314hi11

11

प्रकाशसंश्लेषण

प्रकाशसंश्लेषण (Photosynthesis - Photo = प्रकाश; Synthesis = जुड़ना, निर्माण) पृथ्वी पर होने वाली एकमात्र वह प्रक्रिया है जिस पर मनुष्य तथा समस्त जीवधारियों का जीवन निर्भर है। इस प्रक्रिया द्वारा हरे पौधे, शैवाल तथा हरित लवक–धारी जीवाणु, अकार्बनिक अणुओं से सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में अपना भोजन (कार्बनिक पदार्थ) बनाते हैं। असंख्य कार्बनिक अणुओं जिनसे मिलकर जीवित प्राणियों की रचना होती है प्रत्यक्ष अथवा अप्रत्यक्ष रूप से प्रकाशसंश्लेषण द्वारा ही निर्मित होते हैं। कार्बनिक पदार्थों के ऑक्सीकरण द्वारा संचित ऊर्जा का उपयोग प्राणी विभिन्न उपापचयी क्रियाओं के संचालन में करते हैं। यहाँ यह कहना महत्त्वपूर्ण है कि प्रकाशसंश्लेषण ही एकमात्र ऐसी प्राकृतिक प्रक्रिया है जो वातावरण में ऑक्सीजन छोड़ती है तथा सभी जीवित प्राणी श्वसन हेतु इसी ऑक्सीजन पर निर्भर हैं।

आप पाठ–4 में पढ़ चुके है कि हरितलवकों में प्रकाशसंश्लेषण क्रिया सम्पन्न होती है अथवा अन्य शब्दों में हरितलवक सौर–बैटरी की तरह कार्य करके कार्बोहाइड्रेटों का निर्माण करते हैं। इस पाठ में आप सीखेगें कि पौधे किस प्रकार प्रकाशसंश्लेषण करते हैं।

उद्देश्य

इस पाठ के अध्ययन के समापन के पश्चात आप :

- *प्रकाशसंश्लेषण को परिभाषित कर सकेंगें;*
- *हरितलवक में पाये जाने वाले विभिन्न वर्णको के नाम तथा हरितलवकों की अतिसूक्ष्म संरचना का विवरण चित्र सहित जान सकेगें;*
- *प्रकाशसंश्लेषण के विभिन्न आयामों की विवेचना कर सकेंगें;*
- *प्रकाशसंश्लेषण की प्रकाश (दीप्त) तथा अप्रकाशी (अदीप्त) अभिक्रियाओं में अंतर्निहित विभिन्न चरणों को समझ सकेगें;*
- *अवशोषण वर्णक्रम, इलेक्ट्रॉन–ग्राही, प्रकाश–फास्फेटीकरण एवं सक्रिय वर्णक्रम को परिभाषित कर सकेगें;*

- *अवशोषण वर्णक्रम एवं सक्रिय वर्णक्रम; दीप्त एवं अदीप्त अभिक्रियाएँ; चक्रीय एवं अचक्रीय फॉस्फेटीकरण; C_3 एवं C_4 प्रकाशसंश्लेषण में अंतर स्पष्ट कर सकेगें;*
- *प्रकाशसंश्लेषण को प्रभावित करने वाले पर्यावरणीय कारकों एवं आंतरिक कारकों की सूची बना सकेगें;*
- *उपयुक्त ग्राफों के माध्यम से सीमाकारकों के सिद्धांत का वर्णन कर सकेगें।*

11.1 प्रकाशसंश्लेषण

11.1.1 प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया के महत्त्व के विषय में जानें

महत्त्व

1. हरे पौधों में एक वर्णक जिसे हरितलवक कहते है, पाया जाता है। यह ऊर्जा को ग्रहण, परिवर्तित एवं स्थानांतरित करके इसे पृथ्वी पर सभी जीवों के लिए उपलब्ध करा सकता है।
2. प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया में प्रकाश ऊर्जा का रूपांतरण रासायनिक ऊर्जा में होता है।
3. हरे पौधो के अलावा कोई भी जीव सौर ऊर्जा का सीधा उपयोग नहीं कर सकता है अत: सभी प्राणी अपने जीवन निर्वाह हेतु हरे पौधों पर निर्भर रहते हैं।
4. हरे पौधे अकार्बनिक पदार्थो से अपना कार्बनिक भोजन स्वयं बनाते हैं अत: उन्हें स्वपोषी कहते हैं जबकि अन्य जीव अपना भोजन स्वयं नहीं बना सकते अत: उन्हें विषमपोषी कहते हैं।
5. प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया के दौरान वातावरण में ऑक्सीजन मुक्त होती हैं जिससे पर्यावरण अन्य जीवों के जीवित रहने लायक बन पाता है।
6. प्रकाशसंश्लेषण द्वारा बने सरल कार्बोहाइड्रेट परिवर्तित होकर लिपिड, प्रोटीन, न्यूक्लिक अम्ल तथा अन्य कार्बनिक पदार्थो में बदल जाते हैं।
7. हरे पौधे एवं इनके उत्पाद सभी जीवधरियो के मुख्य भोजन हैं।
8. जीवाश्मीय ईंधन जैसे–कोयला गैस, तथा तेल इत्यादि भी प्राचीन भूगर्भीय काल के पेड़-पौधों के प्रकाशसंश्लेषण के ही उत्पाद है।

11.1.2 प्रकाशसंश्लेषण क्या है?

प्रकाशसंश्लेषण (Photo = प्रकाश; Synthesis = जोड़ना, संश्लेषण) वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा हरे पौधे सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में जल एवं कार्बन डाईआक्साइड के संयोग से कार्बोहाइड्रेटों का निर्माण करते हैं तथा इस प्रक्रिया में उप-उत्पाद (By-product) के रूप में ऑक्सीजन निर्मुक्त होती है। प्रकाशसंश्लेषण के विषय में अद्यतन जानकारी पिछले 300 वर्षो की खोजो का नतीजा है। इनमें से कुछ विशिष्ट प्रयोग नीचे बॉक्स में दिये गए हैं।

- जोसेफ प्रीस्ट्ले तथा इसके पश्चात् जान इंजेंनहॉज ने बताया कि पौधों में वायुमंडल से CO_2 को ग्रहण करने एवं वातावरण में ऑक्सीजन छोड़ने की क्षमता है।
- इंजेनहॉज ने यह भी बताया कि पौधो द्वारा ऑक्सीजन छोड़ने की प्रक्रिया सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति तथा पौधो के हरे भाग में ही होती हैं।
- रॉबर्ट हिल ने प्रदर्शित किया कि यदि पृथक्कृत हरितलवकों को इलेक्ट्रॉन ग्राही की उपस्थिति में प्रतिदीप्त किया जाए तो वह ऑक्सीजन मुक्त करते हैं तथा इलेक्ट्रॉन ग्राही अपचयित हो जाते हैं। इस अभिक्रिया को हिल प्रतिक्रिया कहते हैं। इसके द्वारा जल (प्रकाश अपघटन) को इलेक्ट्रॉन के स्रोत के रूप में प्रयोग करके कार्बन स्थिरीकरण द्वारा ऑक्सीजन एक उपोत्पाद के रूप में मुक्त होती है।

विश्लेषण का निरूपण निम्न रासायनिक समीकरण द्वारा किया जा सकता है

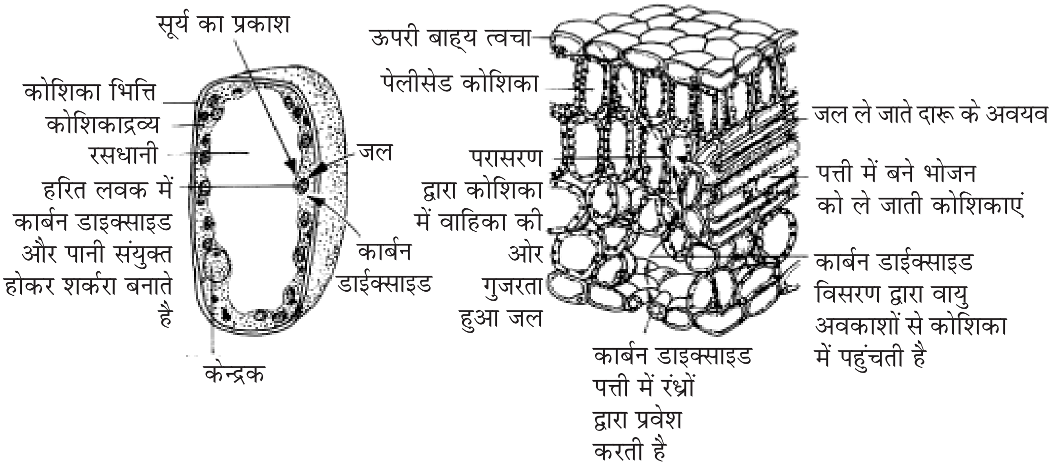
$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{सूर्य का प्रकाश}]{\text{पर्णहरिम}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

प्रकाशसंश्लेषण में CO_2 का स्थिरीकरण (अथवा अपचयन) कार्बोहाइड्रेटस (ग्लूकोज $C_6H_{12}O_6$) में हो जाता है। पानी का सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में विखंडन (पानी का प्रकाश अपघटन) होकर ऑक्सीजन मुक्त होती है। याद रखें कि निकलने वाली ऑक्सीजन पानी के अणु से आती है CO_2 से नहीं।

11.1.3 प्रकाशसंश्लेषण कहाँ होता है?

प्रकाशसंश्लेषण पौधो के हरे भाग मुख्यत: पत्तियाँ, कभी-कभी हरे तने एवं पुष्प कलिकाओं द्वारा भी होता है। पत्तियों की विशिष्टीकृत कोशिकाएँ जिन्हें मद्योतक कहते हैं, उनमें हरितलवक पाये जाते हैं। ये हरितलवक ही प्रकाशसंश्लेषण के वास्तविक कार्यशील केन्द्र हैं।

चित्र 11.1 को देखिये ताकि कोशिका संरचना और कार्य नामक पाठ (4) में हरितलवक की संरचना के विषय में जो कुछ आपने सीखा था, याद आ जाए।



चित्र 11.1 हरितलवक की संरचना

11.2 प्रकाशसंश्लेषी वर्णक

हरितलवक के थायलोकॉयड में ऐसे वर्णक विद्यमान होते है जो भिन्न-भिन्न तरंगदैर्ध्यों को अवशोषित करके प्रकाशसंश्लेषण की प्रकाशरासायनिक अभिक्रियाएं करते है। वर्णको का कार्य प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित कर उन्हें रासायनिक ऊर्जा में बदलना होता है। ये वर्णक हरितलवक झिल्लियों पर स्थित होते है और हरितलवक कोशिकाओं के भीतर इस प्रकार व्यवस्थित होते हैं ताकि ये झिल्लियाँ प्रकाश स्रोत के साथ समकोण बनाती हुई रहे और अधिक-से-अधिक प्रकाश अवशोषण होता रहे। उच्च पादपों में प्रकाशसंश्लेषी वर्णको को दो भागों में बाँटा गया है—हरितलवक एवं कैरोटेनायड।

हरितलवक प्रकाशसंश्लेषण क्रिया में भाग लेने वाला मुख्य संश्लेषी वर्णक हैं। यह एक बड़ा अणु है तथा यह बैंगनी नीला तथा दृश्य वर्णक्रम के लाल भाग में प्रकाश को अवशोषित करता है तथा हरे प्रकाश को परिवर्तित करता है इसलिए पत्तियाँ हरी दिखती है। कैरोटेनायड (कैरोटीन एवं जैन्थोफिल) वर्णक्रम के उस हिस्से के प्रकाश को अवशोषित करता है जो हरितलवक द्वारा अवशोषित नहीं होता।

हरितलवक 'ए' (एक विशिष्ट प्रकार का हरितलवक) सौर ऊर्जा को विद्युत एवं रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित करने वाला प्रमुख वर्णक है। अत: इसे अभिक्रिया केंद्र कहते हैं।

अन्य दूसरे वर्णक जैसे हरितलवक 'बी' एवं कैरोटेनॉयड को सहायी वर्णक कहते हैं क्योंकि ये वर्णक अवशोषित ऊर्जा को, हरितलवक 'ए' को स्थानांतरित कर देते हैं वर्णक, जैसे अभिक्रिया केंद्र (हरितलवक-ए) एवं सहायी वर्णक (हार्वेस्टिग केन्द्र) एक क्रियात्मक गुच्छों (समूहों) में एकत्र होते हैं इन्हें प्रकाश तंत्र कहते है। प्रकाश तंत्र दो प्रकार के होते हैं-PSI तथा PSII

एक प्रकाश तंत्र 250-400 वर्णक अणुओं से मिलकर बना होता है। दोनों प्रकाश तंत्रों के अभिक्रिया केंद्र में पर्णहरिम-ए की विभिन्न संरचनाएँ होती है। प्रकाश तंत्र I (PSI), में पर्णहरिम-ए का अभिक्रिया केंद्र 700mm (P_{700}) तरंगदैर्ध्य किरणों का अवशोषण करता है तथा प्रकाश तंत्र II (PS II) में अभिक्रिया केंद्र 680mm (P_{680}) का सर्वाधिक अवशोषण करता है। (P = वर्णक के लिए प्रयुक्त होता है) प्रकाश तंत्रों का प्राथमिक कार्य, आपस में प्रतिक्रिया करके सूर्य और सौर ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा (ATP) में बदलता है। दोनों प्रकाश तंत्रों में अंतर तालिका 11.1 में दिये गए है :

तालिका 11.1 प्रकाशतंत्र-I तथा प्रकाशतंत्र II में अंतर

प्रकाशतंत्र I	प्रकाशतंत्र II
प्रकाशतंत्र I में पर्णहरिम-'ए' के अभिक्रिया केंद्र में 700 mm तरगदैर्ध्य का सर्वाधिक अवशोषण होता है। इस अभिक्रिया केंद्र को P_{700} भी कहते हैं।	प्रकाश तंत्र II में पर्णहरिम 'ए' के अभिक्रिया केंद्र में 680 mm तरंगदैर्ध्य का सर्वाधिक अवशोषण होता है। इस अभिक्रिया केंद्र को P_{680} भी कहते हैं
प्राथमिक इलेक्ट्रॉनग्राही एक लौह-प्रोटीन (Fe-S प्रोटीन) होता है।	प्राथमिक इलेक्ट्रॉन ग्राही एक रंगहीन पर्णहरिम जिसमें मैग्नीशियम का अभाव होता है उसे फियोफिल-*a* भी कहते हैं
इसमें इलेक्ट्रॉन वाहको का समूह : जैसे प्लास्टोसानिन, फैरिडॉक्सिन एवं साइटोक्रोम विद्यमान होते हैं	इसमें इलेक्ट्रॉन वाहकों का समूह जैसे : फियोफाइटिन, प्लास्टोकुइनॉन, एवं साइटोक्रोम विद्यमान होते हैं।

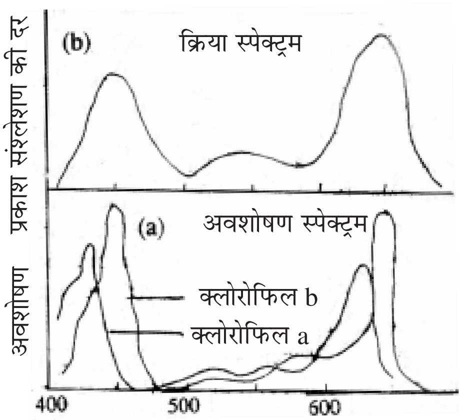
11.3 प्रकाशसंश्लेषण में सूर्य के प्रकाश का कार्य

सूर्य का प्रकाश ऊर्जा की छोटी-छोटी कणिकाओं अथवा सवेष्टनों का बना होता है जिन्हें ''फ़ोटोन'' कहते हैं। एकल फ़ोटोन को क्वांटम भी कहते हैं। पर्णहरिम का क्या कार्य है? पर्णहरिम प्रकाश ऊर्जा का अवशोषण करते हैं।

> पर्णहरित अणु प्रकाश ऊर्जा को अवशोषित करके उत्तेजित अवस्था में आ जाता है तथा बाहरी कक्ष में एक इलेक्ट्रॉन का त्याग कर देता है। कोई भी प्रदार्थ उत्तेजित अवस्था में अधिक देर तक नहीं रह सकता। अत: ऊर्जा युक्त एवं उत्तेजित पर्णहरित अणु, निम्न ऊर्जा स्तर अथवा तलीय अवस्था में आ जाता है तथा इस प्रक्रिया में यह **अणु ऊर्जा निकलता है।** यह ऊर्जा ताप, प्रतिदीप्ती अथवा कुछ कार्य करने में खर्च होती है। प्रकाशसंश्लेषण में यह ऊर्जा जल के विखंडन द्वारा H^+ तथा OH^- आयन बनाने में प्रयुक्त होती है।
>
> केरोटिन एक नारंगी एवं पीले रंग का वर्णक हैं। यह पर्णहरित के साथ थायलेकॉयड झिल्ली में पाया जाता है। यह अणु टूट कर **विटामिन अणु** बनाता है।

अवशोषण एवं क्रिया-वर्णक्रम (स्पेक्ट्रम)

प्रकाशसंश्लेषण की प्रक्रिया, (जो प्रकाश से सक्रिय होती है) का अध्ययन करते समय यह महत्त्वपूर्ण है कि हम इस प्रक्रिया के लिए क्रिया-स्पेक्ट्रम निर्धारित कर ले और इसका उपयोग प्रक्रिया में अंतर्निहित वर्णको को पहचानने के लिए करें। क्रिया-स्पेक्ट्रम वह ग्राफ है जो प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया को उद्दीप्त करने में प्रकाश की विभिन्न तरंगदैर्ध्यों (VIBGYOR) की प्रभाविता दर्शाता है। किसी वर्णक द्वारा विभिन्न तरंगदैर्ध्यों वाले प्रकाश की आपेक्षिक अवशोषकता के ग्राफ को अवशोषण स्पेक्ट्रम कहते हैं। प्रकाशसंश्लेषण के लिए क्रिया स्पेक्ट्रम को चित्र 11.2 में दर्शाया गया है जिसमें साथ-साथ सभी प्रकाश संश्लेषी वर्णकों के लिए अवशोषण-स्पेक्ट्रम भी दिखाया गया है। इस ग्राफ में घनिष्ट समानता पर ध्यान दीजिए, जिससे यह संकेत मिलता है कि विभिन्न वर्णक, विशेषत: पर्णहरिम श्रेणी के वर्णक ही प्रकाशसंश्लेषण में प्रकाश के अवशोषण के लिए उत्तरदायी है। सभी तरंगदैर्ध्यों का प्रकाश समान रूप से प्रकाशसंश्लेषण के लिए प्रभावी नहीं होता है। प्रकाशसंश्लेषण की दर पर कुछ तरंगदैर्ध्यों में कम तथा कुछ में अधिक होती है।



चित्र 11.2 विद्युत् चुंबकीय विकिरण का वर्णक्रम क्रिया-स्पेक्ट्रम

> प्रकाशसंश्लेषण हरे एवं पीले प्रकाश में बहुत कम होता है, क्योंकि ये किरणें पत्तियों से परावर्तित हो जाती है। प्रकाशसंश्लेषण **नीले एवं लाल प्रकाश में सर्वाधिक होता है।**

पाठगत प्रश्न 11.1

1. (i) प्रकाशसंश्लेषण को परिभाषित कीजिये।

   ....

   (ii) प्रकाशसंश्लेषण का व्यापक सामान्य रासायनिक समीकरण दीजिए।

   ....

2. (i) प्रकाश संश्लेषी वर्णको की दो श्रेणियों के नाम बताइये?

   ....

   (ii) किन वर्णकों को सहायी-वर्णक कहते हैं?

   ....

3. (i) पर्णहरिम अणु अपने ऊपर पड़ने वाले प्रकाश का क्या करते हैं?

   ....

   (ii) कौन सा वर्णक लाल तरंग दैर्ध्य वाले प्रकाश का अवशोषण करता है?

   ....

4. (i) प्रकाशसंश्लेषण की दर किस प्रकाश में सबसे कम तथा किस प्रकाश में सर्वाधिक होती है?

   ....

   (ii) प्रकाशसंश्लेषण में किस प्राकर की ऊर्जा का उपयोग होता है। पौधों में यह ऊर्जा किस रूप में संचित हो जाती है।

   ....

5. प्रकाशसंश्लेषण में मुक्त होने वाली ऑक्सीजन का स्रोत क्या है, कार्बन डाइऑक्साइड अथवा जल?

   ....

11.4 जैवरासायनिक एवं जैवसंश्लेषणात्मक अवस्था

- प्रकाशसंश्लेषण की संपूर्ण प्रक्रिया हरितलवक में संपन्न होती है। हरितलवक की संरचना इस प्रकार होती है कि प्रकाश पर निर्भर (प्रकाश अभिक्रिया) तथा प्रकाश की अनुपस्थिति (अदीप्त अथवा अप्रकाशी अभिक्रिया) हरितलवक के विभिन्न भागों में होती है।

- थायलेकायड में वर्णक तथा अन्य सहायक अवयव पाए जाते हैं जो प्रकाश को अवशोषित कर इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण द्वारा प्रकाश अभिक्रिया अथवा इलेक्ट्रॉन परिवहनशृंखला प्रारंभ करते है।

- इलेक्ट्रॉन परिवहनशृंखला में प्रकाश तंत्र I तथा प्रकाश तंत्र II में प्रकाश अवशोषण द्वारा इलेक्ट्रॉन उच्च ऊर्जा स्तर में जाते हैं अर्थात् इलेक्ट्रॉन उत्तेजना-ऊर्जा उपार्जित कर लेता है। जैसे ही इलेक्ट्रॉन ऊर्जा ग्रहण करता है तो वह इलेक्ट्रॉन ग्राही द्वारा ग्रहण कर लिया जाता है तथा उसका अपचयन हो जाता है तथा इस प्रकार PSI_{700} तथा $PSII_{680}$ के अभिक्रिया केंद्र ऑक्सीकृत अवस्था में आ जाते हैं।

- यह प्रकाश ऊर्जा के रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तन को व्यक्त करता है। अब इलेक्ट्रॉन नीचे-नीचे की तरफ यात्रा करता हुआ, ऊर्जा की भाषा में कहें तो ऑक्सीकरण-अपचयन अभिक्रयाओं की एकशृंखला में एक इलेक्ट्रॉन ग्राही से दूसरे इलेक्ट्रॉन ग्राही तक बढ़ता जाता है। यह इलेक्ट्रॉन प्रवाह ATP के निर्माण के साथ जुड़ा होता है। इसके NADH भी $NADH_2$ में अपचयित होता है। प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद जिनमें अपचायक क्षमता ($NADPH_2$ + ATP) होती है। थायलेकायड से निकलकर स्ट्रोमा में आ जाते हैं।

- स्ट्रोमा में द्वितीय चरण (अदीप्त अथवा अप्रकाशी अभिक्रिया अथवा जैव संश्लेषणात्मक पथ) जिसमें कार्बन डाईऑक्साइड, प्रथम चरण में बने अपचायक पदार्थो द्वारा कार्बोहाइड्रेटों में अपचयित हो जाती है।

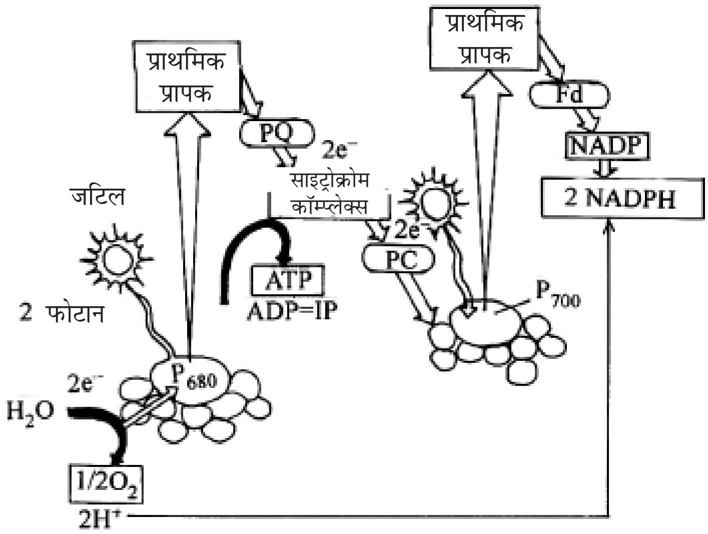
11.4.1 प्रकाशसंश्लेषण में इलेक्ट्रॉन परिवहन शृंखला

इस प्रक्रिया का प्रारंभ प्रकाशतंत्र II (PS II) द्वारा प्रकाश ऊर्जा अवशोषित कर उसे अपने अभिक्रिया केंद्र, P_{680} को पहुँचाने से होता है। जब P_{680} प्रकाश अवशोषित करता है तो यह उत्तेजित अवस्था में आ जाता है तथा इसके इलेक्ट्रॉन, एक इलेक्ट्रॉन ग्राही द्वारा ग्रहण कर लिए जाते हैं तथा यह स्वयं तलीय अवस्था (निम्न ऊर्जा स्तर) में आ जाता है परंतु P_{680} इलेक्ट्रॉन त्याग कर ऑक्सीकृत हो जाता है तथा जिसके फलस्वरूप ये जल विखंडन द्वारा ऑक्सीजन के अणु मुक्त करता है। इस प्रकाश निर्भर जल विखंडन की क्रिया को **प्रकाश अपघटन** अथवा **प्रकाश लयन** कहते हैं। जल के विखंडन से इलेक्ट्रॉनों का निर्माण होता है, जो इलेक्ट्रॉन ;णात्मक P_{680} पर चले जाते हैं P_{680} जिन्होंने पहले अपने स्थानांतरित किए थे, इस प्रकार ऑक्सीकृत P_{680} पुनः अपने खोए हुए इलेक्ट्रॉनों को जल अपघटन द्वारा त्यागे इलेक्ट्रॉनों को ग्रहण कर लेता है।

प्राथमिक ग्राही अपने इलेक्ट्रॉन अपने से नीचे इलेक्ट्रॉन परिवहनशृंखला में त्याग देता है। इलेक्ट्रॉन अंत में प्रकाश तंत्र (PSI) I के अभिक्रिया केंद्र P_{700} में पहुँचाए जाते हैं। इस प्रक्रिया में ऊर्जा मुक्त होती है जो ATP में संचित हो जाती हे।

इसी प्रकार, प्रकाशतंत्र I (PSL) भी जब प्रकाश ऊर्जा अवशोषित करता है तो उत्तेजित अवस्था में आ जाता है तथा PSI का अभिक्रिया केंद्र P_{700} अपने इलेक्ट्रॉन, इलेक्ट्रॉनग्राही को देकर ऑक्सीकृत हो जाता है। ऑक्सीकृत P_{700} अपने इलेक्ट्रॉन, प्रकाश तंत्र II (PSII) से ग्रहण करता है जबकि प्रकाश तंत्र I (PSI) के प्राथमिक ग्राही अणु अपने इलेक्ट्रॉनों का स्थानांतरण एक अन्य इलेक्ट्रॉनवाहक NADP

द्वारा $NADPH_2$ बनाने हेतु करते हैं जो कि एक प्रबल अपचायक है। इस प्रकार हम देखते हैं कि जल के अणुओं से इलेक्ट्रॉनों का सतत प्रवाह PSII से PSI तथा अंत में NADP अणु तक होता है जो अपचयित होकर $NADPH_2$ बनाता है? $NADPH_2$ का उपयोग जैवसंश्लेषणात्मक पथ में CO_2 को कार्बोहाइड्रेटों में अपचयित करने में होता है।



चित्र 11.3 अचक्रीय प्रकाश-फास्फोरलीकरण
PQ = प्लास्टोक्वीनान; PC = प्लास्टोसायनिन FD = फैराडॉक्सिन

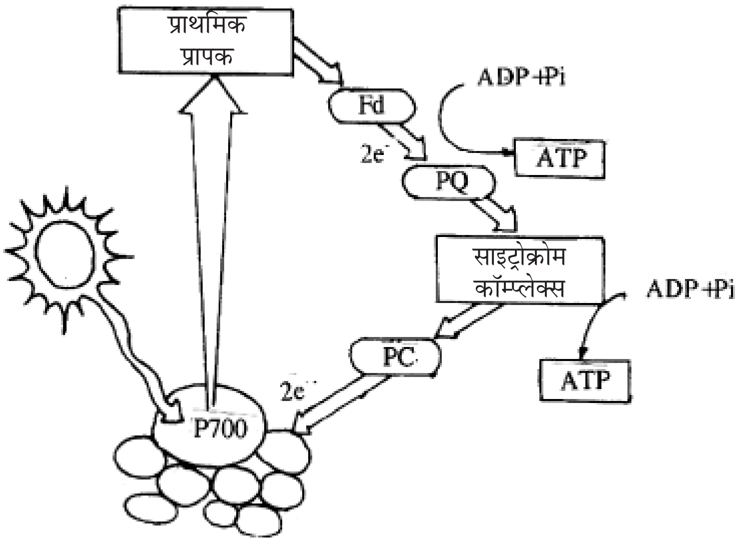
- CO_2 के कार्बोहाइड्रेट् में अपचयन के लिए ATP की आवश्यकता होती है जिनका उत्पादन इलेक्ट्रॉन परिवहनशृंखला द्वारा होता है। जब उच्च ऊर्जा युक्त इलेक्ट्रॉन, इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में निम्न स्तर पर जाते हैं तो वे ऊर्जा मुक्त करते हैं यह ऊर्जा अकार्बनिक फास्फेट (Pi) को ADP से जुड़कर ATP बनाती है तथा यह प्रक्रिया **फास्फोराइलेशन** कहलाती है। क्योंकि यह प्रकाश की उपस्थिति में होती है अत: इसे **प्रकाश-फास्फोरिलीकरण** कहते हैं।

  यह पर्णहरिम में दो प्रकार से होती है।

  (a) अचक्रीय-प्रकाश-फास्फोराइलेशन : इसमें इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह जल अणुओं से प्रकाश तंत्र II (PS II) उसके पश्चात् प्रकाश तंत्र I (PSI) तथा अंत में NADP को $NADPH_2$ में अपचयित करते हुए होता है। क्योंकि इसमें इलेक्ट्रॉनों का प्रवाह दिशाहीन होता है अत: इसे **अचक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण** कहते हैं। (चित्र 11.3)

  (b) प्रकाश फास्फोरिलीकरण : कुछ परिस्थितियों में जब अचक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण रुक जाता है, चक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण होता है तथा यह केवल प्रकाश तंत्र I (PSI) में होता है। इस प्रक्रिया में इलेक्ट्रॉन प्रवाह PSI से NADP की तरफ नहीं होता है, अपितु

इलेक्ट्रॉन ऑक्सीकृत P_{700} अभिक्रिया केंद्र पर वापस आ जाते हैं। इस प्रकार इलेक्ट्रॉनों के निम्न ऊर्जा स्तर स्थानांतरण से ATP निर्माण होता है तथा इसे **चक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण** कहते हैं। (चित्र 11.4)



चित्र 11.4 चक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण

तालिका 11.2 चक्रीय तथा अचक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण की तुलना

चक्रीय फास्फोरिलीकरण	अचक्रीय फास्फोरिलीकरण
1. केवल PSI सक्रिय होता है।	(i) PSI तथा PSII दोनों सक्रिय होते हैं।
2. इलेक्ट्रॉन पर्णहरित अणु से आते हैं तथा वापिस पर्णहरत अणु पर आ जाते हैं।	2. इलेक्ट्रॉन का स्रोत जल है तथा NADP इलेक्ट्रॉन अंतिम ग्राही है। इलेक्ट्रॉन तंत्र के बाहर चले जाते हैं।
3. अपचयित NADP ($NADPH_2$) का निर्माण नहीं होता है।	3. अपचयित NADP अर्थात् $NADPH_2$ का निर्माण होता है जिसका उपयोग CO_2 को कार्बोहाइड्रेट् में अपचयित करने में होता है।
4. ऑक्सीजन मुक्त नहीं होती है।	4. ऑक्सीजन उपोपत्पाद के रूप में मुक्त होती है।
5. यह प्रक्रिया मुख्यत: प्रकाशसंश्लेषी जीवाणुओं में होती है।	5. यह मुख्यत: हरे पौधों में होती है।

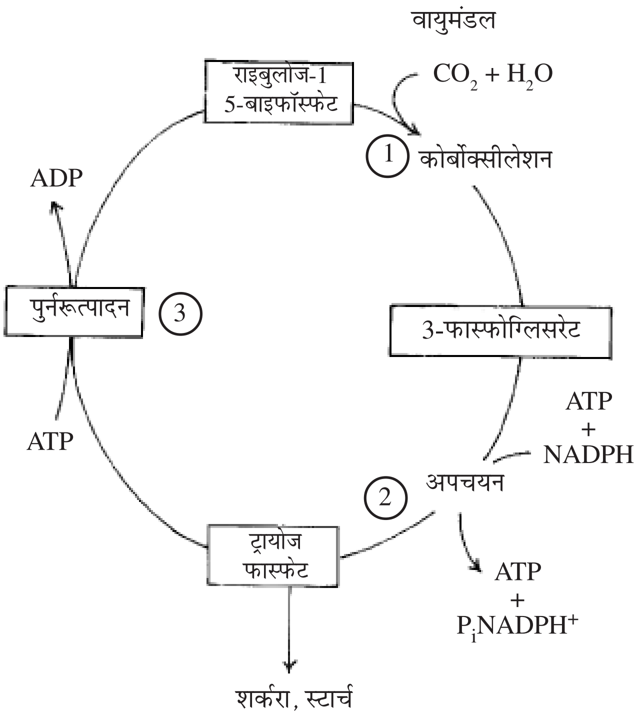
चक्रीय फास्फोरिलीकरण द्वारा अतिरिक्त ATP भी बनाए जा सकते हैं। प्रकाश अभिक्रिया की ऊर्जा परिवर्तन दक्षता अधिक होती है तथा इसका अनुमानित मान लगभग 39% होता है।

11.5 जैवसंश्लेषणात्मक पथ (अदीप्त अभिक्रिया)

- प्रकाश अभिक्रिया के दौरान बने $NADPH_2$ एवं ATP कार्बोहाइड्रेट के संश्लेषण के लिए अत्यंत आवश्यक है।
- अभिक्रियाओं कीश्रृंखला जो CO_2 का कार्बोहाइड्रेटों में अपचय उत्प्रेरित करती है पर्णहरिम के स्ट्रोमा में होती है। इसे **कार्बन डाइऑक्साइड का स्थिरीकरण** भी कहते हैं।
- ये अभिक्रियाएं प्रकाश पर निर्भर नहीं होती है अत: इनके लिए प्रकाश आवश्यक नहीं होता है लेकिन ये प्रकाश की उपस्थिति में भी हो सकती है अत: इन्हें अदीप्त अभिक्रिया या अप्रकाशी अभिक्रिया कहते हैं।
- कार्बन स्थिरीकरण अभिक्रियाओं द्वारा पत्तियों में शर्करा का निर्माण होता है जहाँ से पौधे के अन्य भागों में कार्बनिक अणुओं एवं ऊर्जा के रूप में अन्य भागों में स्थानांतरण कर दिया जाता है जो पौधों की वृद्धि एवं उपापचय के लिए आवश्यक है।
- CO_2 स्थिरीकरण (अदीप्त अभिक्रिया) मुख्यत: दो प्रकार से सम्पन्न होती है।

11.5.1 C_3 चक्र (इसे खोजकर्ता, मेल्विन केल्विन के नाम पर केल्विन चक्र भी कहते हैं)

इस चक्र में, आरंभ में वायुमंडलीय CO_2, 5 कार्बन शर्करा (रिब्यूलोज बाई फास्फेट) के द्वारा ग्रहण की जाती है तथा 3 कार्बन यौगिक के दो अणु, 3–फास्फ़ोग्लिसरिक अम्ल (PGA) बनते हैं। यह तीन कार्बन युक्त अणु इस पथ का प्रथम स्थायी उत्पाद है अत: इसे C_3–चक्र कहते हैं। PGA के निर्माण की प्रक्रिया को **कार्बोक्सिलीकरण** कहते हैं। यह अभिक्रिया एंजाइम रिबूलोज बाइफास्फास्फेट कार्बोक्सिलेज (Rubisco) द्वारा उत्प्रेरित होती है यह एंजाइम पृथ्वी पर संभवतया सबसे अधिक पाया जाने वाला प्रोटीन है।



चित्र 11.5 केल्विन चक्र

- दूसरे चरण में PGA का 3-कार्बन कार्बोहाइड्रेट जिसे ट्रायोस फास्फेट कहते हैं में $NADPH_2$ एवं ATP की सहायता से अपचयन हो जाता है। (प्रकाश अभिक्रिया में $NADPH_2$ एवं ATP प्राप्त होते है)। इनमें से अधिकांश अणु C_3 चक्र से निकल जाते हैं तथा उनका अन्य कार्बोहाइड्रेट जैसे ग्लूकोज एवं सूक्रोज के संश्लेषण में इस्तेमाल होता है।
- चक्र को पूरा करने के लिए, प्रारंभिक 5 कार्बन ग्राही अणु, (RUBP) का पुनरूत्पादन ट्रायोज फास्फेट से ATP अणु के द्वारा होता है तथा पुनः C_3 चक्र प्रारंभ हो जाता है।

11.5.2 C_4 चक्र (हैच एवं स्लैक चक्र)

C_4 चक्र ऐसे पौधों के लिए जो शुष्क एवं गर्म वातावरण में उगते हैं, एक अनुकूलन प्रतीत होता है। ऐसे पौधे कार्बन डाइऑक्साइड की अति अल्प मात्रा एवं स्टोमेटा छिद्रों के आंशिक रूप से बंद होने पर भी प्रकाशसंश्लेषण कर सकते हैं।

- ऐसे पौधे जल की अल्पमात्रा, उच्च ताप एवं उच्च प्रकाश में भी तीव्रता से उग सकते हैं–गन्ना, मक्का, ज्वार कुछ ऐसे पौधे है।
- प्रकाश-श्वसन (RUBP का ऑक्सीजन की उपस्थिति में ऑक्सीकरण) इन पौधों में अनुपस्थित होता है। अतः इनमें प्रकाशसंश्लेषण की दर उच्च होती है (प्रकाश-श्वसन के विस्तृत विवरण के लिए पाठ 12 का भाग 12.5 देखें)
- C_4 पौधों की पत्तियों में एक विशेष प्रकार की संरचना होती है जिसे **क्रैन्ज आकारिकी** (Kranz anatomy) कहते हैं। C_4 पौधों की पत्तियों की विशेषताएँ इस प्रकार हैं–

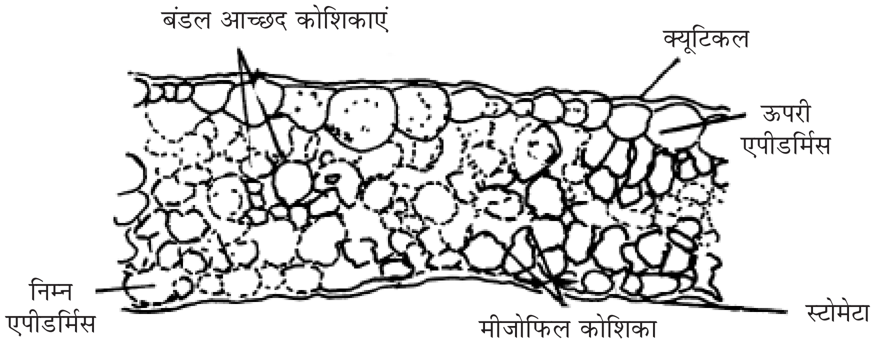
  (a) पत्तियों में प्रत्येक संवहनी बंडल के चारों तरफ मृदूतक कोशिकाओं का एक आच्छद होता है जिसे बंडल आच्छद कहते हैं जिसके कारण इसे **क्रैन्ज आकारिकी** भी कहते हैं। (क्रैन्ज अर्थात् आच्छद)

  (b) पत्तियों में दो प्रकार के हरितलवक (द्विरूपक हरितलवक) होते हैं।

  (c) पत्ती की मीसोफिल कोशिकाओं में अपेक्षाकृत छोटे हरितलवक होते हैं, उनमें सुविकसित ग्रैना भी होते हैं परंतु इनमें स्टॉर्च एकत्रित नहीं होता।

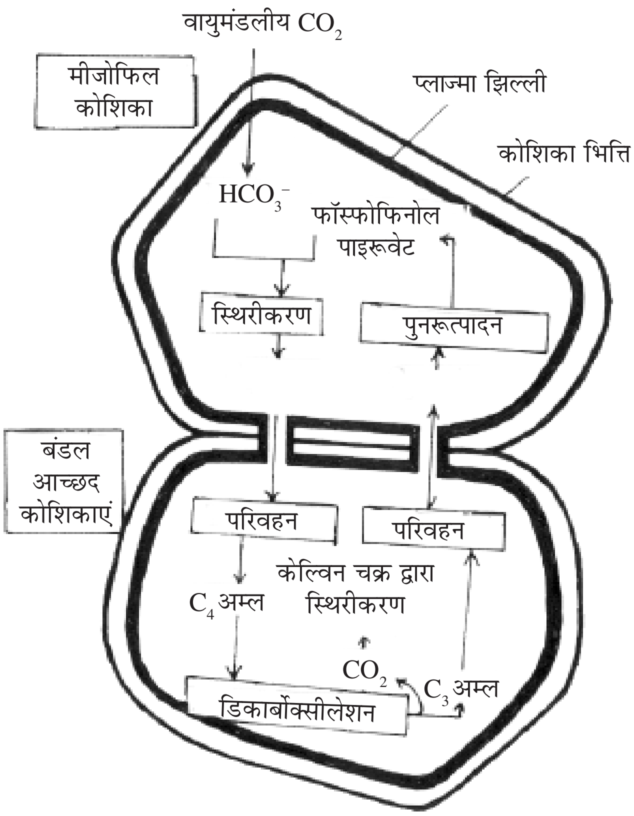
  (d) बंडल आच्छदकी कोशिकाओं के भीतर हरितलवक अपेक्षाकृत बड़े आकार के होते हैं और उनमें ग्रैना नहीं होते बल्कि उनमें असंख्य स्टार्च कण होते हैं (चित्र 11.6 देखें)

- C_4 पौधों में CO_2 का प्राथमिक ग्राही 3 कार्बन अणुयुक्त, फास्फोइनाल पायरूबिक अम्ल अथवा PEP होता है। यह फास्फोइनाल पायरूवेट कार्बोक्सेलेज (PEPCase) एन्जाइम की उपस्थिति में CO_2 के साथ मिलकर एक चार कार्बनयुक्त अम्ल, आक्सेलोएसिटिक अम्ल (OAA) बनाता है। CO_2 का यह स्थिरीकरण मीजोफिल कोशिका के कोशिका द्रव्य (Cytosol) में होता है। OAA इस चक्र का प्रथम चार कार्बन युक्त उत्पाद है अतः इसे C_4 पथ भी कहते हैं।



चित्र 11.6

- OAA मीजोफिल कोशिका से बंडल आच्छद के हरितलवक की ओर जाता है जहाँ पर ये CO_2 को छोड़ता है। इन कोशिकाओं में C_3 चक्र चलाता है तथा CO_2 तुरन्त RUBP से जुड़कर C_3 चक्र द्वारा शर्करा का निर्माण करती है।



चित्र 11.7

- अत: अप्रकाशी अभिक्रिया के C_4 चक्र चलता है तथा CO_2 तुरंत RUBP से जुड़कर C_3 चक्र द्वारा शर्करा का निर्माण करती है।

- अत: अप्रकाशी अभिक्रिया के C_4 चक्र में दो कार्बोक्सिलोज एंजाइम होते है।
  (i) PEPCase जो मीजोफिल कोशिकाओं में पाया जाता है तथा Rubisco जो बंडल आच्छद कोशिका में पाया जाता है।

C_3 एवं C_4 पौधों में अंतर नीचे तालिका 11.3 में दिए गए हैं।

तालिका 11.3 C_3 एवं C_4 पौधों में अंतर

	C_3 पौधे	C_4 पौधे
CO_2 का स्थिरीकरण	एक बार होता है।	दो बार होता हैं, प्रथम बार मीजोफिल कोशिकाओं में तथा दूसरी बार बंडल आच्छद कोशिकाओं में।
CO_2 ग्राही	RuBP, एक 5 कार्बन यौगिक	मीजोफिल कोशिकाओं में PEP (फास्फोइनाल-पायरूविक अम्ल), एक 5-कार्बन यौगिक तथा बंडल आच्छद कोशिकाओं में -RuBP
CO_2 स्थिरीकरण एन्जाइम	RuBP कार्बोक्सिलेज, इसकी दक्षता कम होती है।	PEP कार्बोक्सिलेज की दक्षता अधिक होती है क्योंकि CO_2 की मात्रा अधिक होती है।
प्रकाश-संश्लेषण का प्रथम उत्पाद	एक C_3 अम्ल, PGA	एक C_4 अम्ल जैसे ऑक्सेलोएसिटिक अम्ल
पत्ती संरचना	केवल एक प्रकार का हरित लवक होता है।	'क्रेन्ज आकारिकी' अर्थात् दो प्रकर की कोशिकाएँ जिनमें से प्रत्येक में अलग-अलग हरितलवक होता है।
प्रकाश-श्वसन	होता है; ऑक्सीजन प्रकाश-संश्लेषण के लिए सद्मंदक का कार्य करती है।	अधिक CO_2 मात्रा के द्वारा सद्मंदित रहता है इसलिए वायुमंडलीय ऑक्सीजन प्रकाश संश्लेषण को सदमंदित नहीं करती है।
दक्षता	C_4 पौधों की अपेक्षा प्रकाश संश्लेषण की दक्षता कम होती है। उपज प्राय कम होती है।	C_3 पौधों की तुलना में प्रकाशसंश्लेषण दक्षता अधिक होती है तथा उत्पाद अपेक्षाकृत अधिक मात्रा में

पाठगत प्रश्न 11.2

1. NADP का क्या कार्य है?

   ....

2. अप्रकाशी अभिक्रिया को अप्रकाशी अभिक्रिया क्यों कहते हैं?

   ....

3. निम्नलिखित एन्जाइमों के कार्य बताएं तथा यह भी बताएं कि वे कहाँ पाए जाते हैं?

   (i) रूविस्को (Rubisco) (ii) PEPCase

   ....

4. क्रैन्ज संरचना का वर्णन करिए।

   ....

5. C_4 पौधों की पत्तियों में पाए जाने वाली मीजोफिल कोशिकाओं एवं बंडल आच्छद कोशिकाओं के हरितलवकों में विभेद कीजिये।

   ....

6. C_3 पौधों की तुलना में C_4 पौधे अधिक दक्ष क्यों होते है?

   ....

7. प्रकाशसंश्लेषण अभिक्रिया के उन दो समुच्चयों के नाम बताए जिनमें प्रकाश ऊर्जा की आवश्यकता होती हैं।

   ....

11.6 प्रकाशसंश्लेषण की दर को प्रभावित करने वाले कारक

प्रकाशसंश्लेषण की दर को प्रभावित करने वाले कारकों को मुख्यत: दो भागों में बाँट सकते है–आंतरिक एवं बाह्य (वातावरणीय) कारक।

(i) आंतरिक कारक

1. **हरितलवक :** हरितलवक की मात्रा का प्रकाशसंश्लेषण की दर के साथ सीधा संबंध है। क्योंकि ये वर्णक प्रकाश ग्राही होता है तथा सूर्य के प्रकाश को ग्रहण कने के लिए उत्तरदायी होता है।

2. **पत्ती की आयु एवं संरचना :** बढ़ती पत्ती में वृद्धि के साथ-साथ संश्लेषण की दर बढ़ती है तथा सर्वाधिक तब होती है जब पत्ती पूर्ण परिपक्व होती है। जैसे पत्ती पुरानी पड़ती जाती है, हरितलवक की कार्यक्षमता कम हो जाती है। पत्ती में प्रकाशसंश्लेषण की दर को अनेक विभिन्नताएँ प्रभावित करती है। जैसे-

   (i) रंध्रों की संख्या, संरचना एवं वितरण।

   (ii) अंतरकोशिकीय स्थानों का आकार एवं वितरण।

   (iii) पैलिसेड एवं स्पंजी ऊतकों का आपेक्षिक अनुपात।

   (iv) क्यूटिकिल की मोटाई इत्यादि।

3. **प्रकाश संश्लेषी पदार्थों की माँग :** तेजी से बढ़ते पौधों के प्रकाशसंश्लेषण की दर परिपक्व पौधों से अधिक होती है। जब विभाज्योतक (Meristem) को हटाने से प्रकाशसंश्लेषण की माँग घट जाती है तो प्रकाशसंश्लेषण की दर घट जाती है।

(ii) बाह्यकारक

प्रकाशसंश्लेषण की दर को प्रभावित करने वाले प्रमुख बाह्य कारक है- तापमान, प्रकाश, कार्बनडाइऑक्साइड, जल तथा खनिज इत्यादि।

सीमाकारी कारकों की संकल्पना : जब कोई रासायनिक प्रक्रिया एक से अधिक कारकों से प्रभावित होती है, तब उस प्रक्रिया की दर उस कारक पर निर्भर रहती हैं जो अपने न्यूनतम मान के सबसे समीप हो अथवा सबसे कम मात्रा (या सांद्रता अथवा दर) में उपस्थित होने वाले कारक पर निर्भर करती है। सबसे कम मात्रा वाले कारक को सीमाब)कारक कहते हैं। उदाहरण के किए यदि प्रकाशसंश्लेषण के लिए जरूरीकारक, ताप, प्रकाश एवं CO_2 पर्याप्त मात्रा में हों तो प्रकाशसंश्लेषण की दर सर्वाधिक होगी परंतु इनमें से एक भी कारक की मात्रा यदि कम हो तो प्रकाशसंश्लेषण की दर घट जाती है। इसे ही सीमाकारी कारकों का नियम अथवा ब्लैकमेन का सीमाकारी नियम भी कहते हैं।

प्रकाश : प्रकाशसंश्लेषण की दर प्रकाश तीव्रता के साथ-साथ बढ़ती जाती है। केवल बादल घिरे दिन में प्रकाश कभी भी सीमाब) कारक नहीं होता।

एक विशिष्ट प्रकाश तीव्रता पर प्रकाशसंश्लेषण में प्रयुक्त होने वाली CO_2 तथा श्वसन के दौरान उत्सर्जित CO_2 की मात्रा समान होती हैं। प्रकाश तीव्रता के इस बिंदु को **समायोजन बिंदु** (Compensation point) कहते हैं।

प्रकाश का तरंगदैर्ध्य भी प्रकाशसंश्लेषण को प्रभावित करता है। लाल प्रकाश तथा कुछ हद तक नीला प्रकाश, प्रकाशसंश्लेषण की दर को बढ़ा देता है (सक्रिय वर्णक्रम देखें)।

तापमान : बहुत अधिक तथा बहुत कम तापमान प्रकाशसंश्लेषण की दर को कम करता है। प्रकाशसंश्लेषण की दर 5°-37°C तक बढ़ती हैं। परंतु इससे अधिक तापमान होने से इसमें तीव्र गिरावट आती है क्योंकि अधिक तापमान पर अप्रकाशी अभिक्रिया में भाग लेने वाले एंजाइम निष्क्रिय हो जाते हैं। 5-35°C के बीच प्रति 10°C तापमान बढ़ने पर प्रकाशसंश्लेषण की दर दुगनी हो जाती है अर्थात् $Q_{10} = 2$ (Q = गुणांक)।

कार्बन डाइऑक्साइड : कार्बन डाइऑक्साइड, प्रकाशसंश्लेषण की प्रमुख कच्ची सामग्री है। अतः इसकी सांद्रता अथवा मात्रा प्रकाशसंश्लेषण को प्रमुखता से प्रभावित करती है। यह वातावरण में अपनी अल्पमात्रा (0.03%) के कारण प्राकृतिक रूप से सीमाब) कारक के रूप में होती है। अनुकूल तापमान एवं प्रकाश तीव्रता पर यदि CO_2 की आपूर्ति बढ़ा दी जाए तो प्रकाशसंश्लेषण की दर प्रमुखता से बढ़ जाएगी।

जल : जल अप्रत्यक्ष रूप से प्रकाशसंश्लेषण की दर को प्रभावित करता है मृदा में पानी की कमी से पौधें द्वारा जल हानि को रोकने के लिए रंध्र बंद हो जाएगा। अतः CO_2 का वातावरण से अवशोषण नहीं हो सकेगा जिससे प्रकाशसंश्लेषण में कमी आ जाएगी।

खनिज यौगिक : कुछ खनिज यौगिक जैसे, ताँबा, मैंगनीज तथा क्लोराइड इत्यादि प्रकाशसंश्लेषी एंजाइमों के हिस्से है तथा मैंग्नीशियम हरितलवक का एक भाग है। अतः ये भी अप्रत्यक्ष रूप से प्रकाशसंश्लेषण की दर को प्रभावित करते हैं। क्योंकि ये हरितलवक तथा एंजाइमों के मुख्य घटक है।

11.7 रसायनीसंश्लेषण (Chemosynthesis)

जब पौधे प्रकाश ऊर्जा का उपयोग कर कार्बन डाइऑक्साइड को कार्बोहाइड्रेट में अपचयित कर अपना भोजन बनाते हैं तो उन्हें **प्रकाश संश्लेषी-स्वपोषी** कहते हैं। कुछ जीव अकार्बनिक पदार्थों के जैवीय ऑक्सीकरण द्वारा उत्पन्न रासायनिक ऊर्जा से कार्बन डाइऑक्साइड को कार्बोहाइड्रेट में अपचयित करते हैं। ये जीवाणु **रसायन-संश्लेषी स्वपोषी** कहलाते हैं। ये प्रक्रिया अनेक रंगहीन जीवाणुओं में पाई जाती है। क्योंकि ये जीवाणु कार्बन डाइऑक्साइड को कार्बोहाइड्रेट में अपचयित करने के लिए रासायनिक ऊर्जा का प्रयोग करते हैं अत: इस प्रक्रिया को **रसायनी-संश्लेषण** कहते हैं। हम **रसायनी-संश्लेषण** को इस प्रकार भी परिभाषित कर सकते हैं कार्बन स्वांगीकरण की वह विधि जिसमें CO_2 का अपचयन अकार्बनिक पदार्थों के ऑक्सीकरण द्वारा प्राप्त रासायनिक ऊर्जा द्वारा प्रकाश की अनुपस्थिति में होता है।

सामान्य रसायन संश्लेषी है :

(i) नाइट्रीकरण जीवाणु-नाइट्रोसोमोनास-ये NH_3 को NO_2 में ऑक्सीकृत करते हैं।

(ii) सल्फर जीवाणु

(iii) लौह-जीवाणु

(iv) हाइड्रोजन एवं मीथेन जीवाणु

रसायन-संश्लेषी एवं प्रकाशसंश्लेषण में अंतर

रसायनसंश्लेषी	प्रकाशसंश्लेषी
1. यह केवल रंगहीन वायवीय जीवाणुओं में होता है	1. यह हरे पौधे एवं हरे जीवाणुओं में होता है।
2. इस प्रक्रिया में CO_2 का कार्बोहाइड्रेट में अपचयन हरितलवक एवं प्रकाश की अनुपस्थिति में होता है।	2. CO_2 एवं H_2O प्रकाश एवं हरितलवक की उपस्थिति में कार्बोहाइड्रेट में परिवर्तित हो जाते हैं
3. यहाँ अकार्बनिक पदार्थो के ऑक्सीकरण से निकली ऊर्जा का उपयोग कार्बोहाइड्रेट के संश्लेषण में होता है	3. प्रकाश ऊर्जा रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित हो जाती है तथा कार्बोहाइड्रेट के रूप में संचित हो जाती है
4. इस प्रक्रिया में कोई वर्णक भाग नहीं लेता है तथा ऑक्सीजन भी मुक्त नहीं होती है	4. अनेक वर्णक भाग लेते है तथा ऑक्सीजन उपोत्पाद के रूप में मुक्त होती है
5. इसमें प्रकाश फास्फोरिलीकरण नहीं होता है	5. प्रकाश फास्फोरिलीकरण होता है अर्थात ATP का निर्माण होता है

11.8 रसायन-परासरणी संश्लेषण

इस प्रक्रिया में किसी झिल्ली के पार हाइड्रोजन आयन प्रवणता के रूप में भंडारित ऊर्जा को ADP और P_i से ATP सिन्थेज का संश्लेषण करने के लिए प्रयुक्त किया जाता है। ऊर्जा का इस्तेमाल करने वाला एंजाइम ATP होता है और ऊर्जा अथवा शक्ति का स्रोत झिल्ली के विपरीत पार्श्वों पर H^+ आयनों की सांद्रता में अंतर के कारण होता है। यह झिल्ली माइटोकॉनियाँ अथवा हरितलवक (क्लोरोप्लास्ट) की भीतरी झिल्ली होती है। ग्रीक भाषा में osmosis का अर्थ होता है 'धकेलना', और यहां झिल्ली के पार H^+ आयनों का प्रवाह ऊर्जा उपलब्ध कराता है अथवा ATP सिंथेज एंजाइम को धकेल देता है जो फिर ATP के संश्लेषण को उत्प्रेरित करता है।

हरितलवक रसायन-परासरण प्रक्रिया को प्रकाश संश्लेषण के दौरान ATP उत्पन्न करने के लिए प्रयुक्त करता है। प्राक्केंद्रकी प्राणियों में माइटोकॉन्ड्रियम और हरितलवक दोनों ही अंगक नहीं होते, ताकि वे प्लाज्मा झिल्ली के पार H^+ प्रवणता उत्पन्न कर सकें। वे इसका उपयोग ATP के संश्लेषण के लिए नहीं कर सकते हैं। पीटर मिचेल को ATP संश्लेषण के लिए रसायन-परासरण मॉडल प्रस्तुत करने के करण सन् 1978 में नोबेल पुरस्कार प्रदान किया गया।

पाठगत प्रश्न 11.3

1. प्रकाशसंश्लेषण को प्रभावित करने वाले आंतरिक कारकों की सूची बनाइए।

   ....

2. सीमाकारी कारकों के नियम का वर्णन करिए।

   ....

3. रसायन-सश्लेषी जीवाणुओं का एक उदाहरण दीजिए।

   ....

आपने क्या सीखा

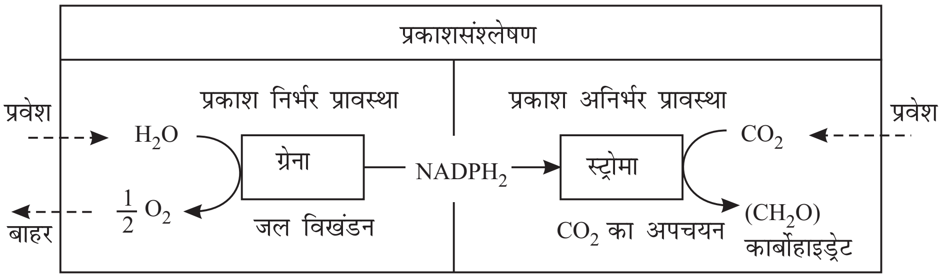
- प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया में हरे पौधे सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में CO_2 के साथ मिलकर कार्बोहाइड्रेट का निर्माण करते हैं
- प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया में हरितलवक में उपस्थित वर्णक (पर्णहरिम, कैरोटिनॉयड एवं जैन्थोफिल) प्रकाश ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित कर देते हैं
- प्रकाशसंश्लेषण सामान्यत: निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जाता है

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

- प्रकाशसंश्लेषण में दो अभिक्रियाएं होती हैं।
- प्रकाश अभिक्रिया : यह प्रकाश की उपास्थिति में ग्रैना में सम्पन्न होती है।
- अप्रकाशी अथवा अदीप्त अभिक्रिया : यह हरितलवक के स्ट्रोमा में होती है तथा प्रकाश पर निर्भर नहीं होती।
- प्रकाश ऊर्जा का उपयोग जल के विखंडन में होता है तथा CO_2 का वास्तविक अपचयन अप्रकाशी अभिक्रिया में होता है
- प्रकाश अभिक्रिया दो क्रियात्मक इकाईयों, प्रकाश तंत्र I (PSI) तथा प्रकाश तंत्र II (PS II) में होती है
- प्रकाश अभिक्रिया में ADP से ATP का फॉस्फोरिलीकरण, चक्रीय अथवा अचक्रीय विधियों द्वारा होता है।

- अप्रकाशी अभिक्रिया में रिबूलोज बाइ फास्फेट (RuBP) कार्बन डाइऑक्साइड को ग्रहण करता है तथा प्रथम स्थाई उत्पाद 3 PGA (फास्फो ग्लिसरिक अम्ल) बनता है। जो कि (केल्विन चक्र) द्वारा कार्बोहाइड्रेट का निर्माण करता है तथा RuBP का पुनरूत्पादन होता है।
- C_4 पौधो जैसे मक्का, ज्वार, बाजरा में CO_2 का प्राथमिक ग्राही मीजोफिल कोशिकाओं में होता है तथा प्रथम उत्पाद आक्सेलो एसिटिक अम्ल (OAA) होता है, जबकि बंड्ल आच्छद में CO_2 स्थिरीकरण केल्विन चक्र द्वारा होता है।
- C_4 पौधो की पत्तियों की संरचना में क्रैन्ज़ आकारिकी पायी जाती है इसमें संवहन बंडल के चारों तरफ मृदूतक कोशिकाओं का एक आच्छद होता है। इस आच्छद कोशिकाओं में अपेक्षाकृत बड़ें हरितलवक पाये जाते हैं। इनमें ग्रैना का अभाव होता है परंतु स्टार्च कण पाये जाते है। इसके विपरीत मीजोफिल कोशिकाओं में अपेक्षाकृत छोटे हरितलवक परंतु सुविकसित ग्रैना पाए जाते है।
- प्रकाशसंश्लेषण की दर वातावरणीय कारकों जैसे प्रकाश, तापमान, कार्बनडाइऑक्साइड एवं पानी तथा आंतरिक कारक जैसे–पत्ती की आयु, हरितलवक की मात्रा तथा पत्ती की आकारिकी से प्रभावित होती है।

प्रकाशसंश्लेषण सारांश



प्रकाश निर्भर प्रावस्था अथवा दीप्त अभिक्रिया	प्रकाश अ-निर्भर प्रावस्था अथवा अदीप्त अभिक्रिया
1. यह ग्रैना की थायलेकायड झिल्लियों में होती है	1. स्ट्रोमा में होती हैं
2. मुख्यत: यह एक प्रकाश रासायनिक परिवर्तन है जिसके लिए प्रकाश की आवश्यकता होती हैं।	2. जैव रासायनिक परिवर्तनों की एकशृंखला ही तथा प्रत्येक अभिक्रिया, एन्जाइमों द्वारा उत्प्रेरित होती है।
3. प्रकाश ऊर्जा के ATP तथा NADPH$_2$ के रूप में रासायनिक ऊर्जा में बदला जाता है; जल का ऑक्सीजन एवं हाइड्रोजन में विखंडन हो जाता है। हाइड्रोजन NADPH$_2$ से जुड़ जाती है तथा O_2 उपोत्पाद के रूप में मुक्त होती है	3. ATP एवं NADPH$_2$ की ऊर्जा द्वारा CO_2 को कार्बोहाइड्रेटस में अपचयित किया जाता है; इस प्रकाश-अनिर्भर अभिक्रिया को केल्विन चक्र कहते हैं
4. हरितलवक 300 अणुओं के समूह बनाते हैं जिन्हें प्रकाश तंत्र कहते हैं ये दो प्रकार के होते हैं PS I तथा PS II	4. CO_2 रिबूलोज बाइफास्फेट से जुड़कर ग्लिसरेट 2 फास्फेट के दो अणु बनाता है (यह प्रकाश संश्लेषण का प्रथम स्थाई उत्पाद है)

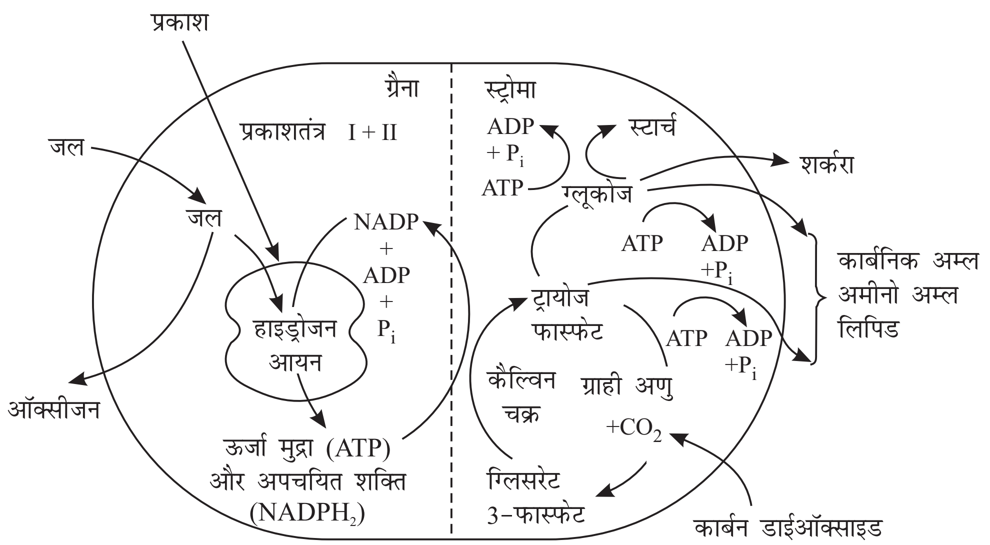
5. प्रकाश तंत्रों द्वारा अवशोषित प्रकाश ऊर्जा हरितलवक के इलेक्ट्रॉनों को उच्च ऊर्जा स्तर तक ले जाती है तथा ये अपनी ऊर्जा $NADPH_2$ को देते हैं; ATP का निर्माण होता है जल के विखंडन से उत्पन्न इलेक्ट्रॉन प्रकाश तंत्रों तथा $NADPH_2$ के निर्माण के लिए मिलते है

$$2H_2O + 2NADP \xrightarrow[\text{पर्णहरित}]{\text{प्रकाश}} O_2 + 2NADPH_2$$

$$ADP + P_i \xrightarrow[\text{पर्णहरित}]{\text{प्रकाश}} ATP \text{ (पर्याप्त किन्तु विभिन्न मात्रा)}$$

5. ग्लिसरेट 3-फास्फेट का अपचयन तीन कार्बन शर्करा ट्रायोस फास्फेट में हो जाता है। इसके पश्चात् अभिक्रियाओं कीशृंखला द्वारा ग्राही अणु का पुनरूत्पादन होता है तथा ट्रायोस फास्फेट से शर्करा, स्टार्च तथा अन्य पदार्थ बनते है

$$CO_2 + 3ATP + 2NADPH_2 \longrightarrow (CH_2O) + H_2O + 3ADP + 3P_i + 2NADP$$



पाठांत प्रश्न

1. प्रकाशसंश्लेषण प्रक्रिया का संक्षेप में वर्णन कीजिए।
2. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए (i) हरितलवक की परासंरचना (ii) प्रकाशसंश्लेषण में प्रयुक्त विभिन्न वर्णक।
3. कौन से वर्णक सहायी वर्णक कहलाते हैं तथा क्यो?
4. प्रकाशसंश्लेषण की दीप्त अभिक्रिया में इलेक्ट्रॉनों के पथ का विवरण दीजिए।
5. प्रकाश फास्फोरिलीकरण से आप क्या समझते हैं?
6. जल के प्रकाश अपघटन की विवेचना कीजिए तथा इसक महत्त्व बताइए।
7. प्रकाशसंश्लेषण की अदीप्त अभिक्रिया के दौरान होने वाली विभिन्न अभिक्रियाओं का वर्णन कीजिए।

8. C_3 पौधों एवं C_4 पौधो के बीच विभेद कीजिए।

9. प्रकाश तंत्र PS I एवं प्रकाश तंत्र PS II के बीच विभेद कीजिए।

10. दीप्त अभिक्रिया के उत्पाद तथा उनका भविष्य बताइये।

11. चक्रीय प्रकाश फास्फोरिलीकरण को ऐसा क्यों कहते है?

12. क्रैन्ज आकारिकी क्या होती है?

13. C_4 चक्र के दो कार्बोक्सिलेज एन्जाइमों के नाम बताइए।

14. रसायन संश्लेषी स्वपोषी क्या होते है?

15. CO_2 की मात्रा प्रकाशसंश्लेषण को किस प्रकार प्रभावित करती है।

पाठगत प्रश्नों के उत्तर

11.1 1 (i) इस प्रक्रिया द्वारा हरे पौधे सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में CO_2 एवं जल के द्वारा अपने भोजन (कार्बोहाइड्रेट) का निर्माण करते है

(ii) $$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{सूर्य का प्रकाश}]{\text{पर्णहरिम}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

2. (i) पर्णहरित एवं कैरोटिनॉयड

(ii) कैरोटिनॉयड एवं पर्णहरिम-b

3. (i) इसका अवशोषण करते हैं तथा इसे वैद्युतिक एवं रासायनिक ऊर्जा में बदल देते है

(ii) पर्णहरित-'ए' तथा 'बी'

4. (i) हरे एवं पीले प्रकाश में न्यूनतम तथा नीले एवं लाल प्रकाश में अधिकतम

(ii) प्रकाश ऊर्जा; रासायनिक ऊर्जा

5. जल के प्रकाश अपघटन से प्रकाश तंत्र-II में

11.2 1. NADP एक इलेक्टॉन ग्राही के रूप में कार्य करता है तथा $NADPH_2$ में अपचयित हो जाता है

2. इसको अदीप्त अभिक्रिया कहते हैं क्योंकि यह प्रकाश पर निर्भर नहीं है यह दोनों, अंधकार तथा प्रकाश में हो सकती है।

3. (i) रूबिस्को (Rubisco) C_3 चक्र का भाग है जो CO_2 से जुड़कर तीन कार्बन युक्त यौगिक PGA बनाता है

(ii) PEP Case C_4 चक्र का भाग है जो CO_2 से जुड़कर चार कार्बन अणु युक्त OAA बनाता है रूबिस्को C_3 पौधे की मीजोफिल कोशिकाओं तथा C_4 पौधे की बंडल आच्छद कोशिकाओं में पाया जाता है

PEPCase केवल C_4 पौधो की मीजोफिल कोशिकाओं में पाया जाता है

4. कृपया पाठ में देखें।

5. कृपया पाठ में देखे।

6. C_4 पौधे में प्रकाश श्वसन नहीं होता है अत: उनमें CO_2 की क्षति नहीं होती है।

7. (i) जल के प्रकाश अपघटन से

11.3 1. पत्ती की आयु, पर्णहरिम की मात्रा, पत्ती की आकारिकी (अंतर कोशिकीय स्थान तथा रन्धों का वितरण)

2. कृपया पाठ में देखें

3. नाइट्रोसोमोनास