NCERT के पूर्णतया संशोधित नवीनतम् पाठ्यक्रम पर आधारित

संजीव®

जीव विज्ञान

कक्षा-11 (भाग-2)

माध्यमिक शिक्षा बोर्ड, राजस्थान के विद्यार्थियों के लिए

लेखक :

डॉ. ओ.पी. दायमा
एम.एससी., पीएच.डी.
पूर्व उपनिदेशक कॉलेज शिक्षा,
राजस्थान, जयपुर

डॉ. बी.एस. कुमावत
एम.एससी., पीएच.डी.
पूर्व अतिरिक्त जिला शिक्षा अधिकारी,
जयपुर (राजस्थान)

संजीव प्रकाशन
जयपुर-3

मूल्य : ₹ 400/-

- प्रकाशक :

  संजीव प्रकाशन

  धामाणी मार्केट, चौड़ा रास्ता,

  जयपुर-3

  email : sanjeevprakashanjaipur@gmail.com
  website : www.sanjivprakashan.com

- © प्रकाशकाधीन

- **मूल्य : ₹ 400.00**

- लेजर कम्पोजिंग :

  संजीव प्रकाशन (D.T.P. Department), जयपुर

- मुद्रक :

  मनोहर आर्ट प्रिन्टर्स, जयपुर

  ****

- इस पुस्तक में त्रुटियों को दूर करने के लिए हर संभव प्रयास किया गया है। किसी भी त्रुटि के पाये जाने पर अथवा किसी भी तरह के सुझाव के लिए आप हमें निम्न पते पर email या पत्र भेजकर सूचित कर सकते हैं—

  email : sanjeevprakashanjaipur@gmail.com
  पता : प्रकाशन विभाग संजीव प्रकाशन
  धामाणी मार्केट, चौड़ा रास्ता, जयपुर

  आपके द्वारा भेजे गये सुझावों से अगला संस्करण और बेहतर हो सकेगा।
- यद्यपि इस पुस्तक को प्रकाशित करने में सभी सावधानियों का पालन किया गया है तथापि इस पुस्तक में प्रकाशित किसी त्रुटि के प्रति तथा इससे होने वाली किसी भी क्षति के लिए लेखक, प्रकाशक, संपादक तथा मुद्रक किसी भी रूप में जिम्मेदार नहीं हैं।
- सभी प्रकार के विवादों का न्यायिक क्षेत्र 'जयपुर' होगा।

भूमिका

NCERT के नवीनतम पाठ्यक्रम के अनुसार कक्षा 11 के विद्यार्थियों के लिए **जीव *विज्ञान भाग*-2** की इस अद्वितीय पुस्तक के संशोधित एवं परिवर्धित संस्करण को प्रस्तुत करते हुए मुझे अपार हर्ष हो रहा है। प्रस्तुत पुस्तक सरल एवं सहज भाषा में लिखी गई है ताकि छात्र विषय को आसानी से आत्मसात् कर सकें। ***यह पुस्तक कक्षा 11* के विद्यार्थियों के लिए तो उपयोगी है ही, साथ ही *मेडिकल की प्रवेश परीक्षा* (NEET) *की तैयारी कर रहे विद्यार्थियों के लिए भी अत्यन्त उपयोगी साबित होगी।*** आशा है कि विद्यार्थी वर्ग इससे लाभान्वित होगा तथा शिक्षक वर्ग मेरे इस प्रयास को सराहेगा। बाजार में उपलब्ध अन्य पुस्तकों की तुलना में इस पुस्तक की अनेक ऐसी ***विशेषताएँ*** हैं जिनके कारण यह एक अद्वितीय पुस्तक है—

1. विषय-वस्तु की भाषा-शैली को सरल-सहज व पूर्ण रूप से राजस्थान राज्य के अनुरूप रखा गया है जिससे कि विद्यार्थी ज्ञान को आसानी से समाहित कर सकें।
2. NCERT के सभी प्रश्नों का हल पुस्तक के प्रत्येक अध्याय में समायोजित है।
3. प्रत्येक अध्याय के अन्त में ***महत्त्वपूर्ण प्रश्न (वस्तुनिष्ठ,* रिक्तस्थान, *अतिलघूत्तरात्मक, लघूत्तरात्मक, एवं निबन्धात्मक) उत्तर सहित दिये गये हैं,*** जिससे विद्यार्थी में आत्मविश्वास उत्पन्न हो।
4. प्रत्येक अध्याय के अन्त में **विभिन्न प्रतियोगी परीक्षाओं में पूछे गये बहुविकल्पीय प्रश्नों *को भी हल सहित*** दिया गया है।

पुस्तक का नवीनतम संशोधित संस्करण नये कलेवर में प्रस्तुत किया जा रहा है। इसमें विषय विशेषज्ञों, शिक्षकों तथा पाठकों से प्राप्त बहुमूल्य सुझावों को भी उचित स्थान दिया गया है।

हमारे द्वारा भरसक प्रयास किया गया है कि यह पुस्तक विद्यार्थियों, अध्यापकों की आवश्यकताओं की पूर्ति करेगी तथा उनके लिए लाभदायक सिद्ध होगी।

हम उन सभी विद्वानों, लेखकों के आभारी हैं जिनसे हमें निरन्तर प्रेरणा एवं मार्गदर्शन प्राप्त होते रहे हैं।

इस पुस्तक के प्रकाशन हेतु हम संजीव प्रकाशन के भी अत्यन्त आभारी हैं जिनके अथक तथा सतत प्रयासों से इस पुस्तक का प्रकाशन हो पाया है।

लेखक अपने परिश्रमपूर्ण प्रयास को तभी सफल मानेंगे जब यह पुस्तक सम्बन्धित छात्रों के लिए अधिक से अधिक लाभदायक सिद्ध होगी। प्रस्तुत पुस्तक को और अधिक उपयोगी बनाने हेतु शिक्षकों एवं पाठकगण के बहुमूल्य सुझावों का सहर्ष स्वागत किया जायेगा। अत: हम उनके आभारी रहेंगे।

लेखक

डॉ. ओ.पी. दायमा

डॉ. बी.एस. कुमावत

विषय-सूची

इकाई चार - पादप कार्यकीय (Plant Physiology)

11. उच्च पादपों में प्रकाश-संश्लेषण
(Photosynthesis in Higher Plants) 1-27

12. पादप में श्वसन
(Respiration in Plants) 28-51

13. पादप वृद्धि एवं परिवर्धन
(Plant Growth and Development) 52-73

इकाई पाँच - मानव शरीर विज्ञान (Human Physiology)

14. श्वसन और गैसों का विनिमय
(Respiration and Exchange of Gases) 74-100

15. शरीर द्रव तथा परिसंचरण
(Body Fluids and Circulation) 101-134

16. उत्सर्जी उत्पाद एवं उनका निष्कासन
(Excretory Products and Their Elimination) 135-163

17. गमन एवं संचलन
(Locomotion and Movement) 164-192

18. तंत्रिकीय नियंत्रण एवं समन्वय
(Neural Control and Coordination) 193-212

19. रासायनिक समन्वय तथा एकीकरण
(Chemical Coordination and Integration) 213-244

जीव विज्ञान (कक्षा-11) भाग-2

इकाई-4. पादप कार्यकीय

उच्च पादपों में प्रकाश-संश्लेषण
(Photosynthesis in Higher Plants)

11 अध्याय

11.1. हम क्या जानते हैं? **(What We Know?)**
11.2. प्रारम्भिक प्रयोग **(Early Experiments)**
11.3. प्रकाश-संश्लेषण कहाँ सम्पन्न होता है? **(Where Photosynthesis Takes Place?)**
11.4. प्रकाश-संश्लेषण में कितने वर्णक भाग लेते हैं? **(How Many Pigments Take Part in Photosynthesis?)**
11.5 प्रकाश अभिक्रिया क्या है? **(What is Light Reaction?)**
11.6. इलेक्ट्रॉन परिवहन या प्रकाश अभिक्रिया **(Electron Transport or Light Reaction)**
  11.6.1. जल का प्रकाश विघटन (Photolysis of Water)
  11.6.2. चक्रीय एवं अचक्रीय फोटो-फोस्फोरीलेशन (Cyclic and Non-cyclic Photophosphorylation)
  11.6.3. रसोपरासरणी परिकल्पना (Chemiosmotic Hypothesis)
11.7. एटीपी तथा एनएडीपीएच कहाँ उपयोग होते हैं? **(At Which Place ATP and NADPH Used?)**
  11.7.1. CO_2 का प्राथमिकग्राही (First Acceptor of CO_2)
  11.7.2. कैल्विन-बैन्सन चक्र (Calvin-Benson Cycle)
11.8. पथ C_4 **(C_4 Path)**
11.9. प्रकाश श्वसन **(Photorespiration)**
11.10. प्रकाश-संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक **(Factors affecting Photosynthesis)**
  11.10.1. प्रकाश (Light)
  11.10.2. कार्बन डाइऑक्साइड की सांद्रता (Concentration of CO_2)
  11.10.3. तापक्रम (Temperature)
  11.10.4. जल (Water)

प्रस्तावना (Introduction)—सभी सजीवों की अपनी जैविक क्रियाएँ सम्पन्न करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यह ऊर्जा उन्हें भोज्य पदार्थों के ऑक्सीकरण के फलस्वरूप प्राप्त होती है। पौधों व प्राणियों में ऊर्जा प्राप्त करने की विधि में अन्तर होता है क्योंकि पौधे सूर्य के प्रकाश को सीधे ही रासायनिक ऊर्जा में रूपान्तरण करने में सक्षम होते हैं, जबकि प्राणी प्रत्यक्ष या अप्रत्यक्ष रूप से अपनी जैविक क्रियाएँ सम्पन्न करने के लिए आवश्यक ऊर्जा हेतु पादपों पर निर्भर रहते हैं। हरे पादप अपना भोजन स्वयं में उपस्थित हरे वर्णक जिसे **क्लोरोफिल** (Chlorophyll) कहते हैं, की उपस्थिति में मृदा द्वारा अवशोषित जल, वायुमण्डल से प्राप्त CO_2 व सूर्य से प्राप्त प्रकाश ऊर्जा को कार्बोहाइड्रेट रूपी **रासायनिक ऊर्जा** में रूपान्तरित कर प्राप्त करते हैं। अत: उपरोक्त तथ्यों के आधार पर प्रकाश-संश्लेषण को निम्न प्रकार से परिभाषित किया जा सकता है—

हरे पादपों द्वारा सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में वायुमण्डल से प्राप्त CO_2 व मृदा द्वारा अवशोषित जल को कार्बोहाइड्रेट रूपी रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित करना **प्रकाश-संश्लेषण** (Photosynthesis) कहलाता है। इसे निम्न समीकरण द्वारा बताया जा सकता है—

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

प्रकाश-संश्लेषण की क्रिया में ऑक्सीजन उप उत्पाद के रूप में मुक्त होती है।

11.1 हम क्या जानते हैं?
(What We Know?)

पूर्व कक्षाओं में प्रकाश-संश्लेषण को जानने के लिए कुछ साधारण प्रयोग किये जाते हैं। जिससे ज्ञात होता है कि प्रकाश-संश्लेषण के लिए **क्लोरोफिल** (पत्तियों का हरा वर्णक), **प्रकाश तथा CO_2** आवश्यक है।

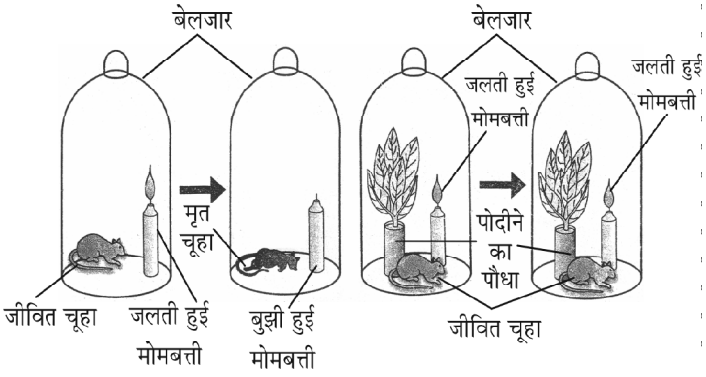
प्रयोग में यदि शबलित पत्ती (Variegated leaf) जैसे क्रोटन (Croton) या कोलियस (Coleus) को लेकर प्रकाश में रखा जाये तो स्टार्च का परीक्षण करने पर ज्ञात होता है कि स्टार्च का निर्माण केवल

पत्ती के हरे भाग में ही होता है। **शबलित पत्ती में सफेद व लाल रंग** के धब्बे होते हैं। इनमें क्लोरोफिल नहीं होता तथा इन स्थानों पर स्टार्च का निर्माण भी नहीं होता है। इसी प्रकार इस सम्बन्ध में एक प्रयोग और किया जाता है जिसे **मोल** (Moll's) का प्रयोग कहते हैं। इस प्रयोग में चौड़ी मुँह की बोतल लेते हैं, जिसमें थोड़ा-सा कास्टिक पोटाश (KOH) रख देते हैं। बोतल का मुँह बीच से चिरे हुए कॉर्क से बन्द कर देते हैं। एक गमले (इस गमले को 48 घण्टे तक अंधेरे में रखते हैं ताकि पत्तियाँ स्टार्च रहित हो जायें) में लगी स्टार्च रहित पत्ती का आधा भाग कॉर्क में होता हुआ बोतल के अन्दर घुसा देते हैं तथा पत्ती का शेष आधा भाग बोतल के बाहर रहता है। कुछ घण्टों तक प्रकाश में रखने के उपरान्त स्टार्च परीक्षण से ज्ञात होता है कि पत्ती का जो भाग बोतल में था, उसमें स्टार्च नहीं बना और जो भाग बाहर प्रकाश में था, उसमें स्टार्च बनता है। **बोतल में KOH ने CO_2** को सोख लिया, इस कारण पत्ती के अन्दर के भाग को CO_2 प्राप्त नहीं हुई। अत: इस प्रयोग से सिद्ध होता है कि **प्रकाश-संश्लेषण के लिए CO_2** आवश्यक है।

11.2 प्रारम्भिक प्रयोग (Early Experiments)

प्रकाश-संश्लेषण की प्रक्रिया क्रमिक विकसित हुई है :

● **जोसफ प्रीस्टले** (1733-1804) ने 1770 में अनेक प्रयोग किये। प्रीस्टले ने बताया कि प्रकाश-संश्लेषण की क्रिया में गैसों का आदान-प्रदान होता है। उन्होंने अपने प्रयोगों के आधार पर यह बताने का प्रयास किया कि पौधे जन्तुओं के द्वारा दूषित वायु को शुद्ध करते हैं। प्रीस्टले ने बेलजार में मोमबत्ती जलाने से अशुद्ध हुई वायु को पोदीने के पौधे द्वारा पुन: शुद्ध कर जन्तुओं के श्वसन योग्य बनाया (चित्र 11.1)।



चित्र 11.1 : प्रीस्टले का प्रयोग

● **जॉन इंजेन हाउज** (Jan Ingen Housz, 1730-1799) ने 1779 में सबसे पहले यह बताया कि पादपों के हरे भाग (पत्तियाँ व पर्णवृन्त) प्रकाश की उपस्थिति में वायु को शुद्ध करते हैं व अंधेरे में अशुद्ध करते हैं (अर्थात् प्रकाश की उपस्थिति में पादप वातावरण में O_2 मुक्त करते हैं व अंधेरे में CO_2 मुक्त करते हैं)। अत: **इंजेन हाउज ने सर्वप्रथम** प्रकाश-संश्लेषण की क्रिया में हरे वर्णक व प्रकाश का महत्त्व बताया। इंजेन हाउज ने अपने प्रयोग में एक जलीय पौधे के साथ यह दिखाया कि तेज धूप में पौधे के हरे भाग के आस-पास छोटे-छोटे बुलबुले बन गये थे, जबकि अंधेरे में रखे गये पौधे के आस-पास बुलबुले नहीं बने थे। बाद में इन बुलबुलों की पहचान O_2 के रूप में की थी। अत: उन्होंने बताया कि पौधे का केवल हरा भाग ही O_2 को छोड़ सकता है।

● **जूलियस वोन सैचस्** (Julius Von Sachs, 1854) ने बताया कि जब पौधा वृद्धि करता है तब ग्लूकोज (शर्करा) बनती है। ग्लूकोज प्राय: स्टार्च के रूप में संचित होता है।

● **टी.डब्ल्यू. एंजिलमैन** (T.W. Engelmann 1843-1909) ने प्रिज्म की सहायता से प्रकाश को स्पेक्ट्रमी घटकों से अलग किया और फिर एक हरे शैवाल क्लैडोफोरा (Cladophora) को जिसे ऑक्सी बैक्टीरिया के निलंबन में रखा गया था, को प्रदीप्त किया। बैक्टीरिया का उपयोग ऑक्सीजन निकलने का केन्द्र पता लगाने के लिए किया गया था। प्रयोग में देखा कि बैक्टीरिया मुख्यत: लाल एवं नीले प्रकाश क्षेत्रों में एकत्र हो गये थे। इस प्रकार प्रकाश-संश्लेषण का पहला सक्रिय स्पेक्ट्रम (Action spectrum) ज्ञात किया गया। यह क्लोरोफिल **'a'** एवं **'b'** के अवशोषण स्पेक्ट्रा से मेल खाता है।

19वीं सदी के मध्य तक पादप प्रकाश-संश्लेषण की सभी मुख्य विशिष्टताओं के विषय में ज्ञान हो चुका था जैसे कि, पौधे CO_2 तथा जल से प्रकाश ऊर्जा का उपयोग कर **कार्बोहाइड्रेट्स** बनाते हैं। इसे निम्न समीकरण द्वारा बताया जा रहा है—

$$CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{प्रकाश}} [CH_2O] + O_2$$

● **वॉन नील** (Van Niel, 1897-1985) के प्रयोग ने प्रकाश-संश्लेषण को समझने में मील के पत्थर का कार्य किया। उनका अध्ययन बैंगनी (Purple) एवं हरे बैक्टीरिया पर आधारित था। उन्होंने बताया कि प्रकाश-संश्लेषण एक प्रकाश आधारित क्रिया है जिसमें ऑक्सीकरणीय यौगिक से प्राप्त हाइड्रोजन, CO_2 को अपचयित करके कार्बोहाइड्रेट बनाते हैं। इसे निम्न समीकरण द्वारा बताया जा सकता है—

$$2H_2A + CO_2 \xrightarrow{\text{प्रकाश}} 2A + CH_2O + H_2O$$

हरे पौधे हाइड्रोजन दाता हैं और ऑक्सीकृत होकर O_2 देते हैं। कुछ जीव प्रकाश-संश्लेषण के दौरान O_2 मुक्त नहीं करते हैं जब H_2S बैंगनी एवं हरे बैक्टीरिया के लिए हाइड्रोजन दाता होता है तो 'ऑक्सीकरण' उत्पाद जीवों के अनुसार सल्फर अथवा सल्फेट होता है न कि ऑक्सीजन। इससे उन्होंने निष्कर्ष निकाला कि हरे पौधों द्वारा निकाली गई ऑक्सीजन H_2O से आती है, न कि CO_2 से। बाद में यह बात रेडियो-आइसोटोपिक तकनीक के उपयोग से सही प्रमाणित हुई। अत: कुल प्रकाश-संश्लेषण को दर्शाने वाली समीकरण निम्न प्रकार से है—

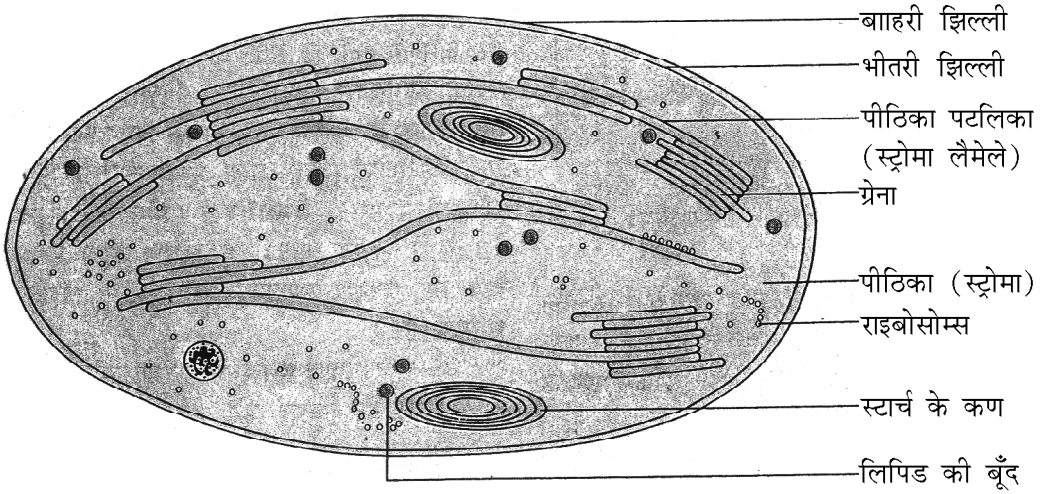
$$6\,CO_2 + 12H_2O \xrightarrow{\text{प्रकाश}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$$

● **रुबन, केमन तथा हाशीद** (Ruben, Kemen and Hassid, 1941) ने रेडियो ट्रेसर विधि द्वारा O^{18} नामक रेडियोएक्टिव O_2 का उपयोग करके सिद्ध किया कि प्रकाश-संश्लेषण के दौरान O_2 की उत्पत्ति H_2O से होती है, न कि CO_2 से।

$$6CO_2 + 12H_2O^{18} \xrightarrow[\text{क्लोरोफिल}]{\text{प्रकाश}} C_6H_{12}O_6{}^{16} + 6H_2O + 6O_2{}^{18}$$

11.3 प्रकाश-संश्लेषण कहाँ सम्पन्न होता है? (Where Photosynthesis Takes Place?)

प्रकाश-संश्लेषण पादपों के हरे भागों में होता है। यह हरा रंग वर्णक क्लोरोफिल के कारण होता है। क्लोरोफिल क्लोरोप्लास्ट में होते हैं। पत्तियों की पर्णमध्योतक (mesophyll) ऊतकों में प्रचुर मात्रा में क्लोरोप्लास्ट होते हैं। क्लोरोप्लास्ट में एक झिल्ली तंत्र होता है जिसमें ग्रैना, स्ट्रोमा लैमेले (stroma lamellae) और स्ट्रोमा तरल (stroma fluid) होता है (चित्र 11.2)। क्लोरोप्लास्ट में सुस्पष्ट श्रम विभाजन (division of labour) क्लोरोप्लास्ट के झिल्ली तंत्र प्रकाश-ऊर्जा को ग्रहण करता है और ATP एवं NADPH का संश्लेषण करता है। स्ट्रोमा में एंजाइमैट्रिक प्रतिक्रिया होती है जो CO_2 से शर्करा का संश्लेषण करता है जो बाद में स्टार्च में परिवर्तित हो जाता है। पहली वाली प्रतिक्रिया को **प्रकाश अभिक्रिया** (Light Reaction) कहा जाता है, क्योंकि यह पूर्णतया प्रकाश पर आधारित है। दूसरी प्रतिक्रिया प्रकाश अभिक्रिया के उत्पाद पर निर्भर होती है अर्थात् ATP तथा NADPH, जो अंधेरे में सम्पन्न होती है अत: इसे **अप्रकाशी अभिक्रिया** (Dark Reaction) कहते हैं।



चित्र 11.2 : इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी के द्वारा दिखाया गया हरित लवक की काट का आरेख प्रस्तुतीकरण।

11.4 प्रकाश-संश्लेषण में कितने वर्णक भाग लेते हैं? (How Many Pigments Take Part in Photosynthesis?)

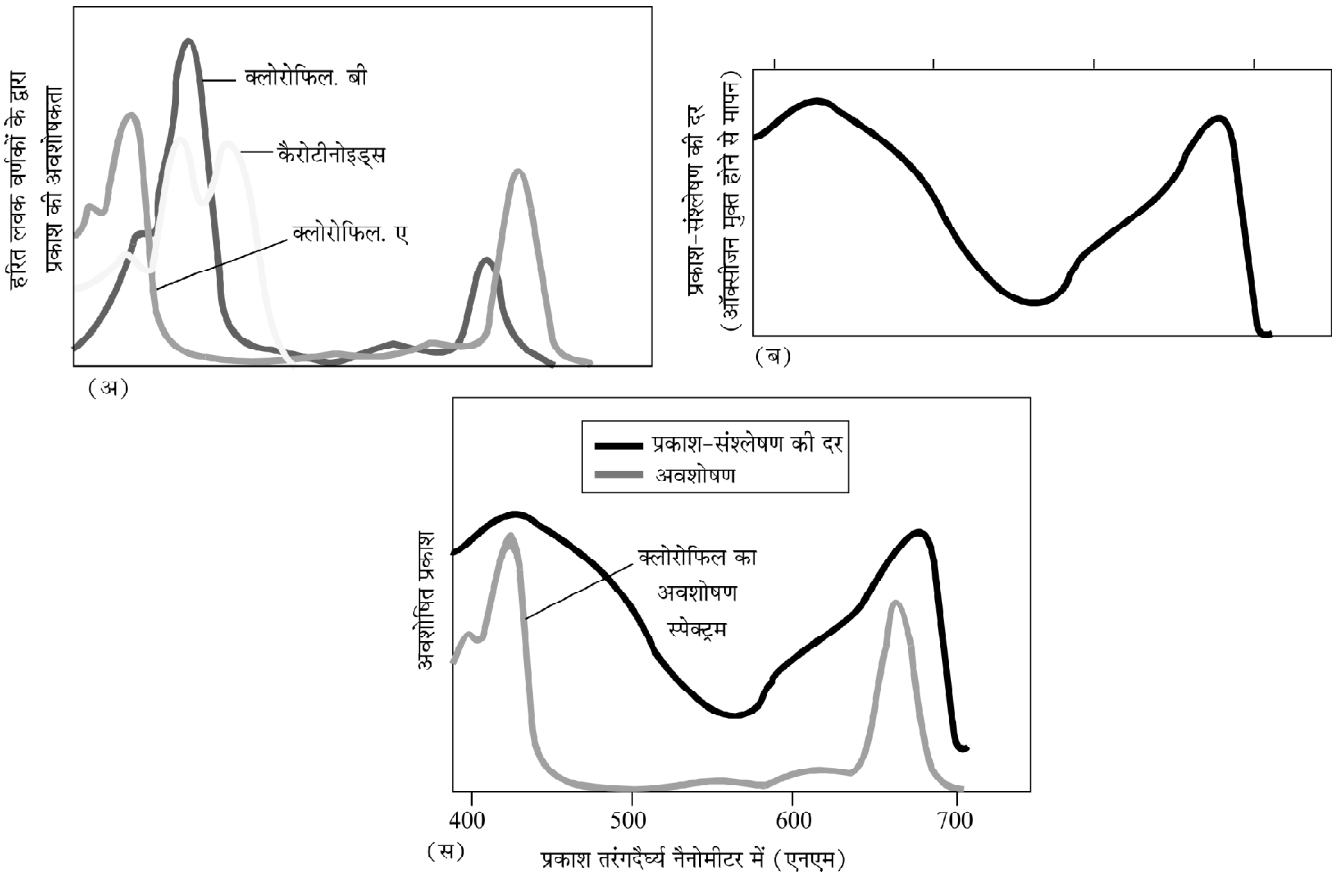
यदि हम किसी पौधे की पत्तियों को देखें तो यह अनुभव होता है कि उस पौधे की सभी पत्तियाँ एक समान हरी न होकर उनमें कुछ सूक्ष्म अन्तर पाया जाता है। इस सूक्ष्म अन्तर का **मूल्यांकन क्रोमेटोग्राफी** (कागज वर्णलेखकी) विधि द्वारा किया जा सकता है। क्रोमेटोग्राफी से ज्ञात होता है कि पत्तियों में विद्यमान वर्णकों के कारण इनका हरापन होता है परन्तु यह केवल एक वर्णक के कारण न होकर चार वर्णकों के कारण होता है। ये चार वर्णक निम्न प्रकार से होते हैं—

(i) **क्लोरोफिल. ए** (क्रोमेटोग्राफी में चमकीला अथवा नीला हरा)
(ii) **क्लोरोफिल. बी** (पीला, हरा)
(iii) **जैन्थोफिल** (पीला)
(iv) **केरोटीनोइड** (पीले से नारंगी पीले)

वर्णक वे पदार्थ होते हैं जिनमें प्रकाश की विशिष्ट तरंगदैर्घ्य को अवशोषित करने की क्षमता होती है। दृश्य प्रकाश (visible light) केवल 390-810 मिली. माइक्रोन की तरंगदैर्घ्य की तरंगों से बनता है। इससे कम या अधिक तरंगदैर्घ्य (wavelength) की किरणें हमारी आँखें नहीं देख सकती हैं। इस दृश्य प्रकाश में भी जो कई तरंगदैर्घ्य की तरंगें होती हैं, वे क्रमश: 390 मि. माइक्रोन से अधिक लम्बी बैंगनी, नीली, हरी, पीली, नारंगी तथा लाल (violet, blue, green, yellow, orange and red = **VIBGYOR**) क्रम में होती हैं। लाल किरणों से अधिक लम्बाई की तरंगों को **अवरक्त** (infra-red) तथा बैंगनी से कम लम्बाई की तरंगों को **परा-बैंगनी** (ultra-violet) कहते हैं। प्रकाश-संश्लेषण की क्रिया अधिकतम रूप में लाल तथा नीली प्रकाश तरंगों में होती है। हरी तरंगें पत्तियों के द्वारा सबसे कम मात्रा में अवशोषित होती हैं (इसीलिए पत्तियाँ हमें हरी दिखाई देती हैं)। चित्र 11.3 (अ) में तीन प्रकार के वर्णकों क्लोरोफिल अ, बी तथा कैरोटिन (कैरोटिनाइड्स) के द्वारा प्रकाश के अवशोषण को बताया गया है।

चित्र 11.3 (ब) में उन तरंगदैर्ध्यों को दिखाया गया है, जहाँ पर पादप में अधिकतम प्रकाश-संश्लेषण होता है। इसमें तरंगदैर्घ्य क्लोरोफिल. 'ए' अर्थात् नीला तथा लाल क्षेत्र में अवशोषण करता है, उस क्षेत्र में प्रकाश-संश्लेषण की दर भी अधिकतम है। अत: यह कह सकते हैं कि क्लोरोफिल. 'ए' प्रकाश-संश्लेषण के लिए एक प्रमुख वर्णक है। चित्र 11.3 (स) में प्रकाश-संश्लेषण की दर तथा प्रकाश अवशोषण को दर्शाया गया है।

ये ग्राफ स्पष्ट करते हैं कि अधिकतम प्रकाश-संश्लेषण स्पेक्ट्रम (spectrum) के नीले एवं लाल क्षेत्र में सम्पन्न होती है और कुछ प्रकाश-संश्लेषण स्पेक्ट्रम की अन्य तरंगदैर्ध्यों पर भी सम्पन्न होती है। यद्यपि क्लोरोफिल 'ए' प्रकाश को अवशोषित करने का मुख्य वर्णक है, फिर भी क्लोरोप्लास्ट में उपस्थित अन्य वर्णक जैसे क्लोरोफिल 'बी' जैन्थोफिल तथा कैरोटिन जिन्हें सहायक वर्णक कहते हैं, वे प्रकाश को अवशोषित करते हैं तथा अवशोषित ऊर्जा को क्लोरोफिल 'ए' में स्थानान्तरित कर देते हैं।



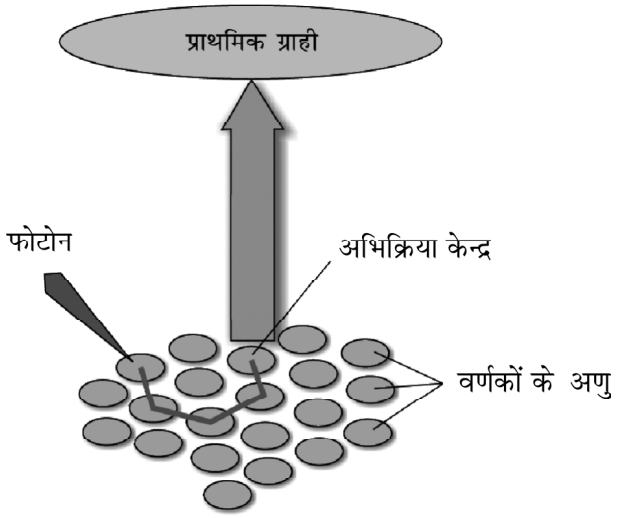
चित्र 11.3 (अ) : क्लोरोफिल ए, बी तथा केरोटीनॉइड्स का अवशोषित वर्णक्रम प्रदर्शित करता हुआ ग्राफ।
चित्र 11.3 (ब) : प्रकाश-संश्लेषण क्रियात्मक वर्णक्रम प्रदर्शित करता हुआ ग्राफ।
चित्र 11.3 (स) : क्लोरोफिल ए के अवशोषित वर्णक्रम पर प्रकाश-संश्लेषण के क्रियात्मक वर्णक्रम का अध्यारोपित दृश्य का ग्राफ।

11.5 प्रकाश अभिक्रिया क्या है? (What is Light Reaction?)

प्रकाश अभिक्रिया या प्रकाश रसायन (Photo chemical) चरण में प्रकाश अवशोषण, जल विघटन (hydrolysis), ऑक्सीजन निष्कर्षण तथा उच्च ऊर्जा रसायन माध्यमिकों, जैसे ATP तथा NADPH का निर्माण शामिल है। यहाँ वर्णक दो सुस्पष्ट **लाइट हार्वेस्टिंग कॉम्पलेक्स** (light harvesting complex = LHC) में होते हैं जिन्हें फोटोसिस्टम-I (Photo System I or PS-I) तथा फोटोसिस्टम-II (Photo System II or PS-II) कहते हैं। इन्हें खोज के क्रम के अनुसार नाम दिये गये हैं। LHC प्रोटीन से आबद्ध हजारों वर्णक अणुओं से बने होते हैं। प्रत्येक फोटोसिस्टम में 300 से 400 वर्णक अणु पाये जाते हैं। प्रत्येक फोटोसिस्टम (प्रकाश तंत्र) में एक **अभिक्रिया केन्द्र** (reaction centre) तथा इसके चारों तरफ से घेरे हुए सहायक वर्णक पाये जाते हैं। ये सहायक वर्णक प्रकाशिक ऊर्जा को अवशोषित करके अभिक्रिया केन्द्र को दे देते हैं। इन अणुओं को **एन्टेना** (antenna) कहते हैं (चित्र 11.4)।

क्लोरोफिल 'ए' का एक अकेला अणु **अभिक्रिया केन्द्र** बनाता है। दोनों फोटोसिस्टम में अभिक्रिया केन्द्र पृथक् होते हैं। PS-I में अभिक्रिया केन्द्र क्लोरोफिल 'ए' का अवशोषण शीर्ष 700nm पर होता है। अत: इसे $\mathbf{P_{700}}$ कहते हैं PS-II में अवशोषण शीर्ष 680 nm पर होता है अत: इसे $\mathbf{P_{680}}$ कहते हैं (P = वर्णक या Pigment)।

> P_{700} व P_{680} दोनों ही क्लोरोफिल 'ए' के वर्णक हैं। वह क्लोरोफिल 'ए' का अणु जो 700 nm तरंगदैर्घ्य के प्रकाश का अवशोषण करता है, उसे P_{700} कहते हैं तथा 680nm तरंगदैर्घ्य के प्रकाश अवशोषण वाले क्लोरोफिल 'ए' के अणु को P_{680} कहते हैं।



चित्र 11.4 : प्रकाश संग्रहण तंतुजाल।

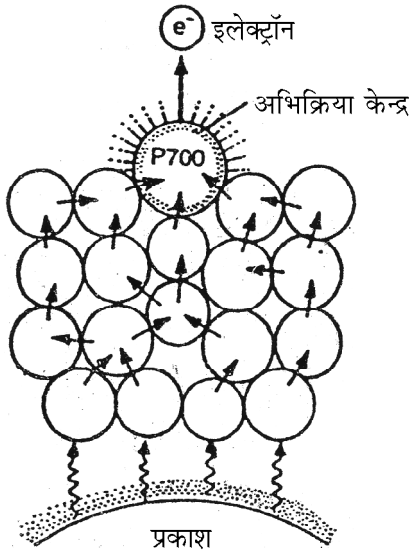
इस प्रकार प्रकाश तंत्र (Photo system) दो प्रकार का होता है—

(i) प्रकाश तंत्र-I (Photo System-I or PS-I) : इस प्रकाश तंत्र में फोटोन (photon, प्रकाश की किरणों में उच्च ऊर्जा वाले कणों को कहते हैं) की ऊर्जा का अवशोषण क्लोरोफिल-a विभिन्न अणु (Chl. a 670, Chl. a 683, Chl. a 695, Chl. a 700) व कैरोटिनॉइड करते हैं। यह तंत्र 680 nm से लघु (short) और दीर्घ (long) तरंगदैर्घ्य अवशोषित करता है। जो भिन्न-भिन्न तरंगदैर्घ्य वाली तरंगों का अवशोषण कर अन्त में विशेष प्रकार के क्लोरोफिल. a 700 (P_{700}) अणु जो अभिक्रिया केन्द्र की तरह कार्य करता है, को स्थानान्तरित कर देते हैं। अभिक्रिया केन्द्र में प्रकाश रासायनिक अभिक्रिया के कारण उच्च ऊर्जा वाले इलेक्ट्रॉन्स का उत्सर्जन होता है। यह प्रकाश तंत्र चक्रीय व अचक्रीय दोनों प्रकार के फोस्फोरिलीकरण में भाग लेता है।

(ii) प्रकाश तंत्र-II (Photo System-II or PS-II) : इस तंत्र में 680nm से कम तरंगदैर्घ्य का अवशोषण होता है। प्रकाश तंत्र में फोटोन ऊर्जा का अवशोषण क्लोरोफिल a 673 (Chl. a 673), क्लोरोफिल b व फाइकोविलिन्स करते हैं। इस वर्णक तंत्र में भी इन अणुओं द्वारा भिन्न-भिन्न तरंगदैर्घ्य की प्रकाश तरंग का अवशोषण कर अभिक्रिया केन्द्र (P_{680}) को स्थानान्तरण कर दिया जाता है। इस प्रकाश तंत्र का उपयोग केवल अचक्रीय प्रकाश फोस्फोरिलीकरण में होता है।

क्वान्टासोम (Quantasome) : दोनों वर्णक तंत्रों का प्रतिनिधित्व करने वाले वर्णक, अत्यन्त छोटी और प्रकाश-संश्लेषण की दृष्टि से स्वतंत्र इकाई में उपस्थित होते हैं। यह रचनाएँ क्लोरोप्लास्ट की थाइलेकॉइड (Thylakoid) झिल्ली पर सूक्ष्म दानेदार कणों के रूप में होती हैं, इन्हें क्वान्टासोम कहते हैं। इनकी खोज **पार्क** और **बिगीन्स** (Park & Biggins) ने की थी।

प्रत्येक क्वान्टासोम में क्लोरोफिल के लगभग 230 अणुओं के साथ कुछ अन्य वर्णकों (कैरोटिनॉयड) के अणु भी उपस्थित होते हैं। क्वान्टासोम में स्थित Chl. a 683 अणु, प्रकाश अवशोषित करके दूसरे Chl. a 683 अणु को देता रहता है। अन्त में यह ऊर्जा, अभिक्रिया केन्द्र में स्थित अकेले P_{700} अणु को पहुँचायी जाती है। यह P_{700} अणु उत्तेजित होकर, इलेक्ट्रॉन को बाहर निकाल देता है जो इलेक्ट्रॉन ग्राही (electron acceptor) द्वारा ले लिया जाता है (चित्र 11.5)।



चित्र 11.5 : क्वान्टासोम का चित्रण।

11.6 इलेक्ट्रॉन परिवहन या प्रकाश अभिक्रिया
(Electron Transport or Light Reaction)

फोटोसिस्टम (प्रकाश तंत्र) में अभिक्रिया केन्द्र में उपस्थित क्लोरोफिल. a 680nm वाले लाल प्रकाश को अवशोषित करता है, जिससे इलेक्ट्रॉन उत्तेजित होकर परमाणु नाभिक से दूर चला जाता है। इस इलेक्ट्रॉन को एक इलेक्ट्रॉनग्राही लेकर **इलेक्ट्रॉन ट्रांसपोर्ट सिस्टम** जिसमें साइटोक्रोम (Cytochrome) होते हैं, पहुँचा दिया जाता है (चित्र 11.6)। यह इलेक्ट्रॉन की अधोगामी गति है। जब इलेक्ट्रॉन्स परिवहन श्रृंखला से गुजरते हैं तब उनका उपयोग नहीं होता बल्कि उन्हें फोटोसिस्टम-I (PS-I) के वर्णकों को दे दिया जाता है। इसके साथ ही साथ, PS-I का अभिक्रिया केन्द्र के इलेक्ट्रॉन भी लाल प्रकाश की 700nm तरंगदैर्घ्य को अवशोषित कर उत्तेजित हो जाता है और यह अन्य ग्राही अणु में स्थानान्तरित हो जाता है जिसका अपचयोपचय विभव (Redox potential) अधिक होता है। ये इलेक्ट्रॉन्स पुनः अधोगामी करते हैं, परन्तु इस बार वे ऊर्जा से प्रचुर $NADP^+$ अणु की ओर जाते हैं। ये इलेक्ट्रॉन $NADP^+$ को अपचयित करके $NADPH_2$ बनाते हैं। इलेक्ट्रॉन के स्थानान्तरण की यह प्रक्रिया फोटोसिस्टम-II से प्रारम्भ होकर शिखरोपरिग्राही की ओर इलेक्ट्रॉन ट्रांसपोर्ट सिस्टम से होते हुए फोटोसिस्टम-I तक, इलेक्ट्रॉन उत्तेजना, अन्य ग्राही में स्थानान्तरण और अन्त में अधोगामी होकर NADP को अपचयित कर $NADPH_2$ के बनने तक होती है। यह सम्पूर्ण योजना Z के आकार की होती है, इसलिए इसे **Z-स्कीम** कहते हैं (चित्र 11.6)। यह आकृति तब बनती है जब सभी वाहक क्रमानुसार एक अपचयोपचय विभव माप पर हों।