14.11 : प्ररोह तथा मूल शीर्षों की वृद्धि में प्रकाश तथा ऑक्सिन की पारस्परिक क्रिया

(ii) **गुरुत्वानुवर्तन (Geotropism) :** गुरुत्व उद्यीपक के प्रति अनुक्रिया के फलस्वरूप होने वाली वक्रता को गुरुत्वानुवर्तन अथवा गुरुत्वानुवर्ती गतियाँ कहते हैं । अधिकांश पादप आर्थोजियोट्रापिक (orthogeotropic) व्यवहार प्रदर्शित करते हैं । अर्थात् पादप अक्ष गुरुत्व के समान्तर वृद्धि करता है जिसमें प्राथमिक मूल धनात्मक गुरुत्वानुवर्ती (positive geotropic) तथा मुख्य स्तम्भ ऋणात्मक गुरुत्वानुवर्ती (negative geotropic) होता है । यदि अंकुरित बीजों को किसी भी दिशा में रखा जाता है तब भी मूल सर्वदा धनात्मक गुरुत्वानुवर्तन तथा स्तम्भ ऋणात्मक गुरुत्वानुवर्तन प्रदर्शित करता है (चित्र 14.12) ।



चित्र 14.12 : मक्का के बीजांकुरण द्वारा गुरुत्साकर्षन का प्रदर्शन

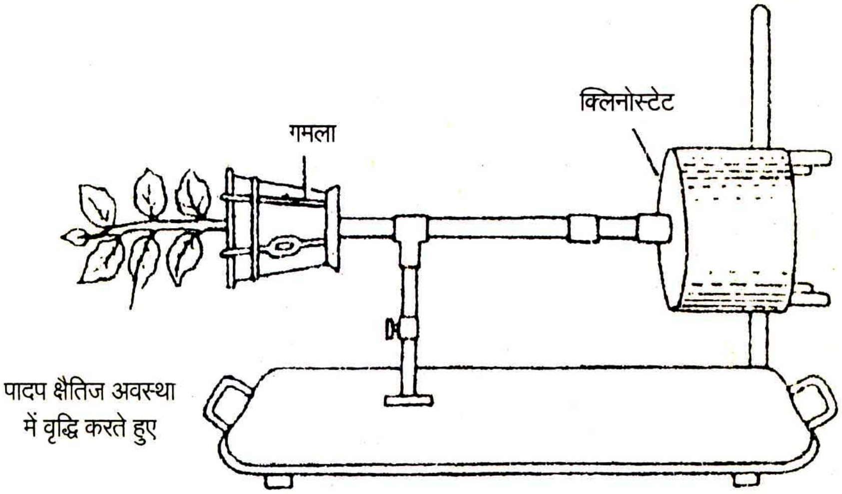
मूल व स्तम्भ की द्वितीयक शाखाएँ गुरुत्व उद्यीपक से एक निश्चित कोण बनाते हुये वृद्धि करते हैं जिसे प्लेजियोट्रोपिक (plagiotropic) कहते हैं । इनके अतिरिक्त कुछ प्रकन्द तथा भूस्तारी (runner) गुरुत्व उद्यीपक से समकोण पर वृद्धि करते हैं जिसे डायाजियोट्रोपिक (diageotropic) कहते हैं (चित्र 14.13) ।

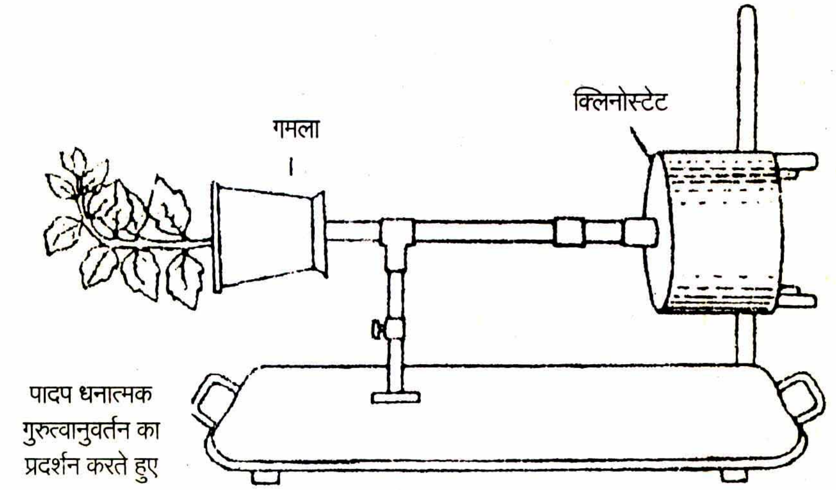


चित्र 14.13 : प्रमुख वर्धी पादप अंगों की गुरुत्वाकर्षण अनुक्रियाएँ

गुरुत्वानुवर्तन का प्रयोगशाला में प्रदर्शन क्लीनोस्टेट (klinostat) नामक उपकरण द्वारा किया जा सकता है । इस यन्त्र में एक घड़ी लगी रहती है जिसकी धुरी से एक प्लेट लगी होती है जो घड़ी के साथ घूमती है । प्लेट पर एक छोटा सा गमला स्थित होता है जिसमें स्व पौधा क्षैतिज अवस्था में लगा दिया जाता है । घड़ी चलने पर पौधा चक्कर लगता है जिससे पौधे का कोई भी भाग स्व दिशा में अधिक समय तक नही रह पाता है । अत : पौधा क्षैतिज अवस्था में वृद्धि करता रहता है अर्थात् गुरुत्वानुवर्तन प्रदर्शित नहीं करता है (चित्र 14.14A) ।

क्योंकि गुरुत्व का उद्यीपन इसे सभी दिशाओं से मिलता रहता है । यदि घड़ी को रोक दिया जाए जिससे घूर्णन न हो सके तब गुरुत्व का स्व पार्श्वीय उद्यीपन पौधे पर पड़ता है जिससे तना ऋणात्मक गुरुत्वानुवतर्न तथा जड़ धनात्मक गुरुत्वानुवर्तन दर्शाता है (चित्र 14.14B) ।





चित्र 14.14 : गुरुत्वानुवर्तन का प्रदर्शन

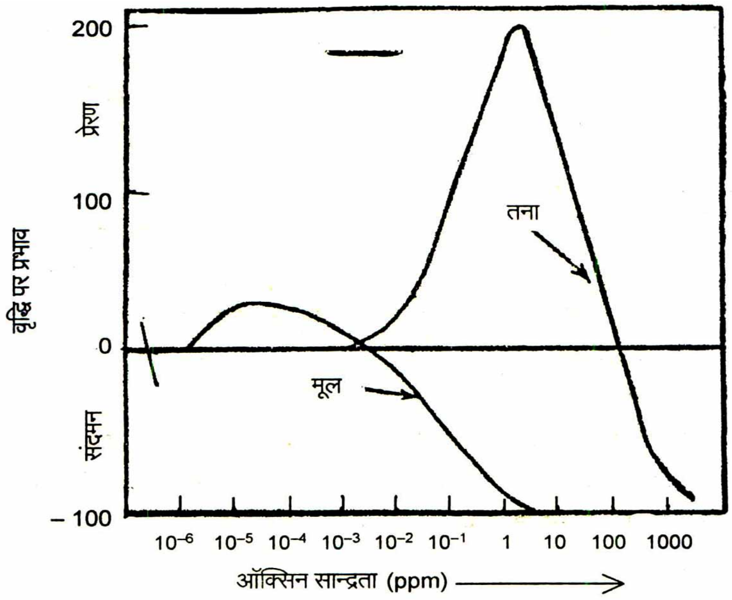
गुरुत्वानुवर्तन की क्रियाविधि (Mechanism of Geotropism)के अनुसार गुरुत्व उद्यीपक स्तम्भ व मूल शीर्ष द्वारा ग्रहण किया जाता है जबकि कोशिका दीर्घन क्षेत्र अनुक्रिया प्रदर्शित करता है । प्रकाशानुवर्तन के समान गुरुत्वानुवर्तन भी संबंधित अंग या क्षेत्र में ऑक्सिन के असमान वितरण के फलस्वरूप होती है । ऑक्सिन की अधिकता वाले भाग में तेजी से वृद्धि होती है जिसके कारण पादप अंग उद्यीपक की दिशा में अथवा विपरीत दिशा में वक्रता प्रदर्शित करता है । गुरुत्व उद्यीपक के फलस्वरूप संबंधित पादप अंग में ऑक्सिन के असमान वितरण को स्पष्ट करने के लिए कई सिद्धान्त प्रस्तुत किए गए हैं ।

(a) **स्टार्च स्टैटोलिथ परिकल्पना (Starch Statolith Hypothesis),** :हैबरलैण्डट तथा निमक (Haberlandt and Nemec,1900) के अनुसार पादप अंगों की गुरुत्वानुवर्ती अनुक्रिया इन अंगों की कोशिकाओं में स्टार्चकणों अथवा स्टेटोलिथ (amyloplasts) की उपस्थिति के कारण होती है । इन कोशिकाओं को स्टेटोसिस्ट अथवा स्टेटोसाइट्स (statocyst or statocytes)कहते हैं । गुरुत्वानुवर्तन प्रदर्शित करने वाले अंगों की कोशिकाओं में इनकी पर्याप्त मात्रा पाई जाती है । स्टेटोसाइट में स्टेटोलिथ मुक्त रूप से विस्थापित हो सकते हैं ।

पादप अंग की स्थिति परिवर्तन कर देने पर स्टेटोसाइट्स में उपस्थित ये कण अवसाद बल (sedimentation force) के प्रभाव से नीचे की ओर आ जाते हैं तथा कोशिका झिल्ली पर दबाव डालते हैं । इस दाब के कारण कोशिका झिल्ली का विद्युत विभव परिवर्तित हो जाता है तथा निचली सतह पर ऑक्सिन का संचयन हो जाता है । इस क्षेत्र में अधिक कोशिका विभाजन के फलस्वरूप गुरुत्वानुवर्ती वक्रण प्रकट होता है । संक्षेप में गुरुत्व $\rightarrow$ स्टेटोलिथ का विस्थापन $\rightarrow$स्टेटोसिस्ट की निचली कोशिका झिल्ली में बाधा $\rightarrow$वैद्युत विभव में परिवर्तन $\rightarrow$निचली सतह पर ऑक्सिन संचय $\rightarrow$जड़ की निचली सतह की कोशिकाओं की वृद्धि समदित $\rightarrow$ जड़ का गुरुत्वाकर्षण दिशा में मुड़ना (धनात्मक गुरुत्वानुवर्तन)

यद्यपि गुरुत्व अनुक्रिया प्रदर्शित करने वाले लगभग समस्त पादप अंगों में स्टेटोलिथ की पर्याप्त मात्रा उपस्थित होती है परन्तु कवकों, कुछ आर्किड्स की वायवीय मूलों आदि में ये अनुपस्थित होते हैं । इसके अतिरिक्त यह परिकल्पना स्तम्भ व मूल में परस्पर विपरीत अनुवर्तन क्रिया को स्पष्ट करने में असमर्थ हैं ।

(b) **कोलोने -वेन्ट परिकल्पना (cholodney -went Theory) :** इस परिकल्पना के अनुसार प्ररोह एवं मूल की स्थिति में परिवर्तन से ऑक्सिन का ध्रुवीय स्थानान्तरण बाधित हो जाता है तथा इनकी ऊपरी सतह की अपेक्षा निचली सतह पर ऑक्सिन की सान्द्रता बढ़ जाती है । ऑक्सिन की सान्द्रता प्ररोह की वृद्धि के लिए उद्यीपक होती है जबकि जड़ के लिए समंदनकारी होती है । क्षैतिज स्थिति में रखे प्ररोह के निचले भाग में बढ़ी हुई ऑक्सिन सान्द्रता प्ररोह के इस भाग में वृद्धि प्रेरित करती है जिसके फलस्वरूप प्ररोह ऊपर की और वक्रित हो जाता है । इस प्रकार प्ररोह प्राकृतिक ऋणात्मक गुरुत्वानुतर्वन का प्रदर्शन करता है । इसके विपरीत मूल की इस स्थिति में ऑक्सिन के निचली सतह पर एकत्र होने से उस भाग की वृद्धि समंदित हो जाती है, जिसके फलस्वरूप मूल नीचे की ओर मुड़ जाती है तथा धनात्मक गुरुत्वानुवर्तन का प्रदर्शन करती है (चित्र 14.15)

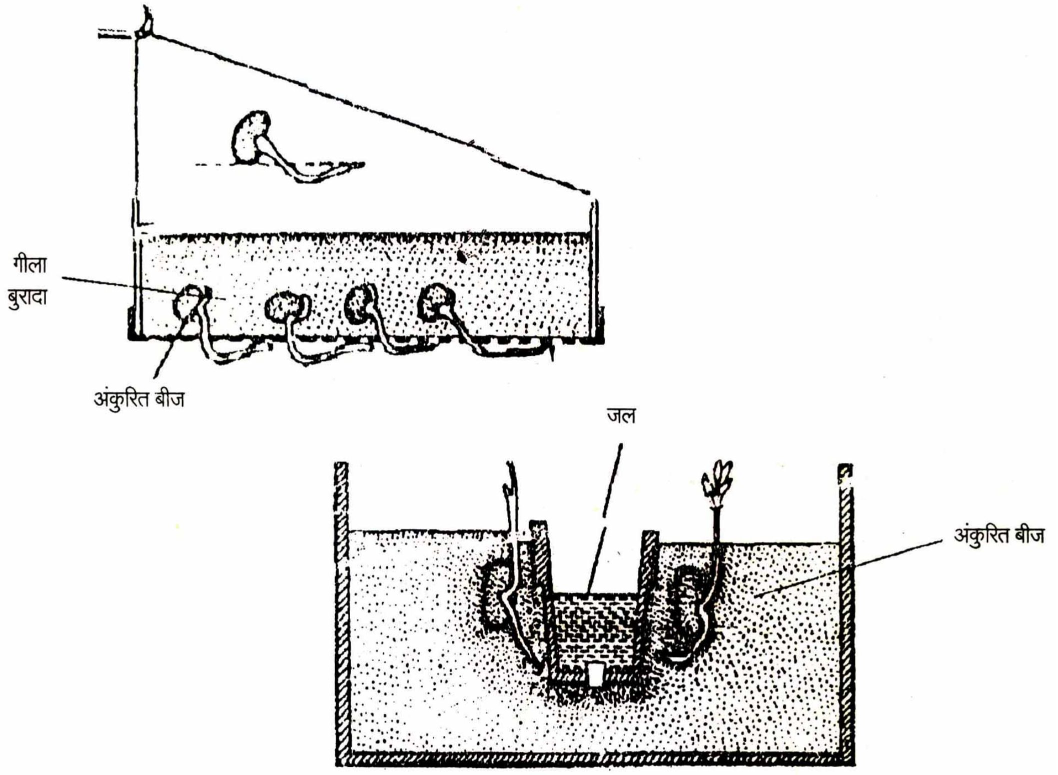


चित्र 14.15 : तने व स्तम्भ की वृद्धि पर ऑक्सिन सान्द्रता का प्रभाव

आक्सिन सिद्धान्त के अनुसार प्ररोह में सामान्य वृद्धि के लिए ऑक्सिन का अनुकूलतम स्तर (optimum Level) 10 PPM होता है जबकि मूल में ऑक्सिन का अनुकूलतम स्तर 0.000 PPM होता है । सामान्य परिस्थितियों में प्ररोह में ऑक्सिन सान्द्रता सामान्य या अनुकूलतम से कम जबकि मूल में सामान्य से अधिक होती है । इस प्रकार प्ररोह की निचली सतह पर की अधिक मात्रा में इसकी निचली सतह पर अधिक वृद्धि होती है जबकि मूल की निचली सतह पर ऑक्सिन की अधिक मात्रा में मूल की वृद्धि समंदित हो जाती है ।

(iii) **जलानुवर्तन (Hydrotropism) :** एक पार्श्विक जल अथवा नमी के उद्‌यीपन के कारण होने वाली वृद्धि गतियाँ जलानुवर्ती गतियाँ (hydrotropism) कहलाती है तथा इस अनुक्रिया को जलानुवर्तन (hydrotropism) कहते हैं । अन्य अनुवर्तनी गतियों के समान इस प्रकार की गति का कारण भी अंग विशेष की दोनों सतहों पर असमान वृद्धि होती है । उच्च वर्ग्रीय पादपों की जड़ें तथा निम्न श्रेणी के पौधों के मूलाभास धनात्मक जलानुवर्तन (positive hydrotropism) का प्रदर्शन करते हैं । उच्च पादपों में स्तम्भ तथा पत्तियों जलानुवर्तन के प्रति सामान्यत ' उदासीन (neutral)होते हैं यद्‌यपि कुछ उदाहरणों में तरुण स्तम्भ ऋणात्मक जलानुवर्तन दर्शाते हैं ।

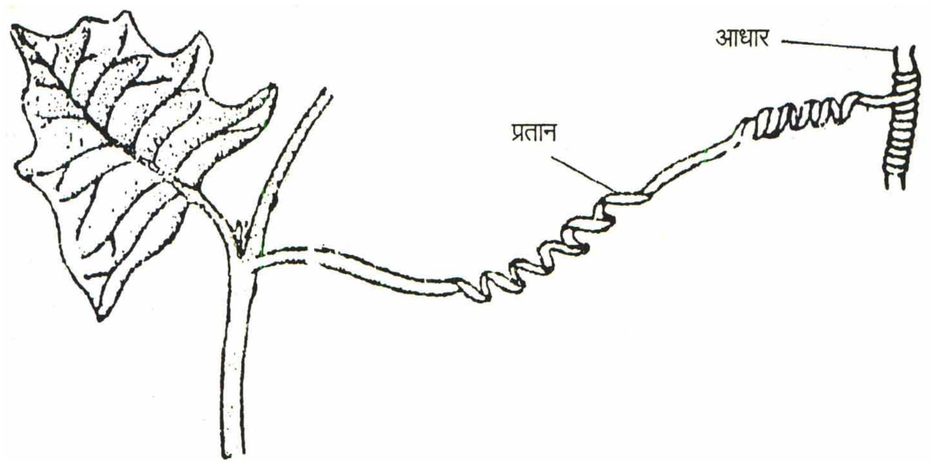
धनात्मक जलानुवर्तन को प्रयोगशाला में एक सरल प्रयोग द्‌वारा प्रदर्शित किया जा सकता है । लौहे की एक चलनी (sieve) में भीगा हु आ बुरादा (sawdust) फैलाकर इस पर बीजों को अंकुरित किया जाता है । चलनी को एक किनारे से उठाकर थोड़ा तिरछा रखा जाता है । कुछ दिनों में बीजों के अंकुरित होने पर उनके मुलांकुर चलनी के छिद्रों से नीचे की ओर (धनात्मक गुरुत्वानुवर्तन के फलस्वरूप) वृद्धि करते हैं, परन्तु शीघ्र ही ये मुड़कर समीपवर्ती छिद्रों से नम बुरादे में प्रवेश कर जाते हैं (धनात्मक जलानुवर्तन के फलस्वरूप) इस प्रयोग से यह स्पष्ट होता है कि जड़ों में जलानुवर्तन गतियाँ गुरुत्वानुवर्तन गतियों से अधिक प्रबल होती है (चित्र 14.16) ।



चित्र 14.16 : जलानुवर्तन गति का प्रदर्शन

(iv) **स्पर्शानुवतर्न (Thigmotropism) :** किसी ठोस वस्तु से स्पर्श अथवा घर्षण उद्‌यीपक की अनुक्रिया में उत्पन्न होने वाली वक्रण गतियाँ स्पर्शानुवर्ती गतियाँ (thigmotropic movement) कहलाती है । प्रतानों (tendrils) तथा दुर्बल आरोही स्तम्भों (climbers) में इस प्रकार की गति सामान्य रूप से पाई जाती है । उदाहरण के लिए कुकुरबिटेसी (cucurbitaceae)) कुल के पादप प्रतान द्‌वारा आधार पर लिपट कर ऊपर चढ़ते हैं । सक्रिय वृद्धि करने वाला प्रतान शीर्ष किसी ठोस सतह के सम्पर्क में आने पर स्पर्श उद्‌यीपक के कारण आधार के चारों और लिपटने लगता है । प्रतान का आधार पर लिपटने का कारण इसकी दोनों सतहों पर असमान वृद्धि होना है ।

प्रतान की वह सतह जो आधार के सम्पर्क में आती है, उसकी वृद्धि कम होती है जबकि दूसरी सतह पर तेजी से निरन्तर वृद्धि होती है । जिसके फलस्वरूप प्रतान आधार के चारों ओर कुण्डलित रूप में लिपटता जाता है । प्रतान के संवेदनशील शीर्ष से उद्‌यीपन नीचे की और संचरित होता है जिससे सम्पूर्ण प्रतान कुण्डलित हो जाता है (चित्र 14.17)



चित्र 14.17: प्रतान में स्पर्शानुवर्तन

(v) **रसायनानुवर्तन (Chemotropism) :** रसायन उद्‌यीपक की अनुक्रिया से उत्पन्न होने वाली वक्रया गतियाँ रसायनुवर्ती गतियाँ (chemotropic movements) कहलाती है । रसायन सामान्यत ' शर्करा व अन्य पोषक पदार्थ होते हैं इस प्रकार की गतियों कवकों जीवाणुओं तथा परागनलिका में पाई जाती हैं । इसके अतिरिक्त उच्च पादपों की परागनलिका की वर्तिका से होकर अण्डाशय में स्थित बीजाण्ड की और होने वाली वृद्धि रसायनानुवर्तन का उदाहरण है । कवक तन्तु तथा जीवाणु संवर्धन माध्यम में पोषक तत्वों युक्त क्षेत्र की वृद्धि करते हैं । (धनात्मक रसायनुवर्तन), इसके विपरीत ये विषालु पदार्थों (toxic substances)से विपरीत दिशा में वृद्धि (ऋणात्मक रसायनुवर्तन) करते हैं।

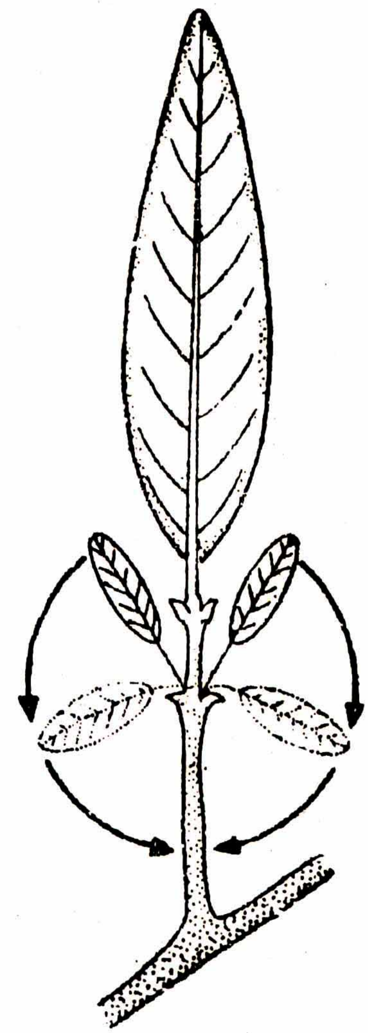
14.10 परिवर्तन की गतियाँ (Movement of Variatons)

ऐसी गतियाँ अस्थायी होती हैं जिसमें गतिशील अंग कुछ समय पश्चात् पुन : अपनी सामान्य स्थिति में आ जाता है । इनमें ऑक्सिन का असमान वितरण कार्यकारी नहीं होता है, अपितु ये पादप अंग के स्थिति परिवर्तन द्वारा उत्पन्न होती है । अन्य प्रकार की गतियों के समान इन्हें भी स्वप्रेरित (autonomous) तथा अनुप्रेरित (paratonic) प्रकारों में विभाजित किया जाता है ।

14.10.1 स्वप्रेरित परिवर्तन गतियाँ (Autonomic Movements of Variation)

स्वप्रेरित परिवर्तन गतियों का मुख्य उदाहरण डेस्मोडियम गाइरेन्स (Desmodium gyrans) में मिलता है, जिसे इण्डियन टेलिग्राफ पादप भी कहते हैं ।

इस पादप में त्रिपर्णकी (trifoliate) संयुक्त पत्तियाँ होती हैं जिनका अग्र पर्णक बड़ा तथा दो पार्श्व पर्णक छोटे होते हैं । दिन के समय पत्तियों के दोनों पार्श्व पर्णक घूर्णन (rotations) गति करते हैं (चित्र 14.18) ।



चित्र 14.18 : डेस्मोडियम गाइरेन्स के पर्णक द्‌वारा स्वप्रेरित परिवर्तन गति का प्रदर्शन

पर्णको की गति रुक -रुक कर झटके के साथ होती है । ये पर्णक हर दिशा में गति करते हैं तथा कभी -कभी तो 180^0 का कोण बना लेते हैं सामान्यत : इस प्रकार की गति दीर्घवृत्तीय कक्ष मे होती है तथा 180^0 के घूर्णन में लगभग 2 मीटर का समय लगता है । इस प्रकार की गति की क्रियाविधि के सम्बन्ध में ज्ञान नहीं है, परन्तु कुछ का विचार है कि प्रकाश तथा तापमान के दैनिक परिवर्तन (diurnal variation) का परिणाम है ।

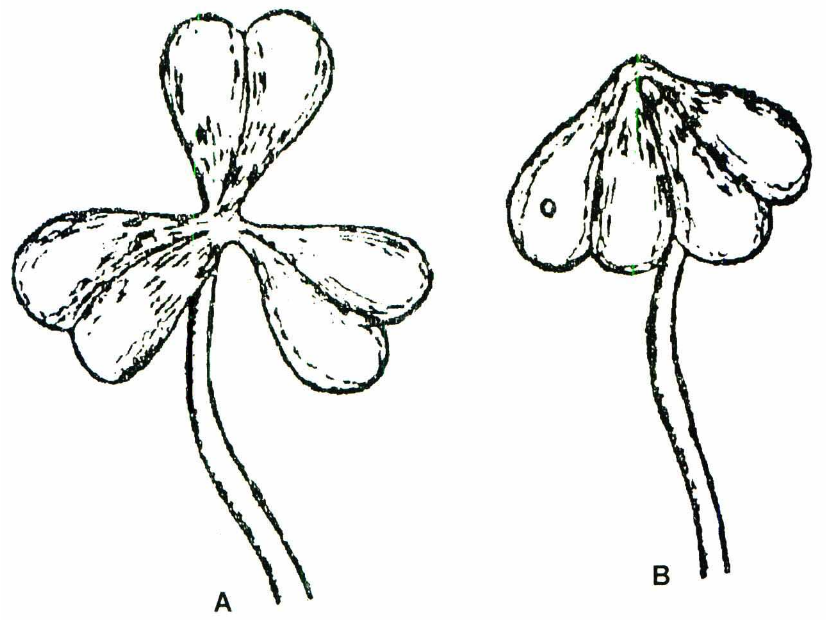
14.10.1 अनुप्रेरित परिवर्तन गतियाँ (Paratonic Movement of Variation)

इन गतियों को अनुकुंचन गतियाँ (nastic movements) भी कहते हैं । इनमें गति की दिशा उद्‌यीपन पर निर्भर न होकर पादप संरचना पर निर्भर करती है तथा उद्‌यीपक की दिशा से सम्बन्धित नहीं होती, इसलिए इन्हें अदिश गतियाँ (non directional movement) भी कहते हैं । प्रमुख अनुकुंचन गतियाँ निम्न प्रकार की होती हैं ।

(i) **निशानुकुंचन (Nyctinasty) :** अनेक पादपों में पत्तियों तथा पुष्पों की स्थिति में दिन व रात के समय परिवर्तन होता है । इस प्रकार की दैनिक गतियाँ निशानुकुंचन (nyctinasty) अथवा निद्रा गतियाँ (sleep movements) कहलाती है । ये गतियाँ प्रकाश अथवा तापमान में परिवर्तन के कारण होती है । यदि निशानुकुंचनी गतियाँ प्रकाश की उपस्थिति या अनुपस्थिति के कारण हो तो प्रकाशानुकुचनी (photonastic) तथा तापमान परिवर्तन के कारण हो तो तापनुकुंचनी (thermonastic)कहलाती है । आक्जेलिस (oxalis) व पोर्टूलाका (portulaca)आदि में पुष्प प्राय : दिन के समय खुले रहते हैं जबकि रात्रि के समय बन्द हो जाते हैं (चित्र 14. 19) ।

इसके विपरीत निकोटिआना (Nicotiana) तथा आइनोथीरा (Oenothera) में पुष्प दिन में बन्द व रात्रि में खुले रहते हैं । उपरोक्त सभी उदाहरण प्रकाशानुकुंचन गतियाँ दर्शाते हैं । क्रोकस (crocus) तथा ट्यूलिपा (Tulipa)के पुष्प तापानुकुंचन गतियाँ प्रदर्शित करते हैं । इनके पुष्प दिन में अधिक तापमान पर खिलते हैं तथा रात्रि में कम तापमान पर बन्द रहते हैं । उपरोक्त उदाहरणों में ताप या प्रकाश ऊपरी अथवा निचली सतह की कोशिकाओं की स्फीति को परिवर्तित करता है जिसके फलस्वरूप ये गतियाँ होती है ।

लेग्यूमिनोसी तथा ऑक्सेलेडेसी (ऑक्सेलिस) आदि की पत्तियों में भी इस प्रकार की गतियाँ पाई जाती है । इनमें पर्णक दिन के समय फैले हुए होते हैं तथा रात्रि में नीचे को लटक जाते हैं । (चित्र 14.19) ।

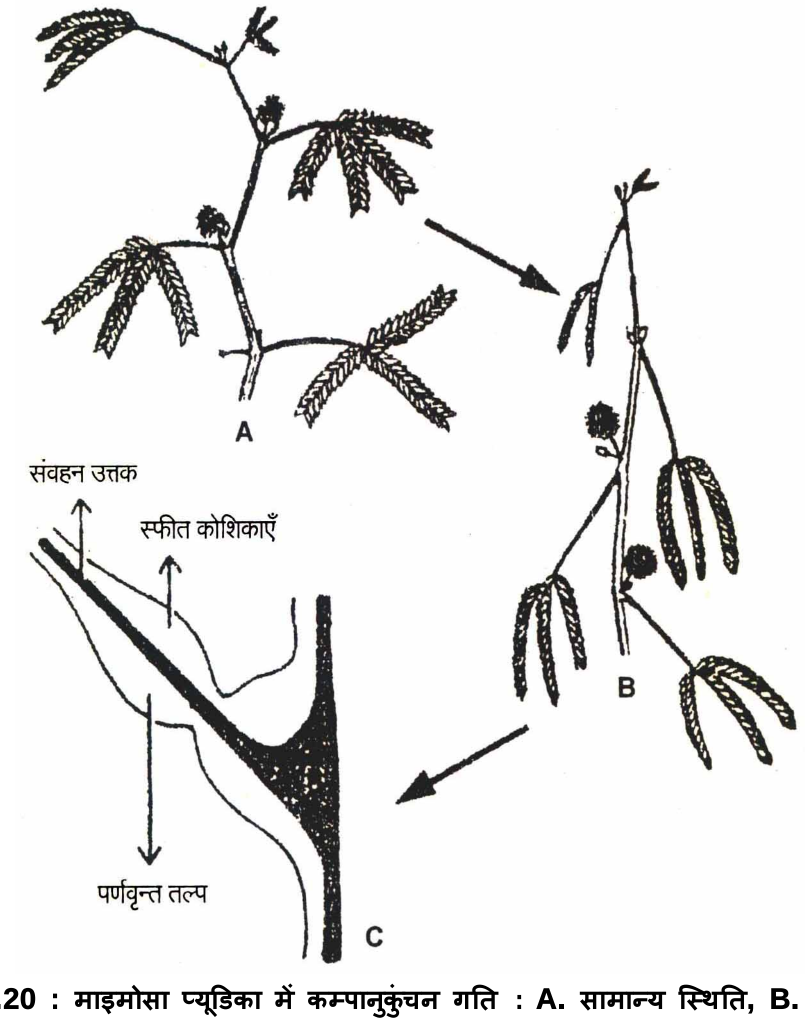


चित्र 14.19 : आक्जेलिस की पर्ण में निशानुकुंचन गति : A. दिन के समय, B. रात्रि में

(ii) **कम्पानुकुंचन (Seismonasty) :** इस प्रकार की गतियाँ स्पर्श अथवा कम्पनों के प्रभाव से उत्पन्न आघात (shock) के फलस्वरूप होती है । छुईमुई अथवा लाजवन्ती पादप (Mimosa pudica) में कम्पानुकुंचन गति को स्पष्ट रूप से देखा जा सकता है । इसके अतिरिक्त माइमोसा -स्पेगेजीनी (Mimosa spongazzini), डेस्मन्थ प्लेनस (Desmenthus

plenus) तथा बायोफाइटम सेन्सिटिवस (Biophytum sensitivus) आदि भी कम्पानुकुंचन गतियों का प्रदर्शन करते हैं ।

माइमोसा प्यूडिका (Mimosa pudica)में द्विपिच्छकी संयुक्त (bipinnate compound) पत्तियाँ पाई जाती हैं इनका वर्णवृन्त (pulvinus) कहते हैं । पर्णपत्रों (leaflets) के आधार पर भी छोटे पर्णकवृन्त -तल्प (pulvinules)उपस्थित होते हैं । पर्ण के किसी भी अन्तस्थ पिच्छिका (pinnule) को स्पर्श करने पर या उद्यीपक के सम्पर्क में आने पर उद्यीपन तुरन्त उसके आधार तक चला जाता है जिसके परिणामस्वरूप सभी पिच्छिकाएँ एक अनुक्रम से मुरझाती चली जाती है । यदि उद्यीपन प्रबल या उग्र हो, तो यह अनुक्रिया दूसरे पर्णको में भी दर्शित होती है तथा पूरी पत्ती मुरझा कर नीचे को झुक जाती है । उद्यीपन का स्थानान्तरण तीव्र गति से होता है तथा ऐसा माना जाता है कि यह उद्यीपक एक सैकण्ड में 20 सेमी की गति से चलता है । इस प्रकार पत्ती को मुरझाने में कुछ क्षण ही लगते हैं (चित्र 14.20A,8) ।



(चित्र 14.20 : माइमोसा प्यूडिका में कम्पानुकुंचन गति : A. सामान्य स्थिति, B. उद्दीपन की अनुक्रिया में मुरझाई हुई पत्ती, C. पर्णवृन्त तल्प (pulvinus) की संरचना का आरेख चित्र

इस प्रकार की गतियाँ इन पत्तियों के पर्णवृन्त -तल्प (pulvinus) की दोनों सतहों की विभेदक स्थिति के फलस्वरूप होती हैं । पर्णवृन्त -तल्प के निचले भाग (संवहन बंडल के नीचे स्थित भाग) में उपस्थित मृदूतकी कोशिकाएँ पतली भित्ति की तथा अन्तर्कोशिय अवकाशों युक्त होती हैं, जबकि ऊपरी भाग में उपस्थित कोशिकाएँ अपेक्षाकृत मोटी तथा कम अवकाशों युक्त होती हैं । उद्यीपन के पर्णवृन्त तत्व तक पहुँचने पर निचले भाग की कोशिकाओं से जल निकलकर अन्तर्कोशीय अवकाशों में एकत्र हो जाता है तथा कोशिकाओं की स्थिति समाप्त हो जाती है । इसी समय ऊपरी भाग की कोशिकाएँ (संवहन बंडल) के ऊपर स्थित भाग) अन्तर्कोशिक अवकाशों से जल अवशोषित कर स्फति हो जाती है, जिसके फलस्वरूप पत्ती नीचे की ओर झुक जाती है । कुछ समय पश्चात् निचली सतह की कोशिकाएँ जल अवशोषित कर पुन : स्फीत हो जाती हैं जिसके फलस्वरूप पत्ती पुन : अपनी सामान्य स्थिति में आ जाती है । उद्यीपक के प्रभाव में पत्ती के मुरझाने या लटकने में बहुत ही कम सम्य लगता है, परन्तु इसके पुन : अपनी वास्तविक स्थिति में आने में अपेक्षाकृत अधिक समय लगता है (चित्र 142∘C) ।

(iii) **स्पर्शानुकुंचन (Thigmonasty):** कीटभक्षी पौधे (insectivorous plants) जैसे ड्रोसेरा (Drosera), डायोनिया (Dionea) इस प्रकार की गति प्रदर्शित करते हैं । इन पादपों की पत्तियों के उपान्तों पर स्पर्शक (tentacles) उपस्थित होते हैं । जब कोई कटि इन स्पर्शकों के सम्पर्क में आता है तो उद्यीपन के फलस्वरूप ये स्पर्शक पत्ती के केन्द्र की और झुक जाते हैं तथा कटि को पत्ती की सतह पर दबाकर अनेक छोटे -छोटे स्पर्शकों के सम्पर्क में ले जाते हैं । स्पर्शकों के झुकने की क्रिया अनुकुंचन गति कहलाती है, क्योंकि इनके झुकने की दिशा कीट के स्पर्श की दिशा पर निर्भर नहीं होती है ।

बोध प्रश्न

बहुविकल्पात्मक

1. बीज अंकुरण में सामान्यत: सबसे पहले परिवर्धन होता है :
   (अ) मूलांकुर का
   (ब) प्रांकुर का
   (स) दोनों में से कोई
   (द) उपरोक्त कोई नहीं
2. बीजांकुरण के समय निम्न क्रिया तेज होती है '
   (अ) श्वसन
   (ब) न्यूक्लिक अम्लों का संश्लेषण
   (स) एन्जाइम तथा प्रोटीन संश्लेषण
   (द) उपरोक्त सभी
3. अधिकतर बीजों के अंकुरण के लिए अनुकूलतम तापमान होता है :
   (अ) 5-10^{0}C
   (ब) 10- 20^{0}C

(स) 15-30^{0}C

(द) 20-40^{0}C

4. प्रसुप्तावस्था में होता है ।

(अ) भोजन संश्लेषण

(ब) भोजन का ऑक्सीकरण

(स) उपापचयी क्रियाएँ निलम्बित रहती है

(द) उपरोक्त कोई नहीं

5. बीजों के परिपक्वन के शीघ्र बाद उत्पन्न होने वाली प्रसुप्ता को कहते है ।

(अ) प्राथमिक प्रसुप्ति

(ब) द्वितीयक प्रसुप्ति

(स) अपरिपक्व भ्रूण

(द) उपरोक्त कोई नहीं

6. आर्किडेसी कुल के बीजों में सामान्यत प्रुसप्ति का कारण होता है ।

(अ) कठोर बीजावरण

(ब) बीजों को विशिष्ट तापकम की आवश्यकता

(स) अपरिपक्व भ्रूण

(स) उपरोक्त सभी

7. डेस्मोडियम गाइरेन्स की पार्श्व पर्णकों की गति का कारण है ।

(अ) स्वप्रेरित चलन गति

(ब) स्वप्रेरित परिवर्तन गति

(स) स्वप्रेरित वृद्धि गति

(द) अनुप्रेरित परिवर्तन गति

8. प्रकाश के प्रति जड़ों की वृद्धि गति कहलाती है ।

(अ) ऋणात्मक प्रकाशानुवर्ती

(ब) अनुलम्ब प्रकाशानुवर्ती

(स) धनात्मक प्रकाशानुवर्ती

(द) ऋणात्मक प्रकाशानुचलनी

9. बाह्य कारकों से उद्यीपित चलन गतियाँ कहलाती है ।

(अ) वक्रण गतियाँ

(ब) अनुचलनी गतियाँ

(स) जीवद्रव्य भ्रमण गतियाँ

(द) उपरोक्त कोई नहीं

10. लेग्यूमिनोसी कुल के पौधों की पत्तियों में निद्रा गति कहलाती है ।

(अ) निशानुकुंचन

(ब) कम्पानुकुंचन

(स) स्पर्शानुकुंचन

(द) उपरोक्त कोई नहीं

14.11 सारांश

इस इकाई का अध्ययन करने के पश्चात् आपको यह जानकारी प्राप्त हुई कि बीज अंकुरण के समय बीज पारगम्य बीजचोल अथवा बीजाण्डद्वार के माध्यम से जल का अवशोषण करता है, जिससे जीवद्रव्य सक्रिय हो जाता है और कोशिकाओं में विभाजन, दीर्घन तथा विभेदन तेज गति से होता है और मूलांकुर तेजी से बीजचोल को भेदकर बाहर निकलता है । ये मृदा में स्थापित होकर प्राथमिक मूल संस्थान का निर्माण करते हैं । इसके पश्चात् भ्रूण अक्ष का तीव्र गति से दीर्घन होता है । यदि बीजपत्रोपीरक क्षेत्र का दीर्घन होता है तो बीजपत्र नीचे भूमि में ही रह जाते हैं तथा इस प्रकार का अंकुरण अधोभूमिक (hypogeal) कहलाता है । इसके विपरीत यदि बीजपत्राधारी क्षेत्र (hypocotylar region) में दीर्घन होता है तो प्रांकुर बीजपत्रों सहित भूमि की सतह पर निकल आता है । इस प्रकार के बीज अंकुरण को भूम्योपीरक (epigeal) अंकुरण कहते हैं । बीज अंकुरण के लिए आवश्यक आन्तरिक परिस्थितियाँ हैं बीज की जीवन क्षमता (viability) तथा बीज प्रसुप्ति । इसी प्रकार जल, ऑक्सीजन कार्बन-डाई - ऑक्साइड, प्रकाश व ताप आदि जो बीजों के अंकुरण को प्रभावित करते हैं, को बाहय परिस्थितियों में सम्मिलित किया जाता है ।

बीजांकुरण के बाद हमने बीज प्रसुप्ति का अध्ययन किया यह पादप के जीवनचक्र की वह प्रावस्था है जिसमें बीज अनुकूल परिस्थितियाँ उपलब्ध होने पर भी अंकुरित नहीं हो पाते हैं, इनमें सक्रिय वृद्धि अस्थायी रूप से निलम्बित रहती है । इसके लिए उत्तरदायी कारक हैं (i) कठोर बीजावरण (ii) भ्रूण की अपूर्ण परिपक्वता, (iii) उत्तर-पस्वन काल की आवश्यकता, (iv) अंकुरण निरोधकों की उपस्थिति, (v) विशिष्ट तापक्रम व प्रकाश की आवश्यकता आदि । आगे हमने बीज प्रसुप्ति भंग करने की विधियाँ पढ़ी जैसे खुरचना (scarification) जो यान्त्रिक और रासायनिक विधि दोनों प्रकार से किया जाता है । इसी प्रकार शीतन उपचार, दाब, प्रकाश, ऑक्सीजन की उच्च सान्द्रता वृद्धि नियन्त्रकों काउपयोग व एकान्तीरत तापक्रमों द्वारा उद्भासन कर के बीज प्रसुप्ति को भंग किया जाता है ।

इस इकाई के अन्तिम चरण में हमने पादप गतियाँ पढी और यह जाना कि पादप के किसी भाग या अंग विशेष द्वारा स्थिति परिवर्तन को गति (movement) कहते हैं । ये मुख्यत: दो वर्गो में विभक्त है चलन गतियाँ व वक्रिता गतियाँ चलन गतियाँ दो भागों में विभक्त है । I (स्वत: प्रेरित गतियाँ (Autonomic movement व II (अनुप्रेरित गतियाँ)Paratonic movement स्वत: प्रेरित चार प्रकार की होती है । (I) पक्ष्माभी (ii) विसर्पी (iii) अमीबीय (iv) जीव द्रव्य भ्रमण । अनुप्रेरित तीन प्रकार की होती है । (i) प्रकाशानुचलन (ii) तापानुचलनव (iii) रसायनानुचलन वक्रिता गतियाँ दो प्रकार की होती है । (A)वृद्धि की गतियाँ (Movement of Growth) व (B) पीरवर्तन की गतियाँ (Movements of Variation) वृद्धि की गतियाँ दो प्रकार की होती है

स्वत: प्रेरित व अनुप्रेरित, स्वतःप्रेरित दो होती है । (i) Nastic(Epinasty, Hyponasty) (ii) Nutations, अनुप्रेरित पाँच प्रकार की होती है । (i) प्रकाशानुवर्तन (Phototropism) (ii) गुरुत्वानुवर्तन(Geotropism) (iii) जलानुवर्तन(Hydrotropsim) (iv) रसायनानुवर्तन (Chemotropism)(v) स्पर्शानुवर्तन(Thigmotropism)

परिवर्तन गतियाँ भी दो प्रकार की होती हैं (A) स्वत:प्रेरित (B) अनुप्रेरित । अनुप्रेरित तीन प्रकार की होती हैं (i) निशानुकुंचन (Nyctinasty)(ii) स्पर्शानुवर्तन (Thigmonasty) (iii) कंपानुकुंचन (Seismonasty)

14.12 शब्दावली (Glossary)

(1) **खुरचना** (Scarification) : यह एक प्रकार की प्रसुप्ति भंग करने की विधि है जिसमें कठोर बीजावरण को तोड़कर कमजोर बना दिया जाता है ।

(2) **बीजपत्रोपरिक** (Epicotyle). अक्ष का वह भाग जो बीजपत्रों के ऊपर की और स्थित होता है।

(3) **बीजपत्रा धारी** (Hypocotyle) : अक्ष का वह भाग जो बीजपत्रों के नीचे की और स्थित होता है ।

(4) **सक्यूटेलम** (Scutellum) : एकबीजपत्री भ्रूण में केवल एक बीजपत्र होता है त था घासों में बीजपत्र को स्क्यूटेलम कहते हैं|

(5) **जीवन क्षमता** (Viability) : उचित परिस्थितियों में बीज की अंकुरण क्षमता को उसकी जीवन क्षमता कहते हैं ।

(6) **उद्यीपन** (Stimulus). वातावरण का कोई भी कारक, जो पादप या जीव में किसी परिवर्तन अथवा प्रतिक्रिया को उत्पन्न करता है ।

(7) **अनुक्रिया** (Response) : उद्यीपन के प्रति पादप या जीव की प्रतिक्रिया ।

(8) **अनुप्रेरित गतियाँ** (Paratonic movements) बाह्य कारकों द्वारा प्रेरित वृद्धि गतियाँ ।

(9) **प्रकाशानुवर्तन** (Phototropism) : एक प्रकार की पादप गति जिसमें पादप अंग की वक्रता प्रकाश की दिशा पर निर्भर करती है ।

(10) **कम्पानुकुंचन** (seismonasty) आघात या यांत्रिक उद्यीपन द्वारा उत्पन्न गति ।

14.13 संदर्भ ग्रंथ

(1) प्रो. पी. सी. त्रिवेदी, निरंजन शर्मा, आर. एस. धनखड - 2005 - पादप कार्यिकी, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी, रमेश बुक डिपो, जयपुर

(2) ऐसी. दत्ता, 2004 Botany for degree students oxford university press.

(3) सैलिसबरी और रॉस, 2004 पादप कार्यिकी सी.बी.एस. पब्लिशर नई दिल्ली

(4) विलियम जी, होपकिन, नोरमैन पीए. हुनर, 2004 An Introduction to Plant Physiology ।John Wiley& sons.

(5) तायज और जीजर, 2003Plant physiology panima publishing corporation New Delhi/Bangalore.

14.14 बोध प्रश्नों के उत्तर

1. (अ)	2. (द)	3. (स)	4. (स)	5. (अ)
6. (स)	7. (ब)	8. (अ)	9. (ब)	10. (अ)

14.15 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. बीजांकुरण के लिए आवश्यक परिस्थितियों तथा बीजांकुरण के समय होने वाले परिवर्तनों का वर्णन कीजिए ।
2. प्रसुप्ति को परिभाषित कीजिए? विभिन्न प्रकार की प्रसुप्ति, उसके कारणों का वर्णन कीजिए?
3. प्रसुप्ति भंग करने की युक्तियों तथा प्रसुप्ति महत्व को विस्तार से बताइए?
4. पादप गतियों का वर्गीकरण कीजिए तथा विभिन्न परिवर्तन गतियों का विस्तार से वर्णन कीजिए ।
5. प्रकाशानुवर्तन तथा गुरुत्वानुवर्तन से क्या तात्पर्य है? इनकी क्रियाविधि को स्पष्ट कीजिए?
6. पौधों में पाई जाने वाली विभिन्न अनुवर्तनी गतियों का वर्णन कीजिए?

इकाई 15 : दीप्तिकालिता एवं बसन्तीकरण
(photoperiodism and Vernalisation)

इकाई की रूपरेखा

15.0 उद्देश्य
15.1 प्रस्तावना
15.2 दीप्तिकालिता
15.2.1 दीप्तिकालिता के प्रकार
15.2.2 क्रान्तिक प्रदीप्त काल
15.2.3 दीप्तिकाल प्रेरण
15.2.4 दीप्तिकालिता की क्रियाविधि
15.2.5 दीप्तिकालिता का महत्व
15.3 बसन्तीकरण
15.3.1 बसन्तीकरण की तकनीक
15.3.2 बसन्तीकरण की क्रियाविधि
15.3.3 बसन्तीकरण का महत्व
15.4 फ्लोरीजन
15.5 फाइटोक्रोम
15.6 सारांश
15.7 शब्दावली
15.8 संदर्भ ग्रन्थ
15.9 बोध प्रश्नों के उत्तर
15.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

15.0 उद्देश्य

प्रस्तुत इकाई में आप दीप्तिकालिता व बसन्तीकरण के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे । बसन्तीकरण पादप को पुष्पन के लिए तैयार करता है जबकि दीप्तिकालिता पुष्पन को प्रारम्भन करता है । साथ ही फ्लोरीजन एवं फाइटोक्रोम अवधारणा का वर्णन किया जायेगा जिससे विद्यार्थीगण इनके बारे में जान पायेंगे ।

15.1 प्रस्तावना

पुष्पी पादपों का लाक्षणिक गुण है कि ये अपनी जीवनकाल में पुष्प अवश्य धारण करते हैं । कुछ पादप अपने जीवनकाल में केवल एक बार ही पुष्प धारण करते हैं । इस प्रकार के पौधों को एकल फलनी (monocarpic)पादप कहते हैं । इसके विपरीत अधिकतर पादप एक निश्चित समय पर प्रतिवर्ष पुष्प धारण करते हैं इन्हें बहु फलनी पादप (polycarpic)कहते हैं ।

पुष्पन की क्रिया पादप के जीवन चक्र में महत्वपूर्ण घटना है जो कायिक प्रावस्था के जनन प्रावस्था में संक्रमण को प्रदर्शित करती है । प्रत्येक पादप में पुष्पन की -क्रिया निश्चित कायिक वृद्धि के पश्चात् होती है त था विभिन्न पादपों में कायिक वृद्धि का काल भिन्न - भिन्न होना है । एक वर्षीय शाकीय पौधों में कुछ महीनों में ही पुष्पन की क्रिया प्रारम्भ हो जाती हैं । जबकि बहु वर्षी फलाधारी पादपों में पुष्पन की क्रिया कई वर्षो बाद प्रारम्भ होती है । इस प्रकार पुष्पन से पूर्व एक निश्चित कायिक वृद्धि का होना आवश्यक है । पुष्पी पादपों में पुष्पन की क्रिया एक आवश्यक परिवर्तन है जो निश्चित समय पर होता है, जो न तो उससे पहले होता है और न ही बाद में । पौधों में पुष्पन की कार्यिकी क्रियाविधि दो प्रमुख कारकों द्वारा नियन्त्रित होती है :

(i) प्रकाश की अवधि. अर्थात् दीप्तिकालिता (Light period photoperiodism)

(ii) तापमान अथवा बसन्तीकरण (temperature or vernalization)

15.2 दीप्तिकालिता (Photoperiodism)

गारनर एवं एलार्ड (Garner and Allard ,1920) ने सर्वप्रथम दीप्तिकालिता (photoperiodium) की परिकल्पना को प्रारम्भ किया । उन्होंने देखा कि मैरीलैंड मैमोथ (Maryland mammoth) नमक तम्बाकू की एक वेरायटी में अत्यधिक कायिक वृद्धि (vegetative growth) होने के बावजूद ग्रीष्म ऋतु में पुष्पीकरण नहीं होता है । परन्तु इसी वेरायटी को ग्रीन हाउस (green house) में उगाने पर इसमें पुष्प एवं फल उत्पन्न होते हैं । उन्होंने इससे यह निष्कर्ष निकाला कि दिन की कम लम्बाई (प्रदीप्तकाल) ही वह कारक है जो कि इस तम्बाकू के पादप के पुष्पीकरण को नियन्त्रित करता है और इसलिए इसे अल्प प्रदीप्तकाली पादप (short day plants) नाम दिया गया । इसलिए हम कह सकते हैं कि प्रदीप्तिकालिता (photoperiodism), पादप में वह जैविक परिवर्तन है जो दिन एवं रात की लम्बाई की अनुक्रिया (response) में होते हैं ।

15.2.1 दीप्तिकालिता के प्रकार (Types of Photoperiodism)

पौधों की प्रकाश के प्रति दीप्तिकालिक अनुक्रिया (photoperiodic response) के आधार पर गार्नर तथा एलार्ड ने इन्हें पाँच वर्गों में विभक्त किया । इस वर्गीकरण का आधार 24 घन्टे में प्रकाश व अन्धकार के समय चक्रों के प्रति अनुक्रिया को माना जाता है (चित्र 15. 1) । विभिन्न दीप्तिकाल के आधार पर पादप पाँच प्रकार के होते हैं ।

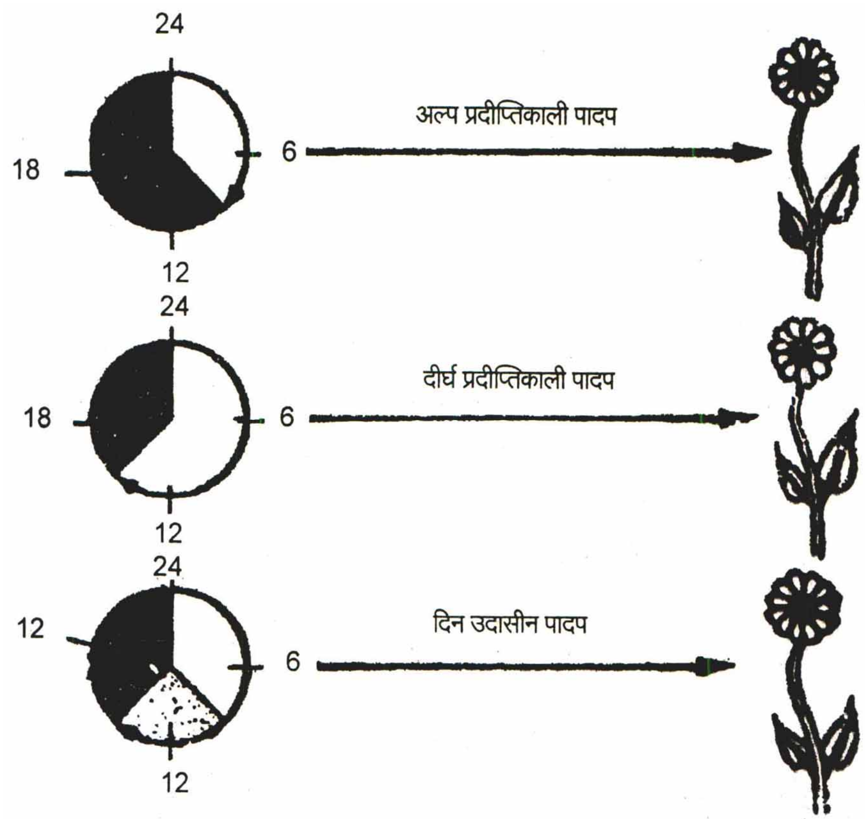
I अल्प प्रदीप्तिकाली पादप (Short day plants: SDP),

II दीर्घ प्रदीप्तिकाली पादप (Long day plants: LDP),

III दिवस निरपेक्ष पादप (Day neutral plants : DNP),

IV मध्यवर्ती पादप (Intermediate plants)

V उभय प्रदीप्तिकालिक पादप (Amphiphotoperiodic plants)



चित्र 15.1 : तीन किस्मों के पौधों के लिए आवश्यक दिन की लम्बाई

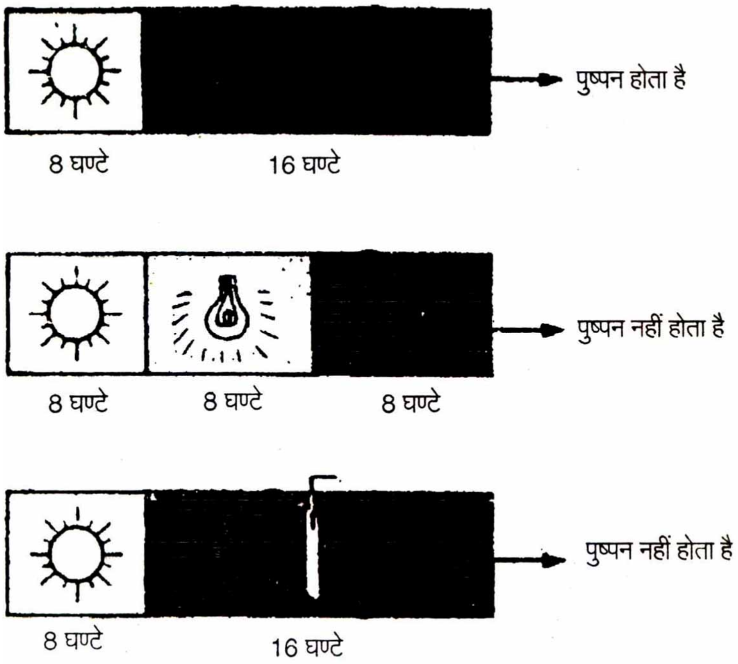
I. अल्प प्रदीप्तिकाली पादप (Short day plants : SDP)

इस वर्ग के पौधों में पुष्पन के लिए दिन की लम्बाई एक निश्चित कालिक काल (critical period) से कम होती है इसलिए इन्हें लघु दिवस पादप भी कहते हैं । दूसरे शब्दों में ऐसे पौधे जो निश्चित क्रांतिक दीप्तिकाल से कम अवधि में दीप्तिकाल उपलब्ध होने पर पुष्पन करते हैं, अल्प प्रदीप्तिकाली पादप कहलाते हैं । क्रांतिक दीप्तिकाल भिन्न-भिन्न होता है । इन पादपों को यदि क्रांतिक दीप्तिकाल से अधिक दीप्तिकाल दिया जाए तो अनिश्चित काल तक कायिक अवस्था में बने रहते हैं अर्थात् इनमें पुष्पन नहीं होता है । इस वर्ग के प्रमुख उदाहरण हैं - सोयाबीन, गन्ना, कॉसमाँस, तम्बाकू, धतूरा, डहेलिया, चिनोपोडियम, हेम्प आदि ।

इन पादपों की दीर्घ रात्रि पादप (Long -night plants) भी कहते हैं, क्योंकि इनमें पुष्पन हेतु दिन की लम्बाई की अपेक्षा रात्रि (अंधकार) की लम्बाई का अधिक महत्व होता है, क्योंकि इनमें पुष्पन के लिए अपेक्षाकृत लम्बे अंधकार काल की आवश्यकता होती है । इसके अतिरिक्त अन्धकार की अवधि निश्चित क्रांतिक काल से अधिक होनी चाहिए । इन पौधों के लिए अन्धकार की सतत्ता (continuity)को यदि क्षणिक काल के लिए भी भंग कर दिया जाए तो पुष्पीकरण पर निरोधी प्रभाव पड़ता है (चित्र15.2)

निरोधी प्रभाव उत्पन्न करने के लिए बहुत ही कम तीव्रता के प्रकाश की आवश्यकता होती है । अन्धकार का भंगीकरण अन्धकार काल के प्रारम्भ तथा अन्त में इतना प्रभावकारी नहीं होता है ।

हिलमैन (Hillman,1959) के अनुसार अधिकांश लघुप्रदीप्तिकाली पौधे सतत् अंधकार में पुष्पन कर सकते हैं यदि उन्हें सुक्रोज़ दिया जाए । इस तथ्य से यह पता चलता है कि इन्हें प्रकाश की आवश्यकता केवल भोजन निर्माण के लिए ही होती है । इन तथ्यों सें यह निष्कर्ष प्राप्त होता है कि अल्प प्रदीप्तिकाली प्रावस्थाओं में भी रात्रिकाल से पूर्व या पश्चात् कुछ समय के लिए अन्धकार में रखकर अर्थात् अन्धकार की अवधि बढ़ाकर पुष्पीकरण के लिए प्रेरित किया जा सकता है ।



चित्र 15.2: एक अन्य प्रदीप्तिकाली पादप की प्रदीप्तिकाली अनुक्रिया पर अंधकार का प्रभाव

II. दीर्घ प्रदीप्तिकाली पादप (Long day plants)

इस वर्ग के पौधों में पुष्पन के लिए आवश्यक प्रदीप्तिकाल की अवधि क्रांतिक काल से अधिक हैं | विभिन्न दीर्घ प्रदीप्तिकाल पादपों के लिये क्रांतिक कल अवधि 14-18 घन्टे की होती हैं | क्रांतिक प्रदीप्तिकाल से कम अवधि का प्रकाश मिलने पर ये कायिक अवस्था में ही बने रहते हैं अर्थात इनमें पुष्पन नहीं होता है | इस वर्ग के प्रमुख उदाहरण हैं - पालक , मुली, चकुंदर, अफीम , जई, गेहूं तथा हेनबेन आदि | दीर्घ प्रदीप्तिकाली पादपों में सतत प्रकाश की उपस्थिति में काफी मात्रा में पुष्प उत्पन्न करते हैं | इस प्रकार इनके पुष्पन में अंधकार का कोई महत्व नहीं हैं इन्हें अल्प रात्रि पादप (short night plants) भी कहते हैं |

इन पादपों में अन्धकार की लम्बी अवधि का पुष्पीकरण पर निरोधी प्रभाव पड़ता हैं | एक दीर्घ प्रदीप्तिकाली पादप को अल्प प्रदीप्तिकाली स्थिति में अन्धकार काल को क्षणिक प्रकाश देकर (अन्धकार के भंगीकरण द्वारा)पुष्पन कराया जा सकता हैं | इसके अलावा इन पौधों को अल्प प्रदीप्तिकाल में पुष्पन के लिये प्रेरित किया जा सकता हैं यदि अल्प प्रदीप्तिकाल उससे भी कम अन्धकार काल के कारण पुष्पीकरण पर निरोधी प्रभाव पड़ता हैं |

III. दिवस निरपेक्ष पादप (Day neutral plants)

इस वर्ग में ऐसे पादप सम्मलित किए गए हैं जो सभी संभव प्रदीप्तिकालों पुष्पीकरण कहते हैं अर्थात इन पादपों में पुष्पन की क्रिया प्रदीप्तिकाल से प्रभावित नहीं होती हैं | इन्हें दिवस निरपेक्ष अथवा दिवस उदासीन (day neutral) पादप कहते हैं| ये पादप सतत अन्धकार अथवा प्रकाशएंन भी पुष्पन कर सकते हैं | इस वर्ग सम्मिलित प्रमुख उदाहरण हैं | -कपास (cotton), मटर (pea),खीरा (cucumber), टमाटर (tomato), सूर्यमुखी (sunflower), डेन्डिलिओन (dandelion) तथा मक्का (maize) आदि|

IV. मध्यवर्ती पादप (Intermediate plants)

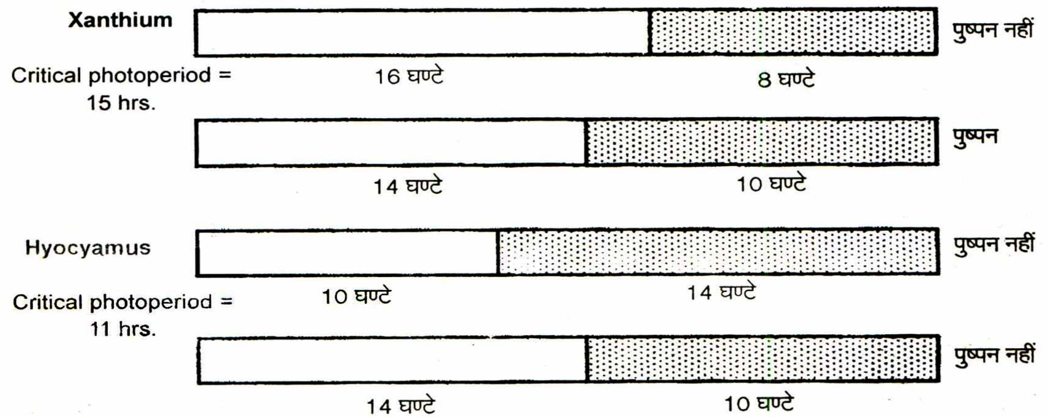
ऊपर वर्णित इन तीनों के अतिरिक्त कुछ पादप ऐसे भी हैं | जिनमें पुष्पन केवल एक विशिष्ट प्रदीप्तिकाल में ही होता हैं | इस निश्चित प्रदीप्तिकाल एसडबल्यू कम या अधिक प्रदीप्तिकाल में ये कायिक अवस्था में ही बने रहते हैं अर्थात पुष्पन नहीं होता हैं | इस प्रकार के पादप मध्यवर्ती प्रदीप्तिकाली(intermediate plants)कहलाते हैं| उदाहरण -गन्ने की कुछ किस्में एन्ड्रोपोगोन फक्रेटस तथा यूपेटोरियम हाइसोपिफोलियम आदि|

V. उभय प्रदीप्तिकाली पादप (Amphiphotoperiodic plants)

इन पादपों की अनुक्रिया मध्यवर्ती पादपों से विपरीत प्रकार की होती है अर्थात् ये पादप दीप्तिकाल के निश्चित परास से ऊपर त था नीचे पुष्पन की क्रिया करते हैं । ये पादप मध्यवर्ती दिवस अवधि (intermediate) day length) पर कायिक अवस्था में बने रहते हैं । उदा. मीडिया एलिगेन्स (Media elegans) ।

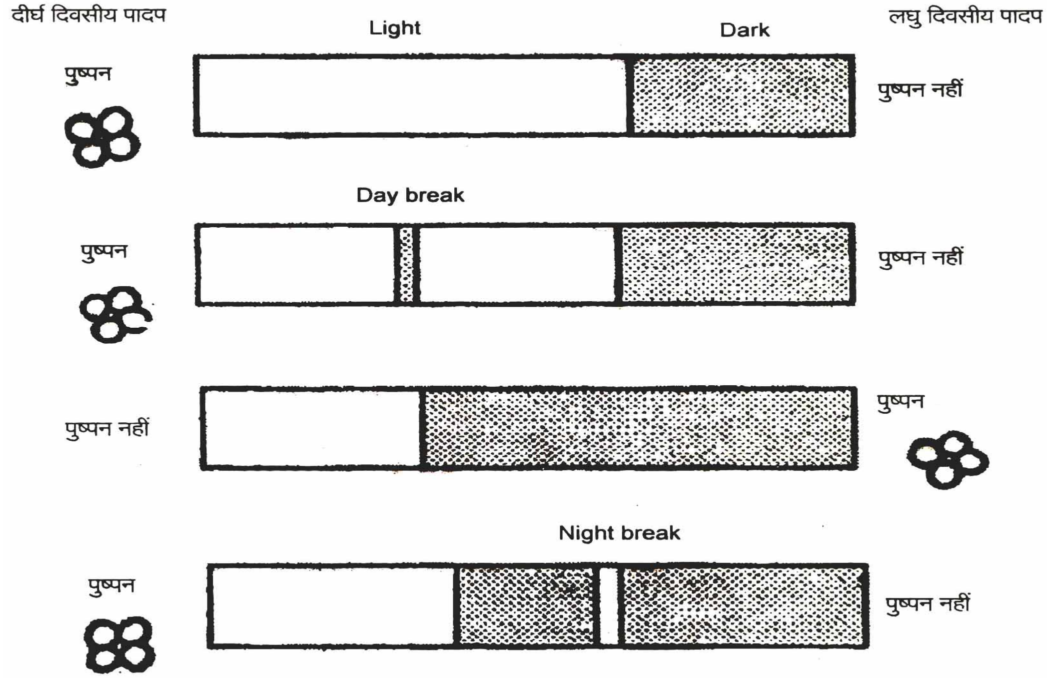
15.2.2 क्रान्तिक प्रदीप्तकाल (critical photoperiod)

पौधों का अल्प प्रदीप्तकाली (SDP)9) तथा दीर्घ प्रदीप्तकाली (LDP) वर्गो में वर्गीकरण प्रदीप्तकाल की पूर्ण अवधि पर आधारित नहीं है । वास्तव में पौधों का यह वर्गीकरण क्रान्तिक प्रदीप्तकाल के प्रति उनकी आपेक्षित अनुक्रिया पर आधारित है । वे पौधे जिनमें क्रान्तिक अधिकतम (critical maximum) से कम प्रदीप्तकाल में पुष्पन होता है, अल्प प्रदीप्तकाली पौधे (SDP) कहलाते हैं, इसके विपरीत जिन्हें पुष्पन के लिए क्रान्तिक न्यूनतम (critical minimum) से अधिक प्रदीप्तकाल की आवश्यकता होती है दीर्घ प्रदीप्तकाली पौधे (LDP) कहलाते हैं उदाहरण के लिए जैन्थियम स्ट्रूमेरियम (Xanthium strumarium) अल्प प्रदीप्तकाली पादप (SDP) है तथा इसके लिए क्रान्तिक प्रदीप्तकाल 15 घन्टे हैं । इसका तात्पर्य है कि इस पादप में पुष्पन केवल उसी दशा में होगा जब 24 घन्टे के दैनिक चक्र में प्रदीप्तकाल 15 घन्टे से कम हो । एक अन्य उदाहरण हायोसाइमस नाइगर (Hyoscyamus niger) दीर्घ प्रदीप्तकाल पादप (LDP)है तथा इसके लिए क्रान्तिक प्रदीप्तकाल 11 घन्टे है, यानि इसमें पुष्पन के लिए प्रदीप्तकाल 11 घन्टे से अधिक होना चाहिए (चित्र 15. 3) ।



चित्र 15.3 : जैन्थियम तथा हायोसायमस के पुष्पन पर क्रान्तिक प्रदीप्तकाल का प्रभाव

हेमनर तथा **बोनर** (Hamner and Bonner ,1938) ने प्रयोगों द्वारा प्रमाणित किया कि पुष्पन के लिए प्रकाशित काल (light period) की अपेक्षा अप्रकाशित काल (dark period) की अवधि अधिक महत्वपूर्ण होती है । इसलिए वास्तव में लघु दिवसीय पादप (SDP) दीर्घरात्रि पादप होते हैं तथा दीर्घ दिवसी पादप (LDP) लघु रात्रि पादप होते हैं । दीर्घ रात्रि के प्रभाव को अन्धकार काल में कुछ प्रकाश देकर उदासीन किया जा सकता है । इस प्रकार के अन्धकार भंग से अन्धकार काल दो छोटे कालों में विभक्त हो जाता है तथा यह छोटे अन्धकार काल लघु दिवसीय पादपों (SDP)में पुष्पीकरण को प्रेरित करने में असमर्थ होते हैं । प्रदीप्त काल को अन्धकार काल से विछिन्न करने पर लघु दिवसीय तथा दीर्घ दिवसीय दोनों पादपों पर पुष्पन पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता है (चित्र 15 .4) ।



चित्र 15 .4 : लघु दिवसीय एवं दीर्घ दिवसीय पादपों की विभिन्न दीप्तिकालिक परिस्थितियों के प्रति अनुक्रिया

15.2.3 दीप्तिकाल प्रेरण (photoperiodic induction)

वह स्थिति जिसमें पर्याप्त प्रकाश एवं अन्धकार काल का प्रभाव पादपों में रहता है तथा सामान्यत: अयोग्य स्थिति में भी पुष्पीकरण को प्रेरित करती है दीप्तिकालिक प्रेरण (photoperiodic induction) कहलाती है ।

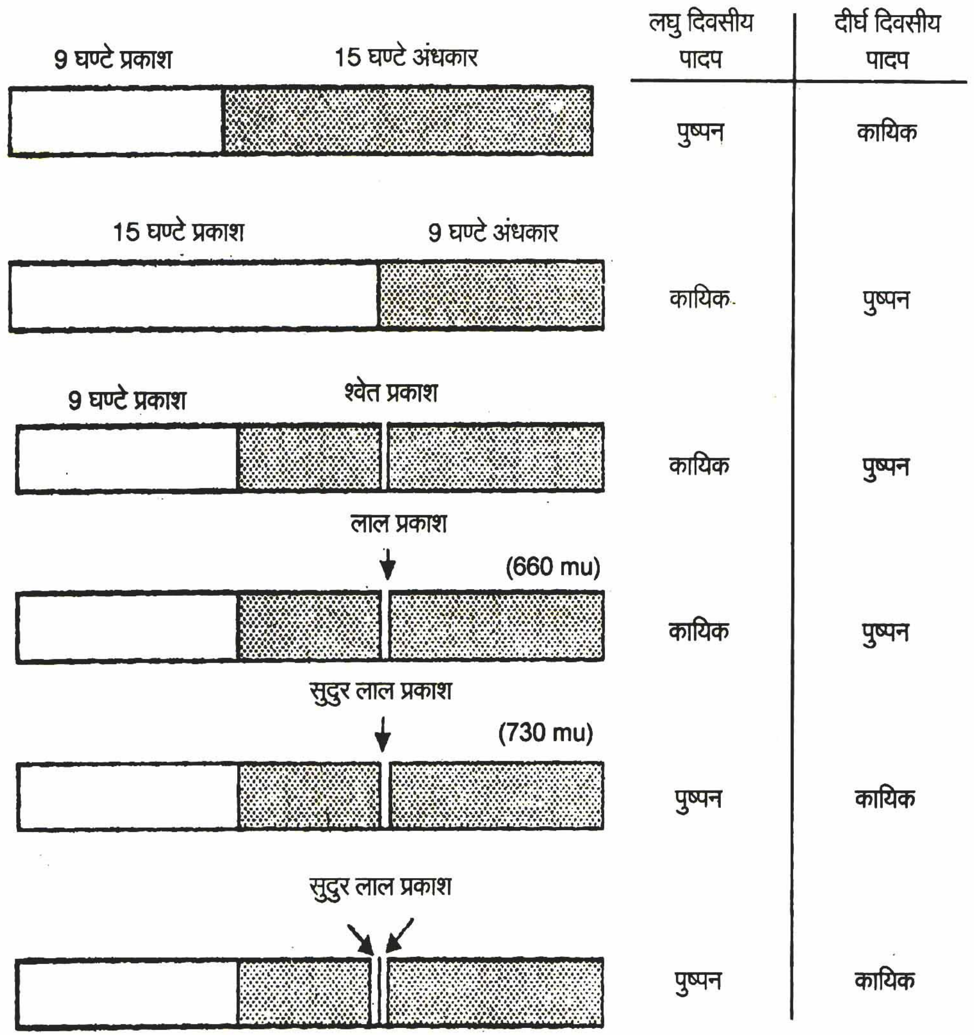
मुख्यत: पादपों को लम्बे प्रेरण काल की आवश्यकता होती है । उदाहरण - साल्विया में प्रति दिन 10 घन्टे लम्बे प्रेरण काल की आवश्यकता 17 लघु दिवसों तक होती है । दिल (dill) एवं चुकंदर (beet) दोनों ही दीर्घ दिवस पादप है । इन्हें पुष्पीकरण के लिए 1 -4 एवं 15-20 घन्टे की प्रकाश प्रेरण चक्र की आवश्यकता होती है । परन्तु जेन्थियम (xanthium)एक लघुदिवस/ दीर्घ रात्रि के चक्र के आवश्यकता दीर्घ दिवस परिस्थितियों में होती है ।

दीप्तिकालिक चक्र जितना अधिक लम्बा होगा उतना ही तीव्र प्रेरण होता है जिससे पुष्पीकरण उतना ही विपुल होता है । **जेन्थियम** (xanthium) का पुष्प सतत् दीप्तिकालिक चक्र में 13 दिनों में 4- 8 दीप्तिकालिक चक्रों में 34- 18 दिनों तथा एक दीप्तिकालिक चक्र में 64 दिनों में पुष्पित होता है ।

15.2.4 दीप्तिकालिकता की क्रियाविधि (The mechanism of photoperiodism)

दीप्तिकालिक उद्दीपन का अवगमन एवं स्थानांतरण (Perception and translocation of photoperiodic stimulus): पुष्पीकरण का प्रारम्भन पर्ण द्वारा प्राप्त प्रकाश पर निर्भर करता है । नोट (Knot, 1934) ने पालक (spinach) जो स्व दीर्घ दिवसी पादप है कार्य करते हुये यह प्रदर्शित किया कि पत्तियाँ ही प्रदीप्तिकालिक उद्दीपन ग्राही होती हैं । जैन्थियम (Xanthium)जो कि लघु दिवसीय पादप है की एक पत्ती को ही उचित प्रकाशकाल में उद्भासित करने से ही पुष्प उत्पन्न हो जाते हैं चाहे पादप के अन्य भागों को अप्रेरक दिन के प्रकाश में रखा जाये । LDP एवं SDP पादपों पर किये गये अनेक प्रयोगों से यह स्पष्ट हो जाता है कि पत्तियों द्वारा ग्रहण किया गया प्रकाश प्रेरण ही शीर्ष की अनुक्रिया को निर्धारित करता है । इससे यह कहा जा सकता है कि प्रकाश प्रेरण के प्रति अनुक्रिया से ही पत्तियों द्वारा एक अज्ञात संकेत (signal) दिया जाता है जो कि प्ररोह शीर्ष पर पुष्पन के संक्रमण को नियन्त्रित (regulate) करता है दीप्तिकाल से नियन्त्रित regulate) क्रिया जो कि पत्तियों में सम्पन्न होती है तथा जिसके फलस्वरूप पुष्पीय उद्दीपन का संचरण प्ररोही शीर्ष तक होता है **दीप्तिकालिक प्रेरण** (photoperiodic induction) कहलाती है ।

दीप्तिकालिक प्रेरण पादपों से अलग की गई पत्तियों में भी होता है । यदि **जैन्थियम** (Xanthium) की एक पत्ती को लघु प्रकाश प्रेरित किया जाये तथा पादप के अन्य भाग दीर्घ दीप्तिकालित होते हैं तब भी पुष्प उत्पन्न हो जाते हैं (चित्र 15.5) ।



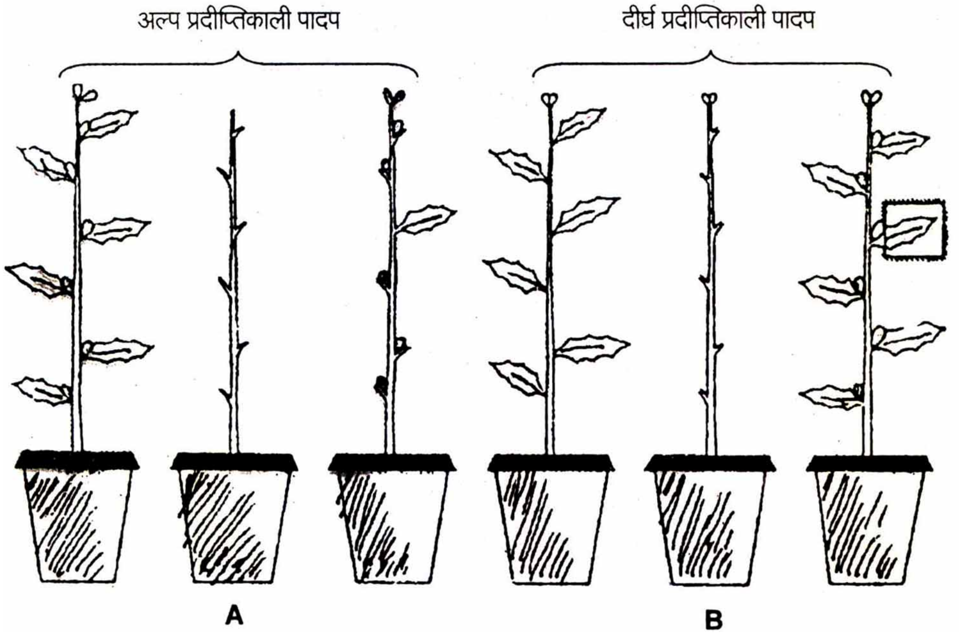
चित्र 15.5 : लघु दिवसीय एवं दीर्घ दिवसीय पादपों की विभिन्न दीप्तिकालिक परिस्थितियों के प्रति अनुक्रिया

परिपक्व पत्तियों की अपेक्षा अत्यधिक तरुण अथवा वृद्ध पत्तियाँ, दीप्तिकालिक प्रेरण से अप्रभावी अथवा कम प्रभावी होती है । **जैन्थियम** (Xanthium), SDP के दो शाखायुक्त एक पौधे को लेकर उसकी एक शाखा को लघु दिवसीय तथा दूसरी शाखा को दीर्घ दिवसीय प्रेरण दिया जाता है । प्रेरण के फलस्वरूप दोनों ही शाखाओं में पुष्प उत्पन्न होते हैं । यह भी पाया गया है कि यदि एक शाखा को दीर्घ दिवसीय स्थिति में तथा दूसरी शाखा जिसमें केवल एक पत्ती को छोड़ कर सभी पत्तियाँ हटा दी जाये तो उसे लघु दिवसीय स्थिति में रखने पर भी पुष्पीकरण होता है (चित्र 15.6A) ।

परन्तु उस स्थिति में पुष्पीकरण नहीं होगा जब एक शाखा दो दीर्घ दिवसीय दीप्तिकालिक स्थिति में तथा दूसरी शाखा जो पूर्णत : पर्ण रहित हो उसे लघु दिवसीय स्थिति में रखा जाये । इसे हम यह मान कर समझा सकते हैं कि पुष्पन को प्रेरित करने वाला पदार्थ पत्तियों में बनता है तथा यह स्तम्भ द्वारा संचरित होता है परन्तु दीर्घ दिवसीय स्थिति में यह उत्पन्न नहीं होता है ।

क्यूपर रख वाएरसम (Kuyper and Wiersum,1936) ने पाया कि यदि पुष्पीकरण के लिए तैयार (conditioned) पादप दाता की प्ररोह (shoot) को किसी दूसरे पादप (ग्राही) पर जो कि पुष्पन को प्रेरित करने वाली दशा (non flower inducingcondition) में रखा हो कलम (graft) कर देने पर दूसरे पादप पर पुष्प उत्पन्न होते हैं ।

यदि एक शाखा से एक पत्ती को छोड़कर सभी पत्तियों को हटा दिया जाये तथा इसे लघु दिवसीय दशा में रखा जाये तब दूसरी शाखाओं पर पुष्प उत्पन्न होते हैं । इससे यह सिद्ध हो जाता है कि एक अकेली पत्ती भी उसके उद्दीपन को सम्पूर्ण पौधे को संचरित कर देती है ।



चित्र 15.6 : जैन्थियम के पौधों द्वारा दीप्तिकालिक उद्दीपन द्वारा ग्रहण किया जाता है का प्रदर्शन

15.2.5 दीप्तिकालिता का महत्व (Importance of Photoperidism,) :

विभिन्न पादपों की दीप्तिकालिक आवश्यकताओं की समुचित जानकारी के आधार पर उनके कायिक भागों अथवा फलों के उत्पादन में वृद्धि की जा सकती है । इस प्रकार अनेक पादपों में दीप्तिकालिता सेर आर्थिक लाभ प्राप्त किया जा सकता है ।,

1. वार्षिक पादप को वर्ष में एक से अधिक बार उगाया जा सकता है तथा पुष्पन प्रेरित कर उत्पादन बढ़ाया जा. सकता है।
2. उचित दीप्तिकालों के सम्भरण से बहुवर्षी पादपों में सालभर पुष्पन के लिए प्रेरित किया जा सकता है ।
3. कन्द, बल्ब तथा राइजोम आदि संचयी भूमिगत स्तम्भों के उत्पादन में वृद्धि की जा सकती है । अनेक पादपों के वायवीय कायिक भाग आर्थिक महत्व के होते हैं (पालक, सलाद, गन्ना आदि) । इन पादपो को उचित दीप्तिकाल से वंचित रख कर इन्हें कायिक अवस्था मे रखा जा सकता है तथा उत्पादन मे वृद्धि की जा सकती है ।

4. कलिकाओं की शीत-प्रसुप्ति को उचित दीप्तिकालक सहायता से रोका जा सकता है ।

5. संकरण प्रयोगों के लिए दो भिन प्रकार अथवा भिन क्षेत्रो के जनक पादपों को आवश्यकतानुसार साथ-साथ पुष्पन के लिए प्रेरित किया जा सकता है

बोध प्रश्न-1

1. प्रकाश व अन्धकार अवधि के प्रति सजीवों की अनुक्रिया आहलाती हैं |

....

....

2. जैन्थियम किस प्रकार का पादप हैं |

....

....

3. LDP पादपों में प्रकाश कितने समय के लिए आवश्यक हैं |

....

....

4. दीर्घ दीप्तिकाली पादपों को .... भी कहते हैं |

5. जो पादप सतत अन्धकार अथवा सतत प्रदीप्त परिस्थितियों में पुष्पन करते हैं |

....

....

15.3 बसन्तीकरण (vernalisation)

अनेक पादपों में पुष्पीकरण न केवल उचित दीप्तिकाल से प्रभावित होता है बल्कि ताप द्वारा भी प्रभावित होता है । एक वर्षी पादपों में पुष्पन पर प्रकाश का मुख्य प्रभाव पड़ता है तथा तापमान का प्रभाव द्वितीयक होता है, लेकिन द्विवर्षी पादपों में सर्वथा भिन्न स्थिति पाई जती है । इन पादपों में प्रथमवर्ष में केवल कायिक भागो मे वृद्धि होती है जब कि पुष्पन की क्रिया द्वितीय वर्ष में सम्पन्न होती है । इन पदपों में पुष्पीकरण का प्रारम्भन तब तक नहीं हो पाता है जब तक कि वे शीतऋतु के कम ताप में उद्भासित (expose) न हो जाए । शीत प्रभाव के अभाव में इन पौधों में जनन प्रावस्था प्रारम्भ नहीं होती है तथा ये कायिक अवस्था में ही बने रहते हैं । इस प्रकार का व्यवहार कुछ धान्य फसलों (cereal crops)की किस्मों में भी देखा गया है । लिसेन्को (Lysenko) ने शीतोष्ण जलवायु के प्रदेशें में चावल की दो किस्मों-शीत किस्म तथा बसन्त किस्म (Winter verity and spring variety) के अवलोकन पर पाये की शीत किस्में शरद ऋतु में प्रारम्भ में बोई जाती है तथा उनमें पुष्पन अगली ग्रीष्म ऋतु में होता है जबकि बसन्त किस्में मार्च में बोई जाती हैं तथा इनमें पुष्पन शीत किस्मों के साथ होता है । यदि शीत किस्मों को मार्च में बसन्त किस्मों के साथ बोया जाता है तो उनमें केवल कायिक वृद्धि होती है, पुष्पन नहीं होता है । इससे यह स्पष्ट होता है कि शीत किस्मों में पुष्पन के लिए शीतकाल के कम ताप पर उनका उद्भासित होना आवश्यक है ।

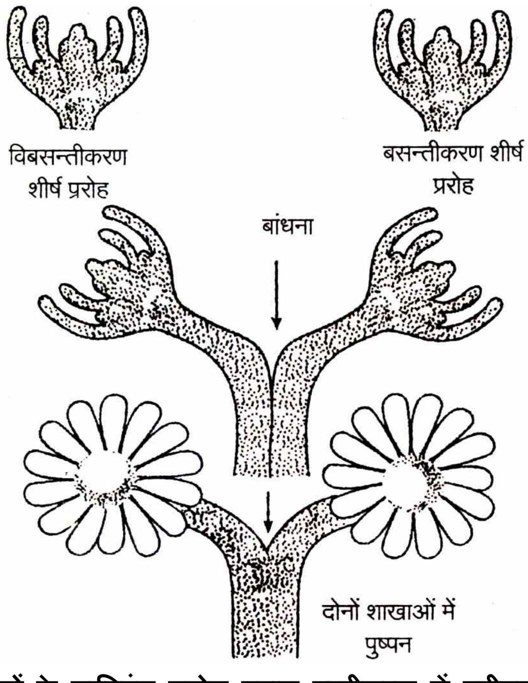
शीतकालीन किस्मों में कम तापमान की आवश्यकता को कृत्रिम शीत उपचार द्वारा पूरा किया जा सकता है जिससे इनमें गर्मी के मौसम में पुष्पन कराया जा सकता है । द्विवर्षी पादप जिनमें

प्रथम वर्ष में केवल कायिक वृद्धि तथा शीतऋतु के पश्चात् अगले वर्ष पुष्पन होता है, के बीजों को अंकुरित करवाकर कुछ सप्ताह तक कम तापमान (0- 5∘C) पर उद्धासित किया जाये तो ये वैसा ही व्यवहार करते हैं, जैसे शीत ऋतु के पश्चात् करते हैं । पौधों में शीत उपचार द्वारा पुष्पन प्रेरण की यह क्रिया बसन्तीकरण (vernailsation)कहलाती है । कोअर्ड (Choird ,1960) के अनुसार ' 'शीत उपचारों द्वारा पुष्प उत्पन्न करने की क्षमता बसंतीकरण कहलाती है ' ' । शीत किस्मों में शीत उपचार से ये बसन्तीकिस्मों के समान व्यवहार करने लगती है । इसलिए लिसेन्को (Lysenko) के अनुसार बसंतीकरण शरद किस्मों को बसंत किस्मों में रूपान्तरित करने की तकनीक है ।

बसन्तीकरण के स्थल (sites of Vernailisation) :

प्रकृति में एकवर्षीय पौधों में बसन्तीकरण की प्रक्रिया बीज की अवस्था (seed stage) में ही होती है । द्विवर्षी पादप बाद की अवस्था में अर्थात् आने वाली शीत ऋतु में बसन्तीकृत होते हैं । इसके विपरीत बहुवर्षी पादपों में बसन्तीकण प्रत्येक वर्ष क्रमानुसार शीत ऋतु में होती है ।

बसन्तीकरण का उद्दीपन (stimulus of vernalisation) सामान्यत : विभज्योतकी ऊतकों द्वारा ग्रहण किया जाता है । विलेनसिक (Wellensick 1964) ने अपने प्रयोगों द्वारा किया कि मूल प्ररोह, शीर्ष प्ररोह, भ्रूण तथा तरुण पत्तियों के विभज्योतक शीत उपचार के संवेदी अंग होते हैं । परिपक्व अंग अथवा कोशिकाएँ बसन्तीकरण उद्दीपन के प्रति असंवेदी होते हैं । विभज्योतक की बसन्तीकरण उद्दीपन के प्रति संवेदनशील होने के तथ्य की पुष्टि बसन्तीकृत पौधों के विभज्योतकों को अबसन्तीकृत पौधे में रोपित कर की जा सकती है जिससे अबसन्तीकृत पौधों में भी पुष्पन हो जाता है (चित्र 15.7) ।



चित्र 15.7 : विभज्योतकों के ग्रापिटंग प्रयोग द्वारा पुष्पीकरण में उद्दीपक की हॉर्मोन प्रकृति का प्रदर्शन

बसन्तीकरण के लिए सामान्यत : तीन पहलू आवश्यक हैं - अल्पतम निश्चित समय तक शीत तापक्रम, प्ररोह शीर्ष अथवा भ्रूण तथा वायवीय श्वसन । बसन्तीकरण में शर्करा का पर्याप्त मात्रा में सम्भरण भी आवश्यक होता है । ऐसा माना जाता है कि शर्करा श्वसनाधार के अतिरिक्त उन कारकों के निर्माण में भी सहायक होती है जिनसे उपचारित अंग बसन्तीकरण उद्दीपन को ग्रहण करने में सक्षम होता है ।

15.3.1बसन्तीकरण की तकनीक (Technique of Vernalisation) :

चूँकि शीत उपचार उद्दीपन ग्रहण करने में बीज तथा विभज्योतक सक्षम अंग है इसलिए इनको प्रायोगिक कार्य हेतु उत्तम सामग्री माना जाता है । बसन्तीकरण की तकनीक अत्यन्त ही सरल तकनीक है । सर्वप्रथम बीजों को भिगोकर अंकुरण (germination)के लिए छोड़ दिया जाता है । अंकुरित बीजों को कम ताप पर (0∘C से 5˚C) उपचारित किया जाता है । शीत उपचार (cold treatment) का समय विभिन्न जातियों में बीजों की किस्म के अनुसार भिन्न -भिन्न होता है । शीत उपचार कुछ घन्टों से लेकर कुछ सप्ताह तक हो सकता है । शीत उपचारित बीजों को तुरन्त नहीं उगाना चाहिए इसके अलावा इन्हें लम्बे समय तक भी नहीं सुखाना चाहिए क्योंकि इन दोनों ही परिस्थितियों में शीत उपचार का प्रभाव नष्ट हो जाता है ।

विबसन्तीकरण (Devernaisation) : बसन्तीकरण अथवा शीत उपचार के दौरान या तुरन्त पश्चात् यदि बसन्तीकृत पादप या बीजों को उच्च तापमान में स्थानान्तरित कर दिया जाये तो बसन्तीकरण का प्रभाव नष्ट हो जाता है । इस क्रिया को विबसन्तीकरण (devernailisation) कहते हैं । विबसन्तीकृत पादप या बीजों को पुन : कम तापमान में उपचारित किया जाये तो उच्च ताप का प्रतिकूल प्रभाव नष्ट हो जाता है अर्थात् इनका पुन : बसन्तीकृत (revernailisation)हो जाता है ।

बसन्तीकरण की क्रिया एक बार पूर्ण हो जाने के पश्चात् (जो विभिन्न जातियों में कुछ घन्टे से कुछ सप्ताह तक हो सकती है) यदि अबसन्तीकारक परिस्थितियाँ उत्पन्न हो जाये तो बसन्तीकरण का प्रभाव नष्ट नहीं होता है अर्थात् बसन्तीकरण का प्रभाव स्थायीकृत हो जाता है ।

बसन्तीकरण तथा जिबरेलिन (Vernailisation and Gibberallins) : ऐसे प्रमाण हैं कि बसन्तीकरण की क्रिया में जिबरेलिन का योगदान होता है । एन्टोनलैंग (Antonlang 1957) के अनुसार द्विवर्षी पादप जातियों में जिबरेलिन के अनुप्रयोग से शीत उपचार को प्रतिस्थापित किया जा सकता है । पर्विस (Purvis1961) ने भी बीजों को जिबरेलिन द्वारा उपचारित कर बसन्तीकरण प्रभाव प्राप्त करने में सफलता प्राप्त की । उपरोक्त तथ्यों से यह स्पष्ट होता है कि शीत उपचार के फलस्वरूप इन पादपों में जिबरेलिन का संग्रहण होता है । इसके अतिरिक्त जिबरेलिन के संश्लेषण को बाधित कर शीत उपचार द्वारा उत्पन्न प्रभावों (बसन्तीकरण प्रभाव) का निरोधन किया जा सकता है ।

बसन्तीकरण तथा दीप्तिकालिता (Vernailisation and photoperiodism) : लिसेन्को (Lysenko) के अनुसार पुष्पन का समारम्भ ताप प्रावस्था के पूर्ण होने पर होता है अर्थात् ताप प्रावस्था के पूर्ण होने पर प्रकाश या अप्रकाशित काल पौधे के पुष्पन को प्रभावित करते हैं । इसलिए यह स्पष्ट है कि बसन्तीकरण अकेले कभी भी पुष्पन को प्रेरित करने में समर्थ नहीं होता

है । बसन्तीकरण (vernailisation)पादप को पुष्पन के लिए तैयार करता है तथा दीप्तिकालिता (photoperiodism.) इनमें पुष्पीकरण आरम्भन करता है । इसलिए पुष्पीकरण के लिए ये दोनों प्रक्रियाएँ पूर्ण होना आवश्यक है, अन्यथा पुष्पन नहीं होता है । ये दोनों प्रावस्थाएँ एक निश्चित क्रम में होती हैं तथा एक प्रावस्था के पूर्ण होने पर ही दूसरी प्रावस्था आरम्भ होती है । प्रत्येक प्रावस्था के लिए उपयुक्त तापमान, आर्द्रता आदि आवश्यक होते हैं ।

15.3.2 बसन्तीकरण की क्रियाविधि (Mechanism of Vernailisation) :

बसन्तीकरण की वास्तविक क्रियाविधि को अभी तक पूर्ण रूप से नहीं समझा जा सका है । इस सम्बन्ध में कई परिकल्पनाएँ प्रस्तुत की गई हैं, उनमें से 2 मुख्य परिकल्पनाएँ यहाँ प्रस्तुत हैं.

I. **प्रावस्थी परिवर्धन का सिद्धान्त (Theory of phasic development) :** यह मत लिसेन्को (Lysenko 1934) द्वारा प्रस्तुत किया गया था । इस सिद्धान्त के प्रमुख बिन्दु निम्न प्रकार है :

(i) वृद्धि (आकार में बढ़ोतरी) तथा परिवर्धन (विभिन्न अंगों में लाक्षणिक परिवर्तन) भिन्न -भिन्न प्रक्रियाएँ हैं ।

(ii) एक पादप का समग्र परिवर्धन कई श्रृंखलाबद्ध प्रावस्थाओं में पूरा होता है ।

(iii) अगली प्रावस्था तभी प्रारम्भ होती है जबकि पिछली प्रावस्था पूर्ण हो चुकी हो ।

(iv) प्रत्येक प्रावस्था के पूर्ण होने में बाह्य या वातावरणी परिस्थितियाँ जैसे प्रकाश तथा ताममान आदि आवश्यक होती हैं ।

लिसेन्को ने पौधों के परिवर्धन के दौरान दो मुख्य प्रावस्थाओं का संकेत दिया था, जो क्रमश : ऊष्पिक प्रावस्था (thermophase) तथा प्रकाश प्रावस्था (photophase) कहलाती है । प्रकाशी प्रावस्था पादप को पुष्पन के लिए तैयार करती है परन्तु इस प्रावस्था के प्रारम्भ होने के लिए ऊष्मीय प्रावस्था का पूर्ण होना आवश्यक है अर्थात् ऊष्मीय प्रावस्था के समाप्त होने पर प्रकाशी प्रावस्था प्रारम्भ होती है । यदि ऊष्मीय प्रावस्था सम्पन्न नहीं हो पाती है तो पादप पुष्पन करने में असमर्थ रहता है । बीजांकुरण से नवोद्भिद तक की सभी अवस्थाएँ ऊष्मीय प्रावस्था तथा इसके बाद की अवस्थाएँ प्रकाशीय प्रावस्था का निर्माण करती है ।

बसन्तीकरण की क्रिया पादप के परिवर्धन की ऊष्मीय प्रावस्था को त्वरित करने का कार्य करती है।

प्रावस्थी परिवर्धन सिद्धान्त को स्वीकार नहीं किया गया है, इसके विरुद्ध मुख्य आक्षेप निम्न प्रकार है :

(i) अनेक मामलों में शीत उपचार को जिबरेलिन द्वारा प्रतिस्थापित किया जा सकता है अर्थात् ऊष्मीय प्रावस्था की अनिवार्यता सही नहीं है ।

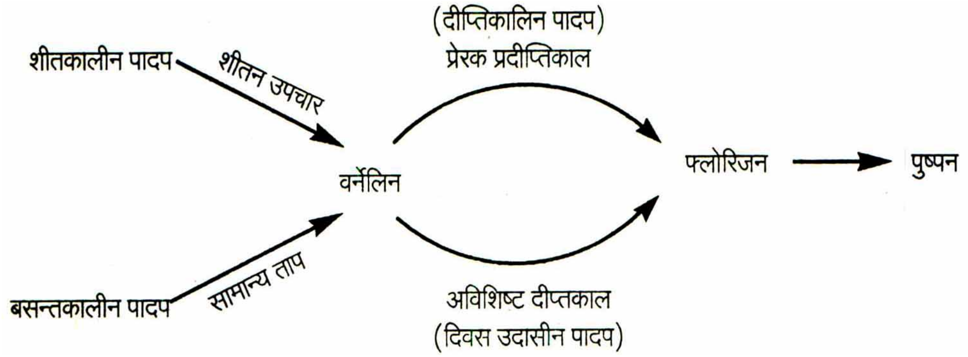
(ii) गेहूँ की अनेक किस्मों में तापक्रम तथा प्रकाश की विस्तृत अवस्थाओं में पुष्पन होता है ।

(iii) इस परिकल्पना के अनुसार पादप की विभिन्न प्रावस्थाओं के दौरान अर्जित प्रभाव अनुत्क्रमणीय होता है परन्तु लगभग सभी मामलों में बसन्तीकरण प्रभाव को उच्च तापक्रम द्वारा या अवायवीय श्वसन की अवस्था में विबसन्तीकृत किया जा सकता हैं|

II. **हॉर्मोन सिद्धान्त (Hormonal theory):** पर्विस (purvis) ने सर्वप्रथम यह सुझाव दिया कि शीतन उपचार से पुष्पन के लिए आवश्यक हॉर्मोन के पूर्ववर्ती पदार्थ (precursor) का संश्लेषण होता है । यह पूर्ववर्ती पदार्थ प्ररोह शीर्ष पर स्थानान्तरित होकर एक मध्यवर्ती पदार्थ में स्थानान्तरित हो जाता है । प्ररोह शीर्ष में मध्यवर्ती पदार्थ अनुकूल प्रदीप्तिकाल प्राप्त करने पर पुष्पन को प्रेरित करता है ।

मेल्चर (Melcher) ने अपने प्रयोगों में पाया कि इस पदार्थ का संचलन होता है । उन्होंने शीतउपचारित हेनबेन (Hyoscymus) पादप को अनुपचारित पादप से कलमबद्ध (grafting) करने पर पाया कि शीत उपचार प्रभाव अनुपचारित पादप में संचरित हो जाता है । इससे यह निष्कर्ष प्राप्त हु आ कि शीत उपचार से पदार्थ प्रकृति के यौगिक का निर्माण होता है । मेल्चर ने इस पदार्थ का नाम **वर्नेलिन** (vernalin) दिया । शीतकालीन पादपों में शीत उपचार (बसन्तीकरण) के बिना पुष्पन नहीं होता है जबकि बसन्तकालीन पौधों में उसके बिना ही पुष्पन हो सकता है । इस प्रकार बसन्तकालीन पादपों में यह पदार्थ (वर्नेलिन) पहले से ही उपस्थित होता है जबकि शीतकालीन पौधे में इसका संश्लेषण शीत उपचार के समय होता है ।

वर्नेलिन (vernalin) अथवा इस प्रकार के किसी पदार्थ का निष्कर्षण अभी तक नहीं किया गया है । परन्तु ऐसा प्रतीत होता है कि यह उद्दीपन पुष्प प्रेरित उद्दीपन -फ्लोरिजन के सहयोग से कार्य करता है । वर्नेलियन तथा फ्तोरिजन के पुष्पन से सम्बन्ध को निम्न प्रकार दर्शाया जा सकता है (चित्र 15. 8) ।



चित्र 15. 8 : वर्नेलिन तथा क्लोरिजन का पुष्पन में सम्भावित योगदान

15.3.3 बसन्तीकरण का महत्व (Importance of Vernalisation) :

(i) शरदकालीन जातियों के अंकुरित बीजों को बसन्तीकरण के पश्चात् अधिक ठण्ड वाले क्षेत्रों में बसन्त या ग्रीष्म ऋतु में उगाया जा सकता है ।

(ii) बसन्तीकरण द्वारा द्विवर्षी पादपों की कायिक प्रावस्था को कम करके इनमें शीघ्र पुष्पन कराया जा सकता है ।

(iii) बसन्तीकरण द्वारा पी धो की शीत प्रतिरोधी (cold resistance) क्षमता को बढ़ाया जा सकता है ।

(iv) रूस में बसन्तीकरण द्वारा अनेक फसली पौधों में रोग प्रतिरोधी क्षमता में वृद्धि देखी गई है । इस प्रकार यह उपज बढ़ाने में भी सहायक है ।

बोध प्रश्न - 2

1. बसन्तीकरण के लिए अनुकूलतम तापमान क्या होता है?

....

....

2. बसन्तीकरण की परिभाषा दीजिए?

....

....

3. पुष्पन हेतु आवश्यक न्यून ताप उपचार को किसके द्वारा विस्थापित किया जा सकता है?

....

....

4. बसन्तीकरण के लिए उपयुक्त पादप भाग कौनसा होता है?

....

....

5. पुन: बसन्तीकरण क्या है?

....

....

15.4 पुष्पीय हॉर्मोन -क्लोरीजन (Flowering hormone : Florigen)

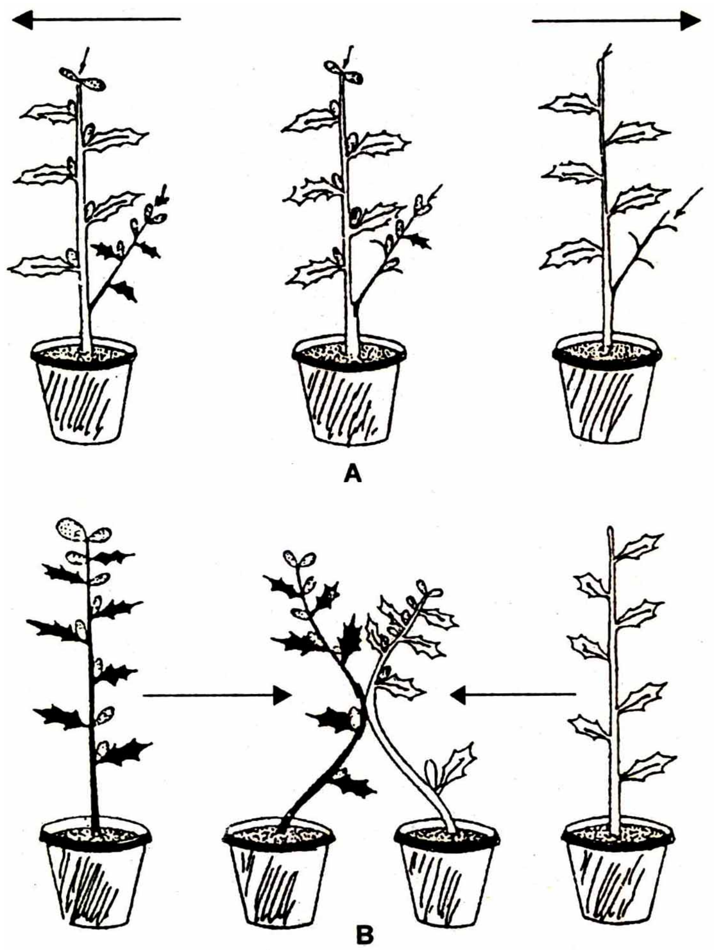
पुष्पीय हॉर्मोन की उपस्थिति के संदर्भ में अनेकों साक्ष्य प्रस्तुत किये गये हैं परन्तु आज तक कोई वैज्ञानिक इन्हें पृथक नहीं कर पाया है । चैलाख्यान (Chailakhyan. 1937) ने इस पुष्पीय हॉर्मोन को फ्लोरीजन (florigen) नाम दिया । जीवार्ट (Zeevart) ने जैन्थियम (Xanthium) पर कार्य करते हुये यह सिद्ध किया कि पुष्पीकरण उद्दीपन दीर्घ एवं लघु दिवसीय पादपों में समान होता है तथा हॉर्मोन एक पादप से दूसरे पादप को संचरित (translocate) हो सकता है ।"

"**फ्लोरीजन संकुल "** पत्तियों में बनने वाले दो पदार्थो के समूह से मिलकर बना होता है ।

(i) जिब्रेलिन (Gibberellins) : यह स्तम्भ के बनने एवं वृद्धि के लिए आवश्यक होते हैं ।

(ii) एनथेसिन्स (Anthesins) : यह पुष्प के बनने के लिए आवश्यक होते हैं ।

इन दोनों पदार्थो का मिला हुआ प्रभाव फ्लोरीजन द्वारा उत्पन्न प्रभाव के समान होता है । बहुत से अध्ययनों से यह देखने में आया है कि पादप वृद्धि पदार्थ इनडोल एसीटिक अम्ल (indole acetic acid.IAA) बहुत से पादपों में पुष्पीकरण को प्रेरित करता है । जिब्रेलिन (gibberellin), सायटोकाइनिन (cytokinins), एबिसिसिक अम्ल (abscisic acid) एथिलीन (ethylene)के खोज के बाद यह ज्ञात हुआ कि यह पादप वृद्धि पदार्थ कुछ दशाओं में पुष्पीकरण में भाग लेते हैं । यह संभव नहीं है कि फ्लोरीजीन सभी पादपों में पुष्पीकरण में भाग लेता है (चित्र 15.9) ।



चित्र 15.9 : दीप्तिकालिक उद्दीपनों पर प्रयोग : (A) दीप्तिकालिक उद्दीपनों का एक पादप की शाखा से संचरण; (B) उद्दीपन का एक पादप से कलम रोपण द्वारा संचरण

पत्तियों में प्रदीप्तिकालिक प्रेरण के समय होने वाली क्रियाओं (events) के क्रम की जानकारी आज तक नहीं हो पाई है । परन्तु हम यह कह सकते हैं कि यह परिवर्तन फाइटोक्रोम (phytochrome p_{fr}) द्वारा प्रारम्भ होती है तथा इसके बाद वृद्धि पदार्थो के स्तर (levels) परिवर्तन तथा उपापचयी क्रिया में परिवर्तन से पदार्थ (s) उत्पन्न होता है अथवा सक्रिय हो जाता है । यह पदार्थ (s) पत्तियों से शीर्ष विभज्योतक (apical meristem)की ओर संचरित हो जाता है । यह कुछ साक्ष्य है जो इस तथ्य को सहायता प्रदान करते हैं कि विभिन्न पौधों में भिन्न - भिन्न पथों द्वारा पुष्पीकरण होता है ।

ऐसे बहुत से पादप हॉर्मोन है जो कि पुष्पीकरण को प्रभावित करते हैं । जैसे - नैफ्थलीन एसिटिक अम्ल (NAA) अनानास में तथा जिब्रेलिन दीर्घ दिवसी पादपों में लघु दिवसी में भी पुष्पीकरण को प्रेरित कर देते हैं । यह पदार्थ न तो फ्लोरीजीन है अथवा न ही फ्लोरीजन के समान है ।

15.5 फाइटोक्रोम (Phytochrome)

बोर्थविक, हेन्ड्रिक्स एवं **पारकर** (Borthwick , Hendricks and parker)ने दीर्घ दिवसी एवं लघु दिवसीय पादपों के प्रकाश के क्रिया स्पेक्ट्रम का अध्ययन कर बताया कि यह दोनों प्रकार के पादपों के समान है । स्पेक्ट्रम का दीप्तिकालिक प्रेरण के लिए सबसे अधिक प्रभावी क्षेत्र 660-665nm (लाल) तथा बहुत छोटा प्रभावी क्षेत्र नीला है । यह क्रिया फाइटोक्रोम वर्णक के कारण होती है । यह दो स्वरूपों में मिलता है । इनमें से एक लाल प्रकाश अवशोषित (P_r) करने वाला तथा सुदूर लाल प्रकाश (P_{fr}) अवशोषित करने वाला होता है । लाल प्रकाश (600-665nm) की उपस्थिति में P_f स्वरूप P_{fr} में तथा सुदूर लाल प्रकाश (730-735) अथवा अन्धकार की उपस्थिति में P_{fr} स्वरूप P_r में परिवर्तित हो जाता है । यह क्रिया तापमान से (thermal) नियन्त्रित होती हे ।

दिन के समय (सफेद प्रकाश में) सुदूर लाल प्रकाश को अवशोषित करने वाला फाइटोक्रोम स्वरूप पादप में संचित होता है । यह स्वरूप दीर्घ दिवसीय पादपों में पुष्पीकरण को उद्दीपित करता है । अन्धकार में यह दूरस्थ लाल प्रकाश अवशोषित करने वाला वर्णक विघटित हो जाता है तथा लाल प्रकाश को अवशोषित करने वाला फाइटोक्रोम बन जाता है । फाइटोक्रोम का यह स्वरूप लघु दिवसीय पादपों में पुष्पीकरण को उद्दीपित करता है तथा दीर्घ दिवसीय पादपों में पुष्पीकरण में रूकावट पैदा करता है । अन्धकार काल में लाल प्रकाश देने पर सुदूर लाल प्रकाश अवशोषित करने वाला स्वरूप फिर से संचित हो जाता है जिससे लघु दिवसीय पादपों में पुष्पीकरण रूक जाता है । यदि लाल प्रकाश के बाद सुदूर लाल प्रकाश दिया जाये तो लाल प्रकाश का प्रभाव खत्म हो जाता है ।

15.6 सारांश

इस इकाई का अध्ययन करने के पश्चात् आपने जाना कि प्रत्येक पादप अपने जीवनकाल में पुष्प धारण अवश्य करता है । पौधों में पुष्पन की क्रियाविधि दो प्रमुख कारकों द्वारा नियंत्रित होती हैं - दीप्तिकालिता और बसन्तीकरण । दीप्तिकालिता पादप में वह जैविक परिवर्तन है जो दिन एवं रात की लम्बाई की अनुक्रिया में होते हैं । दिन के प्रकाश की अवधि पादप के व्यवहार में मुख्यत : पुष्पन में अत्यन्त महत्वपूर्ण होती है । दीप्तिकालिता अनुक्रिया के आधार पर इन्हें पाँच वर्गो में विभाजित किया । वह स्थिति जिसमें पर्याप्त प्रकाश एव अन्धकार काल का प्रभाव पादपों में रहता है तथा सामान्यत : अयोग्य स्थिति में भी पुष्पीकरण को प्रेरित करती है **दीप्तिकालिक प्रेरण** कहलाती है । मुख्यत : पादपों का लम्बे प्रेरण काल की आवश्यकता होती है । परिपक्व पत्तियों की अपेक्षा अत्यधिक तरुण अथवा वृद्ध पत्तियाँ, दीप्तिकिश्लक प्रेरण से कम प्रभावी होती है । दीप्तिकालिता के महत्व के अन्तर्गत अनेक पादपों में इसके द्वारा आर्थिकलीम प्राप्त किया जा सकता है ।

15.7 शब्दावली

दीप्तिकाल (photoperiod) - 24 घंटे के प्रकाश एवम् अप्रकाश काल के दैनिक चक्र में प्रकाश काल की अवधि।

दीप्तिकालिक प्रेरण (photoperiodic induction) - पौधों के पुष्पीकरण पर प्रारंभिक महत्वपूर्ण प्रभाव।

क्रान्तिक दिवस लम्बाई (Critical day light) - पुष्पीकरण को प्रेरित करने के लिए आवश्यक प्रदीप्तिकाल।

विबसन्तीकरण (Devernalisation) - शीत उपचार के समय या तुरन्त बाद बसन्तीकृत पादप 7 बीज को उच्च तापमान में स्थानान्तीरत करके बसन्तीकरण के प्रभाव को नष्ट करना।

15.8 संदर्भ ग्रन्थ

1. Bhatia & Parashar -Plant Physiology S. Chand & Co.
2. H.S.Srivastav -Plant Physiology, Biochemistry & Biotechnology Rastogi Publications Meerut.
3. डॉ. पी सी. त्रिवेदी, निरंजन शर्मा, आर.एस. धनखड़ - 2008 - पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन।
4. डॉ. कैलाश अग्रवाल, ज्योत्सना शर्मा - पादप शरीर क्रियात्मक विज्ञान, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी।

15.9 बोध प्रश्नों के उत्तर

बोध प्रश्न - 1

1. दीप्तिकालिता 2. S.D.P. (अल्प दिवसीय पादप) 3. 810 घन्टे अथवा कम

4. अल्प रात्रि पादप 5. दिवस निरपेक्ष पादप

बोध प्रश्न - 2

1. 0^0 C से 5^0

2. कम तापमान उपचार द्वारा पुष्पन प्रेरित करने की क्रिया बसन्तीकरण कहलाता है।

3. जिबरेलिन 4. विभज्योतक (भ्रूण, मूल व प्रोह शीर्ष)

5 विबसन्तीकृत बीजों को शीत उपचार द्वारा पुन : बसन्तीकृत करना।

15.10 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. दीप्तिकालिता से क्या तात्पर्य है? इसके प्रकार तथा क्रियाविधि का वर्णन कीजिये?
2. बसन्तीकरण पर एक विस्तृत निबन्ध लिखिये?
3. बसन्तीकरण क्या है? बसन्तीकरण की क्रियाविधि को समझाइये?
2. निम्म पर टिप्पणियाँ लिखिए-
   (a) प्रदीप्तिकाल प्रेरण
   (b) दीप्तिकालिता के प्रकार
   (c) क्रान्तिक प्रदीप्तिकाल

इकाई 16 : पादप हार्मोन (Plant Hormones)

इकाई की रूपरेखा

16.0 उद्देश्य

16.1 प्रस्तावना

16.2 पादप हार्मोन

16.2.1 ऑप्सीन

(i) ऑम्सीनकीखोज

(ii) प्राप्तिस्थानववितरण

(iii) रासायनिवक प्रवृत्ति

(iv) जैव संश्लेषण

(v) वितरण

(vi) कार्य

(vii) क्रियाविधि

(viii) उपयोग

(ix) बोध प्रश्न

16.2.2 जिब्बरेलिन

(i) खोज

(ii) प्राप्ति स्थान व वितरण

(iii) रासायनिक प्रकृति

(iv) जैव संश्लेषण

(v) कार्य

(vi) क्रियाविधि

(vii) उपयोग

16.2.3 उपयोग साइटोकाइनिन

(i) खोज

(ii) प्राप्तिस्थान व विवरण

(iii) जैव संश्लेषण

(iv) क्रियाविधि

(v) कार्य

(vi) कार्यविधी

(vii) उपयोग

16.2.4 इथाईलिन

(i) खोज

(ii) प्राप्त स्थान व विवरण
(iii) जैव संश्लेषण
(iv) महत्व एवं प्रभाव
(v) क्रियाविधि
16.2.5 एब्ससिसिक अम्ल
(i) अम्ल
(ii) प्राप्ति स्थान व वितरण
(iii) रासायनिक प्रकृति
(iv) जैव संश्लेषण
(v) क्रिया विधि
(vi) प्रभाव एवं भूमिका
16.3 सारांश
16.4 शब्दावली
16.5 संदर्भ ग्रन्थ
16.6 बोध प्रश्नों के उत्तर
16.7 अभ्यासार्थ प्रश्न

16.0 उद्देश्य

प्रस्तुत इकाई में आप पादप हार्मोन के बारे में जानकारी प्राप्त करेंगे। प्रकृति में पाये जाने वाले पादप हार्मोनों के प्रमुख रूप से पाँच समूह हैं आक्सिन (auxin) जिब्बरेलिन (zibberellins) सायटोकाइनिन, इथाइलीन (ethylene) एवं एकिसिक अम्ल (abscisic acid)

16.1 प्रस्तावना

पादप वृति एवं परिवर्धन बहुत जटिल प्रक्रिया है। जो बाहय कारकों द्वारा प्रभावित व नियंत्रित होती है। आंतरिक कारकों में पादप की जीनी संरचना के अतिरिक्त पादप हार्मोन शामिल है। इन्हें वृद्धि हॉर्मोन (growth hormone), वृद्धि नियंत्रक (growth regulatators) एवं वृद्धि पदार्थ (growth substances) के नाम से भी जाना जाता है। इस शब्द का उपयोग सर्वप्रथम स्टालिंग (starling 1904) ने किया था। हॉर्मोन एक ग्रीक शब्द हार्मो (harmao) से व्युत्पन्न है, जिसका शाब्दिक अर्थ है ' क्रियाशीलता जगाना (to-stimulate) पिकंस एवं थीमेन (1948) के अनुसार पादप हॉर्मोन (phytohormones) पादप द्वारा अति सूक्ष्म मात्रा में संश्लेषित कार्बनिक पदार्थ है जो अपने संश्लेषण स्थल से दूर वृद्धि एवं अन्य कार्यिकी प्रक्रियाओं को नियंत्रित व प्रभावित करते हैं । फिलिप्स (philips,1971) के अनुसार वृद्धि हार्मोन वे पदार्थ है जिनका संश्लेषण विशिष्ट कोशिकाओं में होता है।

16.2 पादप हार्मोन

पादप हार्मोन्स को दो प्रमुख समूहों में वर्गीकृत किया जा सकता है

1. वृद्धि प्रवर्धक हार्मोन्स (Growth promoting hormones)
2. वृद्धि संदमक हार्मोन्स (Growth inhibiting hormones)

1. **वृद्धि प्रवर्धक हार्मोन्स** : वे हार्मोन्स जो वृद्धि को प्रेरित करते हैं अथवा वृद्धि दर को बढ़ाते हैं वृद्धि प्रवर्धक हार्मोन्स कहलाते हैं। इस वर्ग में ऑक्सिन, जिब्बरेलिन, साइटोकाइनिन तथा इथाइलीन को सम्मिलित किया जाता है।
2. **वृद्धि समंदक हार्मोन्स :** वे हार्मोन्स जो वृद्धि की दर को कम अथवा वृद्धि का समंदन कर उसे नियन्त्रित रखते हैं, वृद्धि समदक हार्मोन कहलाते हैं। इस वर्ग में एब्सिसिक अस्त आते हैं।

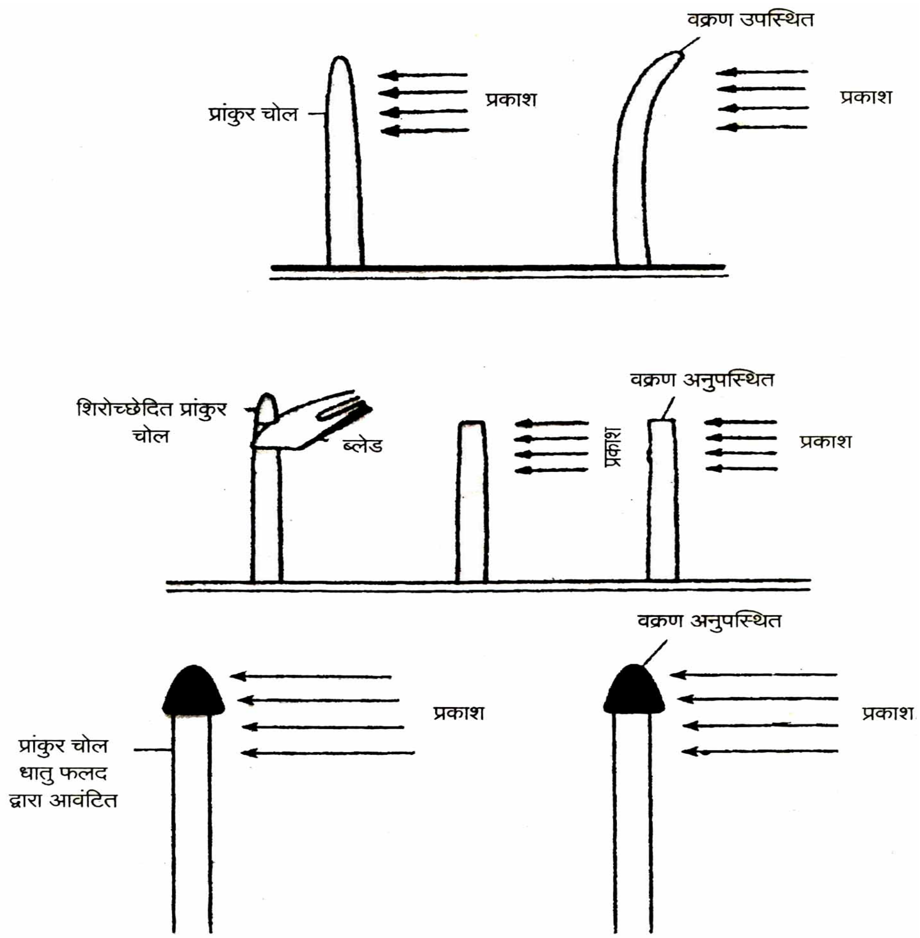
पौधों में निर्मित प्राकृतिक हार्मोन्स के अतिरिक्त अनेक कृत्रिम अथवा संश्लिष्ट पदार्थों में भी वृद्धि नियन्त्रणकारी क्षमता पाई जाती है इन्हें संश्लिष्ट वृद्धि नियन्त्रक (synthetic growth regulators) कहा जाता है।

16.2.1 (i)**ऑक्सिन की खोज**

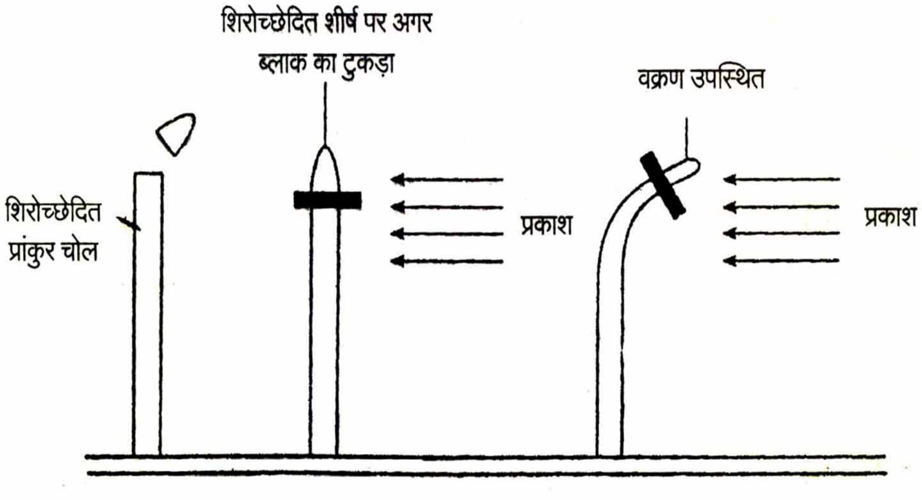
ऑक्सिन के कार्बनिक पदार्थ है जो 0.01 मोलर से कम सान्द्रता पर प्ररोह (shoot) के दीर्घन (elongation) को प्रेरित करते हैं। पादप हार्मोन्स के कप में ऑक्सिन को सबसे पहले पहचाना गया था। ऑक्सिन की खोज का श्रेय जैव विकास सिद्धान्त के प्रवर्तक चार्ल्स डार्विन (Charles Darwin) को जाता है। डार्विन ने कैनरी घास (phalaris canariensis) पर किये प्रयोगों में पाया कि यदि नवोद्भिद (seedings) के प्रांकुर चोल (coleoptile) को एक तरफा प्रकाश (unidirectional) दिया जाए तो प्रांकुर चोल प्रकाश की दिशा की और मुड़ जाते हैं। प्राकुरचोल शीर्ष को ढक देने पर अथवा काट देने पर इस प्रकार का प्रकाश की और वक्रण दिखाई नहीं देता (चित्र 16.1) डार्विन द्वारा किये गये प्रयोगों को बाद में बायसन -जैनसन (Boysen-Jensen) तथा पाल (Paal) ने आगे बढ़ाया व डार्विन के निष्कर्षों की पुष्टि की।

ऑक्सिन की खोज :

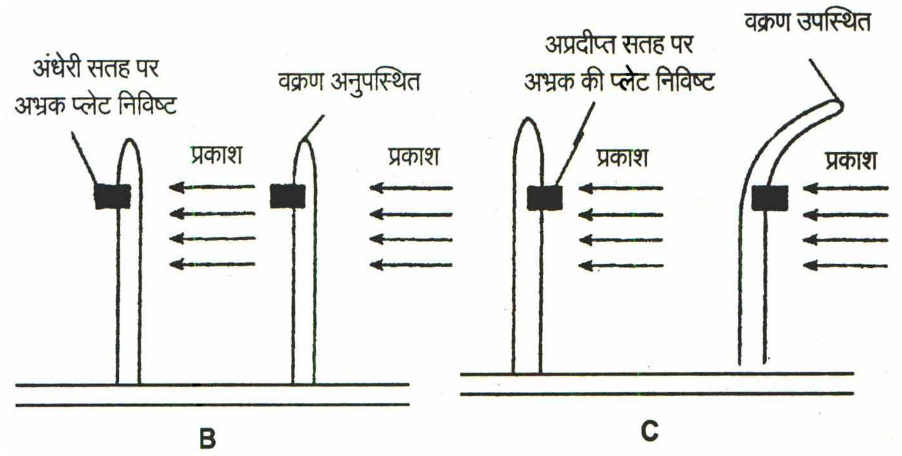
बायसन -जॉनसन (Boysen-jensen) ने जई के प्रांकुरचोल (Oat coleoptile) के शीर्ष को काटकर बीच में जिलेटिन का एक टुकडा रख दिया फिर एक तरफा प्रकाश देने पर पाया कि वे प्रकाश की ओर मुंड़ जाते हैं। दूसरे प्रयोग में उन्होंने देखा कि यदि प्रांकुरचोल की अप्रदीप्त (dark-side) पर एक सतह पर एक अनुप्रस्थ स्लिट बनाकर अभ्रक की प्लेट को रख दिया जाये तो प्रांकुरचोल प्रकाश की और तरफ नहीं मुड़ता है। इसके विपरीत यदि प्रांकुरचोल की प्रदीप्त सतह पर स्लिट बनाकर इसमें अभ्रक की प्लेट को रखा जाए तो वह प्रकाशनुवर्ती वक्रता (phototropic curvature) प्रदर्शित करता है। इन प्रयोगों के आधार पर यह सिद्ध हु आ कि प्रकाशनुवर्ती वक्रता के लिए उद्दीपन शीर्ष से छायामय भाग से ही नीचे स्थानांतरित होता है (चित्र 16. 2) ।



चित्र 16.1 : डार्विन का प्रयोग

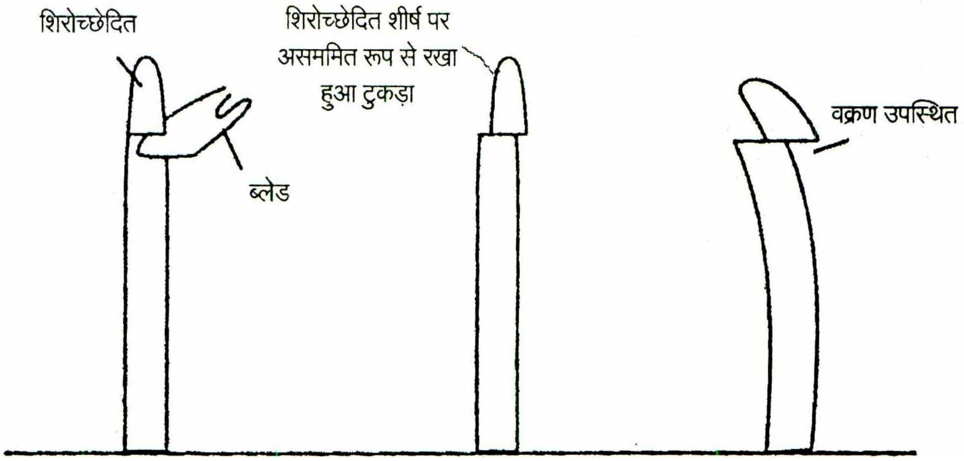


A



चित्र 16.2 : बायसन -जैनसन का प्रयोग

पॉल (Paal,1919) ने बताया कि जिलेटिन के स्थान पर कोको बटर, अभ्रक अथवा प्लेटिनम की प्लेट का प्रयोग करने पर उद्दीपन का स्थानान्तरण नहीं होता अर्थात् सम्भवत: यह उद्दीपक पदार्थ जल में विलेय होता है (चित्र 16. 3)।



चित्र 16.3 : पॉल का प्रयोग

वेन्ट (F.W. Went 1928,) ने जई के प्रांकुर चोल से शीर्ष को हटाकर अगार के एक खंड पर कुछ देर के लिए रखा। फिर इस ब्लाक के टुकड़े करके शीर्ष विहीन प्रांकुर पर असममित रूप से (asymmetrically) रखा तो उसमें अंधकार में भी वक्रता पाई।

उन्होंने शेष को लम्बवत् बराबर भागों में काटकर दोनों के नीचे अलग - अलग अगार के टुकड़े रखे व एकतरफा प्रकाश दिया तथा असमान वितरण को प्रदर्शित किया। प्रकाश की और 27% तथा अंधकार की और 57% ऑक्सीन प्राप्त हु आ।

(a) **प्राकृतिक ऑक्सिन** (Natural auxins) Indole acetic acid इन्डोल एसिटिक एसिड (I.A.A.,$C_{10}H_9O_2N$) पादपों में सर्वाधिक प्राकृतिक रूप से पाये जाते हैं। Kogl et al 1939 ने इसकी खोज की थी। I.A.A. पौधे के सभी भागों में पाया जाता है हालांकि इसकी सक्रियता (activity) जड़ के अन्दर अभी तक ज्ञान नहीं है । कुछ non-indolic natural

auxin भी ज्ञात किये गये ' 'सिट्रस ऑक्सिन ' ' (citrus auxin) उनमें से एक है जो (citrus fruits से record की गई।

(b) **संश्लेषित ऑक्सिन** (Synthetic auxin) : प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले ऑक्सिन के अतिरिक्त अनेक कार्बनिक रासायनिक पदार्थ भी वृद्धि हॉर्मोन ऑक्सिन के समान कार्य करते हैं। इन्हें संश्लेषित ऑक्सिन कहते हैं। इन रासायनिक पदार्थों की सक्रियता IAA है के समान होती है तथा इनमें भी इन्डोल वलय उपस्थित होती है। इनके कुछ उदाहरण है इन्होल ब्यूटारिक अम्ल (indole butyric acid IBA) 2,4 - डाइक्लोरोफीनोक्सी एसिटिक अम्ल (2,4-Dichlorophenoxy acetic acid) 2,4,5 ट्राइक्लोरोफीनोक्सी ऐसीटिक अम्ल (2, 4, 5) - Trichlorophenoxy acetic 2,4,5-T etc.)

(ii) प्राप्ति स्थल एवं स्थानान्तरण (occurrence and transport)

पादपों में ऑक्सिन की सान्द्रता सबसे ज्यादा शीर्ष बिन्दुओं जैसे प्ररोह शीर्ष, कलिका, वृद्धिकारी फल एवं बीज इत्यादि में पाई जाती है। यहाँ से शीघ्र ही इन का स्थानान्तरण अन्य भागों की ओर हो जाता है। वेट (1928) ने आक्सिन के ध्रुवीय स्थानान्तरण का प्रदर्शन किया। ऑक्सिन का स्थानान्तरण हमेशा शीर्ष से आ धार की तरफ ही होता है। यह प्रक्रिया सान्द्रता प्रवणता (concentration gradient) के विपरीत दिशा में भी हो सकता है। जैकब (Jacob, 1962) के अनुसार परिपक्व व विभेदित ऊतकों में ऑक्सिन की गति ध्रुवीय (polar) एवं अध्रुवीय (non polar) दोनों प्रकार की होती है।

लुण्ड (Lund,1974) के अनुसार ऑक्सिन का अभिगमन वैद्‍युत विभव (electric potential) के अन्तर द्‍वारा नियंत्रित होता है। जई के प्रांकुर चोल का आधार, एकतरफा प्रकाश से प्रदीप्त शीर्ष में छाया वाले क्षेत्र तथा क्षैतिज दिशा में रखे गए प्रांकुर चोल में निचली सतह अपेक्षा कृत अधिक धनात्मक होती हैं तथा ऑक्सिन इन की ओर गति करते हैं।

इन का स्थानान्तरण तापमान,O_2 , गुरुत्वाकर्षण, एवं आयु इत्यादि से प्रभावित होता है।

(iii) ऑक्सिन की रासायनिक प्रकृति (Chemical nature of auxins)

कॉल (Kogl, 1931) के अनुसार ' जई ' प्राकुर चोल में वक्रता प्रेरित करने में सक्षम सभी पदार्थो को ऑक्सिन मानना चाहिए। इस प्रकार के तीन पदार्थ अलग किये गये। सबसे पहले कॉल एवं हागन - स्मिट (Kogl and,1931) ने मनुष्य के मूत्र से ऑक्सिन - A अलगकर क्रिस्टल बनाये। यह एक चक्रिक, डिहाइड्रोक्सी काबोक्सीलिक अम्ल (monocyclic trihydroxy carboxylic acid $C_{18}H_{32}O_6$) है। एक अन्य ऑक्सिन भी कॉल एवं साथियो (Kogl et al.1934) ने मनुष्य मूत्र से अलग किया था इसे हेटेरो ऑक्सिन एवं β इन्डोल एसिटिक अम्ल कहते हैं।

बाद में मक्का के भ्रूण तेल (germ oil) से ऑक्सिन **B** अलग किया गया जो एक चक्रिक हाइड्रॉक्सी कीटों कार्बोक्सीलिक अम्ल (monocylic hydroxyl keto carboxylic acid $C_{18}H_{30}O_4$) है।

(iv) **ऑक्सिन का जैव संश्लेषण (Biosynthesis of auxins) :**

पादप की सभी कोशिकाएँ ऑक्सिन संश्लेषण करने में स क्षय होती है परन्तु इनका सक्रिय संश्लेक्षण मुख्य रूप से वृद्धि जैसे - प्रांकुरचोल , पत्तियों व जड़ों के शीर्षो त था पीरवर्धनशील फलों में होता है। ऑक्सिन संश्लेषण का प थ पूर्ण रूप से ज्ञात नहीं है परन्तु प्रायोगिक प्रमाण यह इंगित करते हैं कि ट्रिप्टांफेन (tryptophan) नामक अमीनो अम्ल से इनका संश्लेषण होता है । ऐसा माना जाता है कि ट्रिप्टोफेन का 144 में परिवर्तन होता है (चित्र 16. 5)।

पादपों में ट्रिप्टोफोन से IAA का संश्लेषण एक से अधिक परिपर्था द्वारा हो सकता है।

(1) इन्डोल पाइरुविक अम्ल परिपथ (Indole pyruvic acid pathway)

(2) ट्रिप्टोमीन परिपथ (Tryptamine pathway)

(3) इन्डोल एसिटैल्डाक्सिन परिपथ (Indole acetaldoxime pathway)

(1) IPA pathway : इसमें ट्रिप्टोफेन के डीएमीनेशन से इन्डोल पाइरुविक अम्ल बनता है तथा इसके डिकार्बोक्सीकरण से इन्डोल एसिटैल्डिहाइड का निर्माण होता है।

ट्रिप्टोफेन $\rightarrow$ इन्डोल पाइरुविक अम्ल $\rightarrow$ इन्डोल एसिटैल्डिहाइड $\rightarrow$ IAA

(2) TAM pathway: ट्रिप्टोफेन के डिकार्बोक्सलीकरण से ट्रिरोमीन का निर्माण होता है तथा इसके डिएमीनेशन से इन्डोल एसिटैल्डिहाइड बनता है जो ऑक्सीकृत होकर 144 बनाता है।

ट्रिप्टोफेन $\rightarrow$ ट्रिप्टोमीन $\rightarrow$ इन्डो एसिटैल्डिहाइड $\rightarrow$ IAA

(3) IAOX pathway : कुछ प:ादपों में ट्रिप्टोफेन का इनडोल एसिटैल्डकिसम में रूपान्तरण हो जाता है IAOx का रूपान्तरण इन्डो एसिटोनाइट्राइल में होता है जो अन्तत ' 14' में परिवर्तित हो जाता है ।

ट्रिप्टोफेन $\rightarrow$ इन्डो ऐसिटेल्डॉक्सिम $\rightarrow$ इनडोल एसीटोनाइट्राइल $\rightarrow$IAA

(v) ऑक्सिन का वितरण (Distribution of Auxin):

पादप के सभी भागों में ऑक्सिन की कुछ मात्रा उपस्थित हो सकती है परन्तु पादप के वृद्धि शीर्ष जैसे अग्रस्थ कलिका (apical bud), प्रांकुरचोल (coleoptile), पत्तियों के वृद्धि शीर्ष, परिवर्धन भ्रूण तथा पीरवर्धनशील फलों में ऑक्सिन की सबसे अधिक मात्रा पाई जाती है।

(a) **मुक्त एवं बन्धित ऑक्सिन** (Free and Bound Auxin) : ऑक्सिन दो स्वरूपों में पाई जाती हैं

- मुक्त (Free or diffusible)
- बन्धित (Bound or indiffusible)

दोनों ऑक्सिन स्वरूपों के मध्य गतिक साम्यावस्था बनी रहती है जिससे ऑक्सिन सान्द्रता नियन्त्रित रहती है। संयुग्मित स्वरूपों से हाइड्रोलेज एन्जाइम की सक्रियता द्वारा ऑक्सिन मुक्त होते हैं। संयुग्मित अवस्था में ऑक्सिन विघटनकारी एन्जेम IAA ऑक्सिडेज के प्रति प्रतिरोधी होते हैं।

(b) **ऑक्सिन का स्थानान्तरण (Transport of Auxin):** पादपों में खनिज, शर्करा तथा अन्य विलयों का परिवहन फ्लोयम के माध्यम से होता है जबकि ऑक्सिन का परिवहन फ्लोयम या जाइलम के द्वारा नहीं होता है । ऑक्सिन का परिवहन सामान्यत : फ्लोयम मृदूतकी तथा संवहन पूलों के परिधीय भाग में स्थित मृदूतकी कोशिकाओं के माध्यम से होता है।

आक्सिन का परिवहन प्ररोह में शीर्ष से आधार की और तलाभिसारी (basipetal direction) में जबकि जड़ में शीर्ष से आधार की और अग्राभिसारी (acropetal direction) दिशा में होता है। ऑक्सिन के इस प्रकार के स्थानान्तरण को **ध्रुवीय स्थानान्तरण** (polar transport) कहते हैं।

(vi) आक्सिन के कार्य (Auxins Function):

ऑक्सिन पादप की विभिन्न प्रक्रियाओं में भाग लेते हैं । उनमें से प्रमुख कार्य इस प्रकार है '

(1) **कोशिका दीर्घन (Cell elongation):** ऑक्सिन का सबसे महत्वपूर्ण कार्य कोशिकाओं के दीर्घन को प्रेरित करना है । कोशिकाओं का दीर्घन सभी दिशाओं में अथवा दैर्ध्य दिशा में हो सकता है। ऑक्सिन द्वारा कोशिका दीर्धन की क्रियाविधि स्पष्ट नहीं है। स्ट्रफोर्ड (Strafford, 1967,1973) के अनुसार ऑक्सिन कोशिकाओं की कुछ क्रियाओं को बढ़ा देते हैं

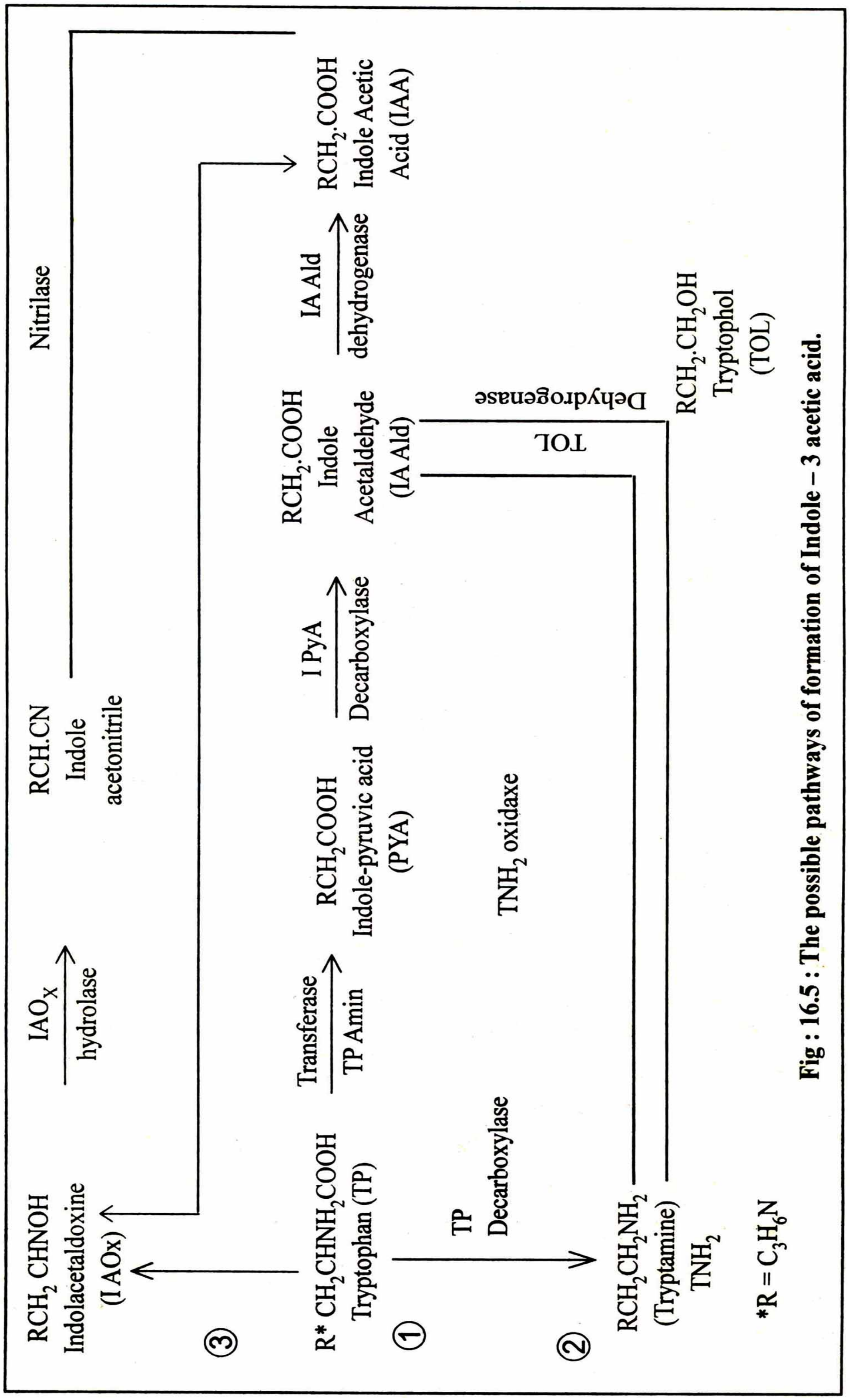


Fig : 16.5 : The possible pathways of formation of Indole – 3 acetic acid.

Fig:16.5 The possible pathways of formation of Indole-3 acetic acid.

तथा अन्य को कम करते हैं जिससे कोशिका दीर्घन सम्भव हो पाता है। उसके अनुसार आक्सिन निभ परिवर्तनों द्वारा कोशिका दीर्घन करते हैं (चित्र 16. 6) ।

(i) एमाइलेज सक्रियता बढ़ाना (परासरणी दाब में वृद्धि)

(ii) कला पारगम्यता में वृद्धि

(iii) कोशिका भत्ति दाब में कमी,

(iv) भित्ति पदार्थो का संश्लेषण बढ़ाना,

(v) श्वसन क्रिया को तेज करना तथा

(vi) कोशिका भित्ति की सुघट्यता (plasticity of cell wall) में वृद्धि करना।

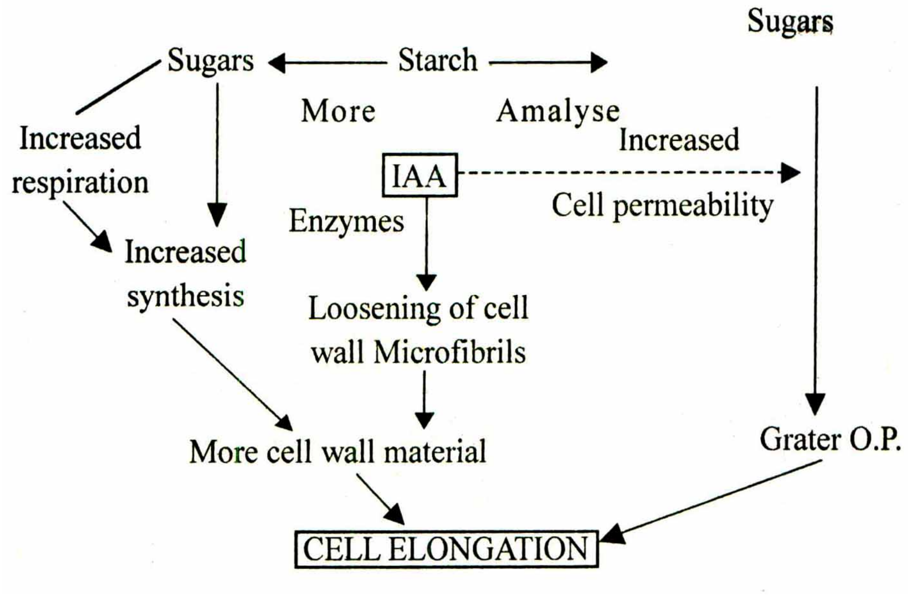


Fig. 16.6: Action of IAA in cell wall elongation

2. **कोशिका विभाजन** (Cell division) : संहवन एधा (cambium) में कोशिका विभाजन की दर IAA एवं मौसमी क्रियाओं (seasonal activity) द्वारा नियन्त्रित होती है। कलम रोपण (grafting) एवं क्षति के दौरान कैलस निर्माण IAA के कारण होता है।

3. **शीर्षस्थ प्रभावित** (Apical dominance) मुख्यत : पादपों की पार्श्व कलिकाओं (latcral buds) की क्रिया शीर्षस्थ कलिका द्वारा संदमित होती है। इस स्थिति को शीर्ष प्रभुता अथवा प्रभाविता (apical dominance) कहते हैं। शीर्ष कलिका के हटाने पर पार्श्व कलिकाएँ तीव्रता से वृद्धि करती हैं। इसकी खोज थीमेन एवं स्कूग (Thimann and Skoog, 1933) ने की थी। पार्श्व कलिकाएँ IAA के कारण मुख्य तने से संवहन संबंध (vascular connections) विकसित नहीं कर पाती अत : उन्हें कलिका से शाखा पीरवर्धन हेतु वांछित पोषक पदार्थ वांछित मात्रा में नहीं मिल पाते। इसके अतिरिक्त अधिकांश पदार्थो का चालन शीर्ष केन्द्रित वृद्धि के कारण शीर्ष की ओर होता है। इसी कारण पार्श्व कलिकाओं का प्रवर्धन नहीं हो पाता (चित्र 167) ।

4. **मूल आरम्भिकरण (Root initiation) :** ऑक्सिन जड़ों के निर्माण को प्रेरित करता है। ऑक्सिन के अनुप्रयोग (exogenous application) से कलमों (cutting) में जड़ों का आरम्भिकरण प्रेरित व त्वरित होता है। ऑक्सिन के अनुप्रयोग से जड़ों की संख्या त था उनके निर्माण की दर में वृद्धि होती है। ऑक्सिन के इस गुण के कारण कलमों द्वारा प्रवर्धीकरण में इसका उपयोग किया जाता है। कलमों में जड़ों के निर्माण के लिए सामान्यत : IAA,IBA तथा α-नेक्थेलीन एसिटिक अम्ल (NAA) का प्रयोग किया जाता है।

चित्र 16.7 : शीर्षस्थ कलिका प्रभाविता एवं ऑक्सिन

5. **विगलन** (Abscission) : विभिन्न पादप अंगों-पत्तियाँ, पुष्प तथा फल आदि का अपरिपक्व अवस्था में गिरना **विगलन (acscission)** कहलाता है । इस प्रक्रिया में पर्णवृन्त, पुष्पवृन्त या फल के वृत्त के आधार पर एक पृथक्कारी स्तर (sepaeration layer) या विगलन क्षेत्र (abscission zone) का निर्माण हो जाता है । इस क्षेत्र में पतली भित्ति युक्त समव्यासी कोशिकाओं की कुछ परतें होती हैं । ये कोशिकाएँ जल अपघटनीय एन्जाइम्स, जैसे - सेल्यूलोज, पेक्टिनेज, आदि का स्रवण करती है जिनके प्रभाव से इनकी मध्यपटलिका घुल जाती है जिससे कोशिकाएँ टूटने लगती हैं । एडिकोट तथा लिन्च (Addicott and Lynch,1995) ने स्पष्ट किया कि विगलन क्षेत्र के दोनों तरफ ऑक्सिन प्रवणता (auxin gradient) इस क्रिया को नियन्त्रित करती है । ऑक्सिन की न्यूनता पर विगलन परत का निर्माण होने लगता है । सामान्यत: अगोंकीपीरपक्वतापर आक्सिन उत्पादन क्षमताकम हो जाती है जिसके फलस्वरूप विगलन होता है । ओक्सीजन के छिड़काव द्वारा फलों को गिरने से कुछ समय तक रोका जा सकता है । क्योंकि ऑक्सिन की अधिक सान्द्रता पर विगलन पतर का निर्माण अवरुद्ध हो जाता है ।
6. **श्वसन** (Respiration) : ऑक्सिन के प्रभाव में एन्जाइम संश्लेषण की दर में वृद्धि होती है जिसके फलस्वरूप श्वसन दर में वृद्धि होती है । 1 AA प्रोटीन तथा RNA संश्लेषण को उद्दीपित करता है । इन क्रियाओं के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है जो श्वसन द्वारा पूर्ण होती है । एक मत के अनुसार ऑक्सिन ADP का सम्भरण तथा ATP के उपभोग को बढ़ा दते हैं जिससे अधिक ATPअणुओं का निर्माण सम्भव होता है । इस प्रकार श्वसन क्रिया पर ऑक्सिन का अप्रत्यक्ष प्रभाव होता है ।

7. **वक्रण गतियाँ** (Movement of Curvature) विभिन्न पादप अंगों की असमान वृद्धि (unilateral growth) जो वक्रता का कारण होती है, को भी ऑक्सिन के समान वितरण के आधार पर स्पष्ट किया जा सकता है । एक दिवसीय प्रकाश की अनुक्रिया से पादप का प्रकाश की और झुकना प्रकाशानुवर्तन (Phototropism) कहलाता है । प्रकाशानुवर्तन का कारण ऑक्सिन का असमान वितरण होता है । ऑक्सिन की सान्द्रता छायामय पार्श्व (shaded side) पर अपेक्षाकृत अधिक होती है जिससे उस पार्श्व पर कोशिकाओं का अधिक दीर्घन होता है । फलस्वरूप पादप विपरीत दिशा में (प्रकाश की ओर) झुक जाता है ।

   गुरुत्वके कारण पादप की अनुक्रिया गुरुत्वाकर्षण (geotropism) कहलाती है । स्तम्भ की ऋणात्मक तथा जड़ की धनात्मक अनुक्रियाएँ ऑक्सिन की निचली सतह पर अधिकता के कारण होती है । ऑक्सिन की अधिक सान्द्रता जो प्ररोह वृद्धि को उद्दीपित करती है । जड़ के लिए समदनकारी होती है । क्षैतिज रूप से स्थिर प्ररोह के निचले भाग में बढ़ी हुई ऑक्सिन सान्द्रता इस भाग में अधिक वृद्धि को प्रेरित करती है जिसके फलस्वरूप प्ररोह ऊपर की ओर मुड़ जाता है । इसके विपरीत क्षैतिज जड़ में नीचे की ओर एकत्रित ऑक्सिन उस भाग की वृद्धि समदित करते हैं जिसके फलस्वरूप जड़ नीचे को मुड़ जाती है ।

8. **न्यूक्लिक अम्ल सक्रियता** (Nucleic acid activity) ' ऑक्सिन RNA' तथा प्रोटीन संश्लेषण में वृद्धि करते हैं । ऑक्सिन m RNA के संश्लेषण हेतु न्यूक्लियोहिस्टोन से DNA टेम्पलेट को मुक्त करने का कार्य करते हैं तथा mRNA विशिष्ट एन्जाइमों का संश्लेषण करता है जो कोशिका विवर्धन में आवश्यक होती है ।

ऑक्सिन ट्रांसक्रिप्शन (transcription, synthesis of RNA on DNA) तथा ट्रांसलेशन (translation ;mRNA directed protein synthesis) दोनों क्रियाओं को प्रोत्साहित करते हैं । 1" के प्रभाव से कैलस निर्माण की स्थिति में ऑक्सिन की सान्द्रता के अनुरूप RNA की मात्रा में भी वृद्धि होती है । इसके साथ ही प्रतिजैविक एक्टिनोमाइसिन (Antinomycin D) के प्रभाव में वृद्धि तथा RNA की मात्रा दोनों में कमी देखी गई है । प्रति ऑक्सिन (anti auxins) जो ऑक्सिन प्रेरित वृद्धि का संदमन करते हैं की उपस्थिति में ऑक्सिन प्रेरित ट्रांसक्रिप्शन का संदमन भी होता है । इस प्रकार यह कहा जा सकता है कि कोशिका दीर्घन पर ऑक्सिन का प्रभाव न्यूक्लिक अम्लों तथा प्रोटीन संश्लेषण के माध्यम से होता है ।

(vii) ऑक्सिन सक्रियता की क्रियाविधि (Mechanism of auxin action)

ऑक्सिन विभिन्न जैव क्रियात्मक क्रियाओं को प्रभावित करते हैं । कुछ प्रभाव अत्यधिक तीव्र जबकि अन्य धीमी गति से प्रकट होते हैं । आण्विक स्तर पर पादप हार्मोन न्युक्लिक अम्ल निर्देशित प्रोटीन संश्लेषण, एन्जाइमों की सक्रियता तथा कलाओं की पारगम्यता को प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से प्रभावित करते हैं । सभवत: पादप पर होने वाले जैव कार्यिकी प्रभाव इन्हीं क्रियाओं में से एक या अधिक क्रियाओं का परिणाम होता है ।

1. **जीन अभिव्यक्ति का सक्रियण** (Activation of gene expression) : ऑक्सिन का न्यूक्लिक अम्लों पर प्रभाव तथा वृद्धि में सम्बध सर्वप्रथम स्कूग (Skoog,1954) द्वारा प्रस्तुत किया गया था । यह माना जाता है कि ऑक्सिन ट्रांसक्रिप्सन (DNA and RNA)

तथा ट्रांसलेशन (mRNA) को प्रेरित करते हैं 1AA' अनुप्रयोग द्वारा तम्बाकु मेंकैलस निर्माण के साथ -साथ कैलस में शरम की सान्द्रता में समानुपाति वृद्धि देखी गई है । प्रति ऑक्सिन की उपस्थिति में ऑक्सिन प्रेरित ट्रांसक्रिप्सन का भी समंदन होता है । ऑक्सिन mRNA द्वारा ट्रांसलेशन को उद्दीपित करते हैं तथा भित्ति निर्माण सम्बन्धी एन्जाइम का (प्रोटीन) संश्लेषण बढ़ाते हैं । ऑक्सिन सेस्कूलेज सक्रियता को ट्रांसक्रिप्सन व ट्रांसलेशन दोनों स्तर पर नियंत्रित करते हैं (Verma et.al 1975) ।

2. **एन्जाइम सक्रियता में वृद्धि** (Increase enzyme activity) : ऑक्सिन सीधे ही एन्जाइमों की सक्रियता को संशोधित (modulate) कर वृद्धि को प्रभावित करते हैं । ऑक्सिन उपचारित ऊतकों में एन्जाइमी सक्रियता में अभिवर्धन होता है 1 मटर के स्तम्भ में ऑक्सिन के प्रयोग से ग्लूकान सिन्धेटेज (glucon synthatase) एन्जाइम की सक्रियता में वृद्धि होती है । यह एन्जाइम कोशिका भित्ति उपापचय से सम्बन्धित है । आक्सिन सम्भवत : एन्जाइम के निष्क्रिय स्वरूप को सक्रिय करने का कार्य करते हैं । ऑक्सिन का एन्जाइम सक्रियता पर तुरन्त प्रभाव पड़ता है इसलिए यह कहा जाता है कि वे जैवक्रियात्मक प्रभाव जो ऑक्सिन उपचार के तुरन्त बाद परिलक्षित होते हैं सम्भवत। ऑक्सिन द्वारा एन्जाइमों के सक्रियण का परिणाम होते हैं ।
3. **कला पारगम्यता** (Membrane permability). ऑक्सिन कोशिका कला की पारगम्यता को उद्दीपित करते हैं । ऐसा विश्वास किया जाता है कि ऑक्सिन के अणु कला के लिपिड घटक के साथ चिपक जाते हैं तथा कला की पारगम्यता को परिवर्तित करते हैं । इसीलिए कटे पादप भाग ओक्सीजन उपचारित करने पर तुरन्त परासरण द्वारा जल ग्रहए कर फूल जाते हैं । इस प्रकार ओक्सीजन कोशिका की पारगम्यता को प्रभावित कर जल ग्रहण की क्रिया को तेज करते हैं तथा जल ग्रहण कोशिकाओं की वृद्धि को अनुकूल प्रेरित करता है ।

   इस प्रकार ऑक्सिन की सक्रियता उपरोक्त विभिन्न क्रियाओं के एकल या सामूहिक रूप से सम्पन्न होने का परिणाम होती है । ऑक्सिन की क्रियाशीलता की स्पष्ट क्रियाविधि अभी तक ज्ञात नहीं है ।

(viii) **ऑक्सिन के प्रयोगात्मक अनुप्रयोग** (practical application of Auxins) :

जैसा कि पहले बताया जा चुका है कि विभिन्न रासायनिक पदार्थों में ऑक्सिन (1AA) के समान कार्य क्षमता पाई जाती है जिन्हें संश्लिष्ट ओक्सीजन (synthetic auxins) कहते हैं । विभिन्न कृषि कार्यों में आजकल संश्लिष्ट ऑक्सिन्स का उपयोग किया जाता है । ऑक्सिन के विभिन्न अनुप्रयोग निम्न प्रकार है -

1. **जड़ निर्माण में** (In rooting) : यह देखा गया है कि जड़ों का निर्माण एक प्रकार के हार्मोन की उपस्थिति पर निर्भर करता है । **थिमैन (**Thimann) तथा सहयोगियों ने यह स्पष्ट किया कि पौधों में जड़ निर्माणकारी पदार्थ की प्रकृति 1AA के समरूप होती है । इसके बाद अनेक प्रयोगों में यह देखा गया कि ऑक्सिन के इस ल क्षण के कारण इसका प्रयोग बागवानी में व्यापक रूप से किया जाता है । कल्मों द्वारा प्रवर्धित पौध (seedlings) से पौधा तैयार करने के लिए रोपण से पूर्व इन्हें ऑक्सिन से उपचारित किया जाता है जिससे इनमें जड़ निर्माण तीव्रता से होता है । एवेरी तथा सहयोगियों ने विभिन्न पादप समूहों के लिए जड़

निर्माण हेतु ऑक्सिन की अनुकूलतम सान्द्रता का निर्धारण किया । उनके अनुसार शाकीय पौधों के लिए 5-1ppm. तथा काष्ठीय पादपों में 5-2ppm सान्द्रता जड़ निर्माण में स क्षय होती है । इस कार्य हेतु 1AA,NAA तथा 1BA सबसे अधिक प्रभावशाली पाये गये हैं । गुलाब (rose), गन्ना (Sugar cane), बोगे नविलिया (Bougainvilla), आम (Mango), शकरकन्द (Ipomoea batata) आदि में ऑक्सिन के उपयोग में क्रांतिकारी परिणाम प्राप्त हु ए हैं ।

2. **बीजांकुरण** (Seed germination) बीजों की अंकुरण क्षमता बढ़ाने के लिए ऑक्सिन का व्यापक उपयोग किया जाता है । कोलोडनी (COlodny,1930) ने सर्वप्रथम ऑक्सिन के कृषि में उपयोग का सुझाव दिया था । उन्होंने बताया कि ऑक्सिन के प्रयोग से गेहूँ के उत्पादन में 50%' तक की बढ़ोतरी की जा सकती है । बाद में अनेक वैज्ञानिकों ने इस तथ्य को प्रमाणित किया तथा आजकल 1AA,1BA,NPA' तथा 2 ,4,D आदि का बीजोपचार में व्यापक उपयोग किया जाता है । ऑक्सिन का उपयोग मुख्य रूप से बीजों की प्रसुप्तावस्था को दूर करने के लिए किया जाता है । इसके लिए बीजों को उगाने से पूर्व ऑक्सिन से उपचारित किया जाता है । ऑक्सिन न्यून सान्द्रता पर बीजों की प्रसुप्तता भंग कर उनकी अंकुरण क्षमता को बढ़ा देते हैं । विभिन्न ऑक्सिन का प्रभाव विभिन्न पादप जातियों पर भिन्न होता है । **चक्रवर्ती** (Chakravarty 1958) ने **विग्ना रेडिएटा** (Vignaa radidata) में उगाने से पूर्व 1AA, 1BA तथा 2, 4, Dआदि से उपचारित कर देखा कि इनकी निम्न (low) सान्द्रता उच्च सान्द्रता की अपेक्षा बीजोधार (hypocotyle) लम्बाई में वृद्धि करने में अधिक प्रभावी होती है । भारद्वाज तथा राव (Bhardwaj and Rao,1956 ने गेंहू में का प्रभाव अधिक अनुकूल पाया जिसकी 10 सान्द्रता ppm तक उपज बढ़ाने में सक्षम होती है । 1NAA तथा 1BA का जूट (Corchonu ssp) में बीजांकुरण पर अनुकूल प्रभाव देखा जबकि सन (Crotolaria) पर 45% का अधिक अनुकूल प्रभाव होता है ।

3. **पुष्पीकरण** (Flowering) : सामान्यत : ऑक्सिन पुष्पीकरण का निरोधन करते हैं । **हिचकोक** तथा **जिमरमेन** (Hitchock and Zimmermann) ने सर्वप्रथम यह प्रदर्शित किया कि तम्बाकू (Nicotiana tabacum) में ऑक्सिन के न्यून सान्द्रता अनुप्रयोग से पुष्पन क्रिया को त्वरित किया जा सकता है । इसी प्रकार अन्नानास (Ananas sativas) के पौधों में भी ऑक्सिन द्वारा पुष्पन को अभिवर्धित (promote) किया जा सकता है । इसके अतिरिक्त यह देखा गया है कि ऑक्सिन मादा पुष्पों के निर्माण को प्रेरित करते हैं । अन्नानास में पुष्पन की क्रिया अक्रमिक होती है जिससे फलों के परिपक्वन का समय अलग होता है तथा फलों को बार -बार तोड़ना पड़ता है ।NNA तथा 2, 4,D के अनुप्रयोग से पुष्पन तथा फलों के विकास में समता आती है जिससे सभी फल एक साथ पकते हैं । असाना तथा सहयोगियों (Asana et. 1995) ने ऑक्सिन के छिड़काव से पाया कि गेहूँ में स्पाईका ओं त था दानों की संख्या में वृद्धि होती है । कपास (Gossyium hirsutum) में NAA तथा 1BA के अनुप्रयाले से बॉल की संख्या में व्यापक वृद्धि होती है । इसके

अतिरिक्त लीची व पाइनएपिल में भी NAA तथा 24D पुष्पन क्रिया को बढ़ाते हैं त था फलों का आकार बढ़ाने में भी सहायक होते हैं ।

4. **संग्रहण** (Storage) : नेफथेलीन एसिटिक अस्त (NAA) तथा अन्य ऑक्सिन का प्रयोग कन्द (tubers), बल्ब (bulbs), तथा कोर्म्स (corm) में प्रसुप्तता अवधि बढ़ाने में प्रयोग किया जाता है । इस प्रकार ऑक्सिन के प्रयोग से इन्हें लम्बी अवधि तक संग्रहित किया जा सकता है ।
5. **अपरिपक्व फलों की झड़ने से रोकथाम** (Prevention of premature fruit fall). सेब (Apple), नाशपाती (Pear), नींबू (Citrus), आम (mango), व टमाटर (Tomato) आदि फलों में वृंत के आ धार पर विलगन परत (abscission layer) बनने के कारण ये अपरिपक्व अवस्था में झड़कर गिर जाते हैं । 2, 4, D(2, 4 dichlorophenoxy acetic acid;1AA)(Indole acetic acid),IBA (Indole butyric acid)2,4,5, T(2,4,5, trichlorophenoxy acetic acid) आदि के छिड़काव द्वारा इनके अपरिपक्व अवस्था में झड़ने से रोका जा सकता है । 2,4,D कुछ पादपों में निष्पत्रण (defoliation) की क्रिया को भी प्रभावकारी तरीके से रोकने में सक्षम होता है । रन्धावा (Randhava,1961) के अनुसार स्ट्रिस (Citrus ausenlia) में 2, 4, D (100-500ppm) तथा 2, 4, 5 T(500ppm) फलों के अपरिपक्व अवस्था में झड़ने को रोकने में सक्षम होते हैं । बाद में रन्धावा व शर्मा (Randhava &Sharma,1967) ने 2, 4,D के पत्तागोभी व फूलगोभी पर प्रयोगों में पाया कि यह इनमें निष्पत्रण को रोकता है ।
6. **पर्वो का लघुकरण** (Shortening of internodes) : सेब, नाशपाती आदि वृ क्षों में दो प्रकार की शाखाएँ पाई जाती हैं । दीर्घ शाखाएँ अथवा सामान्य शाखाएँ त था लघु शाखाएँ अथवा वामन शाखाएँ । इनमें से केवल वामन शाखाओं पर ही फलों का निर्माण होता है । इन पादपों में ऑक्सिन (उच्च सान्द्रता पर) मुख्य रूप से NAA का छिड़काव कर वामन शाखाओं की संख्या में वृद्धि की जा सकती है जिसके फलस्वरूप उत्पादन में आशातीत वृद्धि होती है । NAA अधिक सान्द्रता में दीर्घ शाखाओं की दीर्घन क्रिया को अवरुद्ध कर देता है ।
7. **अनिषेकफलन** (Parthenocrapy) : बीजरहित फलों के निर्माण को अनिषेकफलन (parthenocarpy) कहते हैं IAA,IBA,NAA इत्यादि के प्रभाव से अण्डाशय भित्ति फल भित्ति मैं रूपान्तरित हो जाती है । उपरोक्त वर्णित पदार्थ अंजीर, अमरुद, टमाटर, तरबूज एवं बैंगन में अनिषेकफलन को प्रेरित करते हैं ।
8. **खरपतवारनाशी (**Weedicide) : खरपतवार खेतों में स्वत : उगने वाले पादप होते हैं जिनमें आधीकांशत द्विबीजपत्री होते हैं । कुछ संश्लेषित ऑक्सिन उच्च सान्द्रता पर द्विबीजपत्री पादपों के लिए हानिकारक (toxic) होते हैं परन्तु एक बीजपत्री पादपों पर इनका कोई प्रभाव नहीं होता है । इसी आधार पर इन्हें धान्य फसलों (जो एक बीजपत्री होते हैं) में खरपतवारनाशी (weedicide) के रूप में उपयोग किया जाता है । यह इनके मूलतंत्र को हानि पहुंचाते हैं । फीनॉक्सी यौगिक जैसे 2, 4 D एवं 2, 4 - 5 - T संकरी पत्तियों युक्त

फसली पादपों से साथ उगने वाली चौड़ी पत्ती युक्त खरपतवार (weed) को नष्ट कर देती है।

9. **पतन का निरोध** (Prevention of loding). कई धान्य फसलों की किस्में जैसे जई, चावल, गेहूँ त था सन आदि के पौधों में अत्यधिक दीर्घ क्विर्धन हो जाने के कारण ये अत्यधिक लम्बे हो जाते हैं । इसके अलावा इनके आधारी पर्व दुर्बल रह जाते हैं जिसके कारण ये गिर जाते हैं । नैप्थेलीन ऐसीटेमाइड (NAAM) के छिड़काव से ये पादप मजबूत, काष्ठीय तथा सीधे हो जाते हैं ।
10. **पुष्यों की सघनता कम करना** (Thinning of flowers) : कुछ वृक्षों जैसे आम की कुछ किस्मों में स्व वर्ष में अत्यधिक मात्रा में पुष्प विकसित होते हैं जिसके फलस्वरूप भारी संख्या में फल बनते हैं परन्तु वे आकार में छोटे रह जाते हैं । इसके अलावा दूसरे वर्ष में पुष्प काफी कम मात्रा मैं विकसित होते हैं । इस प्रकार की अनियमित पुष्पन क्रिया को नियमित करने के लिए ऑक्सिन का छिड़काव किया जाता है । जिससे प्रतिवर्ष नियमित तथा सामान्य आकार के फल प्राप्त होते हैं । NAA 0.0003% तथा NAAM 0.008% विलयन का छिड़काव इस कार्य हेतु लाभदायक रहता है ।

बोध प्रश्न - 1

1. सामान्य रूप से प्रयुक्त दो वृद्धि प्रवर्धक हॉर्मोन्स बताइए ।

   ……………………………………………………………………………………………………..

   ……………………………………………………………………………………………………..
2. पौधों में सबसे व्यापक कप से पाया जाने वाला ऑक्सिन कौनसा है?

   …………………………………………………………………………………………………….

   …………………………………………………………………………………………………….
3. कौनसा हार्मोन मूलीय (rooting) होर्मोन कहलाता है ।

   …………………………………………………………………………………………………….

   …………………………………………………………………………………………………….
4. ऑक्सिन का संश्लेषण कब अधिक तेजी से होता है ।

   ……………………………………………………………………………………………………..

   ……………………………………………………………………………………………………
5. शीर्षस्थ प्रभाविता (apical dominance) क्या है?

   ……………………………………………………………………………………………………

   ……………………………………………………………………………………………………....
6. दो-दो प्राकृतिक व संश्लेषित ऑक्सिन के नाम बताइए ।

   ……………………………………………………………………………………………………

   ……………………………………………………………………………………………………
7. न्यूनतम ऑक्सिन किसमें पाया जाता है ।

……………………………………………………………………………………

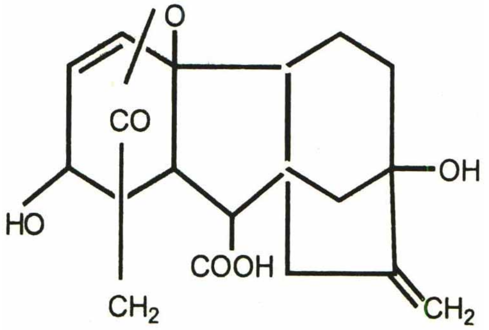
……………………………………………………………………………………

16.2.2 जिब्बरेलिन (Gibberellin)

पौधों में ऑक्सिन के बाद जिब्बरेलिन दूसरा महत्वपूर्ण हार्मोन है जो पौधों व नवोद्भिदों में दीर्घीकरण (elongation) दीर्घ दिवसीय पौधों में (long day plants) में पुष्पन, खाद्यान्न में बीजांकुरण व अन्य अनेक प्रक्रियाओं को प्रेरित व प्रभावित करते हैं ।

(i) **जिब्बरेलिन की खोज (Discovery of Gibberellians) :** जिब्बरेलिन की खोज जापान में धान के खेतों में एक रोग से सम्बन्धित है । हल्के पीले कुछ धान के पौधे अन्य पौधों से लम्बे और पतले हो गये तथा इनमें पुष्पन की क्रिया भी नहीं हुई इस रोग को बेंकने रोग (Bakane disease) कहा गया । Bakanae = foolish seedling (बेवकूफ नवोद्भिद) बाद में यह स्पष्ट हुआ कि चावल के पौधों में यह रोग एक कवक **जिबरेला फ्यूजीकोरा ई** (Gibberella fujikuroi) से होता है । यह **फ्यूजेरियम मोनिलीफार्मी** (Fusarium moniliformae) की लैंगिक अवस्था (Sexual stage) है ।

याबूटा, हायांशी एवं काहंबे (Yabuta, Hayashi and Kahnbe, 1930) ने सर्वप्रथम इस वृद्धिकारी पदार्थ को कवक से पृथक कर इसे जिबरेलिन (gibberllin) नाम दिया । **याबूता** एवं **सुमिकी (**Yabuta & Sumiki 1938) ने इसे क्रिस्टल के रूप में विलगित किया । ये सभी असल में विभिन्न यौगिक थे । बाद में क्रास (Cross, 1954) एवं ब्रिटेन से बोरो एवं साथियों (Borrow et.al. 1955) तथा USA से **स्टोडेला** व **साथियों** (Stodola et.al 1955) जापान से टाकाहाशी व साथियों (Takahshi et.al 1955) ब्रिआन एवं साथियों (Brina et.al 1955) ने शुद्ध रूप में जिबरेलिन को पृथक किया । इसे जिबरेलिक अम्ल (gibberellic acid) कहा गया ।



चित्र 16.8 : जिबरेलिक अम्ल (GA_3) की संरचना

कुल मिलाकर जिबरैला कवक से GA, GA_2, GA_3, GA_4, GA_7 व GA_9 विलगित किये गये थे जिनमें से सर्वप्रथम GA_3 विलगित किया गया । आवृतबीजी पादपों में सबसे पहले **मैकमिलन** एवं **सटर** (Macmillan and Sutter, 1958) ने **फेसियोलस कोसिनस** (Phoseolum coscineus) के अपरिपक्व बीजों से जिबरेलिन विलगित किया ।

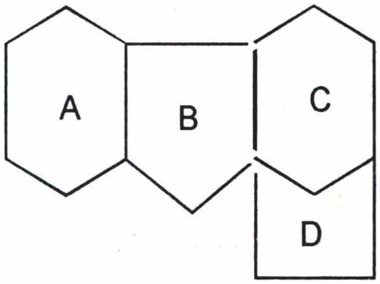
(ii) **प्राप्तिस्थान व वितरण :** प्रकृति में जिबरेलिन व्यापक रूप से पाये जाते हैं । ये सभी प्रकार के उच्च पादपों, शैवाल, कवक, माँस, फर्न तथा जीवाणु की कुछ प्रजातियों में पाये जाते हैं ।

अब तक लगभग 100 जिबरेलिन की खोज की गई है । जिबरेलिन पादप के सभी भागों में पाये जाते हैं परन्तु इसकी सर्वाधिक सान्द्रता विकास कर रहे अंगों जैसे प्ररोह शीर्ष, तरुण पत्तियों अंकुरित बीजों आदि में पाई जाती है ।

ऑक्सिन की तरह जिबरेलिन भी दो रूपों क्रमश: मुक्त एवं बन्धित रूपों में पाये जाते हैं । पौधों में जिबरेलिन का स्थानान्तरण (translocation) अध्रुवीय (non-polar) होता है । ये अन्य कार्बनिक पदार्थों की भांति सभी दिशाओं में स्थानान्तरित होते हैं । जिबरेलिन का स्थानान्तरण फ्लोयम तथा जाइलम दोनों से ही तलाभिसारी तथा अग्राभिसारी दोनों दिशाओं में होता है ।

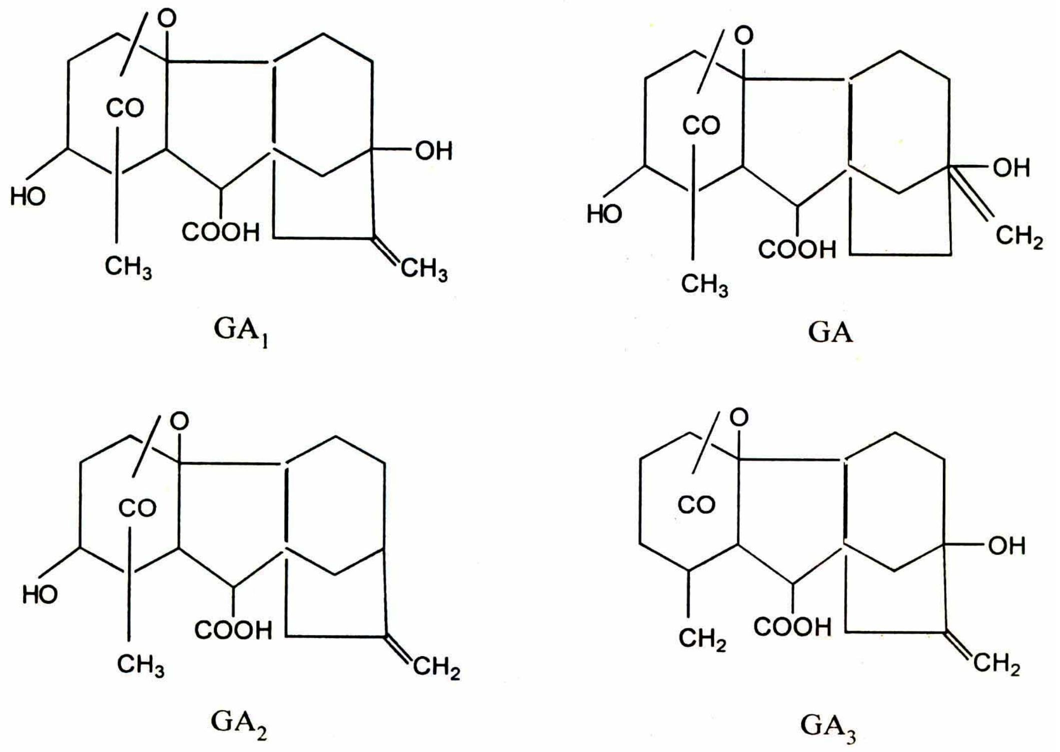
रासायनिक प्रकृति (Chemical Nature)

1. सभी जिबरेलिन जिबरेलिक अम्ल होते हैं । ये चक्रीय डाइटरपिन (cyclic diterpene) यौगिक है ।
2. सभी जिबरेलिन की मूल संरचना एक समान होती है । जिनमें एक गिबेन वलय (gibbane ring) पाई जाती है ।
3. ये मूलत: 20 कार्बन युक्त होते हैं परन्तु कुछ जिबरेलिन 19 कार्बन युक्त भी होते हैं । इनके संश्लेषण के दौरान एक C परमाणु की हानि होती है । कार्बन परमाणुओं की संख्या के आधार पर इन्हें दो वर्गों (C_{19} तथा C_{20}) में विभाजित किया जाता है ।
4. सभी जिबरेलिन अम्लीय प्रकृति के होते हैं तथा इनमें एक कार्बोक्सी (-COOH) समूह होता है ।
5. विभिन्न जिबरेलिन की भिन्न-भिन्न आण्विक सूत्रों द्वारा निरूपित किया है । जैसे :
   $C_{19}H_{24}O_6$(GA$_1$), $C_{19}H_{26}O_6$(GA$_2$), $C_{19}H_{22}O_6$(GA$_3$), $C_{19}H_{24}O_5$(GA$_4$) आदि ।



चित्र 16.9 : जिबरेलिन वलय के काल

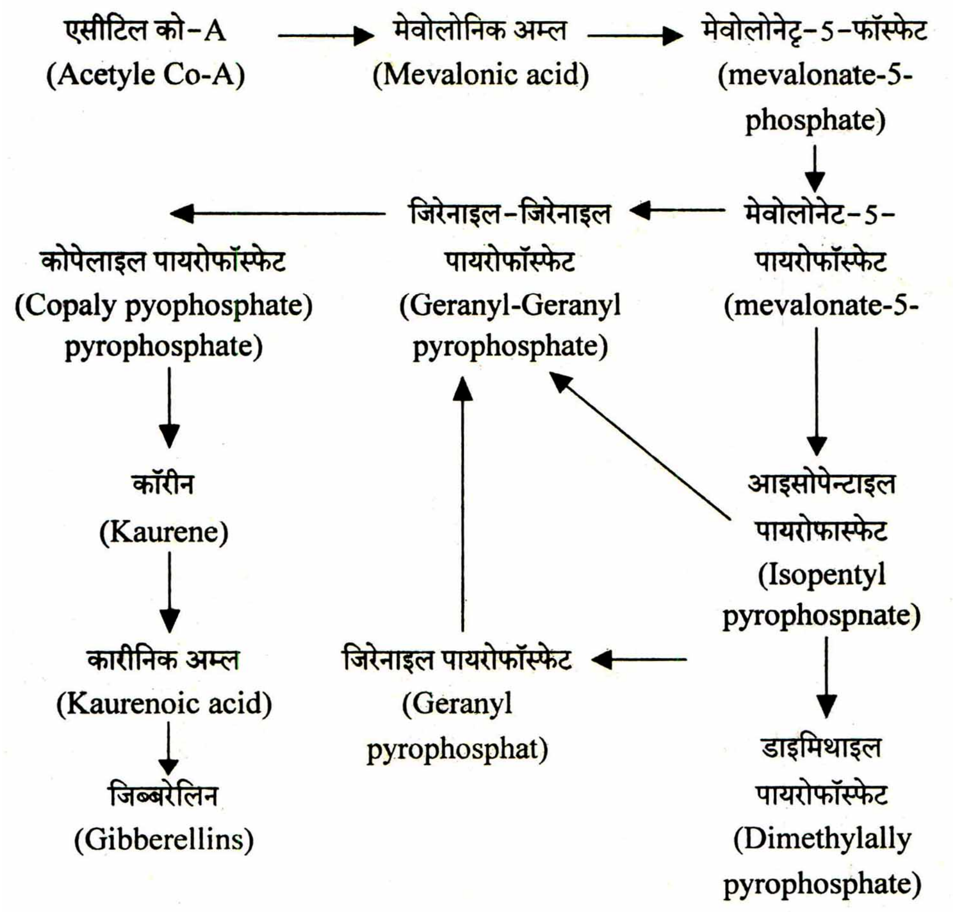
6. 19 युक्त GA में COOH समूह की स्थिति निश्चित होती है । जबकि 20C युक्त जिबरेलिक अम्लो में परिवर्तनीय होती है । इन में हाइड्रॉक्सी (OH) समूह भी पाये जाते हैं ।



चित्र 16.10 : कुछ जिबेरलिन की आण्विक संरचना

(iv) **जिबरेलिन का जैव संश्लेषण (Biosynthesis of Gibberellins) :** जिब्बरेलिन का जैव संश्लेषण मुख्यत: भ्रूण, तरुण पत्तियों तथा मूलाग्र में होता है । अपरिपक्व बीजों में इनकी मात्रा सर्वाधिक होती है तथा तरुण पत्तियाँ इनके जैव- संश्लेषण का प्रमुख स्थल है ।

जिब्बरेलिन का संश्लेषण ऐसीटिल को -एन्जाइम-ए (Acetyle CoA) से होता है । इसके तीन अणु मिलकर मैवेलोनिक अम्ल (mevalonic acid) का एक अणु बनाते हैं । मैवलोनेट का परिवर्तन मैवलोनेट-5-फॉस्फेट तथा इससे मैवलोनेट-5- पायरोफास्फेट (mavalonate-5-pyrophosphate) में हो जाता है । मैवेलोनेट-5-पायरोफास्फेट से आइसोपैन्टिल पायरोफास्फेट (isopenty1 pyrophoshate) का निर्माण होता है । इसके चार अणु मिलकर जिरेनाइल - जिरेनाइल पायरोफास्फेट (gerany1-gerany1 pyrophoshate) का निर्माण होता है जिसमें चार वलय होती है । कारीन के चरणबद्ध ऑक्सीकरण में कारीनोल (kaurenol) त था कॉरीनिक अम्ल (kaurenoic acid) बनता है । कॉरीनिक अम्ल से अन्ततः जिबेलिन का निर्माण होता है (चित्र 16.11) । जिब्बरेलिन के जैव संश्लेषण का पूर्ण परिपथ अभी तक ज्ञात नहीं है ।



चित्र 16.11 : जिब्बरेलिन जैव संश्लेषण का पथ

(v) **जिब्बरेलिन क्रियाशीलता की क्रियाविधि** (Mechanism of Gibberellin Action) : जिब्बरेलिन पादप वृद्धि तथा परिवर्धन को विभिन्न प्रकार से प्रभावित करते हैं । अनेक उदाहरणों में ऐसा देखा गया है कि जिब्बरेलिन ऑक्सिन के प्रभाव को तीव्र कर देते हैं । अकेले जिब्बरेलिन एविना वक्रता परी क्षण (Avena curvature test) में उदासीन होता है लेकिन ऑक्सिन के साथ मिलकर वक्रता संबंधी प्रभावों को तीव्र कर देता है । ऑक्सिन तथा जिब्बरेलिन का प्रभाव कुछ अन्य क्रियाओं जैसे अनिषेकफलन, कोशिका विवर्धन तथा RNA संश्लेषण आदि में समान प्रकार का होता है । एक अनुमान के अनुसार जिब्बरेलिन ऑक्सिन ऑक्सिडेज (auxin oxidase) की सक्रियता को हासित करते हैं जो इस बात को इंगित करता है कि ये ऑक्सिन के माध्यम से पादप वृद्धि को प्रभावित करते हैं । इसके विपरीत जिब्बरेलिन के अनेक प्रभाव ऑक्सिन से होते हैं । इसलिए जिब्बरेलिन को ऑक्सिन द्वारा प्रतिस्थापित नहीं किया जा सकता है ।

जिब्बरेलिन के कार्यिक प्रभाव मुख्यत: कोशिकाओं में एन्जाइम सक्रियता तथा कला पारगम्यता मे वृद्धि के उत्प्रेरण के फल स्वरूप होते हैं ।

(i) **एन्जाइमों का उद्दीपन** (Enzymes Stimulation): जिब्बरेलिन अनेक पादप एन्जाइम जैसे- α-एमाइलेज (α-amylase), प्रोटीऐज (protease), राइबोन्यूक्लिएज (ribonuclease), नाइट्रेटीरडक्टेज (nitratereductase) आदि को उद्दीपित करते हैं वारनर, रामचन्द्र तथा क्रिसपिल्स ने जौ की भ्रूणकोष में जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से α-एमाइलेज एन्जाइम के संश्लेषण दर में वृद्धि का प्रदर्शन कर इस तथ्य को प्रमाणित किया । जिब्बरेलिन सम्भवत : ट्राँसक्रिप्शन (trancription) तथा ट्राँसलेशन (translation) क्रिया को बढ़ाते हैं । ये विशिष्ट जीनों को सक्रिय कर mRNA तथा प्रोटीन के निर्माण द्वारा विभिन्न एन्जाइम्स के निर्माण या संश्लेषण को बढ़ाते हैं । जिब्बरेलिन द्वारा आर.एन.ए. पॉलिमरेज (RNA polymerase) की सक्रियता में वृद्धि के फलस्वरूप RNA संश्लेषण में वृद्धि होती है । एन्जाइम संश्लेषण की क्रिया एक्टिनोमाइसिन D (actinomycin-D) तथा साइक्लोहैक्सामाइड (cyclohexamide) की उपस्थिति में बाधित हो जाती है क्योंकि ये दोनों क्रमश: ट्राँसक्रिप्शन व ट्राँसलेशन क्रिया का संमदन (inhibition) करते हैं ।

(ii) **कला पारगम्यता में वृद्धि** (Incresed membrane permeability) : जिब्बरेलिन के कुछ प्रभाव कला पारगम्यता में वृद्धि के माध्यम से प्रभावी होते हैं । ये a□-एमाइलेज एन्जाइम की एल्यूरोन परत से विमुक्ति का सक्रियण कला पारगम्यता में वृद्धि द्वारा करते हैं । एच. डब्ल्यू ऐविन्स (H.Evins, 1971) ने देखा कि ऐल्यूरोन कोशिकाओं पर जिब्बरेलिन के प्रयोग 1-2 घंटे बाद इन कोशिकाओं की कला पारगम्यता बढ़ जाती है । जिब्बरेलिन पादप कला की पारगम्यता में वृद्धि सम्भवत: उनके संगठन में परिवर्तन अथवा कला के घटक अणुओं के संश्लेषण द्वारा करते हैं ।

(iii) **डी एन. ए. से अन्योन्य क्रिया** (Interaction with DNA) : ऐसा माना जाता है कि जिब्बरेलिन तथा अन्य हॉर्मोन पर DNA के अन्योन्य क्रिया कर उसके भौतिक लक्षणों को प्रभावित करते हैं । परन्तु यह ज्ञात नहीं हैं कि इनका DNA के साथ इस प्रकार का संबंध विभिन्न जैव क्रियात्मक प्रभावों तथा उद्दीपनों के लिए आवश्यक है या नहीं ।

जिब्बरेलिन के कार्यिकी प्रभाव (Physiological Effects of Gibberellin)

1. **पर्व दीर्घन** (Internodal growth) : जिब्बरेलिन पौधों में पर्व दीर्घन अथवा स्तम्भ की लम्बाई में वृद्धि को प्रेरित करता है । यह प्रभाव उन पादपों में अधिक स्पष्ट होता है जो आनुवंशिक रूप से वामन (dwarf) होते हैं । ऐसे द्विवर्षी पादप जो प्रथम वर्ष में रोजेट स्वभाव (rosette habit) प्रदर्शित करते हैं में भी जिब्बरेलिन द्वारा विवर्धन होता है । जनन प्रावस्था से पूर्व इनमे पर्व का अत्यधिक दीर्घन होता है परन्तु पत्तियों का निर्माण नहीं होता है । इस दीर्घित पर्णरहित पर्व को बोल्ट (bolt) कहते हैं तथा इस क्रिया को **बोल्टकरण** (bolting) कहते हैं । बोल्टकरण के पश्चात् पुष्पन की क्रिया होती है । इन पादपों में बोल्टकरण तथा पुष्पन की क्रिया तभी होती है जब आवश्यक कारक उपस्थित हों, जैसे. दीर्घ प्रदीप्तकाली (long day plants) पादप विशिष्ट प्रकाश अवधि प्राप्त कर चुके हों । यदि विशिष्ट परिस्थितियों में पादप (प्रकाश अवधि प्राप्त करने पर भी) रोजेट प्रकृति में ही बना

रहता है जो जिब्बरेलिन उपचार द्वारा उसमें बोल्टकरण व पुष्पन की क्रिया करवाई जा सकती है । बोल्टकरण के समय जिम्बरेलिन उपचार द्वारा उसमें बोल्टकरण व पुष्पन की क्रिया करवाई जा सकती है । बोल्टकरण के समय जिब्बरेलिन कोशिका विभाजन (cell division) तथा कोशिका विवर्धन (cell elongation) उत्प्रेरित करते हैं । इसके विपरीत अल्पप्रदीप्तकाली (short day plants) पादपों में ये पुष्पन क्रिया को संदमित करते हैं ।

2. **बीजांकुरण** (Seed germination) : धान्य फसलों जैसे गेहूँ, जी, आदि के बीजों के अकुरण में जिब्बरेलिन प्रमुख भूमिका निभाते हैं । इन बीजों के भ्रूणपोष में स्टार्च, प्रोटीन आदि का संग्रहण होता है तथा यह एल्यूरोन परत द्वारा परिबद्ध रहता है । एल्थूरोन परत विभिन्न जल अपघटयकारी (hydrolytic) एन्जाइम का स्रोत होता है जो भ्रूणपोष में संचित स्टार्च व अन्य पदार्थों का बीजांकुरण के समय अपघटन करता है ।
3. **प्रसुप्तता भंग करना** (Breaking of dormancy) : शीतोष्ण क्षेत्र के सदाबहार (evergreen) पादपों तथा पर्णपाती वृक्षों की कलिकाएँ ग्रीष्म ऋतु में प्रसुप्त अवस्था में कलिकाएँ ठण्ड अथवा अति जलाभाव के प्रभाव से बच जाती है । इसी प्रकार अनेक बीजों में भी प्रसुप्ततावस्था पाई जाती है । प्रकृति में यह प्रसुप्तता दीर्घ शीत ताप अथवा प्रकाश प्रभाव द्वारा दूर हो जाती है । जिब्बरेलिन से उपचारित कर इस प्रकार की प्रसुप्तता को भंग किया जा सकता है । इस प्रकार जिब्बरेलिन पौधों पर शीत उपचार अथवा प्रकाश उपचार के रूप में प्रभाव डालता है । ऐसा माना जाता है कि जिब्बरेलिन की उच्च सान्द्रता डार्मिन (dormin) अथवा एब्लिसिक अम्ल (abscisic acid) के प्रभाव को समाप्त अथवा निष्प्रभावित करने का कार्य करती हे ।
4. **अनिषेकफलन** (Parthenocorpy) : ऑक्सिन की तुलना में जिब्बरेलिन अनिषेक फलन को प्रेरित करने में कई गुना अधिक प्रभावशाल होते हैं । जिब्बरेलिन रोजेसी कुल के पादपों में जहाँ पोम फल, (सेब, नाशपाती) का निर्माण होता है । अनिषेकफलन को प्रेरित करने में सक्षम होते हैं । इन पादपों में ऑक्सिन इतने प्रभावी नहीं पाये जाते हैं । जिब्बरेलिन फलों की वृद्धि को विभिन्न स्तर पर प्रभावित करते हैं । इनके अनुप्रयोगों से बैंगन, टमाटर, अमरुद, अंगूर आदि अनेक पादपों में अनिषेक फल प्राप्त किये गये हैं ।
5. **जीर्णता को रोकना** (prevention of senescence): **फ्लेचर** तथा **ऑस्बोर्न** (Fletcher and Osborne, 1965) ने सर्वप्रथम प्रदर्शित किया कि जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से पत्तियों की जीर्णता को रोका जा सकता है । उन्होंने अपने प्रयोगों में पाया कि **टेरेक्सेनम** (Taraxanum) पर जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से जीर्णता को प्रभावी तरीके से रोका जा सकता है । पत्तियों में जीर्णता के समय सामान्यत : आंतरिक जिब्बरेलिन (endogenous gibberllins) की मात्रा काफी कम हो जाती है । इसलिए इनके बाह्य अनुप्रयोग से उत्तकों में सान्द्रता बढ़ने पर जीर्णता स्थगित हो जाती है ।

पत्तियों के अलावा फलों में भी जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से जीर्णता को स्थगित किया जा सकता है । संग्रहित फलों पर जिब्बरेलिन के छिड़काव से उनकी फलभित्ति के गलन को रोका जा सकता है ।

जिब्बरेलिन के वाणिज्यिक उपयोग (Commercial uses of Gibberallins)

जिब्बरेलिन के विभिन्न कृषीय उपयोग निम्न प्रकार है :

1. जिब्बरेलिन का उपयोग गन्ने के पौधों में लम्बाई में वृद्धि के लिए किया जाता है जिससे अधिक गन्ना उत्पादन सम्भव होता है । हवाई द्वीप (Hawai islands) में इस कार्य हेतु जिब्बरेलिन का व्यापक उपयोग किया जाता है ।
2. सलाद में एकसमान उत्स्फूटन या बोल्टकरण (bolting) के लिए जिब्बरेलिन का उपयोग किया जाता है जिससे बीजों के उत्पादन में वृद्धि होती है ।
3. नाशपाती, सेब, अमरुद, आदि फलों में अनिषेकफल प्राप्त करने के लिए जिब्बरेलिन का अनुप्रयोग किया जाता है । इनके अतिरिक्त मई में फलों की संख्या व आकार में वृद्धि के लिए भी जिब्बरेलिन का छिड़काव किया जाता है । इसके अलावा अंगूर की थॉम्प्सन बीज रहित (Thompson's seedles) किस्म के उत्पादन में किया जाता है ।
4. संतरे, नींबू आदि के फलों व पत्तियों पर जिब्बरेलिन के छिड़काव से इन्हें लम्बे समय तक सुरक्षित रखा जा सकता है।
5. जिब्बरेलिन का प्रयोग माल्ट (malt) निर्माण में किया जाता है जो बीयर उद्योग में कच्ची सामग्री के रूप में प्रयुक्त किया जाता है| जिब्बरेलिन भिगोए गये बीजों में α-एमाइलेज एन्जाइम की सक्रियता बढ़ा देता है जो स्टार्च को शर्करा में परिवर्तित कर देती है ।
6. जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से पुष्पी कलिकाओं के निर्माण को प्रेरित किया जाता है जिससे अधिक संख्या में फलों का निर्माण होता है । मुख्य रूप से पोम व स्टोन फलों में यह अत्यन्त लाभकारी है जहाँ ऑक्सिन का प्रभाव कम होता है।
7. आलू व कुछ शीतकाल उपचार की आवश्यकता वाले बीजों में प्रसुफता भंग करने के लिए जिब्बरेलिन का अनुप्रयोग किया जाता है ।
8. कुछ कोनीफर पादपों में जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से बीज निर्माण में बढ़ोतरी की जाती है । इनका प्रयोग टैक्सास (Texas), क्यूप्रेसस (Cupressus) तथा पाइनस (Pinus) में लाभदायक होता है ।
9. मटर, टमाटर, कालीमिर्च, खीरा, सलाद व पत्तागोभी आदि में जिब्बरेलिन के अनुप्रयोग से पत्तियों के आकार में वृद्धि होती है जिससे प्रकाश संश्लेषण क्षेत्र में बढ़ोतरी होती है ।

बोध प्रश्न - 2

1. पादपों में जिब्बरेलिन अधिकतम कहाँ पाये जाते हैं

....

....

2. सभी जिब्बरेलिन में मुख्यत ' कौन सी वलय पाई जाती है ।

....

....

3. सबसे महत्वपूर्ण जिब्बरेलिन कौनसा है?

....

....

4. जिब्बरेलिन को किसमें प्रयुक्त किया जाता है?

....

....

5. अब तक उच्च पादपों से कितने जिब्बरेलिन पृथक किये जा चुके हैं?

....

....

6. गन्ने की उपज बढ़ाने के लिए किस हॉर्मोन को प्रयुक्त किया जाता है?

....

....

16.2.3 साइटोकाइनिन (Cytokinins)

वृद्धि हॉर्मोन का यह तीसरा समूह है, जो मुख्य रूप से कोशिका विभाजन को प्रेरित करता है। कोशिका दीर्घन पर इन हॉर्मोन का विशेष प्रमाण नहीं होता है जबकी ऑक्सिन व जिब्बरेलिन कोशिका दीर्घन को उद्दीपित करते हैं।

(i) साइटोकाइनिन की खोज (Discovery of Cytokinin)

जी. हाबरलैण्ड (G Haberlandt,1931) ने सर्वप्रथम यह प्रेक्षण किया कि कुछ पादपों के संवहन ऊत्तक (फ्लोयम) में कुछ विलेय पदार्थ उपस्थित होते हैं जो कोशिका विभाजन को उद्दीपित करते हैं। इसके पश्चात् **जे. वान ओवरबीक** (J. von Overbeek , 1941) ने यह खोज की कि नारियल पानी (coconut milk ; coconut endosperm) में ऐसे पदार्थ उपस्थित होते हैं जो कोशिका विभाजन को प्रेरित करते हैं।

केप्लिन तथा स्टीवार्ड (Caplin Steward ,1952) ने भी यह प्रदर्शित किया कि नारियल पानी (liquid endosperm of coconut) में उपस्थित पदार्थ व IAA संवर्धन माध्यम में कोशिका विभाजन को उद्दीपित करते हैं। इसके पश्चात् **जैब्लोक्की** तथा **स्कूग** (Jablonski and Skoog 1954) ने बताया कि संवहनी कोशिकाओं में एक ऐसा पदार्थ उपस्थित होता है जो तम्बाकू (Nicotiana tobacum) में कोशिका विभाजन को उद्दीपित करता है। **मिलर** (Miller) जो तम्बाकू की मज्जा संवर्धन पर कार्य कर रहे थे, उन्होंने देखा कि यीस्ट निष्कर्ष (yeast extract) भी नारियल पानी के समान तम्बाकू के उत्तक संवर्धन में कोशिका विभाजन प्रेरित करने में सक्षम है। **मिलर** व **सहयोगियों** ने पाया कि शुक्राणु से प्राप्त DNA कोशिका विभाजन को उद्दीपित कर सकता है तथा उन्होंने DNA के इस सक्रिय भाग को काइनेटिन (Kinetin) की संज्ञा दी। सामान्यत : यह पदार्थ 6 - फरसुराइल एमीनो ष्ठइरन (6 -furfuryl aminopurine) था। बाद में लीथम व मिलर (Letham & Miller, 1964) ने मक्का के भ्रूणपोष से काइनेटिन के समान पदार्थ वियुक्त किया जिसे **जियाटिन** कहा गया। इसके बाद इसी प्रकार के अन्य पदार्थों की खोज अनेक बीजों व फलों से की गई जो कोशिका विभाजन को उद्दीपित करते हैं। इन

पदार्थो का जातीय नाम काइनिन (Kinin) रखा गया, जिसमें काइनेटिन के साथ समान गुणों वाले स भी पदार्थो को सम्मिलित किया गया ।

काइनिन (Kinin) शब्द का उपयोग पहले से ही जन्तु कार्यिकी में किया जा रहा था इसलिए पादप कार्यिकी वैज्ञानिकों ने इनके लिए **फाइटोकाइनिन, फाइटोसाइटोमाइन** आदि नाम सुझाए परन्तु **लीथम** द्वारा सुझाया गया नाम **साइटोकाइनिन** (Cytokinin) सबसे अधिक स्वीकार्य हु आ । **स्कूग** (Skoog, 1965) के अनुसार वे रासायनिक पदार्थ जो पादप उदभव की विभिन्न कोशिकाओं में कोशिका द्रव्य वि भाजन को उद्दीपित करते हैं साइटोकाइनिन कहलाते हैं ।

साइटोकाइनिन की रासायनिक प्रकृति (Chemical nature of cytokinin) :

संरचनात्मक दृष्टि से लगभग सभी साइटोकाइनिन में एक एडीनिन (प्यूरीन) वलय पाई जाती है अर्थात् सभी साइटोकाइनिन प्यूरिन के त्युत्पन्न होते हैं । इनमें एक विशिष्ट जलरागी एडिनीन समूह (specific hydrophilic adenine group) तथा एक अविशिष्ट लिगिड रागी समूह (non - specific lipophilic group) होता है । प्राकृतिक साइटोकाइनिन ने आइसोपेन्टीनाइल पार्श्व श्रृंखला होती हैं जबकि संश्लेषित साड्टोकाइनिन में यह परफ्यूराइल (Purfuryl), बेन्जाइल (benzyl) टाइल (butyle) अथवा मिथाइल (methyl) पार्श्व श्रृंखला होती है ।

प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले साइटोकाइनिन में जियाटिन (zeatin) सर्वाधिक सक्रिय माना जाता है । काइनेटिन पौधों में अनुपस्थित होता है ।

(ii) प्राप्तिस्थान व वितरण (Occurrence & Distribution) :

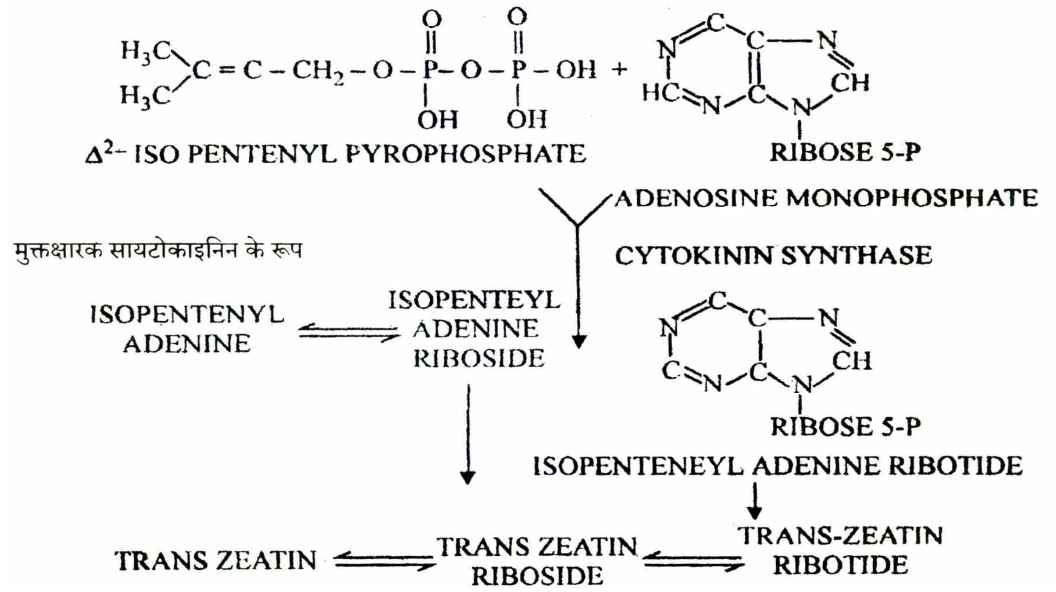
साइटोकाइनिन मुक्त व बन्द दोनों रूपों में पाये जाते हैं मुक्त साइटोकाइनिन अनेकों आवृत बीजियो, शैवाल, डायटम, मॉंस, फर्न एवं कुछ अनावृत बीजियों में पाये जाते हैं । ये सम्भवत : मूल शीर्ष में संश्लेषित होते हैं व जायलम द्वारा तरुण पत्तियों व विकासशील फलों में काफी मात्रा में स्थानान्तरण किये जाते हैं ।

साइटोकाइनिन विभिन्न पादप भागों से प्राप्त किये गये हैं जैसे : नारियल के तरल भ्रूणपोष, मक्का के अपरिपक्व फलों, सेब के पुष्प व फलों, टमाटर के फलों, पाइनस, तम्बाकू तथा यूकैलिप्टस की कैम्बियम, मटर के नवोद्भिद तथा सूर्यमुखी की जड़ों के स्राव आदि । प्रमुख प्राकृतिक साइटोकाइनिन है ।

- जियाटीन (Zeatin) = 6-(4-हाइड्रोक्सिल-3मिथाइलं-2ट्रांस ब्यूटेनिल अमीनो) प्यूरिन ।
- डाइहाइड्रोजियाटिन (Dihydrozeatin) = 6-(3-मिथाइल-4-हाइड्रॉक्सिब्यूटाइल एमिनो) प्यूरिन।
- सिस-राइबोसिल जियाटिन (Cis-ribosylzeatin) - 6-(4-हाइड्रॉक्सि-3मिथाइल-2-सिस-ब्यूटेनिल एमिनी) 9- B-D राइबोखूरानोसिल प्यूरिन ।
- ट्रॉस-राइबोसिल जियाटिन (Trans- ribosyl zeatin) = 6(-4 Hydrox-3ई-मिथाइल-2-ब्यूटेनिल एमिनो)ए-2 मिथाइल-थायो-9-B-D राइबोखूरानोसिल प्यूरिन ।
- 2i9 = 6- 3-मिथाइल-2-ब्यूटेनिलएमिनो)ए प्यूरिन ।
- 2iPA = 6 - (3-मिथाइल-2ब्यूटेनिलएमीनो) 9-B-D राइबोखूरानोसिल प्यूरिन ।

- आइसोपेन्टेनिलएडेनिन (Isopentony ladenine) = N^6 - डाइमिथाइल जियाटिन राइबोसाइड (Zeatin riboside) ऐलाइलएमिनो, प्यूरिन ।

संश्लेषित साइटोकाइनिन (Synthtic Cykinins) : कुछ पदार्थों मे साइटोकाइनिन के समान सक्रियता पाई जाती है । जो प्राकृतिक रूप से पौधों में नहीं पाये जाते हैं इन्हें कृत्रिम साइटोकाइनिन कहते हैं । इसके प्रमुख उदाहरण है. 6-एमिनोप्यूईरन (6- - aminopurine), बेन्जिमेडाजेल (Benzimadazole), 6-बेन्जाइल एडेनिन (6- benzyladenine), 1 बेन्जाइल एडेनिन (binzyuladenine) आदि ।



चित्र 16.12 : साइटोकाइनिनकासश्लेषण

(iii) सायटोकाइनिन का जैव संश्लेषण (Biosynthesis of cytokinins) :

पादपों में मूलशीर्ष सायटोकाइनिन का मुख्य स्रोत है इसके अतिरिक्त विकासशील तरुण बीज तथा एधा (cambium) में कुछ हद तक इनका संश्लेषण होता है । इनके संश्लेषण के बारे में अधिक कुछ ज्ञात नहीं है । सम्भवत' एडीनीन व अन्य प्यूरीन के संश्लेषण वाले उपापचयी से ही इनका भी संश्लेषण होता है । इनकी आइसोपेन्टीनाइल (isopentenyl) (श्रृंखला मेवालोनेट (mevavalonate) से व्युत्पन्न होती है ।

पादपों में साइटोकाइनिन सिन्थेस साइटोकाइनिन संश्लेषण के पहले चरण को उद्दीपित (mevalonate) करते हैं ।

(iv) साइटोकाइनिन सक्रियता की क्रियाविधि (Mechanism of Cytokinin Effects) :

साइटोकाइनिन सभवत न्यूकिल्क अम्ल उपापचय तथा प्रोटीन संश्लेषण के माध्यम से कोशिकाओं को G_2 अवस्था से समसूत्री विभाजन की ओर प्रेरित करते हैं ।

इसकी क्रियाविधी की पूरी जानकारी नहीं है परन्तु **कुलेवा** एवं **साथियों** (Kulaeva et.al ,1995) ने जौ के तरुण पादप से एक प्रोटीन अलग किया जो जीआटिन के साथ संलग्न होकर RNA

संश्लेषण की दर को बहुत बढ़ा देती है । इस प्रकार साइटोकाइनिन निम्न प्रकार से अपना प्रभाव डालते हैं.

1. साइटोकाइनिन DNA प्रतिकृतिकरण (replication) अनुलेखन, (trasncription), mRNA व rRNA को संश्लेषण, प्रोटीन संश्लेषण, को बढ़ाते हैं ।
2. कुछ लोगों के अनुसार व पादप tRNA में एंटीकोडोन (anticodon) के निकट होते हैं तथा प्रोटीन संश्लेषण के दौरान अमीनो अम्ल युक्त (mRNA के साथ जुड़ने में मदद करते हैं ।
3. साइटोकाइनिन कोशिका में अपचयी शर्करा (reducing sugar) के उत्पादन को बढ़ा देते हैं जिससे कोशिका द्वारा जल का अंर्तग्रहण बढ़ जाता है । इससे किसी प्रकार कोशिका की सुघट्यता (plasticity) बढ़ जाती है जिससे कोशिका में प्रसार (expansion) होता है ।

(v) साइटोकाइनिन के प्रभाव व भूमिका (कार्य) (Role and Efects of Cytoknin) :

1. **कोशिका विभाजन (Cell division) :** ऑक्सिन के साथ मिलकर साइटोकाइनिन परिपक्व कोशिकाओं में भी कोशिका विभाजन को प्रेरित कर देते हैं ये अकेले कोशिका विभाजन में सक्षम नहीं होते हैं । यह प्रभाव मिलर व साथियों (Miller et.al 1956) ने तथा दास (Das, 1956) ने देखा था ।
2. **संरचना विकास (Morphogensis) :** स्कूग एवं मिलर (Skoog and miller ,1965) के अनुसार ऑक्सिन साइटोकाइनिन अनुपात पादप अंगों के विभेदन (differentiation) को प्रभावित करता है । ऑक्सिन की अधिक सान्द्रता से जड़ों का विभेदन होता है साइटोकाइनिन की उच्च सान्द्रता से प्ररोह (shoot) का विभेदन होता है जबकि मध्यम सान्द्रता से कैलस (expansion) बनता है । इस प्रभाव का ऊतक सवर्धन में बहुत उपयोग किया जाता है ।
3. **कोशिका विवर्धन (Cell enlargement) :** मिलर (Miller ,1956) तथा कुरैशी एवं ओकुमूरा (Kuraishi and Okumura ,1956) एवं अन्य के अनुसार यह ऑक्सिन व जिबरेलिन की भांति कोशिका विवर्धन को भी प्रेरित करता है । पत्तियों के प्रसार (expansion) को बाहर से साइटोकाइनिन देकर बढ़ाया जा सकता है । ऑक्सिन के साथ यह क्षमता दुगुनी हो जाती है ।
4. **शीर्ष प्रभाविता का प्रतिकार (Counteration of apical dominance) :** साइटोकाइनिन के कारण शीर्षस्थ कलिका की उपस्थिति में भी पार्श्व कलिकाएँ वृद्धि कर जाती है ।
5. **रिचमंड - लैंग प्रभाव (Richmod-Lang effect) :** रिचमंड तथा लैंग (Richmod and Long ,1957) ने जैन्थियम (Xanthium) की पत्तियों पर अलग - अलग प्रयोगों में दिखाया कि साइटोकाइनिन के बर्हिजात सभरण से जीर्णता (senescence) स्थगित रहती है । इस प्रभाव को रिचमंड लैंग प्रभाव के नाम से जाना जाता है । सामान्यत : जीर्णता से पूर्व पत्तियों में प्रोटीन, क्लोरोफिल , न्यूक्लिक अम्ल आदि का विघटन (degradation) प्रारम्भ हो जाता है । साइटोकाइनिन की उपस्थिति में इन पदार्थों का अपघटन कम हो पाता है, क्योंकि साइटोकाइनिन के प्रभाव से RNA संश्लेषण प्रेरित होता है तथा RNAase की सक्रियता कम हो जाती है । ऐसी स्थिति में प्रोटीन संश्लेषण तथा क्लोरोफिल संश्लेषण जारी रहता है तथा जीर्णता का प्रभाव धीरे - धीरे प्रकट होता है ।

6. **पोषक पदार्थो का अभिगमन (Mobilization of nutrients) :** साइटोकाइनिन पत्तियों में पोषक पदार्थों की आवागमन (movement) को नियन्त्रित करता है । साइटोकाइनिन की उपस्थिति में पोषक तत्व अन्य अंगों की अपेक्षा उस क्षेत्र की ओर अधिक अभिगमन करते हैं तथा वहाँ एकत्रित होते हैं । यह प्रक्रिया साइटोकाइनिन प्रेरित पोषक अभिगमन (cytokinin induced nutrient mobilization) कहलाती है । परिपक्व पत्तियों में विशिष्ट स्थान पर साइटोकाइनिन कीं सान्द्रता बढ़ने से वे क्षेत्र पुन : हरे हो जाते हैं । यह पुनर्युवन (rejuvenation) कहलाता है ।
7. **प्रतिरोधकता (Resstance) :** साइटोकाइनिन से उच्च तापमान (49.5°C), निम्न तापमान (-20° C) एवं रोग के प्रति प्रतिरोधकता बढ़ जाती है ।
8. **प्रकाश संवेदी बीजों का अंकुरण (Germination of light sensitive seed) :** साइटोकाइनिन के उपचार से लेट्यूस (lettuce) एवं तम्बाकू के बीज अन्धकार में भी अंकुरित हो जाते हैं । सुदूर लाल प्रकाश के संदमक प्रभाव को साइटोकाइनिन के उपचार से उदासीन किया जा सकता है । स्ट्राइगा एशियाटिका (Striga asiatica) के बीज परपोषी के सम्पर्क में आने से ही अंकुरित होते हैं । परन्तु साइटोकाइनिन के उपचार से यह परपोषी की अनुपस्थिति में भी अंकुरित हो जाते हैं ।
9. **मूल पर प्रभाव (Effeect on roots) :** प्राथमिक मूल के दीर्घीकरण का सदमन, मूल प्रारम्भन, मूल व्यास (diameter) में वृद्धि, वाहिनिकाओं के लिगनीकरण में वृद्धि इत्यादि भी साइटोकाइनिन के प्रभाव हैं ।
10. **अन्य प्रभाव (Other effect) :** इसके अतिरिक्त कोशिका विभाजन एवं विभेदन से संबंधित अनेक प्रकियाओं को ये प्रभावित करते हैं जैसे क्लोरोप्लास्ट के परिपक्वन (maturation), RNA व DNA संश्लेषण, नाइट्रोजनी पदार्थों का स्थानान्तरण, इत्यादि को बढ़ाते हैं ।

(vi) साइटोकाइनिन की कृषि में उपयोगिता (Use of Cytokinin in Agriculture)

1. ऊतक संवर्धन द्वारा अनेक बहुमूल्य पादपों जैसे ऑर्किड व बहुमूल्य पादपों के प्रवर्धन विशेषकर कैलेस से प्रोह व मूल विभेदन के लिए सायटोकाइनिन उपयोगी है ।
2. पत्तेदार सब्जियाँ को ताजा रखने के लिए इनका उपयोग किया जाता है ।

बोध प्रश्न -3

1. साइटोकाइनिन के दो मुख्य लक्षण बताइए ।

....

....

2. साइटोकाइनिन का संश्लेषण किससे होता है?

....

....

3. रिचमंड-लैंग प्रभाव किस हॉर्मोन के प्रभाव का परिणाम होता है?

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

4. साइटोकाइनिन का संश्लेषण मुख्यत: कहाँ होते है ।

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

5. दो प्राकृतिक और दो संश्लेषित साइटोकाइनिन के नाम बताइए ।

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

6. काइनेटिन का रासायनिक नाम क्या है ।

……………………………………………………………………………

……………………………………………………………………………

16.2.4 ईथाइलीन (Ethylence)

एक गैसीय पदार्थ है जो पौधों में अनुप्रस्थ अथवा समव्यासी वृद्धि को उद्दीपित (transverse or isodiametric) करती है ।

ऐबल्स ने 1972 में ईथाइलीन जैसे विशेष रसायनों को स्टीरोन्स (stirones) का नाम दिया ।

ईथाइलीन सामन्यता 0.01 ppm (trreshold value) और 10ppm (saturation value) के बीच प्रभावी होती है ।

ईथाइलीन यू तो प्रदूषक गैस मानी जाती है परन्तु पादपों में अत्यन्त अल्प मात्रा में सशक्त परिपक्वन हॉर्मोन के रूप में कार्य करती है ।

(i) ईथाइलीन की खोज (Discovery of Ethylene)

उन्नीसवीं शताब्दी में सड़को पर कोयले के लैंप से पौधों पर हानिकारक प्रभाव को देखते हुए ये सोचा गया कि कोल गैस तथा अन्य प्रदूषक तत्व पौधों को नुकसान पहुँचाते हैं । डी एन. नेल्जूबो (D.N Neljubow , 1901) ने इन गैसों में से एक को ईथाइलीन के रूप मे पहचाना व पहली बार इस गैस की वृद्धि नियंत्रक के रूप में पहचान हुई ।

कजिन्स (H.H. Cousins,1910) ने पाया कि संतरे के गोदाम से निकलने वाली गैसों से केले जल्दी पक जाते हैं । गने (Gane 1934) ने केलों से निकलने वाली गैस को ईथाइलीन के रूप में पहचाना और बताया कि परिपक्व केलों से निकलने वाली यह गैस अपरिपक्व केलों में क्लाइमैट्रिक (climactric) श्वसन को बढ़ा देती है । इथाइलीन की प्राकृतिक वृद्धि नियन्त्रण के रूप मे पहचान गैस क्रोमेटोग्राफी (gas chromatography) के बाद ही हो पाई ।

(ii) प्रतिस्थान एवं वितरण (Ocurrence and Distribution) :

ईथाइलीन का निर्माण मुख्यत ' उच्चवर्गीय पादपों में होता है । शैवालों में इसका निर्माण नहीं देखा गया है । इसके अलावा इनकी वृद्धि पर इसका प्रभाव भी नगण्य होता है । जीवाणुओं तथा कवकों की कुछ जातियों में ईथाइलीन का निर्माण होता है । उच्च पादपों के लगभग सभी भागों

में इसका निर्माण होता है । पादप के प्ररोह शीर्ष, पत्तियों, पुष्प तथा फलों में इसकी उच्च सान्द्रता पाई जाती हैं । फलों के परिपक्वन के साथ इसका निर्माण बढ़ जाता है । ऐसा माना जाता है कि IAA, ईथाइलीन संश्लेषण को प्रेरित करते हैं इसलिए प्ररोह शीर्ष इसके प्रमुख निर्माण स्थल है ।

रासायनिक प्रकृति (Chemical natural) : ईथाइलीन रासायनिक एक असंतृप्त हाइड्रोकार्बन गैस होती है इसे $CH_2 = CH_2$ से निरूपित किया जाता है । यह वायु से भी हल्की होती है, इसका सरलतापूर्वक ऑक्सीकरण किया जा सकता है ।

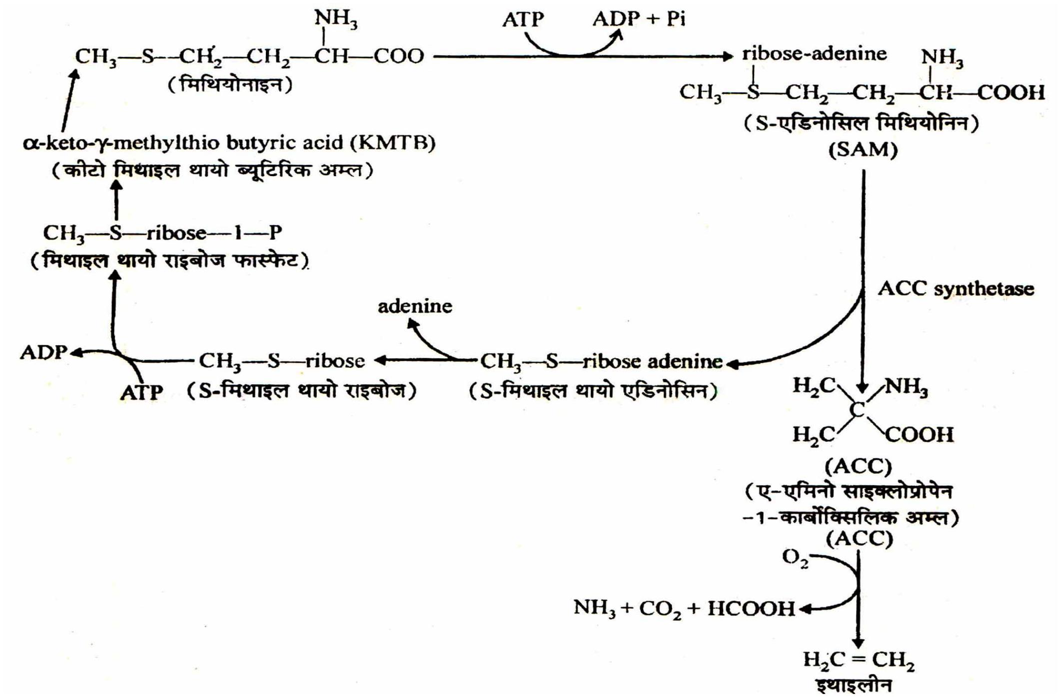
(iii) ईथाइलीन का जैव संश्लेषण

जैव संश्लेषण (Biosynthesis of Ethylene)

मोरिस व सहयोगियों (Morris et.al ,1964) के अनुसार पौधों में इथाइलीन का संश्लेषण मिथियोनिन (nethionime) नामक अमीनो अम्ल से होता है । उन्होंने यह भी स्पष्ट किया कि यह मिथियोनिन के कार्बन 3 व 4 से व्युत्पन्न होती है । इसके अतिरिक्त मिथियोनिन के सल्फर अणु का संरक्षण एक चक्रीय पथ में होता है । इस परिपथ का एक अन्य लक्षण यह है कि इसमें मिथियोनिन से SAM निर्माण के लिए ATP तथा ACC के इथाइलीन में परिवर्तन के लिए 0_0 की आवश्यकता होती है

मिथियोनिन सर्वप्रथम ATP द्‌वारा एडिनोसिल मिथियोनिन (S- adenosy methinine; SAM) में परिवर्तित हो जाता है । SAM का 1-एमिनो साइक्लोप्रोपेन - 1 कार्बोक्सिलिक अम्ल (1-amino cyclopropane -1 caboxylic acid;ACC) मे परिवर्तन होता है । यह अभिक्रिया ACC सिन्थेटेज (ACC Synthatase) एन्जाइम द्‌वारा उत्प्रेरित होती है ACC एक असामान्य अमीनो अम्ल जैसा यौगिक है जो इथाइलीन के पूर्ववर्ती (precursor) का कार्य करता है (ADAM and Yang ,1979) । ऑक्सीजन की उपस्थिति में अन्तत ' ACC का इथाइलीन में ऑक्सीकरण हो जाता है । मिथियोनिन का चक्रीय क्रम में पुन ' निर्माण होता है ।

इथाइलीन संश्लेषण में ATP तथा 0^2 की आवश्यकता होती है यह इस तथ्य से प्रमाणित होता है कि ऑक्सीजन की न्यूनता की स्थिति (hyproxic condition) में इथाइलीन निर्माण लगभग बन्द हो जाता है । सम्पूर्ण परिपथ को चित्र 16.13 में दर्शाया गया है ।



चित्र 16.13

(iv) इथाइलीन की क्रियात्मक क्रियाविधि (Mechanism of Ethylene action)

इथाइलीन के अनेक कार्यिकी प्रभाव एन्जाइम संश्लेषण के माध्यम से सम्पन्न होते हैं तथा एन्जाइम की प्रकृति सम्बन्धित प्रभावित ऊतक पर निर्भर करती है । जैसे पर्ण विगलन के प्रेरण में सेल्यूलोज (cellulese) तथा अन्य किसी विघटनकारी एन्जाइम्स का निर्माण होता है । इसी प्रकार फल परिपक्व के प्रेरण हेतु फल की कोशिकाओं में सम्बन्धित एन्जाइमों का संश्लेषण होता है । ऊतकों के क्षतिग्रस्त होने पर फिनाइलएलेनाइन अमोनिया लाऐज (phenylalanine ammania lyase) नामक एन्जाइम प्रकट होता है जो फिनोलिक्स यौगिकों के निर्माण में महत्वपूर्ण है जो घाव भरने (woulding healing) में सहायक होते हैं । परन्तु इन सभी मामलों में यह स्पष्ट नहीं है कि इथाइलीन किस प्रकार एन्जाइम संश्लेषण को बढ़ाती है ।

(v) इथाइलीन का महत्व एवं प्रभाव (Role and Effect of Ethlene)

इथाइलीन के प्रभाव अधिकांशत : बाहर से इथाइलीन युक्त उपचार से ज्ञात हुए हैं । इथाइलीन की अत्यन्त अल्प मात्रा (0.1-1ppm) पादपों में पाई जाती है जो पादप वृद्धि को प्रभावित करती है । ये इस प्रकार है -

1. **फल पक्वन (Fruit ripening) :** फल पक्वन सामान्यत : फल को खाने योग्य बनाने के लिए होने वाले परिवर्तनों को कहा जाता है । इस समय अधिकांश फलों में इथाइलीन का स्तर बढ़ जाता है तथा जल अपघटनी एन्जाइमों की सक्रियता बढ़ जाती है । फीनोलिक यौगिक व कार्बनिक अम्ल कम हो जाते हैं शर्करा स्तर बढ़ जाता है ।

   इथाइलीन को बाहर से देने पर खाद्य फलों में पक्वन की क्रिया तेज हो जाती है । फल पक्वन के सा थ ही इथाइलीन का स्तर तेजी से बढ़ता है । अक्लाइमैक्ट्रिक फलों में इथाइलीन देने पर पक्वन में तेजी नहीं आती ।

2. **जीर्णता (Senescence) :** इथाइलीन पादप अंगों में जीर्णता (senescence) में वृद्धि (enhance) करती है । अनेक पादपों में बाहर इथाइलीन ही आपूर्ति करने पर जीर्णता में तीव्रता देखी गई है । पत्तियों के क्लोरोफिल ही हानि व पीलेपन तथा फूलों के बदरंग होने के साथ - साथ इथाइलीन के स्तर में भी बढ़ोतरी होती है । इथाइलीन के संश्लेषण व सक्रियता के संदमकों की उपस्थिति में पर्ण जीर्णता में कमी आती है ।
3. **विलगन (Abscission) :** इथाइलीन पादपों में पत्तियों, पुष्पों व फलों के विगलन को उद्दीपित करता हे व विगलन क्षेत्र में कोशिका भत्ति के अपघटनकारी एन्जाइमों के प्रेरण को उद्दीपित करता है ।
4. **संरचना विकास प्रभाव (Morphogentic effects) :** इथाइलीन के प्रभाव से नवोदभिद् (seedlings) में कोशिका दीर्घीकरण (elogation) कम हो जाता है तथा कोशिकाएँ चौड़ाई में फैलने लगती है इससे नवोद्भिद् में हुक के नीचे का भाग फूल जाता है । अरेबिडोप्सिस (Arabidopsis) में (hypocotyl) फूल जाता है तथा जड़ की लम्बाई नहीं बढ़ती ये पत्तियों के प्रसार को रोकता है तथा वातरंध्रों में अतिवृष्टि का कारक होता है इससे इस क्षेत्र की कोशिकाएँ काफी बडी हो जाती हैं ।
5. **सुषुप्ता का प्रतिकार (Breaking dormancy) :** मूंगफली में बीजांकुरण व इथाइलीन के स्तर में सीधा सबध देखा गया है । अनाज वर्ग के बीजों में इथाइलीन देने पर सुषुप्तावस्था समाप्त हो जाती है व अकुरण होता है । आलू व अन्य कन्दों में इथाइलीन से कलिका सुषुप्तावस्था समाप्त होती है अकुरण प्रेरित होता है तथा पादपको का निर्माण होता है ।
6. **मूल वृद्धि (Root growth) :** इथाइलीन मूल में दीर्घीकरण को संदमित करता है व मोटाई अथवा पार्श्व वृद्धि को उद्दीपित करता है । इथाइलीन तना व पत्तियों से अपस्थानिक मूल विकास (development of adventitious roots) को प्रेरित करता है । अनेक पादप मूल में यह मूल रोम विकास (root hair development) प्रेरित करता है ।
7. **पुष्पन एवं लिंग अभिव्यक्ति (Flowering and sex expression) :** इथाइलीन की उपस्थिति में लघु दिवसीय पादप (SD plants) दीर्घ दिवसीय परिस्थितियों में पुष्पित हो जाते हैं । अनेक पादपों में इथाइलीन पुष्पन को संदमित करती है । परन्तु अन्नानास व इस वर्ग के पादपों में पुष्पन प्रेरित करती है । अनेक पादपों जैसे **कूकूमिस सैटाइवा** (Cucumis sativa) में इथाइलीन अन्य हॉर्मोनों के साथ पुष्पों की लिंग अभिव्यक्ति में महत्वपूर्ण होती है ।
8. **जलीय पादपों में दीर्घीकरण (Elongation in aquatic species) :** इथाइलीन सामान्यत : तने में दीर्घीकरण के संदमित करने के विपरीत अनेक निमग्न (submerged) जलीय पादपों जैसे रैननकुलस क्लीरेटस (Ranunculus scleratus) एवं, निम्फॉइडिस (Nymphoides) तथा जलनिमग्न धान (rice) में इथाइलीन के कारण पर्व दीर्घीकरण तेजी से होता है । फलत : पादपों की लंबाई बढ़ जाती है । धान में यह अंतर्विष्ट (intercalary) विभज्योतकी कोशिकाओं की जिबरेलिन के प्रति संवेदनशीलता बढ़ा देती है ।

9. इसके अतिरिक्त यह कुछ पादपों में रोग प्रतिरोधक क्षमता (disease resistance) तथा रबड़ क्षीर (latex) बहाव को भी प्रभावित करता है ।

ऑक्सिन तथा इथाइलीन में सम्बन्ध (Relationship between Auxin of Ethylene)

IAA तथा संश्लेषित ऑक्सिन पौधों में इथाइलीन को बढ़ाते हैं । इसलिए यह प्रश्न उठना स्वाभाविक है कि ऑक्सिन के प्रभाव इथाइलीन के कारण होते हैं । अनेक मामलों में ये प्रभाव इथाइलीन के कारण होते हैं जैसे. पर्ण का अधोकुंचन (eipnasty) जड़ प्ररोह व पत्तियों के दीर्घन का समदन, पुष्पों का प्रेरण (आम, अनानास आदि), मादा पुष्पों की संख्या में वृद्धि आदि । पुष्पों, पत्तियों तथा फलों का विगलन आदि क्रियाओं में ऑक्सिन तथा इथाइलीन की परस्पर क्रिया (interaction of auxin and ethylene) का योगदान होता है । इसके अतिरिक्त वृद्धि प्रेरण, जड़ समारम्भन तथा अन्य प्रभावों में ऑक्सिन का इथाइलीन से स्वतन्त्र प्रभाव देखा गया है । इसलिए यह कहा जा सकता है कि ऑक्सिन की अधिक सान्द्रता पर इथाइलीन उत्पादन बढ़ता है जिससे ऑक्सिन के कुछ प्रभावों का प्रतिलिपीकरण (duplication) होता है ।

इथाइलीन का वाणिज्यिक महत्व (Commercial Application of Ethylene)

1. यह अनेक फलों के परिपक्वन में सहायक है इसलिए कच्चे तोड़े गये फलों को इथाइलीन के वातावरण में रखकर शीघ्रता से पकाया जा सकता है । पके हुए फलों से विसरित होने वाली इथाइलीन कच्चे फलों को शीघ्रता से पकाने में सहायक होती है ।
2. इथाइलीन का प्रयोग अनानास व आम के पेड़ों पर किया जाता है । वाणिज्यिक उत्पाद ईथरल (etheral) के छिड़काव से इन पौधों में पुष्पन प्रेरित होता है तथा सभी फल एक साथ पकते हैं जिससे इनको एक बार ही तोड़ लिया (harvest) जाता है ।
3. **क्यूक्यूमिस सेटाइवस** तथा कुकुरबिटा पिपो में इथाइलीन के अनुप्रयोग से नर पुष्पों का निर्माण कम किया जाता है तथा मादा पुष्पों का निर्माण प्रेरित किया जाता है जिससे उत्पादन बढ़ता है ।

बोध प्रश्न - 4

1. एक गैसीय हार्मोन का नाम बताइए तथा इसका प्रमुख कार्य क्या है?

   ....

   ....

2. इथाइलीन का संश्लेषण किससे होता है?

   ....

   ....

3. इथाइलीन पादपों में किस अवस्था में पायाद जाता है?

   ....

   ....

4. इथाइलीन गैस को वृद्धि नियंत्रक के रूप में किसने पहचाना ।

	....
	....
5.	इथाइलीन द्वारा दीर्घीकरण किन पादपों में होता है ।
	....
	....

16.2.5 एब्सिसिक अम्ल (Abscisic Acid , ABA)

एब्लिसिक अम्ल पौधों में प्राकृतिक रूप से पाया जाता है । यह प्रमुख वृद्धि नियंत्रक हार्मोन है इसे स्ट्रेस हार्मोन (stress hormons) भी कहते हैं । यह विलगन (abscission) का मुख्य कारक माना जाता है जो पादप को विपरीत परिस्थितियों का सामना करने में सहायक होता है ।

(i) **एब्सिसिक अम्ल की खोज (Discovery of ABA) :** हेमबर्ग (Hemberg, 1949) व अन्य वैज्ञानिकों के अध्ययन यह बतलाते हैं कि कुछ पादपों की कलियों एवं कन्द में वृद्धि संदमक (growth inhibitor) की उपस्थिति पाई जाती है । ओस्वोर्न (Osborne, 1995) ने सबसे पहले वृद्धि को रोकने वाले पदार्थों की उपस्थिति को प्रमाणित किया तथा पाया कि पुरानी पीली पत्तियों के अर्क से नई पत्तियों भी झड़ जाती है ।

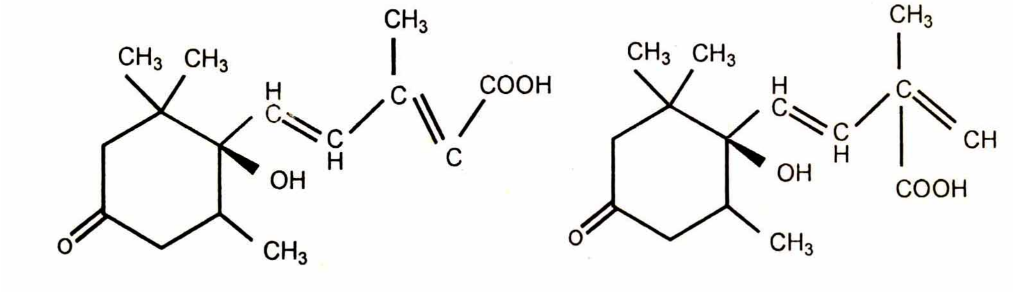
राबिनसन तथा **वेरिग** (Robinson & Wareming,1964) ने काष्ठीय पादप (Woody plants) की पत्तियों से सुपुष्टता प्रेरक पदार्थ को अलग करने में सफलता प्राप्त की और उसे डार्मिन (Dormin) नाम दिया । एडिकाट तथा सहयोगियों ने (Addicott et.al1963) ने कपास के कच्चे फलों से ऐसे दो अर्क निकाले जिससे पौधो में पतझड़ तेजी से होने लगा । उन्होंने इसे एकिसिन I (abcissin I) तथा एब्लिसिन II (abscission II) कहा । इनके अनुसार एब्लिसिन I की तुलना में एब्लिसिन II अधिक सक्रिय था । बाद में किये गये अध्यशनों के आधार पर **वान स्टीवैनिक** (1966) तथा कोशिमीजू (Koshimizu 1966) के आधार पर अन्तत ' 1967 में यह स्पष्ट हु आ कि डार्मिन (Dormin), एब्लिसिन I तथा एब्लिसिन II एक ही पदार्थ है तथा इस पदार्थ को **एब्सिसिक अम्ल** (Abscisic Acide) का नाम दिया गया।

(ii) **प्राप्तिस्थान एवं वितरण** संवहनी पादपों (Vascular Plants) में व्यापक रूप से पाया जाने वाला पादप हॉर्मोन है । विभिन्न पादप अंगों जैसे कैद, प्रकंद, कालेकाओं, भ्रूणकोष तथा भ्रूण में यह सामान्य रूप से पाया जाता है । कुछ कवको, हरे शैवालों तथा घास (grass) में भी एब्सिसिक अम्ल पाया जाता है । जीवाणुओं (bacteria) में यह अनुपस्थित होता है।

एब्लिसिक अम्ल का संश्लेषण मुख्य रूप से पूर्ण विकसित पत्तियों में होता है, जहाँ से यह विभिन्न पादप अंगों, मूल, स्तम्भ, व पुष्पों को स्थानान्तरित होता है । ABA का स्थानान्तरण जाइलम व फ्लोएम दोनों के माध्यम से होता है ।

(iii) **एब्सिसिक अम्ल की रासायनिक प्रकृति** (Chemical Nature of ABA) : रासायनतः एब्लिसिक अम्ल एक सैस्कूटरपीन (sesquiterpene) है जो 5 - C आइसोप्रीन

(isoprene) की तीन इकाईयों से मिलकर बनता है । इस 15 - C अणु में एक द्विबन्ध युक्त एलिफेटिक वलय (aliphatic ring) तीन मिथाइल समूह तथा एक असंतृप्त पार्श्व श्रृंखला से जुड़ा कार्बोक्सी (-COOh) समूह होता है । इसमें एक असममित कार्बन परमाणु होता है इसलिए यह दो प्रकाशीय अइसोमर (optical isomers) के रूप में पाया जाता है । इसके अतिरिक्त यह (cis व trans) अवस्था में भी पाया जाता है जिसमें से cis अवस्था जैविक रूप से सक्रिय होती है ।



2CIS-ABSCISIC ACID 2-TRANS ABSCISIC ACID

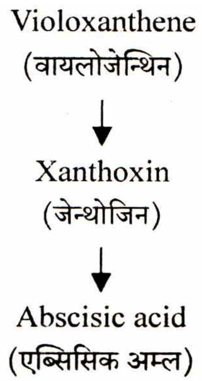
चित्र 16.14 : एब्लिसिक अम्ल की संरचना

(iv) **एब्सिसिक अम्ल का जैव संश्लेषण** (Biosynthesis of ABA) : ऐसा माना जाता है कि एब्सिसिक अम्ल के संश्लेषण के प्रारम्भिक चरण जिब्रेलिन के समान ही होते हैं । कुछ वैज्ञानिकों के अनुसार ABA संश्लेषण मेवेलोनेट (mevalonate) से होता है जिसमें फर्नेसिलपायरो फॉस्फेट (frenesyl pyrophosphate) मध्यस्थ यौगिक होता है चित्र

Mavalonate
(मेवेलोनिक अम्ल)
↓
Phosphomevalonate
(फास्फोमेवेलोनेट
↓
Diphosphomevolonate
(डाइफास्फोमेवेलोनेट
↓
Isopentenyl pyrophosphate
(आइसोपेन्टीनिल पायरोफास्फेट)
↓
Fernesyl pyrophosphate
(फर्नेसिल पायरोफास्फेट)
↓
Abscisic acid
(एब्सिसिक अम्ल)

एब्लिसिक अम्ल का संश्लेषण

एक अन्य परिपथ-जेन्थोफिल के आक्सीकरण द्‌वारा (Oxidation of xanthophy II) भी एन्सिसिक अम्ल का संश्लेषण होता है । वायलोजेन्थीन (Violoxanthene;C_{40}) को एब्सिसिक अम्ल का प्रर्वगामी (Precursor) माना जाता है। वायलोजैन्थिन एन्जाइम्स द्‌वारा विदलित होकर जेन्थोजिन (Xanthoxene; C_{15}) का निर्माण करता है तथा इसके आक्सीकरण से एब्यिससिक अम्ल का निर्माण होता है ।



(v) **क्रियाविधि (Mechanism of Action Of ABA) :** एब्सिसिक अम्ल अनेक कार्यिकी प्रभावों में IAA साइटोकाइनिन तथा जिबरेलिक अम्ल के साथ परस्पर क्रिया (interact) करता है । इनमें कुछ प्रभाव अनुकूल तथा कुछ प्रतिकूल होते हैं क्योंकि एब्सिसिक अम्ल तथा अन्य वृद्धि हॉर्मोन अपना प्रभाव न्यूक्लिक अम्ल उपाचयन तथा प्रोटीन संश्लेषण को प्रभावित कर दर्शाते हैं । इसके अतिरिक्त एब्लिसिक अम्ल कला पारगम्यता का संमदन करते हैं तथा जल अपघटनकारी एन्जाइमों का संश्लेषण उद्दीपित करते हैं । इसलिए अधिकतर प्रभाव समदनकारी होते हैं ।

(vi) एब्सिसिक अम्ल के प्रभाव एवं भूमिका (Role and effect of Abscisic acid)

1. **कलिका सुषुप्ति (Bud dormancy) :** एब्लिसिक अम्ल एक वृद्धि संदमक के रूप में कार्य करता है तथा अनेक पादपों में बीज व कलिकाओं में सुषुप्ति प्रेरित करता है । सभवत : ABA एवं साइटोकाइनिन तथा जिबरेलिन के संतुलन के ऊपरबीज व कलिका की सुषुप्तावस्था निर्भर करती है । ABA का स्तर पर्यावरणी कारकों जैसे प्रदीप्तकाल (daylength) तथा तापमान पर निर्भर करता है ।
2. **जीर्णता एवं विगलन (Senescnce and abscission) :** बेरिंग एवं हिलमैन (Warening and Hillman 1967) ने बताया कि ABa विगलित पत्तियों में जीर्णता प्रेरित करते हैं । एडिकॉट एवं साथियों ने (Addicot and coworker, 1964) ने बताया कि ABA कपास की पत्तियों में विगलन को प्रेरित करता है । कपास के फल में दो बार ABA स्तर बढ़ जाता है । कपास के कच्चे फल झड़ते हैं । 2 जब कपास के रेशे तैयार हो जाते हैं तो फल के स्कुटन के समय भी ABA का स्तर बढ़ जाता है । ABA का रोल इन दोनों प्रक्रियाओं में इसलिए माना जाता है क्योंकि ABA का स्तर इन दोनों प्रक्रियाओं के दौरान बढ़ा हुआ होता है । कुछ वैज्ञानिकों का मानना है कि इन दोनों प्रक्रियाओं का नियंत्रण ABA तथा अन्य वृद्धिकारी हॉर्मोन जैसे ऑक्सिन व साइटोकाइनिन के अनुपात पर निर्भर करता है ।
3. **पुष्पन व लिंग अभिव्यक्ति (Flowering and expression of sex) :** ABA की उपस्थिति

में कुछ अल्प प्रदीप्ति काली (SD plant) पादपों में दीर्घ प्रदीप्ति काली अवस्थाओं में भी पुष्पन हो जाता है जबकि दीर्घ प्रदीप्ति काली पादपों में यह पुष्पन को संदमित करता है । वास्तव में पुष्पन ABA एवं GA के पारस्परिक अनुपात पर निर्भर करता है । अत: ABA अप्रत्यक्ष रूप से पुष्पन को प्रभावित करता है ।

यह भाग, **कैनेविस सेटाइवा** (Cannabis saivus) में जिबरेलिक अस्त के प्रभाव को उलट कर देता है अर्थात् उसमें नर पुष्पों के निर्माण को रोक देता है ।

4. **बीजों में परिवर्धन (Develoment of seed) :** बीजो ABA प्रारम्भ में ABA स्तर बहुत कम होता है, भ्रूण के विकास के बाद स्ती अवस्थाओं में ABA का स्तर बहुत बढ़ जाता है । भ्रूण के परिवर्धन के बाद की अवस्थाओं में निर्जलीकरण होता है तथा बीज का जल स्तर मात्र 5 - 12% तक रह जाता है । ABA भ्रूण की निर्जलीकरण के प्रति सहिष्णु (tolerant) बनाता है । ABA भूण विकास के दौरान संचयी प्रोटीन (storage proteins) के संचय को प्रेरित करता है।
5. **बीज सुषुप्ति (seed dormancy) :** यह परिपक्व भ्रूण की सुषुप्ति (dormancy) को नियंत्रित करता है तथा भ्रूण को वृद्धि की अनुकूल परिस्थितियाँ न मिलने तक सुषुप्तावस्था में रोके रखता है । बीजों को बाहरी ABA देने पर ऑक्सिन एवं जिबरेलिन की उपस्थिति में भी अंकुरण नहीं हो पाता । बीजों में भ्रूण के कारण सुषुप्ति ABA की उपस्थिति के कारण होती है ।
6. **बीज अंकुरण (seed germination) :** ABA बीज अंकुरण का महत्वपूर्ण संदमक (inhibitor) है । यह अपरिपक्व भ्रूण को समय पूर्व अकुरण से रोकता है । अनाज फसलों के बीजों में नम वातावरण में बाली में ही अंकुरित होने की प्रवृत्ति होती है ABA इस प्रकार की सजीव प्रजता (vivipary) की प्रवृति को रोकता है ।
7. **मूल एवं प्ररोह वृद्धि (Root and shoot sroth) :** ABA निम्न जल विभव (low water potenia) की परिस्थिति में जड़ें की वृद्धि को प्रेरित करते हैं । परन्तु प्ररोह की वृद्धि की संदमित करते हैं । अत : मूल प्ररोह अनुपात बढ़ जाता है । उच्च जल वि भव (high water potential) की स्थिति में यह प्ररोह वृद्धि को प्रेरित करता है ।
8. **शीत सहनशीलता (Cash hardiness) :** अनेक पादपों में बाहर से ABA उपचार करने पर शीत के कारण क्षति कम होती है ।
9. **ABA स्ट्रेस हॉर्मोन के रूप में (ABS as stress hormone) :** ABA विभिन्न प्रतिकूल परिस्थितियों जैसे बाढ़, सूखा, लवण न्यूनता (mineral deficiency) चोट (injur), जलाभाव (water stress) में पाये जाने वाले पादपों में स्ट्रेस हॉर्मोन के रूप में कार्य करता है ।

इस समय पत्तियों में ABA की सान्द्रता बहुत बढ़ जाती है । विशेषकर जलाभाव (weter stress) की अथवा लवणता (salinity) की परिस्थिति में पत्तियों में ABA की सान्द्रता बहुत बढ़ जाती है । विशेष कर जलाभाव (water stress) की अथवा लवणता (salinity) की परिस्थिति में पत्तियों में ABA की सान्द्रता 50 गुना तक भी बढ़ जाती है । ABA की उपस्थिति के कारण रन्ध्र बन्द हो जाते हैं तथा वाष्पोत्सर्जन से होने वाली जल क्षति रुक जाती है ।

बोध प्रश्न - 5

1. जीर्णता तथा रन्ध्रों के बन्द होने को प्रेरित करने वाले हॉर्मोन का नाम बताइए ।

....

....

2. ABA का संश्लेषण कहाँ होता है ।

....

....

3. जलाभाव की स्थिति में किस हॉर्मोन की सान्द्रता बहुत बढ़ जाती है?

....

....

4. ABA की रासायनिक प्रकृति के बारे में लिखिए ।

....

....

5. ABA किस प्रकार प्रक्रियाओं को नियंत्रित करता है?

....

....

6. निम्न जल विभव में ABA क्या करता है?

....

....

16.3 सारांश

इस इकाई को पढ़ने के बाद आपको पादप हॉर्मोन के बारे में जानकारी प्राप्त हुई । पादप हॉर्मोन्स के रूप में ऑक्सिन को सबसे पहले जाना गया । ये वृद्धि प्रवर्धक हॉर्मोन्स होते हैं जो वृद्धि दर को बढ़ाते हैं । पौधे की सभी कोशिकाएँ ऑक्सिन संश्लेषण में सहायक होती है । ट्रिप्टोफेन नामक अमीनो अम्ल से इनका संश्लेषण होता है । ऑक्सिन दो स्वरूपों में पाई गई है मुक्त और बन्धित तथा इसका स्थानान्तरण फ्लोयम मृदुतक तथा संवहन पूलों के परिधीय भागों में स्थित मृदुतकी कोशिकाओं के माध्यम से होता है ।

पौधों में ऑक्सिन का क्षरण एन्जाइमी ऑक्सीकरण द्वारा होता है, तथा इसके लिए उत्तरदायी एन्जाइम IAA ऑक्सीडेज कहलाता है । ऑक्सिन के कई कार्यों के बारे में भी इस इकाई में पूर्ण जानकारी दी गई ।

इस अध्याय से आपने जाना कि जिब्बरेलिन दूसरा महत्वपूर्ण वृद्धि हॉर्मोन है । यह रोग एक कवक **जिबरेला फ़्यूजीकोराई** के द्वारा पौधों में फैलता है । प्रकृति में यह व्यापक रूप से' पाया जाते हैं तथा अम्लीय प्रकृति के होते हैं । इसका जैव संश्लेषण मुख्यत : भ्रूण तरुण पत्तियों तथा मूलाग्र में होता है । अपरिपक्व बीजों में इनकी मात्रा सर्वाधिक होती हैं तथा तरुण पत्तियों इनके जैव संश्लेषण का प्रमुख स्थल है ।

इस अध्याय में आपने जिब्बरेलिन क्रियाशीलता के अन्तर्गत पादप वृद्धि तथा परिवर्धन में जिब्बरेलिन की भूमिका के बारे में भी जानकारी प्राप्त की । जिसमें मुख्य यह बतलाया गया कि

जिब्बरेलिन स्तम्भ की लम्बाई में वृद्धि को प्रेरित करता है यह प्रभाव आनुवांशिकी छोटे (Dwarf) पौधों में अधिक स्पष्ट व प्रभावी होती है । जिब्बरेलिन व अनिषेकफलन को प्रेरित करने में आक्सिन की तुलना में कई गुना अधिक प्रभावशाली होता है ।
जिब्बरेलिन के कई कृषीय उपयोग भी है इसका उपयोग गन्ने के पौधों में लम्बाई में वृद्धि के लिए किया जाता है, जिससे इसका अधिक उत्पादन संभव है । माल्ट निर्माण तथा बीज निर्माण में भी जिब्बरेलिन का अनुप्रयोग किया जाता है ।
साइटोकाइनिन वे पादप हॉर्मोन है जो मुख्य रूप से कोशिका विभाजन को प्रेरित करते हैं । कोशिका दीर्घन पर इस हॉर्मोन का कोई विशेष प्रभाव नहीं होता है । सभी साइटोकाइनिन प्यूरीन के व्युत्पन्न होते हैं । प्राकृतिक रूप से पाये जाने वाले साइटोकाइनिन में जियाटिन सर्वाधिक सक्रिय माना जाता है । ये मुक्त और बन्दबद्ध दोनों रूपों में पाये जाते हैं । कुछ पदार्थों ने साइटोकाइनिन के समान सक्रियता पाई जाती है जो प्राकृतिक रूप से पौधों में नहीं पाये जाते हैं इन्हें कृत्रिम साइटोकाइनिन कहते हैं । मूलशीर्ष साइटोकाइनिन का मुख्य स्रोत है ।
साइटोकाइनिन के प्रभावों के बारे में भी इस अध्याय में विस्तृत जानकारी दी गई । ये अकेले कोशिका विभाजन में सक्षम नहीं होते हैं । ऑक्सिन के साथ मिलकर साइटोकाइनिन परिपक्व कोशिकाओं में भी कोशिका विभाजन को प्रेरित कर देते हैं । ऑक्सिन ,जिब्बरेलिन की तरह यह कोशिका विवर्धन को भी प्रेरित करते हैं ।
इस अध्याय से आपने जाना कि इथाइलीन पादप हॉर्मोन के रूप में समस्त उच्चवर्गीय पादपों में उत्पन्न होती है । यह एक गैसीय पदार्थ है तथा इसके अणु सूक्ष्म तथा जलविलेय होते हैं । इनका संश्लेषण मिथियोनिन नामक अमीनो अम्ल से होता है । यह वायु से भी हल्की होती है, इसका ऑक्सीकरण सरलता से किया जा सकता है ।
इथाइलीन अनेक क्रियाओं को नियंत्रित करती है । यह पादप में ऑक्सीकृत और संलग्न अवस्था में रहती है । फलों के प्राकृतिक परिपक्वन में इथाइलीन का महत्वपूर्ण योगदान है । इसे प्राकृतिक परिपक्वन हॉर्मोन माना गया है । पुष्पों के झड़ने में इथाइलीन की भूमिका मुख्य होती है । इसकी अधिकता उपापचयी क्रियाएँ बन्द हो जाती है जिससे पुष्पों की पंखुडियाँ मुरझा कर गिर जाती है । इथाइलीन का कृषि क्षेत्र में भी काफी महत्व है इसके लिए कुछ यौगिक जैसे इथेफोन का उपयोग किया जाता है जो ईथरल के नाम से जाना जाता है । इसके छिड़काव से पौधों में पुष्पन प्रेरित होता है, तथा सभी फल एक साथ पकते है जिससे इन्हें एक बार में ही तोड़ लिया जाता है उदाहरण. आम व अनानास ।
प्रस्तुत इकाई में आपने एब्लिसिक एसिड के बारे में जानकारी प्राप्त की । यह एक प्रमुख वृद्धि नियंत्रक हॉर्मोन है इसे स्ट्रेस हॉर्मोन के नाम से भी जाना जाता है । इसमें एक असममित कार्बन परमाणु पाया जाता है जिसके कारण यह दो समावयवी कपों (+) अथवा (-) में रह सकता है । ABA का मुख्य रूप से संश्लेषण परिपक्व पत्तियों में होता है । जहाँ से यह विभिन्न पादप अंगों मूल, स्तम्भ व पुष्पों को स्थानान्तरित होता है ।
इसके प्रमुख कार्यिकी प्रभाव के अन्तर्गत यह काष्ठीय पौधों में सुसुप्ता को बनाए रखता है, जीर्णता को प्रेरित करता है तथा पत्तियों में विगलन को त्वरित करता है । यह रन्ध्रों को बन्द करने में प्रभावी है यदि इस हॉर्मोन का प्रयोग पत्तियों पर किया जाए तो रन्ध्र बन्द हो जाते हैं और यदि पत्तियों में जल की कमी (water sterss) हो तो ABA की सान्द्रता बढ़ जाती है तथा

रन्ध्र बन्द हो जाते हैं ।

16.4 शब्दावली

प्ररोह	:	Shoot
नवोद्भिद	:	Seedlings
प्रांचुरचोल	:	Coleoptile
संवहन एधा	:	Cambium
जैवसंश्लेष्ण	:	Biosynthesis
वृद्धि	:	Growth
कोशिका विभाजन	:	Cell Division
कोशिका दीर्घन	:	Cell Elongation
अनप्रस्थ वृद्धि	:	Transvertse growth
समव्यासी वृद्धि	:	Isodiametric growth
विगलन	:	Abscission
जीर्णता	:	Senescence

16.5 संदर्भ ग्रन्थ

1. Bhatia & Parashar - Plant Physiology S. Chand & Co.
2. H.S Srivastava - Plant Physiology . Biochemistry & Biotechnology . Rastogi Publication Meerut.
3. Veer Bala Rastogi - A Text Book of Plant Physiology Emkay Publication - Delhi
4. डॉ. पी. सी. त्रिवेदी; निरंजन शर्मा, आर. एस. धनखड़ - पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन ।
5. डॉ. कैलाश अग्रवाल, ज्योत्सना शर्मा - पादप शरीर क्रियात्मक विज्ञान, जैव रसायन एवं जैव प्रौद्योगिकी ।

16.6 बोध प्रश्नों के उत्तर

बोध प्रश्न - 1

1. (a)ऑक्सिन (b) जिब्बरेलिन
2. इन्डोल एसिटिक अम्ल (I.A.A)
3. I.A.A
4. प्रकाश
5. शीर्ष विभज्योतक से पार्श्व में स्थित कलिकाओं की वृद्धि निरोधित हो जाती है ।
6. IAA क्लोरो इन्डो एसिटिक अम्ल, (प्राकृतिक ऑक्सिन)ए इन्डो ब्यूटिक अम्ल (IBA) 2, 4 -डाइक्तोरोफिनॉक्सी एसिटिक अम्ल (2,4,D)
7. मूल शीर्ष

बोध प्रश्न - 2

1. नव प्ररोह शीर्ष, नव शीर्ष, पत्तियाँ, कलिकाएँ, भ्रूण एवं बीजों में
2. गिब्बेन वलय
3. GA3
4. जीर्णता को स्थगित करने में, पुष्पन और बीजांकुरण प्रेरित करने में
5. लगभग 75 प्रकार के
6. जिब्बरेलिन

बोध प्रश्न - 3

1. (i) कोशिका विभाजन का आरंभन (ii) जीर्णता में देरी
2. संभवतया एडिनीन अथवा प्यूरीन एवं मेवालोनेट से
3. काइनेटिन
4. मूल शीर्ष में
5. प्राकृतिक जियाटिन, 2ip संश्लेषित - 6 -एमिनोखूरिन, 6 -बेन्नाइल एडोनिन
6. -परष्ठीरल एमीनोघूरीन

बोध प्रश्न - 4

1. इथाइलीन
2. मिथियोनिन से, विपरीत परिस्थितियों जैसे सूखा, बाढ़, जीर्णता, निम्न ताप, घात इत्यादि से प्रेरित होता है ।
3. इथाइलीन ऑक्साइड अथवा संलग्न अवस्था में ।
4. डी एन. बेल्जूवा ने
5. जलीय पादपों में होता है ।

16.7 अभ्यासार्थ प्रश्न

1. ऑक्सिन के पादपों पर प्रभाव के बारे में लिखिये
2. जिब्बरेलिन की खोज व प्रभाव के बारे में लिखिये ।
3. जिब्बरेलिन की रासायनिक प्रकृति, जैसे सश्लेषण व कार्यिक प्रभाव का विस्तृत वर्णन कीजिये।
4. साइटोकाइनिन की खोज व प्रभाव के बारे मे लिखिये ।
5. साइटोकाइनिन की रासायनिक प्रकृति, जैव सश्लेषण व कार्यिक प्रभावों का विस्तृत वर्णन कीजिये ।
6. इथाइलीन की खोज, महत्व व प्रभाव के बारे में लिखिए ।
7. निम्न पर टिप्पणियाँ लिखिये :
   (i) ऑक्सिन की क्रियाविधि
   (ii) ऑक्सिन का वितरण
   (iii) ऑक्सिन का कृषि में उपयोग
   (iv) ऑक्सिन की खोज
   (v) इथाइलीन का जैव संश्लेषण

(vi) ऑक्सिन तथा इथाइलीन में सम्बन्ध

(vii) एब्लिसिक अम्ल के कार्यिकी प्रभाव

(viii) स्ट्रेस हार्मोन

ISBN - 13/978-81-8496-011-2