बी.एस.सी. तृतीय वर्ष

वनस्पति विज्ञान, प्रथम प्रश्नपत्र

पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन

मध्यप्रदेश भोज (मुक्त) विश्वविद्यालय – भोपाल

MADHYA PRADESH BHOJ (OPEN) UNIVERSITY-BHOPAL

Reviewer Committee

1. Dr. Nasreen Siddique
   Retd. Professor,
   Govt. MVM College, Bhopal.
2. Dr. Pramod Patil
   Retd. Professor,
   IEHE, Bhopal.
3. Dr. Moni Mathur
   Professor,
   Govt. SNG (AUTONOMOUS) PG College,
   Bhopal.

Advisory Committee

1. Dr. Jayant Sonwalkar
   Hon'ble Vice Chancellor,
   Madhya Pradesh Bhoj (Open) University,
   Bhopal.
2. Dr. L.S. Solanki
   Registrar,
   Madhya Pradesh Bhoj (Open) University,
   Bhopal.
3. Dr. Shailendra Singh
   Madhya Pradesh Bhoj (Open) University,
   Bhopal.
4. Dr. Nasreen Siddique
   Retd. Professor,
   Govt. MVM College, Bhopal.
5. Dr. Pramod Patil
   Retd. Professor,
   IEHE, Bhopal.
6. Dr. Moni Mathur
   Professor,
   Govt. SNG (AUTONOMOUS) PG College,
   Bhopal.

COURSE WRITER

Dr. (Mrs.) Savita Tiwari, Head, Department of Botany, Shri Guru Nanak Mahila Mahavidyalya, Marhatal, Jabalpur, MP.

Copyright © Reserved, Madhya Pradesh Bhoj (Open) University, Bhopal.

All rights reserved. No part of this publication which is material protected by this copyright notice may be reproduced or transmitted or utilized or stored in any form or by any means now known or hereinafter invented, electronic, digital or mechanical, including photocopying, scanning, recording or by any information storage or retrieval system, without prior written permission from the Registrar, Madhya Pradesh Bhoj (Open) University, Bhopal.

Information contained in this book has been published by VIKAS® Publishing House Pvt. Ltd. (Developed by Himalaya Publishing House Pvt. Ltd.) and has been obtained by its Authors from sources believed to be reliable and are correct to the best of their knowledge. However, the Madhya Pradesh Bhoj (Open) University, Bhopal, Publisher and its Authors shall in no event be liable for any errors, omissions or damages arising out of use of this information and specifically disclaim any implied warranties or merchantability or fitness for any particular use.

Published by Registrar, MP Bhoj (Open) University, Bhopal in 2020

VIKAS®

Vikas® is the registered trademark of Vikas® Publishing House Pvt. Ltd.

VIKAS® PUBLISHING HOUSE PVT. LTD.
E-28, Sector-8, Noida - 201301 (UP)
Phone: 0120-4078900 • Fax: 0120-4078999
Regd. Office: A-27, 2nd Floor, Mohan Co-operative Industrial Estate, New Delhi 1100 44
• Website: www.vikaspublishing.com • Email: helpline@vikaspublishing.com

SYLLABI-BOOK MAPPING TABLE

पादप कार्यिकी एवं जैव रसायन

Syllabi	Mapping in Book
इकाई–1 **पादप जल संबंधः** जल के गुण, पादप जीवन में जल का महत्व, विसरण, परासरण तथा पादप कोशिका के परासरण संबंध, जल अवशोषण, रसारोहण। **वाष्पोत्सर्जनः** रंध्र की संरचना एवं कार्यिकी, वाष्पोत्सर्जन की क्रियाविधि, वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक।	**इकाई 1** : पादप जल संबंध **(पृष्ठ 3–44)**
इकाई–2 **पादप पोषण, जैविक अणु एवं उपापचयः** खनिज पोषण, आवश्यक दीर्घ एवं लघु पोषक तत्व एवं उनकी भूमिका, खनिज लवणों का अवशोषण, जल संवर्धन, कार्बनिक विलेय का स्थानांतरण। **जैविक अणुः** कार्बोहाइड्रेट, अमीनो अम्ल, प्रोटीन और लिपिड की संरचना, वर्गीकरण और कार्य। नाइट्रोजन स्थिरीकरण, नाइट्रोजन एवं वसा उपापचय।	**इकाई 2** : पादप पोषण, जैविक अणु एवं उपापचय **(पृष्ठ 45–104)**
इकाई–3 **प्रकाश संश्लेषणः** क्लोरोप्लास्ट, प्रकाश संश्लेषीय वर्णक, दो प्रकाश तंत्र की अवधारणा, प्रकाश अभिक्रिया, रेड ड्रॉप, इमरसन प्रभाव, केल्विन चक्र, हैच एवं स्लैक चक्र, सी. ए. एम. चक्र, प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक एवं प्रकाशीय श्वसन।	**इकाई 3** : प्रकाश संश्लेषण **(पृष्ठ 105–132)**
इकाई–4 **श्वसनः** माइटोकॉन्ड्रिया, ऑक्सी एवं अनॉक्सी श्वसन, किण्वन श्वसन गुणांक, श्वसन की क्रियाविधी – ग्लाइकोलिसिस, क्रेब चक्र, पेन्टोस फॉस्फेट मार्ग, इलेक्ट्रॉन अभिगमन तंत्र, श्वसन की दर को प्रभावित करने वाले कारक, ऑक्सीकरण – अपचयन विभव, ए.टी.पी. संश्लेषण के सिद्धान्त।	**इकाई 4** : श्वसन **(पृष्ठ 133–167)**
इकाई–5 **एन्जाइमोलॉजी एवं पादप हार्मोनः** विकरों का वर्गीकरण, नामकरण एवं अभिलाक्षणिक गुण, होलोएन्जाइम, एपोएन्जाइम, कोएन्जाइम एवं कोफेक्टर्स की अवधारणा, एन्जाइम की कार्यप्रणाली एवं क्रियाविधी, एन्जाइम क्रिया को प्रभावित करने वाले कारक। **पादप हार्मोनः** ऑक्सिन, जिब्बरेलिन, सायटोकायनिन, एब्सीसिक अम्ल एवं इथिलिन की खोज, संरचना कार्य प्रणाली एवं भूमिका।	**इकाई 5** : एन्जाइमोलॉजी एवं पादप हार्मोन **(पृष्ठ 168–196)**

विषय–सूची

परिचय 1

इकाई 1 पादप जल संबंध 3–44

1.0 परिचय
1.1 उद्देश्य
1.2 जल के भौतिक एवं रासायनिक गुण
1.3 जल की संरचना
1.4 जल का जैविकीय महत्व
1.5 पारगम्यता एवं अणुओं का गमन
1.6 पारगम्यता के सिद्धान्त
1.6.1 रिटेंशन दाब सिद्धान्त
1.6.2 अल्ट्राफिल्ट्रेशन सिद्धान्त
1.6.3 इलेक्ट्रोकैपिलरी सिद्धान्त
1.6.4 लिपिड विलेयता सिद्धान्त
1.6.5 कलिलीय सिद्धान्त
1.6.6 कैरियर परिकल्पना
1.6.7 कैरियर वेसिकल सिद्धान्त
1.7 पदार्थो का गमन
1.8 विसरण
1.8.1 अवधारणा एवं परिभाषा
1.8.2 विसरण की दर को प्रभावित करने वाले कारक
1.8.3 विसरण का महत्व
1.9 परासरण
1.9.1 विलयनों के प्रकार
1.9.2 आलू के ऑस्मोस्कोप द्वारा परासरण का प्रदर्शन
1.9.3 परासरण के प्रकार
1.9.4 परासरण का महत्व
1.9.5 पादप कोशिका का परासरण संबंध
1.10 जल अवशोषण
1.10.1 जल के प्रकार
1.10.2 जल अवशोषण की क्रियाविधि
1.10.3 जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक
1.11 रसारोहण
1.11.1 रसारोहण क्रिया का सत्यापन
1.11.2 रसारोहण के सिद्धान्त
1.12 वाष्पोत्सर्जन
1.12.1 वाष्पोत्सर्जन के प्रकार
1.12.2 रन्ध्रों का वितरण
1.12.3 वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक
1.12.4 वाष्पोत्सर्जन का महत्व
1.12.5 वाष्पोत्सर्जन की दर का मापन
1.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
1.14 सारांश

1.15 मुख्य शब्दावली
1.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
1.17 सहायक पाठ्य सामग्री

इकाई 2 पादप पोषण, जैविक अणु एवं उपापचय **45—104**

2.0 परिचय
2.1 उद्देश्य
2.2 खनिज पोषण
2.2.1 वर्गीकरण
2.2.2 खनिज तत्वों के कार्य
2.2.3 विलयन संवर्धन
2.2.4 दीर्घ पोषक तत्व
2.2.5 सूक्ष्म पोषक तत्व
2.2.6 पौधों में धातु—विषाक्तता
2.3 खनिज लवणों का अवशोषण
2.3.1 खनिज तत्वों के अवशोषण की क्रियाविधि
2.4 कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण
2.4.1 स्थानान्तरण की क्रियाविधि
2.4.2 कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण को प्रभावित करने वाले कारक
2.5 जैविक अणु
2.5.1 कार्बोहाइड्रेट
2.5.2 कार्बोहाइड्रेट के कार्य
2.6 अमीनो अम्ल
2.6.1 अमीनो अम्लों का वर्गीकरण तथा रासायनिक संरचना
2.6.2 आपूर्ती के आधार पर अमीनो अम्लों का विभाजन
2.7 प्रोटीन
2.7.1 प्रोटीन निर्माण
2.7.2 प्रोटीन की संरचना
2.7.3 प्रोटीन्स का वर्गीकरण
2.7.4 प्रोटीन के कार्य
2.8 नाइट्रोजन स्थिरीकरण
2.9 नाइट्रोजन एवं वसा उपापचय
2.9.1 वसीय अम्ल संश्लेषण
2.10 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
2.11 सारांश
2.12 मुख्य शब्दावली
2.13 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
2.14 सहायक पाठ्य सामग्री

इकाई 3 प्रकाश संश्लेषण **105—132**

3.0 परिचय
3.1 उद्देश्य
3.2 ऐतिहासिक पृष्ठभूमि
3.3 महत्व
3.4 प्रकाश संश्लेषी वर्णक
3.5 दो प्रकाश तंत्र अथवा वर्णक तंत्र की अवधारणा

3.6 इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण तथा प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण
3.7 केल्विन चक्र
3.8 हैच–स्लैक चक्र / C_4 पौधों में कार्बन अपचयन
3.9 CAM चक्र
3.10 ब्लैकमैन का सीमाकारक सिद्धान्त
3.11 प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक
3.12 प्रकाशीय श्वसन अथवा C_2 अथवा ग्लाइकोलेट चक्र
3.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
3.14 सारांश
3.15 मुख्य शब्दावली
3.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
3.17 सहायक पाठ्य सामग्री

इकाई 4 श्वसन **133—167**

4.0 परिचय
4.1 उद्देश्य
4.2 परिभाषा
4.2.1 श्वसन के प्रकार
4.2.2 ऑक्सी श्वसन व अनॉक्सी श्वसन में अंतर
4.3 माइटोकॉण्ड्रिया
4.3.1 माइटोकॉण्ड्रिया की परासंरचना
4.4 श्वसन की क्रियाविधि
4.4.1 ग्लाइकोलाइसिस (ई. एम. पी. पथ)
4.4.2 अनॉक्सी श्वसन किण्वन में पायरूविक अम्ल का भविष्य
4.4.3 ऑक्सी श्वसन में विभिन्न प्रद तथा क्रेब चक्र
4.5 पेण्टोज फॉस्फेट पथ
4.6 इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र एवं ऑक्सीडेटिव फॉस्फोराइलेशन
4.7 श्वसन गुणांक या श्वसन अनुपात तथा श्वसन पदार्थ
4.7.1 श्वसन गुणांक व प्रकाश संश्लेषण गुणांक में अंतर
4.7.2 गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर द्वारा श्वसन पदार्थों का श्वसन भागफल ज्ञात करना
4.8 श्वसन पर प्रभाव डालने वाले कारक
4.9 रिडॉक्स विभव
4.10 ATP संश्लेषण के विभिन्न सिद्धान्त
4.11 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
4.12 सारांश
4.13 मुख्य शब्दावली
4.14 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
4.15 सहायक पाठ्य सामग्री

इकाई 5 एन्जाइमोलॉजी एवं पादप हार्मोन **168—196**

5.0 परिचय
5.1 उद्देश्य
5.2 एन्जाइमों का वर्गीकरण
5.3 नामकरण एवं अभिलाक्षणिक गुण

5.4 होलोएन्जाइम, एपोएन्जाइम, कोएन्जाइम एवं कोफेक्टर्स की संकल्पना
5.5 एन्जाइम की कार्यप्रणाली एवं क्रियाविधि
5.5.1 एन्जाइम की क्रियाविधि के सिद्धान्त
5.5.1.1 ताला कुंजी सिद्धान्त
5.5.1.2 प्रेरित जोड़ परिकल्पना
5.6 एन्जाइम क्रिया को प्रभावित करने वाले कारक
5.7 एन्जाइम का जैविक महत्व
5.8 पादप हार्मोन
5.8.1 ऑक्सिन
5.8.2 जिबरेलिन्स
5.8.3 साइटोकाइनिन्स या फाइटोकाइनिन्स
5.8.4 एब्सिसिक अम्ल
5.8.5 इथिलीन
5.9 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
5.10 सारांश
5.11 मुख्य शब्दावली
5.12 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
5.13 सहायक पाठ्य सामग्री

परिचय

वनस्पति विज्ञान की यह पुस्तक मध्यप्रदेश के विभिन्न विश्व विश्वविद्यालयों में बी.एस.सी., तृतीय वर्ष, प्रथम प्रश्नपत्र के लिए निर्धारित नयी वार्षिक पद्धती के पाठ्यक्रम पर आधारित है।

इस पुस्तक में विद्यार्थीयों को नवीनतम शोध कार्यो से प्राप्त जानकारियों को उपलब्ध कराया गया है। और इसकी भाषा भी अत्यंत सरल है। जो कि, विद्यार्थियों को आसानी से समझ में आ सकती है, और विद्यार्थी सरलतापूर्वक उसका अध्ययन कर सकते है। पुस्तक पूर्णतः पाठ्यक्रम के अनुरुप है। प्रत्येक अध्याय में इकाई से संबंधित लघु एवं वस्तुनिष्ठ प्रश्न भी दिए गये है।

पादप कार्यिकी वनस्पति विज्ञान की वह शाखा है जिसके अंतर्गत आप जल की संरचना, उसके जैविक महत्व के बारे में समझेंगे। साथ ही पौधों में संपन्न होने वाली विभिन्न कार्यिकीय क्रियाओं विसरण, परासरण वाष्पोत्सर्जन इत्यादि के बारे में ज्ञान प्राप्त करेंगे। इस पुस्तक के द्वारा पादप कार्यिकी के प्रयोगों से भी अवगत हो पायेंगे।

प्रस्तुत पुस्तक में वि.वि. के पाठ्यक्रमानुसार प्रत्येक शीर्षक पर स्तरीय एवं प्रमाणित पाठ्यसामग्री सम्मिलित की गई है। साथ ही, संबंधित विभिन्न चित्रों, मानद चित्रों को पाठ्य शीर्षक के अनुसार दर्शाया गया है, जिससे विद्यार्थियों को समझने में सहायता मिलेंगी।

पाठ्यसामग्री को सरल, सुबोध, सुगम्य, रुचिपूर्ण एवं तर्कसंगत ढंग से विश्लेषित किया गया हैं। पुस्तक में परीक्षोपयोगी वस्तुनिष्ठ प्रश्न, लघु उत्तरीय प्रश्न एवं निबंधात्मक प्रश्नों की श्रृंखला दी गई है। अंत में, यह पुस्तक छात्रों के लिए आवश्यक स्रोतग्रन्थ का कार्य करेंगी।

डॉ. (श्रीमती) सविता तिवारी
जबलपुर (मध्यप्रदेश)

टिप्पणी

इकाई 1 पादप जल संबंध (Plant-Water Relation)

संरचना (Structure)

1.0 परिचय
1.1 उद्देश्य
1.2 जल के भौतिक एवं रासायनिक गुण
1.3 जल की संरचना
1.4 जल का जैविकीय महत्व
1.5 पारगम्यता एवं अणुओं का गमन
1.6 पारगम्यता के सिद्धान्त
  1.6.1 रिटेंशन दाब सिद्धान्त
  1.6.2 अल्ट्राफिल्ट्रेशन सिद्धान्त
  1.6.3 इलेक्ट्रोकैपिलरी सिद्धान्त
  1.6.4 लिपिड विलेयता सिद्धान्त
  1.6.5 कलिलीय सिद्धान्त
  1.6.6 कैरियर परिकल्पना
  1.6.7 कैरियर वेसिकल सिद्धान्त
1.7 पदार्थों का गमन
1.8 विसरण
  1.8.1 अवधारणा एवं परिभाषा
  1.8.2 विसरण की दर को प्रभावित करने वाले कारक
  1.8.3 विसरण का महत्व
1.9 परासरण
  1.9.1 विलयनों के प्रकार
  1.9.2 आलू के ऑस्मोस्कोप द्वारा परासरण का प्रदर्शन
  1.9.3 परासरण के प्रकार
  1.9.4 परासरण का महत्व
  1.9.5 पादप कोशिका का परासरण संबंध
1.10 जल अवशोषण
  1.10.1 जल के प्रकार
  1.10.2 जल अवशोषण की क्रियाविधि
  1.10.3 जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक
1.11 रसारोहण
  1.11.1 रसारोहण क्रिया का सत्यापन
  1.11.2 रसारोहण के सिद्धान्त
1.12 वाष्पोत्सर्जन
  1.12.1 वाष्पोत्सर्जन के प्रकार
  1.12.2 रन्ध्रों का वितरण
  1.12.3 वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक
  1.12.4 वाष्पोत्सर्जन का महत्व
  1.12.5 वाष्पोत्सर्जन की दर का मापन
1.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
1.14 सारांश
1.15 मुख्य शब्दावली

1.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
1.17 सहायक पाठ्य सामग्री

टिप्पणी

1.0 परिचय (Introduction)

अधिकांश पौधों के शरीर में 80 से 90 प्रतिशत भाग जल होता है क्योंकि पौधों के जीवन की समस्त क्रियायें जल द्वारा संचालित होती है। पौधों की वृद्धि (Growth) एवं विकास में जल महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। जल ठोस, द्रव तथा गैस तीनों रुपों में पाया जाता है।

जल जीवद्रव्य का आवश्यक अंग है। अभिकारक (Reactant) के रुप में जल द्वारा अनेक उपापचयी (Metabolic) क्रियायें संपन्न होती है। भूमी में यह गुरुत्वाकर्षण जल तथा केशिका जल (Capillary water) के रुप में पाया जाता है। जल एक सार्वत्रिक विलायक है जिसमें लगभग सभी खनिज लवण (Mineral salts) घुलनशील होते है। जिन्हे पौधे आसानी से जड़ो द्वारा अवशोषित कर लेते हैं।

1.1 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई को पढ़ने के पश्चात आप जल की संरचना, उसके जैविक महत्व के बारे में समझेंगे। साथ ही पौधों में संपन्न होने वाली विभिन्न कार्यिकीय क्रियाओं विसरण, परासरण वाष्पोत्सर्जन इत्यादि के बारे में ज्ञान प्राप्त करेंगे। इस इकाई में पादप कार्यिकी के प्रयोगों से भी अवगत हो पायेंगे।

1.2 जल के भौतिक एवं रासायनिक गुण (Physical and Chemical Properties of Water)

1. जल एक रंगहीन (Colourless), स्वादहीन (Tasteless), गंधहीन (Odourless) द्रव है।
2. जल का हिमांक $0^{o}C$ तथा क्वथनांक $100^{o}C$ होता है।
3. जल की प्रकृति ध्रुवीय (Polar) होती है। इसलिए यह एक आदर्श परिक्षेपण माध्यम की तरह कार्य करता है।
4. जल में अनेक रासायनिक क्रियायें तीव्र गति से संपन्न होती है।
5. शुद्ध जल ऊष्मा (Heat) एवं विद्युत (Electricity) का कुचालक होता है।
6. जल का पृष्ठ तनाव (Surface tension) अधिक होता है क्योंकि इसके अणु मजबूत ससंजन बल (Cohesive force) के कारण आपस में एक दूसरे से जुड़े होते हैं। उच्च पृष्ठ तनाव होने के कारण जल में केशिकात्व (Capillarity) का गुण पाया जाता है। पौधों में रसारोहण (Ascent of Sap) की प्रक्रिया केशिकात्व के द्वारा ही संपन्न होती है।

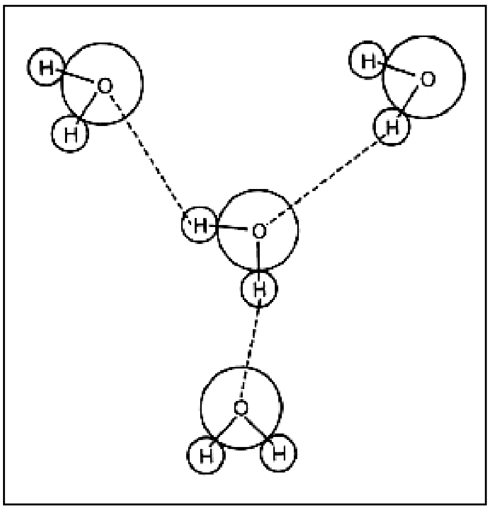
टिप्पणी

7. जल के एक अणु में उपस्थित ऑक्सिजन की वैधुत ऋणात्मकता (Electronegativity) हाइड्रोजन की तुलना में उच्च होती है जो जल को एक ध्रुवीय अणु बनाती है।

8. जल एक प्रबल विलायक होता है। इसमें लवण क्षार, अम्ल, शर्करायें एवं कुछ गैसे *(O_2, CO_2)* आसानी से घुल जाती हैं। इसलिए इन्हें जलस्नेही (Hydrophilic) कहा जाता है। दूसरे पदार्थ जो जल के साथ मिश्रित नहीं होते हैं जैसे– वसा एवं तेल (Fat and oils) उन्हें जलविरोधी (Hydrophobic) कहा जाता है।

1.3 जल की संरचना (Structure of Water)

जल की संरचना में प्रत्येक अणु में हाइड्रोजन के दो परमाणु ऑक्सीजन के एक परमाणु के पार्श्व भाग में सहसंयोजी बंधों द्वारा जुड़े होते हैं। इस प्रकार जल के अणु की चतुष्फलकीय (Tetrahedral) संरचना होती है, जिसमें चतुष्फलक के चारो कोनों पर ऑक्सीजन परमाणु स्थित होते है।



चित्र क्र. 1.1: जल के अणु में हाइड्रोजन बॉण्डस की स्थिति

1.4 जल का जैविकीय महत्व (Biological Importance of Water)

1. जीवित जीवों के लिए जल अनिवार्य है क्योंकि इनकी कोशिकाओं में लगभग 90% तक जल होता है। जल एक सार्वत्रिक विलायक है।

2. जल प्रकाश संश्लेषण का एक महत्वपूर्ण घटक है। अन्य उपापचयी क्रियाओं में भी जल एक अभिकर्मक की तरह कार्य करता है।

3. कोशिका में होने वाली कार्यिकी क्रियाओं (Physiological activities) जैसे कि विसरण (Diffusion), परासरण (Osmosis), अंतःचूशण (Imbibition),

टिप्पणी

जीवद्रव्यकुंचन एवं विकुंचन (Plasmolysis and deplasmolysis) आदि का नियमन जल के द्वारा होता है।

4. जल कोशिकाओं को आशूनता (Turgidity) प्रदान करता है। रिक्तिका (Vacuole) में 90% तक जल होता है। पौधों का ताप भी नियंत्रित रखता है।
5. पौधों में उपस्थित वृद्धि हार्मोन्स एवं कार्यिकीय क्रियाओं में भाग लेने वाले सभी एन्जाइम्स की क्रियाशीलता के लिए जल आवश्यक है।
6. भोज्य पदार्थों का स्थानान्तरण जल के द्वारा संभव है।
7. पौधों की जैविक क्रियाओं के लिए आवश्यक गैसें एवं खनिज लवण (Mineral Salts) जल में घुलित अवस्था में रहते हैं।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

1. जल की प्रकृति होती है–
   (अ) अम्लीय (ब) क्षारीय
   (स) उदासीन (द) लवणीय
2. जल का घनत्व सर्वाधिक होता है–
   (अ) 0°C पर (ब) 4°C पर
   (स) 10°C पर (द) 20°C पर
3. जल की संरचना होती है–
   (अ) हाइड्रोजन (ब) डाइहेड्रल
   (स) टेट्राहेड्रल (द) पोलीहेड्रल

1.5 पारगम्यता एवं अणुओं का गमन (Permeability and Movement of Substances)

कोशिकाओं में जैविक क्रियाओं के दौरान बड़ी संख्या में अणु कोशिका भित्ती द्वारा कोशिका के अंदर प्रवेश करते हैं एवं उतनी ही मात्रा में अणु कोशिका से बाहर आते हैं। कोशिका झिल्ली (Cell Membrane) के इस गुण को पारगम्यता (Permeability) कहते हैं। पारगम्यता के आधार पर झिल्लियाँ तीन प्रकार की होती है–

(अ) पारगम्य (Permeable)– यह सभी प्रकार के पदार्थों के अणुओं को आरपार जाने देती है।

(ब) **अर्धपारगम्य (Semipermeable) तथा चयनात्मक पारगम्य–** यह कुछ पदार्थों के अणुओं को आरपार जाने देती है। लेकिन अन्य कुछ अणुओं को रोक लेती है। इसलिए इसे चयनात्मक पारगम्य (Selectively Permeable) भी कहते हैं।

(क) **अपारगम्य (Impermeable)–** यह एक रोधक (Barrier) की तरह कार्य करती है। एवं किसी भी पदार्थ के अणु को न तो कोशिका के अंदर जाने देती है न ही बाहर।

पौधों में तीनों प्रकार की झिल्लीयाँ पायी जाती है। कोशिका भित्ति पारगम्य होती हैं। कोशिका झिल्ली चयनात्मक पारगम्य होती है जबकि क्यूटीकिल (Cuticle) अपारगम्य होती है।

चयनात्मक पारगम्यता पदार्थ के प्रकार, उसकी भौतिक एवं रासायनिक प्रकृति एवं कोशिकीय झिल्ली की प्रकृति पर निर्भर करती है।

कोशिका झिल्ली की पारगम्यता उसके वातावरण में परिवर्तन (जैसे– आयन की सांद्रता, ताप एवं विकिरण में बदलाव) द्वारा प्रभावित होती है।

1.6 पारगम्यता के सिद्धान्त (Theories of Permeability)

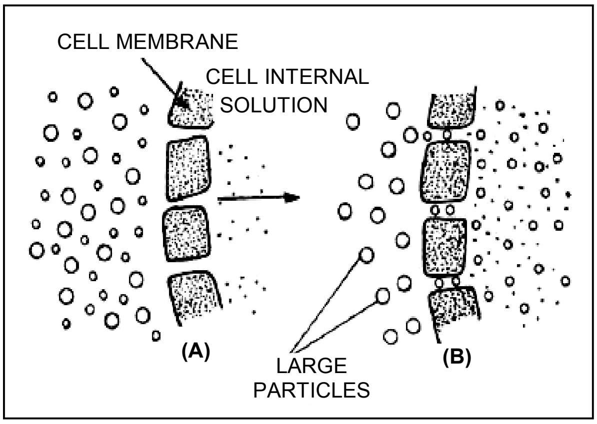
चयनात्मक पारगम्यता के लिए कई सिद्धान्त दिये गये हैं–

1.6.1 रिटेंशन दाब सिद्धान्त (Retention Pressure Theory)

ट्राउबे (Traube 1867) के अनुसार झिल्लियाँ कुछ पदार्थों के साथ बंधुता (Affinity) दर्शाती है। ओर इन पदार्थों को अंदर जाने देती हैं। जबकि अन्य पदार्थ बाहर रह जाते हैं।

1.6.2 अल्ट्राफिल्ट्रेशन सिद्धान्त (Ultrafiltration Theory)

यह सिद्धान्त रुहलैण्ड (Ruhland, 1912), तथा रूहलैण्ड तथा हॉफमैन Ruhland and Haffmann (1925) ने प्रतिपादित किया।



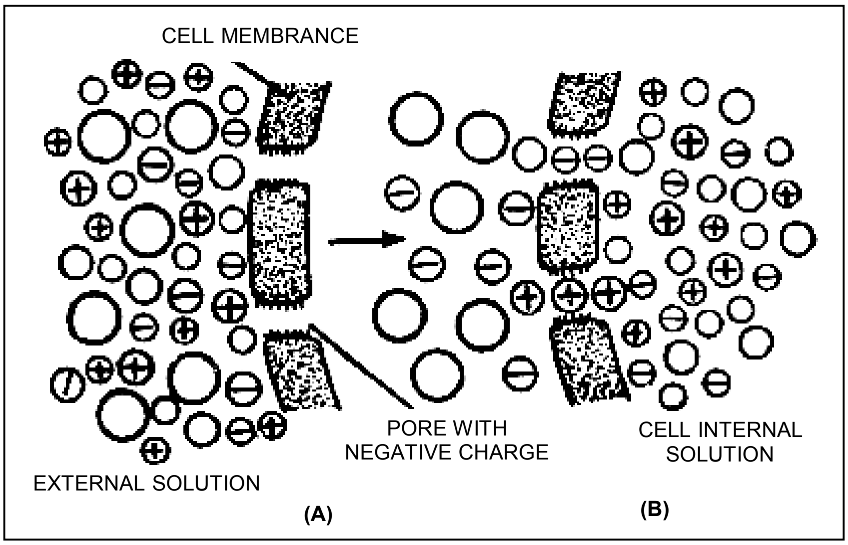
चित्र क्र. 1.2: पारगम्यता एवं गमन

टिप्पणी

इस सिद्धान्त के अनुसार कोशिका झिल्ली में कई छोटे छिद्र पाये जाते हैं जो कि सूक्ष्म छिद्र (Ultrapore) की भाँति कार्य करते हैं। इन अल्ट्रापोर द्वारा छोटे आकार के पदार्थ के अणु आसानी से प्रवेश कर जाते हैं लेकिन बड़े आकार के अणु कोशिका झिल्ली से बाहर रह जाते हैं।

1.6.3 इलेक्ट्रोकैपिलरी सिद्धान्त (Electrocapillary Theory)

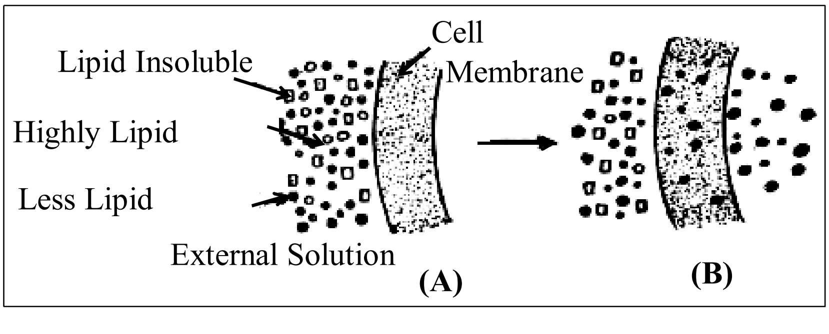
इस सिद्धान्त के अनुसार कोशिका झिल्ली में उपस्थित छिद्रों में धनात्मक एवं ऋणात्मक विद्युत आवेश उपस्थित होता है। इसलिए पारगम्यता विसरित होने वाले कणों के आवेश पर निर्भर होती है।



चित्र क्र. 1.3: इलेक्ट्रोकैपिलरी सिद्धान्त

धनात्मक आवेशित झिल्लियाँ केवल एनायन्स (Anions) को जबकि ऋणात्मक आवेशित झिल्लियाँ केवल केटायन्स (Cations) को आरपार जाने देती हैं। अर्थात वे कण जो झिल्ली के आवेश के समान आवेशित है प्रतिकर्षित हो जाते हैं लेकिन झिल्ली के विपरित आवेश वाले कण आरपार चले जाते हैं।

उदासीन झिल्लियों द्वारा केटायन एवं एनायन बिना अवरोध के गमन करते हैं।



चित्र क्र. 1.4: लिपिड विलेयता सिद्धान्त

टिप्पणी

1.6.4 लिपिड विलेयता सिद्धान्त (Lipid Soluble Theory)

हम जानते है कि झिल्लियाँ लिपिड द्विस्तरीय होती हैं। ओवरटेन–1900 (Overtan–1900) के अनुसार जो पदार्थ लिपिड में घुलनशील होते हैं या उनसे बंधुता दर्शाते हैं वे आसानी से आरपार हो जाते हैं। लाइपोफिलिक पदार्थों के विसरण की दर लिपिड घुलनशीलता के समानुपाती होती है।

1.6.5 कलिलीय सिद्धान्त (Colloidal Theory)

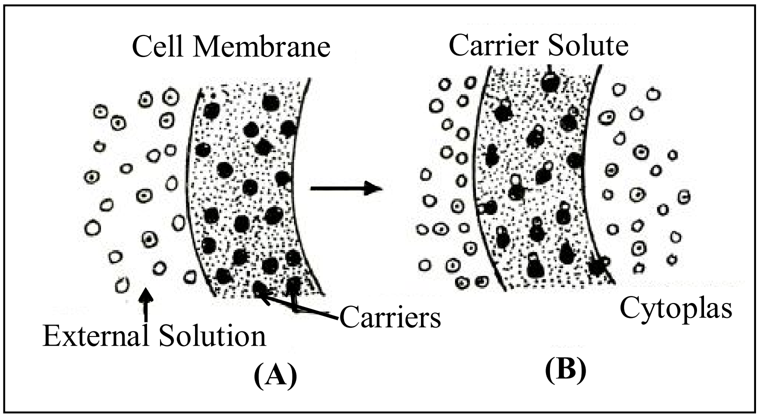
इस सिद्धान्त के अनुसार कोशिका झिल्ली एवं जीवद्रव्य पोलीफेजिक कोलॉइड़ल तंत्र के रुप में उपस्थित होते हैं। क्लोव (Clowe 1916) ने इसे फेज इनवर्जन घटना का नाम दिया।

1.6.6 कैरियर परिकल्पना (Carrier Theory)

इस सिद्धान्त के अनुसार कोशिका झिल्ली पर वाहक अणु उपस्थित होते हैं। इन्ही वाहक अणुओं (Carrier molecules) द्वारा पदार्थों के अणु मिलकर कैरियर कॉम्प्लेक्स बनाते हैं। यही वाहक कॉम्प्लेक्स पदार्थों के अणुओं को कोशिका झिल्ली की आंतरिक सतह तक पहुँचाते हैं। जहाँ पर Carrier Complex वाहक एवं Substance के रुप में अलग हो जाते हैं। वाहक अपनी बाहरी सतह पर वापस आ जाते हैं जबकि पदार्थ के अणु झिल्ली की आंतरिक सतह से होते हुए कोशिका द्रव्य में प्रवेश कर जाते हैं।

Cell Exterior

1. **Carrier + Substance + Energy → Carrier Substrate Complex**



चित्र क्र. 1.5: कैरियर परिकल्पना

Cell Interior

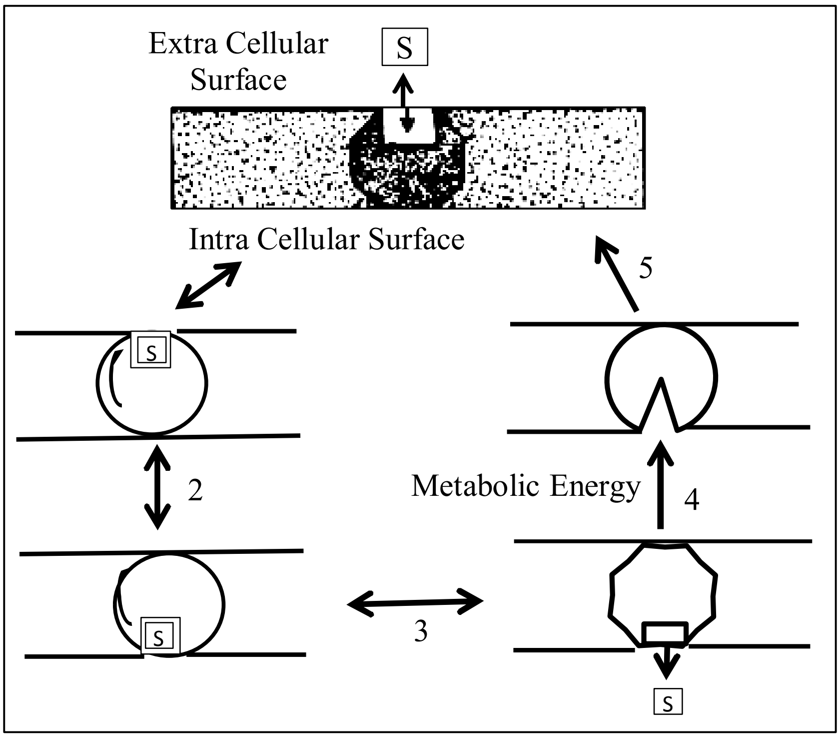
2. **Carrier Substrate Complex → Carrier + Substrate**

1.6.7 कैरियर वेसीकल सिद्धान्त (Carrier Vesicle Theory)

स्टाइल एवं कोकिंग (Stiles and Cockings) के अनुसार, पदार्थों के अणु कोशिका झिल्ली की बाहरी सतह पर उपस्थित Vesicle के द्वारा अंदर की झिल्ली तक ले

टिप्पणी

जाये जाते हैं। सतह पर उपस्थित ये Carrier Vesicles अंदर की तरफ धँसे होते हैं। बाहरी सतह से Substances आकर Vesicle में fit हो जाते हैं जिन्हें आंतरिक झिल्ली तक पहुँचाया जाता है। झिल्ली की सतह पर आकर Vesicles टूट जाते हैं और Substances को आंतरिक सतह पर छोड़ देते हैं। यह प्रक्रिया Pinocytosis कहलाती है।



चित्र क्र. 1.6: कैरियर वेसीकल सिद्धान्त परिकल्पना

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

4. पारगम्यता का कलिलीय सिद्धान्त किसने दिया—
   (अ) क्लोव ने (ब) हेन्सटीन ने
   (स) रॉबर्ट ने (द) रुहलेण्ड ने
5. कोशिका झिल्ली होती है—
   (अ) पारगम्य (ब) अपारगम्य
   (स) अर्ध पारगम्य (द) उपर्युक्त कोई नहीं।

1.7 पदार्थों का गमन (Movement of Substances)

टिप्पणी

जीवित कोशिकायें जो कि चयापचयी रुप से सक्रिय होती हैं इनमें कई तरह के पदार्थ कोशिकाओं में प्रवेश करते हैं एवं बाहर आते हैं जिससे संपूर्ण जैविकीय क्रियायें संपन्न होती हैं। पदार्थ के इन अणुओं के गतिमान रहने में मुख्य रुप से दो तरह के बल कार्य करते हैं–

1. अणुओं की गतिज ऊर्जा (Kinetic energy of molecules)
2. जैविक ऊर्जा (Biological energy)

यह गतिज ऊर्जा अणुओं में अंतर्निहित होती है अतः अपनी अंतर्निहित ऊर्जा के द्वारा ही अणु कोशिका झिल्ली को पार कर जाते हैं। सामान्यतः यह भौतिक बल कहलाता है। जैविक ऊर्जा जो कि श्वसन क्रिया से प्राप्त होती है, वो भी अणुओं के गमन में सहायक होती है। इस अध्याय में तीन प्रकार से अणुओं के गति के बारे में अध्ययन करेंगे–

(i) विसरण (Diffusion)

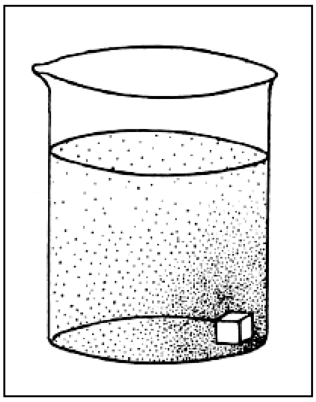
(ii) परासरण (Osmosis)

(iii) अन्तःशोषण (Imbibition)

1.8 विसरण (Diffusion)

1.8.1 अवधारणा एवं परिभाषा (Concept and Definition)

जब भी हम किसी कमरे के एक कोने में अगरबत्ती जलाते हैं, या इत्र की बोतल एक कोने में खोलते है उसकी सुगंध पूरे कमरे में फैल जाती है। इसी प्रकार अगर एक U tube लेकर उसमें नीचे की तरफ एक छिद्रित झिल्ली लगाकर एक तरफ पानी एवं दूसरी तरफ शक्कर का गाढ़ा विलयन भरते हैं तो शक्कर का विलयन पानी से भरी भुजा की तरफ् गमन करने लगता है। कुछ समय के पश्चात दोनो भुजाओं के विलयन की सांद्रता समान हो जाती है।



चित्र क्र. 1.7: ठोस पदार्थ में विसरण का प्रदर्शन

टिप्पणी

एक बीकर में पानी भरकर उसमें कॉपर सल्फेट का एक टुकड़ा डालिये। कुछ समय बाद देखने पर पता चलता है कि धीरे–धीरे वह घुलने लगता है एवं $CuSo_4$ के क्रिस्टल सभी दिशाओं में गमन करते हैं और पानी का रंग हरा हो जाता है। ठोस, द्रव एवं गैसीय अवस्था में विसरण प्रक्रिया को दर्शाते हैं।

परिभाषा (Definition)

विसरण वह प्रक्रिया है जिसमे ठोस, द्रव या गैस के अणु अधिक सांद्रता वाले क्षेत्र से कम सांद्रता वाले क्षेत्र की ओर गमन करते हैं। इस प्रक्रिया में विसरित हो रहे अणुओं या आयनों में एक दबाव उत्पन्न होता है। इसे विसरण दाब कहते हैं।

विसरण दाब (Diffusion pressure) विसरित होने वाले अणुओं की सांद्रता या संख्या के समानुपाती होती है। अर्थात विसरित होने वाले आयन्स या अणुओं की सांद्रता यदि अधिक है तो विसरण दाब भी अधिक होगा।

ग्राहम का विसरण नियम (Grahams Law of Diffusion)

इस नियम के अनुसार विसरण की दर विसरित हो रहे अणुओं के घनत्व के वर्गमूल के व्युत्क्रमानुपाती (Inversely Proportional) होती है। विसरित अणु का आकार जितना बड़ा होगा विसरण की दर उतनी कम होगी।

1.8.2 विसरण की दर को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting the Rate of Diffusion)

1. **माध्यम (Medium)**– विसरण की दर माध्यम की सांद्रता के प्रतीपानुपाती (Inversely proportional) होती है।
2. **तापमान (Temperature)**– तापमान में वृद्धि होने से विसरित होने वाले अणुओं की गतिज ऊर्जा (Kinetic energy) बढ़ जाती है जो विसरण की दर में वृद्धि करती है।
3. **विसरित होने वाले अणुओं का घनत्व (Density of diffusing molecules)**– विसरण की दर विसरित होने वाले अणुओं के घनत्व के वर्ग के विलोमानुपाती होता है। (ग्राहम का नियम)

   $$D = \frac{1}{\sqrt{a}}$$

4. **विसरण दाब विभव**– किसी भी माध्यम में विसरण दाब विभव अधिक होने पर विसरण की दर बढ़ जाती है।

1.8.3 विसरण का महत्व (Significance of Diffusion)

1. प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन प्रक्रिया के दौरान गैसों का आदान प्रदान (CO_2) एवं (O_2) विसरण द्वारा होता है।
2. वाष्पोत्सर्जन प्रक्रिया में जल वाष्प का वाष्पीकरण होना विसरण द्वारा संभव होता है।

3. विसरण पौधों में कार्बनिक विलेयो के स्थानान्तरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।
4. पौधों की जड़ो द्वारा जल का अवशोषण विसरण द्वारा संभव होता है।
5. विसरण प्रक्रिया द्वारा ही खनिज लवणों का अवशोषण (निष्क्रिय लवण अवशोषण के दौरान) संभव होता है।

1.9 परासरण (Osmosis)

यदि किसी भी दो भिन्न सांद्रता वाले विलयनों को एक अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा अलग कर दिया जाये तो विलायक के अणु अधिक सांद्रता वाले विलयन से कम सांद्रता वाले विलयन की और गति करने लगते हैं। यह क्रिया परासरण (Osmosis) कहलाती है।

अर्थात पानी या किसी भी विलायक के अणुओं का अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा अधिक सांद्रता से कम सांद्रता की और विसरित होना परासरण कहलाता है। वह झिल्ली जो पानी के अणुओं को आसानी से पार जाने देती है परंतु विलायक के अणुओं को रोकती है, अर्धपारगम्य (Semipermeable) झिल्ली कहलाती है।

उदाहरण– प्लाज्मा झिल्ली।

1.9.1 विलयनों के प्रकार (Types of Solutions)

1. **अतिपरासारी (Hypertonic Solution)**– जब विलयन की सांद्रता कोशिका रस की सांद्रता से अधिक होती है तब इसे अतिपरासारी विलयन कहते हैं।
2. **अल्पपरासारी (Hypotonic Solution)**– जब विलयन की सांद्रता कोशिका रस की सांद्रता से कम होती है तब इसे अल्पपरासारी विलयन कहते हैं।
3. **समपरासारी विलयन (Isotonic Solution)**– जब विलयन की सांद्रता कोशिका रस की सांद्रता के बराबर होती है तब इसे समपरासारी विलयन कहते हैं।

1.9.2 आलू के ऑस्मोस्कोप द्वारा परासरण का प्रदर्शन (Demonstration of Osmosis by Potato Osmoscope)

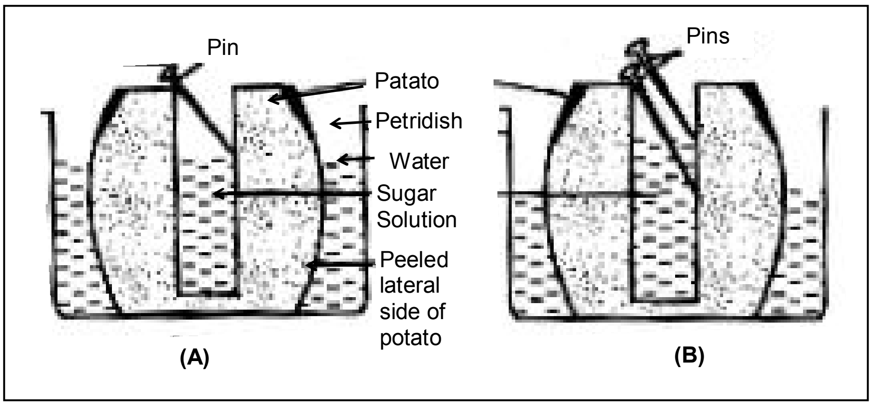
परासरण जीवित कोशिका की एक अति महत्वपूर्ण क्रिया है। इसके प्रदर्शन हेतु आलू के ऑस्मोस्कोप को प्रयोग में लाते हैं।

प्रयोग

एक गोलाकर आलू लेकर छीलिये। इसके नीचे की सतह को चाकू की सहायता से चपटा करिये। ऊपरी सतह पर एक गहरी केविटी (Cavity) बनाकर उसमें शक्कर का गाढ़ा घोल भर दीजिये। घोल के स्तर तक एक आलपिन लगा देते हैं।

टिप्पणी

पेट्रीडिश में पानी भरकर आलू को उसमें रख दीजिये। कुछ समय पश्चात् देखने पर पता चलता है कि केविटी के अंदर के विलयन का स्तर ऊपर आ जाता है क्योंकि पेट्रीडिश में उपस्थित पानी आलू की कोशिकाओं की अर्धपारगम्य झिल्लियों द्वारा केविटी में प्रवेश कर जाता है। यह परासरण के नियम के अनुसार होता है।



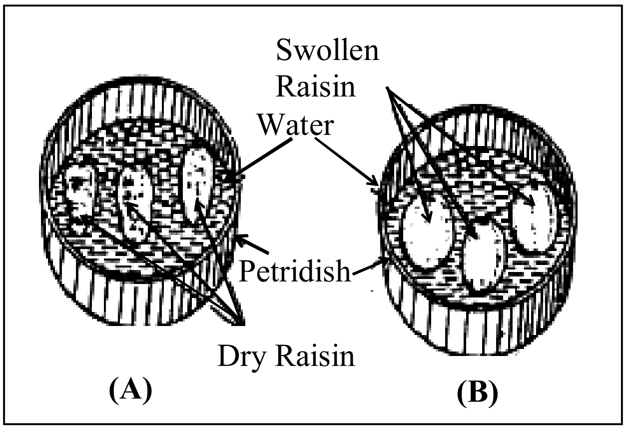
चित्र क्र. 1.8: आलू के परासरणमापी द्वारा परासरण क्रिया का प्रदर्शन (A) प्रारम्भिक स्तर (प्रारंभ में), (B) अंतिम स्तर (प्रयोग के अंत में)

1.9.3 परासरण के प्रकार (Types of Osmosis)

पौधों में दो तरह से परासरण होता है–

(i) अन्तःपरासरण (Endosmosis)– जब पानी अथवा विलायक के अणु बाहरी माध्यम से प्लाज्मा झिल्ली द्वारा कोशिका के अंदर प्रवेश करते हैं इसे अन्तः परासरण कहते हैं।

उदाहरण– सूखे किशमिश को पानी से भरे बीकर में रखते है तो वह अन्तः परासरण होने के कारण फूल जाती है।

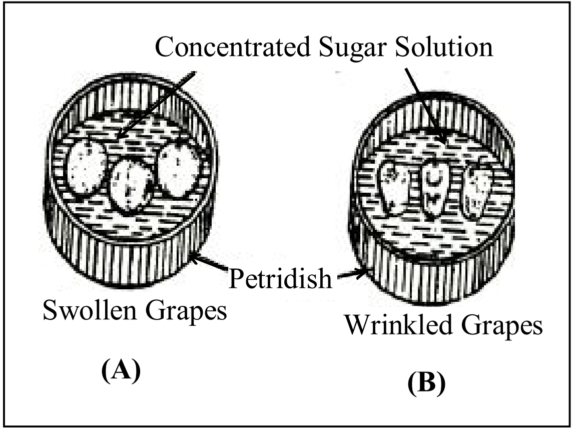


चित्र क्र. 1.9: किशमिश में अंतःपरासरण

टिप्पणी

(ii) बाह्य परासरण (Exosmosis)– जब किसी कोशिका को सांद्र विलयन में रखा जाता है तो कोशिका से पानी के अणु बाहरी सांद्र विलयन की ओर गमन करते हैं। इसे बाह्य परासरण कहते हैं। बाह्य परासरण को निम्न प्रयोग द्वारा प्रदर्शित किया जा सकता है।

एक बीकर में शक्कर का सांद्र विलयन लेते है। इसमें अंगूरों को रखते हैं। कुछ समय बाद देखने पर अंगूर पिचके हुये (Wrinkled) दिखाई देते हैं। चूँकि अंगूर की कोशिकाओं में कम सांद्रता का विलयन रहता है जबकि बाहरी विलयन की सांद्रता कोशिका विलयन से अधिक थी। इसलिए जल के अणु अंगूरों की कोशिकाओं से अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा बाहरी अधिक सांद्रता वाले विलयन की ओर गमन कर जाते हैं और अंगूर पिचक (Collapsed) जाते हैं।



चित्र क्र. 1.10: अंगूरों का बाहयपरासरण

1.9.4 परासरण का महत्व (Significance of Osmosis)

1. सम्पूर्ण पादप शरीर में एक कोशिका से दूसरी कोशिका में जल की गति परासरण क्रिया के द्वारा होती है। पादप कोशिकाओं में आशूनता परासरण द्वारा अवशोषित जल के कारण होती है।
2. कोशिका में परासरण दाब के कारण ही drought एवं frost के प्रति प्रतिरोध क्षमता विकसित हो जाती है।
3. परासरण क्रिया के कारण ही कोशिकायें एवं पादप अंग अपने आकार को धारण कर पाते हैं। परासरण के कारण मुलायम ऊतक (Softer tissues) को आशूनता (Turgidity) मिलती है जो कि उनके लिए यांत्रिक सहारे की तरह कार्य करती है।
4. परासरण क्रिया द्वारा ही मूलरोम मिट्टी से जल का अवशोषण करते हैं। परासरण फलों एवं स्पोरेन्जिया (Sporangia) के स्फुटन में सहायक होता है। फूलों के खुलने, बंद होने एवं पत्ती के मुरझाने (छुईमुई) की क्रिया परासरण द्वारा संपन्न होती है।

1.9.5 पादप कोशिका का परासरण संबंध (Osmotic Relation to Plant Cell)

टिप्पणी

1. **परासरण दाब (Osmotic Pressure)**– वह अतिरिक्त दाब जो अर्धपारगम्य झिल्ली द्वारा विलायक के प्रवाह को विलयन में जाने से रोकने के लिए प्रयुक्त होता है, परासरण दाब कहलाता है। परासरण दाब प्लाज्मा, झिल्ली के दोनों तरफ के विलायक एवं विलेय के कणों के तापमान एवं दाब पर निर्भर करता है।
2. **आशून दाब (Turgor Pressure (TP))**– जब किसी कोशिका को कम परासारी विलयन में रखा जाता है तो पानी के अणु परासरण क्रिया द्वारा कोशिका में प्रवेश कर जाते हैं और कोशिका आशून हो जाती है। इस कारण कोशिका भित्ति पर दबाव पड़ता है जिसे आशून दाब कहते हैं। चूँकि यह दबाव पानी के अणुओं की अधिकता से उत्पन्न होता है इसलिए हाइड्रोस्टेटिक प्रशर भी कहलाता है।
3. **भित्ति दाब (Wall Pressure)**– न्यूटन के नियमानुसार बल विपरीत दिशा में बराबर मात्रा में उत्पन्न होता है। अर्थात् भित्ति दाब आशून दाब के विपरीत लगने वाला बराबर मात्रा का बल है। जो कि पानी के अणुओं के प्रवेश के साथ–साथ बढ़ता है।

सारणी क्र. 1.1: परासरण एवं विसरण में अंतर

(Difference between Diffusion and Osmosis)

क्र.	विसरण	परासरण
1.	यह पदार्थ की तीनों अवस्थाओं ठोस, द्रव एवं गैस में होता है।	यह केवल द्रवों में होता है।
2.	अर्धपारगम्य झिल्ली नहीं पायी जाती।	परासरण में अर्धपारगम्य झिल्ली की आवश्यकता होती है।
3.	विसरण क्रिया में अणुओं का गमन अधिक सांद्रता से कम सांद्रता की ओर होता है।	परासरण क्रिया में पानी या विलायक के अणुओं का गमन कम सांद्रता वाले विलयन से अधिक सांद्रता वाले विलयन की ओर होता है।

1.10 जल अवशोषण (Water Absorption)

1.10.1 जल के प्रकार (Types of Water)

जल निम्न प्रकार से पौधों द्वारा अवशोषित किया जाता है।

मृदा जल (Soil water)– सामान्य मृदा में जल की मात्रा 25–30% तक होती है। मृदा जल निम्न प्रकार का होता है–

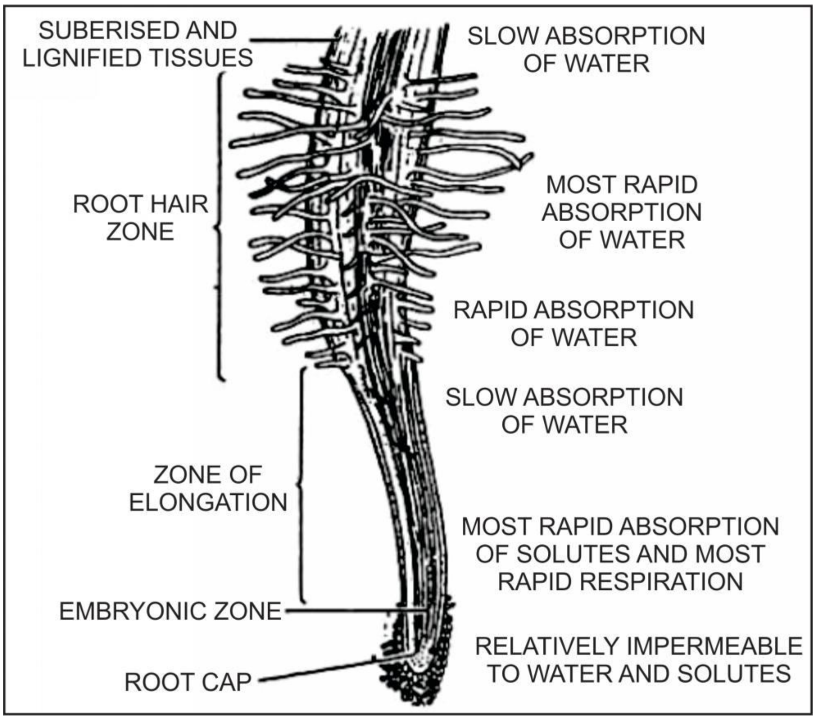
टिप्पणी

1. **गुरुत्वीय जल (Gravitational water)**– वर्षा होने पर जल गुरुत्वाकर्षण बल के कारण पृथ्वी के अंदर अंतःस्रावित (Percolate) हो जाता है और Water table तक पहुँच जाता है। इसे गुरुत्वीय जल कहते है। लेकिन पौधे इसे अवशोषित नहीं कर पाते क्योंकि जड़ें इस जल स्तर तक नहीं पहुँच सकती।

2. **कैपिलरी जल (Capillary water)**– वह जल जो मिट्टी के कणों के बीच उपस्थित नलिकाओं, छिद्रों में भरा रहता है केशिका जल कहलाता है। केवल कैपिलरी जल ही पौधों को उपलब्ध होता।

3. **आर्द्रता जल (Hygroscopic water)**– मिट्टी के कणों के चारों तरफ जल के अणु वाष्प के रुप में उपस्थित होते हैं। इसे आर्द्रता जल कहते हैं। इसका अवशोषण पौधे की जड़ों द्वारा संभव नहीं हो पाता है। सामान्यतः पौधे की जड़ों द्वारा ही जल का अवशोषण होता है। परंतु विशेष परिस्थितियों में तनों द्वारा भी जल अवशोषण संभव है। जड़ के अग्रस्थ सिरे को मुख्य रुप से चार भागों (Zones) में बाँटा जा सकता है–

   (i) मूल टोप प्रदेश (Root Cap Zone)– यह जड़ों के सिरे (Root tip) पर एक आवरण के रुप में उपस्थित होता है जो मिट्टी के कणों से Root tip की रक्षा करता है।



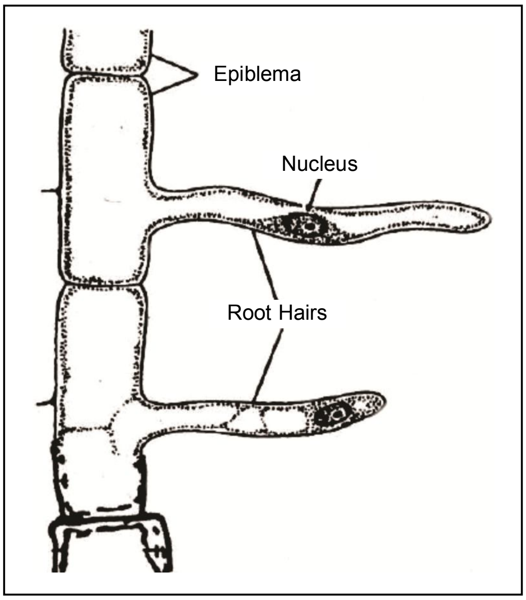
चित्र क्र. 1.11: तरूण मूल में उपस्थित जड़ के अग्रस्थ भाग

टिप्पणी

(ii) विभाजी प्रदेश (Meristematic Zone)– इस प्रदेश की कोशिकायें लगातार विभाजित होकर नवीन कोशिकाओं को जन्म देती हैं। जिनके द्वारा श्वसन तथा खनिज लवणों का अवशोषण तीव्रता से होता है।

(iii) दीर्घीकरण प्रदेश (Zone of elongation)– इस प्रदेश की कोशिकायें जड़ की लम्बाई बढ़ाने में सहायक होती है।

(iv) मूलरोम प्रदेश (Root hair zone)– यह भाग दीर्घीकरण प्रदेश के ठीक ऊपर विकसित होता है जिस पर एक कोशिकीय मूल रोम विकसित होते है। इसी प्रदेश के मूल रोम द्वारा सर्वाधिक जल का अवशोषण होता है।



चित्र क्र. 1.12: मूलरोम की संरचना

जल अवशोषण मूल रोम (Root hairs) द्वारा होता है। इस क्षेत्र में जाइलम विकसित नहीं हो पाता तथा एपीब्लेमा एवं एण्डोडर्मिस (Endodermis) पारगम्य होती है जिससे जल अवशोषण आसानी से संभव हो पाता है। मूल रोम की संख्या पादप प्रजातियों के अनुसार अलग–अलग होती है। जैसे कि शाकीय (Herbacious) पौधों में काष्ठीय पौधों की अपेक्षा मूल रोम की संख्या अधिक होती है। इसी तरह पुष्पीय पौधों (Angiosperms) में जिम्नोस्पर्म की अपेक्षा अधिक मूल रोम पाये जाते हैं।

मूलरोम की संरचना (Structure of Root Hair)

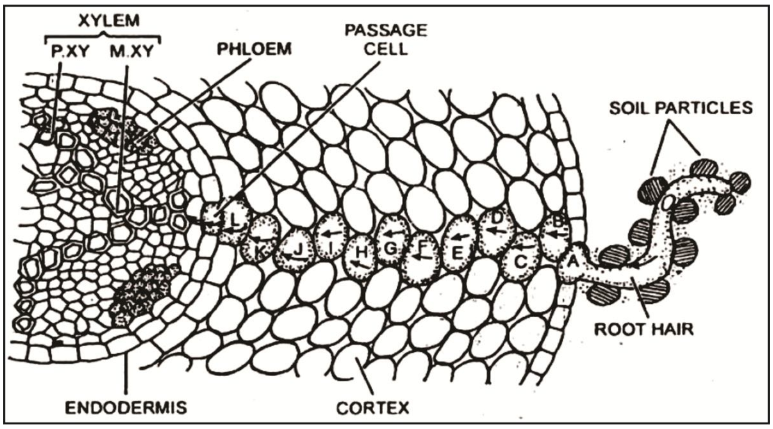
यह दीर्घीकरण प्रदेश के ठीक ऊपर विकसित होते है। मूलरोम लम्बे, एककोशिकीय संरचना होती है जो कि एपीब्लेमा (Epiblema) की बाह्य भित्ति से उभार के रुप में विकसित होते है। मूल रोम की बाह्य भित्ति पेक्टिक पदार्थों की बनी होती है जो कि मिट्टी के कणों से चिपकी होती है। इसकी आंतरिक सतह सेल्युलोज से बनी

टिप्पणी

होती है जो अन्तःशोषण द्वारा जल अवशोषण में सहायक होती है। मूलरोम कोशिका में एक केन्द्रक तथा बड़ी रिक्तिका (Vacuole) पायी जाती है, जो कि Cell sap से भरी होती है। सामान्यतः मूल रोम मिट्टी के कणों के बीच उपस्थित जल के संपर्क में आते हैं और जल अवशोषण करते हैं।

1.10.2 जल अवशोषण की क्रियाविधि (Mechanism of Water Absorption)

पौधों में जल अवशोषण की क्रिया मूलरोमों द्वारा होती है। मिट्टी के कणों के बीच में केशिका जल उपस्थित रहता है। मूल रोम मिट्टी के कणों के संपर्क में आकर इसी केशिका जल का अवशोषण करते हैं। प्रत्येक Root hair में कोशिका रस से भरी एक बड़ी रिक्तिका पायी जाती है। जल अवशोषण के दौरान मूलरोम का साइटोप्लाज्म एक अर्धपारगम्य झिल्ली की तरह कार्य करता है जिससे होकर कोशिका जल तथा लवणों के आयन अंदर की तरफ विसरित हो जाते है। यही मूलरोम कॉर्टेक्स कोशिकाओं से होते हुये एण्डोडर्मिस एवं जाइलम तक जल को पहुँचाने का कार्य करते हैं।



चित्र क्र. 1.13: जल अवशोषण की क्रियाविधि

क्रेमर के अनुसार पौधों में जल अवशोषण दो विधियों द्वारा संभव है–

1. सक्रिय जल अवशोषण (Active Water Absorption)
2. निष्क्रिय जल अवशोषण (Passive Water Absorption)

1. सक्रिय जल अवशोषण– यह दो प्रकार से होता है–

(अ) **परासरणीय विधि द्वारा सक्रिय जल अवशोषण (Active absorption by osmotic theory)**– इस मत के अनुसार विसरण दाब की प्रवणता के अनुसार जल अवशोषण होता है। अन्तः परासरण क्रिया द्वारा मूलरोम मिट्टी के कणों से जल अवशोषण कर लेते हैं जिससे मूल दाब में बढ़ोतरी हो जाती है। अगर जाइलम रस का परासरण विभव (Osmotic Potential) मृदा के विलयन से अधिक होता है तो जड़ों के जाइलम द्वारा जल का अवशोषण होने लगता है। एटकिन्स (Atkins 1916) तथा प्रिस्टले

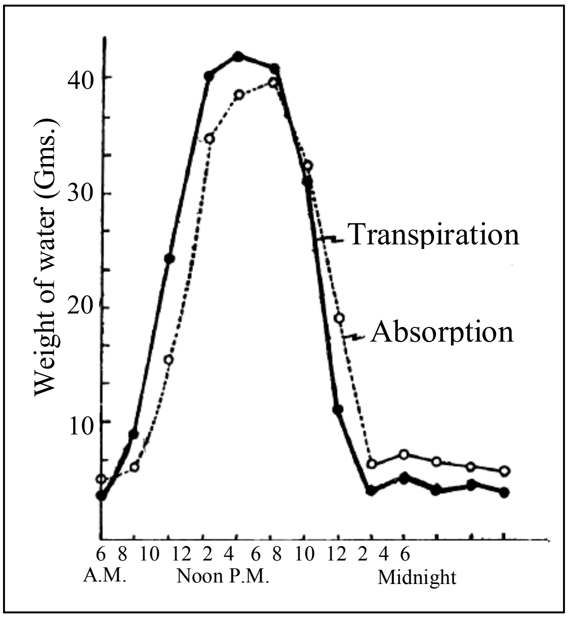
टिप्पणी

(Priestley 1922) ने बताया कि जल का अवशोषण मृदा जल तथा कोशिका रस के परासरणीय अंतर के फलस्वरुप होता है। सामान्यतः मृदा जल का परासरणीय दाब 1 atm, तथा कोशिका रस का 2 atm, होता है। इस परासरणीय अंतर के कारण किसी भी प्रकार की उपापचयी ऊर्जा की आवश्यकता नहीं होती एवं स्वतः ही जल अवशोषण होते रहता है।

परासरणीय जल अवशोषण में भिन्न वैज्ञानिकों ने अलग–अलग मत प्रस्तुत किये। Atkins (1960) के अनुसार पास स्थित पेरेनकाइमा कोशिकायें जाइलम वेसिकल्स में शर्करा का स्रावण करती हैं।

प्रीस्टले के अनुसार कोशिकाओं के पदार्थ जो जाइलम अवयव को पृथक करते है वो आवश्यक विलेय (Solute) प्रदान करता है। एण्डरसन एवं हाउस (1967) के अनुसार जीवित कोशिकाओं के जाइलम अवयव लवणों का अवशोषण करते हैं।

(ब) **अपरासरणीय विधि द्वारा सक्रिय जल अवशोषण (Active absorption by non-osmotic theory)–** (Bennet Clark et. al. 1936), Thimann (1951), (Bogen and Prell, 1953) इन वैज्ञानिकों के मतानुसार जल का अवशोषण अपरासरणीय विधि द्वारा होता है। सामान्यतः मृदा जल की सांद्रता कोशिका रस की सांद्रता से कम होती है। अतः परासरण के नियमानुसार बाह्य–परासरण (Exosmosis) द्वारा जल मूलरोम से बाहर विसरित होना चाहिए। लेकिन जल अवशोषण लगातार होता रहता है। यह प्रमाण है कि जल अवशोषण सांद्रण शक्ति के विरुद्ध होता है। अतः यह निष्कर्ष निकलता है कि जल अवशोषण ऊर्जा के उपयोग से ही संभव है। यह ऊर्जा कोशिकीय श्वसन द्वारा प्रदान की जाती है। तभी अधिक DPD से कम DPD की ओर जल का अवशोषण होता है।



चित्र क्र. 1.14: जल अवशोषण का ग्राफीय निरूण्ण

टिप्पणी

प्रमाण

(a) ऑक्सिजन श्वसन दर को बढ़ाता है, वह जल अवशोषण में भी वृद्धि कराता है।

(b) ऐसे कारक (O_2 की कमी, तापमान में कमी) जो श्वसन दर को कम करते हैं वह जल अवशोषण को भी कम करते हैं।

(c) कई श्वसन निरोधक पदार्थ (KCN, आयोडो एसीटिक अम्ल) जो श्वसन की दर को कम करते हैं वे जल अवशोषण को भी रोकते हैं। अर्थात् जल अवशोषण में श्वसन क्रिया द्वारा उत्सर्जित ऊर्जा का उपयोग होता है।

यह प्रमाण दर्शाते है कि कोशिकीय श्वसन एवं जल अवशोषण में निकटतम संबंध है। श्वसन की यह ऊर्जा अप्रत्यक्ष रुप से कोशिका की पारगम्यता एवं जाइलम द्वारा जल एवं लवणों के अवशोषण में वृद्धि करती है।

2. **निष्क्रिय जल अवशोषण**– निष्क्रिय जल अवशोषण की क्रिया वाष्पोत्सर्जन (Transpiration) वाली दशाओं में होती है। पौधे की पत्तियों द्वारा लगातार वाष्पोत्सर्जन होने से पत्ती के आयतन में कमी हो जाती है और इनका आशून दाब (Turger Pressure) कम हो जाता है। फलस्वरुप कोशिकाओं का DPD (Diffusion Pressure Deficit) अधिक हो जाता है। जिसके कारण ये कोशिकायें जाइलम की कोशिकाओं से जल खींचने लगती है और Xylem की कोशिकाओं में एक तनाव उत्पन्न हो जाता हैं। इसके कारण कॉर्टेक्स (Cortex) की कोशिकाओं में जल खिंचने लगता है। इस खिचांव की प्रक्रिया में कॉर्टेक्स की कोशिकायें मूल रोम पर खिंचाव उत्पन्न करती है जो मिट्टी से शीघ्रता से जल अवशोषण करने लगते हैं। अर्थात निष्क्रिय अवशोषण में जाइलम में उत्पन्न तनाव के कारण जल का अवशोषण होता है।

निष्क्रिय जल अवशोषण वाष्पोत्सर्जन की दर पर निर्भर करता है। इस अवशोषण में जल का अवशोषण पौधों के ऊपरी भाग के कारकों की क्रियाविधि पर निर्भर करता है एवं मूल रोम की कोशिकायें निष्क्रिय भूमिका निभाती है।

क्रेमर (1937) तथा लेचिनमीर (1932) के अनुसार निष्क्रिय अवशोषण में जल अवशोषण की दर लगभग वाष्पोत्सर्जन के बराबर होती है क्योंकि यह एक भौतिक क्रिया है और इसमें परासरण विभव के विपरीत जल का अवशोषण होता है। क्रेमर के अनुसार इस विधि द्वारा पौधों में लगभग 98% तक जल अवशोषण होता है।

1.10.3 जल अवशोषण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Water Absorption)

(i) उपस्थित मृदा वायु (Available soil air)– मृदा में वायु की कमी होने पर उपापचयी क्रियाओं (श्वसन) पर प्रभाव पड़ता है जिससे जल अवशोषण की दर कम हो जाती है। यदि मृदा में O_2 की मात्रा कम है तो नई जड़ों का विकास बाधित हो जाता है।

टिप्पणी

(ii) मृदा जल (Soil water)– मृदा जल में आवश्यकता से कम या अधिक जल की उपस्थिति जल अवशोषण की दर को कम कर देती है।

(iii) मृदा का तापमान (Temperature of soil)– मृदा के तापमान का जल अवशोषण पर सीधा प्रभाव पड़ता है। सामान्यतः 20 से 30°C तक जल अवशोषण की दर बढ़ जाती है किन्तु इससे अधिक तापमान पर अवशोषण की दर क्रमशः घटती चली जाती है।

(iv) खनिज लवणों की सांद्रता (Concentration of Mineral Salts)– मृदा जल में खनिज लवणों की सांद्रता बढ़ने से जल अवशोषण की दर कम होने लगती है क्योंकि मृदा विलयन की सांद्रता बढ़ने से इसका परासरण दाब बढ़ जाता है और मूल रोम कोशिका से जल बाह्य परासरण द्वारा बाहर विसरित हो सकता है। जो कि जल अवशोषण पर विपरित प्रभाव डालता है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

6. वास्तविक दाब जिसके द्वारा जल कोशिका में प्रवेश करता है उसे कहते है–
   (अ) विसरण दाब (ब) भित्ति दाब
   (स) परासरण दाब (द) डी.पी.डी।
7. जल के सक्रिय अवशोषण के लिए आवश्यक है–
   (अ) श्वसन (ब) परासरण
   (स) वाष्पोत्सर्जन (द) रसारोहण
8. बीज पानी में डालने पर किस प्रक्रिया के कारण फूल जाते हैं–
   (अ) परासरण (ब) अन्तःशोषण
   (स) जल अपघटन (द) उपर्युक्त सभी।
9. तापमान में अधिक वृद्धि होने पर जल अवशोषण–
   (अ) कम होगा (ब) अधिक होगा
   (स) स्थिर रहेगा (द) इनमें से कोई नहीं।
10. निष्क्रिय जल अवशोषण मुख्यतः निर्भर होता है–
   (अ) विसरण (ब) परासरण
   (स) वाष्पोत्सर्जन (द) प्रकाश संश्लेषण।

टिप्पणी

1.11 रसारोहण (Ascent of Sap)

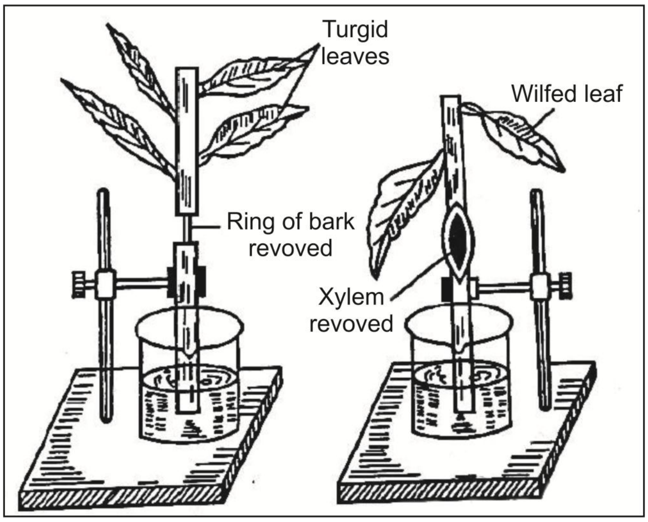
स्थलीय पौधों में पायी जाने वाली समस्त कोशिकाओं में (जड़, तना, पत्ती या कलिकायें) जल का स्रोत मृदा जल होता है। एक शाकीय पौधा हो या वृक्ष हो, भूमि से जल का अवशोषण जड़ों के जाइलम द्वारा होकर ऊपर की तरफ गति करता है। छोटे पौधों में यह 2–3 फीट की ऊँचाई तक जबकि वृक्षों में यह 250–300 फीट तक की ऊँचाई तक गति करता है। Stiles and Cocking (1969) ने पौधों में इस प्रकार जल की ऊपर की ओर गति (Upward movement) का अध्ययन किया। इनके अनुसार जल जड़ों द्वारा अवशोषित होकर जड़ के जाइलम में फिर तने के जाइलम में होता हुआ पौधों के अन्य भागों में पहुँचता है। जड़ों द्वारा अवशोषित यह जल शुद्ध नहीं होता बल्कि इसमें कार्बनिक एवं अकार्बनिक पदार्थ घुलित अवस्था में पाये जाते हैं। अतः इसे जाइलम रस कहा जाता है। और इसी जाइलम रस के पौधों के विभिन्न भागों तक पहुँचने की क्रिया रसारोहण कहलाती है।

परिभाषा (Definition)

''पौधों में गुरुत्वाकर्षण शक्ति (Gravitational force) के विरुद्ध जाइलम द्वारा जड़ से पौधे के तने तथा अन्य भागों में रस के ऊपर की ओर गति करने की क्रिया को रसारोहण कहते हैं।''

1.11.1 रसारोहण क्रिया का सत्यापन (Sap Ascent Verification)

वलयकरण प्रयोग (Ringing Experiment)



चित्र क्र. 1.15: वलयकरण प्रयोग A– छाल निकाला हुआ पौधा, B– जाइलम पृथक किया पौधा

टिप्पणी

प्रसिध्द वैज्ञानिक मैलपिघिआई (Malpighi) (1671) ने अपने प्रयोग में समझाया कि एक पौधे की शाखा A को लेकर उसके तने में एक वलय (Ring) इस प्रकार बनाते हैं कि जाइलम के अतिरिक्त सभी भाग तने से पृथक हो जाये। इस शाखा को पानी से भरे बीकर में रखते हैं। दूसरी शाखा B में रिंग इस प्रकार बनाते हैं कि उसका जाइलम अलग हो जाता है एवं अन्य सभी भाग (एपीडर्मिस, कार्टेम्स, फ्लोएम) तने में ही रहते हैं। कुछ दिनों के पश्चात देखने पर पता चलता है कि A शाखा हरी भरी है जबकि शाखा B की पत्तियाँ मुरझा जाती है। इस प्रयोग से प्रमाणित होता है कि रसारोहण की क्रिया जाइलम ऊतक द्वारा है संपन्न होती है क्योंकि शाखा A में जाइलम उपस्थित था जबकि शाखा B का जाइलम ऊतक हटा दिया गया था।

1.11.2 रसारोहण के सिद्धान्त (Theories of Ascent of Sap)

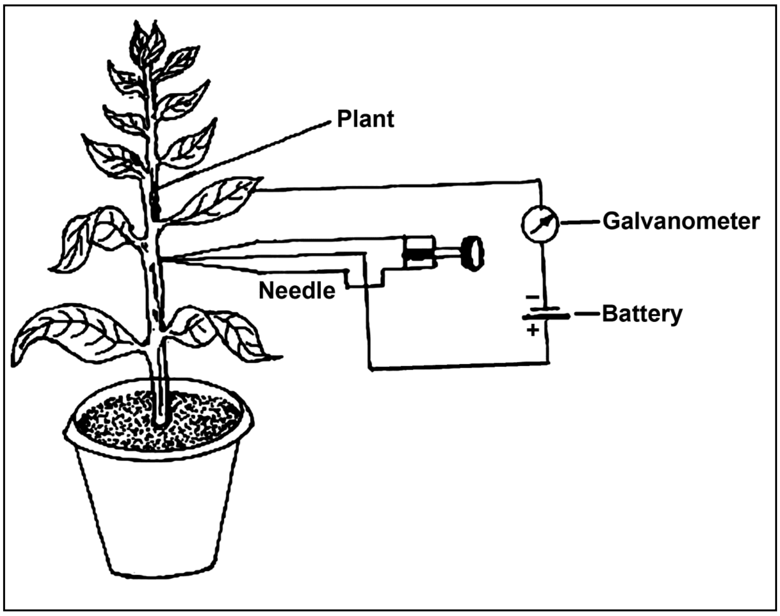
विभिन्न वैज्ञानिकों ने रसारोहण के अलग–अलग सिद्धान्त प्रतिपादित किये हैं–

1. जैविकदाब मत (Vital Force Theory)
2. मूलदाब मत (Root Pressure Theory)
3. भौतिकदाब मत (Physical Force Theory)

1. जैविकदाब मत (Vital Force Theory)– इस सिद्धान्त के अनुसार रसारोहण की क्रिया जीवित कोशिकाओं में ही संपन्न होती है। गॉडले–विस्की (1984) के अनुसार जाइलम पेरेनकाइमा तथा मज्जा किरणों के बीच परासरण दाब में लयबद्ध परिवर्तन के कारण पम्पिंग क्रिया (Pumping action) होती है। जिसके फलस्वरुप रसारोहण क्रिया होती है। स्ट्रॉसबर्गर (1893) के अनुसार जीवित कोशिकाओं को अगर विषैले पदार्थों द्वारा (जैसे पिकरिक अम्ल) नष्ट कर दिया जाये तो भी रसारोहण क्रिया संपन्न होती है। अतः उन्होंने गॉडले विस्की के सिद्धान्त को अस्वीकार कर दिया।

सन 1923 में जगदीश चंद्र बोस (जो कि भारतीय पादप कार्यिकी वैज्ञानिक थे) ने रसारोहण के जैविक सिद्धान्त को प्रतिपादित किया। डॉ. बोस ने स्वनिर्मित क्रिस्कोग्राफ (Crescograph) द्वारा सिद्ध किया कि तने की सबसे भीतरी कॉर्टेक्स की कोशिकाओं में स्पंदन गति (Pulsatory movement) होता है जिसके कारण रसारोहण क्रिया संपन्न होती है। डॉ. बोस ने प्रयोग हेतु गेल्वेनोमीटर तथा नीडिल युक्त विद्युत उपकरण को प्रयोग में लिया। गेल्वेनोमीटर का एक सिरा सुई से तथा दूसरा सिरा पत्ती के साथ जोड़ा गया। उपकरण की सुई को पौधों के तने में प्रवेश कराया गया। जब सुई कॉर्टेक्स की सबसे भीतरी कोशिकाओं के संपर्क में आयी तो गेल्वेनोमीटर का सूचक तेजी से हिलने लगा। उन्होंने ज्ञात किया कि कोशिकाओं के स्पंदन के फलस्वरुप ही जल जाइलम वाहिनियों में प्रवेश करते हैं।

टिप्पणी



चित्र क्र. 1.16: जे.सी. बोस के प्रयोग द्वारा पौधों में रसारोहण का प्रदर्शन

मोलिश (Molisch 1929) जिन्होने बोस के सिद्धान्त का समर्थन किया, उन्होने प्रयोग द्वारा सिद्ध किया कि अगर पौधे में रासायनिक उपचार दिया जाता है तो कॉर्टेक्स की भीतरी कोशिकाओं की विद्युत क्रियायें तेजी से संपन्न होती है।

2. **मूलदाब मत (Root Pressure Theory)**– यदि एक पौधे को भूमि के कुछ ऊपरी भाग से काटते हैं तो उसमें से रस (Sap exudes) बाहर निकलने लगता है। जिसे रिसाव कहते हैं। जोसेफ प्रीस्टले (Joseph Priestley) ने इसके आधार पर मूलदाब सिद्धान्त का प्रतिपादन किया। इनके अनुसार जल के लगातार अवशोषण के कारण जड़ों में हाइड्रोस्टेटिक तनाव उत्पन्न हो जाता है जो कि जल की ऊपर की ओर गति के लिये उत्तरदायी होता है। यह दाब जो पौधे की जड़ों द्वारा उत्पन्न होता है, मूलदाब (Root Pressure) कहलाता है।

Stocking (1956) जड़ों की उपापचयी क्रियाओं के कारण जाइलम के ट्रेकियरी तत्वों (Treacheary elements) में उत्पन्न दाब को मूल दाब कहते हैं।

रसारोहण के लिए मुख्य कारक मूलदाब है किन्तु रसारोहण क्रिया उनमें भी संभव थी जिनकी जड़े काट दी गयी थी। सामान्यतः मूल दाब 2 atm. के बराबर होता है जो कि छोटे पौधों में कुछ फीट तक ही पानी ऊपर ले जा सकता है। जबकि बड़े पेड़ों में अतिरिक्त मूल दाब की आवश्यकता होगी। अतः निम्न तथ्यों के आधार पर इस सिद्धान्त को निरस्त कर दिया गया–

- मूलदाब सामान्यतः 2 atm. होता है जबकि बड़े पौधों में इससे कहीं अधिक दाब की आवश्यकता होती है।
- ठण्डे और सूखे क्षेत्रों में उगने वाले पौधों में रसारोहण क्रिया संपन्न होती है जबकि उनमें मूल दाब नहीं होता।

- **स्ट्रॅासबर्गर (Strasburger)**– उन पौधों में भी रसारोहण होता है जिनकी जड़ें अलग कर दी गयी हों।

टिप्पणी

प्रयोग द्वारा मूलदाब का प्रदर्शन (Demonstration of Root Pressure)

गमले में लगे एक शाकीय पौधे को लेते हैं। मिट्टी से कुछ ऊपर पौधें के तने को काटकर रबर ट्यूब द्वारा मरकरीमेनो मीटर से जोड़ा जाता है। कुछ समय पश्चात् मूलदाब उत्पन्न होने के कारण जल ऊपर चढ़ता है जिससे पारे का Level बढ़ जाता है। यह मूल दाब को प्रदर्शित करता है।

3. **भौतिकवाद मत (Physical Force Theory)**– इस वाद के अंतर्गत ऐसे सिद्धान्त सम्मिलित किये गये जो जाइलम की मृत कोशिकाओं द्वारा रसारोहण क्रिया का समर्थन करते हैं। इसके अंतर्गत निम्नलिखित मत प्रस्तुत किये गये हैं–

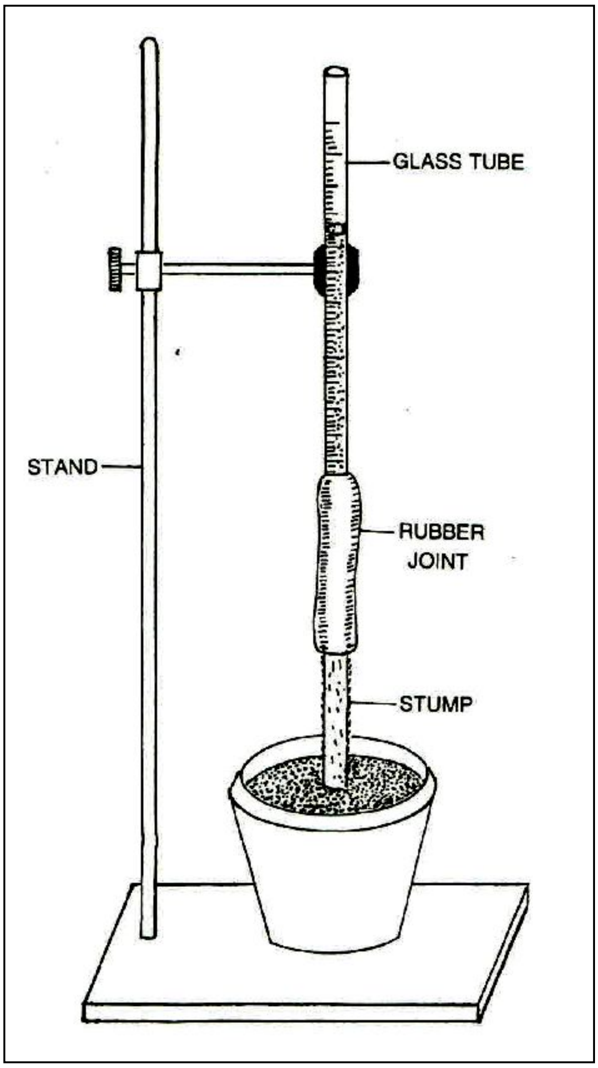
(i) वायुमण्डलीय दबाव मत (Atmospheric Pressure Theory)– इस मत के अनुसार वाष्पोत्सर्जन क्रिया के कारण जाइलम कोशिकायें शिथिल हो जाती हैं जिससे उनमें दबाव घट जाता है। इस अन्तराल को भरने हेतु वायुमण्डलीय दबाव के कारण जल नीचे से ऊपर की ओर चढ़ता है। इस मत को अमान्य कर दिया गया क्योंकि–

- वायुमण्डलीय दबाव हेतु निचला सिरा खुला होना आवश्यक हैं परंतु जड़ें मिट्टी में दबी होती हैं।
- वायुमण्डलीय दाब के कारण पानी कुछ फीट तक ही ऊपर चढ़ सकता है। अतः लम्बे वृक्षों हेतु यह मत मान्य नहीं होता।

(ii) अंतः चूषण वाद (Imbibition Theory)– सेक्स, (Sachs-1878) के अनुसार जाइलम वाहिनियों में अंतःशोषण के कारण ही जल का आरोहण होता है। परंतु यह मत नहीं माना गया।

(iii) केशिकात्व सिद्धान्त (Capillary Force Theory)– बोहम 1809 (Boehm) के अनुसार– रसारोहण हेतु केशिकात्व बल जिम्मेदार होता है। जाइलम वाहिकायें कैपिलरी की तरह कार्य करती हैं। जिससे रसारोहण क्रिया संपन्न होती है। किन्तु यह मत अमान्य हो गया क्योंकि कोशिका बल का मान इतना अधिक नहीं होता है जिससे लम्बे वृक्षों में रसारोहण क्रिया संपन्न हो सके।

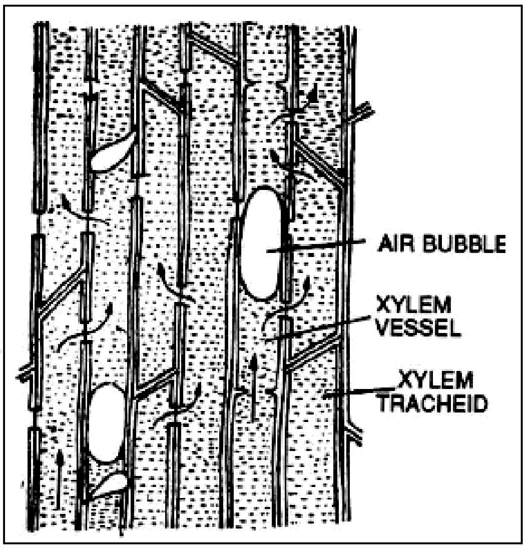
टिप्पणी



चित्र क्र. 1.17: प्रयोग द्वारा मूलदाब का प्रदर्शन

(iv) वाष्पोत्सर्जन खिंचाव सिद्धान्त (Transpiration Pull Theory)– इसको जल ससंजन सिद्धान्त (Cohesion Force Theory) भी कहते हैं। इस मत के अनुसार पौधों में वाष्पोत्सर्जन की क्रिया के कारण पानी जाइलम के द्वारा ऊपर की ओर चढ़ता है तथा जड़ से लेकर पत्ती के Air Space तक एक पानी का कॉलम (Water Column) बन जाता है जो कि निरंतर (Unnbroken) रहता है। और रसारोहण क्रिया होती है। इस मत को डिक्सन तथा जॉली (Dixen and Jolly–1894) ने प्रस्तुत किया और अपने प्रयोगों द्वारा सिद्ध कर दिया कि पानी के अणु आपस में एक दूसरे से जकड़े रहते हैं जिससे पानी का कॉलम टूटता नहीं है। इस मत का Curtis and Clark 1924, Bonrer and Glaston 1952 तथा क्रेमर (Kramer–1966) आदि वैज्ञानिकों ने समर्थन किया। डिक्सन तथा जॉली के अनुसार इस सिद्धान्त के तीन मुख्य पहलू हैं।

टिप्पणी



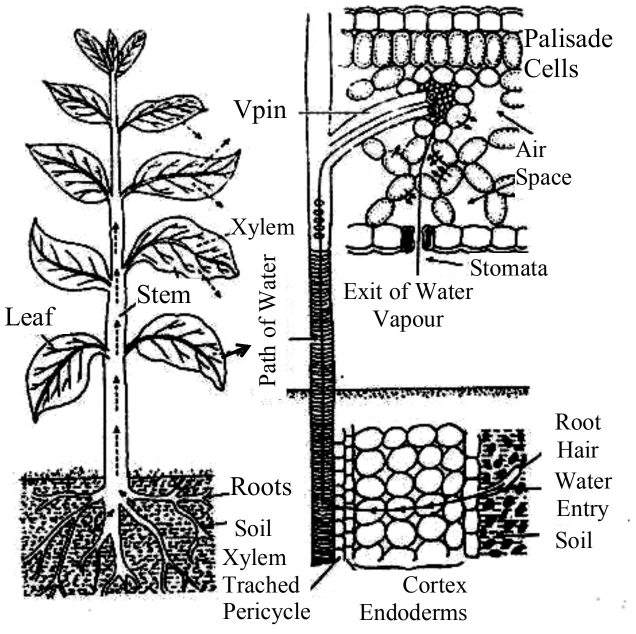
चित्र क्र. 1.18: जाइलम ट्रेकीड्स एवं जाइलम वेसल्स में जल की निरंतरता का प्रदर्शन

- निरंतर वाष्पोत्सर्जन क्रिया के कारण जाइलम में वाष्पोत्सर्जन खिंचाव (Transpiration Pull) में उत्पन्न होता है।
- पानी के अणु आपस में ससंजन बल (Cohesive Force) के कारण एक दूसरे को जकड़े रहते हैं। ससंजन बल के कारण ही यूकेलिप्टस जैसे वृक्षों में 120 फीट तक पानी ऊपर चढ़ जाता है।
- वाष्पोत्सर्जन के कारण पत्तियों में जल की कमी हो जाती है। जिससे पत्ती की शिराओं की जाइलम कोशिकाओं से परासरणीय प्रक्रिया द्वारा जल खींचा जाता है। जो मीजोफिल कोशिकाओं से होता हुआ अन्तरकोशिय अवकाशों (Inter cellular spaces) में पहुँचता है। बाद में यह रंध्रों द्वारा जलवाष्प बनकर वायुमण्डल में चला जाता है। मीजोफिल कोशिकाओं से जल हानि होने पर इनका कोशिका रस (Cell sap) गाढ़ा हो जाता है। तथा इनका परासरण दाब (O.P) तथा (DPD) बढ़ जाता है। एवं मीजोफिल कोशिकायें अपने आस पास की कोशिकाओं से जल ग्रहण करने लगती है एवं पत्ती की शिराओं में उपस्थित जाइलम तत्व से जल का अवशोषण होने लगता है। चूँकि जाइलम नलिका में पानी भरा होता है अतः पानी के अणुओं के बीच उपस्थित ससंजन बल एवं आसंजन बल (किसी सतह से चिपकने की प्रकृति) के कारण एक लगातार Water Column बन जाता है। जल के अणुओं का ससंजन बल का मान उच्च होता है अन्तः यह कॉलम टूटता नही है।

कोपलैण्ड (1902) के अनुसार जाइलम में उपस्थित बुलबुलों के कारण जल स्तंभ (Water Column) की दृढता (Rigidity) प्रभावित होती है। परन्तु शोलेण्डर (1957) ने स्पष्ट किया कि वायु के बुलबुलों से जल स्तंभ की निरंतरता प्रभावित

टिप्पणी

नही होती क्योंकि जाइलम कोशिकाओं में ऊर्ध्व तथा क्षैतिज दिशाओं में छिद्र होते हैं। जिससे पानी एक कोशिका से दूसरी कोशिका में आसानी से चला जाता है।



चित्र क्र. 1.19: वाष्पोर्त्जन द्वारा जॉली एवं डिक्सन के सलांगवाद का प्रदर्शन

1.12 वाष्पोत्सर्जन (Transpiration)

पौधों द्वारा मिट्टी से जितनी मात्रा में जल का अवशोषण होता है उसका लगभग 5% जल ही पौधों द्वारा उपापचयी क्रियाओं में उपयोग किया जाता है। अन्य जल रंध्रो द्वारा जलवाष्प (Water Vapour) के रुप में वातावरण में उड़ जाता है। अतः "पौधों की पत्तियों में स्थित रंध्रो (Stomata) एवं अन्य वायवीय भागों द्वारा जल के वाष्प के रुप में उत्सर्जन की क्रिया को वाष्पोत्सर्जन (Transpiration) कहते हैं।

वाष्पोत्सर्जन की क्रिया सामान्यतः गर्मियों में अधिक तेजी से होती है। यह देखा गया है कि बेटुला (Betula) जैसे पौधों से गर्मियों के दौरान वाष्पोत्सर्जन द्वारा निकला जलवाष्प पत्तियों के ताजा भार से पाँच गुना अधिक होता है। मेयर (Mayer–1956) के अनुसार मक्का का पौधा एक मौसम में 54 गैलन जल उत्सवेदित करता है जो उसके भार से कई गुना अधिक होता है।

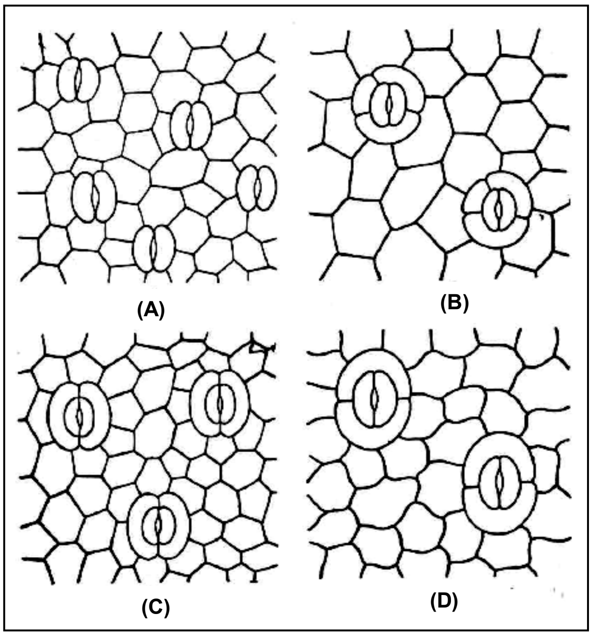
1.12.1 वाष्पोत्सर्जन के प्रकार (Types of Transpiration)

1. उपत्वचीय वाष्पोत्सर्जन (Cuticular transpiration)
2. रन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन (Stomatal transpiration)
3. वातरन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन (Lenticelar transpiration)

टिप्पणी

1. उपत्वचीय वाष्पोत्सर्जन (Cuticular Transpiration)– यह सामान्यतः शाकीय पौधों में पाया जाता है। पत्ती एवं शाकीय तनों पर एक मोम की परत पायी जाती है जिसे परत (Cuticle) कहते हैं। यह जलहानि को रोकती है। इस परत से होने वाली जलहानि को Culticular Transpiration उपत्वचीय वाष्पोत्सर्जन कहते हैं।

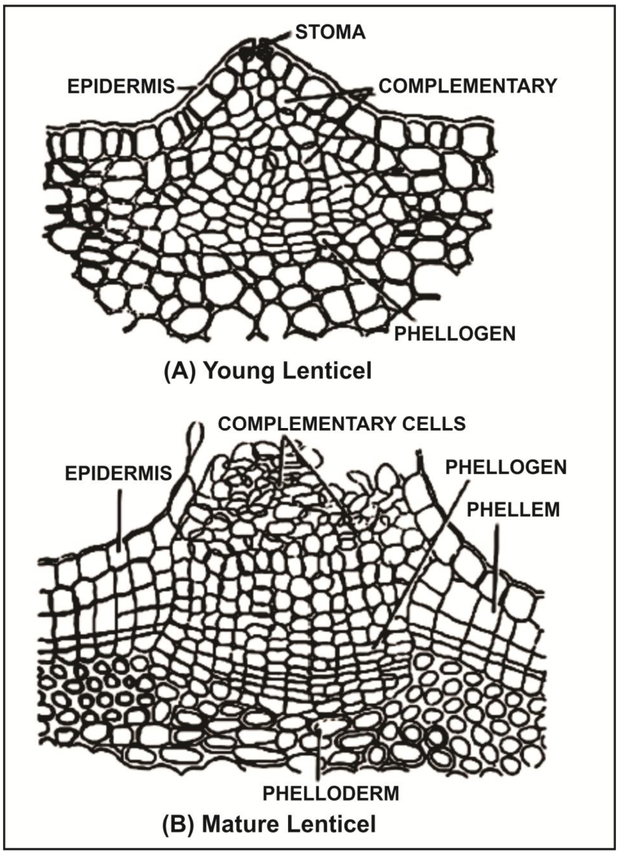
2. रन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन (Stomatal Transpiration)– पत्तियों में उपस्थित विशिष्ट प्रकार के छिद्र जिन्हें स्टोमेटा कहते हैं के द्वारा होने वाली जलवाष्प के रुप में जल की हानि को रन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन कहते है। शाकीय पौधों में तने पर भी रन्ध्र (Stomata) उपस्थित होते हैं। सामान्यतः पत्ती की निचली सतह पर रन्ध्रो की संख्या अधिक होती है। पौधों में होने वाली कुल वाष्पोत्सर्जन क्रिया की 80% से 90% जल हानि (Stomata) रन्ध्रो के द्वारा ही होती है।



चित्र क्र. 1.20: बाष्पोत्सर्जन–विभिन्न प्रकार के रन्ध्रों का वितरण

3. वातरन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन (Lenticelar Transpiration)– काष्ठीय पौधों में द्वितीयक वृद्धि के दौरान पेरीडर्म की कोशिकाओं द्वारा एपीडर्मिस सतह अलग हो जाती है। पेरीडर्म की बाह्य कोशिकायें मृत कोशिकायें (dead cell) होती है जिन्हे कॉर्क (Cork) कहते हैं। आन्तरिक जीवित ऊतक को वातन (Aeration) उपलब्ध कराने हेतु कॉर्क ऊतक में कई स्थानों पर दरारें (Slit) उत्पन्न हो जाती है जिन्हे lenticels कहते हैं। इनके द्वारा होने वाली वाष्पोत्सर्जन की क्रिया वातरन्ध्रीय वाष्पोत्सर्जन कहलाती है। इसके द्वारा अत्याधिक कम मात्रा में ही जलहानि होती है।

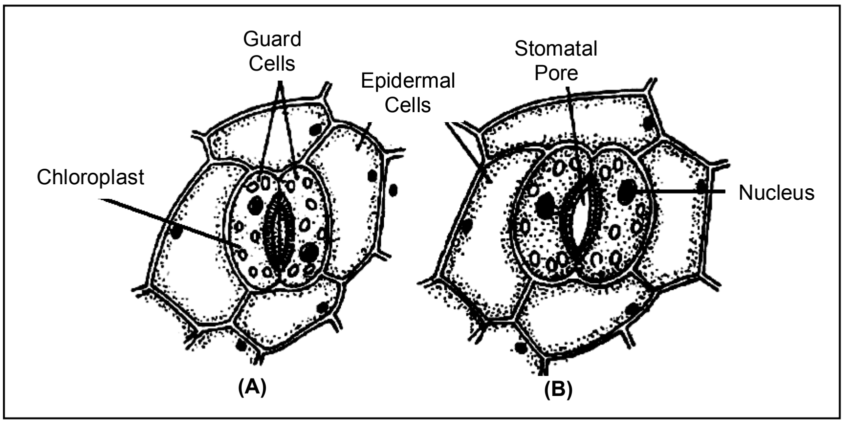
टिप्पणी



चित्र क्र. 1.21: वातरन्ध्र की संरचना A– तरूण (Young Lenticel), B– परिपक्व (Mature Lenticel)

रन्ध्र की संरचना

पत्ती की बाह्यत्वचा (Epidermis) पर उपस्थित छोटे–छोटे छिद्र (Pore) होते हैं जिन्हे Stomata (रन्ध्र) कहा जाता है।



चित्र क्र. 1.22: रन्ध्र की संरचना A– बंद रन्ध्र, B– खुला रन्ध्र

टिप्पणी

प्रत्येक स्टोमेटा दो किड़नी के आकार की रक्षक कोशिकाओं (Guard cells) से घिरा रहता है। रक्षक कोशिकाओं की आंतरिक भित्ति (Inner wall) मोटी तथा बाह्य भित्ति पतली एवं लचीली (Elastic) होती है। इन कोशिकाओं में गाढ़ा साइटोप्लाज्म एवं कुछ क्लोरोप्लास्ट (Chloroplast) पाये जाते हैं। प्रत्येक रक्षक कोशिका में एक रिक्तिका होती है जो कि कोशिका रस से भरी होती है। रक्षक कोशिकायें एक केन्द्रकीय (Uninucleate) होती है। जो कि चारों ओर से सहायक कोशिकाओं (Subsidiay Cells) से घिरी रहती है।

1.12.2 रन्ध्रों का वितरण (Distribution of Stomata)

वितरण व्यवस्था के आधार पर रन्ध्र पाँच प्रकार के हैं–

1. **सेब तथा शहतूत प्रकार (Apple and Mulberry Type)**– पत्ती की केवल निचली सतह पर Stomata पाये जाते है।

   उदाहरण– सेब, शहतूत।

2. **आलू प्रकार (Potato Type)**– ऊपरी सतह की तुलना में निचली सतह पर अधिक Stomata होते हैं।

   उदाहरण– आलू, टमाटर।

3. **जई प्रकार (Oat Type)**– रन्ध्र दोनो सतह पर लगभग समान संख्या में पाये जाते हैं। अतः पत्ती उभयरन्ध्री कहलाती है।

   उदाहरण– गेहू, जई, बाजरा।

4. **वाटर लिली प्रकार (Water lily type)**– यह जलीय पौधों में पाये जाते हैं। Stomata केवल ऊपरी सतह पर होते हैं।

5. **पोटेमोजीटोन प्रकार (Potamogeton Type)**– इस प्रकार में Stomata या तो अनुपस्थित होते हैं या फिर कार्यहीन (Non-functional) होते हैं।

   उदाहरण– निमग्न जातियाँ।

रन्ध्रों के खुलने एवं बंद होने की क्रियाविधि (Mechanism of Opening and Closing of Stomata)

वाष्पोत्सर्जन की मुख्य क्रिया पौधों में स्टोमेटा के द्वारा ही संपन्न होती है। कुछ बाह्य उद्दीपक जैसे प्रकाश, अंधकार, Cell Sap का pH मान, तथा CO_2 की सांद्रता भी स्टोमेटा के खुलने तथा बंद होने को प्रभावित करते हैं। वान मोल (Van Mohl–1856) ने अपने प्रयोग द्वारा स्पष्ट किया कि जल की उपस्थिति में स्टोमेटा खुले रहते हैं परंतु Sugar Solution में रखने पर बंद हो जाते हैं। सामान्यतः रन्ध्रो का खुलना तथा बंद होना रक्षक कोशिकाओं की आशूनता (Turgidity) पर निर्भर करता है। रक्षक कोशिकायें अपने पास स्थित सहायक कोशिकाओं से जल अवशोषित कर आशून हो जाती है जिससे इनकी बाह्य पतली भित्ति फैलती है परिणामस्वरुप आंतरिक मोटी भित्ति खिंचाव के कारण अवतल (Concave) हो जाती

टिप्पणी

है एवं रन्ध्र (Stomata) खुल जाते हैं। जब इन्ही रक्षक कोशिकाओं का पानी जल वाष्प बनकर वातावरण में मुक्त हो जाता है तो ये कोशिकायें संकुचित (Flaccid) होकर ढ़ीली हो जाती है और रन्ध्र बंद हो जाते हैं।

स्टोमेटा के खुलने एवं बंद होने की प्रक्रिया को समझने हेतु विभिन्न समय पर अलग–अलग सिद्धान्त दिये गये हैं–

1. **प्रकाश संश्लेषी सिद्धान्त (Photosynthetic Theory)**– वॉन मोल (1856) के अनुसार रक्षक कोशिकाओं में उपस्थिती क्लोराप्लास्ट दिन के समय प्रकाश संश्लेषण क्रिया संपन्न करते हैं जिससे इन कोशिकाओं में शर्करा की मात्रा दिन के समय बढ़ जाती है। परिणामस्वरुप रक्षक कोशिकाओं का परासरण दाब (Osmotic Pressure) बढ़ जाता है और ये कोशिकायें अपने चारों ओर की सहायक कोशिकाओं (Subsidiary Cells) से अतःपरासरण द्वारा जल अवशोषित करती है और आशून हो जाती हैं। जिससे इनकी बाह्य पतली भित्ति पर दबाव पड़ता है और वो बाहर की ओर खिंचती हैं तथा स्टोमेटा खुल जाते हैं। रात्रि के समय जब प्रकाश संश्लेषण क्रिया नहीं होती हैं तो रक्षक कोशिकाओं में शर्करा का स्तर कम हो जाता है और स्टोमेटा बंद हो जाते हैं। परंतु यह सिद्धान्त मान्य नहीं किया गया क्योंकि रक्षक कोशिकाओं में उपस्थित क्लोरोप्लास्ट में प्रकाश संश्लेषण (Photosynthesis) की क्रिया अत्याधिक कम होती है। अर्थात् रक्षक कोशिकाओं में शर्करा की सांद्रता अधिक होना संभव नहीं है।

2. **स्टार्च–शर्करा परिकल्पना (Starch Sugar Hypothesis)**– लॉयड (Lloyed 1908) के अनुसार रात्रि में रक्षक कोशिकाओं में स्टार्च की मात्रा बढ़ जाती है जबकि दिन के समय कम रहती है। जबकि शर्करा की मात्रा दिन में अधिक एवं रात्रि में कम होती है। अतः स्टार्च एवं शर्करा के Interconversion के कारण ही स्टोमेटा का खुलना एव बंद होना नियंत्रित होता है। इनके मतानुसार परासरण दाब Starch-Sugar के Interconversion हेतु उत्तरदायी है। Lottfield (1921) ने भी इस मत को समर्थन प्रदान किया।

सेयर (Sayre 1926) के अनुसार रक्षक कोशिकाओं में pH मान अधिक हो तो स्टोमेटा खुलते हैं। pH मान कम हो जाने पर बंद हो जाते हैं। इनके अनुसार प्रकाश संश्लेषन के दौरान CO_2 के उपयोग होने से pH बढ़ जाता है। जिससे स्टार्च शर्करा में परिवर्तित हो जाता है।

स्कार्थ (1932), स्मॉल (1942) ने इस मत का समर्थन किया।

स्कार्थ के अनुसार– दिन के समय श्वसन प्रक्रिया में मुक्त CO_2 मीजोफिल कोशिकाओं द्वारा प्रकाश संश्लेषण में उपयोग हो जाती है जो कि हाइड्रोजन आयन सांद्रता को कम कर देती है। परंतु जब भी pH मान अधिक होता है तब स्टार्च शर्करा में एन्जाइम क्रिया द्वारा परिवर्तित होने लगता है। अंधकार में CO_2 अंतरकोशीय अवकाशों द्वारा अवशोषित कर ली जाती है। जिससे हाइड्रोजन आयन सांद्रता अधिक हो जाती है एवं pH द्वारा होने वाला शर्करा का स्टार्च में परिवर्तन कम होने लगता है।

Hanes (1940) के अनुसार फॉस्फोरिलेज एन्जाइम स्टार्च शर्करा अतः परिवर्तन हेतु उत्तरदायी होता है।

टिप्पणी

$$Starch + Inorganic\ Phosphate \xrightarrow[dark\ pH\ 5.0]{light\ +pH\ 7.0} Glucose\ 1, Phosphate$$

स्टीवर्ड (1964) ने अपना मत प्रस्तुत किया जिसके अनुसार रक्षक कोशिकाओं का परासरण दाब तब तक प्रभावित नही होता है जब तक कि ग्लूकोज–1–फॉस्फेट, ग्लूकोज तथा अकार्बनिक फॉस्फेट में परिवर्तित नहीं हो जाता। उनके अनुसार इस परिकल्पना को निम्नांकित Formula द्वारा समझा जा सकता है।

Opening of Stomata

1. $$starch + Phosphate \underset{phosphoglucomutase}{\overset{phosphorylase}{\rightleftarrows}} Glucose 1, .Phosphate$$

2. $$Glocose\ 1. Phosphate \xrightarrow[Phosphatase]{} Glu\cos e\ 6\ Phosphate$$

3. $$Glucose\ 6, Phosphate \rightleftarrows Glucose + Phosphate$$

Closing of Stomata

1. $$Glucose + ATP \overset{Hexokinase}{\rightleftarrows} Glucose\ 1, Phosphate$$

2. $$Glucose\ 1, Phosphate \overset{Phosphorylase}{\rightleftarrows} Starch + Phosphate$$

3. पोटैशियम आयन (K^+) **परिवहन सिद्धान्त (Potassium Ion** (K^+) **Transport Theory)**– Levitt (1974) के अनुसार रन्ध्रों का खुलना एवं बंद होना रक्षक कोशिकाओं में पोटैशियम आयन के अंदर जाने एवं बाहर आने पर निर्भर करता है। इस मत के अनुसार स्टोमेटा के खुलने एवं बंद होने की क्रिया को निम्न चरणों द्वारा समझाया जा सकता है–

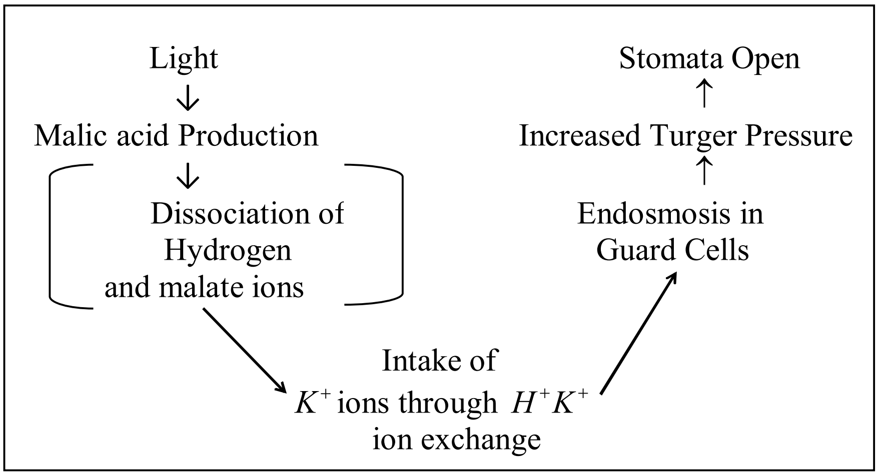
(i) प्रकाश में (In Light)

- प्रकाश की उपस्थिति में रक्षक कोशिकाओं में संग्रहित स्टार्च प्रायः कार्बनिक अम्लों में बदल जाता है। कार्बोनिक अम्लों में यह क्रिया फॉस्फोइनोल कार्बोक्सिलेज एन्जाइम की उपस्थिति में होती है।
- रक्षक कोशिकाओं के अंदर मेलिक अम्ल का dissociation होता है और यह मेलेट एवं H^+ में विभक्त होते हैं।
- मुक्त H^+ आयन सहायक कोशिकाओं में या फिर रक्षक कोशिकाओं के पास एपीडर्मिस की कोशिकाओं में स्थानान्तरित हो जाते हैं एवं K^+ (पोटैशियम आयन) से विनमित हाते है तथा K^+ आयन रक्षक

टिप्पणी

कोशिकाओं में प्रवेश कर जाते हैं यह क्रिया आयनों का विनिमय (Ion exchange) कहलाती है।

- आयन विनिमय क्रिया में ऊर्जा की आवश्यकता होती है जो श्वसन द्वारा प्रदत्त ATP से उपलब्ध होती है।
- रक्षक कोशिकाओं में उपस्थित मेलेट आयन तथा अवशोषित K^+ आयन की उपस्थिति से सांद्रता बढ़ जाती है जिससे कोशिकाओं का परासरण दाब बढ़ता है और परासरण द्वारा आस–पास स्थित कोशिकाओं से जल अवशोषण प्रक्रिया संपन्न होने लगती है। फलस्वरुप रक्षक कोशिकाओं की आशूनता (Turgidity) बढ़ जाती है और स्टोमेटा खुल जाते हैं।



चित्र क्र. 1.23: K^+ आयन विनिमय सिद्धान्त

(ii) अंधकार में (In Dark)

- रक्षक कोशिकाओं में श्वसन द्वारा उत्सर्जित CO_2 की सांद्रता में वृद्धि होने लगती है।
- pH कम होने के कारण CO_2 की उपस्थिति में कार्य करने वाला हार्मोन एब्सीसिक एसिड (ABA) सक्रिय हो जाता है जो K^+ आयनों को रक्षक कोशिकाओं के अंदर आने से रोकता है एवं जो K^+ आयन प्रवेश कर चुके हैं उन्हें पुनः एपीडर्मिस की कोशिकाओं में या फिर सहायक कोशिकाओं में वापस भेजता है।
- एब्सिसिक एसिड के द्वारा अम्लीकरण के कारण रक्षक कोशिकाओं का माध्यम और अधिक अम्लीय हो जाता है एवं इनका pH कम हो जाता है।
- pH कम होने के कारण कार्बनिक अम्ल पुनः स्टार्च में परिवर्तित हो जाता है जिससे रक्षक कोशिकाओं की परासरण सांद्रता कम हो

टिप्पणी

जाती है। फलस्वरुप रक्षक कोशिकाओं से जल निकालकर पास स्थित कोशिकाओं में चला जाता है।

- इस स्थिति में रक्षक कोशिकायें Flaccid हो जाती हैं एवं स्टोमेटा बंद हो जाते है।

1.12.3 वाष्पोत्सर्जन को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Rate of Transpiration)

1. **बाह्य कारक (External Factors)**

(i) **प्रकाश (Light)**– प्रकाश की उपस्थिति में स्टोमेटा खुल जाते हैं। तथा अनुपस्थिति में बंद हो जाते हैं। नीले एवं लाल प्रकाश की उपस्थिति में स्टोमेटल क्रिया प्रभावित होती है।

(ii) **तापमान (Temperature)**– तापमान में वृद्धि से वाष्पोत्सर्जन की दर बढ़ती है। क्योंकि वायुमण्डलीय आपेक्षित आर्द्रता कम हो जाती है। फलस्वरुप बाष्पोत्सर्जन तीव्रता से होने लगता है।

(iii) **वायुमण्डलीय आर्द्रता (Atmospheric humidity)**– वाष्पोत्सर्जन की दर पत्तियों के आंतरिक वातावरण के वाष्प दाब तथा बाह्य वातावरण के दाब के अंतर पर निर्भर करती है। अगर वायु में आर्द्रता होगी तो वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है। जब कि शुष्क वातावरण में दर अधिक होती है।

(iv) **वायु की गति (Wind Velocity)**– लगातार वाष्पोत्सर्जन के कारण पत्तियों के आसपास के वातावरण में जलवाष्प एकत्रित हो जाता है। जिससे वातावरण में संतृप्तता आ जाती और वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है। वायु की गति के कारण पत्तियों के निकट की जलवाष्प हटती है एवं वाष्पोत्सर्जन की दर बढ़ने लगती है।

(v) **प्राप्त मृदा जल (Available Soil Water)**– भूमि में उपस्थित पर्याप्त जल की मात्रा में वाष्पोत्सर्जन तीव्र गति से होता है। इसके विपरीत यदि मृदा जल पर्याप्त मात्रा में उपस्थित नहीं है तो वाष्पोत्सर्जन की दर कम हो जाती है क्योंकि पौधों में आंतरिक जल की कमी के कारण स्टोमेटा बंद हो जाते हैं।

(vi) **वायुमण्डलीय दाब (Atmospheric Pressure)**– वायुमण्डलीय दाब कम होने पर वाष्पोत्सर्जन की दर अधिक होती है। परंतु पहाड़ी क्षेत्रों में पौधों में सामान्य वाष्पोत्सर्जन होता है। क्योंकि वहाँ का तापमान कम होने के कारण पौधों में सामान्य दर से ही वाष्पोत्सर्जन क्रिया संपन्न होती है।

2. **आंतरिक कारक (Internal Factors)**

(i) **पत्ती का क्षेत्रफल (Leaf Area)**– पत्ती का क्षेत्रफल अधिक होने पर वाष्पोत्सर्जन की दर अधिक होती है परंतु प्रति इकाई क्षेत्र से होने वाली दर अधिक क्षेत्रफल वाली पत्तियों में कम तथा कम क्षेत्रफल वाली पत्तियों में अधिक होती है।

टिप्पणी

(ii) पत्ती की संरचना– पत्ती की संरचना वाष्पोत्सर्जन दर को प्रभावित करती है। पत्ती पर मोटी क्यूटिकल की उपस्थिति, पत्ती की सतह पर मोम की परत, रोमों की पर्त आदि वाष्पोत्सर्जन की दर को कम करते हैं। मरुद्भिद पौधों में वाष्पोत्सर्जन की दर को कम करने के लिए अनेक प्रकार के रुपान्तरण (Modification) पाये जाते हैं। जैसे– पत्ती का छोटा होना, मोटी क्यूटिकल, पत्तियों का काँटों में रुपान्तरण, घँसे हुए रन्ध्र (Sunken Stomata) आदि। रन्ध्रों की संख्या एवं उनकी उपस्थिति (ऊपरी सतह पर, निचली सतह पर या दोनों सतहों पर) आदि कारक भी वाष्पोत्सर्जन की दर को प्रभावित करते हैं।

(iii) पौधों की आयु (Age of Plants)– वाष्पोत्सर्जन की दर अंकुर अवस्था में कम परिपक्वता (Maturity) पर अधिकतम एवं जीर्णावस्था (Senescence) में कम होती है।

1.12.4 वाष्पोत्सर्जन का महत्व (Importance of Transpiration)

यह क्रिया पौधों हेतु लाभदायक है अथवा हानिकारक; आवश्यक है अथवा अनावश्यक इस पर वैज्ञानिक एकमत नहीं हैं। इस क्रिया से कुछ लाभ एवं हानियाँ निम्नांकित हैं–

लाभ (Benefits of Transpiration)

1. मृदा जल के अवशोषण हेतु यह एक Suction force उत्पन्न करता है।
2. पौधों के तापमान नियंत्रण हेतु आवश्यक है।
3. अप्रत्यक्ष रुप से वाष्पोत्सर्जन जल अवशोषण को प्रभावित करता है। वाष्पोत्सर्जन की दर बढ़ने पर जल अवशोषण की दर बढ़ जाती है।
4. रसारोहण (Ascent of Sap) एवं खनिज लवणों के अवशोषण (Mineral Nutrition) में भी वाष्पोत्सर्जन सहायक है।
5. मिट्टी में उपस्थित आवश्यकता से अधिक जल वाष्पोत्सर्जन द्वारा जल वाष्प बनकर उड़ जाता है।
6. वाष्पोत्सर्जन से फलों की शर्करा (Fruit) में भी वृद्धि होती है।
7. रेजिन (Resin) ऐल्केलॉइड्स (Alkaloids) वर्णक (Pigments) आदि का निर्माण वाष्पोत्सर्जन दर पर निर्भर करता है।

हानियाँ (Disadvantages of Transpiration)

1. पौधों में पानी की कमी हो जाती है और पौधे अस्थायी रुप से मुरझाने लगते हैं।
2. मृदा में जल की कमी होना।
3. अवशोषित किये गये कुल पानी का लगभग 97% वाष्प के रुप में उड़ जाता है जो कि अनावश्यक ऊर्जा की बरबादी होती है।

टिप्पणी

पौधों में संपन्न होने वाली दो मुख्य क्रियाओं प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन हेतु गैस विनिमय के लिए स्टोमेटा का होना अनिवार्य है। गैस विनिमय हेतु वाष्पोत्सर्जन भी रोका नहीं जा सकता। अतः कर्टिस (Curtis 1926) के अनुसार ''वाष्पोत्सर्जन एक आवश्यक बुराई'' (Necessary evil) की तरह है। स्टीवार्ड (Steward) ने इस क्रिया को न रोक सकने वाली बुराई (Unavoidable evil) कहा है।

1.12.5 वाष्पोत्सर्जन की दर का मापन (Measurement of Rate of Transpiration)

वाष्पोत्सर्जन की दर को मापने हेतु अनेक वैज्ञानिकों ने उपकरण प्रस्तुत किये है। प्रयोगशाला में सामान्यतः गेनांग्स एवं फारमर्स (Ganong's and Farmer's Potometar) उपयोग में लाते हैं।

गेनांग्स पोटोमीटर की संरचना (Structure of Ganongs Potometer)

गेनांग्स का पोटोमीटर वाष्पोत्सर्जन की दर को मापने में उपयोग में लाया जाता है। इस प्रक्रिया में अवशोषित जल की मात्रा का मापन किया जाता है और यह माना जाता है कि यह वाष्पोत्सर्जित जल की मात्रा के बराबर है। गेनांग्स पोटोमीटर एक ऊर्ध्वाकार (Vertical) काँच की नली का बना होता है जो जल संवाहक (Water reservoir) से जुड़ा होता है। ऊर्ध्व नली का निचला सिरा अनुप्रस्थ नलिका से जुड़ा होता है। अनुप्रस्थ नलिका का एक सिरा ऊपर की ओर मुड़ता है तथा दूसरा सिरा नीचे की ओर मुड़ा होता है जिसके अंत में एक छिद्र (Pore) होता है। जल संग्राहक के नीचे एक डाट (Stopper) लगा होता है। तथा उपकरण लकड़ी के स्टेण्ड पर Fix रहता है।

उपकरण को दर्शाये गये चित्रानुसार सैट करते हैं। उपकरण में पानी भरकर स्वस्थ पौधों की ताजी टहनी को काटकर कॉर्क की सहायता से अनुपृस्थ नली (Horizontal tube) के चौड़े मुँह वाले भाग में लगा देते हैं। एवं इसके दूसरे भाग को पानी से भरे बीकर में डुबा देते हैं। पूरे उपकरण को वायु रोधी (ग्रीस की सहायता से) कर दिया जाता है। जल से भरे बीकर वाले सिरे को कुछ समय के लिये हटाकर वहाँ से एक वायु के बुलबुले को प्रवेश कराते हैं। एवं उपकरण को सूर्य के प्रकाश में रखते हैं। वाष्पोत्सर्जन क्रिया शुरु होने पर वायु का बुलबुला ग्रेजुऐटिड ट्यूब की नली में एक सिरे से दूसरे सिरे की ओर गति करता है। बुलबुले द्वारा तय की दूरी को इकाई समय के हिसाब से नोट कर लिया जाता है।

वाष्पोत्सर्जित जल की मात्रा की गणना निम्न सूत्र द्वारा संभव है।

Calculation in unit time /unit area

$V = \pi r^2(y - x)$

V = Volume of Water

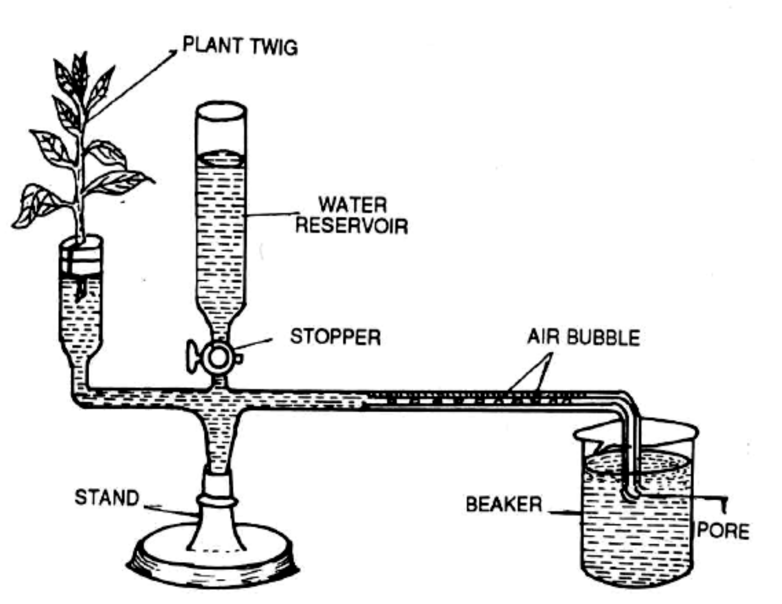
r = Radius of graduated tube

L = Length travelled by air bubble

$l = (y - x)$

टिप्पणी

वाष्पोत्सर्जन की दर विभिन्न पर्यावरणीय दशाओं (Atmospheric conditions) पर निर्भर करती है। इस उपकरण के द्वारा वाष्पोत्सर्जन की दर पर कारकों के प्रभाव का अध्ययन किया जाता है।



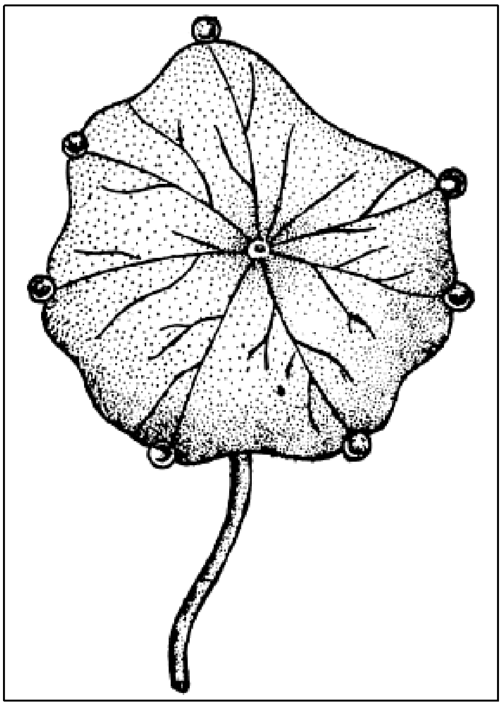
चित्र क्र. 1.24: गेनांग्स पोटोमीटर

बिन्दुस्राव (Guttation)

कुछ वातावरणीय दशाओं में पत्तियों के वायवीय भागों से पानी बूँदों के रुप में बाहर निकलता है। यह भौतिक जल हानि बिंदुस्राव (Guttation) कहलाती है। यह क्रिया पत्तियों के किनारों पर स्थित स्टोमेटा के समान छिद्रों द्वारा संपन्न होती है जिन्हे जलरन्ध्र (Hydathode) कहते हैं।

बिन्दुस्रावण क्रिया सामान्यतः तब संपन्न होती है जब अधिक मात्रा में जल अवशोषण एव कम मात्रा में वाष्पोत्सर्जन हो रहा हो। यह क्रिया जाइलम वाहिकाओं में धनात्मक मूलदाब उत्पन्न होने के कारण होती है।

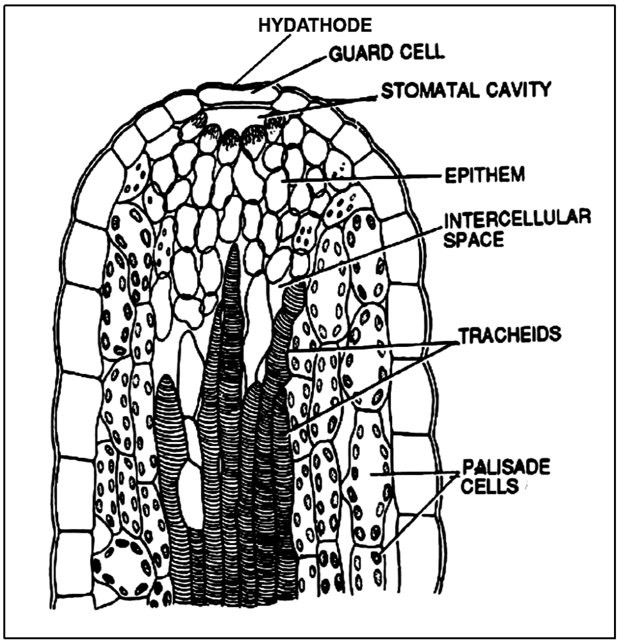
टिप्पणी



चित्र क्र. 1.25: पत्ती के सिरे पर स्थित जलरंध्रो द्वारा बिन्दुस्राव प्रदर्शित

प्रत्येक हाइडाथोड, स्टोमेटा के समान छिद्र होते हैं जो कि नम एवं छायादार पौधे की पत्तियों के किनारो पर एवं अग्र भाग पर स्थित होते हैं। इनकी रक्षक कोशिकायें सामान्य एपीडर्मल कोशिकाओ की भाँति होती हैं जिनमें खुलने एवं बंद होने की क्षमता नहीं होती। छिद्र के नीचे एक बड़ी वायु गुहा (Air cavity) स्थित होती है। वायु गुहा के नीचे पतली भित्ति वाली पेरेनकाइमा कोशिकाओ का समूह ढीले रुप से व्यवस्थित (Loosely arranged) रहता है जिसे एपीथेम (Epithem) कहते हैं। वायुकोष के नीचे जाइलम उपस्थित होता है। जाइलम में उत्पन्न होने वाला मूलदाब जड़ों द्वारा अवशोषित जल को अंतर कोशीय अवकाशो में धकेलता है। यही जल हाइड़ाथोड द्वारा बूँदो के रुप में बाहर निकलता है। बिन्दुस्रावण द्वारा निकले जल में कार्बनिक एवं अकार्बनिक पदार्थ अधिक मात्रा में पाये जाते हैं। कार्बनिक पदार्थों में शर्करायें, एस्पार्टिक अम्ल, खनिज पदार्थ आदि उपस्थित होते हैं। ये पदार्थ बूँद के रुप में एकत्रित जल के वाष्पन होने के बाद पत्ती पर ही रह जाते हैं जो कि हानिकारक है क्योंकि इनकी उपस्थिति से पत्तियाँ चोटिल हो जाती हैं, एवं कवक तथा बैक्टीरियल संक्रमण की संभावना बढ़ जाती है।

टिप्पणी



चित्र क्र. 1.26: पत्ती की खडी काट में जलरन्ध्र की संरचना

वाष्पोत्सर्जन तथा बिन्दुस्राव में अंतर (Difference between Transpiration and Guttation)

सारणी क्र. 1.2

क्र.	वाष्पोत्सर्जन	बिन्दुस्राव
1.	यह क्रिया प्रकाश की उपस्थिति में होती है।	यह रात्रि के समय अंधकार में होती है।
2.	यह क्रिया स्टोमेटा, वातरन्ध्र अथवा क्यूटीकिल द्वारा होती है।	यह क्रिया हाइडाथोड के द्वारा संपन्न होती है।
3.	इस क्रिया द्वारा निकलने वाला जल शुद्ध होता है।	इसमें निकलने वाले जल में कार्बनिक एवं अकार्बनिक पदार्थ धुले रहते हैं।
4.	वाष्पोत्सर्जन स्टोमेटा द्वारा नियंत्रित क्रिया है।	यह एक अनियंत्रित प्रक्रिया है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

11. बिन्दुस्रावण (Guttation) का मुख्य कारण है–

(अ) परासरण (ब) मूलदाब

(स) विसरण (द) वाष्पोत्सर्जन

टिप्पणी

12. स्टोमेटा के खुलने एवं बंद होने का नियंत्रण किसके द्वारा होता है–
(अ) K^+ (ब) Mg^{2+}
(स) Ca^{2+} (द) N

13. वह विशिष्ट कोशिका में जो रक्षक कोशिका को घेरे रहती है–
(अ) सहायक कोशिकायें (ब) बुलीफॉर्म कोशिकायें
(स) हाइडाथोड (द) लेन्टीसिल्स

1.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर (Answer to Check Your Progress)

1. (स)
2. (ब)
3. (स)
4. (अ)
5. (स)
6. (द)
7. (अ)
8. (ब)
9. (अ)
10. (स)
11. (ब)
12. (अ)
13. (अ)

1.14 सारांश (Summary)

इस इकाई के अध्ययन में आपने जल के कार्यिकीय महत्व का विस्तार पूर्वक अध्ययन किया एवं यह निष्कर्ष निकाला की पौधों की समस्त कार्यिकीय क्रियायें जैसे कि विसरण, परासरण अंतःशोषण जल अवशोषण वाष्पोत्सर्जन आदि जल के द्वारा ही नियंत्रित होती है। जल पौधों की वृद्धि के लिए बीजों के अंकुरण के लिए कोशिका के जीवद्रव्य में होने वाली सभी अभिक्रियाओं के लिए एक महत्वपूर्ण घटक की तरह कार्य करता है। पौधों को मिलने वाले खनिज तत्व कार्बनिक पदार्थ एवं विभिन्न गैसें जल में ही घुलिल अवस्था में विद्यमान रहती हैं जिन्हें पौधे आसानी से अवशोषित कर सकते हैं।

1.15 मुख्य शब्दावली (Key Terminology)

टिप्पणी

- **जैविकीय महत्व:** Biological Importance
- **पारगम्यता:** Permeability
- **विसरण:** Diffusion
- **परासरण:** Osmosis
- **जल अवशोषण:** Water absorption

1.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास (Self Assessment Questions and Exercises)

लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. जल की संरचना पर टिप्पणी लिखो।
2. निम्न पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखो–
   (i) रिटेंशन दाब सिद्धान्त
   (ii) कलिलीय सिद्धान्त
   (iii) कैरियर परिकल्पना
   (iv) विसरण का पौधों में महत्व
   (v) सक्रिय जल अवशोषण

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Type Questions)

1. रसारोहण का वर्णन करिये।
2. परासरण की परिभाषा, इसके प्रकार एवं महत्व का वर्णन करिये।
3. जल के जैविकीय महत्व का वर्णन करिये।
4. वाष्पोत्सर्जन की क्रियाविधि को समझाइये।
5. परासरणीय एवं अपरासरणीय जल अवशोषण का वर्णन करिये।

1.17 सहायक पाठ्य सामग्री (Suggested Readings)

टिप्पणी

1. College Botany, Volume Four (Plant Physiology and Molecular Biology) S. Sundara Rajan Himalaya Publishing House, 2013.
2. Plant Physiology 3rd ed by Lincoln Taiz and Eduardo Zeiger Hardcover: 690 Pages Publishers: Sinauer Associates : 3 edition Aug. 302002 ISBN-0878938230.
3. Introduction to Plant Physiology Fourth Edition William G. Hopkins and Norman P.A. Hiner.
4. Devlin– Plant Physiology.
5. Verma V. 1995 Plant Physiology Emkey Pub.

इकाई 2 पादप पोषण, जैविक अणु एवं उपापचय (Plant Nutrition, Bio-Molecules and Metabolism)

टिप्पणी

संरचना (Structure)

2.0 परिचय
2.1 उद्देश्य
2.2 खनिज पोषण
  2.2.1 वर्गीकरण
  2.2.2 खनिज तत्वों के कार्य
  2.2.3 विलयन संवर्धन
  2.2.4 दीर्घ पोषक तत्व
  2.2.5 सूक्ष्म पोषक तत्व
  2.2.6 पौधों में धातु–विषाक्तता
2.3 खनिज लवणों का अवशोषण
  2.3.1 खनिज तत्वों के अवशोषण की क्रियाविधि
2.4 कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण
  2.4.1 स्थानान्तरण की क्रियाविधि
  2.4.2 कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण को प्रभावित करने वाले कारक
2.5 जैविक अणु
  2.5.1 कार्बोहाइड्रेट
  2.5.2 कार्बोहाइड्रेट के कार्य
2.6 अमीनो अम्ल
  2.6.1 अमीनो अम्लों का वर्गीकरण तथा रासायनिक संरचना
  2.6.2 आपूर्ती के आधार पर अमीनो अम्लों का विभाजन
2.7 प्रोटीन
  2.7.1 प्रोटीन निर्माण
  2.7.2 प्रोटीन की संरचना
  2.7.3 प्रोटीन्स का वर्गीकरण
  2.7.4 प्रोटीन के कार्य
2.8 नाइट्रोजन स्थिरीकरण
2.9 नाइट्रोजन एवं वसा उपापचय
  2.9.1 वसीय अम्ल संश्लेषण
2.10 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
2.11 सारांश
2.12 मुख्य शब्दावली
2.13 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
2.14 सहायक पाठ्य सामग्री

टिप्पणी

2.0 परिचय (Introduction)

हरे पौधे कार्बनिक पदार्थों के उपयोग के लिए दूसरों पर निर्भर नहीं होते क्योंकि वे स्वयंपोषी होते है जो कि सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में अकार्बनिक पदार्थों से कार्बनिक पदार्थ का निर्माण प्रकाश संश्लेषण की क्रिया द्वारा कर लेते है। यह अकार्बनिक पदार्थ पौधे मिट्टी से अवशोषित करते हैं। जो कि मिट्टी में खनिज लवण के रुप में पाये जाते है। इस अध्याय में खनिज पोषण के बारे में विस्तृत अध्ययन करेंगे।

पौधों द्वारा उनकी वृद्वि एवं विकास हेतु खनिज तत्वों का अवशोषण एवं उपयोग ही खनिज पोषण कहलाता है।

2.1 उद्देश्य (Objectives)

प्रस्तुत इकाई का उद्देश्य छात्रों को पौधों के जीवन चक्र में खनिज लवणों के उपयोग उनका अवशोषण एवं महत्व के बारे में अध्ययन कराना है। प्रकृति में पाये जाने वाले अकार्बनिक एवं कार्बनिक पदार्थों का पौधों हेतु उपयोग एवं महत्व समझाना है। सूक्ष्म एवं दीर्घ पोषक तत्व कार्बोहाइड्रेट, प्रोटीन लिपिड के बारे में विस्तृत जानकारी देना ही इस इकाई का उद्देश्य है।

2.2 खनिज पोषण (Mineral Nutrition)

पौधों में स्वयंपोषी प्रकार का पोषण पाया जाता है। क्लोरोफिल की उपस्थिति के कारण सूर्य के प्रकाश द्वारा हरे पौधे अपना भोजन खुद बनाते हैं। इसके अतिरिक्त पौधों को विभिन्न प्रकार के खनिज तत्वों की आवश्यकता होती है जिसे वह जड़ो द्वारा मिट्टी से अवशोषित करते हैं। ये खनिज लवण मिट्टी में विलयन के रुप में पाये जाते हैं। जिनका अवशोषण पौधे अपनी जड़ों से करते हैं।

मिट्टी में उपस्थित खनिज लवणों (Mineral Salts) का अवशोषण ही खनिज पोषण कहलाता है। ये तत्व पौधों की विभिन्न उपापचयी क्रियाओं से संबंधित होते हैं जिनका उपयोग पौधे वृद्धि, जनन विकास आदि क्रियाओं के संपन्न करने हेतु करते हैं।

1830 में Sachs एवं Knop ने पौधो में मिनरल न्यूट्रीशन का अध्ययन किया और विलयन संवर्धन (Liquid culture) द्वारा पौधों के लिए लगभग 10 तत्वों को अनिवार्य तत्व कहा।

उनके अनुसार कार्बन (C), हाइड्रोजन (H), ऑक्सीजन (O), नाइट्रोजन (N), फॉस्फोरस (P), पोटैशियम (K), कॅल्शियम (Ca), सल्फर (S), मैग्नीशियम (Mg) तथा आयरन (Fe) ये सभी अनिवार्य तत्व है। परंतु आज यह माना जाता है कि इससे अधिक तत्व पौधे के जीवित रहने हेतु अनिवार्य हैं। पौधों के ऊतको के विश्लेषण से यह पता चलता है कि 92 तत्वों में से प्रमुख है कार्बन, ऑक्सिजन,

हाइड्रोजन, नाइट्रोजन, सल्फर, फॉस्फोरस, पोटैशियम, कॅल्शियम तथा मैग्नेशियम एवं आयरन। इसके अतिरिक्त जिंक, कॉपर, मैंग्नीज, बोरॉन, मोलिब्डेनम, सोडियम तथा क्लोरीन भी पौधों में पाये जाने वाले आवश्यक तत्व हैं।

2.2.1 वर्गीकरण (Classification)

(A) मुख्य रुप से खनिज तत्वों को दो भागों में बाँटा गया है–

1. आवश्यक तत्व (Essential elements)
2. अनावश्यक तत्व (Non-essential elements)

आवश्यक तत्वों की श्रेणी में कार्बन, ऑक्सीजन, हाइड्रोजन, नाइट्रोजन, सल्फर, फॉस्फोरस, पोटैशियम, मैग्नीशियम, कॅल्शियम तथा आयरन को रखा गया है तथा अन्य को अनावश्यक तत्वों की श्रेणी में रखा गया है। परन्तु आधुनिक खोजों के अनुसार बोरॉन, मैंगनीज, जिंक, कॉपर, मोलीब्डेनम, सोडियम, क्लोरीन इत्यादि तत्व भी पौधों की वृद्धि हेतु आवश्यक होते हैं। अतः आवश्यक एवं अनावश्यक तत्वों का विचार उपयुक्त नहीं माना गया।

(B) Shkolink (1950) ने खनिज तत्वों हेतु निम्नांकित वर्गीकरण प्रस्तुत किया जो कि अत्याधिक सुविधाजनक माना गया–

1. **संरचनात्मक तत्व (Structural elements)**– इसके अंतर्गत कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन, नाइट्रोजन, सल्फर, फॉस्फोरस तथा मैग्नीशियम शामिल हैं।
2. **जैव उत्प्रेरक तत्व (Bio-catalytic elements)**– इसके अंतर्गत आयरन, मैंग्नीज, कॉपर तथा कोबाल्ट आते हैं।
3. **अपरिहार्य तत्व (Indispensable elements)**– इनमें पोटैशियम, कॅल्शियम, बोरॉन तथा मोलीब्डिनम शामिल है।
4. **रेडियो-एक्टिव तत्व (Radio-active elements)**– यूरेनियम, थोरियम, रेडियम, एक्टीनियम तथा रोडियम।
5. **उद्दीप्तिकारक तत्व (Stimulating elements)**– सोडियम, क्लोरीन, आर्सेनिक, टाइटेनियम, कोबाल्ट, निकिल, आयोडीन, ब्रोमीन तथा रूबीडियम।

(C) दीर्घ एवं लघु पोषक पौधो में तत्वों की आवश्यक मात्रा के अनुसार इनको दो श्रेणियों में रखा गया है–

(i) दीर्घ पोषक तत्व (Macro nutrients)

(ii) लघु पोषक तत्व (Micro nutrients)

कार्बन, हाइड्रोजन ऑक्सिजन, नाइट्रोजन, सल्फर, फॉस्फोरस, पोटैशियम, मैग्नीशियम, कॅल्शियम तथा आयरन को दीर्घ पोषक तत्वो में जबकि बोरॉन (B), मैंग्नीज (Mn), जिंक (Zn), कॉपर (Cu), क्लोरीन (Cl), मोलिब्डेनम (Mo), कोबाल्ट (Co), सोडियम, सिलिकॉन तथा आयोडीन को सूक्ष्म पोषक तत्वों की श्रेणी

टिप्पणी

में रखा गया है। सूक्ष्म तत्वों को ट्रेस तत्व (Trace elements) भी कहा जाता है क्योंकि इनकी सूक्ष्म उपस्थिति में ही पौधों में वृद्धि तथा चयापचयी क्रियायें (Metabolic activity) सामान्य रुप से संपन्न होती हैं।

2.2.2 खनिज तत्वों के कार्य (Role of Mineral Elements in Plants)

खनिज तत्व पौधों की कार्यिकी एवं पोषण में निम्न प्रकार अपनी भूमिका निभाते हैं–

1. **पौधों के घटक के रुप में (Constituent of plant body)**– खनिज तत्व पादप कोशिका के स्थायी संघटक है जैसे– प्रोटीन संश्लेषण में सल्फर, न्यूक्लिक अम्लों में फॉस्फोरस, क्लोरोफिल में मैग्नेशियम, कोषाभित्ति में कॅल्शियम तथा साइटोक्रोम में आयरन तत्व की मुख्य भूमिका होती है। कार्बोहाइड्रेट के मुख्य घटक कार्बन, हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन होते हैं।
2. **pH पर प्रभाव (Influence on pH)**– मिट्टी से अवशोषित होने वाले खनिज तत्व Cell Sap की हाइड्रोजन आयन सांद्रता पर प्रभाव डालते हैं। ये तत्व पौधों की कार्यिकी क्रियाओं (Physiological activities) के लिए एक बफर तंत्र की तरह कार्य करते हैं। फॉस्फेट बफर तंत्र पौधों में पाया जाने वाला एक सामान्य तंत्र है।
3. **जीवद्रव्यीय झिल्लियों की पारगम्यता (Permeability of cytoplasmic membranes)**– जीवद्रव्यीय झिल्लियों की पारगम्यता केटायन तथा एनायनों द्वारा प्रभावित होती है। द्वि एवं त्रिक संयोजी केटायन पारगम्यता को कम करते हैं जबकि एक संयोजी केटायन इसे बढ़ाते हैं।
4. **विषाक्तता (Toxicity)**– पौधों में पाये जाने वाले आयनीकृत तत्व हानिकारक होते हैं। कॉपर, आर्सेनिक एवं मरकरी ऐसे ही तत्व हैं।
5. **उत्प्रेरक प्रभाव (Catalytic effects)**– कई तरह के खनिज तत्व एन्जाइम तंत्र में उत्प्रेरक की तरह कार्य करते हैं। जिंक, कॉपर, आयरन, मैंग्नीज, कोबॉल्ट इत्यादि अभिप्रेरक (Activator) या अवरोधक (Inhibitor) के रुप में कार्य करते हैं।
6. **कोषा के परासरण दाब पर प्रभाव (Effects on the osmotic pressure of the cell)**– कई खनिज तत्व कोष रस (Cell sap) में घुलित अवस्था में पाये जाते हैं। जो कि Cell sap के परासरण दाब को बनाये रखने के लिए उत्तरदायी होते हैं।
7. **प्रतिरोधी प्रभाव (Antagonastic effect)**– पौधों में पाये जाने वाले खनिज तत्व एक दूसरे के प्रति विरोधी स्वभाव दर्शाते हैं और दूसरे तत्वों के प्रभाव को खत्म कर देते हैं। जैसे– जौ के पौधों में मैग्नीज (300–400 ppm) विषैला प्रभाव उत्पन्न करता हैं। परंतु यदि खनिज विलयन में सिलिकॉन उपस्थित है तो वह मैग्नीज का विषकारी प्रभाव समाप्त कर देता है।

टिप्पणी

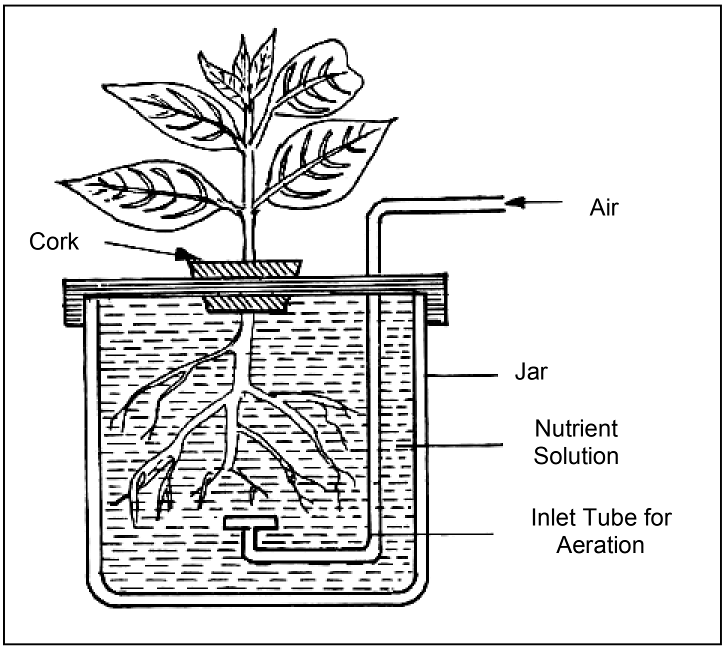
2.2.3 विलयन संवर्धन (Solution Culture)

इस तकनीक के द्वारा पौधों हेतु आवश्यक तत्वों का पता लगाया जाता है। यह तकनीक अशुद्धिरहित (Contamination free) होती है। इस तकनीक में पौधों को सीधे लवण विलयन में उगाते है। बोरोसिलिकेट ग्लास के बर्तन में लवण विलयन को लेते हैं। वातायन के लिये इसमें एक नलिका होती है जिसके द्वारा बलपूर्वक वायु को बर्तन में प्रवेश कराया जाता हैं। इस प्रकार के पादप संवर्धन को मिट्टीरहित वृद्धि (Soilless growth) कहा जाता है, जो कि हाइड्रोपोनिक्स कहलाता है।

हाइड्रोपोनिक्स (Hydroponics)

हाइड्रोपोनिक्स को जल की खेती के रुप में पारिभाषित करते हैं। इसका तात्पर्य पौधों को जल एवं पोषण विलयन की सहायता से मिट्टी की अनुपस्थिति में उगाना होता है। हाइड्रोपोनिक्स द्वारा यह प्रमाणित होता है कि पौधों के विकास में मिट्टी का कार्य खनिज लवणों, तत्वों तथा पोषक तत्वों को धारण करना, जड़ों को स्थिर रखना, एवं पौधों को खड़ा रखने में मदद करना मात्र है। अर्थात पौधे के विकास हेतु मिट्टी अनिवार्य नहीं है।

हाइड्रोपोनिक्स प्रक्रिया में पोषक विलयन की सहायता से जड़ों को सीधे पोषण उपलब्ध कराया जाता है। इस तकनीक द्वारा नियंत्रित माध्यम में (ताप, आर्द्रता एवं प्रकाश) उच्च कोटि के पादप उत्पाद प्राप्त किये जा सकते हैं।



चित्र क्र. 2.1: हाइड्रोपोनिक्स विधि द्वारा खनिज पोषण का प्रदर्शन

टिप्पणी

हाइड्रोपोनिक्स से लाभ (Benefits of Hydroponics)

1. इस तकनीक से पौधों में मिट्टी से उत्पन्न होने वाले रोगो की संभावना कम होती है।
2. इस तकनीक के द्वारा किसी भी स्थान पर फसल उत्पादन संभव है। इसके लिए किसी भी कृषि क्षेत्र की अनिवार्यता नही है।
3. इस तकनीक में पादप उत्पाद अधिक मात्रा में प्राप्त होते हैं क्योंकि उन्हें संतुलित पोषण माध्यम में उगाया जाता है।
4. शोध (Research) द्वारा इस विधि से विकसित पौधों में पौष्टिक तत्वों की मात्रा एवं गुणवत्ता उत्तम पायी गयी है।
5. इस तकनीक से सीमित क्षेत्र में ज्यादा पौधों को उगाया जाना संभव है।
6. हाइड्रोपोनिक्स तकनीक के द्वारा नियंत्रित माध्यम (ग्रीन हाउस/पॉली हाउस) में पूरे वर्ष भर पौधों को विकसित किया जा सकता है।
7. यह तकनीक खरपतवार की समस्या को समाप्त कर देती है।

सारणी क्र. 2.1: Different Solution

Compound	Sach's soln.	Knop's soln.	Arnon and Hoagland's soln.
$Ca((N)_3)_24H_2O$		08	1.18
Nacl	0.25		
KNO_3	1.0	0.2	0.51
$Ca_3(PO_4)_2$	0.5		
K_2KPO_4		0.2	0.14
$MgSO_47H_2O$	0.5	0.2	0.49
$FeSO_4$	Traces		
FeO_4		Traces	
$FeC_4H_4O_6$			0.005
H_3BO_3			0.0029
$MnCl_2H_2O$			0.0018
$ZnSO_4$			0.00022
$CuSO_45H_2O$			0.00008
H_2MoO_4			0.00002

2.2.4 दीर्घ पोषक तत्व (Macro Nutrient)

ऐसे पोषक तत्व जो अधिक मात्रा में पौधों की वृद्धि एवं विकास हेतु आवश्यक होते है, दीर्घ पोषक तत्व कहलाते हैं। इनमें मुख्य रुप से C, H, O, N, S, P, Ca, K, Mg, Fe हैं–

1. कार्बन, हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन

इन तत्वों का अवशोषण पौधे मिट्टी से तथा वातावरण से बना सकते हैं। पौधों का अधिकांश भाग इन्हीं तत्वों का बना होता है। पौधों के शुष्क भार का अधिकांश भाग यही तत्व होते हैं। ये सभी तत्व जीवद्रव्य (Protoplasm) की संरचना में भाग लेते हैं। कार्बोहाइड्रेट का मुख्य भाग Carbon, Hydrogen एवं Oxygen ही होते हैं। पौधे कार्बन का अवशोषण वातावरणीय CO_2 से तथा O_2 का अवशोषण मुक्त रुप से करते हैं जो कि विभिन्न ऊर्जा रुपांतरण प्रतिक्रियाओं हेतु आवश्यक है। इन तत्वों की कमी से पौधों की सामान्य वृद्धि रुक जाती है।

2. नाइट्रोजन (Nitrogen)

कार्बन, ऑक्सीजन तथा हाइड्रोजन के बाद नाइट्रोजन एक अति आवश्यक दीर्घ पोषक तत्व है।

स्रोत (Source)

वायुमण्डलीय नाइट्रोजन ही इसका स्रोत है। जो कि वातावरण में लगभग 78% गैस के रुप में उपलब्ध रहता है। पौधों की जड़ों में नाइट्रोजन का स्थिरीकरण (Nitrogen Fixation) जैवीय तथा अजैविक घटकों द्वारा किया जाता है। नाइट्रोजन मिट्टी में नाइट्रेट्स एवं अमोनिया के लवण (Ammonium Salts) के रुप में उपस्थित रहती है। जिसका अवशोषण पौधों द्वारा किया जा सकता है। यह अवशोषित नाइट्रोजन नाइट्रोजिनेज एन्जाइम द्वारा पौधों को उपलब्ध होती है। लेग्युमिनेसी फेमिली के पौधों की जड़ों की ग्रंथिकाओं (Root nodules) में राइजोबियम बैक्टीरिया पाया जाता है जो कि वातावरणीय नाइट्रोजन को नाइट्रोजीनस कम्पाउंड के रुप में Soil में Fix कर लेता है। सायनोबैक्टीरिया (Blue green algae) में भी वातावरणीय N_2 को स्थिर करने की क्षमता होती है। पौधों में इसकी उपलब्धता 1-3% तक होती है।

कार्यिकीय भूमिका (Physiological Role)

नाइट्रोजन पौधों के समस्त दीर्घ अणुओं (Macromolecule) प्रोटीन, न्यूक्लिक अम्ल (DNA तथा RNA) में प्रमुख रुप से उपस्थित होता है। प्रोटीन संश्लेषण, प्रकाश संश्लेषण, श्वसन तथा अन्य उपापचयी क्रियाओं में मुख्य भूमिका निभाता है।

कमी के लक्षण

नाइट्रोजन की कमी से पत्तियों में हरिमहीनता (Chlorosis) हो जाती है और पत्तियाँ पीली पड़ जाती है। पौधो की निचले स्तर पर पत्तियाँ सूखने लगती है।

पौधों की वृद्धि रुक जाती है। क्योंकि प्रोटीन संश्लेषण, Cell division एवं कोशिका दीर्घीकरण में कमी आ जाती है।

टिप्पणी

3. फॉस्फोरस (Phosphorous)

स्रोत (Source)

पौधों के लिए फॉस्फोरस का मुख्य स्रोत मिट्टी है। पौधे इसको मिट्टी से घुलित अकार्बनिक फॉस्फेट के रुप में अवशोषित करते हैं। $\left(H_2PO_4^-, HPO_4^{--}\right)$ अकार्बनिक फॉस्फेट।

उपलब्धता

फॉस्फोरस की उपलब्धता, एनायन, विनिमय मृदा में सूक्ष्मजीवियों की उपस्थिति, मृदा के विलयन के pH पर निर्भर करती है। यह जटिल एनायन के रुप में कोषा में अवशोषित होता है परंतु अवकृत नहीं होता।

कार्यकीय भूमिका (Physiological Role)

यह कोषा के विभिन्न कार्बनिक पदार्थों (फॉस्फोलिपिड, न्यूक्लिक अम्ल, प्रोटीन, NAD, NADP, ATP) का मुख्य घटक है। प्रकाश संश्लेषण में ऊर्जा के चयापचय (Metabolism) में फॉस्फेट की महत्वपूर्ण भूमिका होती है। यह अनेक एन्जाइम्स का ऊत्प्रेरक है।

कमी के लक्षण

फॉस्फोरस की कमी से क्लोरो–प्लास्ट (Chloroplast) की आकृति एवं आकार असामान्य (Abnormal) हो जाता है। पत्ती एवं फलों के ऊपर नेक्रोटिक क्षेत्र बन जाते हैं। निचली पत्तियों में एन्थोसाइनिन वर्णक (Anthocyanin pigment) बनने लगता है जिससे पत्तियाँ पीली होकर गिर जाती है। जड़ों तथा तनों का पूर्ण विकास नहीं हो पाता और ये छोटे रह जाते हैं।

3. सल्फर (Sulphur)

इसकी मात्रा पौधों में लगभग 0.05% से 1.5% तक होती है।

स्रोत

यह मिट्टी में पायराइट (Pyrite), कोबाल्टाइट (Cobaltite), इप्सोमाइट (Epsomite) तथा घुलित सल्फेट आयन SO_4^- के रुप में उपस्थित होता है। कुछ सूक्ष्मजीवियों द्वारा कार्बनिक सल्फर का ऑक्सीकरण होता है और यह सल्फेट आयन में परिवर्तित हो जाता है।

Biological Oxidation

$$\text{Organic Sulphate} + 2S + 2H_2 \pm 3O_2 \rightarrow 2H_2SO_4$$

उपलब्धता

पौधों में सल्फर का अवशोषण सल्फर आयन के रुप में होता है। ये आयन्स PAPS तथा ATP द्वारा अवकृत (Reduce) हो जाते हैं। PAPS (3-Phosphoadenosine 5-Phospho-Sulphate) ऐसे यौगिक है जो कि उत्प्रेरण की क्रिया में भाग लेते हैं।

कार्यिकीय भूमिका (Physiological Role)

यह कई तरह के अमीनो अम्लों (सिस्टीन, मिथियोनीन) के बनने में भाग लेता है। यह कोएन्जाइम – A का मुख्य घटक है। इसके अतिरिक्त यह वायोटिन, थाइमिन, विटामिन में भी मुख्य रुप से पाया जाता है। यह प्याज, लहसुन में ग्लोइकोसाइड बनाता है तथा बीज निर्माण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

कमी के लक्षण (Deficiency Symptoms)

पत्तियों में हरिमहीनता का आना जो पहले नयी पत्तियों में तथा बाद में पुरानी पत्तियों में आती है। इसकी कमी से एपीकल ग्रोथ दुर्बल हो जाती है। इसकी कमी से जड़ तंत्र (Root System) काफी सघन (Densed), तने कठोर एवं काष्ठीय हो जाते है। जोकि कार्बोहाइड्रेट के संग्रहण के कारण होता है।

5. कॅल्शियम (Calcium)

स्रोत

कॅल्शियम मृदा में पर्याप्त मात्रा में उपस्थित होता है। जिसे पौधे Ca^{++} के रुप में अवशोषित करते हैं। पौधों की संरचना में उपापचयी क्रियाओं में यह महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। मृदा में कॅल्शियम कार्बोनेट ($CaCO_3$) तथा अविलेय कॅल्शियम फॉस्फेट के रुप में इसकी उपलब्धता होती है।

उपलब्धता

कॅल्शियम मृदा तंत्र की बाहरी परत पर अधिशोषित रहता है। यह एक विनिमय करने वाला केटायन है। यदि मिट्टी के विलयन के pH में वृद्धि कर दी जाये तो Ca^+ आयन मुक्त होने लगते हैं एवं उसकी जगह H^+ आयन ले लेते हैं। यह घटना केटायन विनिमय कहलाती है।

कार्यिकीय भूमिका

कॅल्शियम कोशिका भित्ति का मुख्य घटक है। यह मिडिल लेमिला में कॅल्शियम पेक्टेट के रुप में उपस्थित रहता है। यह कार्बनिक अम्लों के कॅल्शियम लवण बनाकर विषाक्तता को कम करता है। यह एपीकल मेरिस्टेम (Apical Meristem) की वृद्धि के लिए कोषा झिल्ली की पारगम्यता में आवश्यक भूमिका निभाता है। कॅल्शियम अनेक एन्जाइमों (फॉस्फोलाइपेज, एटीपेज (Atpase), Adenyle Kinase, Amylase) के उत्प्रेरक का कार्य भी करता है। कई पौधों में यह रेफाइड्स (Raphides) के रुप में मिलता है जो कि अघुलित कॅल्शियम ऑक्जेलेट होता है।

टिप्पणी

कमी के लक्षण

कॅल्शियम की कमी से पत्तियों में क्लोरोसिस उत्पन्न हो जाता है जिससे (नेक्रोसिस) ऊतक क्षरण होने लगता है। कॅल्शियम की कमी से जड़ों की एपीडर्मिस का विघटन होने लगता है। प्रविभाजी क्षेत्रों (Meristematic regions) की वृद्धि रुक जाती है। जड़ों में म्यूकस की अधिकता के कारण वे मोटी तथा भूरे रंग की हो जाती हैं। पुष्प Premature अवस्था में ही गिरकर नष्ट हो जाते हैं।

6. पोटैशियम (Potassium)

इसकी मात्रा पौधों में 0.3–6.0% तक होती है।

प्राप्ति (Occurrence)

यह K^+ आयन के रुप में कोशिका द्रव में उपस्थित रहता है। रंध्रों की गति (Movement of Stomata), श्वसन (Respiration), प्रकाश संश्लेषण (Photosynthesis) में यह सक्रिय भूमिका निभाता है। कई एन्जाइमों में पोटैशियम कोएन्जाइम एवं उत्प्रेरक का कार्य करता है।

कमी के लक्षण

इसकी कमी से विकास अवरुद्ध हो जाता है। शीर्ष प्रभाविता (Apical dominance) कम हो जाती है। पुष्पवृंत (Stalk) कमजोर हो जाता है। पत्तियों में म्लानि (Wilting) एवं विलगन (Senescence) देखने को मिलता है।

7. आयरन (Iron)

पौधों में इनकी मात्रा लगभग 10–1500 ppm तक होती है।

स्रोत

आयरन खनिजों में ऑक्साइड्स (लिमोनाईट), पायराइड तथा सल्फाइड के रुप में उपलब्ध होता है।

उपलब्धता

आयरन की उपलब्धता मृदा विलयन के pH पर निर्भर करती है। अम्लीय मृदा में यह पौधों को शीघ्र उपलब्ध हो जाता है। पौधों द्वारा सामान्यतः यह फेरस (Ferrous) के रुप में अवशोषित किया जाता है।

कार्यकीय भूमिका

श्वसन के इलेक्ट्रॉन संवहन तंत्र (Electron transport system) में यह महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। जैवीय ऑक्सीकरण (Biological oxidation) में सक्रिय फ्लेवोप्रोटीन (Flavoprotein) का यह सक्रिय घटक है। यह फेरीडॉक्सिन (Ferredoxin), फेरीडॉक्सिन रिड्यूसिंग सबस्टेंस (FRS) तथा साइटोक्रोम में उपस्थित होता है।

टिप्पणी

कमी के लक्षण

इसकी कमी से क्लोरोफिल (Chlorophyll) का निर्माण बाधित होता है। आयरन की कमी से अन्तरशिरीय हरिमाहीनता (Interveinal Chlorosis) स्पष्ट दिखायी देने लगता है। प्रोटीन संश्लेषण की क्रिया रुक जाती है। वृन्त (Stalk) छोटे तथा दुर्बल हो जाते हैं।

2.2.5 सूक्ष्म पोषक तत्व (Micro Nutrients)

वे पोषक तत्व जो पौधों की वृद्धि हेतु कम मात्रा में आवश्यक हैं सूक्ष्म पोषक तत्व कहलाते हैं। इनमें B, Zn, Mn, Cu, Co, Cl–, Na, Mo आदि शामिल हैं।

1. बोरॉन (Boron-Bo)

स्रोत (Source)

बोरॉन समुद्री परतों में बहुतायत से पाया जाता है जो कि तीन रुपों में घुलित (Soluble) विनिमय योग्य (Exchangeable) तथा विनिमय अयोग्य रूप में (Non-exchangeable) मिलता है। पौधे बोरॉन का अवशोषण एनायन जैसे कि बोरेट या टेट्राबोरेट के रुप में करते हैं। मृदा विलयन की *pH* में अधिकता से बोरॉन की उपलब्धता कम हो जाती है।

कार्यिकीय भूमिका

शर्करा के स्थानान्तरण को बढ़ाने में बोरॉन महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। पौधों की वृद्धि क्रियाओं जैसे कोशिका विभाजन (Cell division) फल बनने में पुर्नजनन (Regeneration) को नियमित (Regulate) करता है। पेण्टोज फॉस्फेट पथ (Pentose Phosphate Pathway) को नियंत्रित करता है। बोरॉन द्वारा पौधों की जल संबंधित समस्त क्रियायें सक्रिय लवण अवशोषण, लेग्यूम्स में नोड्स का बनना (Nodulation) होर्मोन उपापचय (Hormone metabolism) निषेचन (Fertilization) तथा फॉस्फोरिलेशन का नियमन होता है।

कमी के लक्षण

बोरॉन की कमी से चुकन्दर में हार्ट रॉट एवं सेबफल (Apple) में आन्तरिक कॉर्न निर्माण (Internal Corn Formation) होने लगता है। प्रविभाजी ऊतक (Meristematic tissue) असंगठित (Disorganise) हो जाते हैं। जड़ो की वृद्धि कम हो जाती है। पुष्प एवं फल गिरने लगते हैं। पत्तियाँ मुड़ जाती हैं और वे भुरभुरी (Brittle) हो जाती है।

2. जिंक (Zink-Zn)

जिंक की मात्रा पौधों में सामान्यतः 3–350 ppm तक होती है।

टिप्पणी

स्रोत (Source)

मेग्नीटाइट, बायोलाइट तथा हॉर्नब्लेन्ड इसके प्राकृतिक स्रोत है। इन सभी मिनरल्स के क्षरण (Weathering) से जिंक डाइवेलेण्ट रूप में मुक्त होता है। सामान्य मृदा में जिंक की बहुत कम मात्रा पायी जाती है। *pH* बढ़ने पर पौधों को जिंक की उपलब्धता कम हो जाती है।

कार्यिकीय भूमिका (Physiological Role)

ट्रिप्टोफेन के संश्लेषण में जिंक अत्यंत महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। जिंक को, एन्जाइम का ऐक्टीवेटर कहा जाता है। एल्कोहलिक डिहाइड्रोजिनेज, हेक्सोज, काइनेज, फॉस्फोरिलेज, कार्बोनिक, एनहाइड्रेज, न्यूक्लियोटाइड, डिहाइड्रोजिनेज इत्यादि एन्जाइम के एक्टीवेशन में Zn महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

कमी के लक्षण (Deficiency Symptoms)

- पर्व (Internode) छोटे हो जाते है। जिससे पौधों की वृद्धि अवरूद्ध हो जाती है। एवं तना छोटा रह जाता है।
- पत्तियाँ आकार में छोटी हो जाती है।
- क्लोरोफिल के पूर्ण विकसित न होने के कारण पत्तियाँ में अन्तरशिरीय क्लोरोसिस (Intervenal Chlorosis) हो जाता है।
- मटर एवं बीन्स में बीज निर्माण रूक जाता है। सिट्रस में फल निर्माण नहीं हो पाता।
- सेव में लिटिल लीफ (रोजेट) बीमारी हो जाती है। जिससे पत्तियाँ अविकसित रह जाती है।

3. कॉपर (Copper-Cu)

पौधों में पाये जाने वाले कॉपर की मात्रा लगभग 2–75 ppm रहती हैं यदि पौधों में कॉपर की मात्रा अधिक हो जाए तो यह पौधों के लिए विषैली हो जाती हैं।

प्राप्ति (Occurrence)

कॉपर प्रकृति में चेल्कापायराइट के रूप में पाया जाता है। कॉपर की थोड़ी मात्रा मृदा विलयन से प्राप्त होती है।

कार्यिकीय भूमिका (Physiological Role)

कॉपर प्रकाश–संश्लेषण के दौरान इलेक्ट्रॉन अभिगमन तंत्र में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। यह प्लास्टोसीन का घटक होता है। यह एन्जाइम जैसे– पॉलीफिनोल ऑक्सीडेज, लिंकेज, ऑक्सीडेज के लिए एक्टीवेटर की तरह कार्य करता है।

कमी के लक्षण (Deficiency Symptom)

- पौधों की पत्तियों में विकृतियाँ तथा क्लोरोसिस उत्पन्न होता है।
- पौधों में कॉपर की मात्रा अधिक हो जाने पर पौधें मुरझाने लगते है।

टिप्पणी

4. मॉलीब्डेनम (Molybdenum-Mo)

मॉलीब्डेनम पौधों में अतिसूक्ष्म मात्रा में पाया जाता है। जो कि मृदा आयन के रुप में पौधों को प्राप्त होता है।

प्राप्ति (Occurrence)

मॉलीब्डेनम मृदा में घुलित अवस्था में मॉलीब्डेनम आयन के रूप में मृदा कणों पर विनिमय योग्य तथा अविनिमय योग्य आयन के रूप में पाया जाता है। जिसका *pH* अधिक होता है।

कार्यिकी भूमिका (Physiological Role)

- यह लिग्यूम्स में नोड्यूलेशन मे सहायता करता है।
- टेनिन के संश्लेषण में मॉलीब्डेनम की आवश्यकता होती है।
- यह नाइट्रेट को नाइट्राइट को अपचयित करता है।

कमी के लक्षण

पौधों में मॉलीब्डेनम की कमी होने पर पौधों पत्तियों में वृद्धि नही हो पाती है। मॉलीब्डेनम की कमी के कारण पुष्पों के बनने की क्रिया प्रभावित होती है। तथा पौधों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण कम होने लगता है।

5. कोबाल्ट (Cobalt-Co)

प्राप्ति (Occurrence)

यह द्विसंयोजी होता है। अर्थात यह प्रकृति में मॉलीब्डेनम एवं आयरन के साथ मिलता है। यह एक प्रकार का भारी धातु भी होता है।

कार्यिकी भूमिका (Physiological Role)

- यह विटामिन B_{12} का एक घटक होता है।
- यह नाइट्रोजन स्थिरीकरण में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।
- यह कुछ एन्जाइम के लिए एक्टिवेटर की तरह कार्य करता है।

कमी के लक्षण (Deficiency Symptom)

- पौधों की वृद्धि प्रभावित होती है।
- पौधों में क्लोरोसिस हो जाता है। तथा पत्तियाँ पीली हो जाती है।
- पौधों का वृन्त छोटा और दुर्बल होने लगता है।
- पुष्पों के बनने की प्रक्रिया रूक जाती है।

6. क्लोरिन (Chlorine- Cl^-)

पौधों में क्लोरीन की मात्रा – लगभग 100–300 ppm तक पायी जाती है।

टिप्पणी

प्राप्ति (Occurrence)

क्लोरिन वायुमण्डल में गैस के रूप में तथा मिट्टी में क्लोराइड्स के रूप में पायी जाती है।

कार्यिकीय भूमिका (Physiological Role)

यह प्रकाश–संश्लेषण में फोटोसिस्टम II में महत्वपूर्ण घटक के रुप में कार्य करता है।

कमी के लक्षण (Deficiency Symptom)

पौधों में क्लोरिन की मात्रा की कमी होने से क्लोरोसिस एवं नेक्रोसिस नामक रोग हो जाता है–

- पौधों की जड़े छोटी तथा मोटी हो जाती है।
- पौधों की जड़े मुग्दाकार होने लगती है।
- पत्तियाँ मुरझाने लगती है।

7. सोडियम (Sodium-Na)

सोडियम को आवश्यक ट्रेस तत्व (Essential trace element) कहा जाता है। यह न्यूक्लियस में उपस्थित अमीनो अम्लो के स्थानान्तरण को नियंत्रित करता है।

2.2.6 पौधों में धातु–विषाक्तता (Metal Toxicity in Plants)

कृषि एवं वानिकी के क्षेत्र में धातु की सांद्रता का बढ़ना एक गम्भीर समस्या बनती जा रही है। यह खनन अथवा औद्योगिक गतिविधियों, सीवेज अपशिष्ट आदि के निस्तारण के कारण उत्पन्न हो रही है। जिसके कारण विभिन्न प्रकार के हानिकारक प्रभाव उत्पन्न हो रहे है। प्रत्येक धातुओं के आयन के प्रभाव उनमें उपस्थित रासायनिक गुणों के अनुसार होते है।

उदाहरण (रासायनिक गुण)

आयन रेडियम, संयोजकता, जटिल को बनाने की क्षमता/विषमता पौधों में धातुओं के प्रभाव के कारण झिल्ली को क्षति पहुँचती है, एन्जाइम के द्वारा होनेवाली गतिविधियों में अंतर आने लगता है एवं मूलवृद्धि में कमी आती है।

धातुओं की विषाक्तता के कारण पौधों में द्वितीयक हानिकारक प्रभाव उत्पन्न होते हैं।

जैसे– हार्मोन्स संतुलन में अंतर आता है, आवश्यक खनिजों में कमी होती है, प्रकाश–संश्लेषन में रूकावट आती है। भोज्य पदार्थों के स्थानांतरण में परिवर्तन, जल संबंधों में परिवर्तन आता है।

पौंधो में धातु विषाक्तता के कारण प्लाज्मा झिल्ली K^+ आयन के लिए रिसाव प्रदर्शित करती है। K^+ आयन के रिसाव प्रकट करने की प्रकृति के कारण जड़ों की कोशिकाओं में K^+ आयन की कमी होने लगती है। जिसके कारण धातु–सल्फाहाइड्रिलबंध बनने लगता है।

धातुओं की विषाक्तता न केवल प्राथमिक जड़ों में उनकी लम्बाई को प्रभावित करती है। बल्कि यह पौधों के सम्पूर्ण जड़ तंत्र को प्रभावित करती है।

– Al, Pb, Cu, Zn, Mn, Cd, Cr की विषाक्तता के कारण मूल रोम घनत्व कम होने लगता है।

1. कार्बन विषाक्तता (Carbon Toxicity)

पौधे भिन्न तरीको से कार्बन पदार्थों को ग्रहण करते है। पौधों में अकार्बनिक तत्वों को लेने की प्रक्रिया भिन्न होती है।

इसमें अकार्बनिक तत्वों का अवशोषण जड़ों के द्वारा तरल प्रावस्था में एवं कार्बनिक तत्वों का अवशोषण पत्तियों तथा तनों के द्वारा गैसीय प्रावस्था में होता है।

उदाहरण– सेम एवं टमाटर की पत्तियों में कार्बन डाइऑक्साइड़ की विषाक्तता के कारण पीले स्पॉट पड़ने लगते है।

हैविट Hawitt 1966 नामक वैज्ञानिक ने पौधों की जड़ो पर CO_2 की सान्द्रता का अध्ययन किया और देखा कि जड़ो में CO_2 की विषाक्तता का किसी प्रकार से प्रभाव नही पड़ता है।

C_3 और C_4 पौधों में CO_2 की अधिक सांद्रता का वृद्धि पर उत्तम प्रभाव पड़ता है।

2. एल्यूमिनियम विषाक्तता (Aluminium Toxicity)

एल्यूमिनियम विषाक्तता एक ऐसा कारक हैं जो अम्लीय मृदा में पौधों की वृद्धि में अवरोध करता है। प्रकृति में यह ऐल्युमिनियम यौगिक के रूप में सभी चट्टानों एवं मिट्टी में पाया जाता है।

एल्युमिनियम मृदा में एल्यूमिनिसिलिकेट्स के रुप में उपस्थित होता है। यह अम्लीय मृदा से $Al(H_2O_6)$ (हेक्साक्वाएल्युमिनियम) के रुप में पाया जाता है। जिसे Al^{3+} से प्रदर्शित करते है।

यह Al^{3+} पादप के लिए हानिकारक होता है।

एल्यूमिनियम विषाक्तता के कार्यिकी एवं जैवरासायनिक प्रभाव (Physiological and Biochemical Effects of Aluminium Toxicity)

एल्युमिनियम विषाक्तता पौधों की जडों के कोषा विभाजन से संबंधित होती है। जिसके कारण, पौधों की जड़ों में श्वसन की कमी तथा कोशिका भित्ति की दृढ़ता में वृद्धि होती हैं।

पौधों में Mg, Ca, P एवं K. आदि की ग्रहणशीलता तथा स्थानान्तरण पर भी इसका प्रभाव पड़ता है।

उदाहरण– यह एल्युमिनियम यदि जो (Barley) की जड़ों में पाया जाता है तो उसमें ATP की सान्द्रता को बढ़ाता है। तथा हेक्सोफॉस्फोराइलेशन में कमी

लाता हैं जबकि मटर के पौधों की जड़ों में ATPase की गतिविधियों में वृद्धि करके पॉली गैलेक्टुरोनेज को एक्टिव कर कोशिका भित्ति को हानि पहुँचाता हैं।

टिप्पणी

एल्युमिनियम के लाभदायक प्रभाव (Beneficial Effects of Aluminium)

कुछ पौधों की वृद्धि के लिए एल्युमिनियम की आवश्यकता होती है। क्योंकि एल्युमिनियम की कम सांद्रता पादपों में वृद्धि को प्रेरित करती है।

3. लौह विषाक्तता (Iron Toxicity)

प्रकृति में पाए जाने वाले पौधों में लौह विषाक्तता अलग–अलग पायी जाती है। जैसे फ्लैक्स में लौह की अधिकता से गहरी, हरी पत्तियों उगने लगती है। जबकि उस पौधे की जड़े एवं शीर्ष की वृद्धि रूक जाती है। इससें जड़े अकार्बनिक फॉस्फेट को संग्रहित करके मोटी हो जाती है।

उदाहरण– जैसे चावल में लौह की अधिकता होने के कारण इसकी पत्तियों में भूरे रंग के धब्बे पड़ने लगते है। तथा पत्तियों की निचली सतह सफेद रंग की हो जाती है।

लौह विषाक्तता का महत्व (Importance of Iron Toxicity)

बाढ़ के समय चावल की फसल के लिए लौह विषाक्तता जटिल कार्यिकी रोग (Physlogical disease) को उत्पन्न करती है।

लौह विषाक्तता की कार्यिकी

लौह विषाक्तता अधिक मात्रा में Fe^{++} आयन ग्रहण तथा उसके बाद पौधों के शीर्ष द्वारा ट्रांसलोकेशन की प्रक्रिया से संबधित है।

योशिदा एवं तनाका 1970 नामक वैज्ञानिकों नें चावल का ब्रोंजिग रोग (Bronzing disease) का अध्ययन किया और पाया कि चावल में यह रोग, Fe के संग्रहण (Accumulation) से होता है। जिसके फलस्वरूप पत्तियों में नेक्रोटिक धब्बे बनते है।

लौह विषाक्तता एवं पादप (Iron Toxicity and Plants)

विभिन्न प्रकार के पौधे लौह विषाक्तता को सहन करने में सक्षम होते है। तथा वह इसके प्रति सहनशीलता को प्रदर्शित करते है। नवांकुर पौधे परिपक्व पौधों से अधिक संवेदनशील होते है।

लौह यदि पौधों में अधिकता में उपस्थित हो जाए तो यह उनके तनो में एकत्रित होता है। और पादप के लिए इसकी अत्यधिक मात्रा टॉक्सिक होती है।

2.3 खनिज लवणों का अवशोषण (Absorption of Mineral Salts)

पौधों की वृद्धि एवं विकास के लिये खनिज तत्व अति आवश्यक होते हैं लेकिन ये तत्व पौधों के द्वारा उसी रुप में अवशोषित नहीं किये जाते हैं, बल्कि पौधे इन्हें विभिन्न प्रकार के लवणों के रुप में अवशोषित करते हैं। इन खनिज तत्वों का प्रमुख स्रोत मृदा होती है। चूँकि पौधे की जड़े मृदा के सीधे सम्पर्क में होती हैं, अतः इनका अवशोषण इन्हीं जड़ो के द्वारा मृदा विलयन से किया जाता है। ये अवशोषित किये गये खनिज पोषक तत्व बाद में पौधों के विभिन्न भागों में स्थानान्तरित कर दिये जाते है।

विकसित स्वपोषी पौधे अपने लिये आवश्यक खनिज तत्वों को स्वतन्त्र आयनों या लवणों के रुप में मृदा से अवशोषित करते हैं। इस क्रिया को जिसके द्वारा पौधे खनिजों को प्राप्त करते हैं खनिज लवणों का अवशोषण कहते हैं। ये खनिज तत्व मृदा के जल में घुले रहते हैं। खनिज तत्वों के अवशोषण के समय उन तत्वों के आयन अथवा अणु मृदा विलयन से जड़ो के अन्दर एक चयनीकृत रुप से कार्य करने वाली झिल्ली के माध्यम से प्रवेश करते हैं जिसे प्लाज्मा झिल्ली कहते हैं। पादप कोशिका के अन्दर एवं बाहर इन आयनों की गति या प्रवाह को स्थानान्तरण कहते हैं। अवशोषित किये गये खनिज आयनों में अलग–अलग आवेश होता है। धनावेशित आयनों को केटायन एवं ऋणावेशित आयनों को ऐनायन कहते हैं। मृदा में पाये जाने वाले सामान्य केटायन Mg, Fe, Mn, Co, Zn, Cu, K एवं Ca तथा प्रमुख ऐनायन B, S, CI एवं P होते हैं।

2.3.1 खनिज तत्वों के अवशोषण की क्रियाविधि (Mechanism of Mineral Absorption)

पौधे अधिकांश तत्वों को मृदा से प्राप्त करते हैं इन तत्वों का अवशोषण पानी के साथ किया जाता है। पौधों में खनिज तत्वों के अवशोषण के लिये विभिन्न वैज्ञानिकों द्वारा अलग अलग सिद्धान्त प्रस्तावित किये गये है। इन्हें ऊर्जा की भागीदारी के आधार पर दो समूहों में बाँटा गया है।

1. निष्क्रिय अवशोषण

इसमें खनिज लवण अवशोषित करने वाली कोशिकाओं को ऊर्जा का व्यय नहीं करना पड़ता। इस प्रकार के अवशोषण को समझाने के लिये निम्नलिखित सिद्धान्त प्रतिपादित किये गये है–

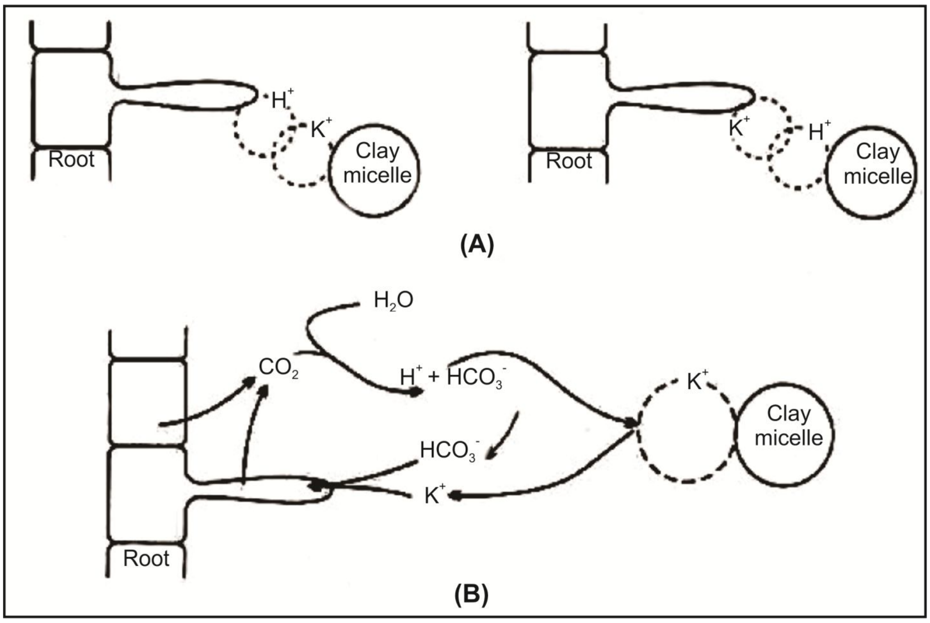
(i) विसरण सिद्धान्त– यह सिद्धान्त इस बात पर आधारित है कि जड़ की कोशिकाओं की भित्ति पूर्णरुप से पारगम्य होती है। मिट्टी में घुले हुए लवणों के आयन सान्द्रण प्रवणता के आधार पर मिट्टि से जड़ की कोशिकाओं में विसरित होते रहते हैं। यह अवशोषण लगातार होता ही रहता है। प्रायः यह देखा गया है कि जब जड़ों को कम सान्द्रता वाले घोल में रखकर फिर अधिक सान्द्रता वाले घोल में रखा जाता है। तो खनिज लवणों का अवशोषण अधिक तीव्रता से होने लगता है।

टिप्पणी

(ii) फैसिलीटेटिड विसरण– किसी वाहक की मध्यस्थता द्वारा आयनों का निष्क्रिय अवशोषण फैसिलीटेटिड विसरण कहलाता है। प्लाज्मा झिल्ली में उपस्थित प्रोटीन के अणु वाहक की भाँति कार्य करके आयनों या अणुओं को प्लाज्मा झिल्ली के आर पार स्थानान्तरित करने का कार्य करते हैं। इस प्रकार का विसरण प्रायः सान्द्रण प्रवणता के उत्पन्न होने पर ही होता है तथा इसमें किसी भी प्रकार की ऊर्जा की आवश्यकता नहीं पड़ती है।

(iii) द्रव्य प्रवाह परिकल्पना– क्रैमर (Kramer 1956) रसेल एवं बारबर 1960 के अनुसार, पौंधे अपनी जड़ो के द्वारा वाष्पोत्सर्जन के प्रभाव में पानी के द्रव्यमान प्रवाह के साथ साथ खनिज आयनों का भी अवशोषण करते है। लोपुशिंस्की ने टमाटर के शीर्ष विहीन पौंधे पर कार्य करते समय पाया कि वाष्पोत्सर्जन की दर में वृद्धि होने पर खनिज लवणों के अवशोषण की दर में वृद्धि हो जाती है। हालाँकि पानी के द्रव्यमान प्रवाह के साथ कुछ आयन जड़ों में प्रवेश कर जाते हैं लेकिन आधुनिक खोजों के आधार पर इस तथ्य को स्वीकार करना उपयुक्त नहीं होगा।

(iv) आयन विनिमय सिद्धान्त– इस सिद्धान्त के अनुसार पौधे खनिज तत्वों का अवशोषण उनके आयनों के रुप में करते हैं। चूँकि ये आयन धनावेशित (+) अथवा ऋणवेशित (–) होते है। अतः कोशिका के अन्दर उपस्थित केटायन (+) अथवा ऐनायन (–) बाहरी विलयन में उपस्थित ऐनायन अथवा केटायन के द्वारा प्रतिस्थापित हो जाते हैं। ठीक इसी प्रकार की क्रिया मृदा के विलयन एवं क्ले माइसीली के मध्य होती है, उदाहरणार्थ बाहर मिट्टी के घोल में उपस्थित केटायन K^+ जड की कोशिकाओं पर अधिशोषित H^+ आयनों से विनिमय करता है। इसी प्रकार ऐनायन – का विनिमय OH आयनों से हो सकता है।



चित्र क्र. 2.2: (A) आयनों के अवशोषण की सम्पर्क विनिमय विधि, (B) आयनों के विनिमय पर कार्बनिक अम्ल विनिमय विधि।

आयन विनिमय की क्रियाविधि को समझाने के लिए निम्नलिखित दो सिद्धान्त दिये गये है–

(अ) सम्पर्क विनिमय सिद्धान्त

(ब) कार्बोनिक अम्ल विनिमय सिद्धान्त

(अ) सम्पर्क विनिमय सिद्धान्त– इस सिद्धान्त के अनुसार कोई आयन किसी ठोस कण के चारों ओर वैद्युत् स्थैतिक रुप से अधिशोषित रहते हैं तथा ये ठोस कण से दृढ़तापूर्वक बँधे नहीं होते बल्कि एक निश्चित दोलन आयतन में दोलन करते रहते हैं अर्थात् यहाँ पर जड़ों एवं मृदा के कणों पर स्थित केटायन (+) एवं ऐनायन (–) एक निश्चित आयतन में दोलन करते हैं। उदाहरण के लिये जड़ की कोशिकाओं पर H^+ तथा मृदा के कणों पर K^+ आयन अधिशोषित रहते हैं तथा ये दोनों आयन एक निश्चित दोलन आयतन पर दोलन करते रहते हैं। जब H^+ आयनों का दोलन आयतन K^+ आयनों के दोलन आयतन पर अतिव्यापन करते हैं तब मृदा के कणों पर उपस्थित H^+ आयनों एवं जड़ोंपर उपस्थित K^+ आयनों के मध्य आपस में विनिमय हो जाता है। इसे ही सम्पर्क विनिमय कहते है।

(ब) कार्बोनिक अम्ल विनिमय सिद्धान्त– यह सिद्धान्त मृदा विलयन जड़ों एवं मृदा कणों के मध्य आयनिक विनिमय के लिए माध्यम प्रदान करता है। जड़ों से श्वसन क्रिया के द्वारा CO_2 गैस मुक्त होती रहती है जो कि मृदा में उपस्थित जल में घुलकर कार्बोनिक अम्ल (Carbonic acid) H_2CO_3 का निर्माण करती है।

मृदा में ही यह कार्बोनिक अम्ल (H_2CO_3) H^+ आयन एवं बाइकार्बोनेट आयनों HCO_3 में वियोजित हो जाता है। H^+आयन मृदा कण पर उपस्थित K^+ आयन से विनिमय करते हैं। ये K^+ आयन बाइकार्बोनेट आयन HCO_3 से मिलकर K^+HCO_3 का निर्माण करते हैं। इस प्रकार पौधे का जड़ों की सतह पर K^+केटायन एवं HCO_3 ऐनायन अधिशोषित हो जाते है।

(v) डोनन सन्तुलन सिद्धान्त– इस सिद्धान्त के अनुसार कोशिका के अन्दर स्थिर या अविसरणशील आयनों की सान्द्रता अधिक रहती है तब उन्हें सन्तुलित करने के लिए विपरित आवेश वाले आयनों की आवश्यकता पड़ती है। मान लो कोशिका झिल्ली के अन्दर ऐनायनों की एक निश्चित सान्द्रता तक साम्यावस्था स्थापित करने के लिए केटायनों का सामान्य विनिमय से अधिक मात्रा में अवशोषण हो जाता है। इसीलिए कोशिका झिल्ली के अन्दर उपस्थित विलयन में केटायनों की सान्द्रता बाह्य विलयन की अपेक्षा अधिक होती है। साम्यावस्था की इसी अवस्था को ही डोनन सन्तुलन कहते है।

डोनन सन्तुलन को निम्न समीकरण द्वारा व्यक्त किया जा सकता है।

$$= \frac{\text{कोशिका के अन्दर धनायनों की संख्या}}{\text{कोशिका के बाहर ऋनायनों की संख्या}}$$

टिप्पणी

$$= \frac{\text{कोशिका के बाहर ऋनायनों की संख्या}}{\text{कोशिका के अन्दर धनायनों की संख्या}}$$

2. सक्रिय अवशोषण

होबर (Hober 1945) ने नाइटेला नामक स्वच्छ जलीय शैवाल पर प्रयोग के दौरान पाया कि इसकी कोशिकाओं में K^+ आयन की सान्द्रता बाहरी बाह्य जल की अपेक्षा 1,000 गुना अधिक होती है, फिर भी इसमें K^+ आयनों का अवशोषण सान्द्रण प्रवणता की विपरीत दिशा में अर्थात बाह्य माध्यम से कोशिका के अन्दर की ओर होता है। चूँकि यहाँ पर विसरण करने वाले आयनों की सान्द्रता कोशिका के अन्दर अधिक है अतः सान्द्रण प्रवणता के विपरित आयनों के अवशोषण हेतु ऊर्जा की आवश्यकता होती है। श्वसन के दौरान मुक्त ऊर्जा इस क्रिया में काम आती है। इस प्रकार उपापचयी ऊर्जा के व्यय से होने वाले अवशोषण को ही सक्रिय लवण अवशोषण कहा जाता है।

ऐसे बहुत से प्रमाण हैं जिनसे स्पष्ट होता है कि आयनों के अवशोषण में उपापचयी ऊर्जा का उपयोग होता है–

(a) श्वसन की दर में वृद्धि होने से कोशिकाओं में लवणों के जमाव की दर में वृद्धि हो जाती है।

(b) श्वसन निरोधकों के उपयोग से लवणों के अवशोषण की दर रुक जाती है।

(c) O_2 की सान्द्रता में कमी होने से खनिजों के अवशोषण की दर में भी कमी आ जाती है।

अवशोषित किये गये खनिज पौधे के विभिन्न भागों में वाष्पोत्सर्जन खिंचाव के साथ स्थानान्तरित हो जाते हैं।

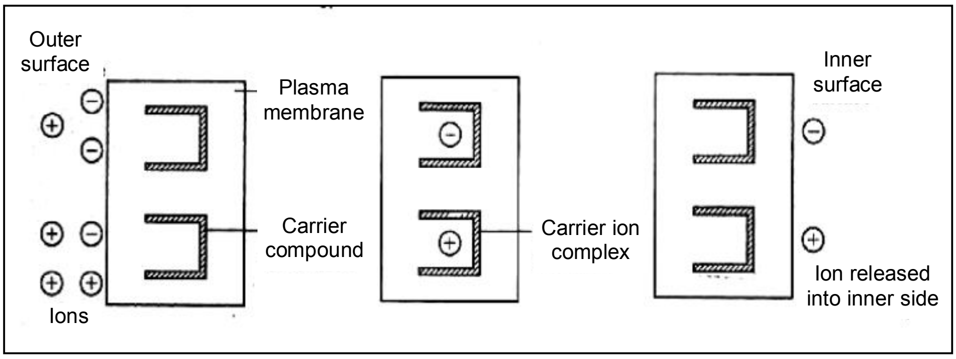
सक्रिय अवशोषण के सिद्धान्त (Principles of Active Absorption)

खनिज लवणों के सक्रिय अवशोषण को समझाने के लिए निम्नलिखित मत प्रस्तुत किये गये हैं–

1. कैरियर सिद्धान्त
2. सायटोक्रोम पम्प परिकल्पना

1. कैरियर सिद्धान्त– वॉनडेन होबर्ट 1973 ने सर्वप्रथम आयनों के सक्रिय अवशोषण में वाहक यौगिकों की भूमिका का वर्णन किया था।

टिप्पणी



चित्र क्र. 2.3: कैरियर परिकल्पना का प्रदर्शन

इस सिद्धान्त के अनुसार प्लाज्मा कला स्वतन्त्र आयनों के प्रति अपारगम्य होती है, परन्तु कुछ यौगिक जो उस कला में विद्यमान होते है, वह एक वाहक की भाँति कार्य करते हैं और आयनों के साथ संयोजन कर कैरियर आयन कॉम्प्लेक्स बना लेते हैं जो कला के दूसरी ओर जा सकते है। कला की आन्तरिक सतह पर यह कॉम्प्लेक्स वियोजित होकर आयनों को कोशिका के अन्दर छोड़ देता है। जबकि कैरियर फिर से कला के बाहरी सतह पर पहुँच जाता है ताकि फिर से स्वतन्त्र आयन्स को वाहक बनाकर ला सके।

उपर्युक्त सम्पूर्ण प्रक्रिया में कैरियर को कला की आन्तरिक सतह पर ले जाने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है जो कि श्वसन क्रिया में उत्पन्न ATP के रुप में होती है।

2. **सायटोक्रोम पम्प परिकल्पना**– लुण्डिगार्ड एवं वर्सट्रॉम 1933 के अनुसार जब किसी पौधे को पानी से लवण के विलयन में स्थानान्तरित किया जाता है। तब उसमें श्वसन की दर बढ़ जाती है। इन्होंने बताया कि ऐनायन के अवशोषण के कारण ही श्वसन की दर में वृद्धि होती है इसे लवण प्रेरित श्वसन कहते हैं। उपर्युक्त प्रेक्षणों के आधार पर लुण्डिगार्ड ने निम्नलिखित निष्कर्ष निकाले–

(i) केवल ऐनायन ही कोशिका झिल्ली के आर पार सक्रिय रुप से स्थानान्तरित किये जाते है।

(ii) झिल्ली की बाह्य एवं आन्तरिक सतह में ऑक्सिजन प्रवणता (O_2 gradient) के कारण क्रमशः ऑक्सीकरण एवं अपचयन की क्रिया होती रहती है।

(iii) चूँकि लवण श्वसन एवं ऐनायन अवशोषण दोनों ही क्रियाएँ सायनाइड एवं कार्बन मोनाऑक्साइड के द्वारा बन्द हो जाती है। अतः यहाँ पर ऐनायनों का अवशोषण सायटोक्रोम पम्प के द्वारा होता है जहाँ पर सायटोक्रोम एक वाहक की भाँति कार्य करता है।

इस सिद्धान्त के अनुसार झिल्ली की आन्तरिक सतह पर ऐनायनों के लगातार अवशोषण से उनकी सान्द्रता में वृद्धि हो जाती है जिसके कारण उत्पन्न विद्युत प्रवणता के परिणामस्वरुप केटायनों M^+ का अवशोषण निष्क्रिय रुप से होता है। इस प्रकार झिल्ली के अन्दर ऐनायनों एवं केटायनों के मध्य साम्य स्थापित हो जाता है।

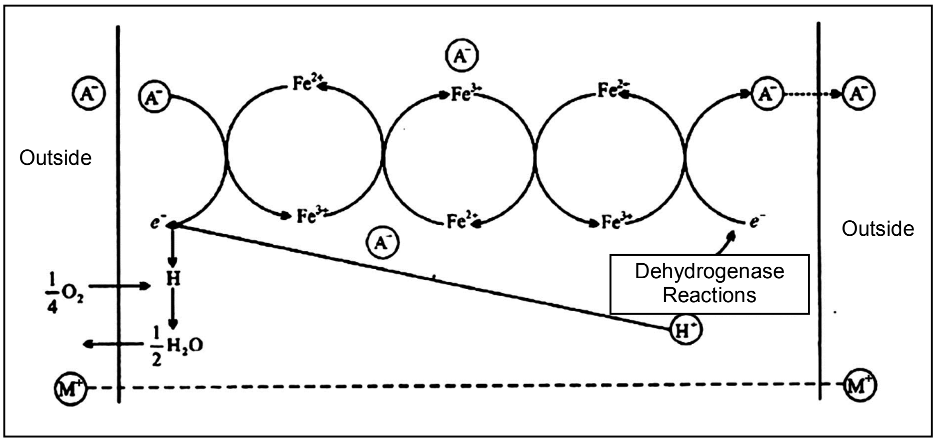
टिप्पणी

सायटोक्रोम पम्प परिकल्पना की आलोचना इस प्रकार की गई है–

(a) यह सिद्धान्त केवल ऐनायनों (–) के सक्रिय अवशोषण की व्याख्या करता है।

(b) यह सिद्धान्त उपापचयी ऊर्जा के उपयोग को ठीक से समझाने में असमर्थ है।

(c) कभी कभी केटायन (+) भी लवण श्वसन एवं लवण अवशोषण की दर में वृद्धि करते हैं।



चित्र क्र. 2.4: आयनों के सक्रिय अवशोषण की सायटोक्रोम पम्प परिकल्पना

सारणी क्र. 2.2: सक्रिय एवं निष्क्रिय अवशोषण में अन्तर

क्र.	सक्रिय अवशोषण	निष्क्रिय अवशोषण
1.	इस प्रक्रिया में उपापचयी ऊर्जा का उपयोग होता है।	इस प्रक्रिया में उपापचयी ऊर्जा का उपयोग नहीं होता है।
2.	श्वसन की दर में वृद्धि होने से सक्रिय अवशोषण की दर में भी वृद्धि हो जाती है।	श्वसन की दर में वृद्धि का अवशोषण की दर पर कोई प्रभाव नहीं पडता है।
3.	इस प्रकार के अवशोषण में आयनों का अवशोषण सान्द्रण प्रवणता के विपरित अर्थात् कम सान्द्रता से अधिक सान्द्रता वाले विलयन की ओर होता है।	आयनों का अवशोषण सान्द्रण प्रवणता के साथ अर्थात अधिक सान्द्रता से कम सान्द्रता वाले विलयन की ओर होता है।
4.	श्वसन को प्रेरित करने वाले पदार्थों के उपयोग से सक्रिय अवशोषण की दर में वृद्धि तथा श्वसन निरोधकों की उपस्थिति में अवशोषण की दर में कमी आ जाती है।	श्वसन प्रेरक तथा श्वसन निरोधकों का निष्क्रिय अवशोषण पर कोई प्रभाव नहीं पडता है।

5.	आयन झिल्ली को किसी वाहक की सहायता से पार करते है।	आयनों को झिल्ली के पार जाने के लिए किसी वाहक की आवश्यकता नहीं पडती है तथा वे निष्क्रिय रुप से प्रवाहित होते है।

टिप्पणी

2.4 कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण (Translocation of Organic Solutes)

पौधों में कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण 100 cm प्रति घंटे की दर से होता है। कार्बनिक भोज्य पदार्थों अर्थात कार्बनिक विलेयों का अपने निर्माण स्थल से उपयोग स्थल या संग्रहण स्थल तक ले जाये जाने की क्रिया कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण कहलाती है। पौधों में कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण निम्नलिखित तीन दिशाओं में होता है–

1. **आरोही स्थानान्तरण**– बीजों के अंकुरण के समय भोज्य पदार्थ बीज से बनने वाले नये प्ररोह के द्वारा संचरित होते है। प्रकन्द कन्द आदि के द्वारा भी वर्धी प्रसारण के समय आरोही स्थानान्तरण होता है।
2. **अवरोही स्थानान्तरण**– पत्तियों से प्रकाश संश्लेषण के क्रम में बनने वाले कार्बोहाइड्रेट कार्बनिक विलेय के रुप में फ्लोएम द्वारा उपयोग स्थल तथा संग्रहण स्थल तक अवरोही गति का प्रदर्शन करते है।
3. **पार्श्वीय स्थानान्तरण**– बीजों या फलों के निर्माण के समय भोज्य पदार्थों का पार्श्व दिशा में स्थानान्तरण होता है। पिथ से कॉर्टेक्स तथा एपिडर्मिस की ओर होने वाला स्थानान्तरण भी पार्श्वीय स्थानान्तरण कहलाता है। यह मज्जा रश्मियों द्वारा संपादित होता है।

कर्टिस (Curtis 1935) के अनुसार पौधों में कार्बनिक भोज्य पदार्थों का अवरोही स्थानान्तरण फ्लोएम के द्वारा होता है। फ्लोएम द्वारा कार्बनिक विलेयों का सर्वाधिक मात्रा में स्थानान्तरण किया जाता है। कुछ ही मात्रा में जायलम Xylem तथा मृदू तक कोशिकाओं के द्वारा होता है। स्थानान्तरण अधिक सान्दता वाले भाग संभसरण सिरा या आपूर्ति छोर से कम सान्द्रता वाले भाग उपभोग छोर तथा संचयन छोर की ओर होता है।

फ्लोएम की संलग्नता का प्रायोगिक निरुपण

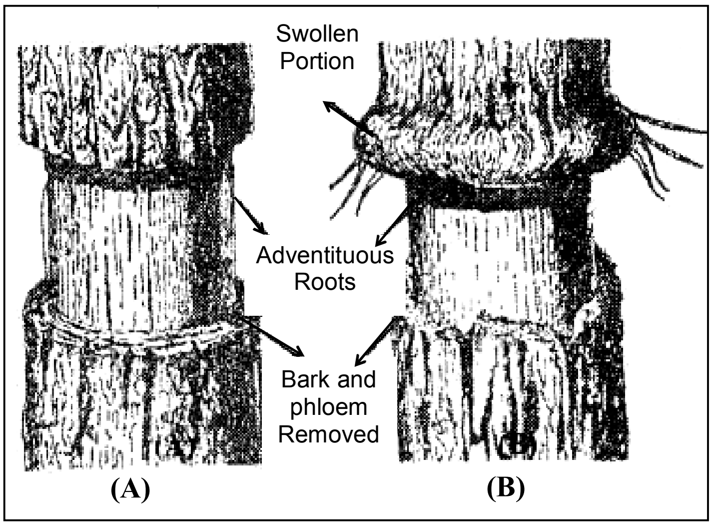
तनों कें संवहनी पूलों में फ्लोएम की स्थिति परिधीय होती है ताकि पत्तियों द्वारा निर्मित खाद्य पदार्थ इसके माध्यम से आसानी से प्रवाहित हो सके। फ्लोएम की चालनी कोशिकाओं के दोनों ओर छिद्रमय क्षेत्र के कारण आपस में जुड़ी हुयी चालनी नलिकाओं के कारण एक निरन्तर सतत प्रणाली बनती है जो प्ररोहाग्र से मूलाग्र तक खाद्य पदार्थों के संरचण हेतु अनुकुल रचनाओं के रुप में उपस्थित रहती है। फ्लोएम रेशों को छोडकर फ्लोएम की कोशिकायें पतली भित्ति वाली एवं जीवित होती है। निम्नलिखित प्रयोग इस तथ्य की पुष्टि करते है। कि फ्लोएम के माध्यम से ही पदार्थों का संवहन होता है–

टिप्पणी

(i) शीत ऋतु में कैलोज द्वारा चालनी छिद्र का अवरुद्ध होना विलेयों के स्थानान्तरण को भी अवरोधित कर देता है।

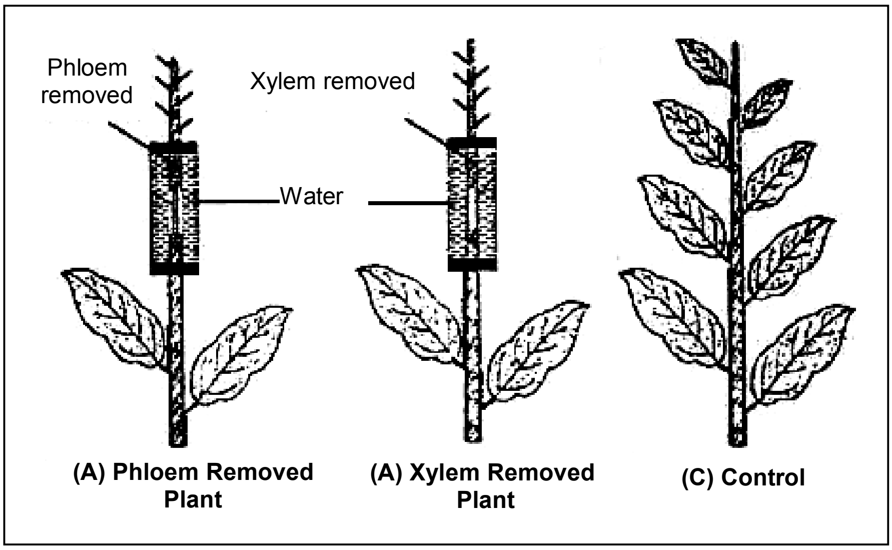
(ii) फ्लोएम रस तथा जाइलम रस का रासायनिक विश्लेषण यह बतलाता है कि फ्लोएम रस में कार्बोहाइड्रेट, सुक्रोज तथा कुछ मात्रा में ग्लूकोज एवं फ्रक्टोज होते है। सुक्रोज की मात्रा फ्लोएम रस में दिन में अधिक तथा रात में कम होती है। जबकि जाइलम रस में सुक्रोज की मात्रा अति अल्प होती है। तथा इनमें कोई दैनिक परिवर्तन नहीं होता है।

(iii) **वलयन प्रयोग**– मैल्पिघी (Malpighi 1675) हर्टिग (Hartig 1837) ने छाल की वलय (फ्लोएम एवं कैम्बियम) तक को हटाने पर देखा कि कुछ दिनों में तने के आधार तथा जडों पर सूजन के रुप में भोज्य पदार्थ संगृहित हो जाते है। यह स्थिति बतलाती है कि फ्लोएम की अनुपस्थिति में भोजन का नीचे की ओर स्थानान्तरण रुक जाता है। कुछ दिनों बाद उससे नये अपस्थानिक मूल भी विकसित होने लगते है।



चित्र क्र. 2.5: वलयन का प्रयोग

ऊपर की ओर स्थानान्तरण भी फ्लोएम द्वारा होता है इसे समझाने के लिए कर्टिस ने भी विशिष्ट प्रकार का वलयन प्रयोग संपादित किया। इस प्रयोग हेतु उन्होंने तीन काष्ठीय पौधे लिए। A पौधे में उन्होंने जाइलम के बाहर के सभी ऊतकों को वलयन द्वारा अलग कर दिया। B पौधों में जाइलम ऊतकों को अलग कर दिया, परन्तु फ्लोएम को अलग नहीं किया गया।



चित्र क्र. 2.6: कार्टिस का वलयन प्रयोग

A एवं B पौधों के वलयित भाग को कॉच के एक सिलिण्डर से ढँककर उसमें पानी भर दिया ताकि वलयित भाग के शेष ऊतक नम बने रहें। तीसरे पौधे C का वलयन नहीं किया गया और उसे नियन्त्रण पौधे के रुप में लिया गया। A एवं B पोधों में वलयीकृत भाग के उपर तने से सभी पत्तियाँ हटा दी गई। कुछ दिनों पश्चात् अवलोकन करने पर ज्ञात हुआ कि पौधे B एवं C की लम्बाई में समान वृद्धि हुई क्योंकि इनका फ्लोएम नहीं निकाला गया था, जिसके कारण वलयीकृत भाग के नीचे उपस्थित पत्तियों के द्वारा निर्मित भोज्य पदार्थों का फ्लोएम के माध्यम से उपर की ओर स्थानान्तरण हुआ है और पौधे की वृद्वि हुई है। इसके विपरित A पौधें की वृद्धि नहीं हो पायी है, क्योंकि उसका फ्लोएम निकाल दिया गया था जिसके कारण भोज्य पदार्थों का उपर की ओर स्थानान्तरण नहीं हो पाया।

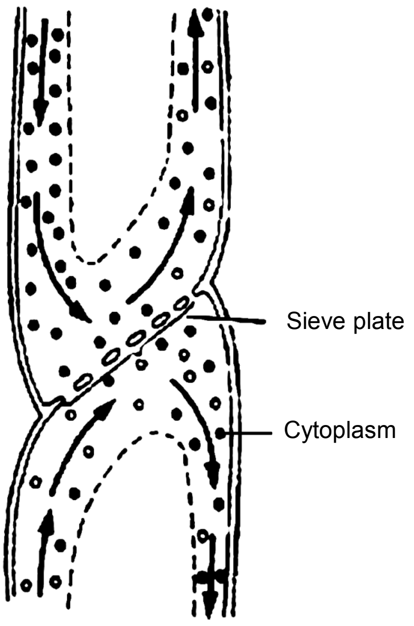
उपयुक्त प्रयोग से कर्टिस यह प्रमाणित करने में सफल रहे कि फ्लोएम द्वारा आरोही तथा अवरोही यानि दोनों दिशाओं में कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण होता है।

2.4.1 स्थानान्तरण की क्रियाविधि (Mechanism of Translocation)

कार्बनिक विलेयों का फ्लोएम द्वारा स्थानान्तरण की व्याख्या हेतु अनेक सिद्धान्त प्रस्तुत किए गए है। महत्वपूर्ण सिद्धान्त निम्नलिखित हैं–

1. विसरण परिकल्पना– मैसल एवं मास्केल के अनुसार कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण सामान्य विसरण के अनुसार होता है, लेकिन विसरण की दर फ्लोएम में होने वाले स्थानान्तरण की दर से कम होती है।

टिप्पणी

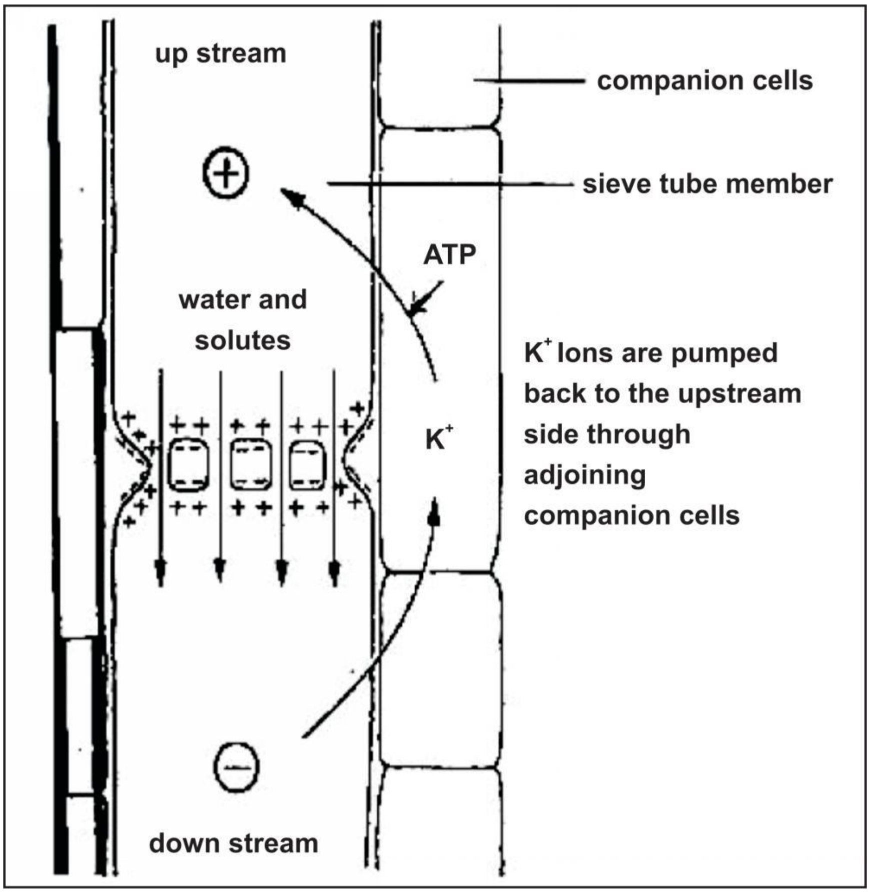


चित्र क्र. 2.7: चालनी नलिका में कोशिकाद्रव्य प्रवाह

सन् 1936 में मैसन एवं फिलिस ने विसरण परिकल्पना को रुपान्तरित करते हुए सक्रिय विसरण परिकल्पना के रुप में प्रस्तुत किया तथा कहा कि सक्रिय विसरण श्वसन से प्राप्त ऊर्जा ATP के कारण तीव्र दर से होता है, लेकिन वे दोनों इसका प्रायोगिक प्रमाण प्रस्तुत नहीं कर पाये।

2. **जीवद्रव्य प्रवाह परिकल्पना–** यह परिकल्पना डी. ब्रीज के द्वारा प्रस्तुत एवं कर्टिस के द्वारा समर्थित कि गयी। इसके अनुसार कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण जीवद्रव्य की परिभ्रमण गति के कारण होता है तथा यह जीवद्रव्य भ्रमण एवं विसरण के सम्मिलित प्रभाव से उत्पन्न होता है। यह परिकल्पना चालनी तत्व से होकर कार्बनिक विलेयों के द्विदिशीय गमन की व्याख्या करती है। लेकिन जीवद्रव्य प्रवाह की दर 5 सेमी प्रति घण्टा होती है जबकि फ्लोएम से विलयों का स्थानान्तरण 50–150 से.मी. प्रति घण्टा औसत 100 सेमी घण्टा की दर से होता है।

टिप्पणी



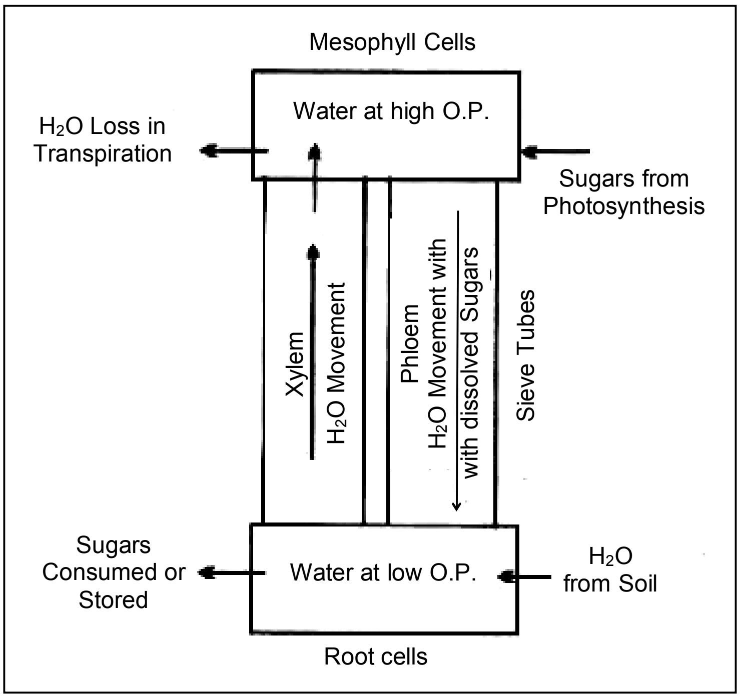
चित्र क्र. 2.8: विद्युत परासरणीय परिकल्पना का प्रदर्शन

द्विरेखीय प्रवाह हेतु थायने ने कहा कि फ्लोएम के चालनी नलिकाओं में ट्रांससेल्युलर स्ट्रैन्डस होते है तथा इनकी गति से उत्पन्न प्रवाह के कारण विलेयों का गमन होता है लेकिन इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी से अध्ययन करने पर फ्लोएम के चालनी नलिकाओं में इस प्रकार के स्ट्रैन्डस की उपस्थिति प्रमाणित नहीं हो पाती है। फेन्सम तथा स्पैनर ने बताया कि विलेय विद्युत प्रवणता की धनात्मक दिशा में गति करते है। लेकिन इस सिद्धान्त का भी प्रायोगिक निरुपण सम्भव नहीं हो सका है।

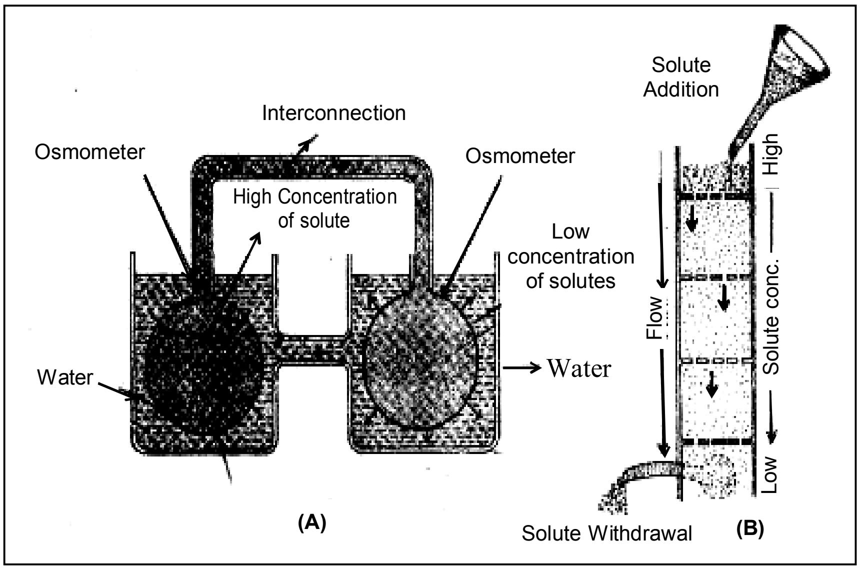
3. मुंच का द्रव्य प्रवाह या दाब प्रवाह परिकल्पना– इस परिकल्पना के प्रवर्तक मुंच का मानना है कि खाद्य पदार्थों अर्थात् कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण उनके निर्माण के स्थान से उनके उपभोग के स्थान तक फ्लोएम के माध्यम से सान्द्रण प्रवणता के आधार पर होता है। मुंच ने माना कि चालनी नलिका का जीवद्रव्य प्लाल्मोडेस्मेटा द्वारा सम्बन्धित होकर एक निरंतर तंत्र का निर्माण करता है। विलेयों का स्थानान्तरण चालनी नलिकाओं में कोशिका रस के साथ अधिक स्फीति दाब से कम स्फीति दाब की ओर एक मास प्रवाह के रुप में होता है। मास प्रवाह का निर्माण पत्तियों में दिन के समय प्रकाश संश्लेषण के निरन्तर चलते रहने के कारण बनने वाले प्रकाश संश्लेषीय उत्पाद हेक्सोस शर्करा तथा उससे बने सुक्रोज के कारण होता है। इस प्रक्रिया के प्रयोग के प्रदर्शन हेतु मुंच ने

टिप्पणी

दो बल्वीय ऑस्मोमीटर को एक नलिका से जोडकर एक ऑस्मोमीटर में उच्च सान्द्रण वाले विलयन में डाला तो देखा कि उच्च सान्द्रण वाले विलयन में परासरण दाब उत्पन्न हो गया साथ ही साथ उच्च सान्द्रण वाले विलयन से निम्न सान्द्रण वाले विलयन की ओर विसरण की प्रक्रिया होने लगी। इस प्रकार का स्थानान्तरण निष्क्रिय स्थानान्तरण का उदाहरण है।



चित्र क्र. 2.9: मुंच प्रवाह का सैद्धान्तिक प्रदर्शन



चित्र क्र. 2.10: मुंच वाद के एकरेखीय प्रवाह का प्रदर्शन

पक्ष में प्रमाण

(i) पौधों की पत्तियों को हटा देने से धनात्मक सान्द्रण प्रवणता समाप्त हो जाती है।

(ii) जब एक काष्ठीय तथा शाकीय पौधें को मेखलीकृत करके काटते हैं, तो उसके शीर्ष हिस्से के कटे हुए क्षेत्र से निकलने वाले रस में शर्करा युक्त घटक अधिक होते है।

मुंचवाद की आलोचनाएँ

(a) यह सिद्धान्त एक रेखीय प्रवाह की ही व्याख्या करता है।

(b) मूल तथा मीजोफिल कोशिकाओं के बीच परासरण दाब में अन्तर को उस प्रकार सत्यापित नहीं किया जा सका है जैसा कि इस परिकल्पना के अनुसार होना चाहिए।

(c) यह प्रक्रिया निष्क्रिय स्थानान्तरण की बात करती है, ATP, की भूमिका के बारे में यह सिद्धान्त मौन का प्रदर्शन करता है।

2.4.2 कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Transfer of Organic Solutes)

कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण की प्रक्रिया निम्नलिखित कारकों द्वारा प्रभावित होती है–

1. **खनिज आयन**– बोरॉन आयन शर्करा के स्थानान्तरण के लिए आवश्यक होता है। पोटैशियम तथा फॉस्फोरस आयनों की उपस्थिति भी विलेयों के स्थानान्तरण में सहायता करती है।

2. **प्रकाश**– हार्ट एवं उनके सहयोगियों (Hart et. al. 1969) के अनुसार प्रकाश का अप्रत्यक्ष प्रभाव कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण पर पडता है। यह काफी प्रभावी कारक होता है। प्रकाश की अनुपस्थिति में कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण की दर घटकर आधी हो जाती है। अल्प प्रकाश तीव्रता की स्थिति में जड़ तथा प्ररोह की वृद्धि रुक जाती है। जिसके कारण इन क्षेत्रों में कार्बनिक विलेयों की आवश्यकता घट जाती है तथा स्थानान्तरण की दर कम हो जाती है।

3. **श्वसन दर**– श्वसन की दर के बढ़ने से कार्बनिक विलेयों का स्थानान्तरण भी बढ़ता है तथा घटने से घटता है। इतना ही नहीं वे सभी कारक जो श्वसन की दर को बढ़ाते हैं कार्बनिक विलेयों के स्थानान्तरण की दर को बढ़ाते हैं।

4. **तापमान**– कम तापमान पर स्थानान्तरण की दर घट जाती है। स्थानान्तरण के लिए अनुकुल तापमान 20^{o}–$30^{o}C$ के बीच होता है।

2.5 जैविक अणु (Biological Molecules)

टिप्पणी

2.5.1 कार्बोहाइड्रेट (Saccharides)

कार्बोहाइड्रेट को ही सैकेराइड कहते है। सेकेराइड शब्द की उत्पत्ति ग्रीक शब्द सेक्रॉन से हुई। जिसका अर्थ शर्करा होता है।

कार्बोहाइड्रेट कार्बन हाइड्रोजन और ऑक्सीजन के द्वारा अणु बने होते है, जिसका सूत्र $C_x(H_2O)y$ होता है। इन्हे कार्बन के हाइड्रेटस कहा जाता है।

इनमें हाइड्रोजन तथा जल का अनुपात 2:1 होता है। कार्बोहाइड्रेट में एक ऐल्डिहाइड (-CHO) तथा एक कीटोन (=CO) समूह पाये जाते है।

इसी कारण कार्बोहाइड्रेट पॉलीहाइड्रॉक्सी एल्डिहाइड एवं पॉलीहाइड्रॉक्सी कीटोन कहलाते है। पौधो में कार्बोहाइड्रेट कोषा के संरचनात्मक घटक के रूप में मिलते है। सेल्युलोज, काइटिन, पेक्टिन पौधों की कोषा भित्ति के घटक है।

कार्बोहाइड्रेट का वर्गीकरण तथा रासायनिक संरचना (Classification of Carbohydrates and their Chemical Composition)

कार्बोहाइड्रेट को उनके अणुओं तथा गुणों के आधार पर मुख्यतः तीन भागों में बाँटा गया है–

1. मोनोसैकेराइड
2. ओलिगोसैकेराइड
3. पॉलिसैकेराइड

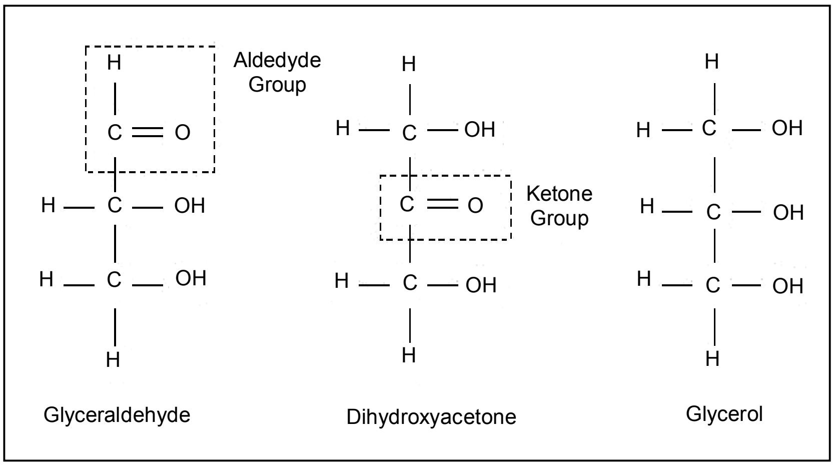
1. मोनोसैकेराइड– ये सरल कार्बोहाइड्रेट होते है। जिसके कारण इनका छोटी छोटी इकाइयों में जल अपघटन नहीं हो पाता है।

ये जल में घुलनशील होते है इनका स्वाद मीठा होता है अतः इन्हें शर्करा कहा जाता है। कार्बन परमाणु के आधार पर इन्हें निम्न भागों में बाँटा गया है–

(i) ट्रायोजेज– इसमें 3 कार्बन परमाणु होते हैं इसलिए ट्रायोज कहलाते हैं।

उदाहरण– डाइहाडॉक्सी ऐसीटो–ग्लिसरेलिहाइड।

टिप्पणी



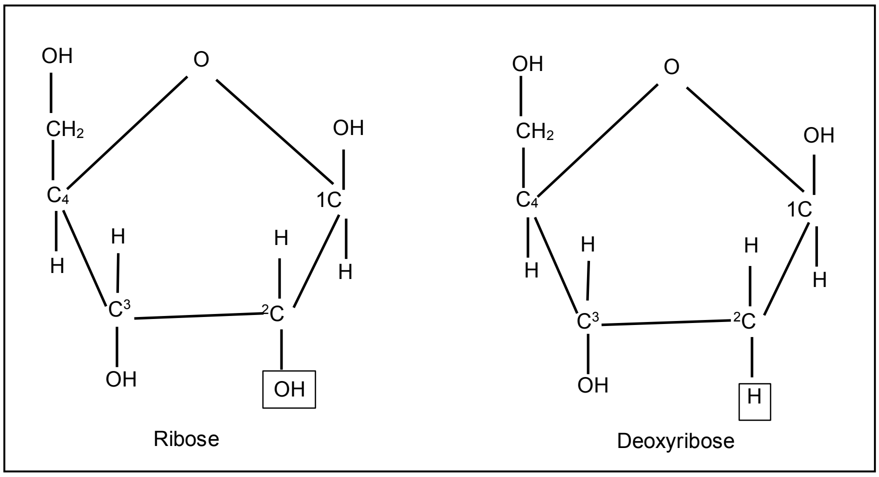
चित्र क्र. 2.11: ट्रायोज शर्कराएँ

(ii) टेट्रोजेज– इसमें 4 कार्बन परमाणु होते है।

उदाहरण– इरिथ्रुलोज, इरिथ्रोज।

(iii) पेन्टोजेज– इसमें 5 कार्बन परमाणु होते है।

उदाहरण– राइबोज, डीऑक्सीराइबोज।

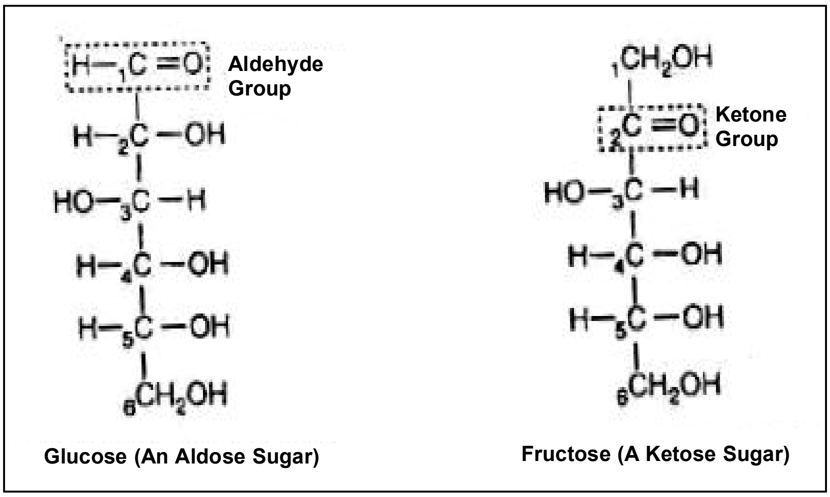


चित्र क्र. 2.12: पेन्टोज शर्कराएँ

(iv) हेक्सोजेज– इसमें 6 कार्बन परमाणु होते है। पादप कोषा में सर्वाधिक हेक्सोस शर्करा मिलती है।

उदाहरण– ग्लूकोज, फ्रक्टोज।

टिप्पणी



चित्र क्र. 2.13: हेक्सोज शर्कराएँ

(v) हेप्टोजेज– इसमें 7 कार्बन परमाणु होते है।

उदाहरण– सीडोहेप्टुलोज (Sedoheptulose)

2. **ओलिगोसैकेराइड**– 2 से 9 मोनोसैकेराइड के संघनन से ओलिगो–सैकेराइड का निर्माण होता है। इसमें एक ग्लाइकोसिडिक बंध पाया जाता है। जहाँ पर मोनोसैकेराइड इकाइयों के संघनन में जल के अणु का विलोपन होता है। तथा उस स्थान पर एक ऑक्सीजन ब्रिज के द्वारा बंधित हो जाती है। इनका जल अपघटन होने पर मोनोसैकेराइड की प्राप्ति होती है। ये मुख्यतः चार प्रकार का होता है–

(i) डाइसैकेराइड– यह दो मोनोसैकेराइड इकाइयों के संघनन द्वारा बनता है जिसका सामान्य सूत्र $C_n(H_2O)n\text{-}1$ होता है।

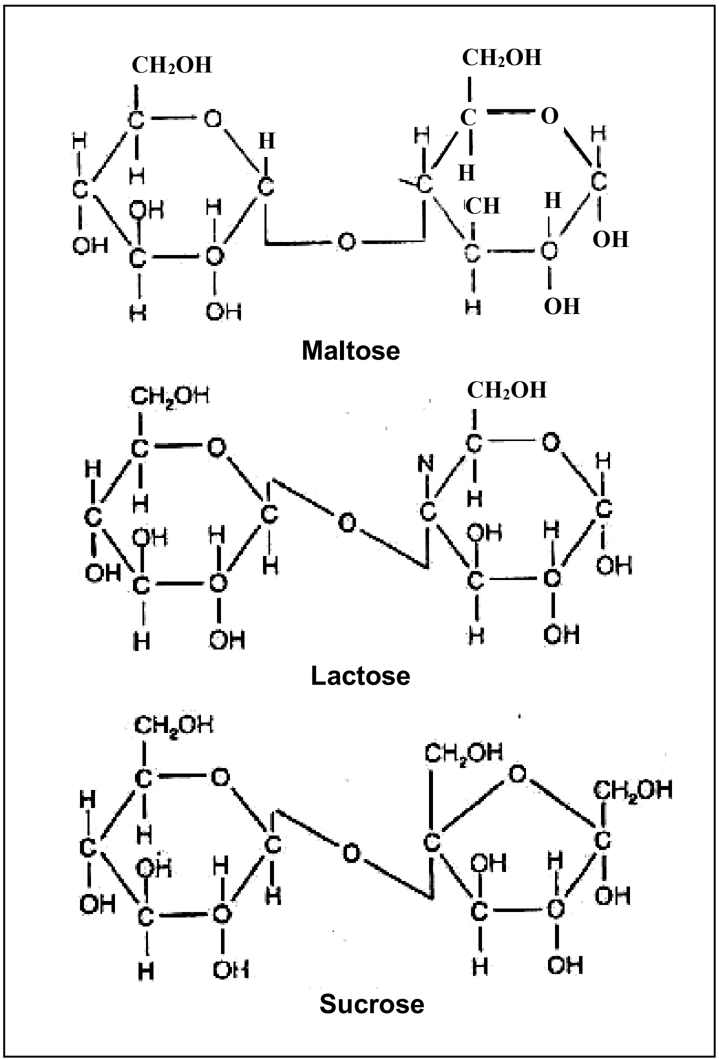
उदाहरण– सुक्रोज ($C_{12}H_{22}O_{11}$), माल्टोज एवं लेक्टोज।

गन्ने के रस से प्राप्त होने वाली शर्करा सुक्रोज होती है।

(ii) ट्राइसैकेराइड– यह तीन मोनोसैकेराइड इकाइयों के द्वारा निर्मित होती है जिसका सामान्य सूत्र $(C_nH_2O)n\text{-}2$

रैफिनोज में ग्लूकोज, फ्रक्टोज व गैलेक्टोज पायी जाती है।

टिप्पणी



चित्र क्र. 2.14: डाइसैकेराइड्स

(iii) टेट्रासैकेराइड– यह चार मोनोसैकेराइड के द्वारा निर्मित होते है। जिसका सामान्य सूत्र– $C_n(H_2O)n-3$ है।

उदाहरण– स्टैकीओज।

(iv) पेन्टासैकेराइड– यहाँ पाँच मोनोसैकेराइड के द्वारा निर्मित होते है।

जिसका सामान्य सूत्र $C_n(H_2O)n-4$ है।

उदाहरण– बरबेनॉज।

3. **पॉलिसैकेराइड**– ये सबसे जटिल प्रकार का कार्बोहाइड्रेट होते है। जिसमें 10 से अधिक मोनोसैकेराइड की इकाइयों का संघनन होता है। इनका सामान्य सूत्र $(C_6H_{12}O_5)$ होता है। यह स्वादहीन तथा जल में अघुनशील होते है।

उदाहरण– हेक्सोसन्स पेण्टोसन्स आदि।

रासायनिक संरचना के आधार पर यह दो प्रकार के होते है–

(a) होमोपॉलीसैकेराइड

टिप्पणी

(b) हेटरोपॉलीसैकेराइड

(a) होमोपॉलीसैकेराइड– एक समान मोनोसैकेराइड इकाइयों के द्वारा होमोपॉलिसैकेराइड का निर्माण होता है–

- **स्टार्च–** यह पौधों का संग्रहित भोज्य पदार्थ होता है।
- **ग्लाइकोजन–** यह एनिमल स्टार्च होता है जो जन्तुओं तथा कवकों का संग्रहित भोज्य पदार्थ होता है।
- **इन्युलिन–** यह एक ऐसा कार्बोहाइड्रेट होता है जो घुलनशील होता है। तथा शर्करा में बदलता है पौधों की जड़ो में कंदो में संचित रहता है। व्यावसायिक तौर पर जेरूसेलम आर्टीचोक राइजोम से प्राप्त किया जाता है।
- **सेल्युलोज–** यह अघुलनशील कार्बोहाइड्रेट होता है। जो पादपों की कोशिका भित्ति में पाया जाता है। इसमें एन्जाइम का अभाव होता है। यह जन्तुओं की कोशिकाओं में नहीं पाया जाता है।
- **डेक्स्ट्रॉज–** इसका निर्माण ग्लूकोज की इकाइयों के द्वारा होता है। यह एक शाखित पॉलिसैकेराइड है। यह जीवाणु तथा यीस्ट में पाया जाता है।

(b) हेटरोपॉलीसैकेराइड– इनका निर्माण कार्बन समूह तथा अकार्बनिक समूह एवं मोनोसैकेराइड के द्वारा होता है। यह निम्न प्रकार के होते है–

- **काइटिन–** यह नाइट्रोजन युक्त पॉलिसैकेराइड होता है। यह एसिटाइल ग्लूकोसेमाइन के व्युत्पन्न होते है। यह कवकों की कोशिका भित्ति में पाए जाते है।
- **हेमीसेल्यूलोज–** इसमें सबसे अधिक मात्रा में शर्करा पायी जाती है। यह मुख्यतः कोशिका भित्ति में पायी जाती है।
- **पेक्टिन–** यह गैलेक्टोयूरॉनिक अम्ल एवं गैलेक्टोज तथा ऐरेबिनोज के द्वारा बनता है। कोशिका भित्ति की मध्य पटतिका पेक्टिन के द्वारा बनी होती है।

2.5.2 कार्बोहाइड्रेट के कार्य (Functions of Carbohydrates)

कार्बोहाइड्रेट अणु जैविक तंत्र में मुख्य भूमिका निभाते हैं–

- यह पादप तथा जन्तुओं में संचित ऊर्जा के रुप में पाए जाते है।
- रुधिर प्रतिजन का निर्माण कार्बोहाइड्रेट द्वारा संपन्न होता है।
- रुधिर प्रतिस्कंदन बनाते है। जैसे– टिपैरिन
- जन्तुओं में कार्बोहाइड्रेट बाह्य कंकाल का निर्माण करते है।

- पादपों में उनकी कोशिका भित्ति सेल्यूलोज की बनी होती है जो एक प्रकार का कार्बोहाइड्रेट होता है। परिपक्व ऊतकों की कोषाभित्ति में पाया जाने वाला लिग्निन पौधों को यांत्रिक दृढता प्रदान करता है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

1. स्टार्च है।
   (अ) प्रोटीन (ब) वसा
   (स) कार्बोहाइड्रेट (द) इनमें से कोई नहीं
2. सेल्युलोज है–
   (अ) पॉलीसैकेराइड (ब) मोनोसैकेराइड
   (स) डाइसैकेराइड (द) ओलिगोसैकेराइड

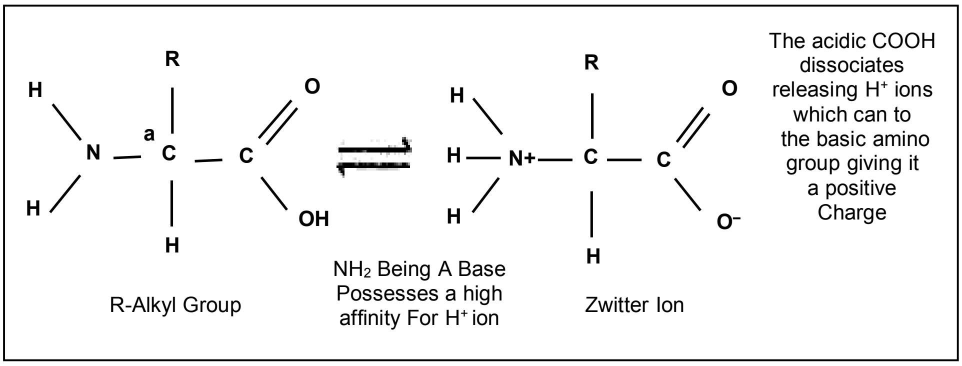
2.6 अमीनो अम्ल (Amino Acids)

अमीनो अम्ल प्रोटीन की महत्वपूर्ण इकाइ होती है। जिसमें दो क्रियात्मक समूह पाए जाते हैं। इसमें से एक क्रियात्मक समूह अमीनो समूह NH_2 तथा दूसरा कार्बोक्सिल समूह (-COOH) होता है।

अमीनो अम्ल एक उभयधर्मी यौगिक होता है। जिसमें अम्लीय ($-COOH_4$) तथा क्षारीय ($-NH_2$) दोनो तरह के गुण उपस्थित होते है।

इसमें से अम्लीय समूह के पास हाइड्रोजन देने की प्रवृत्ति होती है। तथा क्षारीय समूह ($-NH_2$) के पास हाइड्रोजन ग्रहण करने की प्रवृत्ति होती है।

इसीलिए इसे ज्विटर आयन या उभयधर्मी आयन कहते है। अमीनो अम्ल लगभग 20 प्रकार के होते है जो विभिन्न प्रोटीन का निर्माण करते हैं।



चित्र क्र. 2.15: एक अमीनो अम्ल के ज्वीटर आयन का रुप

टिप्पणी

सारणी क्र. 2.3: प्राकृतिक रुप से पाये जाने वाले अमीनो अम्ल

क्र.	अमीनो अम्ल	3 अक्षर संकेताक्षर	1 अक्षर संकेताक्षर
1.	Alanine	ala	A
2.	Arginine	arg	R
3.	Asparagine	asn	N
4.	Aspartic acid	asp	D
5.	Cysteine	cys	C
6.	Glutamine	gln	Q
7.	Glutamic acid	glu	E
8.	Glycine	gly	G
9.	Histidine	his	H
10.	Isoleucine	lie	I
11.	Leucine	leu	L
12.	Lysine	lys	K
13.	Methionine	met	M
14.	Phenylalanine	phe	F
15.	Proline	pro	P
16.	Serine	ser	S
17.	Threonine	thr	T
18.	Tryptophan	try	W
19.	Tyrosine	tyr	Y
20.	Valine	val	V

2.6.1 अमीनो अम्लों का वर्गीकरण तथा रासायनिक संरचना (Classification and Chemical Composition of Amino Acids)

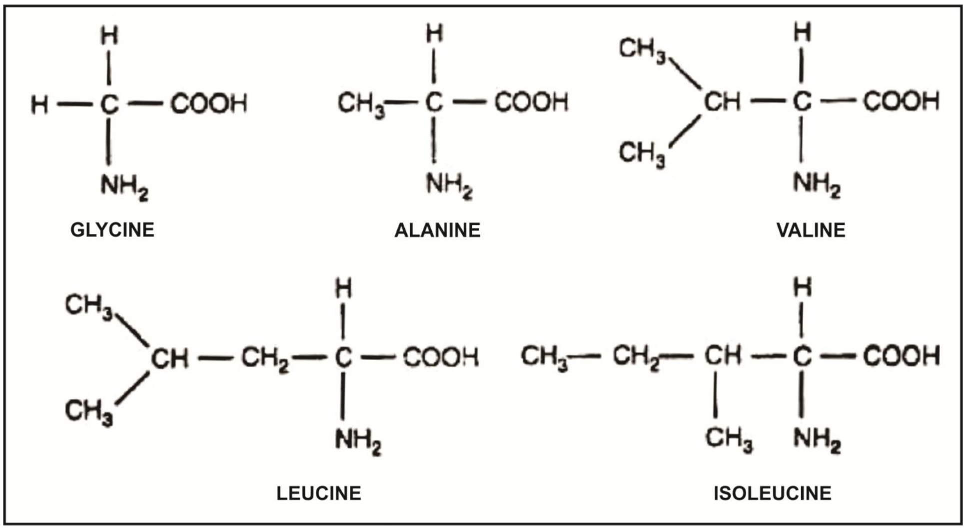
प्राकृतिक रुप से उपस्थित अमीनो अम्लों को निम्न भागों में बाँटा गया है–

1. एलीफैटिक अमीनो अम्ल
2. एरोमैटिक अमीनो अम्ल
3. हेटरोसाइक्लिक अमीनो अम्ल

1. एलीफैटिक अमीनो अम्ल– इन अमीनो अम्लों में एल्काइल R– ग्रुप उपस्थित होता है ये मुख्यतः चार प्रकार के होते है–

(i) उदासीन अमीनो अम्ल– इनमें केवल एक अमीनो समूह ($-NH_2$) तथा एक कार्बोक्सिलिक समूह पाया जाता है।

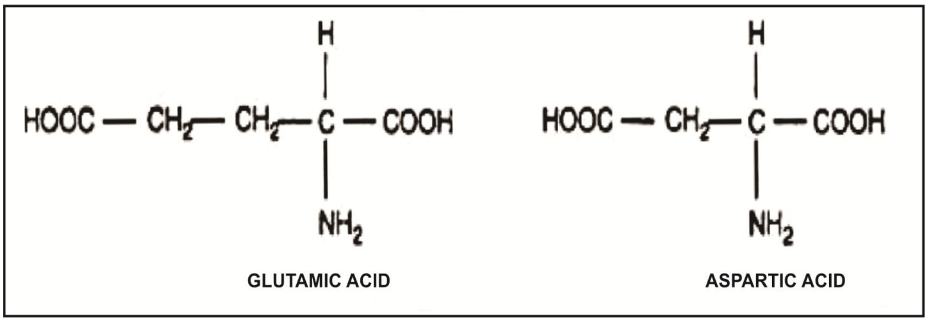
उदाहरण– ग्लाइसीन, एलेनीन, वैलीन, ल्यूसीन, आइसोल्यूसिन।



चित्र क्र. 2.16: उदासीन अमीनो अम्ल

(ii) अम्लीय अमीनो अम्ल– इनमें एक अतिरिक्त कार्बोक्सिल (-COOH) समूह पाया जाता है।

उदाहरण– ग्लूटेमिक अम्ल एवं एस्पार्टिक अम्ल।

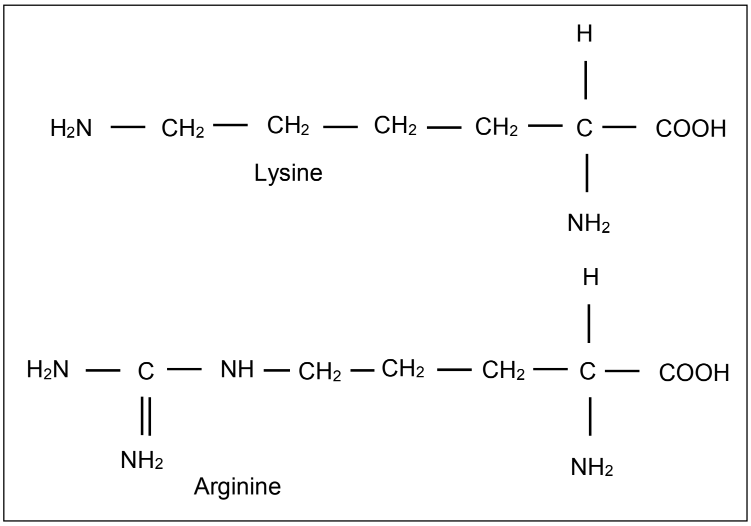


चित्र क्र. 2.17: अम्लीय अमीनो अम्ल

(iii) क्षारीय अमीनो अम्ल– इस अमीनो अम्ल में एक अतिरिक्त अमीनो समूह ($-NH_2$) पाया जाता है।

उदाहरण– लाइसिन, आर्जिनिन।

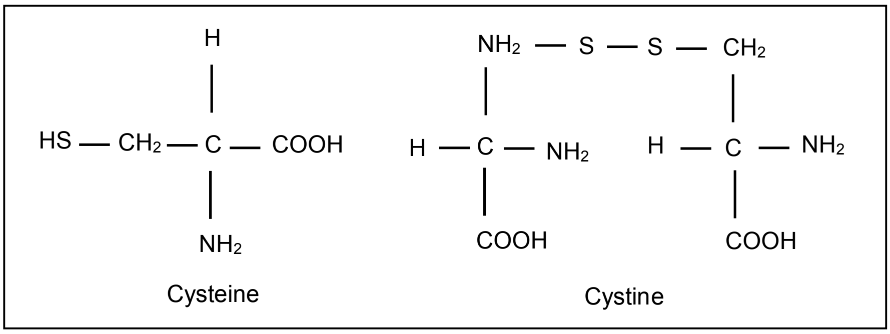
टिप्पणी



चित्र क्र. 2.18: क्षारीय अमीनो अम्ल

(iv) सल्फेट युक्त अमीनो अम्ल– इन अमीनो अम्लों में एक सल्फाहाइड्रिल समूह (SH) पाया जाता हैं।

उदाहरण– सिस्टाइन, सिस्टीन।

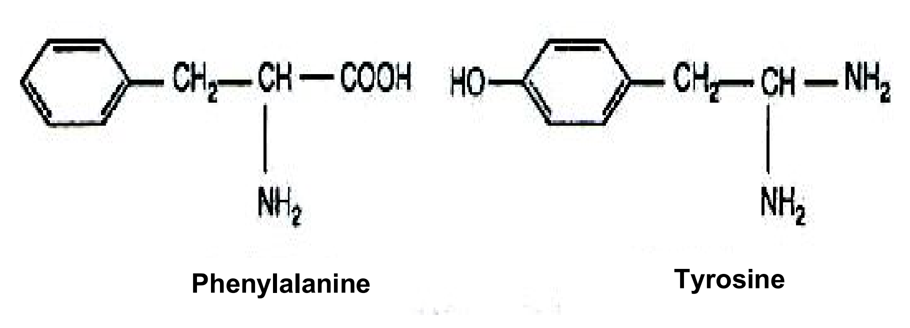


चित्र क्र. 2.19: सल्फरयुक्त अमीनो अम्ल

2. एरोमैटिक अमीनो अम्ल– इन अमीनो अम्लों में एक बेन्जीन वलय पायी जाती है।

उदाहरण– फिनाइलएलेनीन, टायरोसीन।

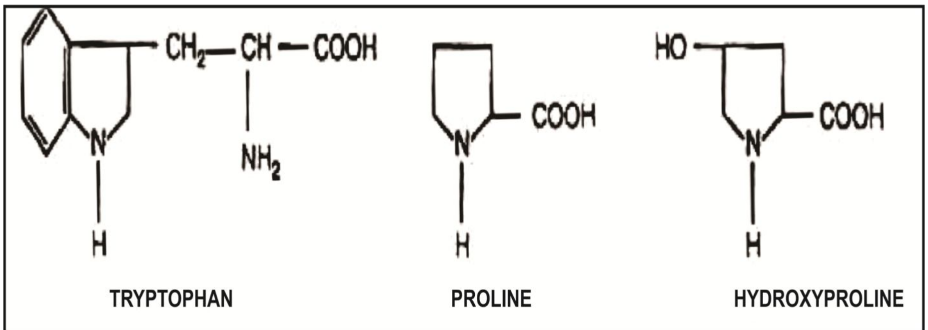
टिप्पणी



चित्र क्र. 2.20: ऐरोमिटिक अमीनो अम्ल

3. **हेटरोसाइक्लिक अमीनो अम्ल**– इन अमीनो अम्लों में रिंग पायी जाती है जिसे विषमचक्रीय रिंग कहते है। इनमें पार्श्व श्रृंखला वलय में कार्बन के अलावा एक अन्य तत्व परमाणु पाया जाता है।

उदाहरण– ट्रिप्टोफैन, प्रोटीन।



चित्र क्र. 2.21: हेटरोसाइक्लिक अमीनो अम्ल

2.6.2 आपूर्ती के आधार पर अमीनो अम्लों का विभाजन (Division of Amino Acids on the Basis of Supply)

जैविक दृष्टि के आधार पर अमीनो अम्लों का निम्नलिखित तीन श्रेणीयों में विभाजन किया गया है–

1. **आवश्यक अमीनो अम्ल**– ऐसे अमीनो अम्ल होते है जिनका संश्लेषण जन्तु कोशिकाओं में नहीं होता है। तथा उन्हें भोजन के द्वारा प्राप्त करना आवश्यक होता है। उन्हें आवश्यक अमीनो अम्ल कहते है।

   उदाहरण– ल्यूसिन, मिथियोनीन, लाइसीन, आइसोल्यूसीन, वेलीन फिनोइल एलेनीन, ट्रिप्टोफैन।

2. **अनावश्यक अमीनो अम्ल**– ऐसे अमीनो अम्ल जिनका संश्लेषण जन्तु कोशिका में होता है उन्हें अनावश्यक अमीनो अम्ल कहा जाता है।

उदाहरण– एलेनीन, एस्पार्टिक अम्ल, सीरीन ग्लाइसीन, ग्लूटेमिक अम्ल एवं सिस्टीन।

टिप्पणी

3. **अर्द्ध आवश्यक अमीनो अम्ल**– हिस्टीडीन तथा आजीर्निन आंशिक रुप से आवश्यक अमीनो अम्ल हैं। इनका निर्माण जन्तुओं की कोशिकाओं में धीरे धीरे होता है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

3. अमीनो अम्ल होते है।

(अ) कीटो अम्ल (ब) वसीय अम्ल

(स) ज्विटर आयन (द) ये सभीं

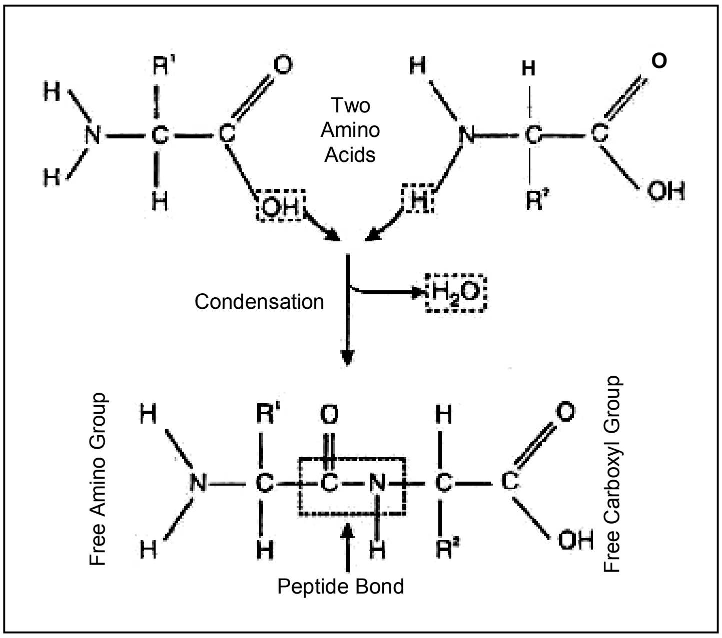
4. अमीनो अम्ल की संरचना में होते है।

(अ) $-NH_2$ समूह (ब) $-COOH$ समूह

(स) (अ) तथा (ब) दोनो (द) कोई नहीं

2.7 प्रोटीन (Protein)

सर्वप्रथम मुल्डर ने प्रोटीन शब्द का प्रयोग किया तथा उसके बाद बर्जिलियस के द्वारा इस शब्द का प्रयोग विस्तारपूर्वक व्यापक स्तर पर किया गया।



चित्र क्र. 2.22: दो अमीनो अम्लों के मिलने से पेप्टाइड बन्ध का बनना

प्रोटीन की संरचना कार्बन, हाइड्रोजन ऑक्सीजन तथा नाइट्रोजन के द्वारा होती है। परन्तु कुछ प्रोटीन ऐसे भी होते है जिसमें सल्फर तथा फॉस्फोरस की सूक्ष्म मात्रा पायी जाती है।

अर्थात प्रोटीन जटिल संरचना वाले कार्बनिक यौगिक होते है जिनका निर्माण अमीनो अम्लों के द्वारा होता है।

2.7.1 प्रोटीन निर्माण (Protein Formation)

प्रोटीन का निर्माण अमीनो अम्ल के खण्डों से होता है।

अमीनो अम्ल लगभग 20 विभिन्न प्राकृतिक रुपों में पाये जाते है।

प्रोटीन निर्माण के दौरान अमीनो अम्लों का अमीनो समूह दूसरे अमीनो अम्ल के कार्बोक्सिलिक समूह से साथ क्रिया करता है। जिसके द्वारा एक पेप्टाइड बंध तथा जल के एक अणु का निर्माण होता है।

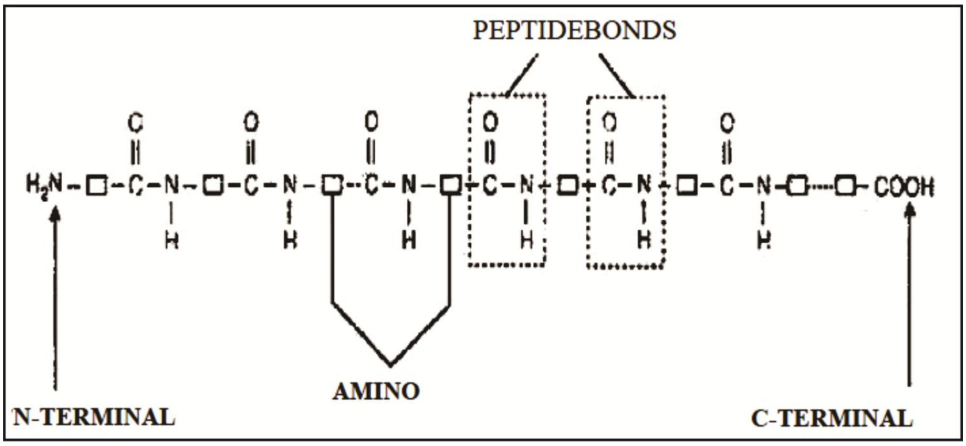
पेप्टाइड बंध से जुड़ने वाले दो अमीनो अम्ल को डाइपेप्टाइड तीन अमीनो अम्लो को ट्राईपेप्टाइड चार अमीनो अम्लो टेट्रोपेप्टाइड एवं 20 से अधिक अमीनो अम्लो को पॉलिपेप्टाइड कहा जाता है। अतः प्रोटीन एक प्रकार की अमीनो अम्लों की पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला होती है।

2.7.2 प्रोटीन की संरचना (Protein Structure)

1. प्राथमिक संरचना

प्रोटीन की प्राथमिक संरचना में एक सीधी पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला होती है। इस श्रृंखला में अमीनों अम्लों का एक विशिष्ट प्रकार का क्रम होता है। अमीनों अम्लों का यह विशिष्ट क्रम प्रोटीन की प्राथमिक संरचना का निर्माण करता है।

प्रोटीन में अमीनो अम्लों का क्रम DNA के द्वारा निर्धारित किया जाता है।



चित्र क्र. 2.23: एक काल्पनिक प्रोटीन में अमीनो अम्लों का क्रम प्रदर्शित

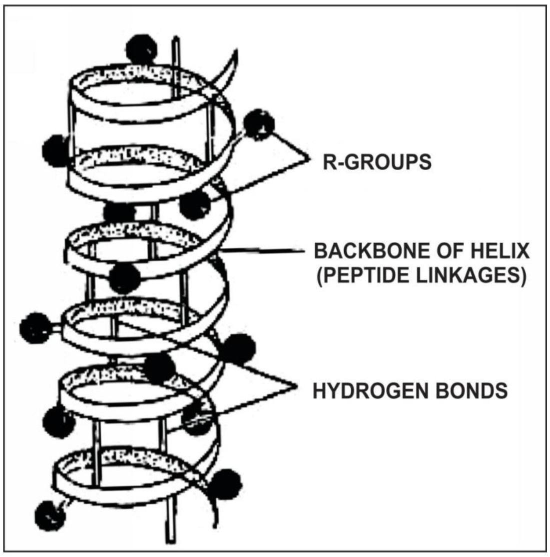
टिप्पणी

अर्थात DNA प्रोटीन की प्राथमिक संरचना को प्रभावित कर सकता है।

राइबोन्यूक्लियेज एवं मायोग्लोबिन को छोडकर सामान्यतः प्राथमिक संरचना क्रियात्मक नहीं होती है। तथा प्रत्येक पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला एक मुक्त समूह से आरम्भ होती है। जिसको अमीनो अथवा N^- सिरा तथा अंत के मुक्त कार्बोक्सिलिक समूह को C^- सिरा कहा जाता है।

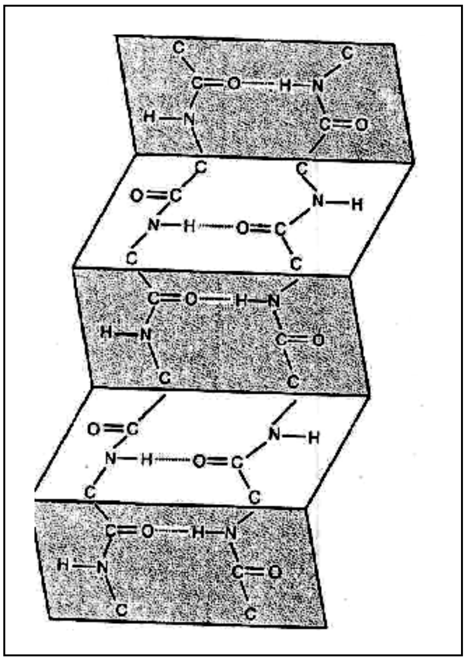
2. द्वितीयक संरचना

यह प्रोटीन की द्वितीयक संरचना होती है। जिसमें प्रोटीन कुण्डलित या लहरदार चादर के रुप में होती है। इसमें पेप्टाइड बंध के अलावा हाइड्रोजन बंध भी पाया जाता है। प्रोटीन की द्वितियक संरचना बालों एवं त्वचा की अल्फा α किरैटिन में कुण्डलित रुप में एवं सिल्क फिब्रोइस की प्रोटीन β लहरिया चादर बीटा रुप में मिलती है। β लहरिया चादर संरचना में पॉलीपेप्टाइड श्रृंखलाएँ समान्तर एवं प्रतिसमान्तर क्रम में पायी जाती है।

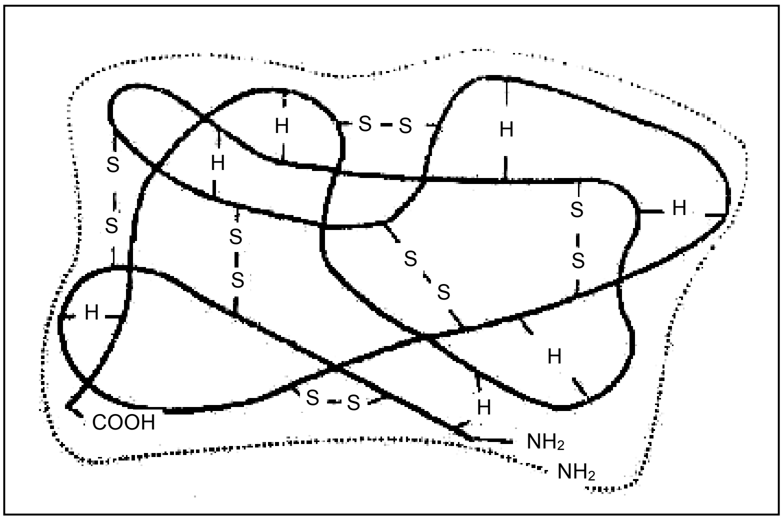


चित्र क्र. 2.24: कुण्डलित संरचना

टिप्पणी



चित्र क्र. 2.25: लहरिया चादर की संरचना



चित्र क्र. 2.26: द्वितीयक संरचना के अत्याधिक वलयन को दर्शाते हुए एक काल्पनिक प्रोटीन अणु की तृतीयक संरचना

3. तृतीयक संरचना

यह प्रोटीन की त्रिविम संरचना होती है जिसमें पॉलिपेप्टाइड श्रृंखला अत्याधिक वलयन वाली होती है। जिसमें प्रोटीन की द्वितीय संरचना की इकाइयाँ मुड़ जाती है, या वलित होकर एक कॉम्पेक्ट लगभग ग्लोब्यूलर आकृति बनाती है।

टिप्पणी

2.7.3 प्रोटीन्स का वर्गीकरण (Classification of Proteins)

प्रोटीन को उसकी आकृति तथा संघटन के आधार पर निम्नलिखित भागों में बाँटा गया है–

1. **आकृति के आधार पर वर्गीकरण–** प्रोटीन को उसकी आकृति के आधार पर मुख्यतः दो समूहों में वर्गीकृत किया गया है–

(i) रेशेदार प्रोटीन्स– ये प्रोटीन्स आकार में लम्बी तथा बेलन की तरह होती है। इनमें द्वितियक संरचना पायी जाती है। यह जल में घुलनशील होता है। यह नॉन–एन्जाइमेटिक होती है।

उदाहरण– मायोसिन, किरेटिन आदि।

(ii) गोलाकार प्रोटीन– ये प्रोटीन आकार में गोल होती है। एवं इसमें तृतीयक संरचना पायी जाती है। यह जल में घुलनशील होती है। इनका अणु भार कम होता है। ये एन्जाइमी एवं अएन्जाइम दोनो हो सकते है।

उदाहरण– हीमोग्लोबीन, मायोग्लोबिन आदि।

2. **संघटन के आधार पर वर्गीकरण–** प्रोटीन को उनके संघटन के आधार पर तीनों भागों में बाँटा गया है–

(अ) सरल प्रोटीन– ये प्रोटीन अमीनो अम्ल के द्वारा बनती है। इनकी घुलनशीलता के आधार पर यह छः उप भागों में बाँटा गया है–

(i) एल्ब्यूमिन– ये जल तनु, अम्लो, तनु क्षार, तनु लवण, के घोल में घुल जाने वाली प्रोटीन होती है। ये स्कंदित हो जाती है।

उदाहरण– अण्डएल्ब्यूमिन, सीरम एल्ब्यूमिन आदि।

(ii) ग्लोब्यूलिन– ये प्रोटीन तनु लवणघोल में घुलनशील एवं जल में अघुलनशील होती है। यह भी उष्मा के प्रभाव से स्कंदित होती है।

उदाहरण– मायोसिन व सीरम ग्लोब्यूलिन।

(iii) ग्लूटेलिन– ये प्रोटीन्स तनु अम्लो तथा क्षारों में घुलनशील होती है। परन्तु जल एवं उदासीन घोलो में अघुलनशील होती है।

(iv) हिस्टोन– ये जल में अत्याधिक घुलनशील हो जाती है। ये प्रोटीन तनु अम्लों तथा तनु क्षारों में भी घुलनशील होती है। यह एक प्रकार की क्षारीय प्रोटीन होती है। इस प्रोटीन का निर्माण अधिक अमीनो समूह वाले अमीनो अम्लो के द्वारा होता है।

उदाहरण– न्यूक्लियोप्रोटीन।

(v) प्रोलेमिन– ये प्रोटीन्स जल में घुल जाती है। परन्तु तनु अम्ल एवं तनु क्षार एवं 70-80% एल्कोहॉल में अघुलनशील होती है।

उदाहरण– मक्का का ग्लूटेन, ग्लाइडिन।

(vi) प्रोटेमिन– ये जल में घुलनशील होती है तथा कम अणुभार वाली प्रोटीन होती है।

उदाहरण– न्यूक्लिक अम्ल के साथ पायी जाने वाली प्रोटीन।

(ब) **जटिल या संयुग्मित प्रोटीन–** ऐसी प्रोटीन जिसमें अम्ल के साथ प्रोस्थेटिक समूह जुड़ा होता है। उसे संयुग्मित प्रोटीन कहते है।

प्रोस्थेटिक समूह के आधार पर प्रोटीन का वर्गीकरण

(i) **लिपोप्रोटीन–** इन प्रोटीन में लिपिड प्रॉस्थेटिक समूह के रुप में पाया जाता है।

उदाहरण– प्रोटीन झिल्ली में पाया जाने वाला प्रोटीन।

(ii) **क्रोमोप्रोटीन–** इनमें वर्णक प्रॉस्थेटिक समूह के रुप में पाया जाता है।

उदाहरण– हीमोग्लोबीन, क्लोरोफिल प्रोटीन।

(iii) **मैटेलो प्रोटीन–** इनमें धातु के रुप में प्रॉस्थेटिक समूह पाया जाता है।

उदाहरण– आर्जीनज में मैगनीज या मैग्नीशियम पाया जाता है।

(iv) **ग्लाइकोप्रोटीन–** इन प्रोटीन्स में प्रॉस्थेटिक समूह रुप में कार्बोहाइड्रेट पायी जाती है।

उदाहरण– प्लाज्मा झिल्ली की कुछ प्रोटीन्स।

(v) **न्यूक्लियोप्रोटीन–** इनमें प्रॉस्थेटिक समूह न्यूक्लिक अम्ल होते है।

उदाहरण– न्यूकिलयोहिस्टोन।

(vi) **फॉस्फोप्रोटीन–** इन प्रोटीन्स में प्रोस्थेटिक समूह के रुप में फॉस्फेट समूह पाया जाता है।

उदाहरण– केसीन।

(vii) **म्यूकोप्रोटीन–** इन प्रोटीन्स में प्रॉस्थेटिक समूह के रुप कार्बोहाइड्रेट की अधिक मात्रा पायी जाती है।

उदाहरण– अस्थियों के ऑस्ट्रिया म्यूकोप्रोटीन्स।

(स) **व्युत्पन्न प्रोटीन–** ये प्रोटीन्स सरल होती है। जो संयुग्मित जटिल प्रोटीन के आंशिक पाचन के फलस्वरुप बनती है। यह निम्न दो प्रकार की होती है–

(i) **प्राथमिक व्युत्पन्न प्रोटीन–** ये प्रोटीन्स डिनेचुरेशन द्वारा बनती है। जिसका जल अपघटन नहीं होता है। इसकी संरचना में परिवर्तन नहीं होता है। जैसे– स्कंदित प्रोटीन।

(ii) **द्वितीयक व्युत्पन्न प्रोटीन–** ये सरल अथवा जटिल प्रोटीन के पाचन के फलस्वरुप बनती है। इसमे जल अपघटन होता है। जिसके कारण पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला बनती है।

उदाहरण– पेप्टोन्स (Peptones), पेप्टाइड (Peptide)।

2.7.4 प्रोटीन के कार्य (Functions of Proteins)

टिप्पणी

1. यह एन्जाइम प्रोटीन के रूप में उपापचयी क्रियाओं का नियमन करती है।
2. शरीर की वृद्धि एवं मरम्मत में संरचनात्मक प्रोटीन मद्द करती है।
3. अमीनो अम्ल की पॉलीपेप्टाइड श्रृखंला से अनेको हार्मोन जैसे इन्सुलिन थायरॉक्सिन का निर्माण होता है।
4. एक्टिन तथा मायोसिन पेशी प्रोटीन की बनी होती है।
5. एन्टीबॉडी के निर्माण में प्रोटीन सहायता करती है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

5. लिपोप्रोटीन उपस्थित होता है।

   (अ) कोशिका झिल्ली (ब) कोशिका द्रव

   (स) कोशिका भित्ति में (द) इनमें से कोई नहीं

2.8 नाइट्रोजन स्थिरीकरण (Nitrogen Fixation)

प्रस्तावना

वायुमण्डल में नाइट्रोजन की मात्रा 78 प्रतिशत पायी जाती है। परन्तु अत्याधिक नाइट्रोजन पौधों के द्वारा ग्रहण नहीं की जाती है।

वातावरण में उपस्थित नाइट्रोजन को पौधों के द्वारा गैसीय रूप में ग्रहण करना संभव नही होता है। अतः मिट्टी में उपस्थित सूक्ष्म जीवों के द्वारा यह नाइट्रोजन परिवर्तित कर दी जाती है।

नाइट्रोजन स्थिरीकरण एक प्राकृतिक प्रक्रिया होती है।

अर्थात मिट्टी में उपस्थित सूक्ष्म जीवो के द्वारा वायुमण्डलीय नाइट्रोजन का मिट्टी में स्थिरीकरण करना नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहलाता है।

परिभाषा– ''वायुमण्डल में उपस्थित या मुक्त नाइट्रोजन गैस को मिट्टी में उपस्थित सूक्ष्म जीवों के द्वारा नाइट्रोजन के यौगिको के रूप में परिवर्तित करने की प्रक्रिया को नाइट्रोजन स्थिरीकरण कहते है''–

1. वायुमण्डलीय नाइट्रोजन अक्रिय अवस्था में पायी जाती है इस अक्रिय नाइट्रोजन को सक्रिय अवस्था में परिवर्तित करना अति आवश्यक होता हैं। क्योंकि नाइट्रोजन सक्रिय होने बाद ही यह अन्य पदार्थों के साथ क्रिया करते हैं। तथा यौगिक का निर्माण करते है।
2. पौधों के द्वारा नाइट्रोजन को नाइट्रेट (NO_3) तथा नाइट्राइट (NO_2) के रूप में ग्रहण करते है।

वायुमण्डलीय नाइट्रोजन गैस ⟶ नाइट्रोजन यौगिक (बदलने कि क्रिया)

↓

नाइट्रोजन स्थिरीकरण

नाइट्रोजन चक्र की प्रक्रिया मुख्यतः 5 चरणों में पूर्ण होती है–

1. नाइट्रोजन स्थिरीकरण (प्रथम चरण)
2. नाइट्रोजन स्वांगीकरण (द्वितीय चरण)
3. अमोनीकरण (तृतीय चरण)
4. नाइट्रीकरण (चतुर्थ चरण)
5. विनाइट्रीकरण (पंचम चरण)

1. नाइट्रोजन स्थिरीकरण (प्रथम चरण)

वायुमण्डल में उपस्थित नाइट्रोजन सर्वप्रथम सरल यौगिकों मे बदलती है तथा नाइट्रोजन के सरल यौगिक जीवों में पाए जाने वाले कार्बनिक यौगिकों के अवयव का निर्माण करते है।

कार्बनिक यौगिक के अवयव– हाइड्रोजन, अमीनो अम्ल, एन्जाइम, नाइट्रोजनी क्षार आदि।

नाइट्रोजन स्थिरीकरण कुछ विशिष्ट जीवाणुओं तथा नीले हरे शैवालों में पायी जाती है। जैविक व अजैविक कारक नाइट्रोजन स्थिरीकरण की प्रक्रिया में मुख्य भूमिका निभाते है–

(a) अजैविक कारक– जब बरसात के मौसम मे बिजली चमकती है तब वायुमण्डल मे उपस्थित नाइट्रोजन ऑक्सीजन के साथ संयोग कर नाइट्रिक ऑक्साइड का निर्माण करती है। यह नाइट्रिक ऑक्साइड अधिकता में ऑक्सीजन के साथ क्रिया करके नाइट्रोजन परऑक्साइड (NO_2) का निर्माण करती है। यह नाइट्रोजन परऑक्साइड ऑक्सीजन एवं वर्षा के जल के साथ संयोग कर नाइट्रिक अम्ल का निर्माण करता है।

$$N_2 + O_2 \xrightarrow[\text{and Thunder}]{\text{Electric Discharge}} \underset{\text{(Nitric acid)}}{2NO}$$

$$2NO + O_2 \xrightarrow{\text{Oxidation}} \underset{\text{(Nitrogen peroxide)}}{2NO}$$

$$4NO + 2N_2O + O_2 \longrightarrow \underset{\text{(Nitric acid)}}{4HNO3}$$

यह नाइट्रिक अम्ल जल के साथ नीचे आती है। तथा मिट्टी में उपस्थित अमोनिया, कॅल्शियम एवं पोटैशियम यौगिको के साथ क्रिया करके नाइट्रेट (NO_3)

टिप्पणी

तथा नाइट्राइट (NO_2) मे बदल जाता है। यह नाइट्रेट तथा नाइट्राइट पौधों की जड़ों द्वारा मृदा से ग्रहण कर ली जाती है।

$$2HNO_3 + CaO \longrightarrow Ca(NO_3)_2 + 4HNO3$$
(Nitric acid)

$$HNO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_3NO_3$$
(Ammonium nitrate)

$$HNO_3 + NH_3 \longrightarrow NH_4NO_2$$
(Ammonium nitrate)

$$N_2 \xrightarrow{O_2} NO \xrightarrow{O_2} NO_2 \xrightarrow{H_2O} HNO_3 \xrightarrow{NH_3} NH_4NO_3$$

ज्वालामुखी के फटने से, तथा वनों में आग लगने से वायुमण्डल में नाइट्रोजन मुक्त होती है। यह मुक्त नाइट्रोजन हाइड्रोजन के साथ संयोग कर अपचयित हो जाती है। जिसके फलस्वरूप यह नाइट्रोजन अमोनियम में परिवर्तित हो जाता है। यह अमोनियम बारिश के जल के साथ मिलकर मिट्टी में पहुँच जाता है।

(b) जैविक कारक (Biological Factors)– नीले–हरे शैवालों में नाइट्रोजन स्थिरीकरण की क्षमता पायी जाती है। सर्वप्रथम ये जीवाणु और शैवाल वायुमण्डल में पायी जाने वाली नाइट्रोजन गैस को अपने प्रोटोप्लाज्म में लेकर उसे कार्बनिक नाइट्रोजन में परिवर्तित करते है–

(i) नीले–हरे शैवाल (Blue green Algae)– कुछ शैवालों जैसे एनाबीना, जियोट्रिकिया, नॉ–स्टॉक।

(ii) जीवाणु– कुछ जीवाणु वायुमण्डल में उपस्थित नाइट्रोजन का उपयोग सीधे नहीं कर पाते है। अतः यह ऐसे पौधे जो लेग्युमिनेसी कुल के अंतर्गत आते है (उदाहरण– मटर, गेंदा आदि) इन पौधों की जडों की सहायता से यह जीवाणु नाइट्रोजन स्थिर करते है। तथा उन पौधों की जड़ो में पायी जाने वाली गॉठो को बनाने में मदद करता है।

$$N_2 + 6e^- + 8H^+ + \sim 15ATP \rightarrow 2NH_4^+ \sim 15ADP + \sim 15$$

यहाँ – $N_2 =$ वायुमण्डलीय नाइट्रोजन

$e^- =$ इलेक्ट्रॉन

यह इलेक्ट्रॉन अपचयित होकर फेरीडॉक्सिन के द्वारा पाए जाते है। इस इलेक्ट्रॉन को नाइट्रोजिनेज के द्वारा प्राप्त कर लिया जाता हैं। जहाँ यह अपचयित हो जाता है। जिसके फलस्वरुप यह इलेक्ट्रॉन नाइट्रोजन को दे दिया जाता है। जहाँ यह स्वयं ऑक्सीकृत होता है। इलेक्ट्रान के स्थानांतरण के द्वारा नाइट्रोजन अमोनियम आयन अपचयित होता तथा इसके पश्चात् इसका स्वांगीकरण होता हैं।

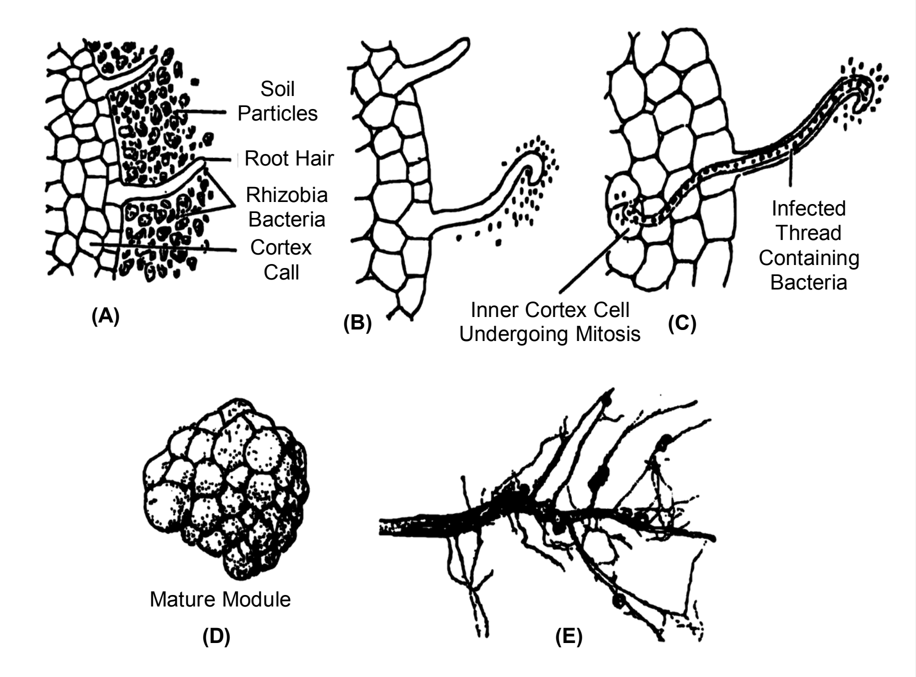
टिप्पणी

2. नाइट्रोजन स्वांगीकरण (द्वितीय चरण)

इसमें पौधों के द्वारा स्थरीकृत नाइट्रोजन को प्राप्त किया जाता है। तथा उसका नाइट्रेट एवं अमोनियम के रुप में स्वांगीकरण किया जाता है। इसमें पाए जाने वाले नाइट्रीफांइग जीवाणु के द्वारा अमोनियम आयन को नाइट्रेट आयनो में आसानी से ऑक्सीकृत कर दिया जाता हैं। पौधों में यह स्वांगीकरण की प्रक्रिया पौधो की जड़ तथा तने में होती है जो भिन्न होता हैं। इस स्वांगीकृत नाइट्रेट आयन को पौधो के द्वारा एमाइड्स तथा अमीनो अम्लो में बदल दिया जाता हैं। अमोनियम आयन की कुछ मात्रा वायुमण्डल में अमोनिया के रुप में वाष्प के रूप में वाष्पित हो जाती हैं।

3. अमोनीकरण (तृतीय चरण)

नाइट्रोजन के द्वारा बने नाइट्रोजनी कार्बनिक पदार्थों का अमोनियम के रुप में परिवर्तन होता हैं। इन कार्बनिक पदार्थों के अमोनियम में बदलने की प्रक्रिया को अमोनीकरण कहते हैं।



चित्र क्र. 2.27: (A) तथा (B) राइजोबियम जीवाणु संवेदनशील मूल रोम के सम्पर्क में आते ही विभाजित होकर मूल रोम को संक्रमित करते हैं जिसके कारण मूल रोम कुण्डलित हो जाता है।(C) संक्रमित धागें मे विभाजित होने वाले जीवाणु जीवाणुसम के रूप में रूपान्तरित हो जाते है। जीवाणुसम की उपस्थिति के कारण आन्तरिक वल्कुटी एवं परिरंभ कोशिकाएँ विभाजित होती है। (D) वल्कुटी तथा परिरंभ कोशिकाओं के विभाजन एवं वृध्दि के परिणामस्वरूप परिपक्व ग्रन्थिका का निर्माण होता है जिसमें संवहनीय ऊतक पाया जाता है जो मूल के संवहनीय ऊतक से अविच्छिन्न रहता है। (E) नाइट्रोजन स्थिरीकारक जीवाणुओं द्वारा निर्मित मूल ग्रन्थिकाओं से युक्त सोयाबीन के पौधे की जड़े।

टिप्पणी

4. नाइट्रीकरण (चतुर्थ चरण)

अमोनीकरण के द्वारा बने हुए अमोनियम आयन का नाइट्रेट (NO_3^-) में बदलने की प्रक्रिया को नाइट्रीकरण कहते हैं। नाइट्रीकरण की क्रिया निम्नलिखित चरणों में होती है–

- **प्रथम चरण–** यह नाइट्रीकरण का प्रथम चरण हैं। जिसमें जीवाणुओं के द्वारा अमोनियम आयन को नाइट्राइट में परिवर्तित किया जाता है।

  उदाहरण– नाइट्रोस्पाइरा, नाइट्रोमोनास आदि।

  $NH_4^+ \rightarrow NH_3$

  $NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2HNO_2 + 2H_2O + \text{Energy}$

- **द्वितीय चरण–** यह नाइट्रीकरण का द्वितीय चरण होता है। जिसके अंतर्गत नाइट्रोबेक्टर समूह के जीवाणुओं के द्वारा नाइट्राइट को नाइट्रेट में बदल दिया जाता हैं।

  उदाहरण– स्ट्रेप्टोमाइसीज आदि।

  $2HNO_2 + O_2 \rightarrow 2HNO_3 + \text{Energy (20 K. cal.)}$

5. विनाइट्रीकरण (पंचम चरण)

जीवाणु के द्वारा कार्बनिक नाइट्रोजन तथा अकार्बनिक नाइट्रोजन का वायुमण्डल में पुनःचक्रण होने की क्रिया को विनाइट्रीकरण कहते हैं। इसके द्वारा वायुमण्डल में नाइट्रोजन गैस की कमी नही होती हैं।

उदाहरण– बैक्टीरिया डिनाइट्रीफिकैन्स जीवाणु, माइक्रोकोकस डिनाइट्री-फिकैन्स जीवाणु आदि।

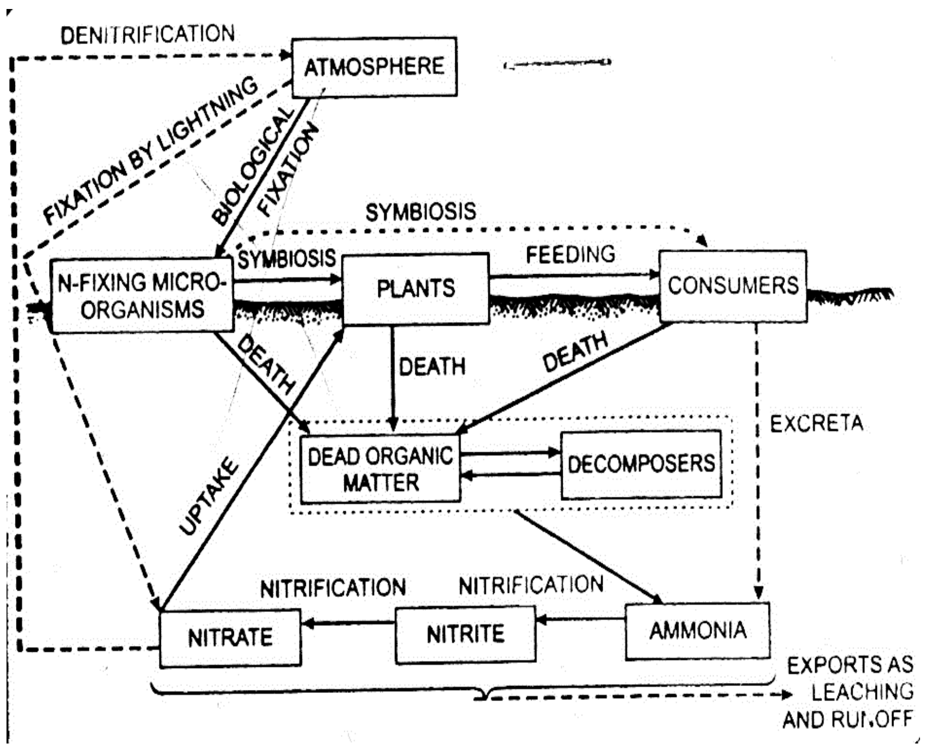
हरे पौधो, जीवाणुओं के द्वारा वातावरण में होने वाली नाइट्रोजन चक्र को निम्न प्रकार से होता हैं।

पुनः चक्रीकरण

→ वायुमण्डल में उपस्थित नाइट्रोजन गैस
↓
नाइट्रोजन स्थरीकरण
↓
स्वांगीकरण
↓
अमोनीकरण
↓
नाइट्रीकरण
↓
विनाइट्रीकरण

नाइट्रोजन चक्र

टिप्पणी



चित्र क्र. 2.28: नाइट्रोजन चक्र

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

6. वायुमण्डल में पायी जाने वाली नाइट्रोजन की मात्रा होती है।
   (अ) 60% (ब) 40%
   (स) 78% (द) 87%
7. माइक्रोकोकस नामक जीवाणु करता है।
   (अ) नाइट्रीकरण (ब) अमोनीकरण
   (स) विनाइट्रीकरण (द) स्वांगीकरण

2.9 नाइट्रोजन एवं वसा उपापचय (Nitrogen and Lipid Metabolism)

वसा का निर्माण कार्बन हाइड्रोजन व ऑक्सीजन के संयोग होने से होता है। वसा में ऑक्सीजन की मात्रा का अनुपात कम तथा ऊर्जा अधिक मात्रा में पायी जाती है। वसाओं में ऊर्जा संचित रुप में पायी जाती है। वसा जल में अघुलनशील होती है। तथा शुद्ध विलायकों में घुलनशील होती है।

उदाहरण– ईथर, ऐसीटोन आदि पौधों में वसा बीजों में, फलों में एवं सूखे मेवों में पायी जाती है।

वसा की संरचना– वसा वसीय अम्लो के ट्राइग्लिसराइड के एस्टर होते है। जिनका निर्माण ग्लिसरॉल के अणु तथा वसीय अम्लो के तीन अणुओं के संघटित होने से होता है। कार्बन की संख्या प्राकृतिक वसाओं में सम (Even) होती है।

$$\begin{array}{llll} H_2-C-OH & HOOC.C_{15}H_{31} & H_2COOC.\ C_{15}H_{31} & \\ \quad\ | & & & \\ H-C-OH \ + & HOOC.C_{15}H_{31} \rightleftharpoons & HC.OOC.C_{15}H_{31} \ + & 3H_2O \\ \quad\ | & & & \\ H_2-C-OH & HOOC.C_{15}H_{31} & H_2C.OOC.C_{15}H_{31} & \downarrow \end{array}$$

Glycerol	*Palmitic Acid*	*Tripalmitin*	*Water*
1 *moles*	3 *moles*	1 *mole*	3*moles*

वसा का वर्गीकरण– रासायनिक संघटन के अनुसार वसा मुख्यतः 3 प्रकार के होते है।

- सरल वसा (Simple Lipid)
- संयुक्त वसा (Conjugated Lipid)
- व्युत्पन्न वसा (Derived Lipid)

वसीय अम्ल– यह लम्बी श्रृंखला वाले होते है। अर्थात हाइड्रोकार्बन अणुकी बनी हुई लम्बी श्रृंखला होती है। जिसमें एक सिरे पर कार्बोन्सिल (-COOH) समूह पाया जाता हैं। वसीय अम्लो में पाए जाने वाले हाइड्रोकार्बन की लम्बाई में लगभग 4–24 कार्बन परमाणु पाए जाते है।

वसीय अम्ल दो प्रकार के होते है–

- असंतृप्त वसीय अम्ल (Unsaturated fatty acid)
- संतृप्त वसीय अम्ल (Saturated fatty acid)

(A) असंतृप्त वसीय अम्ल– असंतृप्त वसीय अम्ल में कार्बन श्रृंखला से जुडे हाइड्रोजन परमाणुओं की संख्या अधिकतम जुड सकने वाले हाइड्रोजन परमाणुओं से कम होती है। इन हाइड्रोजन परमाणु की कमी को पूरा करने के लिए कार्बन परमाणु द्विबंध बनाते है। जैसे– Acetic acid

CH_3COOH (2 कार्बन परमाणु)

कुछ वसीय अम्लों में दो या दो से अधिक द्विबंध पाए जाते है। यह वसीय अम्ल पॉली अनसैंचुरैटिड (Poly unsaturated fatty Acid) (PUFA) वसीय अम्ल कहलाते है।

उदाहरण– नाम– पामिटिक अम्ल

$CH_3(CH_2)_{14} \cdot COOH$

कार्बन श्रृंखला की लम्बाई $= 16$

द्विबंध स्थान = 9–10

स्रोत– मख्खन, तेल

(B) संतृप्त वसीय अम्ल– प्रत्येक कार्बन परमाणु पर अधिकतम 2 हाइड्रोजन परमाणु जुड़े रहते है। प्रत्येक प्रथम कार्बन में मिथाइल ग्रुप CH_3 तथा अंतिम कार्बन परमाणु पर कार्बोक्सिल ग्रुप COOH जुड़े रहते है। जैसे–

CH_3CH_2COOH

उदाहरण– 1 नाम– ब्यूटाइरिक अम्ल

सूत्र $CH_3 - CH_2\,CH_2 - COO4$

कार्बन श्रृंखला की लम्बाई –4

स्रोत मक्खन

β–ऑक्सीकरण (*β–Oxidation*)

सर्वप्रथम एफ. नूप (1904) ने बीटा–ऑक्सीकरण का अध्ययन किया। नूप के अनुसार बीटा ऑक्सीकरण के दौरान वसीय अम्लों में से एक समय में 2 कार्बन हटाये जाते है। β–ऑक्सीकरण निम्न चरणों में संपन्न होती है–

1. माइटोकॉण्ड्रिया की बाह्य सतह पर थायोकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में वसीय अम्ल सक्रिय होकर कोएन्जाइम ए तथा $A + P$ से क्रिया कर इसके व्युत्पन्न का निर्माण करते है।

$$Fatty\ acid + CO\ enzyme\ A + A + P \longrightarrow Fatty\ acyl\ CoA + AMP + Pi$$

2. द्वितीय चरण में अल्फा तथा बीटा $\alpha\ \&\ \beta$ कार्बन परमाणु के बीच 2H परमाणु हटाये जाते है। वसीय कोएन्जाइम A, ट्रांस, α, β असंतृप्त वसीय एसाइल कोएन्जाइम, में परिवर्तित हो जाता है। यह क्रिया को एन्जाइम ए डिहाइड्रोजिनेज की उपस्थिति में होती है।

$$Fatty\ acyl\ Co \cdot A\ FAD \rightleftharpoons Trans \propto -\beta, unsaturated\ fatty\ acyl\ Co \cdot A + FADH_2$$

3. तृतीय चरण में जल का एक अणु ट्रांस $\alpha - \beta$ असंतृप्त वसीय एसाइल कोएन्जाइम A से संयुक्त होकर द्विबंध द्वारा β हाइड्रॉक्सी एसाइल कोएन्जाइम A में परिवर्तित हो जाता है। यह क्रिया हाइड्रेटेज विकर की उपस्थिति में संपन्न होती है।

$$Trans - \beta\ unsaturated\ \ fatty\ acyl\ Co \cdot A + H_2O \xrightarrow{Hydratase} \beta - hydroxy\ acyl\ Co \cdot A$$

टिप्पणी

4. अगले चरण में β– हाइडॉक्सी एसाइल कोएन्जाइम A का विहाइड्रोजनीकरण हो जाता है। परिणामस्वरूप β कीटो व सीय एसाइल कोएन्जाइम A का निर्माण होता है। NAD अवकृत होता है। यह क्रिया डिहाइड्रोजि-नेज एन्जाइम के उत्प्रेरण द्वारा संपन्न होती है। इस क्रिया में β कार्बन परमाणु अब कार्बोनिल की तरह कार्य करता है।

$$\beta\ hydroxy\ acyl\ Co \cdot A + NAD^+ \rightleftharpoons \beta - Ketto\ fatty\ acyl\ Co \cdot A + NADH + H^+$$

5. अन्त में थायोक्लास्टिक क्लीवेज द्वारा β–*Keto* वसीय एसाइल कोएन्जाइम A, एसीटाइल कोएन्जाइम A का एक अणु विमुक्त करता है। यह क्रिया एन्जाइम β– कीटो एसाइल थायोनेज की उपस्थिति में संपन्न होती है। जिससे वसीय एसाइल कोएन्जाइम, का एक अणु निर्मित होता है।

$$\beta - Keto\ \ fatty\ acyl\ Co \cdot A + Coenzyme \cdot A \rightleftharpoons Fatty\ acyl\ Co \cdot A + Acetyl\ Co \cdot A$$

इस क्रिया द्वारा उत्पन्न वसीय एसाइल $Co \cdot A$ में 2 कार्बन परमाणु कम होते है।

उदाहरण– पामिटेट के एक अणु के पूर्ण ऑक्सीकरण से एसीटाइल $Co \cdot A$ के 8 अणु बनते है।

$$Palmitate + ATP + 7\,NAD + 7\,FAD + 7\,H_2O + 8\,CO \cdot A \cdot S \cdot H \rightarrow 8\ Acetyl\ Co \cdot A + AMP + PPi\ + 7\,NADH + 7\,H^+ + 7\,FADH_2$$

β ऑक्सीकरण द्वारा निष्कासित एसीटाइल कोएन्जाइम, के अणु क्रेब्स चक्र में प्रवेश कर कार्बन डाइऑक्साइड़ तथा जल में पूर्ण ऑक्सीकृत हो जाते है। जिससे ऊर्जा प्राप्त होती है।

2.9.1 वसीय अम्ल संश्लेषण (Fatty Acid Synthesis)

इसे लिपिजिनेसिस भी कहा जाता है। उदाहरण– वसीय अम्ल – Stearic Acid (स्टीयरिक अम्ल) कोशिका के सायटोसोल में वसीय अम्ल के संश्लेषण की प्रक्रिया पायी जाती है। वसीय अम्ल संश्लेषण में मुख्य तीन अवस्थाएँ पायी जाती है–

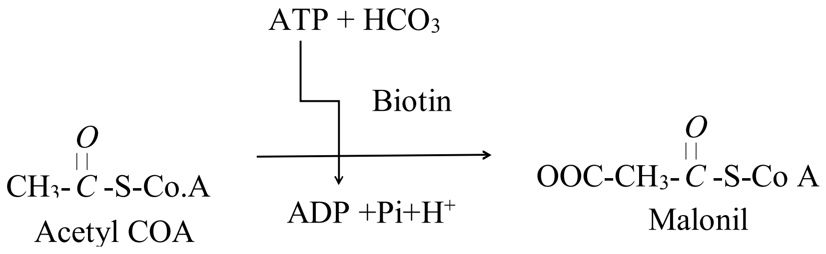
(I) प्रथम अवस्था– इस अवस्था में एसीटिल कोएन्जाइम का स्थानांतरण माइटोकॉण्ड्रिया से सायटोसोल में होता है।

माइटोकॉण्ड्रिया से यह एसीटिल कोएन्जाइम सिट्रिक अम्ल के द्वारा सायटोसोल में जाता है। यह सिट्रिक अम्ल क्रेब्स चक्र के द्वारा प्राप्त होता है। यह सिट्रेट माइटोकाण्ड्रियान से निकलकर सायटोसोल में पहुँचता है। जहाँ पर इसका क्लीवेज हो जाता है। क्लीवेज होने से यह पुनः ऑक्जेलोऐसीटेट तथा एसीटिल कोलीन में टूट जाता है। जिसके फलस्वरुप ऐसीटिन Co-A सायटोसोल में प्रवेश कर जाता है। यह एक शटल की तरह कार्य करता है। जिसे शटल सिट्रेट कहते हैं। यह पूरी प्रक्रिया ATP सिट्रेलाइजेज की उपस्थिती में होती है। यह

ऑक्जेलोऐसीटेट मैलेट डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में मैलेट में परिवर्तित हो जाता है। यहाँ मैलिक एन्जाइम की उपस्थिति में यह पायरूवेट में परिवर्तित हो जाता है। यह प्रक्रिया सायटोसोल के अंदर ही होती है। तथा यह पायरूवेट सायटोसोल से निकल कर माइटोकॉण्ड्रियाँ में चला जाता है।

यह पायरूवेट, पायरूवेट कार्बोक्सिलेज एन्जाइम की उपस्थिति में ऑक्जेलोऐसीटेट में परिवर्तित हो जाता है। ऑक्जेलोऐसीटेट ऐसीटिल CO-A के साथ क्रिया करके सिट्रेट सिन्थेटेज एन्जाइम की उपस्थिति में पुनः सिट्रेट बनाता है।

(II) द्वितीय अवस्था– एसीटिल को एन्जाइम का सक्रियण एवं मैलोनिल कोएन्जाइम का बनना।

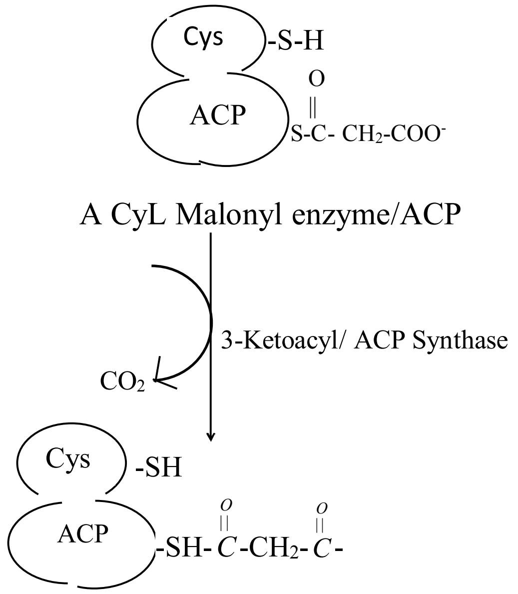


माइट्रोकॉण्ड्रिया की मेम्ब्रेन अर्द्ध पारगम्य झिल्ली होती है जो सभी प्रकार के अणुओं के लिए पारगम्य नहीं होती है यह केवल सिट्रेट के लिए पारगम्य है। जो थायोनिल ग्रुप में कोएन्जाइम से जुड़ा हुआ है। जिसका परिवर्तन मैलोनिन कोएन्जाइम A में होता है। जहाँ बायोटिन एक को–फैक्टर की तरह कार्य करता है। यह प्रक्रिया कार्बोनिक अम्ल तथा ATP की उपस्थिति में होती है।

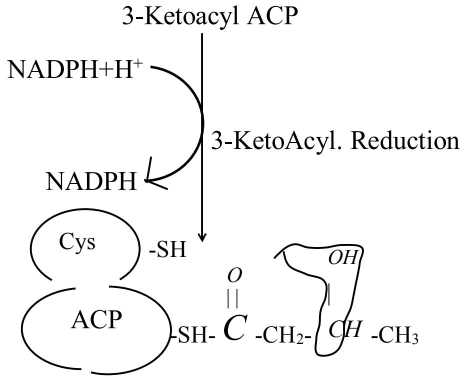
(III) तृतीय अवस्था– इसमें मुख्य चार उप अवस्थाएँ पायी जाती है–

1. संघनन
2. रिडक्शन–I
3. निर्जलीकरण
4. रिडक्शन II

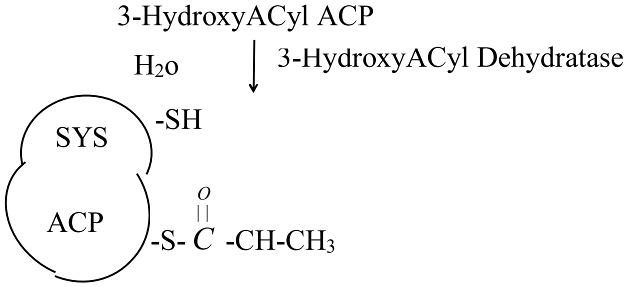
1. Condensation



2. Reduction-I

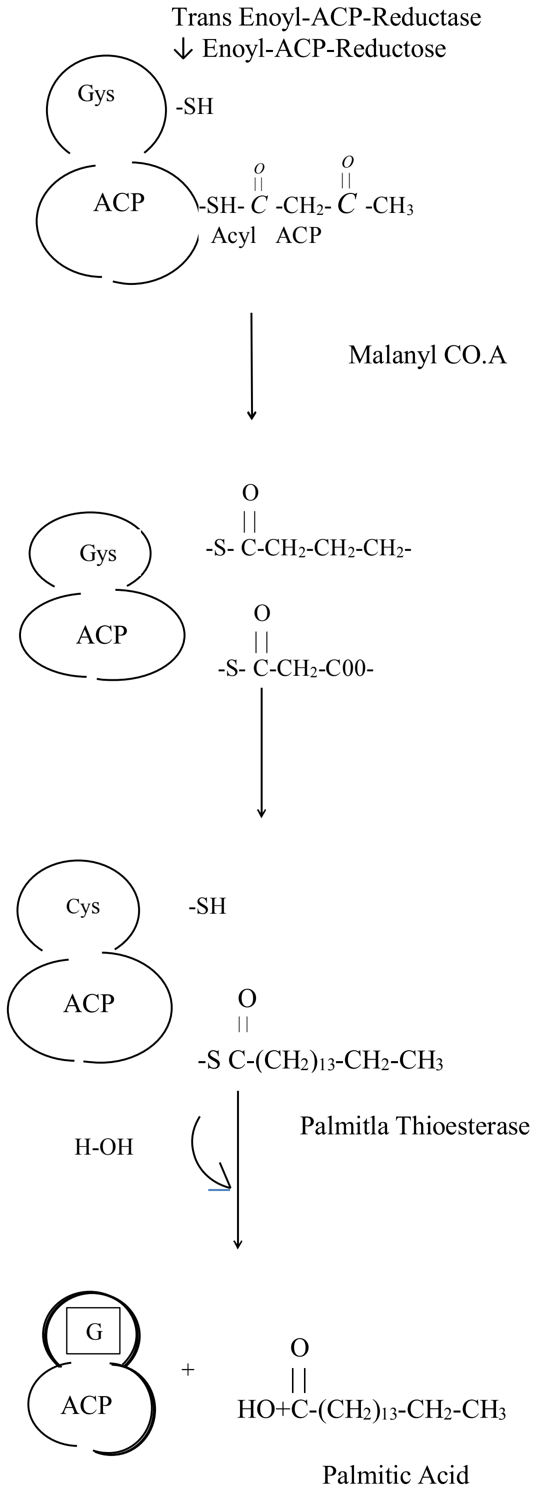


3. Dehydration



टिप्पणी

4. Reduction-II



टिप्पणी

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

8. बीटा ऑक्सिकरण होता है।
   (अ) सायटोप्लाज्म में (ब) केन्द्रक में
   (स) कोशिका में (द) माइटोकॉण्ड्रिया में
9. एसीटिल को एन्जाइम किसके सक्रियण के द्वारा बनता है।
   (अ) एसीटेट (ब) मॅलेट
   (स) मैलोनिल को एन्जाइम (द) इनमें से कोई नहीं

2.10 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर (Answer to Check Your Progress)

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

2.11 सारांश (Summary)

प्रस्तुत इकाई में छात्रों ने पौधों के जीवन काल में उपयोगी खनिज लवणों की आवश्यकता उनके स्रोत एवं उनकी कमी से होने वाली विकृतियों के बारे में अध्ययन किया। दीर्घ एवं लघु पोषक तत्वों के बिना पौधे में कई प्रकार की बीमारियाँ हो जाती है। इनकी अधिकता भी हानिकारक हो सकती है। इसका अध्ययन इस इकाई के अंतर्गत किया गया। जबकि अणुओं की संरचना एवं महत्व पर भी प्रकाश डाला गया। अतः छात्र छात्रायें इसके अध्यापन से लाभांन्वित होंगे।

2.12 मुख्य शब्दावली (Key Terminology)

टिप्पणी

- **खनिज पोषण**: पौधों द्वारा खनिज तत्वों का अवशोषण।
- **हाइड्रोपोनिक्स**: जल की खेती।
- **ट्रांसलोकेशन**: फ्लोएम द्वारा कार्बनिक विलेय पदार्थों का स्थानान्तरण।
- **कार्बोहाइड्रेट**: शर्करायें।
- **लिपिड**: वसीय अम्ल।
- **प्रोटीन**: अमीनो अम्लों से निर्मित जटिल कार्बनिक पदार्थ।

2.13 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास (Self Assessment Questions and Exercises)

लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. वायुमण्डल में पायी जाने वाली नाइट्रोजन गैस के चक्रीकरण को समझाइए?
2. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
   (i) अमोनीकरण
   (ii) विनाइट्रीकरण
3. नाइट्रोजन चक्र में जैविक कारको के महत्व को समझाइए?
4. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए—
   (i) वसीय अम्लों का बीटा ऑक्सीकरण
   (ii) असंतृप्त वसीय अम्ल तथा संतृप्त वसीय अम्ल
5. एसीटिल को एन्जाइम के सक्रियण पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।
6. पौधों में खनिज तत्वों के मुख्य कार्य लिखिए।
7. निष्क्रिय अवशोषण को समझाइये।
8. हाइड्रोपोनिक्स पर टिप्पणी लिखे।
9. सरल प्रोटीन की संरचना समझाइये।

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Type Questions)

1. कार्बोहाइड्रेटस के वर्गीकरण पर निबंध लिखिए।
2. पौधों में दीर्घ पोषक तत्वों की आवश्यकता पर प्रकाश डालिए।
3. सक्रीय अवशोषण के सिद्धान्तों की व्याख्या किजिये।
4. अमीनो अम्लों की संरचना एवं कार्यों का वर्णन किजिये।

5. नाइट्रोजन चक्र को सचित्र समझाइए?
6. नाइट्रोजन स्थिरीकरण पर निबंध लिखिए?

7. लिपिड की संरचना एवं β ऑक्सीडेशन को समझाइये।

2.14 सहायक पाठ्य सामग्री (Suggested Readings)

1. Thisbek Lindhorst– Essentials of Carbohydrate Chemistry and Biochemistry 3rd wiley Publication 2000.
2. N. Armugam– Biomolecules ISBN 9789384826871 Saras Publication.
3. Fundamental of Biochemistry, 6th ed. Dr. J.L Jain Dr. Sanjay Jain Nitin Jain S. Chand Publication.
4. College Botany vol. 4 ed. 2016 (Plant Physiology and Molecular Biology) S. Sudar Rajan Himalaya Pub. House.
5. R.P. Unified Botany– डॉ. निरंजन श्रोत्रिय, डॉ. अर्चना श्रोत्रिय डॉ. अजय भारद्वाज ISBN 9+8-93-80560-34-2.
6. यूनिफाइड वनस्पति विज्ञान– डॉ. एस.बी. अग्रवाल ISBN- 978-93-84779-22, प्रकाशक शिवलाल अग्रवाल एण्ड कम्पनी।

इकाई 3 प्रकाश संश्लेषण (Photosynthesis)

टिप्पणी

संरचना (Structure)

3.0 परिचय
3.1 उद्देश्य
3.2 ऐतिहासिक पृष्ठभूमि
3.3 महत्व
3.4 प्रकाश संश्लेषी वर्णक
3.5 दो प्रकाश तंत्र अथवा वर्णक तंत्र की अवधारणा
3.6 इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण तथा प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण
3.7 केल्विन चक्र
3.8 हैच–स्लैक चक्र / C_4 पौधों में कार्बन अपचयन
3.9 CAM चक्र
3.10 ब्लैकमैन का सीमाकारक सिद्धान्त
3.11 प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक
3.12 प्रकाशीय श्वसन अथवा C_2 अथवा ग्लाइकोलेट चक्र
3.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
3.14 सारांश
3.15 मुख्य शब्दावली
3.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
3.17 सहायक पाठ्य सामग्री

3.0 परिचय (Introduction)

सभी जानवरों मनुष्यों को भोजन की आवश्यकता होती है और हमें भोजन पौधों से मिलता है जैसे– फल, पत्तियाँ, सब्जी आदि। पौधों को खाद्य उत्पादक भी कहा जाता है। इसी प्रकार पौधों को भी भोजन की आवश्यकता होती है जो उन्हें ऊर्जा प्रदान करे। यह ऊर्जा पौधों को–

- बढ़ने के लिये।
- फूल, फल, बीज के लिये।
- नयी शाखा और पत्तियों के लिये।
- अपने खराब अंगों को दुरुस्त करने के लिये आवश्यक होती है।

परिभाषा– ''जब हरे पौधों की पत्तियाँ सूर्य के प्रकाश एवं क्लोरोफिल की उपस्थिति में जल एवं CO_2 के साथ अभिक्रिया कर भोज्य पदार्थ का निर्माण करते हैं अथवा ग्लूकोज का निर्माण करते हैं तो इस प्रक्रिया को 'प्रकाश संश्लेषण' कहते हैं।''

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[Chl.]{Sunlight} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O$$

3.1 उद्देश्य (Objectives)

सजीवों को धरती पर स्वयं को जीवित रखने के लिए भोज्य पदार्थों की आवश्यकता होती है। उसी प्रकार पौधों को भी भोज्य पदार्थों की आवश्यकता होती है। पौधे यह भोजन स्वयं प्रकाश संश्लेषण द्वारा बनाते हैं–

- इस इकाई को पढ़ने के बाद आपको प्रकाश संश्लेषण के द्वारा पौधों में भोज्य पदार्थों का निर्माण की जानकारी प्राप्त हो सकेगी।
- प्रकाश संश्लेषण में उपयोग होने वाले तथ्यों एवं वर्णकों की जानकारी ज्ञात होगी।
- इस इकाई के माध्यम से आपको प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण, केल्विन चक्र, हैच–स्लैक चक्र के बारे में जानकारी ज्ञात हो सकेगी।
- इस इकाई के द्वारा आपको C_3 पौधे C_4 पौधे की जानकारी कें साथ CAM चक्र तथा CAM चक्र को प्रभावित करने वाले कारकों की जानकारी ज्ञात हो सकेंगी।

3.2 ऐतिहासिक पृष्ठभूमि (Historical Aspects)

सबसे पहले अरस्तू नामक वैज्ञानिक ने बताया कि पौधे अपना पोषण जड़ों द्वारा अवशोषित करते हैं।

जॉन इनजेन हाउस (Jan Ingen House, 1779)– इन्होंने सबसे पहले बताया था कि पादपों के पास कुछ हरे भाग होते हैं जिससे वह प्रकाश की उपस्थिति में प्रकाश संश्लेषण कर सकते हैं। उन्होंने उस हरे भाग का नाम नहीं बताया था जिसे Chlorophyll कहते हैं।

वॉन नील (Van Niell 1941)– के अनुसार प्रकाश संश्लेषण के दौरान जो ऑक्सीजन (O_2) गैस निकलती है वह जल के अपघटन से होता है। वॉन नील ने अपना प्रयोग यूबैक्टीरिया में किया इसमें इन्होंने देखा कि यूबैक्टीरिया एवं नील हरित शैवाल दोनों में ही प्रकाश संश्लेषण होता है पर यूबैक्टीरिया O_2 का उत्पादन नहीं करते वो S का उत्पादन करते है क्योंकि यूबैक्टिरिया CO_2 के साथ H_2S गैस का उपयोग करते हैं। उनका उत्पाद ग्लूकोज ही होता है परन्तु इसमें ऑक्सीजन गैस नहीं मिलती इसके स्थान पर S गैस मिलती है।

$$Eubacteria - 6CO_2 + 12H_2S \longrightarrow \underset{\text{ग्लूकोज}}{C_6H_{12}O_6} + 12S_2 + 6H_2O$$

$$Blue\ Green\ Algae - 6CO_2 + 12H_2O \longrightarrow \underset{\text{ग्लूकोज}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2 + 6H_2O$$

जबकि नील हरित शैवाल में CO_2 के साथ H_2O अभिकृत होता है इसके उत्पाद में हमें ग्लूकोज के साथ O_2 भी मिलती है।

इससे सिद्ध होता है कि O_2 का निष्कासन जल के अपघटन से होता है।

टिप्पणी

रुबिन, रेण्डाल, कामिन तथा हायडे (Ruben, Randall, Kamen and Hyde 1941)– ने बताया कि प्रकाश संश्लेषण में निकलने वाली गैस जल के अपघटन से O_2 मुक्त होती है। इसके लिये इन्होंने समस्थानिकों का प्रयोग किया।

CO_2 में O_2^{16} समस्थानिक ($^{16}O_2$) का प्रयोग किया।

H_2O में O_2^{18} समस्थानिक ($^{18}O_2$) का उपयोग किया गया।

अगर O_2 उत्पाद के रुप में H_2O से मिलती है तो वहाँ पर हमें समस्थानिक $^{18}O_2$ मिलेगी और यदि वह O_2 उत्पाद के रुप में CO_2 से मिलती है तो समस्थानिक $^{16}O_2$ मिलेगा।

$$6CO_2 + 12H_2O \longrightarrow C_6H_{12}O_2^{16} + 6O_2^{18} + 6H_2O$$

इस अभिक्रिया में उत्पाद में हमें O_2^{18} समस्थानिक के रुप में दिखाई दी जिससे उन्होंने सिध्द कर दिया कि O_2 जल के अपघटन से ही प्राप्त होती है।

Robert Hill 1937– इन्होंने बताया कि बिना हिल Reagent के प्रकाश संश्लेषण संभव नहीं होता है।

इन्होंने स्टील क्षेत्र के Chloroplast प्रयोग किया। इसके लिये इन्होंने एक बीकर (A) में जल लिया और स्टील क्षेत्र का Chloroplast लिया तथा उसमें प्रकाश प्रवाहित किया तब उन्होंने देखा इससे O_2 हमें मिलती है क्योंकि उन्होंने उसमे हिल अभिकर्मक डाला था परन्तु दूसरे बीकर (B) में उन्होंने हिल अभिकर्मक नहीं डाला था तो O_2 प्राप्त नहीं हुई।

इस पर उन्होंने बताया कि हिल reagent e^- ग्राही का कार्य करता है अर्थात प्रकाश से जो e^- मिलते हैं हिल अभिकर्मक उन्हें ग्रहण करते हैं। इसलिये प्रकाश संश्लेषण में O_2 के उत्पादन के लिये हिल अभिकर्मक की उपस्थिति अनिवार्य है। जैसे– DCPIP (डाइक्लोरोफिनाइल, इण्डोफिनॉल), मिथाइलीन ब्लू, बेजोफिनॉन, फैरीसायनाइड एवं $NADP^+$।

Englemann– इन्होंने बताया कि action spectrum में प्रकाश संश्लेषण की दर लाल प्रकाश में सबसे ज्यादा होती है उसके बाद नीले प्रकाश में होती है।

3.3 महत्व (Importance)

प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया प्रकृति और मानव के लिये वरदान की तरह है इसके बिना जीवन की कल्पना करना असंभव है–

टिप्पणी

- प्रकाश संश्लेषण वह व्यवस्था है जिसमें सौर ऊर्जा (Solar Energy) रासायनिक ऊर्जा में बदल जाती है।
- भोज्य पदार्थ का उत्पादन प्रकाश संश्लेषण के माध्यम से ही होता है। जैसे– कार्बोहाइड्रेट, वसा आदि खाद्य पदार्थ प्रकाश संश्लेषण द्वारा ही बनते हैं। अतः हरे पौधे उत्पादक का कार्य करते हैं और जीव–जन्तु उनके उपभोक्ता होते है।
- ऊर्जा का स्रोत सूर्य का प्रकाश है या प्रकाश संश्लेषण द्वारा बना भोजन सभी जीवितों को ऊजा की आवश्यकता होती है जिसका स्रोत सूर्य है। केवल हरे पेड पौधें ही सूर्य की ऊर्जा को रासायनिक ऊर्जा में बदल सकते हैं जो अन्य जीवों के कार्य आती है। अर्थात जीव जन्तु पौधों द्वारा उत्पन्न भोज्य पदार्थों का उपभोग कर ऊर्जा की प्राप्ति करते हैं।

वायुमण्डल के नियंत्रण एवं शुध्दिकरण में भी इनका महत्व होता है इस क्रिया के द्वारा वायुमण्डल में CO_2 एवं O_2 के अनुपात का नियंत्रण होता है। अर्थात वायुमण्डल में अगर CO_2 की मात्रा बढ़ जायेगी तो वायुमण्डल अशुध्द होगा और O_2 बढ़ जाये और CO_2 न हो तो पौधों के लिये कच्चा पदार्थ नहीं मिलेगा एवं O_2 का उत्पादन नहीं होगा जिससे वायुमण्डल दूषित हो जायेगा।

अन्तरिक्ष यात्रा के लिये O_2 एवं भोजन दोनों की उपलब्धि प्रकाश संश्लेषण की क्रिया के द्वारा संभव हैं। Chlorella जैसे शैवालों को उगाकर इनका हल निकाला जा रहा हैं।

अतः हम कह सकते हैं कि प्रकाश संश्लेषण की क्रिया मानव जाति के लिये वरदान है।

3.4 प्रकाश संश्लेषी वर्णक (Photosynthetic Pigments)

वर्णक कुछ ऐसे पदार्थ होते हैं जो उपयुक्त प्रकाश ऊर्जा का निश्चित हिस्सा अवशोषित कर लेते हैं और बाकी ऊर्जा को यह या तो परावर्तित कर देते हैं या स्थानान्तरित कर देते हैं। ये रंगीन पदार्थ होते हैं। पादपों में निम्नलिखित तीन श्रेणियों वाले वर्णक पाये जाते हैं–

1. पर्णहरिम (Chlorophylls)

यह पानी में अघुलनशील होते हैं। यह एक प्रोटीनयुक्त जटिल रासायनिक पदार्थ है। इसके कारण पत्ती का रंग भी हरा होता है।

इसका गठन कार्बन, ऑक्सीजन, नाइट्रोजन तथा मैग्नीशियम तत्वों से होता है। क्लोरोफिल–ए तथा क्लोरोफिल–बी दो प्रकार का होता है। यह सभी स्वपोषी पौधों में पाया जाता हैं–

(a) Chlorophyll 'a' $\rightarrow C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

(b) Chlorophyll 'b' $\rightarrow C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

टिप्पणी

(a) Chlorophyll 'a'– ये नीले हरे रंग का होता है। सभी तरह के Chlorophylls में पोरफाइरिन तंत्र (Porphyrin System) पाया जाता है। इसकी संरचना में हमें दो हिस्से दिखते है, ऊपरी हिस्सा उनका सिर कहलाता है और निचला हिस्सा पूँछ भाग होता है।

सिर वाले हिस्से को पोरफाइरिन कहते हैं इसमें सिर वाले हिस्से में चार पायरोल रिंग मीथेन समूह द्वारा जुड़े होते हैं टेट्रापायरोल के मध्य में एक डाइवेलेन्ट Mg^{++} स्थित होता है जो कि आयनिक अवस्था में होता है।

पूँछ वाले हिस्से को Phytol Chain कहते हैं। यह क्लोरोफिल अणु को लिपिड बायलेयर में कोशिका कला को प्रोत्साहित करने में मदद करता है। इस हिस्से में 20 कार्बन परमाणुओं सहित एल्कोहॉल पाये जाते हैं जिसे फाइटॉल श्रृंखला कहते हैं।

पर्णरहिम ''ए'' की रासायनिक संरचना में मिथाइल समूह का विस्थापन CHO समूह से होने पर यह पर्णहरिम ''बी'' बनाता है।

(b) Chlorophyll 'b'– यह हरे पौधों तथा शैवालों में विस्तृत रुप से पाया जाता है।

आधुनिक अध्ययनों के अनुसार पर्णरहिम ''बी'' दो प्रकार का होता है–

- Chl b_{640}
- Chl b_{650}

2. केरोटिनॉयड्स (Carotenoids)

ये लिपिड्स से मिलकर बनते हैं। ये पौधों में रंग देने में मुख्य भूमिका निभाते हैं। अधिकांश केरोटिनॉयड्स पीले अथवा नारंगी रंग के होते हैं। इसके मुख्य कार्य हैं– ये पहले खुद प्रकाश को अवशोषित करते हैं फिर उसे Chlorophyll की ओर स्थानान्तरित करते हैं जिससे भोजन का निर्माण होता है। Chlorophyll को सुरक्षित रखने में मदद करते हैं। ये दो प्रमुख समूहों में पाये जाते हैं–

(a) केरोटिन्स

(b) जैन्थोफिल्स।

दोनों ही कार्बनिक विलायकों में विलेय होते हैं।

(a) केरोटिन्स (Carotenes)– ये असंतृप्त हाइड्रोकार्बन्स होते हैं जो नीले तथा हरे प्रकाश का अवशोषण करते हैं तथा पीले एवं लाल प्रकाश को संचारित करते हैं–

- **β-Beta carotene**– ये नारंगी रंग देते हैं जो हमें गाजर में मिलती है। ये विटामिन A के (अग्रगामी) कहलाते हैं।
- **α-carotene**– अधिकतर पत्तियों में तथा पॉलीसाइफोनिया नामक शैवाल में पाये जाते हैं। यह लाल रंग के होते हैं।

(b) जैन्थोफिल्स (Xanthophylls)– ये कार्बन, हाइड्रोजन एवं ऑक्सीजन से मिलकर बने होते है। ये पीले रंग के होते हैं।

टिप्पणी

3. फाइकोबिलिन्स (Phycobillions)

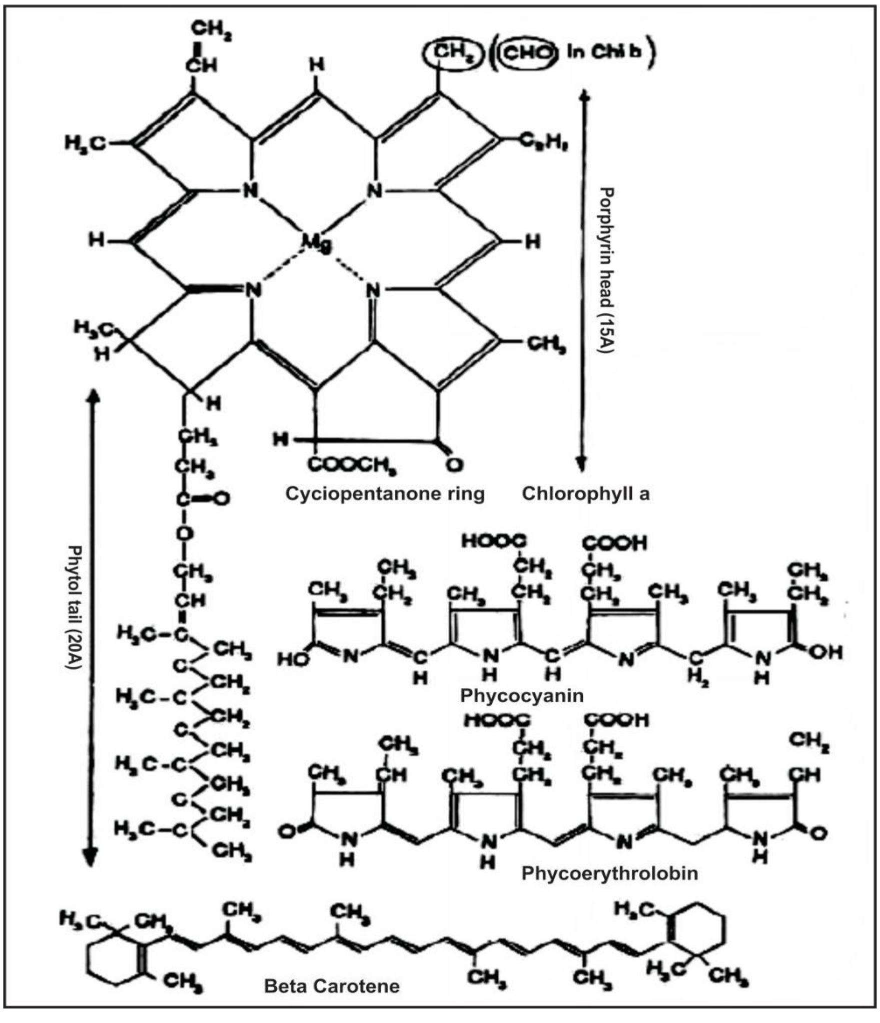
ये प्रकाश संश्लेषणी वर्णकों का मुख्य समूह होता है। जो हरें तथा लाल शैवाल में पाया जाता है। ये दो प्रकार के होते हैं–

(a) Phycoerythrin– ये लाल वर्णक होते हैं।

(b) Phycocyanin– ये नीले वर्णक होते है। यह Protein से संबंधित होते हैं। ये उच्च ताप या उष्मा में नष्ट हो जाते हैं।

ये पानी में घुलनशील होते हैं तथा छोटे कणों के रुप में दिखाई देते हैं और लेमिला से जुड़े रहते हैं।

क्लोरोफिल की भाँति ये फाइकोबिलिन भी टेट्रापायरोल संरचना वाले होते हैं परन्तु इनकी टेट्रापायरोलरिग खुली होती हैं तथा इनमें फाइटॉल श्रृंखला एवं Mg^{++} आयन दोनों ही नहीं पाये जाते हैं।



चित्र क्र. 3.1: प्रकाश संश्लेषण
प्रकाश संश्लेषी वर्णक की आण्विक संरचना

3.5 दो प्रकाश तंत्र अथवा वर्णक तंत्र की अवधारणा (Concept of Two Photo Systems or Pigment Systems)

टिप्पणी

प्रकाश अभिक्रिया (Light Reaction)

यह क्रिया प्रकाश की उपस्थिति में संपन्न होती है, इसे हिल अभिक्रिया के नाम से भी जाना जाता है। क्योंकि रॉबर्ट हिल ने यह सिद्ध किया कि प्रदीप्त एवं विमुक्त क्लोरोप्लास्ट जल का प्रकाशीय अपघटन करते है। जिससे अपचयित हाइड्रोजन ग्राही बनते है एवं O_2 गैस उत्पाद के रूप में बाहर निकलती है–

1. क्लोरोफिल अणु प्रकाश ऊर्जा का अवशोषण कर उसे विद्युत ऊर्जा में परिवर्तित कर देते है। जिससे क्लोरोफिल अणु उत्तेजित अवस्था में आ जाते है।

$$Chl \quad + \quad hv \quad = \quad chl.^{e^-}$$

क्लोरोफिल प्रकाश क्वाण्टम उत्तेजित क्लोरोफिल

2. क्लोरोफिल अणु द्वारा अवशोषित ऊर्जा से जल के अणु का अपघटन होता है।

$$4H_2O \longrightarrow 4OH^- + 4H^-$$

3. जल के अपघटन से O_2 गैस वायुमण्डल में विमुक्त होती है। इस O_2 का कुछ भाग कोशिकीय श्वसन में उपयोग होता है।

$$4OH - 4e^- \longrightarrow 4OH$$

$$4OH \longrightarrow 2H_2O + O_2\uparrow$$

4. जल अपघटन में विमुक्त हाइड्रोजन $NADP$ से संयुक्त होकर $NADPH_2$ बनाता है।

$$2NADP + 4H^+ + 4e^- \longrightarrow NADPH_2$$

5. उत्तेजित क्लोरोफिल अणु की कुछ ऊर्जा ATP निर्माण में उपयोग होती है। इस क्रिया में विद्युत ऊर्जा रासायनिक ऊर्जा में परिवर्तित होती है।

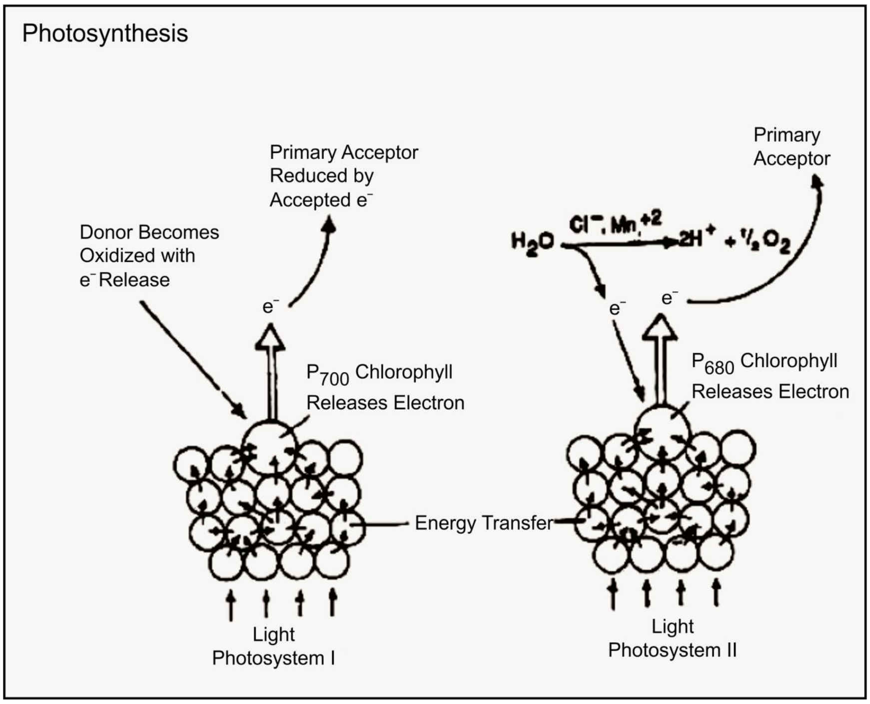
$$ADP + ip \xrightarrow{Energy\ of\ e^-} ATP$$

प्रकाश रासायनिक प्रक्रिया में दो प्रकाश तंत्र पाये जाते हैं जो क्रमश–

- **प्रकाश तंत्र I**– इस तंत्र में इसका Pigment System I कार्य करता है।
- **प्रकाश तंत्र II**– इस तंत्र में इसका Pigment System II कार्य करता है।

टिप्पणी

Photosystem I– इस System में Chl – A के विभिन्न अणु प्रकाश के फोटॉन की ऊर्जा का अवशोषण करते हैं अतः यह अणु प्रकाश की विभिन्न तरंगदैर्ध्य वाली किरणों के अवशोषण के आधार पर "chl-660, chl-670, chl-680, chl-690, chl-700" कहलाते हैं। P-700 अणु Photosystem I का (Reaction centre) होता है। Pigment system I में chl व्यवस्था कुछ इस तरह से होती है कि इनको प्रकाश से कोई भी हानि न पहुँचे क्योंकि ज्यादा ताप के कारण chl के नष्ट होने की संभावना होती है। परन्तु इनकी व्यवस्था कुछ इस प्रकार होती है कि यदि ज्यादा प्रकाश पत्तियों पर आ जाये तो यह उसे आसानी से अवशोषित कर सकते हैं।



चित्र क्र. 3.2: प्रकाश संश्लेषण
प्रकाशतंत्र I एवं II में ऊर्जा का स्थानांन्तरण

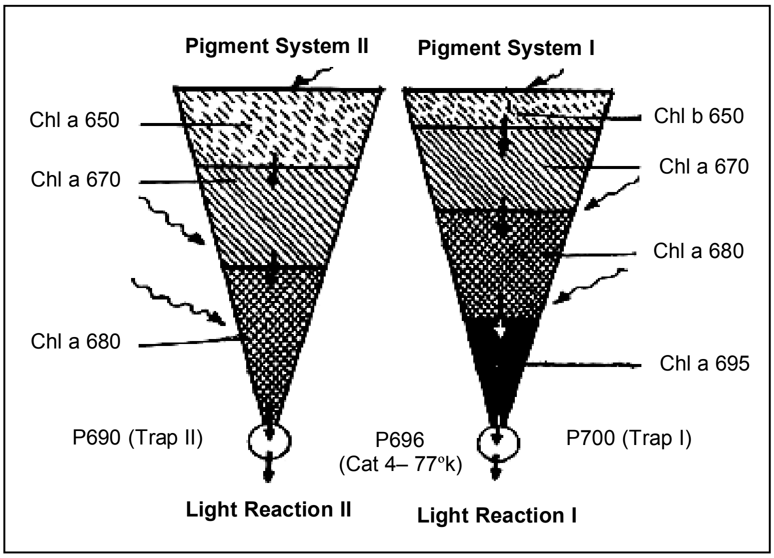
Photosystem I– हमें स्ट्रोमा थायलेकॉइड पर मिलता है। जो कि ग्रेनम की सबसे ऊपरी सतह पर उपस्थित रहते हैं। जिस तरफ Stroma होता है उस तरफ ये हमें दिखाई देते हैं।

Photosystem II– इसमें Reaction Centre में chl.a का Molecule उपस्थित रहता है और यही chl.a का Molecule 680 nm तरंगदैर्ध्य पर सक्रिय होता है अर्थात पहले Photosystem II molecule सक्रिय होता है फिर Photosystem I का अणु सक्रिय होता है।

Photosystem II दो ग्रेनम के आपस के बीच की सतह पर मिलता है जिसे हम Inter granum thylakaoid भी कहते हैं। ये Lumen की ओर उपस्थित रहते हैं। साथ ही इसमें ऑक्सीजन उत्सर्जी समूह भी पाये जाते है जिसकी सहायता से

टिप्पणी

हमें जल के प्रकाशीय अपघटन के फलस्वरुप O_2 मिलती है प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया में सबसे महत्वपूर्ण pigment होते हैं। प्रकाश तंत्र II में प्रकाश तंत्र I की अपेक्षा कम तरंगदैर्ध्य वाली किरणों के फोटॉन्स की ऊर्जा अवशोषित होती है तथा यह प्रकाश तंत्र केवल अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोराइलेशन (Non-cyclic Photophosphorylation) में कार्य करता हैं।



चित्र क्र. 3.3: प्रकाश संश्लेषण PS I एवं PS II में विभिन्न वर्णकों का वितरण

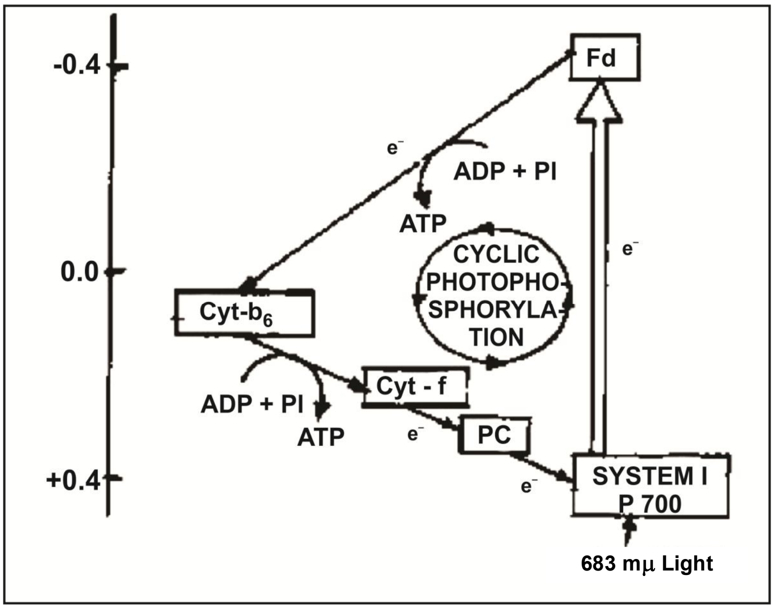
3.6 इलेक्ट्रॉन स्थानान्तरण तथा प्रकाश फॉस्फोरिलीकरण (Electron Transfer and Photophosphorylation)

Photophosphorylation– ये दो प्रकार में होती है–

1. चक्रीय प्रकाश फॉस्फोराइलेशन

ये प्रक्रिया पौधों के भोजन निर्माण के समय पर होती है। इसमें केवल एक फोटोसिस्टम I हिस्सा लेता है।

टिप्पणी



चित्र क्र. 3.4: चक्रीय फॉस्फोरिलीकरण

फोटोसिस्टम I में एक e^- स्थानान्तरण श्रृंखला के साथ मिलता है यह प्रकाश निर्भर अभिक्रिया (Light dependent reaction) होती है। इस अभिक्रिया में जल के अणु सूर्य का प्रकाश पड़ने से टूट जाते हैं। जिससे दो e^- उत्सर्जित होते हैं हाइड्रोजन आयन निकलते हैं जिसे फोटॉन कहा जाता है। इस दौरान ऑक्सीजन गैस विमुक्त होती है।

$$\underset{Water}{6H_2O} + \underset{Carbon\ dioxide}{6CO_2} + Light \longrightarrow \underset{Glucose}{C_6H_{12}O_6} + \underset{Oxygen}{O_2}$$

इस चित्र क्र. 3.4 के अनुसार जब PS-I को chl.a 680 nm से अधिक तरंगदैर्ध्य वाला प्रकाश मिलता तो P_{700} वाले अणु फोटॉन को अवशोषित करके e^- को मुक्त करते हैं, मुक्त e^- FRS (Feredoxin Reducing Substance) से होते हुये FD (Feredoxin) में स्थानान्तरित होते हैं। जिससे e^- अवकरण अवस्था (Reduced form) में आ जाते हैं।

यहाँ से FD के द्वारा अवशोषित होने के पश्चात P_{700} से मुक्त e^- दो पथ में गमन करते हैं–

- **पहले पथ** में Ferredoxin से e^- FAD द्वारा ग्रहण कर लिये जाते हैं तथा प्रकाश तंत्र II के लिये जल विघटन (Hydrolysis) में उत्पन्न हाइड्रोजन (H) से संयोग कर $FADH_2$ बनाते हैं।

  $FADH_2$ ये हाइड्रोजन इलेक्ट्रॉन NADP द्वारा ग्रहण कर लिये जाते हैं और यह $NADPH_2$ अवस्था प्रदर्शित करते हैं।

- **दूसरे पथ** में P_{700} से मुक्त e^- ferredoxin से होते हुऐ cytochrome b_6, cyt-f एवं Pc (Plastocynin) से होते हुये वापस P_{700} में पहुँच जाते हैं।

ठीक इसी समय इन इलेक्ट्रॉन के स्थानान्तरण से एक–एक ATP (कुल 2ATP) का निर्माण होता है।

अतः P_{700} से मुक्त e^- पुनः P_{700} में पहुँच जाते हैं इसलिये इसे चक्रीय फोटोफॉस्फोरिलेशन कहते हैं। इसमें O_2 मुक्त नहीं होती है।

NADPH + H^+ एवं ATP के निर्माण के साथ ही प्रकाश संश्लेषण की प्रकाश रासायनिक (Photo-Chemcial) या प्रकाश अभिक्रिया (Light reaction) पूर्ण हो जाती है।

2. अचक्रीय प्रकाश फॉस्फोराइलेशन

इसमें प्रकाश तंत्र II के क्लोरोफिल द्वारा मुक्त e^- (chl. $P_{680} - P_{690}$ से) उत्तेजित हो जाते हैं और मुक्त e^- Plastoquinine (PQ) द्वारा ग्रहण कर लिये जाते हैं। फिर इनके द्वारा स्थानान्तरित होकर Cytrocrome b_6, cyt.f तथा plastocyanin से गुजरते हुये वर्णक तंत्र P_{700} में पहुँचते हैं अतः यह क्रिया अचक्रीय फोटोफॉस्फोरिलेशन कहलाती है।

$$Plastoquinine\ (PQ) \rightarrow cytb_e \rightarrow cytF \rightarrow Pc \rightarrow PSI$$

e^- स्थानान्तरण के दौरान cyt b_6 एवं cytf के बीच अधिक मात्रा में ऊर्जा मुक्त होती है जो कि एक ADP को ATP में परिवर्तन करने के लिये उपयुक्त होती है।

PC (Plastocyanin) से e^- PS-I में स्थानान्तरित कर दिये जाते हैं। इस प्रकार PS II, PS I के द्वारा हुई e^- की हानि को पूरा कर देता है इसी समय जल के H^+ आयन H^+ आयन में विघटित हो जाता है।

$$4H_2O \rightarrow 4(OH) + 4H^+$$

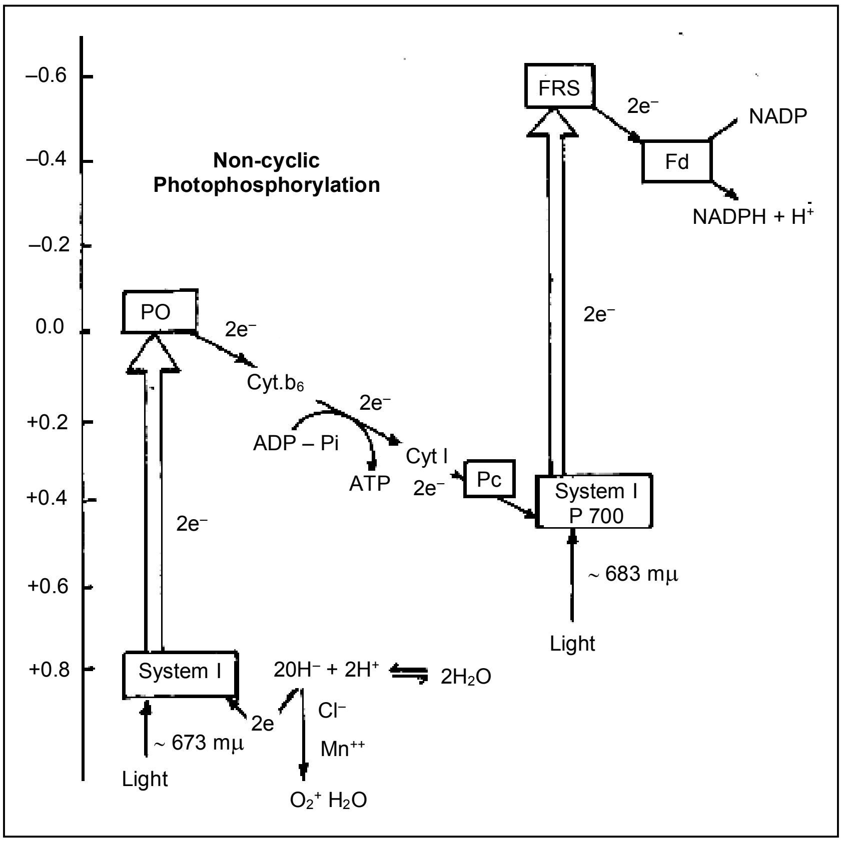
P_{680} के अणु ऑक्सीकृत होकर OH^- आयन एवं OH समूह से e^- को ग्रहण करते हैं तथा आपस में जुड़कर पानी का निर्माण करते हैं एवं O_2 निष्कासित करते हैं।

$$4(OH)^- + 4e^- \rightarrow 4(OH)$$

$$4(OH) \rightarrow 2H_2O + O_2$$

अतः PS II से मुक्त हुआ e^- वापस PS II में नहीं आता क्योंकि वह PS I में पहुँच जाता हैं और $NADP$ को $NADPH_2$ में बदलने में मदद करता है। इसलिये इसे अचक्रीय फोटो फॉस्फोरिलेशन कहते हैं।

टिप्पणी



चित्र क्र. 3.5: अचक्रीय फोटोफॉस्फोरिलेशन एवं Z स्कीम

'Z Scheme'– PS I एवं PS II फोटोफॉस्फोरिलेशन की प्रक्रिया में भाग लेते हैं एवं Z आकार की संरचना निर्मित करते हैं अतः इस प्रक्रिया को Z Scheme कहा जाता है। Z Scheme पर रॉबिन हिल एवं फे–बेण्डाल (Robin Hill & Fay Bendall, 1960) ने महत्वपूर्ण कार्य किये थे।

Pigment System I एवं Pigment System II को जब उनके सापेक्ष अवकरण विभव के आधार पर सजाते हैं तो 'Z' के आकार की रेखा बनती है जिसे 'Z' स्कीम कहते हैं।

3.7 केल्विन चक्र (Calvin Cycle)

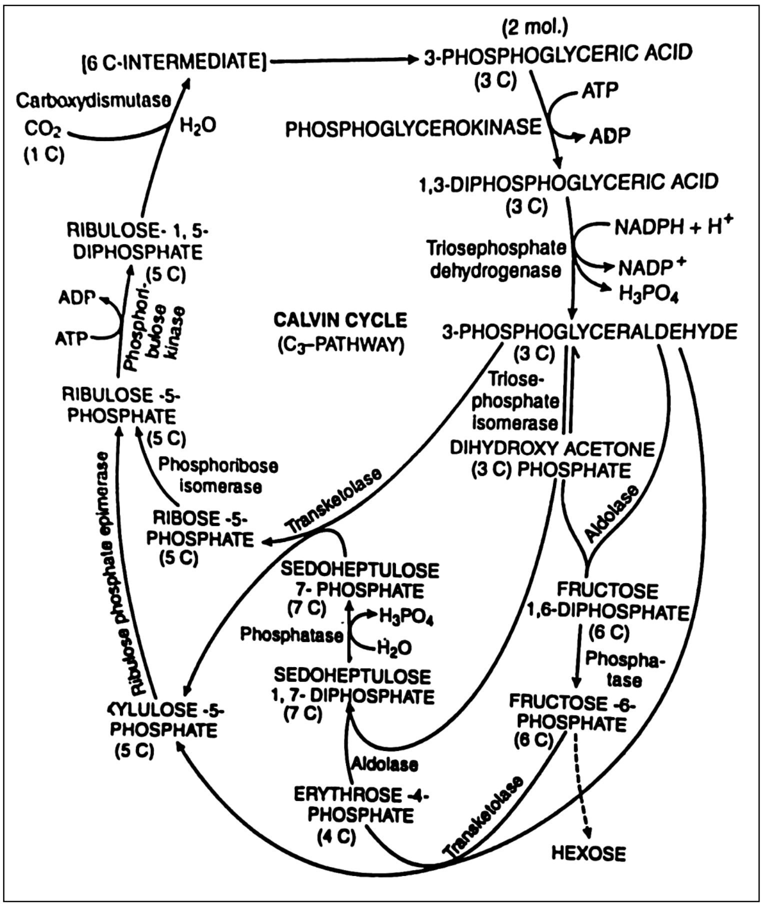
अंधकार अभिक्रिया (Dark Reaction)

इन अभिक्रियाओं हेतु प्रकाश की आवश्यकता नहीं होती। हरे पौधों में उपस्थित 5*C* शर्करा रिबुलोज वातावरणीय CO_2 को फिक्स करती है। रिबुलोज सर्वप्रथम फॉस्फोराइलेशन द्वारा RUBP एवं Ru, 1, 6DP में बदलती है। जो CO_2 को फिक्स करती है।

केल्विन चक्र (Calvin Cycle)– केल्विन एवं बेन्सन ने (Calvin & Benson 1946) Chlorella Algae में इसका अध्ययन किया था। इस पथ की खोज

हेतु उन्होंने 14 परमाणु भार वाली $^{14}CO_2$ का प्रयोग किया और यह पता लगाया कि यह C परमाणु आगे क्रिया में कहाँ अवशोषित हुये है।

टिप्पणी



चित्र क्र. 3.6: केल्विन चक्र

3C Phosphoglyceric acid जो प्रथम Visible 3C यौगिक है। सभी पौधे जिनमें इस प्रकार Carboxylation होता है एवं 3C प्रथम यौगिक (Visible) होता है 3C पादप कहलाते हैं।

RUDP– Ribulose Di-Phosphate है जिसमें 5 Carbon 2 Phosphate ग्रुप–2 Ribulose Sugar के साथ जुड़े होते हैं–

(i) कार्बोक्सीलेशन (Carboxylation)– RUDP के साथ जब CO_2 Phosphoribulose Kinase enzyme की उपस्थिति में जुड़ती हैं तो इसे हम Carboxylation कहते हैं। इस प्रक्रिया में (PGA– 3mol.) प्रथम उत्पाद Phosphoglyceric acid का निर्माण होता हैं।

$$6\ mol.Ru,\ 1,\ 5,\ biphosphate + 6CO_2 + 6H_2O \quad ...(1)$$

$$\xrightarrow{RUBP\ Carboxylation} \begin{matrix} 3PGA \\ (12mol.) \end{matrix}$$

टिप्पणी

कभी–कभी पत्तियों में CO_2 की तुलना में O_2 की सांद्रता ज्यादा हो जाती है तो Phosphoribulose Kinase O_2 को Rudp के साथ जोड देता है जिससे 2 Carbon वाला यौगिक बनता है जिसे Phosphoglycolic acid कहते है। यह प्रक्रिया प्रकाश श्वसन कहलाती है।

(ii) फॉस्फोग्लिसरिक एसिड का रिडक्शन (Reduction of Phosphogly- ceric acid)– 2, 3 Phosphoglyceric acid के 12 अणु ATP के 12 अणुओं के साथ जुड़कर 1, 3 diphosphoglyceric acid का निर्माण करते हैं।

यह अभिक्रिया Phosphoglycerokinase enzyme की उपस्थिति में संपन्न होती है।

$$\text{12 Molecules 3 – PGA + 12 ATP} \xrightarrow{\text{Phosphoglycerokinase}} \quad ...(2)$$

$$\text{12 Molecules 1, 3 – Diphosphoglyceric acid + 12 ADP}$$

1, 3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल के 12 अणु अवकृत (Reduced) होकर 3–फॉस्फोग्लिरेल्डिहाइड के 12 अणुओं का निर्माण करते हैं यह प्रक्रिया प्रकाश प्रक्रिया में बने CO^- एन्जाइम $NADH + H^+$ के 12 अणुओं की उपस्थिति में होती है तथा यह क्रिया ट्रायोसफॉस्फेट डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है जिससे अकार्बनिक फॉस्फेट मुक्त होता है।

$$\underset{\text{(3C – Compound)}}{\text{12 Molecules 1, 3 – Diphosphoglyceric acid}} + 12\ NADPH_2 \xrightarrow[\text{Dehydrogenase}]{\text{Triosephosphate}}$$

$$\underset{\text{(3C – Compound)}}{\text{12 Phosphoglyceraldehyde}} + \text{12 NADP} \quad ...(3)$$

3–फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड के अणुओं के समावयवीकरण द्वारा डाइहाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट का निर्माण होता हैं। दोनों Isomers साम्यवस्था में रहते हैं। समावयवीकरण की क्रिया ट्रायोस फॉस्फेट आइसोमरेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है।

$$\text{5 Molecules 3 – Phosphoglyceraldelyde} \xrightarrow[\text{Isomerase}]{\text{Triose Phosphate}}$$

$$\text{5 Molecule Dihydroxy Acetone Phosphate (3C – Compound)} \quad ...(4)$$

(iii) हेक्सास सुगर का संश्लेषण (Synthesis of hexose sugar)– (B) 3–फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड के तीन अणु तथा हाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट के तीन अणु संयोग करके फ्रक्टोज–1.6 डाइफॉस्फेट के 3 अणु बनाता है जो हैक्सोज शर्करा कहलाती है। यह क्रिया एल्डोलेज एन्जाइम की उपस्थिति में होती है।

टिप्पणी

3 Mole 3 – Phosphoglyceraldelyde + 3 Molecule Dihydroxy

$$\text{Acetone Phosphate} \xrightarrow{\text{Aldolase}} \begin{matrix}\text{Fructose 1, 6} \\ \text{Diphosphate (3 mole)} \\ \text{(6c – Compound)}\end{matrix} \quad ...(5)$$

प्रत्येक फ्रक्टोज–1, 6 डाइफॉस्फेट अणु से एक फॉस्फेट Residue की हानि होती और फॉस्फेटेज एन्जाइम की सहायता से फ्रक्टोज–6 फॉस्फेट बनता है।

$$\text{3 Mole Fructose – 1, 6 – Diphosphate} + 3H_2O \rightarrow$$

$$\text{3 Mol. Fructose – 6 – Phosphate} + 3H_2PO_4 \quad ...(6)$$

6–फॉस्फेट अन्य शर्कराओं में जैसे– ग्लूकोज, सुक्रोज तथा मण्ड आदि में परिवर्तित हो जाता है। इस प्रकार वायुमण्डलीय CO_2 का उपयोग कार्बोहाइड्रेट्स के संश्लेषण में होता है।

(iv) रिबुलोज डाइफॉस्फेट का पुनःकरण (Regeneration of Ribulose diphosphate)– दोनो ट्रायोज फॉस्फेट जैसे– 3 फॉस्फोग्लिसरेल्डीहाइड तथा डाइहाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट CO_2 ग्राही राइबुलोज 1, 5 – डाइफॉस्फेट के पुनः उत्पादन में सक्रिय भाग लेते हैं–

(a) **फ्रक्टोज**– 6 फॉस्फेट के दो अणु 3 फॉस्फोग्लिसरोल्डिहाइड के दो अणुओं के साथ क्रिया करके दो अणु जायलूलोज–5 फॉस्फेट के बनाते हैं तथा दो अणु इराइथ्रोज 4–फॉस्फेट के बनते हैं। यह क्रिया ट्रान्स कीटोलेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है।

2 Molecules 3 Phosphglyceraldehyde + 2 Mol. Fructose 6 – Phosphate

$$\xrightarrow{\text{Transketolase}} \text{2 Mole. Xylulose 5 – Phosphate 5(C)}$$

$$\text{Compound + 2 Molecules } \underset{\text{(4C – Compound)}}{\text{Erythrose – 4 Phosphate}} \quad ...(7)$$

(b) **इराइथ्रोज**– 4 फॉस्फेट के दो अणु डाइहाइड्रॉक्सी एसीटोन फॉस्फेट के दो अणुओं से संयोग करके स्यूडोहेप्टूलोज –1, 7 डाइफॉस्फेट के दो अणुओं का निर्माण करते हैं जो एक *7C* वाला यौगिक होता है यह अभिक्रिया एन्डोलेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती हैं।

2 Moles Erythrose 4 – Phosphate + 2 Molecules

$$\text{Dihydroxyacetone Phosphate} \xrightarrow{\text{Aldolase}} \text{2 Mol.}$$

$$\underset{\text{(7 C Compound)}}{\text{Sedoheptulose 1, 7 Diphosphate}} \quad ...(8)$$

(c) अब फॉस्फेटेज एन्जाइम Sedoheptulose 1, 7 diphosphate के प्रत्येक अणु से एक फॉस्फेट समूह को निकाल देता है जिससे Sedoheptulose 7 फॉस्फेट बनता है।

टिप्पणी

(d) इसके बाद Seoheptulose 7 फॉस्फेट के दो अणु, 3 फॉस्फोग्लिसरेल्डीहाइड के दो अणुओं से क्रिया करके राइबुलोज–5 फॉस्फेट तथा जायलूलोज 5 फॉस्फेट के दो–दो अणुओं का निर्माण करता है और यह प्रक्रिया ट्रान्सकीटोलेज एन्जाइम के द्वारा उत्प्रेरित होती हैं।

$$\underset{\text{(7 C Compound)}}{\textit{2 Moles Sedoheptulse 1, 7 diphosphate}} + 2H_2O \xrightarrow{\textit{Phosphatese}}$$

$$\textit{2 Mol. Sedoheptulose 7 Phosphate} + 3H_3PO_4 \qquad ...(9)$$

$$\underset{\text{(7 C Compound)}}{\textit{2 Mole. Seudoheptulose 7– Phosphate}} + \textit{2 Molecules}$$

$$\textit{3 – Phosphoglyceraldehyde} \xrightarrow{\textit{Transketolase}} \textit{2 Mole}$$

$$\textit{Xylulose 5 Phosphate + 2 molRibose – 5 – Phosphate} \qquad ...(10)$$

Xylulose 5-Phosphate के चार अणु isomerized होकर राइबुलोज – 5 – फॉस्फेट के अणु बनाता है। यह क्रिया राइबुलोज फॉस्फेट आइसोमरेज एन्जाइम की उपस्थिति में होती है–

$$\underset{\text{(5 C Compound)}}{\textit{4 Mole. Xylulose 5 Phosphate}} \xrightarrow[\textit{Isomerase}]{\textit{Rubulose Phosphate}} \textit{4 Mole.}$$

$$\textit{Ribulose – 5 – Phosphate} \qquad ...(11)$$

अंत में राइबुलोज 5 फॉस्फेट के सभी के सभी छः अणु राइबुलोज – 1, 5 डाइफॉस्फेट में पुनः परिवर्तित हो जाते हैं।

3.8 हैच–स्लैक चक्र / C_4 पौधों में कार्बन अपचयन (Hatch-Slack Cycle / Carbon Reduction in C_4 Plants)

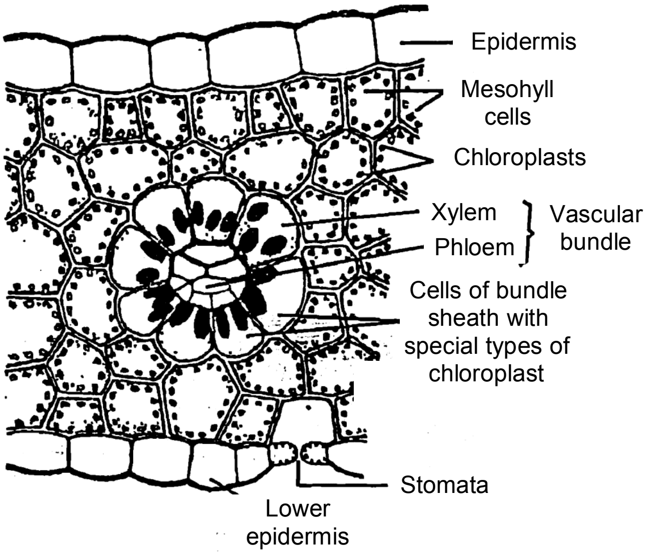
हैच–स्लेक चक्र

ऑस्ट्रेलिया के प्रसिद्ध वैज्ञानिक एम.डी. हैच (M.D. Hatch) तथा सी.आर. स्लेक (C.R. Slack) 1966 ने प्रकाश संश्लेषण संबंधी महत्वपूर्ण कार्य गन्ने व मक्के की पत्ती पर किये तथा उन्होंने बाताया पौधों में प्रकाश संश्लेषण द्वारा स्थायी C_4 यौगिक डाइकार्बोक्सिलिक अम्ल बनता है।

C_4 Cycle को उसके प्रथम निर्मित उत्पाद के कारण C_4 चक्र कहते हैं जो 4 Carbon युक्त ऑक्जेलोऐसीटिक एसिड होता हैं। यह चक्र ज्यादातर एकबीजपत्रीय पौधों में पाया जाता हैं कुछ द्विबीजपत्री पौधों जैसे– यूफोरबिया, एमरेन्स, चीनोपोडियम आदि में इसका अध्ययन किया गया।

टिप्पणी

C_4 पौधों की पत्तियों में क्राँज एनाटॉमी भी पाई जाती है। जिसमें संवहन पूलों के चारों ओर बण्डल शीथ पाई जाती है एवं इन बण्डल शीथ की कोशिकाओं में क्लोरोप्लास्ट पाये जाते हैं। बण्डल शीथ में पाये जाने वाले क्लोरोप्लास्ट बड़े आकार के होते हैं जो केन्द्र की ओर स्थित होते हैं। इनमें ग्रेना नहीं पाये जाते हैं। इन कोशिकाओं को चारों ओर से मीजोफिल कोशिकायें घेरे रहती हैं और मीजोफिल कोशिकाओं के मध्य स्थित अन्तरकोशिकीय अवकाश छोटे आकार में होते हैं। मीजोफिल कोशिकाओं में सामान्य प्रकार के क्लोरोप्लास्ट्स पाये जाते हैं। C_4 पौधों की मीजोफिल कोशिकाओं में C_4 चक्र तथा बण्डलशीथ कोशिकाओं में C_3 चक्र पाया जाता है।



चित्र क्र. 3.7: पत्ती की खडी काट में क्रेंज एनाटॉमी प्रदर्शित

C_4 पौधों में प्रकाश श्वसन नहीं होता हैं। C_3 पौधों से ये उत्कृष्ट होते हैं। कुछ पौधों में CO_2 फॉस्फोइनोल पायरूविक अम्ल द्वारा फिक्स होती है एवं कार्बोक्सीलेशन का प्रथम निर्मित उत्पाद 4C यौगिक OAA होता है–

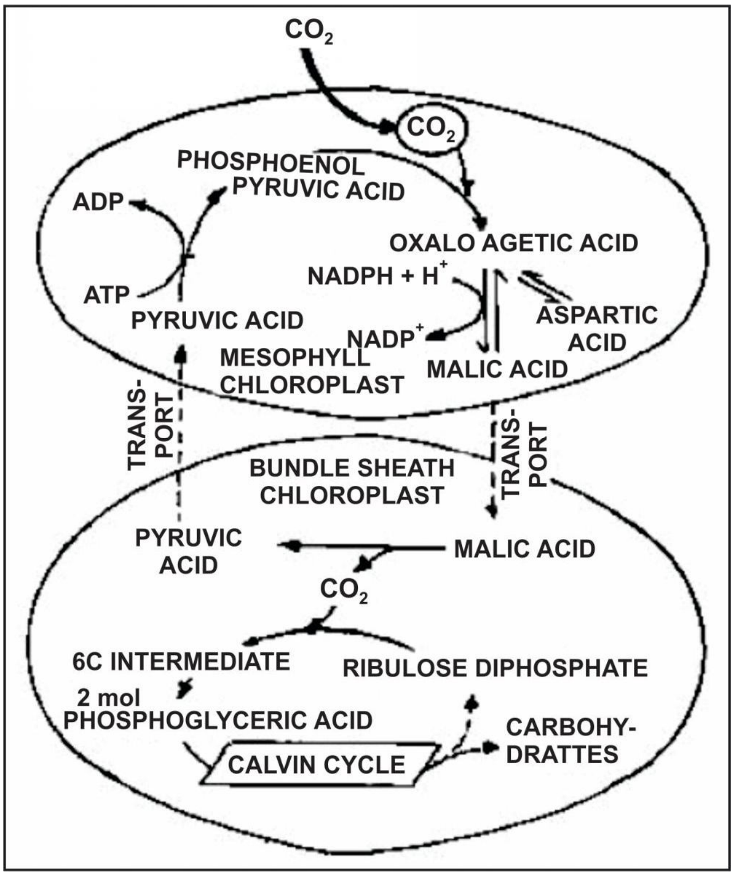
1. यह क्रिया क्लोरोप्लास्ट द्वारा पत्ती की मीजोफिल कोशिकाओं में होती है जिसमें CO_2 ग्राही, 3 Carbon युक्त यौगिक फॉस्फोइनॉल पायरुविक अम्ल (PEP) होता है जो CO_2 से मिलकर 4–C युक्त यौगिक ऑक्जेलो ऐसीटिक एसिड अम्ल बनाता है और यह C_4 Cycle का सबसे पहला स्थाई उत्पाद होता है। यह प्रक्रिया PEP कार्बोक्सीलेज नामक एन्जाइम के द्वारा होती है।

$$\underset{(PEP)}{Phosphoenol\ Pyruvic\ acid} + CO_2 + H_2O \xrightarrow{PEP\ Carboxylase} \underset{(OAA)}{Oxaloacetic\ acid} + H_3PO_4$$

टिप्पणी

2. अब यह *OAA* का अपचयन होता है जिससे मैलिक एसिड का निर्माण होता है। इस दौरान $NADPH_2$ का ऑक्सीकरण होगा जिससे ये *NADP* में बदल जाता है।

$$\text{Oxaloacetic acid} + NADPH_2 \xrightarrow[\text{Dehydrogenase}]{\text{Malic}} \text{Malic acid} + NADP^+$$



चित्र क्र. 3.8: प्रकाश संश्लेषण – हैच एवं स्लेक चक्र

ट्रान्सएमीशन की क्रिया के फलस्वरुप *OAA* एस्पार्टिक अम्ल में बदल जाता है यहाँ ट्रान्सएमीनेज एन्जाइम कोशिका द्रव्य में उपस्थित होता है।

$$\text{Oxaloacetic acid} \overset{\text{Transa min ase}}{\rightleftharpoons} \text{Aspartic acid}$$

3. पत्ती की बण्डलशीथ कोशिकाओं में सभी 4*C* वाले अम्ल जैसे– ऑक्जेलोऐसीटिक अम्ल (*OAA*), मैलिक अम्ल (*MA*) तथा एस्पार्टिक अम्ल (*AA*) संवहन बण्डल शीथ की कोषाओं में स्थानान्तरित हो जाते हैं।

इसी समय बण्डलशीथ के क्लोरोप्लास्ट में मैलिक एसिड का डीकार्बोक्सीलेशन होता है जिससे पायरुविक अम्ल बनता है तथा CO_2 निष्कासित हो जाती है। Malic enzyme एक उत्प्रेरक की तरह कार्य करता है।

$$Malic\ acid + NADP + \xrightarrow{Malic\ enzyme} Pyruvic\ acid$$
$$NADPH + H^{+} + CO_2$$

टिप्पणी

4. अब निष्कासित CO_2 Calvin cycle में पहुँच जाती हैं तथा RuDP से संयोग करके फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल (PGA) के अणुओं का निर्माण करती है।

5. यह क्रिया पायरुवेट–फॉस्फेट डाइकाइनेज द्वारा उत्प्रेरित होती है जिसमें डीकार्बोक्सीलेशन द्वारा पायरुविक अम्ल पुनः मीजोफिल कोशिकाओं में चला जाता है जो फॉस्फोइनोल पायरुविक अम्ल (PEP) में बदल जाता हैं। इस क्रिया में प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया में उत्पन्न ATP का एक अणु काम में आता है।

$$Pyruvic\ acid + ATP + H_3PO_4 \xrightarrow{Pyruvate\ Phosphate\ Dikinase} Phosphoenol\ pyruvic\ acid + ATM + P \sim P$$

C_4 पौधों की विशेषतायें– इन पौधों की आन्तरिक संरचना में अनेक विशेषतायें पाई जाती हैं–

1. C_4 पौधों की पत्तियों के संवहन बंडल में बण्डलशीथ पाई जाती है, जिनकी कोशिकाओं में Chloroplast स्थित होता है।
2. संवहन बंडल के चारों ओर ये कोशिकायें अरीय (Radial) दशा में विन्यस्त होती है।
3. बण्डलशीथ की कोशिकाओं में स्थित क्लोरोप्लास्ट में ग्रेना नहीं पाये जाते लेकिन मीजोफिल कोशिकाओं में ग्रेना पाये जाते हैं।
4. कुछ पौधे जैसे बरमुडा घास (Barmuda grass) की बण्डल शीथ में ग्रेना उपस्थित होते हैं अर्थात् सभी C_4 पौधों में क्लोरोप्लास्ट की द्विरुपता नहीं पाई जाती हैं।
5. C_4 पौधों में पायी जाने वाली यह रचना क्रांज एनाटोमी कहलाती है।

C_3 तथा C_4 पौधों में अनेक भिन्नतायें पाई जाती है जिनमें से प्रमुख भिन्नतायें निम्नलिखित हैं।

सारणी क्र. 3.1

क्र.	C_3 पौधे	C_4 पौधे
1.	इसमें प्रथम स्थाई उत्पाद 3 कार्बन वाला पदार्थ होता है जिसे PGA कहते हैं।	इसमें प्रथम स्थाई उत्पाद 4 कार्बन वाला पदार्थ होता है जिसे OAA कहते हैं।
2.	इसमें CO_2 का स्थिरीकरण एक बार RuDp के द्वारा होता हैं जिससे PGA का निर्माण होता है।	इसमें CO_2 का स्थिरीकरण दो बार होता है। PEP-CO_2 से जुड़कर OAA बनाता हैं दूसरी बार RuDp-CO_2 से जुड़कर PGA बनाता हैं।
3.	इनके लिये 10–25°C अनुकूल तापमान हैं।	इनके लिये 30–40°C अनुकूल तापमान है।

टिप्पणी

4.	CO_2 ग्राही RuDp हैं।	CO_2 ग्राही PEP एवं RuDp हैं।
5.	इनमें क्रांज एनाटॉमी नहीं पाई जाती है।	इनमें क्रांज एनाटॉमी पाई जाती है।
6.	Chloroplast में द्विरुपता नहीं पाई जाती हैं।	इनके Chloroplast में द्विरुपता पाई जाती हैं।
7.	इनमें केवल C_3 पथ चलता हैं।	इनमें C_3 एवं C_4 दोनों पथ चलते हैं।
8.	इसमें Rubisco एन्जाइम उपस्थित होते हैं।	इसमें Rubisco एन्जाइम बंडल शीथ में पाया जाता हैं।
9.	इनमें प्रकाश श्वसन पाया जाता हैं।	इसमें प्रकाश श्वसन नहीं पाया जाता हैं।
10.	इसमें एक ही प्रकार की कोशिकाओं में यह चक्र पूर्ण होता हैं।	इसमें दो प्रकार की कोशिकाओं में यह चक्र पूर्ण होता हैं।
11.	CO_2 के एक अणु अपचयन के लिये 3 ATP और 2 NADP अणुओं की आवश्यकता होती हैं।	CO_2 के एक अणु अपचयन के लिये 5 ATP और 2 NADP अणुओं की आवश्यकता होती है।
12	CO_2 कम्पेन्सेशन बिंदु अधिक होता है।	CO_2 कम्पेन्सेशन बिंदु कम होता है।

3.9 CAM चक्र (CAM Cycle)

इसे क्रेस्यूलेसिन एसिड मेटाबोल्जिम कहते हैं क्योंकि ये पौधें क्रेसूलेसी फैमिली के सदस्य होते हैं। इन पौधों के अंदर रात को कार्बोनिक एसिड बनता हैं और दिन के वक्त रात को बना कार्बोनिक एसिड टूट जाता है। इसीलिये यह एसिड मेटाबोल्जिम कहलाता हैं।

CAM चक्र मांसल मरुद्भिद पौधों जैसे– एलोय, सीडियम (Sedium), ओपंशिया (Opuntia), ब्रायोफिलम (Bryophyllum) आदि में होता है। CAM पौधों में रंध्र रात में खुले रहते हैं तथा दिन के समय बन्द रहते हैं।

CAM पौधें शुष्क स्थितियों के लिए अनुकूलित होते है। इनमें मरूद्भिद लक्षण thick cuticle, sunken stomata, reduced leaves आदि पाये जाते है। चूंकि इनके रंध्र दिन के समय बंद एवं रात्रि के समय खुले रहते हैं अतः इनमें जल संग्रहण की क्षमता बढ़ जाती है।

अम्लीकरण– CAM पौधों में जब रात्रि के समय स्टोमेटा खुले रहते हैं, तब CO_2 का प्रारंभिक स्थिरीकरण होता हैं यह PEP से जुड़कर OAA (ऑक्जेलो एसिटिक एसिड) का निर्माण करता हैं जो कि (4*C*) यौगिक हैं। अब OAA अपचयित होकर मैलिक एसिड में बदल जाता है और $NADPH_2$ ऑक्सीकृत होकर *NADP* में बदलता है। रात के समय बनने वाला मैलिक एसिड रिक्तिका में जाकर संचित हो जाता हैं।

Phosphoenol Pyruvic acid + CO_2 + H_2O ⟶ *Oxaloacetic acid (OAA)* + H_3PO_4

Oxaloactic acid + *NADH* + H^+ ⟶ *Malic acid* + $NADP^+$

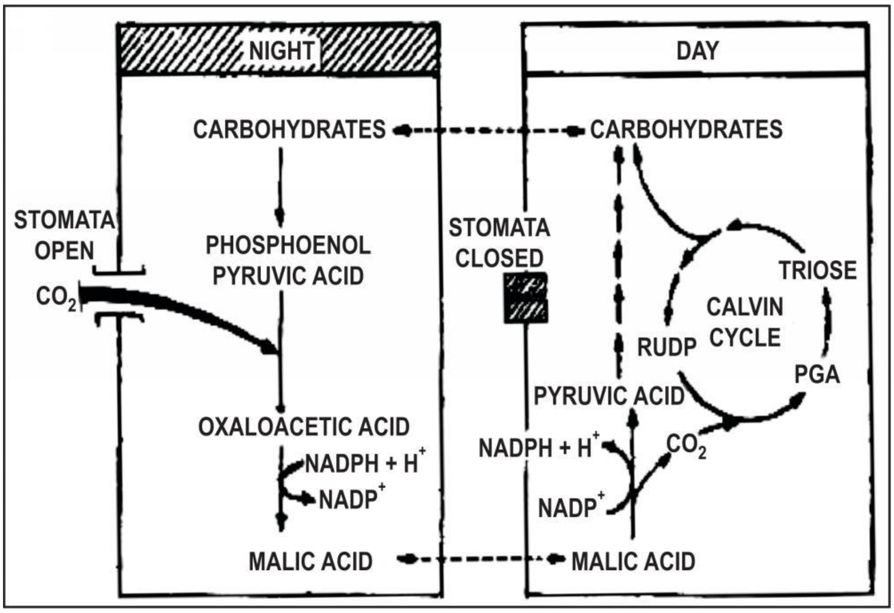
टिप्पणी

रात के वक्त बना Malic Acid दिन में टूट जाता है वह दो उत्पाद बनाता हैं– (1) पायरूविक अम्ल (2) कार्बन डाइऑक्साइड़ बनाता है। यह क्रिया Malic enzyme द्वारा होती है। इसमें $NADP^+$ के एक अणुका अवकरण होता है।

$$Malic\ acid + NADP^+ \xrightarrow{Malic} Pyruvic\ acid + NADPH + H + CO_2$$

यह क्रिया वि–अम्लीकरण (Deacidification) कहलाती हैं। यह क्रिया मैलिक एन्जाइम की उपस्थिति में होती हैं। किन्तु कुछ पौधों में यह क्रिया PEP Carboxy Kinase द्वारा उत्प्रेरित होती हैं।

क्रेब्स चक्र के पथ द्वारा पायरुविक अम्ल का CO_2 में ऑक्सीकरण होता हैं अथवा यह फॉस्फोइनोल पायरुविक अम्ल में पुनः परिवर्तित होकर C_3 चक्र द्वारा शर्करा संश्लेषित करता हैं। मैलिक अम्ल के वि–अम्लीकरण में मुक्त CO_2 राइबुलोज डाइफॉस्फेट द्वारा ग्रहण कर ली जाती हैं तथा C_3 चक्र में इसका स्थिरीकरण हो जाता है।



चित्र क्र. 3.9: CAM पौधो में दिन एवं रात्रि में अम्लीकरण एवं विअम्लीकरण का प्रदर्शन

टिप्पणी

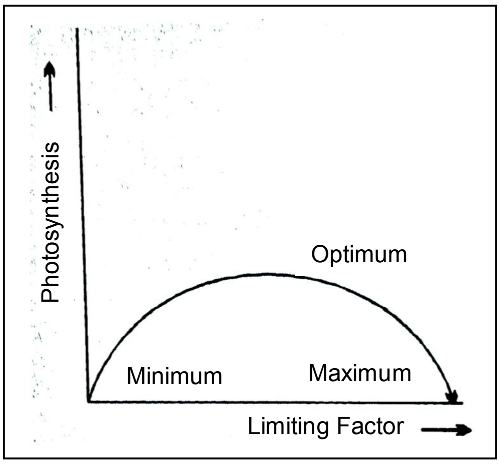
3.10 ब्लैकमैन का सीमाकारक सिद्धान्त (Blackman's Boundary Theory)

सीमाकारक की क्रियाशीलता (Activity of Limiting Factor)

किसी भी प्रकार्यात्मक क्रिया (Physiological function) की दर यदि अनेक कारकों पर निर्भर करती है, तो उस क्रिया के सम्पादित होने की कुशलता सबसे कम मात्रा में उपलब्ध कारक के प्रभाव पर निर्भर करता हैं। उदाहरण के लिए यदि प्रकाश–संश्लेषण को संपन्न करने वाले सभी कारकों में CO_2 की मात्रा कम होती है, तो इसकी मात्रा बढाने पर ही प्रकाश संश्लेषण के दर में अभिवृद्धि होगी। ऐसी स्थिति होने पर CO_2 सीमाकारक कहलायेगा। इसी प्रकार यह स्थिति अन्य कारकों पर भी लागू होती है।

सर्वप्रथम लिबिग (Liebig, 1843) ने न्यूनता का नियम (Law of minimum) दिया तथा कहा कि "किसी उपापचयिक या कार्यिक क्रिया की दर न्यूनतम मात्रा में उपस्थित कारक द्वारा नियन्त्रित होती है।" इसे ही विस्तारित करते हुए **ब्लैकमैन** (Blackman, 1905) ने **सीमाकारकों का सिद्धान्त** (Principle of limiting factors) दिया। **ब्लैकमैन** के इस सिद्धान्त के अनुसार **जब किसी क्रिया की तीव्रता (Rapidity) अनेक पृथक्–पृथक् कारकों द्वारा निर्धारित होती है, तब उस क्रिया की दर न्यूनतम मात्रा में उपस्थित कारकों द्वारा ही परिसीमित (Limited) की जाती है।**

उदाहरणार्थ– यह मान लें कि कोई पौधा प्रकाश–संश्लेषण में 6 mg CO_2 का उपयोग प्रति घण्टा कर सकती है और उपलब्ध प्रकाश की तीव्रता इतनी है कि वह 5 mg CO_2 का ही उपयोग कर पाएगा। ऐसी स्थिति में CO_2 की मात्रा बढाते रहने पर प्रकाश संश्लेषण की दर बढती चली जायेगी, लेकिन बाद में यह रूक जायेगा, क्योंकि प्रकाश तीव्रता सीमाकारी बन जाएगा। ऐसी स्थिति में प्रकाश संश्लेषण की दर तभी बढ पायेगी, जब CO_2 के साथ–साथ प्रकाश तीव्रता भी बढायी जायेगी तब ही प्रकाश–संश्लेषण की दर बढ पायेगी। इसी तरह तीव्रता एवं CO_2 सान्द्रण दोनों को क्रमशः बढाते चले जायें तो क्लोरोफिल की उपलब्धता सीमाकारी हो जाती है।



चित्र क्र. 3.10: सीमाकारी सिद्धान्त

टिप्पणी

3.11 प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Photosynthesis)

1. **प्रकाश**– प्रकाश संश्लेषण की क्रिया लाल व नीले प्रकाश में सबसे अधिक होती हैं जब कि पराबैंगनी, हरी, पीली व अवरक्त प्रकाश में नहीं होता हैं। प्रकाश संश्लेषण की क्रिया तीव्रता पर बढ़ती है परन्तु जैसे–जैसे तीव्रता उच्च हो जाती है यह क्रिया घटने लगती हैं। क्योंकि प्रकाश की अधिक तीव्रता में क्लोरोफिल एवं कोशिकाओं के जीवद्रव्य अक्रियाशील हो जाते है।

2. **तापमान**– प्रकाश संश्लेषण में अनेकों एन्जाइम क्रियायें होती है। एन्जाइम तापक्रम के एक अनुकूल परा सीमा तक ही क्रियाशील होते हैं अर्थात् 0°C से 35°C तक तापक्रम बढ़ने पर प्रकाश संश्लेषण की दर बढ़ती है लेकिन जैसे ही तापक्रम 35°C से ऊपर जाता है यह दर घटने लगती है।

3. **कार्बन डाइऑक्साइड़ (CO_2)**– CO_2 की सान्द्रता बढ़ने पर प्रकाश संश्लेषण की दर बढ़ती हैं लेकिन CO_2 की सान्द्रता कम होने पर प्रकाश संश्लेषण की दर भी घटने लगती है। पौधों द्वारा अवशोषित कार्बन डाइऑक्साइड़ (CO_2) कोशिकाओं में उपस्थित क्लोरोप्लास्ट्स में घुलित CO_2 अथवा कार्बोनिक अम्ल (Carbonic acid) के रुप में पहुँचती हैं। वायुमण्डलीय CO_2 निरन्तर पौधों द्वारा प्रकाश संश्लेषण क्रिया में प्रयोग होती रहती हैं।

4. **जल**– जल के अभाव की स्थिति में प्रकाश संश्लेषण की दर रूक जाती हैं क्योंकि ऐसा वाष्पोत्सर्जन की दर कम करने के लियें रंध्रों के बंद रहने को कारण होती हैं। इससे जल का प्रवेश रुक जाता है और प्रकाश संश्लेषण की क्रिया पर बुरा प्रभाव पड़ता हैं।

5. **ऑक्सीजन**– वायुमण्डल में लगभग 21 प्रतिशत ऑक्सीजन होती हैं। यद्यपि O_2 की मात्रा का प्रकाश–संश्लेषण पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता, किन्तु यह देखा गया है कि यदि ऑक्सीजन की प्रतिशत मात्रा वायुमण्डल में बढ़ जाती हैं तो प्रकाश–संश्लेषण दर कम होने लगती हैं।

6. **रासायनिक पदार्थों का प्रभाव**– पौधों में उपस्थित कुछ रासायनिक पदार्थ एन्जाइम की क्रिया घटाने लगते हैं। हाइड्रोसायनिक अम्ल, हाइड्रॉक्सीलेमीन, हाइड्रोसल्फाइड आदि रासायनिक पदार्थ प्रकाश–संश्लेषण में भाग लेने वाले एन्जाइम की क्रियाओं को कम कर देते हैं। बहुत कम मात्रा में क्लोरोफॉर्म ईथर उपस्थित होने पर प्रकाश–संश्लेषण की दर बहुत कम हो जाती हैं।

टिप्पणी

3.12 प्रकाशीय श्वसन (Photorespiration) अथवा C_2 अथवा ग्लाइकोलेट चक्र (Glycolate Cycle)

यह C_3 पौधों में होने वाली बहुत महत्वपूर्ण प्रक्रिया हैं। ''इस प्रक्रिया में CO_2 मुक्त होती हैं क्योंकि यह प्रक्रिया प्रकाश की उपस्थिति में होती हैं एवं प्रकाश–संश्लेषण से जुड़ी होने के कारण इसे फोटोरेस्पिरेशन कहते हैं।''

प्रसिद्ध वैज्ञानिक ऑटो वारबर्ग (Otto Warburg 1920) ने बताया कि वायुमण्डल में O_2 की अधिक मात्रा उपस्थित होने पर शैवालों में प्रकाश संश्लेषण संदमित (Inhibit) हो जाता हैं।

प्रकाश संश्लेषण में O_2 के उच्चस्तर के कारण संदमन (Inhibition) वारबर्ग प्रभाव (Warburg effect) कहलाता हैं।

अगर पौधे के पास CO_2 की सान्द्रता ज्यादा होगी तो पौधों में सामान्य प्रक्रिया होती रहती है। अगर O_2 की सान्द्रता ज्यादा है तो फोटोरेस्पिरेशन होता हैं।

फोटोरेस्पिरेशन की प्रक्रिया कोशिका के तीन कोशिकांगों में संपन्न होती है–

1. क्लोरोप्लास्ट (Chloroplast)
2. परऑक्सीसोम (Peroxysome)
3. माइटोकॉण्ड्रिया (Mitochondria)

1. क्लोरोप्लास्ट (Chloroplast)– इसके अंदर RuDp 1,5 diphosphate O_2 के साथ अभिक्रिया करके दो उत्पाद निर्मित करता हैं। 2 phosphoglycolic acid एवं 3 phosphoglyceric acid

$$\textit{Ribulose 1.5 Diphoshate} + O_2 \longrightarrow \textit{2 Phosphoglycolic acid} + \textit{3 Phosphoglyceric acid}$$

यह 2 फॉस्फोग्लाइकोलिक अम्ल फॉस्फेटेज एन्जाइम की उपस्थिति में एक फॉस्फेट समूह की हानि करता हैं तथा ग्लाइकोलिक अम्ल में परिवर्तित हो जाता हैं।

$$\textit{2 Phosphoglyceric acid} + H_2O \longrightarrow \textit{Glycolic acid} + \textit{Phosphoric acid}$$

2. परऑक्सीसोम ग्लाइकोलिक अम्ल– (जो कि प्रकाश संश्लेषण का पूर्व उत्पाद है) परऑक्सीसोम में स्थानान्तरित कर दिया जाता हैं। ग्लाइकोलिक अम्ल O_2 से प्रतिक्रिया करके ग्लाइऑक्सीलिक अम्ल तथा हाइड्रोजन परऑक्साइड में ऑक्सीकृत हो जाता हैं। यह क्रिया ग्लाइकोलिक अम्ल ऑक्सीडेज एन्जाइम की सहायता से पूर्ण होती हैं।

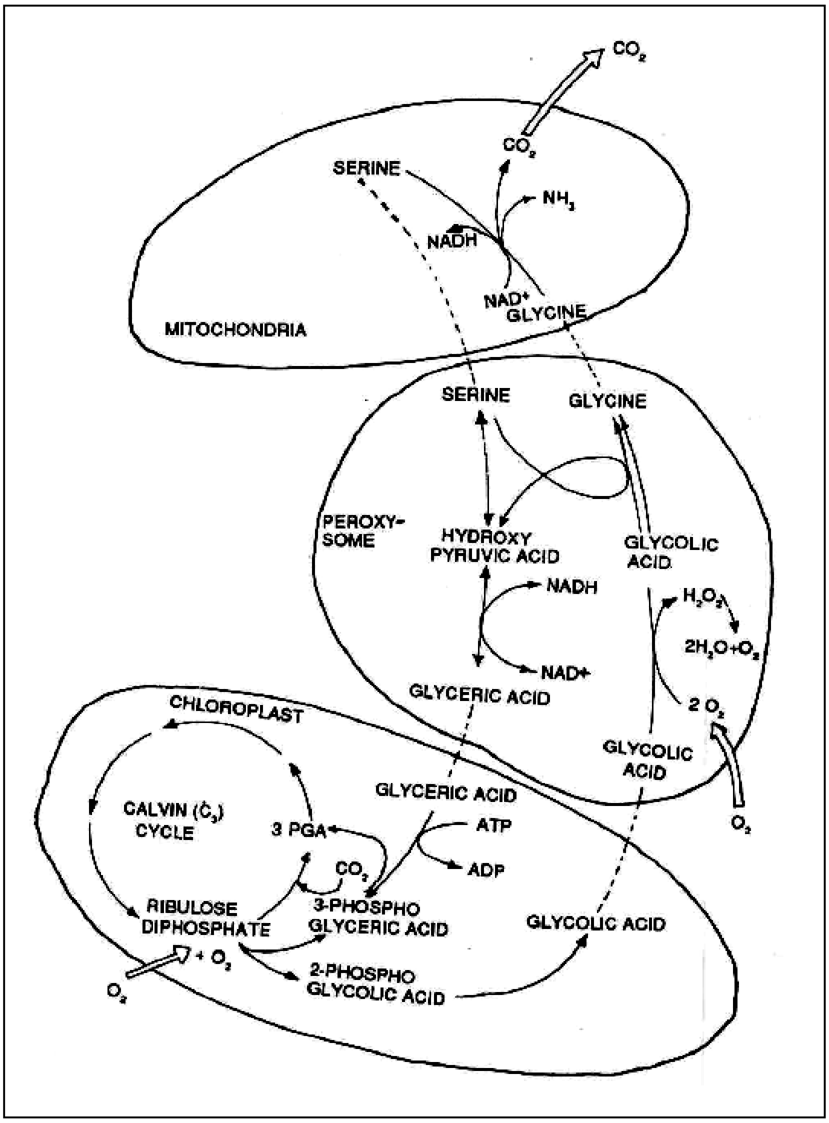
$$\textit{Glycolic acid} + O_2 \longrightarrow \textit{Glycolic acid} + H_2O_2 \; 2H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O_2 + O_2$$

टिप्पणी

H_2O_2 एक एन्जाइम केटेलेज द्वारा नष्ट कर दिया जाता हैं। ग्लाइऑक्सीलिक अम्ल, ट्रान्सएमीइनेशन प्रक्रिया द्वारा एक अमीनो अम्ल ग्लाइसीन में परिवर्तित हो जाता हैं। इस क्रिया को ग्लूटामेटग्लाइऑक्सीलेट ट्रान्सएमीनेज नामक एन्जाइम उत्प्रेरित करता हैं।

$$Glyoxylic\ acid + Glutamic\ acid \longrightarrow Glycin + \alpha - Ketoglutaricacid$$

3. माइटोकॉण्ड्रिया– ग्लाइसीन माइटोकॉण्ड्रिया में स्थानान्तरित हो जाती है जहाँ पर ग्लाइसीन के अणु अन्योन्य क्रिया करके सेरीन के अणु का निर्माण करता हैं।



चित्र क्र. 3.11: प्रकाश संश्लेषण फोटो रेस्पिरेशन के विभिन्न चरण

$$2Glycine + H_2O + NAD^+ \longrightarrow Serine + CO_2 + NH_3 + NADH_2$$

टिप्पणी

माइटोकाण्ड्रिया से प्रकाशीय श्वसन में CO_2 मुक्त हो जाती हैं। ग्लाइसीन डी–कार्बोक्सीलेशन के समय मुक्त हुई NH_3 का स्थानान्तरण कोशिकाद्रव्य अथवा क्लोरोप्लास्ट में हो जाता हैं जहाँ पर यह NH_3 ग्लूटेमिक अम्ल के संश्लेषण में सहायक होता हैं।

अमीनो अम्ल सेरीन परऑक्सीसोम में फिर वापस आ जाता हैं जहाँ पर यह विअमोनीकृत तथा अवकृत होकर हाइड्रॉक्सीपायरुविक अम्ल और अन्त में ग्लिसरिक अम्ल का निर्माण करते हैं–

Serine + Glyoxylic acid ⟶ *Hydroxypyruvic acid + Glycine*

Hydroxypyruvic acid + $NADH_2$ ⟶ *Glyceric acid + NAD*

अन्त में ग्लिसरिक अम्ल क्लोरोप्लास्ट में प्रवेश करता हैं तथा फॉस्फोरिलीकृत होकर 3–फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल बनाता है जो C_3 चक्र में चला जाता हैं।

Glyceric acid + ATP ⟶ *3Phosphoglyceric acid*

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

1. हरित लवक पाया जाता हैं।
   (अ) माइटोकॉण्ड्रिया (ब) क्लोरोप्लास्ट
   (स) साइटोक्रोम (द) सायटोप्लाज्म
2. प्रकाश संश्लेषण के द्वारा बना उत्पाद होता हैं।
   (अ) ग्लूकोज (ब) प्रोटीन
   (स) वसा (द) फ्रक्टोज
3. C_4 चक्र किस वैज्ञानिक ने प्रतिपादित किया।
   (अ) हिन (ब) केल्विन
   (स) हैच एवं स्केल (द) आखन
4. निम्न में से C_4 पौधा कौनसा है।
   (अ) मक्का (ब) आलू
   (स) मटर (द) पपीता
5. प्रकाश संश्लेषण में ऑक्सिजन (O_2) निकलती है। जिसका स्रोत है।
   (अ) CO_2 (ब) H_2O
   (स) ग्लूकोज (द) कोई नहीं

टिप्पणी

3.13 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर (Answer to Check Your Progress)

1. (ब)
2. (अ)
3. (स)
4. (अ)
5. (ब)

3.14 सारांश (Summary)

प्रकाश संश्लेषण हरे पौधों में होने वाली ऐसी उपचयिक क्रिया है जिसके द्वारा अकार्बनिक सरल यौगिकों (जल तथा कार्बन डाइऑक्साइड़) को प्रकाशीय ऊर्जा के द्वारा कार्बोहाइड्रेटस के रुप में बदल दिया जाता है–

- इस इकाई के अध्ययन करने से यह ज्ञात हुआ कि ATP एक प्रकाश ऊर्जा अणु है जो ATP में एक फॉस्फेट ग्रुप के जुडने से बनता है तथा इसी क्रिया को फॉस्फोराइलेशन कहा जाता है।
- इस इकाई के अध्ययन के द्वारा यह ज्ञात हुआ है कि पादपों में प्रकाश ऊर्जा का अवशोषण सामान्यतः वर्णक के नाम से जाना जाता है। पादप जगत के सदस्यों में पाए जाने वाले मुख्य प्रकाश संश्लेषी वर्णक क्लोरोफिल, केरोटीनॉइड एवं फाइकोबिलिन है।
- केल्विन चक्र की कार्यप्रणाली के बारे में पता चलता है तथा पौधों के दो प्रकारों C_3 पौधों एवं C_4 पौधों में अंतर का ज्ञान होता है।

3.15 मुख्य शब्दावली (Key Terminology)

- **प्रकाश संश्लेषणः** प्रकाश संश्लेषण वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा हरे पौधे सूर्य के प्रकाश की उपस्थिति में जल एवं कार्बन डाइऑक्साइड़ के संयोग से कार्बोहाइड्रेट का निर्माण करते हैं तथा इस प्रक्रिया में उत्पाद के रूप में ऑक्सीजन निर्मुक्त होती है।
- **प्रकाश संश्लेषी वर्णकः** पादपों में प्रकाश ऊर्जा का अवशोषण सामान्यतः वर्णकों के द्वारा किया जाता है अतः इन्हें प्रकाश संश्लेषी वर्णक के नाम से जाना जाता है।
- **प्रकाश का फॉस्फोरिलिकरणः** जब उच्च ऊर्जा युक्त इलेक्ट्रॉन, इलेक्ट्रॉन परिवहन तंत्र में निम्न स्तर पर जाते हैं तो वे ऊर्जा मुक्त करते हैं यह ऊर्जा अकार्बनिक फॉस्फेट (*ip*) को ADP से जोड़कर ATP बनाती है तथा यह

प्रक्रिया फॉस्फोराइलेशन कहलाती है। क्योंकि यह प्रकाश की उपस्थिति में होती है। अतः इसे प्रकाश–फॉस्फोरिलीकरण कहते हैं।

टिप्पणी

- **केल्विन चक्रः** प्रकाश संश्लेषण के दौरान प्रोटोप्लास्ट में होने वाली रासायनिक प्रक्रियाओं का एक समूह होता है इसे केल्वीन चक्र कहा जाता है।

3.16 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास (Self Assessment Questions and Exercises)

लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. CAM चक्र को समझाइए।
2. C_3 तथा C_4 चक्र में तुलना कीजिए।
3. दो वर्णकों पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए।
4. चक्रीय तथा अचक्रीय फोटोफॉस्फोराइलेशन को समझाइए।

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Type Questions)

1. प्रकाश संश्लेषण किसे कहते हैं? प्रकाश संश्लेषण की प्रक्रिया को समझाइए।
2. प्रकाशीय श्वसन किसे कहते हैं? इसकी प्रक्रिया को समझाइए।
3. प्रकाश संश्लेषण को प्रभावित करने वाले कारकों को विस्तार पूर्वक समझाइए।
4. केल्विन चक्र के माध्यम से कार्बन स्वांगीकरण की क्रिया को समझाइए।

3.17 सहायक पाठ्य सामग्री (Suggested Readings)

1. Function of Plant Physiology, Fourth Edition, William G. Hopkins German P.A. Honer.
2. यूनिफाइड वनस्पति विज्ञान, एस.वी अग्रवाल।
3. Plant Physiology, Third Edition Taiz & Zeiger.

टिप्पणी

इकाई 4 श्वसन (Respiration)

संरचना (Structure)

4.0 परिचय
4.1 उद्देश्य
4.2 परिभाषा
4.2.1 श्वसन के प्रकार
4.2.2 ऑक्सी श्वसन व अनॉक्सी श्वसन में अंतर
4.3 माइटोकॉण्ड्रिया
4.3.1 माइटोकॉण्ड्रिया की परासंरचना
4.4 श्वसन की क्रियाविधि
4.4.1 ग्लाइकोलाइसिस (ई. एम. पी. पथ)
4.4.2 अनॉक्सी श्वसन किण्वन में पायरूविक अम्ल का भविष्य
4.4.3 ऑक्सी श्वसन में विभिन्न प्रद तथा क्रेब चक्र
4.5 पेण्टोज फॉस्फेट पथ
4.6 इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र एवं ऑक्सीडेटिव फॉस्फोराइलेशन
4.7 श्वसन गुणांक या श्वसन अनुपात तथा श्वसन पदार्थ
4.7.1 श्वसन गुणांक व प्रकाश संश्लेषण गुणांक में अंतर
4.7.2 गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर द्वारा श्वसन पदार्थों का श्वसन भागफल ज्ञात करना
4.8 श्वसन पर प्रभाव डालने वाले कारक
4.9 रिडॉक्स विभव
4.10 ATP संश्लेषण के विभिन्न सिद्धान्त
4.11 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
4.12 सारांश
4.13 मुख्य शब्दावली
4.14 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
4.15 सहायक पाठ्य सामग्री

4.0 परिचय (Introduction)

सभी जीवधारी श्वसन क्रिया द्वारा ऑक्सीजन गैस ग्रहण करते है, तथा कार्बन डाइऑक्साइड़ को बाहर निकालते है। श्वसन क्रिया के द्वारा भोजन का ऑक्सीकरण होता है। भोजन के ऑक्सीकरण के द्वारा उत्पाद के रूप में कार्बन डाइऑक्साइड़ जल तथा ऊर्जा बनती है। इस ऊर्जा का उपयोग जीवधारियों के द्वारा जैविक क्रियाओं के लिए किया जाता है।

हरे पौधों में प्रकाश–संश्लेषण की प्रक्रिया होती है। जिसके द्वारा सभी हरे पौधे सौर ऊर्जा को ग्रहण करके अपना भोज्य पदार्थ बनाते है। सूर्य की ऊर्जा जीवधारियों के लिए ऊर्जा स्रोत होता हैं। जीवों में सभी प्रकार की जैविक क्रियाएँ ऊर्जा के द्वारा संपन्न होती है। जीवन की जैविक क्रियाओं के लिए हरे पौधों मे प्रकाश–संश्लेषण के द्वारा भोज्य पदार्थों का निर्माण होता है तथा इनका

ऑक्सीकरण होता है, जिसके फलस्वरूप ऊर्जा निकलती है। इसी प्रक्रिया को श्वसन कहते है।

टिप्पणी

4.1 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई को पढने के पश्चात आप–

- श्वसन, श्वसन तंत्र आदि के बारे में समझेंगे।
- माइटोकॉण्ड्रिया श्वसन की क्रियाविधि किण्वन एवं श्वसन क्रिया पर प्रभाव डालने कारक का भी ज्ञान प्राप्त हो सकेंगा।
- इसके द्वारा श्वसन गुणांक संबंधी जानकारी भी प्राप्त हो सकेंगी।
- इस इकाई के द्वारा कोशकीय श्वसन का ज्ञान प्राप्त हो सकेंगा।

4.2 परिभाषा (Definition)

"श्वसन एक जैविक क्रिया है। जो पौधों की सभी जीवित कोशिकाओं में पायी जाती है। विशेष रूप से वृद्धि करने वाले पौधों के अंगों में इसकी दर अधिक होती है।

श्वसन एक ऐसी प्रक्रिया है जिससे श्वसन पदार्थों (जटिल पदार्थों) का ऑक्सीकरण होता है। जिससे जटिल पदार्थ सरल पदार्थ में परिवर्तित हो जाता है। एवं इसके फलस्वरूप ATP का निर्माण होता है तथा CO_2 रिलीज होती है। यह एक प्रकार का ऑक्सीडेटिव केटाबोलिज्म है।

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow[Chlorophyll]{light} C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \text{ (प्रकाश संश्लेषण)}$$

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673kcal \text{ (श्वसन)}$$

4.2.1 श्वसन के प्रकार (Types of Respiration)

श्वसन मुख्यतः दो प्रकार का होता है–

1. ऑक्सी श्वसन (Aerobic Respiration)
2. अनॉक्सी श्वसन (Anaerobic Respiration)

1. ऑक्सी श्वसन– ऑक्सीजन की उपस्थिति में होने वाला श्वसन, ऑक्सी श्वसन कहलाता है। ऑक्सीजन की उपस्थिति के कारण भोज्य पदार्थों का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है। जिससे पदार्थों के पूर्ण ऑक्सीकरण के कारण कार्बन डाइऑक्साइड़ तथा ऊर्जा उत्पन्न होती है। जिसे हम निम्न समीकरण के द्वारा प्रदर्शित करते हैं।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy(673k)$$

टिप्पणी

2. अनॉक्सी श्वसन– ऐसी प्रक्रिया जिसमें ऑक्सीजन की उपस्थिति की आवश्यकता नहीं होती है, अनॉक्सी श्वसन कहलाता है। इसमें पौधे ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में कार्बन डाइऑक्साइड़ (CO_2) को बाहर निकालते है। इसमें बनने वाला उत्पाद अल्कोहल होता है।

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_2OH + 2CO_2 + Energy\left(28k\right)$$

उदाहरण– कवक, यीस्ट, जीवाणु आदि।

किण्वन– कवक यीस्ट तथा जीवाणु में अनॉक्सी श्वसन की प्रक्रिया होती है। जिसे किण्वन कहते है।

4.2.2 ऑक्सी श्वसन व अनॉक्सी श्वसन में अंतर (Difference Between Aerobic and Anaerobic Respiration)

सारणी क्र. 4.1

क्र.		ऑक्सी श्वसन	अनॉक्सी श्वसन
1.	ऑक्सीजन	ऑक्सी श्वसन में ऑक्सीजन की आवश्यकता होती है।	अनॉक्सी श्वसन की प्रक्रिया ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होती है।
2.	उत्पाद	ऑक्सीजन की उपस्थिति द्वारा उत्पाद के रूप में CO_2 (कार्बन डाइऑक्साइड़) तथा जल बनता है।	अनॉक्सी श्वसन के द्वारा उत्पाद के रूप में ऐथिल ऐल्कोहल तथा कार्बन डाइऑक्साइड़ (CO_2) बनता है।
3.	ऑक्सीकरण	ऑक्सीजन की उपस्थिति के कारण भोज्य पदार्थों (ग्लूकोज) का पूर्ण ऑक्सीकरण होता हैं।	ऑक्सीजन की अनुपस्थिति के फलस्वरूप भोज्य पदार्थों का अपूर्ण ऑक्सीकरण होता है।
4.	पौंधों की श्रेणी	यह उच्च श्रेणी में आने वाले पौधों में होती है।	यह उच्च श्रेणी के पौधों तथा विभिन्न प्रकार के सूक्ष्म जीवों में पायी जाती है।
5.	कोशिकाएँ	यह पौधों की जीवित कोशिकाओं में होता है।	यह पौधों के कुछ अंगो जैसे– अंकुरित होने वाले बीजो एवं फलो की कोशिकाओं में होता है।
6.	ऊर्जा का उत्पादन	ऑक्सी श्वसन के द्वारा अधिक मात्रा में ऊर्जा का उत्पादन होता हैं। (लगभग– 673 K.Cal.)	अनॉक्सी श्वसन के द्वारा ऑक्सी श्वसन की अपेक्षा कम ऊर्जा का उत्पादन होता हैं (लगभग– 28 K.Cal)

टिप्पणी

7.	ATP	इसमें 38 ऊर्जा के अणु बनते है। अर्थात अधिक ऊर्जा मुक्त होती है।	इसमें ATP के 2 अणुओं के रूप ऊर्जा मुक्त होती है।
8.	विषाक्त/ विषैली	यह पौधों के लिए विषाक्त नहीं होती है।	यह पौधों के लिए विषाक्त हो सकती है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

1. अनॉक्सी श्वसन होता है।
   (अ) O_2 की उपस्थिति में
   (ब) CO_2 की उपस्थिति में
   (स) O_2 की अनुपस्थिति में
   (द) इनमें से कोई नहीं
2. ऑक्सी श्वसन में निकलने वाली ऊर्जा की मात्रा होती है।
   (अ) 673 किलो कैलोरी
   (ब) 28 किलो कैलोरी
   (स) 300 किलो कैलोरी
   (द) 763 किलो कैलोरी

4.3 माइटोकॉण्ड्रिया (Mitochondria)

आकृति एवं आकार

माइटोकॉण्ड्रिया कोशिकीय श्वसन के कार्यस्थल हैं जिनमें कार्बनिक अम्लों का ऑक्सीकरण होता है। माइटोकॉण्ड्रिया का व्यास 0.5 से 10 μ तक तथा इसकी लम्बाई 1.5μ से 5μ तक होता है। माइटोकॉण्ड्रिया की संख्या किसी भी कोशिका के क्रियात्मक अवस्था पर आधारित होती है। एक प्रकार की कोशिका में विभिन्न प्रकार की आकृतियाँ पायी जाती है जो भिन्न–भिन्न समय पर भिन्न–भिन्न होती है। माइटोकॉण्ड्रिया मुग्दाकार, तन्तुमय, कणिकामय, तथा छड़नुमा होते है।

संख्या व स्थिति

किसी कोशिका में माइटोकॉण्ड्रिया की संख्या कितनी है इसका निर्धारण उस कोशिका की क्रियाशीलता के द्वारा होता है। माइटोकॉण्ड्रिया की संख्या ऐसी कोशिका में अत्याधिक होती है, जिनमें अधिक उपापचयी क्रियाएँ पायी जाती हैं।

सामान्यतः कोशिका में माइटोकाण्ड्रिया की संख्या लगभग 200 से 300 के मध्य पायी जाती है। परन्तु कुछ शैवालों में केवल एक ही माइटोकॉण्ड्रिया पाया जाता है।

टिप्पणी

उदाहरण– माइक्रोसिस्टिस में प्रत्येक कोशिका में एक ही माइटोकॉण्ड्रिया उपस्थित होता है।

सामान्यतः कोशिका में माइटोकॉण्ड्रिया कोशिका द्रव्य में बिखरे रहते हैं। तथा कोशिकाद्रव्य का ऐसा स्थान जहाँ उपापचयी क्रिया होती है। उस स्थान पर माइटोकॉण्ड्रिया अधिक पाए जाते है।

4.3.1 माइटोकॉण्ड्रिया की परासंरचना (Mitochondria Infrastructure)

माइटोकॉण्ड्रिया की इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी के द्वारा अध्ययन करने पर यह ज्ञात हुआ कि प्रत्येक माइटोकॉण्ड्रिया में दो कक्ष तथा दो सीमा कारक झिल्लियाँ पायी जाती है।

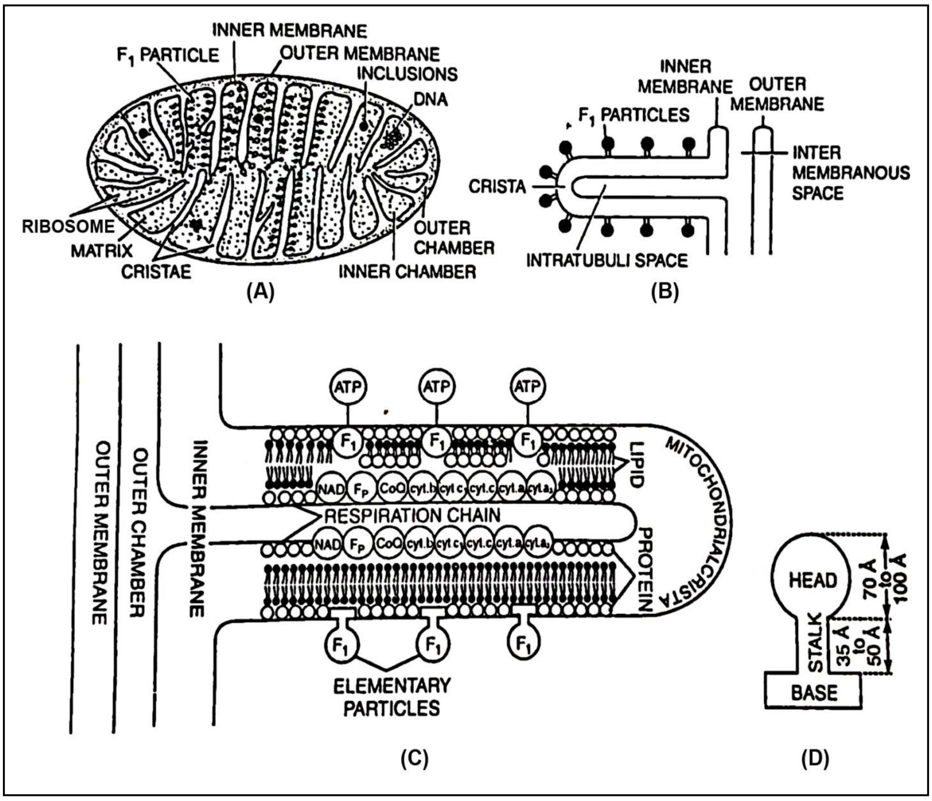
माइटोकॉण्ड्रिया झिल्लियाँ

- प्रत्येक माइटोकॉण्ड्रिया में दो सीमाकारक झिल्लियाँ पायी जाती है। यह झिल्लियाँ बाहय तथा आंतरिक झिल्लियाँ होती हैं। जो लिपोप्रोटीन की बनी होती है। इसकी संरचना इकाई झिल्ली की तरह होती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया की बाहय झिल्ली प्रोटीन तथा लिपिड की बनी होती है। जिसमें प्रोटीन की मात्रा कम होती है। तथा लिपिड की मात्रा अधिक होती है।
- माइटोकाण्ड्रिया की बाहय झिल्ली वृहत् अणुओं जैसे– शर्करा, जल आदि के लिए पारगम्य होती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया की बाहय झिल्ली समतल होती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया की आंतरिक झिल्ली भी प्रोटीन तथा लिपिड की बनी होती है, जिसमें प्रोटीन की मात्रा अधिक होती है। तथा लिपिड की मात्रा कम होती है। यह आंतरिक झिल्ली अणुओं के लिए अर्धपारगम्य होती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया की आंतरिक झिल्ली अंदर की ओर से अंगुलियो के समान वलन बनाती है। जिन्हें क्रिस्टी कहते है।
- जन्तुओं में पाए जाने वलनों को सूक्ष्मांकुर कहते है। क्योंकि वलन की संरचना नली के समान होती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया की क्रिस्टी अशाखित या शाखित रूप में पायी जाती है।
- माइटोकॉण्ड्रिया के आकार तथा उसकी उपापचयी क्रिया की परस्पर क्रिस्टी की संख्या एवं उसकी लम्बाई निर्भर करती है।

टिप्पणी

- ऐसी कोशिकाएँ जिनमें श्वसन की क्रिया सक्रिय रूप से पायी जाती है, उन कोशिकाओं के माइटोकॉण्ड्रिया की क्रिस्टी की संरचना लम्बी एवं अधिक संख्या होती है।

माइटोकॉण्ड्रिया की आंतरिक की भीतरी सतह N- फेस कहलाती है। तथा इसकी बाहरी सतह C- फेस कहलाती है। माइटोकाण्ड्रिया की आंतरिक (N-phase) सतह पर रैकिट के समान संरचना पायी जाती है। जो संख्या में असंख्य होते है। यह सूक्ष्म कण कहलाते हैं। यह सूक्ष्म कण 70 से 100Å की लम्बाई वाले होते जो एक – दूसरे से लगभग 100Å की दूरी पर स्थित रहते है। जिन्हें ऑक्सीसोम (Oxysome) कहते है। ऑक्सीसोम के अतिरिक्त आंतरिक कला उपइकाई (Inner membrane sub-unit), प्रारम्भिक कण (Elementary particles) या कणिकाएँ तथा फर्नाण्डिज मोस की उप–इकाई कहा जाता है। इन F_1 कणिकाओं में कुछ ऐसे एन्जाइम उपस्थित होते है, जिनका उपयोग इलेक्ट्रॉन अभिगयन तंत्र तथा ऑक्सीकारक फॉस्फोरिलीकरण में किया जाता है।



चित्र क्र. 4.1: माइटोकॉण्ड्रिया– (A) माइटोकॉण्ड्रिया की त्रिविम संरचना, (B) एक क्रिस्टी की संरचना, (C) एक क्रिस्टी की विस्तृत संरचना, (D) एक F_1 कण

यह F_1 कण इलेक्ट्रॉन अभिगमन तंत्र में उपयोगी एन्जाइम होते है। अतः पार्सन्स 1963 नाम वैज्ञानिक ने इन्हें इलेक्ट्रॉन अभिगमन कण नाम दिया।

ऑक्सीसोम के मुख्यतः तीन भाग होते हैं।

- F_0 कण अथवा शीर्ष
- $F_5 - F_6$ कण वृन्त
- F_1 कण अथवा शीर्ष

- F_0 कण $\rightarrow$ F_0 कण के द्वारा ऑक्सीसोम मेम्ब्रेन में फिक्स रहता है। यह सबसे निचला भाग है या आधार है।
- $F_5 - F_6$ कण $\rightarrow$ यह हिस्सा उपर वाले भाग तथा नीचे आधारीय भाग को जोड़ने का कार्य करता है।
- शीर्ष अथवा F_1 कण $\rightarrow$ यह वृन्त के उपर स्थित होता है। यह आकार में गोल होता है। इसमें एन्जाइम पाया जाता है। इन एन्जाइम का नाम ATP ऐस या ATP सिन्थेटैज एन्जाइम पाए जाते है।

माइटोकॉण्ड्रियल कक्ष

माइटोकॉण्ड्रिया कों भीतरी झिल्ली दो भागों में विभाजित होती है। इन दोनों झिल्लियों के बीच के स्थान को पेरीमाइटोकॉण्ड्रियल स्थान कहते है। इसकी चौड़ाई लगभग 80Å होती है। जिसमें तरल द्रव्य भरा होता है। इसका घनत्व कम होता है।

माइटोकॉण्ड्रियल कक्ष की आन्तरिक झिल्ली के द्वारा घिरा हुआ एक बड़ा स्थान पाया जाता है। यह स्थान आन्तरिक कक्ष होता है, जिसमें संमांग प्रोटीन का जलीय पदार्थ पाया जाता है। जिसे मैट्रिक्स या माइटोकॉण्ड्रियल मैट्रिक्स कहते है। इसमें ऐसे एन्जाइम पाए जाते है, जो प्रोटीन के संश्लेषण, वसा के संश्लेषण तथा TCA चक्र के लिए जरूरी होते है।

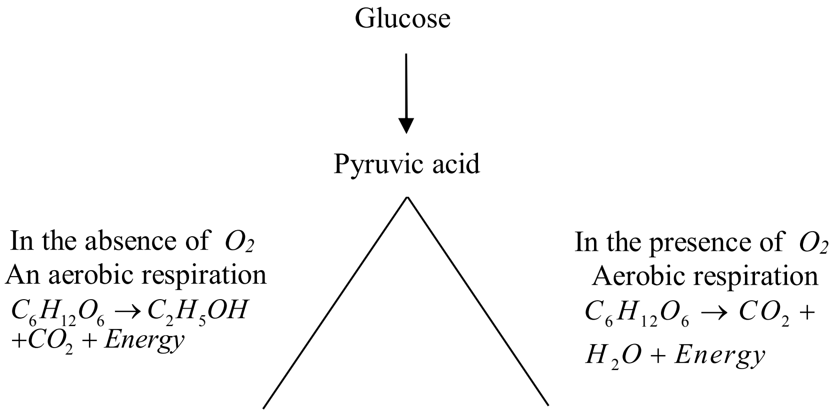
4.4 श्वसन की क्रियाविधि (Respiration Mechanism)

श्वसन में कार्बोहाइड्रेट एवं ग्लूकोज के विघटन की प्रक्रिया होती है। इसमें ऑक्सी श्वसन के द्वारा तथा अनॉक्सी श्वसन के द्वारा कुछ रासायनिक क्रियाएँ होती हैं। जिसमें ग्लूकोज के अणु का विघटन होता है। ग्लूकोज के विघटन होने से पायरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण होता है। ग्लूकोज के एक अणू के विघटन के द्वारा पायरूविक अम्ल के निर्माण की प्रक्रिया को ग्लाइकोलाइसिस कहते है। यह एक अनॉक्सी श्वसन की प्रक्रिया होती है। जिसमें ऑक्सीजन की

आवश्यकता नहीं होती है। पायरूविक अम्ल बनने के बाद ऑक्सी तथा अनॉक्सी श्वसन अलग–अलग होते हैं। अतः श्वसन की क्रियाविधि निम्नानुसार होती है–

टिप्पणी

1. ग्लाइकोलिसिस– ग्लूकोज का 1 अणु पायरूविक अम्ल के दो अणुओं में बदलता है।
2. ग्लाइकोलाइसिस के द्वारा निर्मित पायरूविक अम्ल का पूर्ण ऑक्सीकरण होता है। यह ऑक्सीकरण O_2 की उपस्थिति में पूर्ण होता है, जिससे कार्बन डाइऑक्साइड़ एवं जल का निर्माण होता है।
3. पायरूविक अम्ल के अणुओं के ऑक्सीकरण के द्वारा जल तथा कार्बन डाइऑक्साइड़ के निर्माण की प्रक्रिया को TCA साइकिल या क्रेब्स चक्र कहा जाता है। क्रेब चक्र माइटोकॉण्ड्रिया में संपन्न होती है।
4. अगर पायरूविक अम्ल को ऑक्सीजन नही मिलती है, तो इससे बनने वाला उत्पाद एथिल एल्कोहल तथा कार्बन डाइऑक्साइड़ होता है। जिसे अपूर्ण ऑक्सीकरण कहते है। जो एल्कोहलिक फर्मेंटेंशन कहलाता है जैसे– यीस्ट में जबकि कुछ जीवाणुओं में यह लैक्टिक अम्ल में परिवर्तित हो जाता है उसे अनॉक्सी श्वसन कहते है।



4.4.1 ग्लाइकोलाइसिस (ई. एम. पी. पथ) (Glycolysis-EMP Pathway)

इसे सामान्यतः ई. एम. पी. पथ ग्लाइकोलाइसिस चक्र, कोशिकाद्रव्यी श्वसन आदि कहते है। यह एक प्रकार की अनॉक्सी क्रिया होती है। यह कोशिका द्रव्य में संपन्न होता है।

"ग्लूकोज के एक अणु (6 कार्बन परमाणु वाला) से पायरूविक अम्ल के दो अणुओं (प्रत्येक तीन कार्बन परमाणु वाला) का निर्माण विभिन्न चरणों में संपन्न होता है। यह प्रक्रिया ग्लाइकोलाइसिस कहलाती है।"

ऑक्सी श्वसन में पायरूविक अम्ल का O_2 द्वारा ऑक्सीकरण होता है एवं CO_2 तथा H_2O बनता है, साथ ही ऊर्जा (ATP) उत्पन्न होती है। जबकि अनॉक्सी श्वसन में PEP पाइरूविक अम्ल, लैक्टिक अम्ल या अल्कोहोल में बदलता है। इस क्रिया में O_2 का उपयोग नहीं होता बहुत कम ऊर्जा उत्पन्न होती है।

ग्लाइकोलाइसिस की खोज एम्बडेन, मेयर हॉफ, पारनस नामक वैज्ञानिकों ने की थी अतः इसे EMP पथ कहा जाता है। इसमें ग्लूकोज का विघटन पायरूविक अम्ल में होता है।

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_3H_4O_3 + 4H$$

Glucose	*Pyruvic acid*
(6 carbon)	*(3.3 carbon)*
1 molecule	*2 molecule*

ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया निम्न लिखित चरणों में पूर्ण होती हैं–

1. **प्रथम फॉस्फोराइलेशन**– यह ग्लाइकोलाइसिस के प्रथम चरण की प्रारम्भिक अवस्था होती हैं। जिससे ग्लूकोज के अणु का ATP द्वारा हेक्सोकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिति में फॉस्फोरिलेशन होकर ग्लूकोज – 6 फॉस्फेट में परिवर्तन होता है। तथा ADP का निर्माण होता है। हेक्सोकाइनेज एन्जाइम इस अभिक्रिया को उत्प्रेरित करता है। यहाँ Mg^+ सहकारक का कार्य करता है।

$$\text{Glucose} + ATP \xrightarrow[Mg^{++}]{Hexokinase} Glu\cos e\ 6 - Phosphate + ADP$$

2. **समावयवीकरण**– इसमें ग्लूकोज–6 फॉस्फेट का फॉस्फोग्लूको-आइसोमरेज एन्जाइम की उपस्थिति में आइसोमराइजेशन की प्रक्रिया के द्वारा फ्रक्टोज–6–फॉस्फेट का निर्माण होता है।

$$\underset{(1mol.)}{Glucose}\ 6 - phosphate \xrightarrow{Phosphohexo\ isomerase} \underset{(1\ mol.)}{Fructose\ 6 phosphate}$$

3. **द्वितीय फॉस्फोरिलेशन**– यह Fructose 6 फॉस्फेट, ATP से एक फॉस्फेट अणु को पुनः प्राप्त कर लेता है। तथा फॉस्फोफ्रक्टोकाइनेज एन्जाइम की उपस्थिती में फ्रक्टोज 1, 6 – डाइफॉस्फेट का निर्माण करता है। एवं एक ADP अणु का निर्माण भी होता है।

$$\underset{(1\ mole)}{Glucose}\ 6 - phosphate + ATP \longrightarrow \underset{(1\ mole)}{Fructose\ 1,\ 6\ diphosphate} + ADP$$

4. **क्लीवेज फ्रक्टोज**– 1–6 डाइफॉस्फेट का अणु एण्डोलेज एन्जाइम की उपस्थिति में 3 कार्बन परमाणु वाली शर्कराओं के यौगिक का निर्माण करता है। यह शर्कराओं के यौगिक ट्रायोज शर्करा के यौगिक होते है। अतः इसके फलस्वरूप 3 – फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड (PGAL) तथा डाइहाइड्रॉक्सी ऐसीटोन फॉस्फेट के एक–एक अणु का निर्माण होता है।

Fructose 1, 6 Diphosphate

(1 mole) | Aldolase

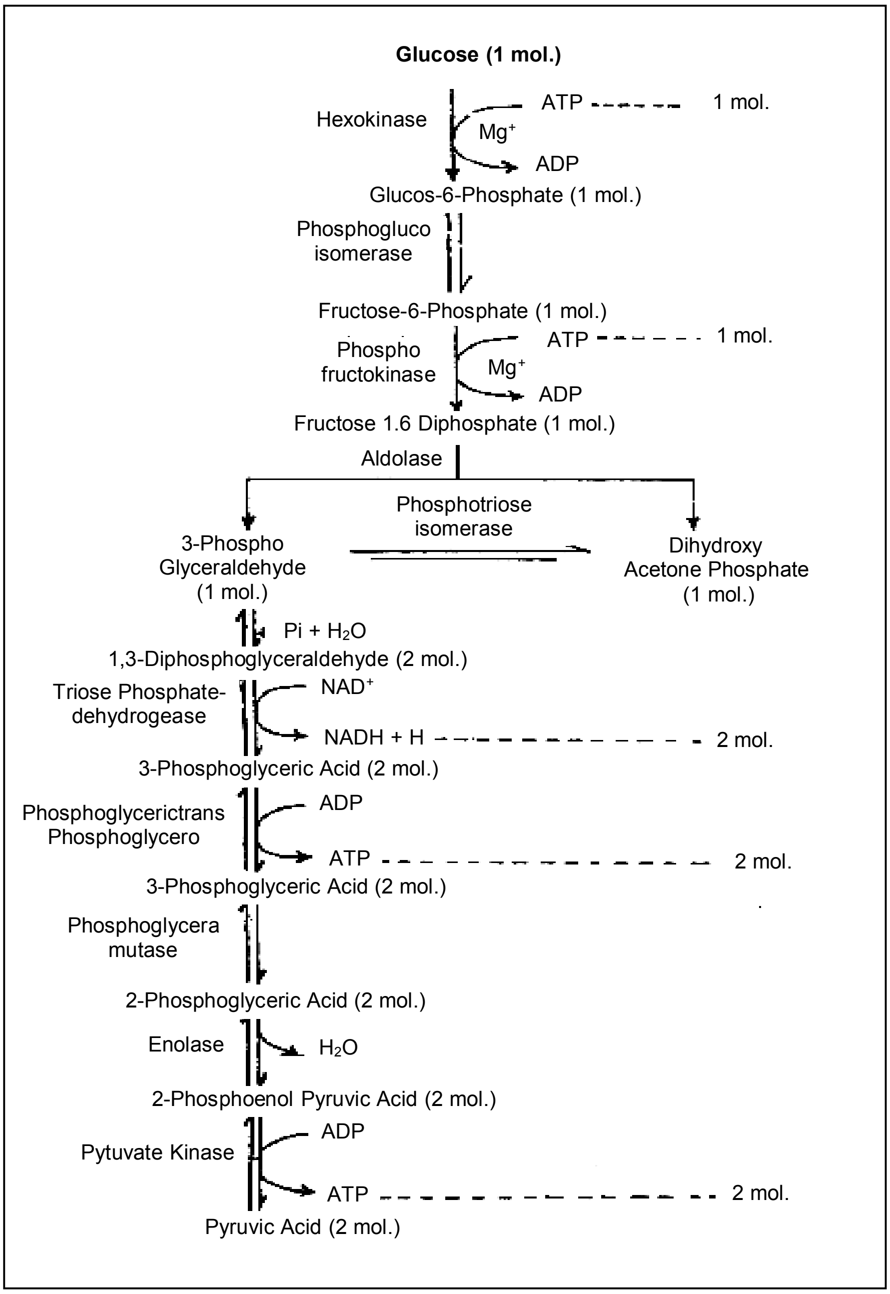
$$3\,Phosphoglyceraldehyde \underset{Isomerase}{\overset{Phosphotriose}{\rightleftharpoons}} Dihydroxyacetone\,Phosphate$$

5. फॉस्फोराइलेशन एवं ऑक्सीकारक डिहाइड्रोजिनेशन– यह 3–फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड (3 – PGAL) अकार्बनिक फॉस्फेट *(H_3PO_4)* की उपस्थिति में 1, 3 – डाइफॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड का निर्माण करता है।

$$\underset{(2\ moles)}{3\ phosphoglyceraldehyde} + \underset{(2moles)}{H_3PO_4} \longrightarrow \underset{(2moles)}{1,3\,diphosphoglyceraldehyde}$$

6. 1, 3 डाइफॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड– यह फॉस्फोग्लिसरेल्डिहाइड डिहाइ-ड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में ऑक्सीकरण के द्वारा 1, 3 डाइफॉस्फोग्लि-सरिक अम्ल में परिवर्तित होता है। इस क्रिया में यहाँ सहकारक कार्य NAD^+ करता है। यह एक हाइड्रोजन ग्राही होता है।

$$1,3.\underset{(2moles)}{phosphoglyceraldehyde\,acid} + 2NAD \xrightarrow[dehydrogenase]{phosphoglyceraldehyle} \underset{(2moles)}{3\,diphosphoglyceric}$$
$$acid + 2NADH_2$$



चित्र क्र. 4.2: ग्लाइकोलिसिस (ग्लूकोज के अणु से पायरूविक अम्ल के दो अणुओं का निर्माण)

7. प्रथम ए. टी. पी. उत्पादन– इस प्रक्रिया में 1, 3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल, 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल में परिवर्तित होता है। तथा ADP के अणु ATP में परिवर्तित हो जाता यह क्रिया विकर फॉस्फोग्लिसरिक काइनेज उत्प्रेरक उपस्थिति में होती है।

$$1,3.\ Diphosphoglyceric\ acid + \underset{(2 moles)}{2ADP} \xrightarrow[Kinase]{phosphoglyceryl}$$

$$3 phosphoglyceric\ acid + \underset{(2 moles)}{2ATP}$$

टिप्पणी

8. समावयवीकरण– यह 3 फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल 2– फॉस्फोग्लिसरिक में परिवर्तित होता है। यह परिवर्तन फॉस्फोग्लिसरो एन्जाइम की उपस्थिति में हो जाता हैं।

$$\underset{(2moles)}{3-phosphoglyceric\ acid}+2ADP\xrightarrow[Mutase]{phosphoglycero}\underset{(2moles)}{2phosphoglyceric\ Acid}$$

9. निर्जलीकरण– इसमें (2 PGA) फॉस्फोग्लिसरिक अम्ल में सें 2 अणुओं का निर्जलीकरण, इनोलेज इन्जाइम की उपस्थिति में हो जाता है। जिसके फलस्वरूप फॉस्फोइनोइल पायरूविक अम्ल (2 PEPA) का निर्माण हो जाता है।

$$\underset{(2mole)}{2-\ Phosphoglyceric\ acid}\xrightarrow{Enolase}\underset{(2mole)}{2\ \ phosphoenol\ pyruvic\ acid}$$
$$+2H_2O$$

10. ATP का द्वितीय संश्लेषण– यह 2 फॉस्फोइनोल पायरूविक अम्ल से पायरूविक काइनेज इन्जाइम की उपस्थिति के कारण फॉस्फेट समूह अलग हो जाता है। जिसके फलस्वरूप पायरूविक अम्ल का निर्माण होता है। तथा यह प्रथक हुआ फॉस्फेट समूह का ग्राही फॉस्फेट से संयोग कर ATP का संश्लेषण करता है।

$$\underset{(2mole)}{2\ Phosphoenol\ pyruvic\ acid}\ +\ 2\ ADP\xrightarrow[kinase]{Pyruvic}\underset{(2mole)}{Pyruvic\ Acid}+2ATP$$

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

3. EMP पथ कहते है।
   (अ) क्रेब्स चक्र (ब) पेण्टोज
   (स) ग्लाइकोलाइसिस (द) इलेक्ट्रान ट्रान्सपोर्ट क्षृंखला
4. ग्लाइकोलाइसिस की प्रक्रिया में कुल ATP बनती हैं
   (अ) 8 ATP (ब) 10 ATP
   (स) 38 ATP (द) 2 ATP
5. ऊर्जा का पावर हाउस कहते है।
   (अ) क्लोरोप्लास्ट को (ब) माइटोकॉण्ड्रिया को
   (स) कोशिका को (द) इनमें से कोई नहीं
6. माइटोकॉण्ड्रिया की भीतरी झिल्ली बनी होती हैं–
   (अ) लिपिड (ब) प्रोटीन
   (स) लिपिड और प्रोटीन (द) इनमें से कोई नहीं

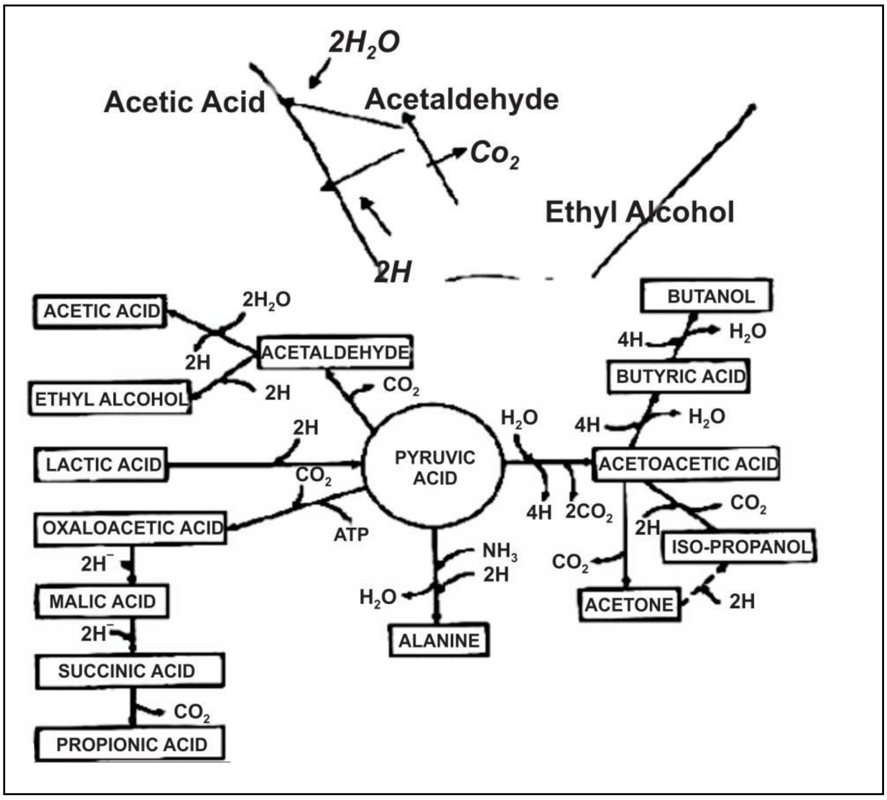
4.4.2 अनॉक्सी श्वसन किण्वन में पायरुविक अम्ल का भविष्य (Future of Pyruvic Acid in Anaerobic Respiration)

टिप्पणी

अनॉक्सी श्वसन

ऐसी प्रक्रिया जिसमें उच्च क्षेणी के अंतर्गत आने वाले पौधों के ऊतक ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में भी कुछ घण्टों तक अपने आप को जीवित रखने में सक्षम होते है। यह दशा अनॉक्सी श्वसन कहलाती है।

उदाहरण– बीजों को अंकुरण के दौरान उन्हें जल में डुबा कर रखा जाता है। तब उनमें एनएरोबियोसिस की प्रक्रिया होती है। ऑक्सीजन की अनुपस्थिति के कारण पौधों में उपस्थित पायरूविक अम्ल, इथाइलएल्कोहॉल *(C_2H_5OH)* तथा कार्बन डाइऑक्साइड़ में बदल जाता है। इस विधि को एल्कोहॉलिक विधि कहा जाता है। कुछ सूक्ष्मजीवी जीवाणू, पौधे तथा जन्तु पायरूविक अम्ल को अनेक प्रकार के कार्बनिक यौगिकों में विशिष्ट एन्जाइम की उपस्थिति मे अपयचित करते हैं।



चित्र क्र. 4.3: पायरुविक अम्ल (PA) द्वारा संपन्न होने वाले विभिन्न किण्वन पथ

टिप्पणी

4.4.3 ऑक्सी श्वसन में विभिन्न प्रद तथा क्रेब चक्र (Various Products in Aerobic Respiration and Kreb's Cycle)

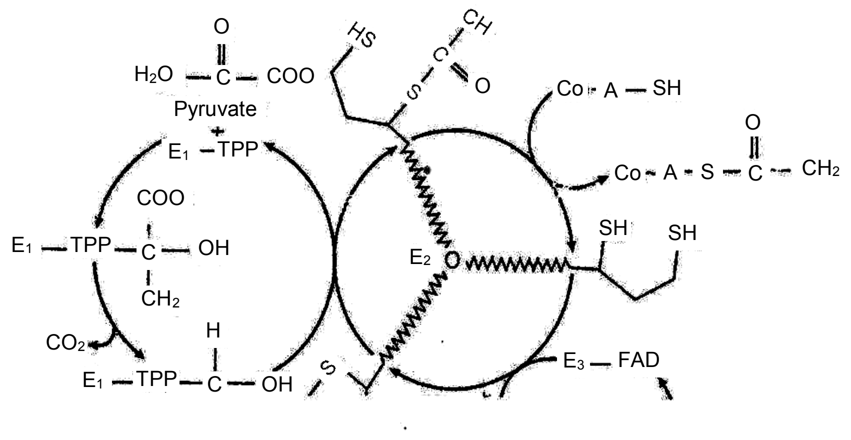
जब किसी श्वसन पदार्थ का भंजन ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता है तथा उसके फलस्वरूप CO_2 एव H_2O का निर्माण होता है तब इसे ऑक्सी श्वसन कहते हैं।

उदाहरण– श्वसन पदार्थ ग्लूकोज है।

ऑक्सी श्वसन में निम्नलिखित पद पाए जाते है–

1. **ग्लूकोज का पायरूविक अम्ल में ग्लाइकोलिटिक भंजन या ग्लाइकोलिसिस–** यह ऐसी प्रक्रिया होती है जो ऑक्सी श्वसन तथा अनॉक्सी श्वसन में समान होती है। अतः इसमें ग्लाइकोलाइसिस में उत्पन्न पायरूविक अम्ल का ऑक्सीडेटिव भंजन ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता है।

2. **पायरूविक अम्ल का एसीटाइल CO-A द्वारा ऑक्सीडेटिव डिकार्बोक्सीलेशन–** जब पायरूविक अम्ल माइटोकॉण्ड्रिया के भीतर मैट्रिक्स में जाता है, तब पायरूविक अम्ल से ऑक्सीडेटिव डीकार्बोक्सीलेशन द्वारा एसीटाइल CO-A का निर्माण होता है। यह कॉम्प्लेक्स एन्जाइम में पायरूविक अम्ल–डीकार्बोक्सीलेज डाइहाड्रोलिपोयल ट्रान्सऐसीटाइलेज तथा डाइहाइड्रोपोथल डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम होते है। जिसमें 6 प्रकार के सहकारक होते है। जो निम्न प्रकार से है। थायमीन, फॉस्फेट, तथा लिपोइक अम्ल आदि सह कारक के रूप में भाग लेते है। इस क्रिया में पायरूविक अम्ल के 2 अणुओं से $NADH_2$ के दो अणुओं का निर्माण होता है।



चित्र क्र. 4.4: Mg^{++} NAD^{+COA} FAD तथा लिपोइक अम्ल

टिप्पणी

3. क्रेब्स चक्र– क्रेब्स चक्र एक प्रकार का ऑक्सी श्वसन होता है। जिसमें ऑक्सीजन की आवश्यकता होती हैं। इस क्रिया में ग्लाइकोलाइसिस से प्राप्त हुये पायरूविक अम्ल का पूर्णतः ऑक्सीकरण होता है। जिसके फलस्वरूप कार्बन डाइऑक्साइड़ तथा जल का निर्माण होता है। सर्वप्रथम इस क्रिया का अध्ययन हेन्स क्रेब्स (1943) के द्वारा किया गया इसीलिए इसे क्रेब्स चक्र कहते हैं।

क्रेब्स चक्र कोशिका के माइटोकॉण्ड्रिया की मैट्रिक्स में पूर्ण होती है। इसे TCA चक्र (ट्राइकार्बोक्सिलिक अम्ल चक्र) तथा सिट्रिक अम्ल चक्र भी कहा जाता है। जब यह क्रिया माइटोकॉण्ड्रिया के मैट्रिक्स में होती हैं तब वहाँ पायरूविक अम्ल डिकार्बोक्सीलेशन क्रिया के द्वारा 2C एसीटाइल CO-A में बदल जाता है।

क्रेब्स चक्र कि प्रक्रिया में अनेक क्रियाएँ पायी जाती है। TCA चक्र के द्वारा कुछ अमीनो अम्ल तथा वसीय अम्लो का ऑक्सीकरण होता है। केनेडी एवं लेहनिगर (1948) ने अध्ययन कर बताया कि चूहें के यकृत के माइटोकॉण्ड्रिया में TCA चक्र के माध्यमिक उत्पाद एवं पायरूवेट ऑक्सीकृत होते हैं। इस प्रक्रिया में ऑक्सीजन के अलावा Mg^{++}, *ANP, ADP* व *ATP* की भी आवश्यकता होती है। क्रेब्स चक्र में इनके अतिरिक्त कुछ एन्जाइम भी भाग लेते है। जो मैट्रिक्स में उपस्थित होते है। (माइटोकॉण्ड्रिया के मैट्रिक्स में) क्रेब्स चक्र में निम्नलिखित क्रियाएँ होती है।

ग्लाइकोलाइसिस तथा क्रेब्स चक्र के बीच की संयोजन की कड़ी एसीटाइल CO-A होता है। यह एसीटाइल CO-A पूर्ण ऑक्सीकरण की प्रक्रिया के द्वारा कार्बन डाइऑक्साइड़ CO_2 तथा H_2O (जल) बनाता है। जिसमें इलेक्ट्रॉन सिस्टम भाग लेता है। क्रेब्स चक्र निम्नलिखित पदो में पूरी होती है–

(i) पायरूविक अम्ल के ऑक्सीकरण तथा डिकार्बोक्सीलेशन द्वारा एसीटाइल को–एन्जाइम (CO-A) का निर्माण होता है।

$$Pyruvic\ acid + CO - A + NAD \longrightarrow Acetyl\ COA + NADH_2 + CO_3$$

(ii) माइटोकॉण्ड्रिया में उपस्थित ऑक्जेलोएसीटेट की उपस्थिति में यह एसीटाइल CO-A क्रिया करके साइट्रिक अम्ल का निर्माण करता है।

$$Acetyl\ COA\ +\ Oxaloacetic\ acid\ (OAA)\ +\ H_2O \xrightarrow[synthetase]{citrate} citric\ Acid + CO - A$$

(iii) यह साइट्रिक अम्ल एकोनाइटेज, एन्जाइम की उपस्थिति में जल अपघटन कर सिस एकोनाइटिक अम्ल का निर्माण करता है। और इसके पश्चात् यह पुनः जल को ग्रहण कर आइसोसाइट्रिक अम्ल में परिवर्तित हो जाता है।

$$Citric\ Acid \xrightarrow[H_2O]{Aconitase} Cis\ aconitic\ acid\ + H_2O$$

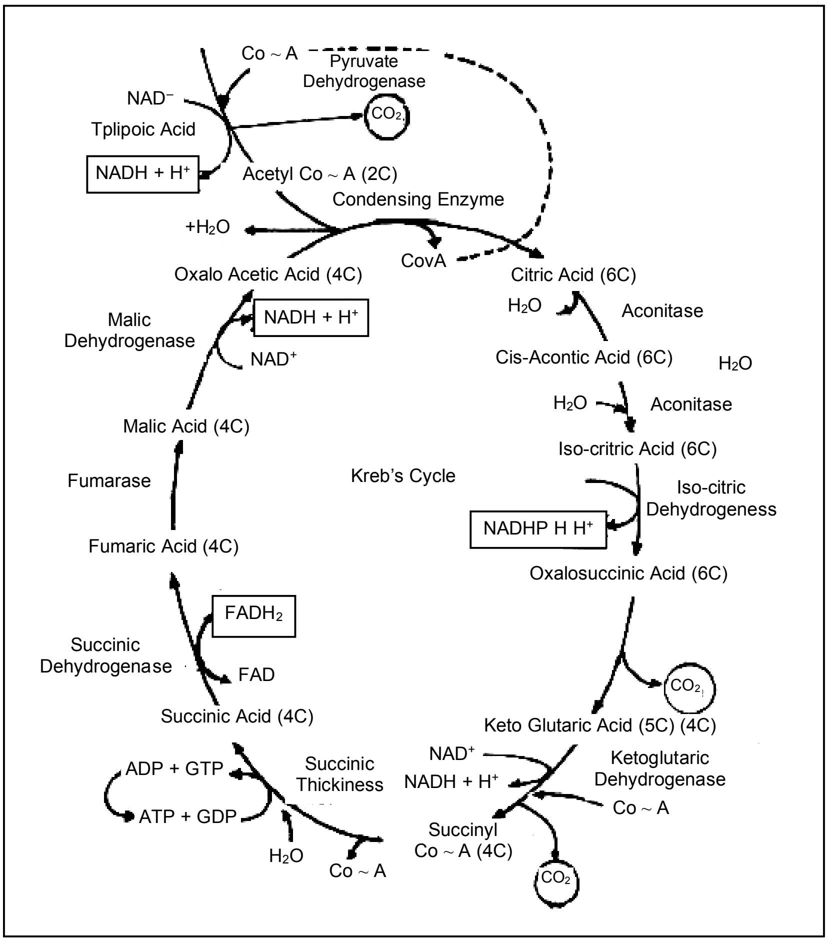
$$Cis - aconitic\ Acid + H_2O \xrightarrow{Aconitase} Iso\,citric\ acid$$

टिप्पणी

(iv) यह आइसोसाइट्रिक अम्ल, आइसोसाइट्रेट डिहाइड्रोजिनेज की उपस्थिति में ऑक्जेलोसक्सीनिक अम्ल में परिवर्तित हो जाता है। तथा यहाँ ऑक्जेलोसक्सीनिक अम्ल का डिकार्बोक्सीलेशन होता हैं एवं एल्फा–कीटोग्लूटेरिक अम्ल का निर्माण होता है। α-कीटोग्लूटेरिक अम्ल के निर्माण में आइसोसाइट्रेट डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम तथा Mg^{++} यहाँ कारक के रूप में कार्य करते है।

$$Iso-citric\ acid\ +\ NADP \xrightarrow[dehydrogenase]{Isocitrate} Oxalosuccinic\ acid$$
$$+ NADPH + H^{+}$$

$$Oxalosuceinic\ Acid \xrightarrow{Oxalosuccinic\ decorboxylage} \alpha Ketogluteric\ acid$$
$$+ CO_2$$



चित्र क्र. 4.5: क्रेब्स चक्र

(v) इस $\propto$ कीटोग्लूटेरिक अम्ल का ऑक्सीकरण होता है। तथा $\propto$ कीटो-ग्लूटेरिक अम्ल डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिती में कीटोग्लूटेरिक अम्ल के ऑक्सीडेटिव डिकार्बोक्सीलेशन के फलस्वरूप सक्सीनल CO-A बनता है।

$$\alpha\ Ketoglutaric\ acid + CO - A + NAD^{+} \xrightarrow[Dehydrogenase]{\alpha - Ketoglytarica} Succinyl\ CO - A + CO_2 + NADH_2$$

टिप्पणी

(vi) सक्सीनाइल CO-A से CO-A अलग होकर मुक्त हो जाता है। यह क्रिया सक्सीनेट थायोकाइनेज एन्जाइम के द्वारा उत्प्रेरित होती है। जिसके फलस्वरूप ग्वाइनोसाइन डाइफॉस्फेट (GDP) एक अकार्बनिक फॉस्फेट से क्रिया करके ग्वानोसाइन ट्राइफॉस्फेट (GTP) का निर्माण करता है। इसे अभिकारक फॉस्फोरिलेशन कहते है।

$$Succinyl\ CO - A + GDP + iP + H_2O \xrightarrow[thidcinase]{Succinate} succinic\ acid + GTP + CO - A$$

$$GTP + ADP \longrightarrow ATP + GDP$$

इस प्रक्रिया में जल का एक अणु काम आता है।

(vii) **तृतीय चरण**– यह क्रियाएँ क्रेब्स चक्र का तीसरा चरण होता है। इसमें सक्सीनिक अम्ल का ऑक्सीकारण होता है, जिसके फलस्वरूप फ्यूमेरिक अम्ल बनता है। यह क्रिया सक्सीनिक एसिड डीहाइड्रोजिनेज द्वारा उत्प्रेरित होती है। इस क्रिया में सहकारक I तथा II उपयोग नहीं किए जाते है। परन्तु फ्लेविन एडेनिन डाइन्युक्लियोटाइड (FAD) एन्जाइम के फ्लेविन के प्रोस्थेटिक समूह के द्वारा सक्सीनिक अम्ल के दो हाइड्रोजन आयन्स (H^{+}) एवं दो इलेक्ट्रॉन्स ग्रहण करता है। तथा इसका अपचयन होता है।

$$Succinic\ Acid + FAD \xrightarrow[Dehydrogenase]{Succinic} Fumaric\ Acid + FADH_2$$

(viii) जल के एक अणु से यह फ्यूमेरिक अम्ल क्रिया करता है। तथा मैलिक अम्ल का निर्माण करता है। फ्यूमेरिक अम्ल से मैलिक अम्ल का निर्माण फ्यूमरेज एन्जाइम की उपस्थिती में होती है।

$$Fumaric\ acid + H_2O \xrightarrow{Fanarasc} Malic\ Acid$$

(ix) क्रेब्स चक्र के अंतिम चरण में ऑक्सीकरण के द्वारा मैलिक अम्ल का डिहाइड्रोजिनेशन होता है। यह क्रिया मैलिक डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में होती है। जिसके फलस्वरूप ऑक्जेलोऐसीटिक अम्ल का निर्माण होता है। (चित्र क्र. 4.5)

$$Malic + NAD \xrightarrow[dehydrogenase]{Malic} Oxaloacetic\ Acid + NADH_2$$

यह बना हुआ ऑक्सेलोएसीटिक एसिड एसीटाइल CO-A से क्रिया कर साइट्रिक अम्ल का निर्माण करता है तथा यह चक्र चलता रहता है।

टिप्पणी

क्रेब्स चक्र का महत्व

1. एक पायरूविक अम्ल के अणु से 10 हाइड्रोजन आयन एवं तीन अणु CO_2 के बनते है। जबकि 1 ग्लुकोज अणुसे 2 पायरूविक अम्ल के अणु बनते है।
2. अतः दो पूर्ण क्रेब्स चक्र में हाइड्रोजन आयन के 20 अणु तथा CO_2 के 6 अणुओं का निर्माण होता है।
3. यह हाइड्रोजन, आयन ग्राहियों के द्वारा ग्रहण कर लिए जाते है।

   जैसे– FAD, NAD. आदि।
4. यह हाइड्रोजन आयन ETC चक्र में प्रवेश कर जाते है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

7. अनॉक्सी श्वसन की प्रक्रिया कहते है।

   (अ) फॉस्फोराइलेशन को (ब) किण्वन को

   (स) अपचयन को (द) ऑक्सीकरण को

8. क्रेब्स चक्र की प्रक्रिया होती है।

   (अ) सायटोप्लाज्म में (ब) माइटोकॉण्ड्रिया के मैट्रिक्स में

   (स) दोनो में (द) इनमें से कोई नहीं।

9. क्रेब्स चक्र के द्वारा पायरूविक अम्ल के अणु से निर्माण होता है।

   (अ) 10 हायड्रोजन आयन एवं तीन CO_2 के अणु

   (ब) 5 हायड्रोजन आयन एवं दो CO_2 के अणु

   (स) 8 हाइड्रोजन आयन एवं दो CO_2 के अणु

   (द) 3 हाइड्रोजन आयन एवं 10 CO_2 के अणु

4.5 पेन्टोज फॉस्फेट पथ (Pantose Phosphate Pathway)

कुछ जीवधारियों में ATP अन्य पथ के द्वारा प्राप्त की जाती है। अर्थात इन जीवधारियों में ग्लूकोज के एक अणु के ऑक्सीकरण के द्वारा सीधे 36 ATP अणुओं का निर्माण या उत्पन्न होते हैं। इस पथ में अनेकों शर्करा उपस्थित होती है। जैसे– एक पेण्टोज तथा 4 – कार्बन शर्करा इस पथ में भाग लेती है। अतः इस पथ को सीधा ऑक्सीकरण पथ, पेण्टोज – फॉस्फेट मार्ग अथवा हेम्सोज मोनोफॉस्फेट पथ कहा जाता है।

टिप्पणी

इस पथ की खोज वारवर्ग (1935) एवं डीकेन्स ने (1938) की तथा अपने प्रयोगो के द्वारा बताया कि पेण्टोज फॉस्फेट पथ स्वतंत्र पथ होता है। इसके द्वारा ग्लूकोज 6 फॉस्फेट का सीधा ऑक्सीकरण होता है–

1. **ग्लूकोज**– 6 फॉस्फेट के ऑक्सीकरण के द्वारा ग्लूकोनेट 6 फॉस्फेट का निर्माण होता है। इसमें को–एन्जाइम NADP अपचयित $NADPH + H^+$ में परिवर्तित होता है।
2. **ग्लुकोनेट**– 6 फॉस्फेट का ऑक्सीडेटिव डिकार्बोक्सिलेशन होता है। जिसके फलस्वरूप रिबुलोज–ए–फॉस्फेट प्राप्त होता है। NADP अपचयित हो जाता है। इस प्रक्रिया में CO_2 का एक अणु मुक्त हो जाता है।
3. **रिबुलोज**– 5 फॉस्फेट के आइसोमेराइजेशन से राइबोज 5, फॉस्फेट अथवा जायलुलोज – 5 फॉस्फेट का निर्माण होता है।
4. **राइबोज**– 5 फॉस्फेट के एक अणु जायलुलोज 5 फॉस्फेट एवं ग्लिसरेल्डिहाइड 3 फॉस्फेट में परिवर्तित होता है।
5. **यह सीड़ोहेप्टुलोज**– 7 फॉस्फेट एवं ग्लिसरेल्डिहाइड–3 फॉस्फेट मिलकर फ्रक्टोज–6 फॉस्फेट एवं इरीथ्रोज 4–फॉस्फेट का निर्माण करते है।
6. **इरीथ्रोज**– 4 फॉस्फेट, जायलुलोज के दूसरे अणु से मिलकर फ्रक्टोज–6 फॉस्फेट तथा ग्लिसरेल्डिहाइड – 3 फॉस्फेट परिवर्तित हो जाता है।
7. **फ्रक्टोज**– 6 फॉस्फेट के अणु आइसोमराइज होकर ग्लूकोज 6– फॉस्फेट में परिवर्तित होता है।
8. **ग्लिसरेल्डिहाइड**– 3 फॉस्फेट ग्लाइकोलिसिस के द्वारा पायरूविक अम्ल में टूटता है।

पेण्टोज फॉस्फेट पथ का सारांश

$$Glu\cos e + ATP \xrightarrow{Hexokinase} Glu\cos e\ 6, Phosphate + ADP$$

$$Glu\cos e\ 6,-Phosphate + NADP^+ \xrightarrow[dehydrogenase]{Glu\cos e\ 6\,Phosphate} 6\,Phosphogluconi\ acid + NADPH + H^+$$

$$6\,Phosphogluconic\,acid + NADP \xrightarrow[dehydrogenase]{6-Phosphogluconic} Ribulose\ 5\,Phosphate\ + CO_2 + NADPH + H$$

$$Ribulose\,5\,Phosphate \xrightarrow{6-Phosphoribo\ isomerase} Ribose\,5\ phosphate$$

$$Ribulose\ 5\,phosphate \xrightarrow{Epimerase} xylulose\ 5\ phosphate$$

$$Ribose\,5\,Phosphate + xylulose\,5\ phosphate \xrightarrow{Transketolease} Sedoheptulose\ 7\ phosphate + 3Phosphoglyceraldehyde$$

टिप्पणी

$$Sedoheptulose\ 7\ phosphate + 3 - phosphoglyceraldehyde \xrightleftharpoons{Transketolease} Fructose\ 6\ phosphate + Erytrose\ 4\ Phosphate$$

$$Erythrose\ 4\ phosphate + Xylulose\ 5\ phosphate \xrightleftharpoons{Transketolease} Fructose\ 6\ phosphate + 3\ phosphoglyceraldehyde\ (3PGA)$$

$$Fructose\ 6\ phosphate \xrightleftharpoons[isomerase]{phosphohexo} Glucose\ 6,Phosphate$$

3 PGA चक्र में पुनः उपयोग में आता है।

पेण्टोज – फॉस्फेट पथ का महत्व

1. कोएन्जाइम NADPH + H अनेक प्रकार की मेटाबॉलिक क्रियाओं के लिए उपयोगी होता है।
2. राइबोज शर्करा के द्वारा न्यूक्लिक अम्ल के संश्लेषण के लिए उपयोगी होता है।
3. इरीथ्रोज जो लिग्निन तथा अन्य एरोमेटिक यौगिको का निर्माण करता है।
4. प्रकाश संश्लेषण के लिए भी उपयोगी होता है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

10. पेण्टोज फॉस्फेट पथ में कुल कितनी कार्बन शर्करा भाग लेती है।

(अ) 5 कार्बन शर्करा (ब) 4 कार्बन शर्करा

(स) 3 कार्बन शर्करा (द) 2 कार्बन शर्करा

4.6 इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र एवं ऑक्सीडेटिव फॉस्फोराइलेशन (Electron Transport System-ETS and Oxidative Phosphorylation)

1. प्रथम चरण में अपचयित NAD तथा NADP से हाइड्रोजन का स्थानान्तरण FMN को होता है। FMN एक धात्वीय फ्लेवोप्रोटीन (Metalloflavoprotein) है। FMN का अपचयन (Reduction) $FMNH_2$ में हो जाता है तथा को–एन्जाइम्स NAD तथा NADP आक्सीकृत (Oxidized) हो जाते हैं इस क्रिया में मुक्त ऊर्जा (-14-3 k.cal) ATP के रूप में संचित कर ली जाती है।
2. अपचयित FMN (अर्थात् $FMNH_2$) अपनी हाइड्रोजन को–एन्जाइम (Co-Q) को स्थानान्तरित कर स्वयं ऑक्सीकृत (Oxidized) हो जाता है। Co-Q. अपचयित (Reduced) होकर $Co\text{-}QH_2$ बनाता है।

टिप्पणी

3. क्रेब चक्र में अपचयित (Reduced) फ्लेवोप्रोटीन – $FADH_2$ अपनी हाइड्रोजन Co.Q को दे देता है तथा $FADH_2$ ऑक्सीकृत हो जाता है।
4. अपचयित वाहक (Reduced Carrier) -Co-QH_2, इलेक्ट्रॉन के युग्म (Pair) ($2e^-$) को साइटोक्रोम b (Cyt.b) पर स्थानान्तरित कर देता है। इस स्थानान्तरण (Transfer) में 2 हाइड्रोजन ऑयन्स ($2H^+$) माध्यम (Medium) में मुक्त हो जाते हैं।
5. अपचयित (Reduced) cyt.b अपने इलेक्ट्रॉन्स ($2e^-$) साइटोक्रोम C_1 (cyt C_1) को स्थानान्तरित कर देता है। इस चरण में लगभग 12.7 k cal. ऊर्जा मुक्त होती है जिसका उपयोग ATP निर्माण (ADP + iP) में कर लिया जाता है।
6. अपचयित (Reduced) cyt. C_1 अपने इलेक्ट्रॉन्स Cyt. c को देता है जो अन्ततः Cyt.a को अपचयित कर देता है।
7. इलेक्ट्रॉन्स का एक युग्म (Pair) अपचयित (Reduced) Cyt. a से Cyt. a_3 को स्थानान्तरित होता है, मुक्त ऊर्जा (-25 k.cal) का उपयोग ATP निर्माण में कर लिया जाता है।
8. ऑक्सीजन (Oxygen) द्वारा Cyt. a_3 से ($2e^-$) स्वीकार कर लिये जाते हैं। साथ ही ऑक्सीजन 2 प्रोटॉन्स ($2H^+$) भी माध्यम (Medium) से स्वीकार (Accept) करती है तथा इस प्रकार जल (H_2O) का निर्माण होता है।

इस चरण को टर्मिनल ऑक्सीडेशन भी कहते है। यह क्रिया साइटोक्रोम ऑक्सीडेज एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित होती है। यह एन्जाइम O_2 अपचयन करके उसे H_2O में बदल देता है।

$$2Cyt(Fe^{2+}) + \frac{1}{2}O_2 + 2H^+ \longrightarrow H_2O + 2Cyt(Fe^{3+})$$

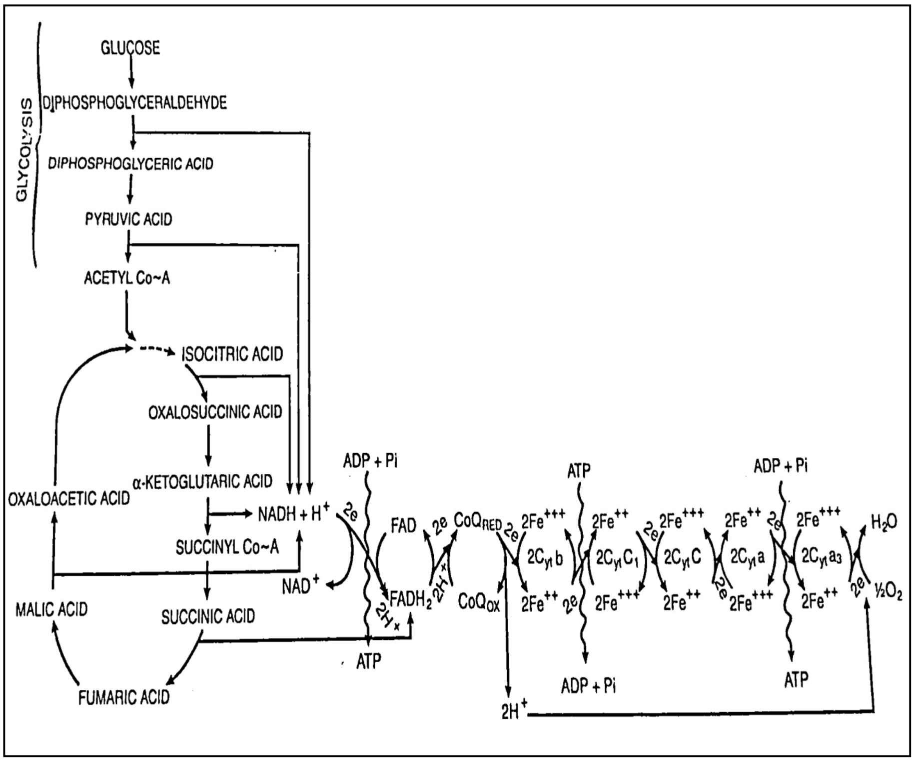
ETS का नेट प्रभाव (Net effect) यह है कि अपचयित NAD तथा NADP के प्रत्येक अणु के लिए 3 ATP अणु उत्पन्न होते हैं।

$$NADH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 3\,ADP + 3Pi \longrightarrow NAD^+ + 3\,ATP + H_2O$$

$$NADPH + H^+ + \frac{1}{2}O_2 + 3\,ADP + 3Pi \longrightarrow NADP + 3\,ATP + H_2O$$

$$FADH_2 + 2\,ADP + 2Pi + \frac{1}{2}O_2 \longrightarrow FAD + 2\,ATP + H_2O$$

टिप्पणी



चित्र क्र. 4.6: इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

11. इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र में सायटोक्रोम पाए जाते हैं।

    (अ) 2 (ब) 4

    (स) 8 (द) 6

12. इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र में अंतिम इलेक्ट्रॉन किसके द्वारा ग्रहण किया जाता है।

    (अ) आण्विक ऑक्सी द्वारा (ब) $NADPH_2$ द्वारा

    (स) हाइड्रोजन द्वारा (द) इनमें से कोई नहीं।

4.7 श्वसन गुणांक या श्वसन अनुपात तथा श्वसन पदार्थ (Respiratory Quotient or Ratio and Respiratory Substances)

किसी जीवधारी के द्वारा वातावरण से ग्रहण की गई ऑक्सीजन तथा (O_2) वातावरण में छोडी गई कार्बन डाइऑक्साइड़ (O_2) की मात्रा का अनुपात श्वसन गुणांक कहलाता है, जिसे इस प्रकार प्रदर्शित किया जाता है।

$$\text{श्वसन गुणांक (RQ)} = \frac{\text{विमुक्त कार्बन डाइऑक्साइड़ का आयतन } (CO_2)}{\text{अवशोषित ऑक्सिजन का आयतन } (O_2)}$$

टिप्पणी

श्वसन गुणांक (RQ) को गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर द्वारा नापा जाता है।

श्वसन की क्रिया में ग्लूकोज जैसे– कार्बोहाइड्रेट सरल पदार्थों में टूटकर CO_2 एवं ऊर्जा मुक्त करते है। इस क्रिया में प्रयुक्त होने वाले यौगिक श्वसन सबस्ट्रेट कहलाते है।

उदाहरण– कार्बोहाइड्रेट, वसा, प्रोटीन।

पौधो के द्वारा श्वसन हेतु विभिन्न प्रकार के कार्बनिक पदार्थों का उपयोग किया जाता है। जैसे– प्रोटीन, वसा, कार्बोहाइड्रेट, कार्बनिक अम्ल आदि इन्हें श्वसन पदार्थ कहते है। इनमें उपयोग की गयी ऑक्सीजन की मात्रा तथा निष्कासित हुई CO_2 की मात्रा अलग होती है। अतः इनका श्वसन गुणांक भी अलग होता है–

1. **प्रोटीन**– श्वसन पदार्थों मे ऑक्सीजन की मात्रा कार्बन की तुलना में कम होती है। जिसके कारण प्रोटीन युक्त श्वसन पदार्थ जैसे– दालों आदि के बीजों में श्वसन गुणांक एक यूनिट से कम रहता है। अर्थात् जब इनका पूर्ण ऑक्सीकरण होता है, तब इनके द्वारा अधिक ऑक्सीजन की मात्रा ग्रहण की जाती हैं एवं कम मात्रा में CO_2 का निष्काषन होता है।

2. **पौधों में श्वसन पदार्थों के द्वारा कार्बनिक अम्ल का बनना**– पौधों में श्वसन पदार्थ कार्बनिक अम्ल के रूप में पाया जाता है। पौधों में भ्रूणों के बनने के दौरान कुछ कार्बनिक अम्लों जैसे ऑक्जेलिक अम्ल एवं मैलिक अम्ल का निर्माण होता है। इस दौरान कार्बन की मात्रा ऑक्सीजन की मात्रा की अपेक्षा कम होती है। अतः इनके ऑक्सीकृत होने के लिए ऑक्सीजन की कम मात्रा की आवश्यकता तथा CO_2 कि अत्याधिक आवश्यकता होती है। जिससे इनका श्वसन गुणांक इकाई से अधिक होता है।

   उदाहरण–

$$2(COOH)_2 + O_2 \longrightarrow 4CO_2 + 12H_2O$$

$$R.Q = \frac{Vol.of\ CO_2}{Vol.of\ O_2}$$

$$= \frac{4}{1}$$

$$= 4\,(more\ than\ unity)$$

3. **कार्बोहाइड्रेट**– पौधों में कार्बोहाइड्रेट श्वसन पदार्थों के रूप में उपस्थित होते है। जब यह पूर्ण ऑक्सीकृत होते है, तब कार्बन डाइऑक्साइड़ निकाली जाती है। अर्थात् इनका ऑक्सीजन के द्वारा पूर्ण ऑक्सीकरण हो

टिप्पणी

जाता हैं इस प्रकार के पदार्थों का श्वसन गुणांक एक यूनिट होता है। क्योंकि जब इसमें ऑक्सीजन के 6 अणुओं का उपयोग होता है। तब इसके द्वारा निकाली जाने वाली कार्बन डाइऑक्साइड़ के 6 अणु बाहर निकाले जाते है।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + Energy$$

$$\text{श्वसन गुणांक (RQ)} = \frac{CO_2 \text{का आयतन}}{O_2 \text{का आयतन}}$$

$$= \frac{6}{6}$$

$$= 1$$

4.7.1 श्वसन गुणांक व प्रकाश संश्लेषण गुणांक में अंतर (Difference between Quotients of Respiration and Photosynthesis)

सारणी क्र. 4.2

क्र.		श्वसन गुणांक	प्रकाश संश्लेषण गुणांक
1.	आयतन का अनुपात	श्वसन के दौरान निकाली गई कार्बन डाइऑक्साइड़ *(CO_2)* तथा अवशोषित की गयी ऑक्सीजन *(CO_2)* के आयतन का अनुपात होता है, RQ होता है।	प्रकाश– संश्लेषण के दौरान छोड़ी गई ऑक्सीजन तथा अवशोषित हुई *(CO_2)* के आयतन का अनुपात होता है।
2.	पदार्थ की प्रवृत्ति	इसमें श्वसन के पदार्थ की प्रवृत्ती का ज्ञान होता है।	इसके द्वारा कार्बनिक पदार्थ की प्रवृत्ती का ज्ञान होता है।
3.	श्वसन गुणांक तथा प्रकाश–संश्लेषण गुणांक का मान	श्वसन गुणांक का मान भिन्न रहता है। अर्थात् परिवर्तनीय होता है।	प्रकाश – संश्लेषण गुणांक का मान सदैव एक सा रहता है। अर्थात् एक यूनिट रहता है।

4.7.2 गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर द्वारा श्वसन पदार्थों का श्वसन भागफल ज्ञात करना (Finding Quotients of Respiratory Products using Ganeong's Respirometer)

गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर

यह काँच का बना हुआ उपकरण है जिसमें एक बल्ब पाया जाता है। बल्ब काँच की ग्रेजुएटेड ट्यूब के द्वारा जुड़ा हुआ होता है। यही काँच की ग्रेजुएटेड ट्यूब

टिप्पणी

दूसरी काँच की लेवलिंग ट्यूब के द्वारा जुडती है। काँच की यह दोनो ट्यूब एक वर्टीकल स्टैण्ड पर लगाकर कस दी जाती है। काँच के बल्ब में काँच का ढक्कन (Lid) फिट रहता है। इस ढक्कन में तथा बल्ब की ग्रीवा में एक बारीक छिद्र पाया जाता है।

विधि

सर्वप्रथम लेवलिंग ट्यूब में नमक का घोल डालते है जिससे ग्रेजूएटेड एवं लेवलिंग ट्यूब इससे आधी भर जावे।

अब बल्ब में लगे काँच के ढक्कन को खोलकर बल्ब के अंदर की तली में पानी से भीगा हुआ कपास रखते है।

अब आलू के टुकडों को या जिस पदार्थ का श्वसन भागफल ज्ञात करना है, उसे भीगे हुए कपास में रख देते है।

अब कॉच के ढक्कन को इस तरह से बंद करते है कि ढक्कन का छिद्र, बल्ब की ग्रीवा के छिद्र के आमने–सामने एक ही रेखा में आ जाए जिससे वायुमण्डलीय वायु सीधी बल्ब के अंदर आ सके। इसके बाद नमक के घोल से भरी ट्यूब को उपर–नीचे करते है। जिससे ग्रेजुएटेड टयूब के शून्य निशान का नमक के घोल तक रहे। इसके पश्चात् काँच के ढक्कन को थोडा सा घुमाते है।

ढक्कन घूमाने से वायुमण्डल की वायु से बल्ब की वायु का संबंध विच्छेद हो जाता है।

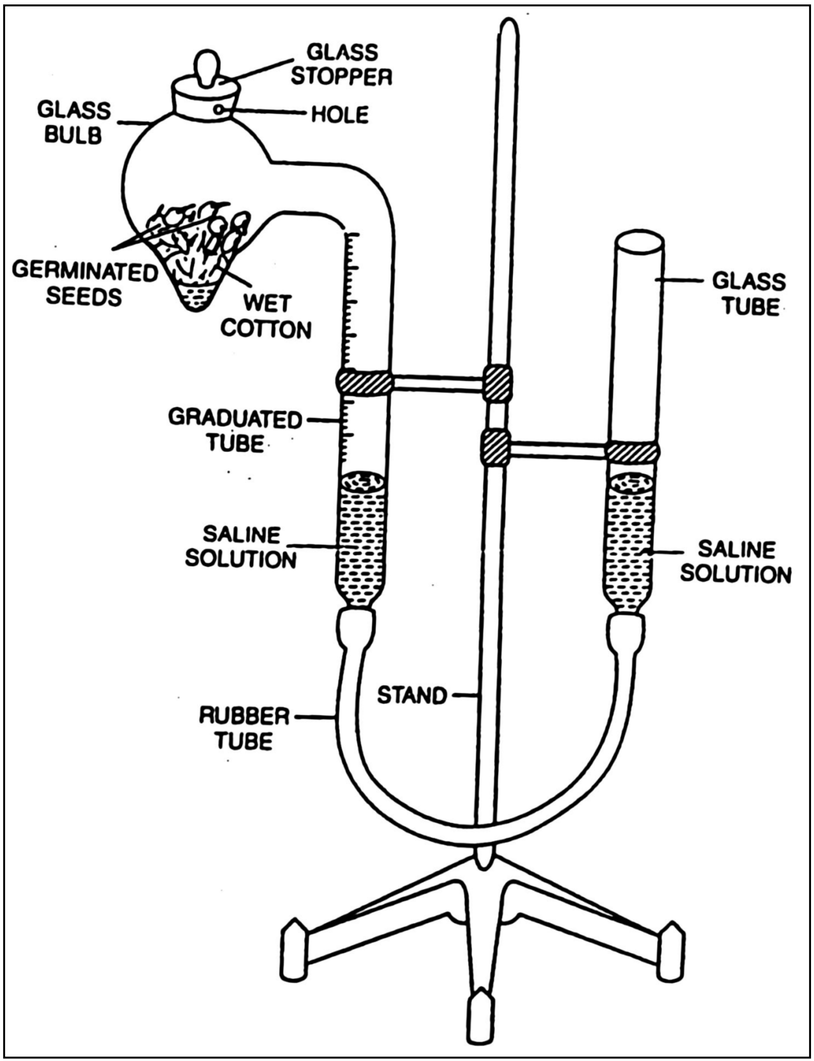
इसके पश्चात उपकरण को कुछ समय के लिए ऐसे ही रखा रहने देते है। तथा उसका निरिक्षण करते हैं।

निरिक्षण के द्वारा पता चलता है कि, पौधे श्वसन क्रिया के द्वारा विभिन्न प्रकार के श्वसन पदार्थों जैसे– प्रोटीन, वसाएँ तथा कार्बनिक अम्ल आदि का उपयोग करते हैं।

श्वसन क्रिया के दौरान श्वसन पदार्थों में उपयोग में लायी गयी ऑक्सीजन की मात्रा तथा छोडी गयी कार्बन डाइऑक्साइड़ CO_2 की मात्रा भिन्न होती है।

अतः इनका श्वसन गुणांक भी भिन्न–भिन्न होता है।

टिप्पणी



चित्र क्र. 4.7: गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

13. श्वसन गुणांक का सूत्र हैं।

(अ) $= \frac{Vol.\ of\ O_2\ given\ out}{Vol.\ of\ CO_2\ taken\ it}$

(ब) $= \frac{Vol.\ of\ CO_2\ given\ out}{Vol. of\ O_2\ taken\ it}$

(स) इनमें से कोई नहीं

(द) (अ) तथा (ब) दोनों

4.8 श्वसन पर प्रभाव डालने वाले कारक (Factors Affecting Respiration)

टिप्पणी

श्वसन पर प्रभाव डालने वाले निम्नलिखित कारक होते है–

1. **ताप**– श्वसन की गति O^oC से 35^oC तक बढ़ती है तथा 35^oC से अधिक तापक्रम होने पर प्रोटोप्लाज्म तथा एन्जाइम नष्ट होने के कारण कम होती है। यह श्वसन की सामान्य गति है। तापमान के बढ़ने तथा घटने से श्वसन की दर प्रभावित होती है।
2. **कार्बन डाइऑक्साइड़**– वातावरण तथा वायु अथवा भूमि में CO_2 की सान्द्रता बढ़ने से श्वसन की दर घटने लगती है। तथा कम होने से श्वसन की दर बढ़ने लगती है। यदि भूमि में पर्याप्त मात्रा में CO_2 की सांद्रता न हो तो श्वसन की दर कम हो जाएगी।
3. **जल**– जल के अभाव तथा जल की अधिकता भी श्वसन की दर को प्रभावित करती है। जल सभी जीवधारियों, पौधों के प्रोटोप्लाज्म में उपस्थित होता है। किसी सूखे हूए बीजो जिसमें जल का अभाव है। में श्वसन की दर धीमी गति से होती है।
4. **प्रकाश**– श्वसन की प्रक्रिया प्रकाश की उपस्थिति तथा प्रकाश की अनुपस्थिति दोनो ही दशाओं में समान रूप से होती हे। परन्तु प्रकाश की एक निश्चित तीव्रता होने पर श्वसन क्रिया के द्वारा मुक्त हुई CO_2 की मात्रा प्रकाश – संश्लेषण में उपयोग होने वाली CO_2 के बराबर हो जाती है। इस दशा को कम्पेन्सेशन बिन्दु कहते हैं।
5. **भोज्य पदार्थ**– श्वसन क्रिया में जब श्वसनी पदार्थों की अधिकता होती हैं तब श्वसन की दर तीव्रता से होती हैं। पर जब श्वसनी पदार्थों की कमी होती हैं। तो श्वसन की दर में भी कमी आ जाती है। अर्थात् धीमी गति से श्वसन होता है।

श्वसन का महत्व (Significance of Respiration)

1. श्वसन क्रिया के द्वारा वायुमण्डल मे ऑक्सीजन तथा CO_2 गैसों का संतुलन बना रहता है।
2. श्वसन क्रिया के दौरान ऊर्जा का उत्पादन होता है। इस ऊर्जा का उपयोग पौधो में विभिन्न मेटाबॉलिक क्रियाओं को संपन्न करने के लिए किया जाता है।
3. श्वसन क्रिया के द्वारा जटिल भोज्य पदार्थों को सरल भोज्य पदार्थों के रूप में परिवर्तित किया जाता है।
4. श्वसन क्रिया द्वारा प्रविभाजी ऊतक को सक्रिय किया जाता है। जिससे पौधों की उचित वृद्धि हो सके।

टिप्पणी

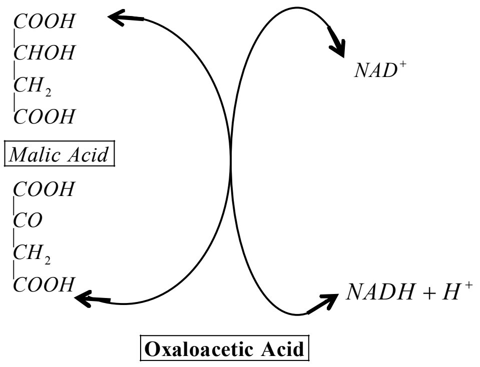
4.9 रिडॉक्स विभव (Redox Potential)

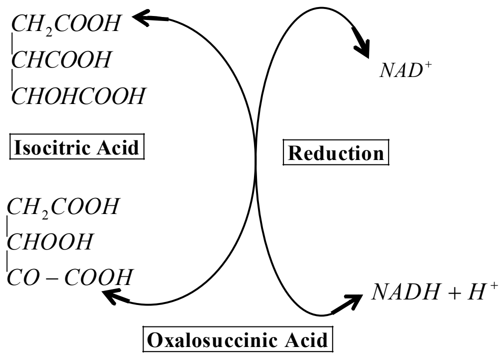
जीवधारियों मे होने वाली जैविक क्रियाओं में पदार्थों का ऑक्सीकरण तथा अपचयन होता है। अर्थात–

1. स्वतंत्र ऊर्जा विनिमय अभिकारक जो ऑक्सीकरण तथा अपचयन में भाग लेने वाले अभिकारक के इलेक्ट्रॉन देने की प्रवृत्ति तथा इलेक्ट्रॉन ग्रहण करने की प्रवृत्ति के अनुपाती होती है।
2. अतः स्वतंत्र ऊर्जा में होने वाले परिवर्तन को ΔG^o के द्वारा व्यक्त करने के लिए एक क्रम में संख्यात्मक रूप समझाया जाता है। अर्थात रिडॉक्स पोटेन्शियल के द्वारा इसे व्यक्त किया जाता हैं।
3. किसी भी तंत्र के रिडॉक्स विभव (E^o) को हाइड्रोजन इलेक्ट्रोड के पोटेन्शियल से तुलना कर उसे उसके pH^o पर 0.0 वोल्टस के द्वारा व्यक्त किया जा सकता है।
4. रिडॉक्स विभव सामान्यतः pH7.0 पर व्यक्त होता है। जिसमें हाइड्रोजन इलेक्ट्रोड का विभव –0.42 वोल्ट (लगभग) होता है।

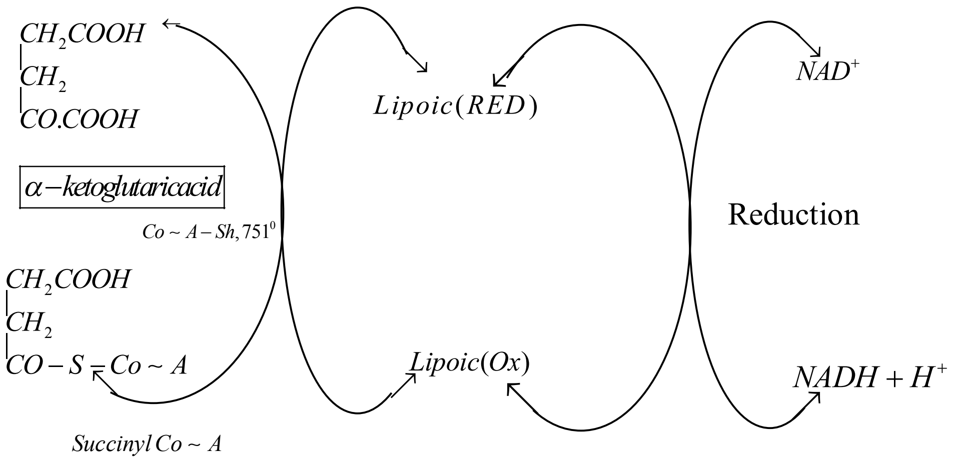
क्रेब्स चक्र में NAD तथा NADP द्वारा उत्प्रेरित ऑक्सीकरण अपचयन क्रियाएँ–

1. जब आइसोसिट्रिक अम्ल, ऑक्जेलोसक्सीनिक अम्ल में बदलता है। तब आइसोसिट्रिक अम्ल का ऑक्सीकरण होता है। एवं NAD का अपचयन होता है। आइसोसिट्रिक अम्ल का ऑक्सीकरण तथा NAD^+ का अपचयन, आइसोसिट्रिक डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में होता हैं। यह एन्जाइम क्रिया को उत्प्रेरित करती है।

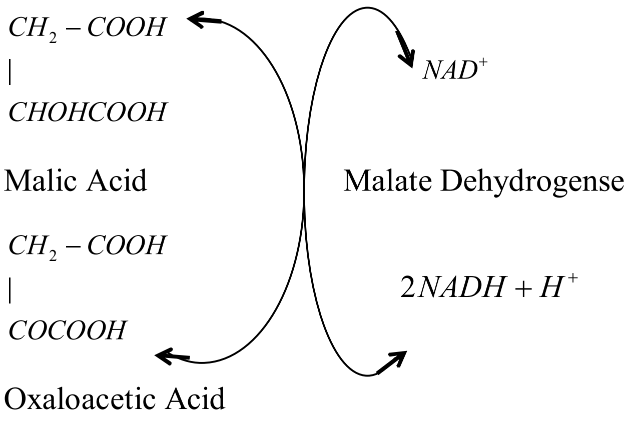




2. लिपोइक अम्ल के ऑक्सीकरण के दौरान NAT, NADH में बदलता है। इस क्रिया में स्कीटोग्लूटेरिक अम्ल सक्सीनाइल में तथा को एन्जाइम की उपस्थिति में परिवर्तित होता है।

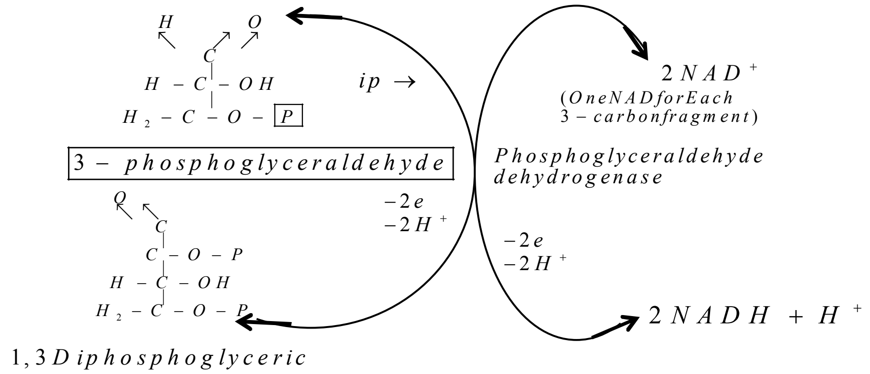


3. जब मैलिक अम्ल का ऑक्सीकरण तथा NAD^+ का अपचयन होता हैं। तब मैलिक अम्ल के ऑक्जेलोऐसीटिक अम्ल में परिवर्तित होने के समय मैलेट डीहाइड्रोजिनेज एन्जाइम क्रिया को उत्प्रेरित करता है।



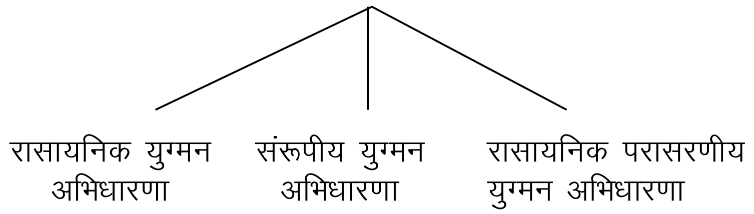
ग्लाइकोलाइसिस में द्वारा उत्प्रेरित क्रिया

ग्लाइकोलाइसिस की क्रिया में 3–फॉस्फोग्लिसरेलीहाइड ऑक्सीकरण के दौरान दो इलेक्ट्रॉन्स *(2e⁻)* तथा दो प्रोटॉन्स *($2H^+$)* मुक्त करता है। जिसके फलस्वरूप NAD का NADH में अपचयन होता है। इस प्रक्रिया में ऊर्जा का निष्कासन (मुक्त) होता है। अतः 3–फॉस्फोग्लिसरेल्डीहाइड डिहाइड्रोजिनेज एन्जाइम की उपस्थिति में 1,3 डाइफॉस्फोग्लिसरिक अम्ल का निर्माण होता है।



4.10 ATP संश्लेषण के विभिन्न सिद्धान्त (Different Theories of ATP Synthesis)

ऊर्जा के स्थानांतरण इलेक्ट्रॉन अभिगमन एवं ATP संश्लेषण को समझाने के लिए निम्नलिखित सिद्धान्त प्रस्तुत किए।



1. रासायनिक युग्मक अभिधारणा (Chemical Coupling Theory)– इसके सिद्धान्त के अनुसार ATP का बनना एक युग्मक कारक प्रोटीन से होता है। सबसे पहले युग्मक कारक किसी एक इलेक्ट्रॉन वाहक के साथ जुडता है। तथा जुड़कर उच्च ऊर्जा वाले कॉम्पलेक्स का निर्माण करता है। यह कॉम्पलेक्स CF-वाहक कॉम्पलेक्स कहलाता हे। यह कॉम्पलेक्स को ऊर्जा की आवश्यकता होती है। यह ऊर्जा इसे फॉस्फोरिलीकरण पर इलेक्ट्रॉन स्थानांतरण के द्वारा प्राप्त होती है। यह ऊर्जा फॉस्फोरिलीकरण में जब इलेक्ट्रॉन का स्थानांतरण होता है, उस समय मुक्त होती है। जिसे यह कॉम्पलेक्स ग्रहण कर लेता है। यह वाहक कॉम्पलेक्स का विनिमय अकार्बनिक फॉस्फेट के द्वारा होता है। इसके पश्चात् यह CD-P काम्पलेक्स अपने उच्च ऊर्जा वाले फॉस्फेट को ADP पर स्थानान्तरित करके ATP का निर्माण करता है।

2. संरूपीय युग्मन अभिधारणा (Conformational Coupling Theory)– संरूपीय युग्मन अभिधारणा के अनुसार माइटोकॉण्ड्रिया की झिल्ली की संरचना में परिवर्तन पाए जाते हैं, जो उच्च ऊर्जा वाले कंर्फमेशन (Conformations) को प्रेरित करता है। जो संरूपी ऊर्जा को मुक्त करने में सहायता प्रदान करते है। यह ऊर्जा ATP ase में उपयोग की जाती है। तथा ADP के द्वारा ATP का उत्पादन उत्प्रेरित होने से होता है। इस सिद्धान्त को मान्यता प्राप्त नहीं हो सकी अतः यह अमान्य है।

3. रासायनिक परासरणी युग्मन अभिधारणा (Chemiosmosis Coupoling Theory)– इस सिद्धान्त को ब्रिटिश के जैव रसायन वैज्ञानिक पीटर मिचैल (1961 तथा 1966) ने दिया। मिचैल को इस सिद्धान्त के लिए 1978 में नोबेल पुरस्कार दिया गया तथा इस सिद्धान्त को सबसे ज्यादा मान्यता प्राप्त हुई।

मिचैल के अनुसार ऑक्सीकारक फॉस्फोरिलीकरण के प्रथम चरण में प्रोटॉन आयन का स्थानांतरण माइटोकॉण्ड्रिया की आंतरिक झिल्ली की ओर होता है। ऐसा श्वसन क्षृंखला में ऑक्सीडेशन के द्वारा होता है। यह झिल्ली आयन्स के लिए सामान्य रूप से अपारगम्य होती है। विशेषतः यह प्रोटॉन्स के लिए जो झिल्ली के बाहरी सतह के पास एकत्रित हो जाते है। तथा वहाँ एकत्रित होकर झिल्ली के लिए विद्युत रासायनिक विभवांतर उत्पन्न करते हैं। इसमें से एक विद्युत रासायनिक तथा एक रासायनिक विभव होता है। यह विद्युतीय रासायनिक विभव झिल्ली पर ATP संश्लेषण को बढ़ाता हैं यह ऊर्जा की उपस्थिती में P तथा ADP के द्वारा ATP का निर्माण करते है।

टिप्पणी

सारणी क्र. 4.3: श्वसन क्रिया में ए. टी. पी उत्पादन

	Reaction Sequence	ATP Used	ATP Synthesized
1.	Glucose to Glucose 6 phosphate	1	–
2.	Fructose 6 phosphate to Fructose-1, 6-diphosphate	1	–
3.	13 diphosphoglyceric acid to 3 phosphoglyceric acid (1 × 2)	–	2
4.	Phosphoenol pyruvic acid to pyruvic acid (1 × 2)	–	2
5.	Dehydrogenation of glyceraldehyde-3 phosphate to 1.3 diphosphoglyceric acid (through ETS with participation of NAD) 3 × 2	–	6
	Total	**2**	**10**

Pyruvic Acid Oxidation		
Reaction Sequence	**ATP Used**	**ATP Synthesized**
Conversion of pyruvic acid to Acetyl Co A, dehydrogenation through ETS with initial acceptor being NAD (3 × 2)	6	
Krebs Cycle (There is no ATP loss is Krebs Cycle)		
		ATP Synthesized

Difference between Photophosphorylation and Oxidative Phosphorylation			
	No. Character	**Photo Phosphorylation**	**Oxidative Phosphorylation**
1.	Occurrence	Photosynthesis	Respiration
2.	Cell organelle involved	Chloroplast	Mitochondrion
3.	Occurrence within the organelle	Thylakoid membranes	Inner membrane of cristae
4.	Need for molecular oxygen	Not needed	Needed
5.	Source of energy	Light	Reduction-oxidation reactions.

टिप्पणी

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

14. रिडॉक्स विभव पर हाइड्रोजन इलेक्ट्रॉन का विभव होता है।
    (अ) 1.42 (ब) 0.42
    (स) -0.42 (द) 1.42
15. उच्च ऊर्जा वाले फॉस्फेट बंधो का अणु होता है।
    (अ) ADP (ब) NAD
    (स) FAD (द) ATP

4.11 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर (Answer to Check Your Progress)

1. (स)
2. (ब)
3. (स)
4. (अ)
5. (ब)
6. (स)
7. (ब)
8. (ब)
9. (अ)
10. (ब)
11. (ब)
12. (अ)
13. (ब)
14. (स)
15. (द)

4.12 सारांश (Summary)

इस इकाई में श्वसन का अध्ययन किया तथा यह जाना कि श्वसन सभी जीवों के जीवित रहने के लिए अनिवार्य है। यह जीव द्वारा ग्रहण किये गये भोज्य पदार्थों से ऊर्जा के रुप में मुक्त होती है।

इस इकाई में श्वसन के दौरान अन्तः श्वसन के माध्यम से ली गई ऑक्सिजन का उपयोग ग्लूकोज को कार्बन डाइऑक्साइड़ तथा जल में विखण्डित करने के लिए होता है। इस प्रक्रिया में ऊर्जा का उत्पादन अर्थात ऊर्जा मुक्त होती है।

ग्लूकोज का विखंडन जीव की कोशिका में होता है। अतः यह कोशिकीय श्वसन कहलाता है।

माइटोकॉण्ड्रिया कोशिका का पावरहाउस होता है यह कोशिकीय श्वसन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है।

इस इकाई के अध्ययन में आपने श्वसन, श्वसन के प्रकार, श्वसन गुणांक, श्वसन को प्रभावित करने वाले कारक तथा श्वसन की क्रियाविधि का विस्तार पूर्वक अध्ययन किया।

टिप्पणी

जिसका निष्कर्ष यह है कि जीवों के द्वारा ग्रहण की गई ऑक्सीजन का ऑक्सी श्वसन तथा अनॉक्सी श्वसन के माध्यम से विभिन्न पथों जैसे–ग्लाइकोलाइसिस, क्रेब्स चक्र, इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट चेन, रेडॉक्स विभव, आदि में भोज्य पदार्थों का ऑक्सिजन की उपस्थिति में ऑक्सीकरण तथा अपचयन होता है। जिसके फलस्वरुप ऊर्जा का उत्पादन होता है। यह ऊर्जा जीवधारीयों के द्वारा जैविक क्रियाओं को करने के लिए उपयोग में लायी जाती है। तथा मुक्त हुई ऊर्जा का कुछ भाग ATP के रुप में माइटोकॉण्ड्रिया में संचित हो जाता है। ATP से जीवों की शारिरिक सक्रियता बढ़ने के कारण श्वसन दर भी बढ़ जाती है।

4.13 मुख्य शब्दावली (Key Terminology)

- **श्वसनः** ऑक्सीजन का बाहय वातावरण से श्वसन तंत्र द्वारा ऊतकों तक पहुँचाना।
- **ऑक्सी श्वसनः** ऑक्सीजन की उपस्थिति में होता हैं।
- **अनॉक्सी श्वसनः** ऑक्सीजन की अनुपस्थिति में होता हैं।
- **कोशिकीय श्वसनः** भोजन के ऑक्सीकरण द्वारा ऊर्जा उत्पन्न होने की क्रिया।

4.14 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास (Self Assessment Questions and Exercises)

लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. श्वसन को परिभाषित करिए।
2. श्वसन गुणांक पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखो।
3. रिडॉक्स विभव पर टिप्पणी लिखिए।
4. श्वसन गुणांक तथा प्रकाश संश्लेषण गुणांक में अंतर स्पष्ट करो।
5. ऊर्जा का ''पावर हाउस'' किसे कहा जाता है? और क्यों?
6. पेण्टोज फॉस्फेट पाथवे से आप क्या समझते है?
7. ऑक्सी श्वसन पर संक्षिप्त टिप्पणी लिखो?
8. श्वसन पर प्रभावकारी कारक कौन–कौन से होते हैं? टिप्पणी लिखो।

9. संक्षिप्त टिप्पणी लिखिए–
   (अ) माइटोकॉण्ड्रिया की परासंरचना
   (ब) किण्वन

टिप्पणी

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Type Questions)

1. इलेक्ट्रॉन ट्रान्सपोर्ट तंत्र का विस्तार पूर्वक वर्णन करिए।
2. ATP क्या है? ATP संश्लेषण के सिद्धान्तो तथा इसके निर्माण प्रक्रिया को विस्तार पूर्वक समझाइए।
3. ऑक्सी श्वसन तथा अनॉक्सी श्वसन मे अंतर स्पष्ट करिए।
4. श्वसन गुणांक को परिभाषित करते हुए उसके इकाइ मान को समझाइए।
5. ग्लाइकोलाइसिस का वर्णन करिए। तथा इसका महत्व बताइए।
6. ऑक्सीडेटिव फॉस्फोराइलेशन की क्रियाविधि को समझाइए।
7. श्वसन की क्रियाविधि को उदाहरण सहित समझाइए।
8. गेनांग्स रेस्पाइरोमीटर द्वारा श्वसन पदार्थों का श्वसन भाग ज्ञात करने हेतु सचित्र समझायें।
9. क्रेब्स चक्र के विभिन्न चरणों का वर्णन करिए।
10 रेडॉक्स विभव पर लेख लिखिए।
11 पेण्टोज फॉस्फेट पथ का वर्णन करिए तथा इसके महत्त्व को समझाइए।

4.15 सहायक पाठ्य सामग्री (Suggested Readings)

1. Function to Plant Physiology Fourth Edition William G. Hopkins German P.A. Honer.
2. यूनिफाइड वनस्पति विज्ञान एस.वी. अग्रवाल।
3. Plant Physiology Third Edition Taiz & Zeiger.

इकाई 5 एन्जाइमोलॉजी एवं पादप हार्मोन (Enzymology and Plant Hormone)

संरचना (Structure)

5.0 परिचय
5.1 उद्देश्य
5.2 एन्जाइमों का वर्गीकरण
5.3 नामकरण एवं अभिलाक्षणिक गुण
5.4 होलोएन्जाइम, एपोएन्जाइम, कोएन्जाइम एवं कोफेक्टर्स की संकल्पना
5.5 एन्जाइम की कार्यप्रणाली एवं क्रियाविधि
5.5.1 एन्जाइम की क्रियाविधि के सिद्धान्त
5.5.1.1 ताला कुंजी सिद्धान्त
5.5.1.2 प्रेरित जोड़ परिकल्पना
5.6 एन्जाइम क्रिया को प्रभावित करने वाले कारक
5.7 एन्जाइम का जैविक महत्व
5.8 पादप हार्मोन
5.8.1 ऑक्सिन
5.8.2 जिबरेलिन्स
5.8.3 साइटोकाइनिन्स या फाइटोकाइनिन्स
5.8.4 एब्सिसिक अम्ल
5.8.5 इथिलीन
5.9 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर
5.10 सारांश
5.11 मुख्य शब्दावली
5.12 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास
5.13 सहायक पाठ्य सामग्री

5.0 परिचय (Introduction)

पौधों की वृद्धि नियंत्रण को प्रभावित करने वाले घटकों में एक मुख्य घटक पादप हार्मोन है। हार्मोन मुख्यतः पौधों की वृद्धि को बढाते हैं। अतः यह वृद्धि नियंत्रक कहे जाते हैं। सामान्यतः यह कार्बनिक कम्पाउण्ड होते हैं जो कि सूक्ष्म मात्रा में पौधों के निर्धारित भाग में बनाये जाते हैं एवं अन्य भागों में स्थानान्तरित किये जाते हैं। पादप कोषा एक सूक्ष्म रासायनिक फैक्टरी की तरह होती है जिसमें सैकड़ो रासायनिक क्रियायें तीव्र गति से सामान्य तापक्रम पर चलती रहती हैं। ये सभी जैव–रासायनिक क्रियायें पौधों को जीवन प्रदान करती हैं। जो कि एक जीवन हेतु आवश्यक क्रियायें–अवशोषण, संश्लेषण, वृद्धि, प्रजनन, आदि को नियंत्रित करती हैं।

इन सभी का विनियमन एन्जाइमों के द्वारा होता है। जो कि अत्यंत सूक्ष्म मात्रा में क्रियाशील होकर क्रियाओं को उत्प्रेरित करने का कार्य करते है। प्रस्तुत इकाई में विद्यार्थी हार्मोन एवं एन्जाइम का विस्तृत अध्ययन करेंगे।

टिप्पणी

5.1 उद्देश्य (Objectives)

इस इकाई का मुख्य उद्देश्य विद्यार्थियों को एन्जाइम एवं हार्मोन की क्रियाशीलता का पौधों के जीवन में महत्व एवं आवश्यकता का विस्तृत विवरण प्रस्तुत करना है।

5.2 एन्जाइमों का वर्गीकरण (Classification of Enzymes)

एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया के आधार पर ये दो प्रकार के होते है–

1. **हाइड्रोलाइजिंग या जल अपघटित एन्जाइम**– ये एन्जाइम जल की उपस्थिति में क्रिया धैर तोड़ते हैं जैसे–
   - **कार्बोहाइड्रेट**– कार्बोहाइड्रेट का जल अपघटन।
   - **प्रोटीयेज**– प्रोटीन का जल अपघटन।
2. **डेस्मोलाइजिंग एन्जाइम**– ये किसी भी अभिक्रिया में भाग लेने का काम करते है। जल अपघटन में भी यह एन्जाइम सहयोग करते है। जैसे–
   - **एल्डोलेज**– कार्बन श्रृंखला को जोड़ते या घटाते हैं।
   - **हाइड्रेज**– जल के अणु को जोड़ते हैं।
   - **डीहाइड्रोजिनेज**– हाइड्रोजन को स्थानांन्तरित करते हैं।

Enzyme को अन्तर्राष्ट्रीय जैव रसायन संघ (International Union of Biochemistry – IUB, 1961) द्वारा 6 मुख्य वर्गों में बांटा गया है–

(i) ऑक्सीडोरिडक्टेज (Oxidoreductases)– इस प्रमुख वर्ग में वे एन्जाइम रखे जाते हैं, जो दो क्रियाधरों के बीच Oxidation एवं Reduction की क्रिया को अंजाम देते है। इनमें e^- तथा H_2 या दोनों ही एक सब्स्ट्रेट से दूसरे सब्स्ट्रेट पर स्थानांन्तरित हो जाते है। इसके साथ–साथ कुछ अन्य Co-enzymes जैसे NAD, NADP भी स्थानान्तरीत हो जाते है। ये e^- एवं H_2 का Transfer करने में सहायक होते हैं। ये एन्जाइम्स प्रकाश संश्लेषण एवं श्वसन में सहायक होते हैं–

(a) डिहाइड्रोजिनेज– Oxidases Enzyme Oxidation को Catalyse करते हैं। इस क्रिया में क्रियाधार से एक H_2 अणु निकल जाता है।

$$AH_2 \longrightarrow A + 2(H)$$

(b) ऑक्सीडेजेज (Oxidases)– इसमें हाइड्रोजन ग्रहण करने वाला O_2 पाया जाता है। जिससे H_2O एवं H_2O_2 बनता है।

टिप्पणी

(c) परऑक्सीडेज (Peroxidase)– ये एन्जाइम सब्स्ट्रेट से H_2 को पृथक् करते हैं जो कि H_2O_2 से संयोग करते है।

$$AH_2 + H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + A$$

(d) ऑक्सीजिनेजेज (Oxygenases)– ये एन्जाइम ऑक्सीजन के दोनों परमाणुओं के संयोजन को उत्प्रेरित करते है।

(e) हाइड्रॉक्सीलेज (Hydroxylase)– ये एन्जाइम उन अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं जिसमें ऑक्सीजन का केवल एक परमाणु सबस्ट्रेट में जोड़ा जाता है।

(f) रिडक्टेजेज (Reductases)– ये एन्जाइम सब्स्ट्रेट से सिर्फ e^- को पृथक् करते हैं न कि हाइड्रोजन आयन को।

(g) केटेलेजेज (Catalases)– ये एन्जाइम H_2O_2 से आण्विक O_2 को निकालते है।

$$H_2O_2 \longrightarrow H2O + \frac{1}{2}O_2$$

(ii) ट्रान्सफरेजेज (Transferases)– एक Substrate के अणु को दूसरे Substrate मे स्थानान्तरित करने वाले Enzymes को Transferase enzyme कहते है।

जैसे– Hexokinase–Phosphate group का Transfer करता है। Phosphorylases– एक energy rich phosphate group को स्थानान्तरित करता है।

(iii) हाइड्रोलेजेज (Hydrolases)– ऐसे एन्जाइम जो जल की मदद से अणुओं को छोटे तथा सरल पदार्थों मे विघटित करने वाली अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करने का कार्य करते हैं हाइड्रोलेज एन्जाइम कहलाते हैं। यह दो प्रकार के होते है–

(a) अन्तः केशिकीय (Intracellular enzymes)– जो एन्जाइम पादप कोषा के अंदर काम करते है। ये अंकुरित बीजों में कार्य करते है।

(b) बाहय केशिकीय (Extracellular enzymes)– जो enzyme पादप कोषा के बाहर काम करते हैं।

उदाहरण– Lipase, carbohydrases, β - Galactosidase इत्यादि।

(iv) लाइसेज (Lyases)– ऐसे एन्जाइम जो बिना जल– अपघटन के ही Substrate से Functional group के निष्कासन का कार्य करते है। अर्थात Hydrolases में जल की आवश्यकता होती है लेकिन इसमें जल की आवश्यकता नहीं होती है।

उदाहरण– एल्डोलेज, फ्यूमरेज, एकोनियेज।

(v) आइसोमरेज (Isomerases)– ऐसे एन्जाइम जो सबस्ट्रेट अणुओं में परमाणुओं को पुनः व्यवस्थित करते हैं।

उदाहरण– ये ग्लूकोज फॉस्फेट के एक अणु को फ्रक्टोज फॉस्फेट में परिवर्तित कर देते हैं। ये आइसोमराइजेशन को उत्प्रेरित करते है।

(vi) लाइगेज (Ligases)– ऐसे एन्जाइम जो किसी न्यूक्लिओसाइट फॉस्फेट के टूटने से उत्पन्न होने वाली क्रिया के द्वारा दो अणुओं को आपस में जोड़ने का कार्य करते हैं।

ये प्रायः Anabolic reaction में भाग लेते हैं जिनसे अणुओं का संश्लेषण होता है।

5.3 नामकरण एवं अभिलाक्षणिक गुण (Nomenclature and Characteristics of Enzyme)

किसी Enzyme का नामकरण Substrate के अंत में ऐज जोड़कर किया जाता है। जैसे– Urease एवं Phosphatase। क्रिया के स्वभाव को उत्प्रेरित करने के आधार पर भी एन्जाइम का नामकरण होता है–

1. **डिहाइड्रोजिनेज (Dehydrogenase)**– Hydrogen को स्थानान्तरित करने वाला एन्जाइम।
2. **ट्रान्सफरेज (Transferase)**– रासायनिक समूहों को स्थानान्तरित करने वाला एन्जाइम। किसी एक एन्जाइम के नाम में उसके क्रियाधार का नाम भी शामिल रहता है जैसे–
   (i) सक्सीनेट डीहाइड्रोजिनेज
   (ii) एल्कोहॉल डीहाइड्रोजिनेज

कभी–कभी Enzyme का नाम न तो किसी वैज्ञानिक के नाम के आधार पर होते है न ही क्रिया या प्रतिक्रिया के आधार पर। जैसे–

(a) केटेलेज (Catalase)
(b) परऑक्सीडेज (Peroxidases)

एन्जाइम के लक्षण (Characteristics of Enzyme)

Enzymes में special characters पाये जाते हैं जिनके द्वारा वे Biochemical reactions को गति प्रदान करते हैं।

इनके प्रमुख लक्षण निम्न प्रकार के हैं– Enzyme के 6 प्रमुख लक्षण होते हैं–

1. उत्प्रेरक गुण (Catalylic properties)
2. व्युत्क्रमणीयता क्रिया (Reversibility of Action)

टिप्पणी

3. विशिष्ट प्रकृति (Specific in Nature)
4. कोलाइडल गुणधर्म (Collidal properties)
5. ताप के प्रति संवेदनशीलता (Sensitiveness to heat)
6. विषों द्वारा एन्जाइम संदमन (Inhibition of Enzyme by poisons)

1. **उत्प्रेरक गुण (Catalytic properties)**– एन्जाइम अच्छे उत्प्रेरक होते हैं। क्योंकी ये क्रिया की दर को बढ़ा देते हैं। Chemical reaction में विशिष्ट गुणवाले सक्रिय पदार्थ होते हैं जो बहुत कम मात्रा में रासायनिक क्रिया की दर को बढ़ा देते है अतः इन्हें Biocatalyst भी कहा जाता है।

2. **व्युत्क्रमणीय क्रिया (Reversibility of Action)**– अगर कोई क्रिया उत्क्रमणीय होती है अर्थात् दोनों दिशाओं में अभिक्रिया होती हैं तो एन्जाइम क्रिया की दिशा को बदलते नहीं हैं बस क्रिया को उत्प्रेरित करते है।

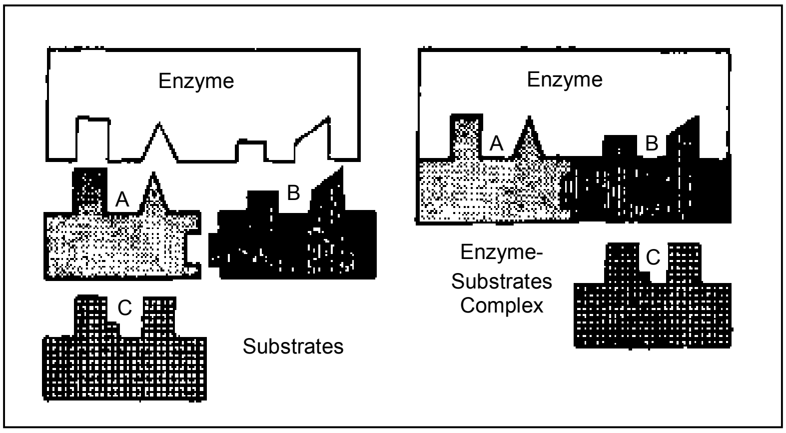
   जैसे– Alcohol dihydrogenase नामक Enzyme निम्न प्रक्रिया को उत्प्रेरित करते है।

$$\underset{\text{एथिल एल्कोहॉल}}{CH_3CH_2OH} + NAD^+ \rightleftharpoons \underset{(Al\,\mathrm{de}\,hyde)}{CH_3CHO} + NADH + H^+$$

   उदाहरण– लाइपेज, वसा का जल अपघटन कर ग्लिसरॉल एवं वसीय अम्ल बनाता है तथा यही एन्जाइम ग्लिसरॉल एवं वसीय अम्ल से क्रिया कर वसा का संश्लेषण भी करता है।

3. **विशिष्ट प्रकृति (Specific in Nature)**– प्रत्येक Enzyme विशिष्ट प्रकृति वाला होता है। अर्थात् कोई Special enzyme एक Special chemical reaction को ही उत्प्रेरित करता है।

   उदाहरण– Sucrase enzyme– ये केवल सुक्रोस का ही जल अपघटन करता है।



चित्र क्र. 5.1: एन्जाइम की विशिष्ट प्रकृति

एमाइलेज एन्जाइम (Amylase enzyme) ये Starch का जल अपघटन करता है।

4. **कोलाइडल गुणधर्म (Colloidal properties)**– Enzyme colloid प्रकृति के होते है। इनका अणुभार उच्च होता है। Enzyme प्रोटीन दीर्घ अणू होते हैं और सभी Colloidal गुणों को दर्शाते हैं।

5. **ताप के प्रति संवेदनशील (Sensitiveness to heat)**– Enzyme 60°*C* 70°*C* से temperature पर inactive हो जाते हैं अर्थात् heat के द्वारा ये निष्क्रिय किये जाते हैं। शुरूआत में ये moist stage में होते हैं बाद में इन्हें heat के द्वारा inactive किया जाता है क्योंकि शुष्क अवस्था में ये स्थिर होते हैं। इस गुण के कारण Thermolabile कहलाते हैं।

6. **विषों द्वारा एन्जाइम संदमन (Inhibition of Enzyme by Poisons)**– Enzyme के कार्य क्षमता में विषों के संदमन से रूकावट आती हैं। ये दो प्रकार का होता है–

   (a) **व्युत्क्रमणीय संदमन (Reversible Inhibition)**– इसमें जो भी संदमक होता हैं वह Enzyme से Non-covalent bond (Weak bond) बनाता है। इसलिये Reaction Reversible होती है। ये तीन प्रकार का होता है–

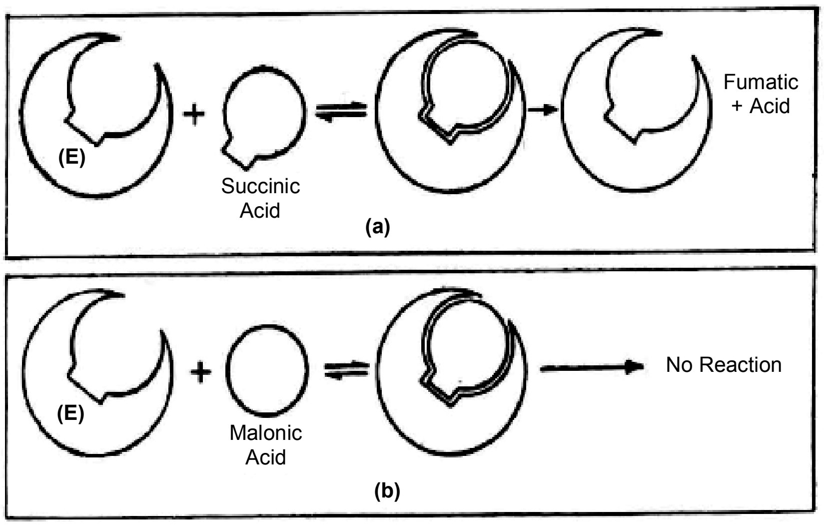
      (i) **प्रतिस्पर्धीय संदमन (Competitive)**– इसमें Substrate Enzyme के सक्रिय स्थल से जुड़कर Substrate Enzyme Complex बनाता हैं। S + E→ SE complex

      इस क्रिया में संदमक और क्रियाधर में प्रतिस्पर्धा होती है, कि Enzyme के साथ कौन जुड़ेगा। Substrate जुड़ेगा तो Product बनेगा परंतु Inhibitor के जुडने से क्रिया आगे नही बढ़ेगी।

      यदि Substrate की Concentration बढ़ा दी जाये तो enzyme से Substrate के जुड़ने की priority बढ़ जायेगी जिससे product बन जायेगा।

      अगर उत्पादन कम करना हैं तो Inhibitor की सांद्रता बढा देंगे। जिससे inhibitor के enzyme से जुड़ने हेतु उपलब्धता बढ़ जायेंगी जिससे आगे कोई reaction नहीं होगा।

टिप्पणी



चित्र क्र. 5.2: एन्जाइम क्रिया में प्रतिस्पर्धीय संदमन

(ii) अप्रतिस्पर्धीय संदमन (Non-competitive)– इसमें Inhibitor, एन्जाइम की सक्रिय स्थल के अलावा किसी भी भाग से जुड़ जाते हैं जिससे Enzyme की संरचना बदल जाती है और Substrate Active site पर नहीं जुड़ पाता है जिसके कारण उत्पाद नहीं बनता है। एवं क्रिया संपन्न नहीं होती।

जैसे mitochondria में पाये जाने वाले एन्जाइम Cytochrome oxidase का Inhibition cyanide द्वारा होता है।

(iii) एलोस्टेरिक मॉडयूलेशन संदमन (Allosteric Modulation Inhibition)– यह पुनर्निवेश संदमन कहलाता है। कुछ एन्जाइम कभी–कभी दो विशिष्ट स्थल प्रदर्शित करते हैं जिनमें एक स्थल क्रियाधर बंधन हेतु तथा दूसरा संदमक बंधन के लिए कार्य करता है। इसमें प्रथम स्थल सक्रिय तथा दूसरा स्थल एलोस्टेरिक स्थल कहलाता है। ऐसे एन्जाइम एलोस्टेरिक एन्जाइम कहलाते हैं।

(b) अनुत्क्रमणीय संदमन (Irreversible Inhibition)– इसमें जो भी संदमक होता है वह Covalent bond बनाता है इसलिये यह Reaction Irreversible होती है। क्योंकि बनने वाला bond strong होता है।

टिप्पणी

5.4 होलोएन्जाइम, एपोएन्जाइम, कोएन्जाइम एवं कोफेक्टर्स की संकल्पना (Concept of Holoenzyme, Apoenzyme, Coenzyme and Co-factors)

(Holoenzyme) प्रायः सभी Enzyme प्रोटीन के बने होते हैं और रासायनिक दृष्टि से निम्न प्रकार दो समूहों में बाँटे होते है–

1. साधारण एन्जाइम (Simple Proteins Enzyme)
2. एपोएन्जाइम (Conjugated Enzyme)

1. **साधारण एन्जाइम (Simple enzyme)**– ये सिर्फ और सिर्फ protein part से मिलकर बने होते हैं इसमें कोई भी दूसरे particles attach नहीं होते हैं इसलिये इसे simple enzyme कहते हैं।

   उदाहरण– Urease enzyme, Amylase enzyme, Pepsin enzyme.

2. **एपोएन्जाइम (Conjugated enzyme)**– या जब किसी enzyme से दूसरे कुछ molecules आकर attached होते है तो इसे Conjugated enzyme कहते है। Conjugated enzyme का main भाग Protein का ही होता है जिसे Apoenzyme कहते हैं। Apoenzyme के साथ कुछ Non-protein part भी आकर attach होते हैं उसे हम Prosthetic group कहते है। ये group metallic हो सकते हैं या inorganic होते हैं–

   - **Metalic ions** जब ये Metalic ions Apoenzyme के साथ आकर जुडते है तब इसे Cofactors कहते हैं।
   - **Inorganic ions** जब ये Inorganic ions apoenzymes से जुडते है तब हम इसे Coenzyme कहते हैं।

5.5 एन्जाइम की कार्यप्रणाली एवं क्रियाविधि (Mode and Mechanism of Enzyme Action)

जीवित कोशिकाओं में बिना किसी एन्जाइम के बहुत सी जैविक क्रियायें होती हैं जिसके लिये इन्हें बहुत उच्च ताप एवं दाब की जरूरत होती है। Enzyme की क्रिया चरणबद्ध होती है।

सर्वप्रथम Enzyme, Substrate के साथ मिलकर Enzyme Substrate complex बनाता है।

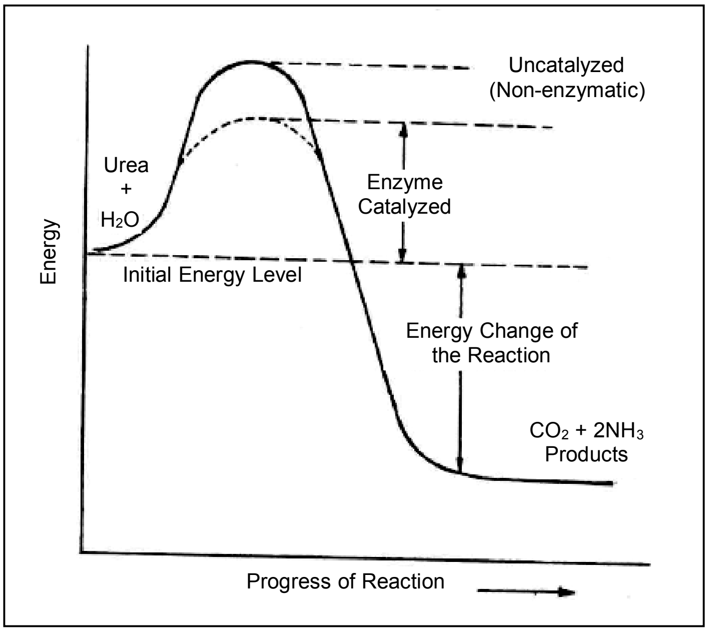
$$E + S \rightarrow ES \text{ Complex}$$

जैसे ही Enzyme एवं Substrate के सक्रिय स्थल आपस में संपर्क में आते हैं उनके बंध एवं आकृति में Deformation होने लगता है जिससे क्रिया शुरू हो जाती है।

टिप्पणी

Substrate के कुछ बंध टूटते हैं या एक से अधिक होने के कारण ये जुड़ते है जिसके कारण नये उत्पाद का निर्माण होता है।

उत्पाद बनने के बाद Enzyme स्वतंत्र हो जाते हैं एवं यही स्वतंत्र एन्जाइम दोबारा अन्य किसी Substrate के साथ जुड़कर क्रिया संपन्न करते हैं।



चित्र क्र. 5.3: ग्राफ द्वारा एन्जाइम की सक्रियता ऊर्जा का प्रदर्शन

''जब कोई पदार्थ रासायनिक क्रिया करता हैं तो उसके लिये एक निश्चित ऊर्जा की आवश्यकता होती है। इसे ही संक्रियण ऊर्जा कहते हैं।'' Enzyme सबस्ट्रेट की इसी ऊर्जा को कम कर देते है। (चित्र क्र. 5.3)

एन्जाइम द्वारा उत्प्रेरित क्रियाओं में एन्जाइम का सबसे महत्वूपर्ण कार्य संक्रियण ऊर्जा की मात्रा को कम करना होता है जिससे अभिक्रिया आरंभ हो सके। संक्रियण ऊर्जा के कम होने से होने वाली क्रिया के माध्यम में अधिकांश अणु सक्रिय हो जाते है। तथा इनके बीच अधिक रासायनिक संयोजन प्रारंभ हो जाता है। रासायनिक अभिक्रियाओं के कई यौगिकों में ऊर्जा संक्रियण में अंतर देखा गया है।

उदाहरण– केटेलेज एन्जाइम के अनुपस्थित होने पर H_2O_2 के विघटन हेतु 18 kcal/mole सक्रियण ऊर्जा रहती है जबकि केटेलेज एन्जाइम की उपस्थिति में केवल 6.4 k cal/mol ऊर्जा की आवश्यकता देखी गयी है।

5.5.1 एन्जाइम की क्रियाविधि के सिद्धान्त (Theories of Enzyme Activity)

टिप्पणी

एन्जाइम की क्रियाविधि किसी Substrate के संपर्क में आने से शुरू होती हैं जिसके फलस्वरूप एक Enzyme substrate complex बन जाता है। एन्जाइम की क्रियाविधि को समझाने के लिये परिकल्पनायें दी गयी है।

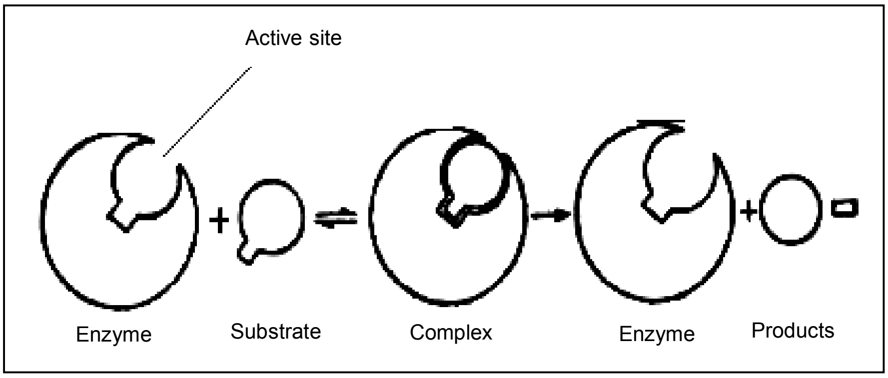
5.5.1.1 ताला कुंजी सिद्धान्त (Lock and Key Theory)

ताला कुंजी सिद्धान्त एमिल फिशर (1894) ने दिया था। इनके अनुसार "हर एन्जाइम के लिये एक अलग Substrate होता है"। जिस प्रकार किसी भी ताले की एक विशिष्ट चाबी होती है उसी तरह हर एन्जाइम का एक विशिष्ट सबस्ट्रेट होता है। (चित्र क्र. 5.4)

चित्रानुसार सबस्ट्रेट एन्जाइम की सक्रिय स्थल पर आकर जुड जाते हैं क्योंकि इन दोनों की Shape में Complementary संबंध होता है। इनके जुड़ने से Enzyme substrate complex का निर्माण होता है।

इस सिद्धान्त का महत्वपूर्ण पहलू यह है कि यह प्रक्रिया उत्क्रमणीय प्रक्रिया होती हैं। एन्जाइम केवल reaction की दर को प्रभावित करता है न कि उसकी दिशा को। अतः Reaction दोनों दिशाओं में गतिशील होती है।

ताला–चाबी सिद्धान्त इस बात की भी पुष्टि करता है क्रिया के अंत में एन्जाइम में कोई परिवर्तन नहीं होता है।



चित्र क्र. 5.4: एन्जाइम का ताला चाबी सिद्धान्त

जिस प्रकार कुंजी द्वारा ताला पूर्णतः अलग हो जाता है उसी तरह enzyme की क्रिया द्वारा substrate molecule टूट जाता है। जिस तरह ताले के खुलने से चाबी नहीं बदलती उसी तरह Enzyme भी अपरिवर्तित रहते हैं।

टिप्पणी

5.5.1.2 प्रेरित जोड़ परिकल्पना (Induced Fit Model)

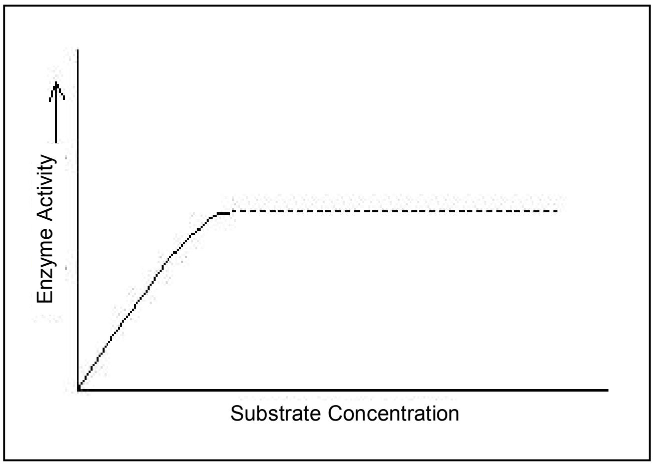
ये सिद्धान्त D. Koshland ने 1958 में दिया था। इनके अनुसार "जब substrate enzyme के साथ जुड़ जाता है तो वह enzyme के chemical reaction को Induse करना start कर देता है और, Enzyme के structure को भी change कर देता है"।

जैसे कि Lock and key theory के अनुसार enzyme shape fixed होता है लेकिन koshland के अनुसार– जब Substrate enzyme के साथ जुड़ जाता है तो Enzyme के संरचना में परिवर्तन आ जाता है और ये परिवर्तन ही Enzyme की ज्यादा effectively कार्य करने में मदद करता है।

5.6 एन्जाइम की क्रिया को प्रभावित करने वाले कारक (Factors Affecting Enzyme Activity)

एन्जाइम क्रियाओं को अनेक कारक प्रभावित करते हैं–

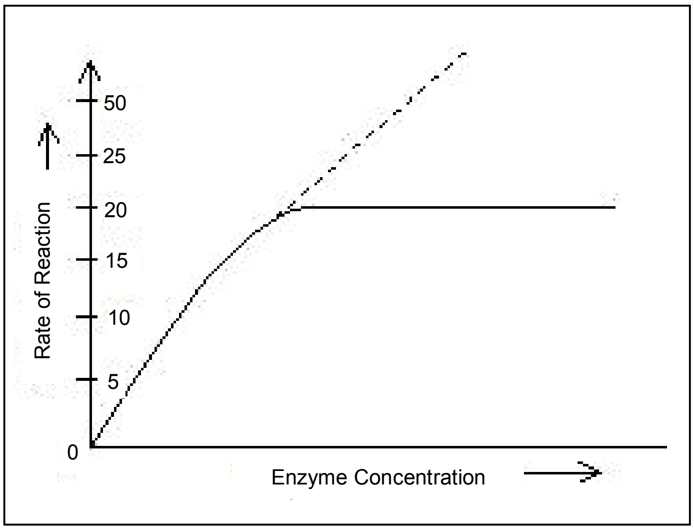
1. सबस्ट्रेट सांद्रता– सबस्ट्रेट की सांद्रता में वृद्धि होने पर एन्जाइम क्रिया की दर भी बढ़ती है। परंतु जब एन्जाइम सबस्ट्रेट से संतृप्त (Saturated) हो जाता है तो क्रिया की दर में कोई वृद्धि नहीं होती।



चित्र क्र. 5.5: सबस्ट्रेट सांद्रता का एन्जाइम क्रियाशीलता पर प्रभाव

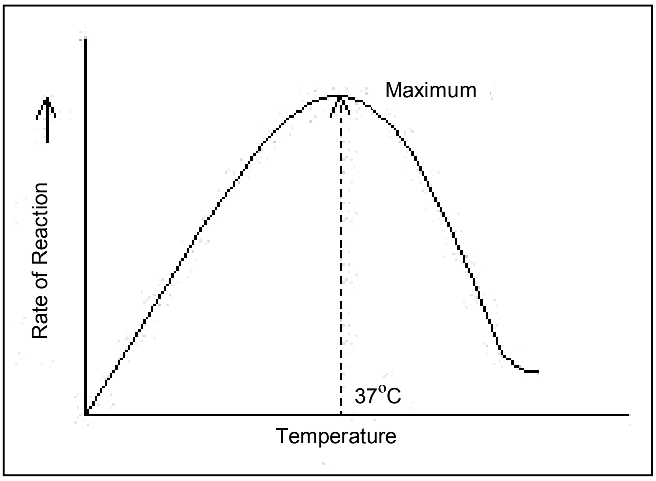
2. एन्जाइम सांद्रता– क्रिया में यदि सबस्ट्रेट की मात्रा अधिक होती है तो एन्जाइम की सांद्रता दुगुनी कर देने पर उत्पाद की मात्रा बढ़ जाती है। परंतु क्रिया के अंत में एक संतृप्त बिन्दु आ जाता है जिसके पश्चात् एन्जाइम की सांद्रता बढ़ाने पर भी कोई प्रभाव नहीं पड़ता।

टिप्पणी



चित्र क्र. 5.6: एन्जाइम क्रियाशीलता पर एन्जाइम सांद्रता का प्रभाव

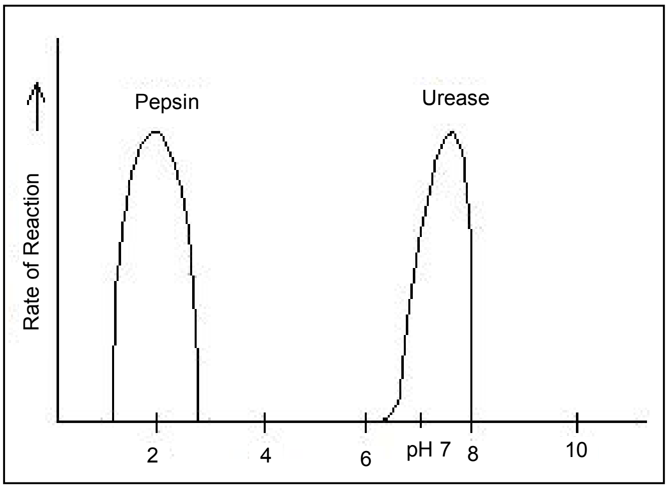
3. तापमान– एन्जाइम्स प्रोटीन स्वभाव के होते हैं अतः तापमान परिवर्तनों के लिए यह बहुत संवेदनशील होते हैं। प्रायः एन्जाइम की सक्रियता प्रत्येक 10°C तापमान बढ़ाने पर अधिकतम 37°C तक दोगुनी हो जाती है परंतु इससे अधिक ताप पर सक्रियता कम होने लगती है और 60-70°C पर एन्जाइम क्रियायें अक्रिय हो जाती हैं।



चित्र क्र. 5.7: एन्जाइम क्रिया पर तापमान प्रभाव

1. pH (पी.एच)– एन्जाइम की क्रियायें अनुकूलता *pH* पर प्रभावी होती है। *pH* कम या अधिक होने पर क्रियायें कम या अधिक होने लगती है।

उदाहरण– पेटिसन कम *pH* पर जबकि यूरियेज उदासीन *pH* पर अधिक क्रियाशील होते हैं।



चित्र क्र. 5.8: एन्जाइम क्रिया पर pH अनुकूलतम प्रभाव

5.7 एन्जाइम का जैविक महत्व (Biological Importance of Enzymes)

1. **चीज निर्माण (Cheese making)**– रेनिन एन्जाइम की उपस्थिति में केसीन तथा प्रोटीन के कण मिलकर चीज बनाते है।
2. **जैव–रासायनिक–विश्लेषण (Biochemical-analysis)**– यूरियेज एवं यूरिकेज एन्जाइम का उपयोग रक्त में उपस्थित यूरिक अम्ल एवं यूरिया की मात्रा ज्ञात करने में किया जाता है। इसी प्रकार सुक्रेस एन्जाइम द्वारा सुक्रोस की उपस्थिति ज्ञात करते हैं।
3. **पेंक्रियेटिक एन्जाइम**– का उपयोग चमड़ा उद्योग में त्वचा से बाल हटाने हेतु किया जाता है।
4. **घावों के उपचार एवं त्वचा रोगों में**– प्रोटियोलाइटिक एन्जाइमों का प्रयोग घावों के उपचार तथा त्वचा रोगों में होता है।
5. **बीमारियों के निदान में**– मस्तिष्क तथा धमनियों में जमे रक्त के थक्के को घोलने में यूरोकाइनेज एन्जाइम उपयोग में लाया जाता है। जिससे कई बीमारियों से निजात मिलती है।
6. **फलों के रस उपचार में**– सेब तथा अंगूरों के रसों के उपचार हेतु पेक्टिक एन्जाइम का उपयोग होता है। यह पेक्टिक एन्जाइम फलों के पेक्टिक पदार्थों का विघटन कर देते हैं और साफ रसों का निर्माण संभव हो पाता है।
7. **जैव रासायनिक क्रियाओं में**– जीवों में होने वाली सभी जैव रासायनिक क्रियाओं (श्वसन, प्रकाश संश्लेषण, वृद्धि जनन) हेतु एन्जाइमों का उपयोग होता है)।

5.8 पादप हार्मोन (Plant Hormones)

टिप्पणी

परिचय

ये वह जटिल कार्बनिक पदार्थ है जो पेड़–पौधों में निश्चित स्थानों पर बनते हैं तथा वहाँ से संवहन तंत्र द्वारा पौधों के विभिन्न भागों में स्थानान्तरित होकर उनकी वृद्धि एवं मेटाबोलिक क्रियाओं को नियंत्रित करते हैं।

अर्थात् पौधों में वृद्धि तथा विकास को नियंत्रित करने के लिये कुछ विशिष्ट रासायनिक पदार्थ होते हैं। जिन्हें पादप हार्मोन या growth regulator भी कहते हैं।

हार्मोन शब्द का अर्थ (Meaning of Hormone)

उत्तेजित करने वाला पदार्थ होता है।

जूलियस वॉन सॅक्स (**Julius Von Sachs** 1880) इन्होंने सबसे पहले इन्हें वृद्धिनियंत्रक कहा था। Starling 1906 नें सर्वप्रथम हार्मोन शब्द का प्रयोग किया।

हार्मोन का शाब्दिक अर्थ होता है ''मै प्रेरित करता हूँ''

कॉलोडनी तथा वेण्ट (1925, 1928) ने अपने प्रयोगों में यह निष्कर्ष निकाला कि पौधों की वृद्धि का नियंत्रण ऐसे पदार्थों द्वारा होता है जो कि उपापचयी क्रियाओं द्वारा विशेष ऊतकों (Special tissues) में उत्पन्न होते है। ये पदार्थ बहुत कम मात्रा में दूसरे ऊतकों में स्थानांनतरित होकर वृद्धि को नियंत्रित करते हैं अतः यें वृद्धि नियामक (Growth regulators) वृद्धि हार्मोन (Growth hormone) या पादप हार्मोन (Phytohormone) कहलाते हैं।

हार्मोन के प्रकार (Types of Hormone)

मुख्य रूप से ये दो प्रकार के होते हैं–

1. **वृद्धि सहायक हार्मोन**– ऐसे हार्मोन जो पौधों की वृद्धि में सहायक होते है। जैसे–
   (i) ऑक्सिन
   (ii) जिबरेलिन्स
   (iii) साइटोकाइनिन्स
2. **वृद्धि रोधक हार्मोन**– ऐसे हार्मोन जो की वृद्धि को रोकने में सहायक होते हैं जैसे–
   (i) ऐब्सिसिक अम्ल
   (ii) एथिलीन

टिप्पणी

पादप हार्मोन के लक्षण (Characters of Plant Hormones)

1. ये कार्बनिक पदार्थ तो होते हैं परन्तु पोषक पदार्थ नहीं होते हैं। ये कोशिका विवर्धन तथा कोशिका विभाजन प्रेरित करते हैं।
2. ये जड़, तना तथा कलिका के शीर्षस्थ सिरो में अथवा पत्तियों में संश्लेषित होते हैं।
3. ये फ्लोएम के मार्ग से पौधे के अन्य क्षेत्रों तक अभिगमित होते हैं।
4. ये अत्य–अल्प मात्रा में संश्लेषित तथा क्रियाशील होते है, अत्याधिक मात्रा में वृद्धि पर विपरीत असर डालते हैं।
5. ये पादपों में वृद्धि प्रक्रिया को अभिप्रेरित अथवा निरोधित करने का कार्य करते हैं।
6. ये पौधों की अनुवर्तनी प्रकाशनुवर्तन तथा गुरूत्व गतियों पर नियंत्रण रखते हैं।
7. ये पार्श्व कलिकाओं की वृद्धि को रोकते हैं।
8. ऑक्सिन हार्मोन मूल प्रेरण का कार्य करता है।
9. ये फलों के विलगन को रोकते हैं।
10. बीज रहित फलों के निर्माण में Auxin का प्रयोग होता है।
11. खेतों में खरपतवार को नष्ट करने के लिये भी Auxin का प्रयोग होता हैं।

5.8.1 ऑक्सिन (Auxin)

ऑक्सिन उन सभी रासायनिक पदार्थों को कहते हैं जो तना या कोलियोप्टाइल के अग्रकों में बनते है जो वृद्धि का नियंत्रण करते हैं।

ऑक्सिन (Auxins) के प्रमुख निम्न प्रकार हैं

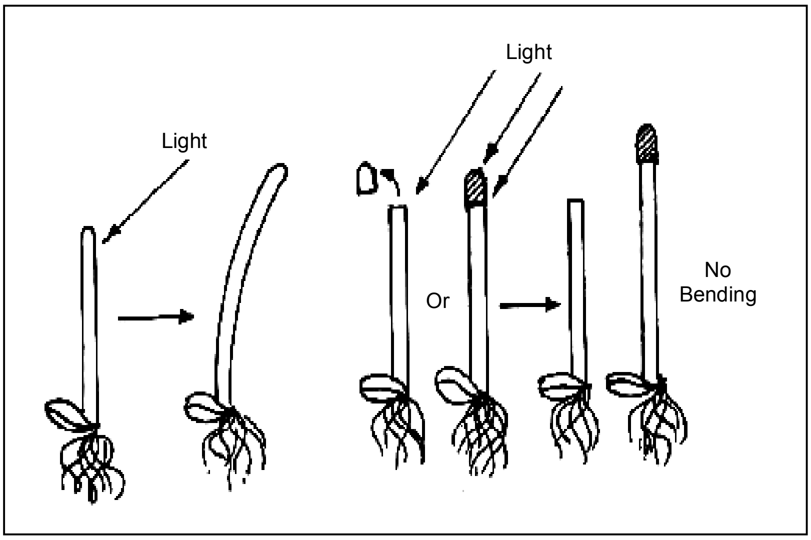
- इन्डोल ऐसीटिक एसिड (Indole Acitic Acid-IAA)
- इन्डोल ब्यूटाइरिक एसिड (Indole Butaric Acid-IBA)
- इन्डोल 3 पायरूविक एसिड (Indole 3 Pyruvic Acid-I3PA)

ऑक्सिन की खोज (Discovery of Auxins)

डार्विन (1880) ने अपने प्रयोग में बताया कि एक घास–फेलेरिस केनोरिएन्सिस के Coleoptiles के tip के पदार्थ प्रकाश को ग्रहण करते हैं और यदि Coleoptile को एक ओर से प्रकाश दिया जाये तो यह प्रकाश की दिशा की ओर मुड़ने लगते हैं। जिसे Phototropism कहते हैं।

यदि Coleoptile के शीर्ष को ढंक दिया जाये या काट दिया जाये और फिर उन्हें एक ओर से प्रकाश दिया जाये तो ये किसी भी ओर नहीं झुकते हैं। (चित्र क्र. 5.9)

टिप्पणी



चित्र क्र. 5.9: डार्विन का प्रयोग–प्रांकुर चोल में उपस्थित ऑक्सिन के कारण प्रकाशानुवर्तन गति का प्रदर्शन

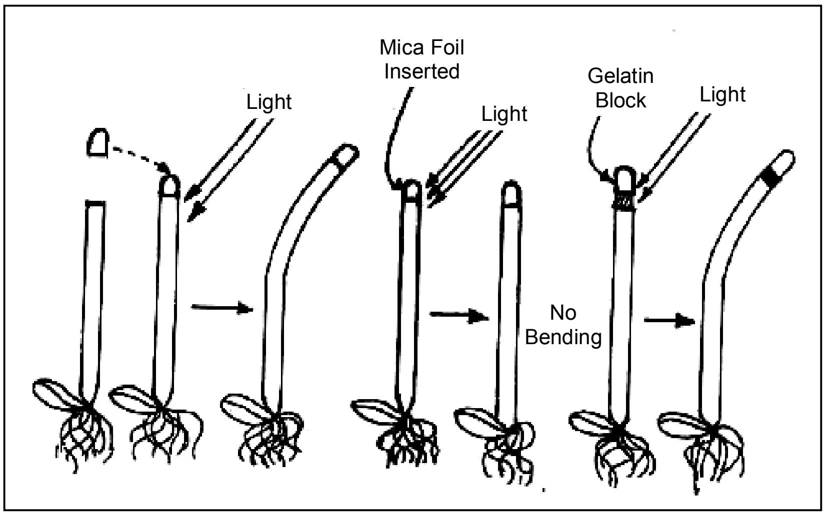
Boysen – Jensen, (1910 – 1913) ने यही प्रयोग (जई) के (प्रांकुर चोल) के साथ किया – उनके अनुसार जब बढ़ते हुये प्रांकुर चोल के शीर्ष भाग को काट दिया जाये और शेष भाग पर पार्श्व दिशा से प्रकाश दिया जाये तो तने के भाग में वृद्धि न के बराबर होती है परन्तु अगर कटे हुये सिरे को फिर से तने के ऊपर रख दिया जाये तो वृद्धि शुरू हो जाती है।

उनके अनुसार जिलेटिन का टुकडा अथवा अगर ब्लाक पुनः कटे हुये स्टम्प में रख दिया जाता है तो वृद्धि प्रकाश के स्रोत की ओर होने लगती है।

दूसरे प्रयोग में उन्होंने Coleoptile के tip के नीचे कट लगाकर उस पर अगर माइका का टुकडा रख दिया और उसे प्रकाश की ओर रखा तब (तने में) वृद्धि होती है परन्तु अगर mica लगा हिस्सा प्रकाश के विपरीत हो तब उसमें वृद्धि नहीं होती है। (चित्र क्र. 5.10)

इन प्रयोगों से स्पष्ट हो जाता है कि coleoptile के सिरे में कुछ वृद्धि करने वाले पदार्थ उपस्थित होते हैं जिन्हें पादप हार्मोन कहते हैं।

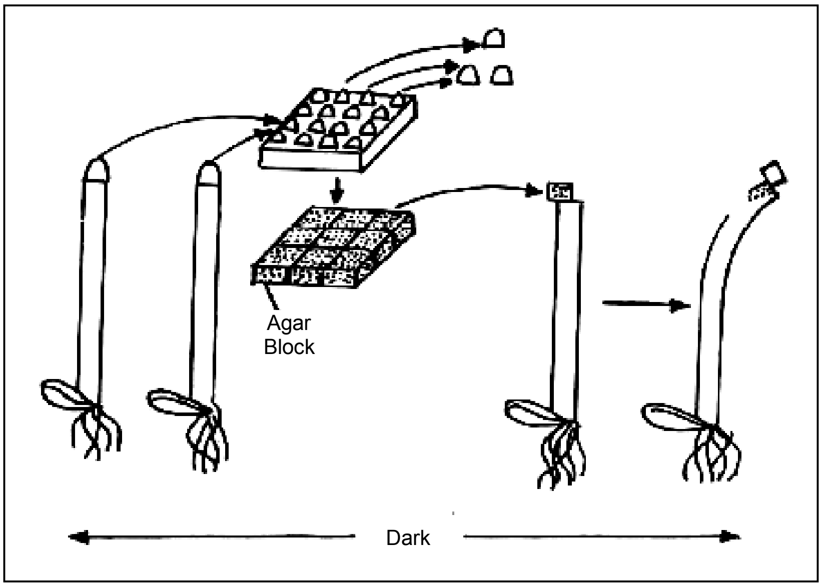
टिप्पणी



चित्र क्र. 5.10: बॉयसन जेन्सन का प्रयोग

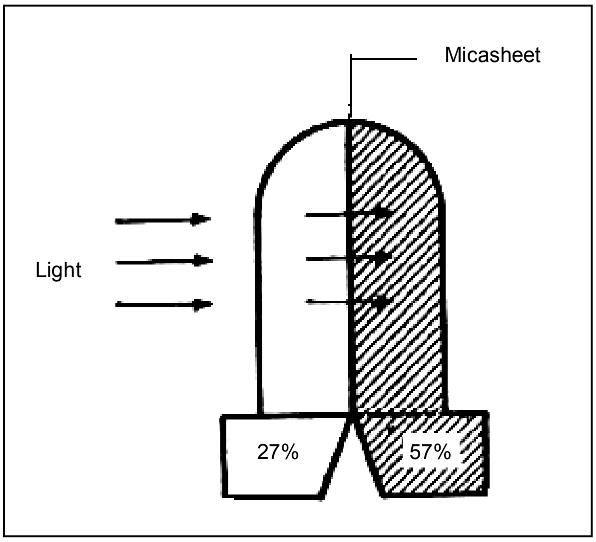
F.W. Went (1928) इन्होंने ओट की टिप से प्रयोग किया। इन्होने अपने प्रयोग में ओट की coleoptiles की टिप को काटकर उसे Agar jelly के छोटे टुकडे पर थोड़ी देर रखा रहने दिया, कुछ समय बाद Agar jelly के उसी block को coleoptiles के कटे हुये तने के ऊपर एक ओर रख देते हैं, जिससे Coleoptile, Agar block के विपरीत वृद्धि करता है। (चित्र क्र. 5.11)

जिससे यह सिद्ध होता है कि Agar block coleoptile के सिरे से hormones अवशोषित करता है और तने में रखने के बाद उसे तने मे स्थानांतरित कर देता है जिससे तने की वृद्धि होने लगती है।



चित्र क्र. 5.11: एफ डब्लू वेण्ट का प्रयोग

दूसरे प्रयोग में दो अगर ब्लॉक लिये जिनके उपर Coleoptile की tip को ऐसे रखा कि Coleoptile की tip का आधा–आधा भाग दोनों ब्लाक पर रहे और अगर के दोनों टुकडों के बीच mica sheet लगा दी ताकि Auxin एक ब्लाक से दूसरे ब्लॉक में विसरित न हो सके तथा एक तरफ से light देने पर जिस तरफ प्रकाश पडता है उस तरफ 27% Auxin store होती है और प्रकाश के विपरित दिशा वाले block में 57% Auxin store होती है।



चित्र क्र. 5.12: प्रकाश के प्रभाव से दोनों ब्लॉक्स में ऑक्सिन का वितरण प्रदर्शित

ऑक्सिन की रासायनिक प्रकृति (Chemical Nature of Auxins)

वैज्ञानिक एफ कोगल एवं हैगन स्मिट ने सर्वप्रथम दो प्रकार के ऑक्सिन का वर्णन किया–

1. प्राकृतिक ऑक्सिन (Natural Auxin)– ये प्राकृतिक रूप से पौधों में पाये जाते हैं। कोल एवं हैगेनस्मित ने Auxin–a की खोज की जिसे उन्होंने मानव मूत्र से प्राप्त किया था। Auxin–b या (Auxinalonic acid) को उन्होंने कॉर्म जर्म से प्राप्त किया।

Indole – 3 Acetic acid- नाम के पदार्थ को पुनः मानव मूत्र से प्राप्त किया। अब यही हार्मोन अत्यधिक मात्रा में मिलनेवाला सामान्य प्राकृतिक ऑक्सिन है।

2. सिंथेटिक ऑक्सिन (Synthetic Auxin)– आधुनिक युग में अनेक रासायनिक पदार्थों को संश्लेषित किया गया हैं जो ऑक्सिन जैसी क्रियायें करते हैं अतः यह Synthetic Auxin कहलाते हैं, जो निम्न प्रकार के है–

(a) बेन्जीन डेरीवेटिव (Benzene derivatives)–
   (i) फेनिल एसीटिक अम्ल (P.A.A)
   (ii) फिनॉक्सी एसीटिक अम्ल
   (iii) 2, 4–D

(b) इण्डोल डेरीवेटिव (Indole derivatives)–
   (i) इण्डोल–3 प्रोपियॉनिक अम्ल (I. 3 – P.A.)
   (ii) इण्डोल ब्यूटरिक अम्ल (I.B.A)

(c) नेफ्थेलीन डेरीवेटिव (Naphthalene derivatives)–
   (i) नैफ्थेलीन एसीटिक अम्ल
   (ii) नैफ्थॉक्सी एसीटिक अम्ल

ऑक्सिन का स्थानान्तरण (Translation of Auxins)

ऑक्सिन वैसे तो पौधें के सम्पूर्ण शरीर में पाया जाता है परन्तु इसकी सर्वाधिक मात्रा अग्रकों में ही पायी जाती है।

Thimann 1935 ने Etiolated Avena coleoptile में ऑक्सिन के वितरण का विस्तृत अध्ययन किया तथा बताया कि इसके coleoptile में Auxin की सर्वाधिक सान्द्रता होती है तथा ऑक्सिन की मात्रा आधार की ओर क्रमशः कम होती जाती है।

इसी प्रकार जैसे–जैसे coleoptile के आधार से जड़ों की ओर बढ़ते हैं ऑक्सिन की सान्द्रता पुनः बढ़ती चली जाती हैं और मूलाग्र में काफी अधिक सान्द्रता होती है।

इन्होंने अपने अध्ययन में पाया कि Shoot tip में Root tip की अपेक्षा ऑक्सिन की सान्द्रता अधिक होती है।

ऑक्सिन के प्रकार्यात्मक प्रभाव एवं व्यवहारिक अनुप्रयोग

ये निम्न प्रकार से है–

1 **जड़ों का निर्माण (Root formation)**– बहुत से पौधे में जैसे गुलाब की कलम को जमीन में गाड़कर पुनः नया पौधा तैयार किया जाता है। यदि गुलाब की कलम के निचले सिरे को Phenyl acetic acid, Alpha – naphthalene butiric Acid, Indole acetic acid घोल में डुबोकर गमलों में लगाया जाता हैं तब कटे हुए हिस्से से बहुत जल्दी ही अपस्थानिक जड़ें निकल आती है।

2. **कोशिका विवर्धन (Cell elongation)**– ऑक्सिन का प्राथमिक कार्यकीय प्रभाव Cell elongation है। जो निम्न विधियों द्वारा होता है–
   (i) कोशिका के परासरण दाब के बढ़ाने से।
   (ii) कोशिका द्रव की पारगम्यता को बढ़ा कर।

(iii) कोशिका दाबो को कम कर के।

(iv) सेल्युलोज के संश्लेषण की प्रक्रिया को बढ़ा कर।

(v) mRNA और Protein संश्लेषण को बढ़ा कर।

टिप्पणी

3. **कैलस निर्माण**– जब कोई भाग चोटिल हो जाता है तो उनमें ऊतकों का निर्माण होता है। ऑक्सिन की सान्द्रता अगर अधिक होगी तो ऊतक का निर्माण भी अधिक तेजी से होता है। ऊतक संवर्धन प्रयोगों में भी ऑक्सिन का उपयोग होता है।

4. **शीर्ष प्रमुखता (Apical dominance)**– यह हार्मोन शीर्षस्थ कलिका की वृद्धि को अभिप्रेरित करता है तथा पार्श्वीय कलिका के प्रभाव को Inhibit करता है यह स्थिती शीर्षस्थ प्रभाविता के नाम से जानी जाती है।

5. **विलगन पर्त**– यह पत्तियों एवं फलों के विलगन को रोकता हैं। NAA अथवा 2 – 4D के छिडकाव से सन्तरा, नाशपाती आदि फलों के डण्ठल में Abscission Layer का बनना स्थगित हो जाता हैं और पेड़ों से कच्चे फलों का पृथक होना रूक जाता है।

6. **सुप्तावस्था नियंत्रण**– ऑक्सिन का उपयोग Corn, Bulb के उपचारण में किया जाता है। जब इन फलों को बोना होता है तो आलू के कन्दों को 2 प्रतिशत अमोनियम थायोसायनिक अम्ल द्वारा उपचारित करते हैं। प्रयोगों द्वारा यह सिद्ध किया गया है कि यदि आलू को एथाइलीन क्लोरोहाइड्रिन की बाष्प में 24 घण्टे रख दिया जाता है तो उनकी सुप्तावस्था नष्ट हो जाती है और शीघ्र ही अंकुरण होने लगता है।

7. **बीज रहित फल का निर्माण**– यह अनिषेकफलन को अभिप्रेरित करता हैं। खीरा, सेब टमाटर आदि में इनका उपचार बीज रहित फल के निर्माण को संभव करता है।

8. **खरपतवार निवारण**– कुछ ऑक्सिन अनाज के खेतों में उगने वाली जंगली घास या खरपतवार को नष्ट करने के लिये उपयोग में लायी जाती है। यह क्रिया Weedicides कहलाती है। 2–4–डी के छिड़काव करने से चौड़ी पत्ती वाले द्विबीजपत्री फसल के खरपतवार नष्ट हो जाते है।

9. **पार्थीनोकार्पी**– बीज रहित फलों का उगना पार्थीनोकार्पी कहलाता है। IAA, NAA, IBA के प्रयोग से टमाटर, सेब, अनन्नास, संतरा, अंगूर में बीजरहित फल प्राप्त किये जाते हैं।

5.8.2 जिबरेलिन्स (Gibberellins)

वे हार्मोन जो समेकित रूप से प्ररोह की लम्बवत् वृद्धि को बढ़ाते हैं, वो जिबरेलिन्स कहलाते है।

Discovery of Gibberellins– इन हार्मोन की खोज जापान के प्रसिद्ध वैज्ञानिक प्रो. कुरूसोवा ने 1926 में ''जिबरेला फ्यूजीकुरेई'' नामक ''कबक'' से की

टिप्पणी

जिसके अलैंगिक रूप को फ्यूजेरियम मोनिलिफार्म कहते हैं। यह धान के पौधों में बेकानाई अथवा मूर्ख अंकुरण (Foolish seeding) नामक रोग फैलाता था।

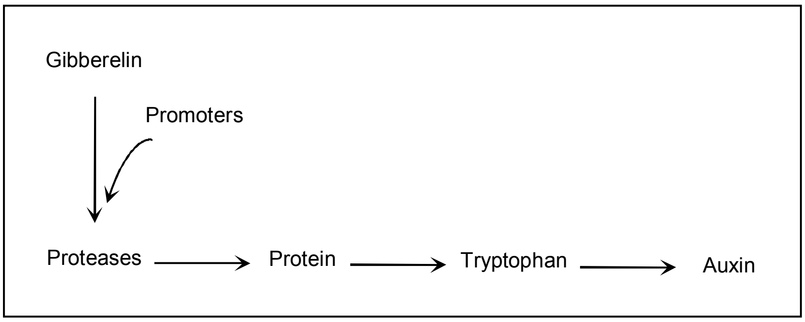
रोग के कारण पौधे अत्याधिक लम्बे, पतले तथा पीले हो जाते थे अर्थात् वृद्धि को बढ़ाने वाला गुण कवक के रस में था। अतः हार्मोन का नाम जिबरेलिन भी कवक के नाम पर रखा गया।

Yabuta and sumiki (1938) ने Gibberellin को Crystalline form में अलग किया जिसे जिबरेलिन ''ए'' कहा गया।

जिबरेलिन क्रिया की क्रियाविधि (Mechanism of Gibberellin Action)

ये कोषा दीर्घीकरण के साथ कोषा विभाजन करके वृद्धि पर प्रभाव डालते हैं। जिबरेलिन ऑक्सिन स्तर पर उनके प्रभाव के कारण परोक्ष रूप से पौधे की Morphogenetic processes को प्रभावित कर सकती है पर कुछ प्रतिक्रियायें आक्सिन की उपस्थिति या अनुपस्थिति से अप्रभावित रहती हैं।

जिबरेलिन के प्रभाव से ऑक्सिन स्तर में वृद्धि का कारण ऑक्सिन का विनाश होना रूकता है जिससे स्वतः ऑक्सिन के संश्लेषण की दर बढ़ जाती है। ब्रॉफ्टन (1968) ने जिबरेलिन अम्ल के द्वारा कोशिकाओं मे DNA, RNA की मात्रा में वृद्धि के अनेक प्रमाण प्रस्तुत किये हैं।



चित्र क्र 5.13: ऑक्सिन के संश्लेषण में जिबरेलिन का महत्व

जिबरेलिन के प्रकार्यात्मक प्रभाव एवं अनुप्रयोग

1. **तने एवं पत्तियों की वृद्धि**– इसके छिड़काव से पौधों की लम्बाई बढ़ जाती है पत्तियों का आकार भी बढ जाता हैं।

   उदाहरण– मटर, मक्का तथा हेनबेन की बौनी प्रजातियों में इसके छिडकाव से पौधे लम्बे तथा पत्तियाँ चौडी हो जाती है। फलस्वरूप प्रकाश संश्लेषण की दर बढ़ जाती है।

2. **प्रसुप्ति को दूर करना**– यह देखा गया है कि इस हार्मोन के छिड़काव से आलू के कन्द और पौधों पर शीतकालीन कलियों की प्रसुप्ति दूर हो जाती है।

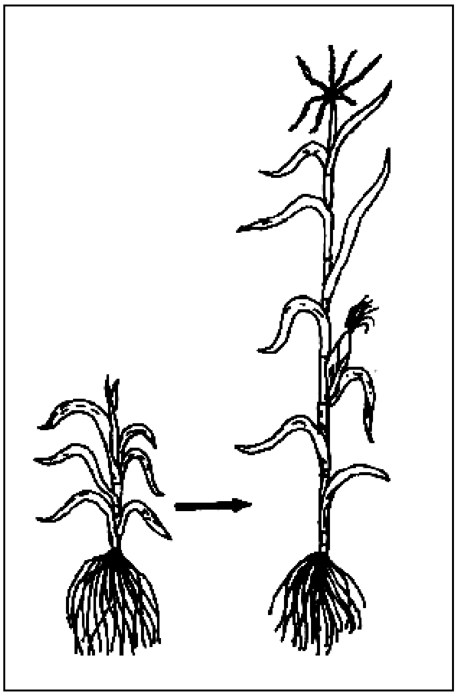
टिप्पणी

3. **अनिषेकफलन (Parthenocarpy)**– Gibberellin के छिड़काव करने से बीजरहित फलों की प्राप्ति होती है इन्हें Parthenocarpic fruits कहते हैं।

4. **पुष्पन एव फूलों पर प्रभाव**– जिबरेलिन्स पौधो में पुष्पन क्रिया को प्रेरित करते हैं। जिबरेलिन के उपचार से दीर्घ प्रदीप्तीकालीन पौधे लघु प्रकाश अवधि में भी पुष्पन कर सकते हैं।

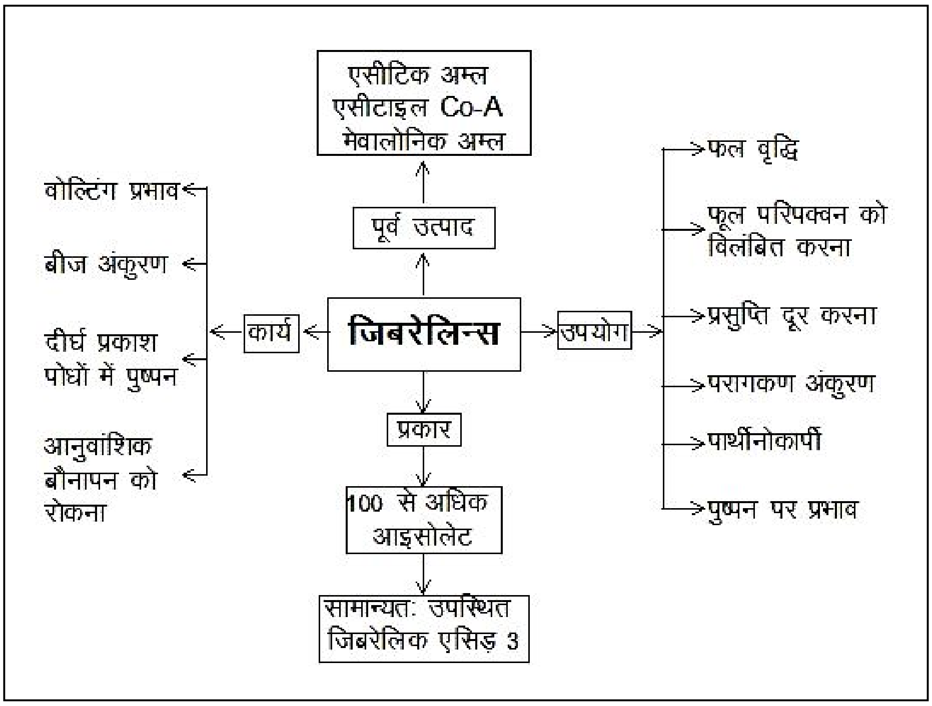
5. **बोल्टिंग प्रभाव**– कुछ पौधों में पहले वर्ष सिर्फ rosette form में पत्तियाँ निकलती हैं या इनमें सिर्फ Vegetative growth होती हैं। तथा दूसरे वर्ष इसमें दीर्घोकृत प्ररोह या पुष्पक्रम (Inflorescence) निकलता है। जिबरेलिन के घोल को छिडक देने से उन पौधों में Inflorescence प्रथम वर्ष ही निकल आते हैं जिसे Bolting प्रभाव कहते हैं।

   उदाहरण– बन्दगोभी।



चित्र क्र. 5.14: जिबरेलिन छिडकाव द्वारा पर्वो में वृद्धि

परागकण अंकुरण (Germination of pollengrains)– 1963 में Ethirajan नामक वैज्ञानिक ने गन्ने के परागकणों के अंकुरण पर जिबरेलिन अम्ल के प्रभाव का अध्ययन किया। इन्होंने बताया कि सामान्यतः गन्ने का परागकण अंकुरित नहीं होते, किन्तु जिबरेलिन अम्ल के प्रभाव से इनमें अंकुरण बहुत तेजी से होने लगता है।



चित्र क्र. 5.15: जिबरेलिन का सारांश

5.8.3 साइटोकाइनिन्स या फाइटोकाइनिन्स (Cytokinins or Phytokinins)

ये हार्मोन कोशिका विभाजन पर कार्य करते हैं तथा कोशिका दीर्घीकरण पर अप्रभावी होते हैं।

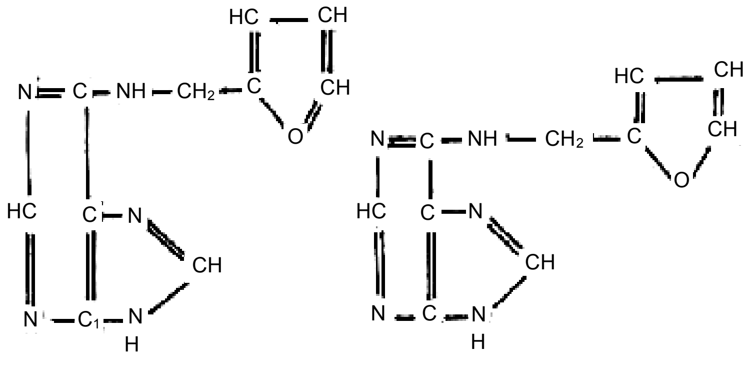
Discovery of Cytokinins

सबसे पहले (Jablonski and Skoog 1954) ने तम्बाकू के तने की पर्व का संवर्धन करते समय देखा कि वस्कुलर बंडल में एक रासायनिक पदार्थ उपस्थित होता हैं जिसके प्रभाव से पिथ की कोशिकाओं में Cell division होता हैं।

Miller 1954– Miller ने Kinetin को यीस्ट से प्राप्त किया था।

लेथैम (Latham 1967)– ने इसे मक्का से प्राप्त किया। जिसे Zeatin कहते हैं। नारियल के पानी में भी काइनेटिन्स पाये जाते हैं। फल एवं भ्रूणपोष काइनेटिन्स के प्रमूख स्रोत होते हैं।

टिप्पणी



चित्र क्र. 5.16: काइनेटिन की रासायनिक संरचना

साइटोकाइनिन के प्रकार्यात्मक प्रभाव एवं अनुप्रयोग

1. यह ऑक्सिन के साथ मिलकर कोशिका विभाजन की गति को तेज करता है।
2. यह पौधों के अंगो के निर्माण को नियंत्रित करता है।
3. इसके प्रयोग से पार्श्व कलिकाओं की वृद्धि को बढ़ाया जा सकता है।
4. लेक्टयूकासिटाइवा जैसे पौधे के बीज जिनकी सुप्तावस्था प्रकाश के प्रभाव से भी आसानी से नष्ट नहीं होती, यह साइटोकाइनिन के प्रभाव से शीघ्र नष्ट हो जाती है।
5. रिचमोण्ड–लैग–प्रभाव–रिचमोण्ड एवं लैंग (1957) ने बताया कि काइनेटिन के प्रभाव से जैन्थियम के पौधों की पत्तियों का क्लोरोफिल नष्ट नहीं हो पाता और वे लगभग 20 दिनों तक हरी रहती हैं जबकि नियंत्रण स्थिति (Control conditions) की पत्तियाँ पीली होकर मुरझा जाती है। अर्थात् काइनेटिन के प्रभाव से जीर्णता को कुछ समय के लिए टाल सकते हैं।

   ओसबर्न (1962) ने बताया कि काइनेटिन से उपचारित करने पर पौधों में प्रोटीन संश्लेषण में वृद्धि होती है।
6. इस से उपचारित प्रकाश प्रिय बिजों को अंधकार में उगाया जा सकता हैं।

   उदाहरण– तम्बाकू और सलाद आदि बीजों को साइटोकाइनिन में घोल कर अंकुरण कराये जाने पर शीघ्र अंकुरित होते है।
7. मादा पुष्पों की संख्या को बढ़ाता हैं।

8. ऑक्सिन और साइटोकाइनिन का अनुपात बदलकर जड़ और तना दोनो को विकसित किया जा सकता है–
   - जब साइटोकानिन का अनुपात बढ़ जाता है – प्ररोह बनता है।
   - जब आक्सिन का अनुपात अधिक हो तो – जड़े शीघ्रता से बनती है।
9. इसके प्रयोग से जीर्णता को रोका जा सकता है।
10. साइटोकाइनिन का उपयोग पौधों की रोगप्रतिरोधकता बढ़ाने में भी किया जाता है।

5.8.4 एब्सिसिक अम्ल (Abscisic Acid)

यह वृद्धि रोधक हार्मोन होता है यह कोशिका विभाजन को रोकते है। इसलिये इसे वृद्धि रोधक हार्मोन कहते है।

इस हार्मोन को स्ट्रेस हार्मोन भी कहते हैं क्योकि यह सूखा, जलक्रांति (Water loss) आदि प्रतिकूल परिस्थितियों में उत्पन्न होता है।

Discovery of ABA

Carns and Addicott (1961–1965) ने कपास के पौधे की पुष्प कलिकाओं से इसे अलग किया था।

वेरेंग तथा कॉर्नफॉर्थ ने डॉर्मिन नामक यौगिक को वियोजित किया तथा पाया कि यह यौगिक प्रसुप्ति को अभिप्रेरित करता है।

बाद में प्रयोगों के क्रम में पाया गया कि डार्मिन तथा एब्सिसिन– II (Abscission) नामक पदार्थ एक ही प्रकार के रसायन हैं तथा दोनों को एक ही नाम से जाना जाता है। जिसे एब्सीसिक अम्ल नाम दिया गया। इसका निर्माण पत्ती में होता है तथा फ्लोएम द्वारा संचारित होकर यह stem apices तक पहुँचता है।

एब्सिसिक अम्ल के कार्य

1. **पत्तियों की जीर्णता**– जैसे ही पत्तियों में एब्सिसिक हार्मोन को छिड़का जाता, पत्तियों का पर्णहरिम नष्ट हो जाता हैं इस अवस्था को जीर्णता कहा जाता है। अर्थात् ABA जीर्णता में वृद्धि करता है।
2. **कोशिका विभाजन को रोकना**– यह कोशिका विभाजन एवं कोशिका को लम्बा होने से रोकता है।
3. **कलियों तथा बीजों की प्रसुप्ति**– यह हार्मोन फूलों की कलियों को बढ़ने से रोकता है और बीजों को अंकुरित नहीं होने देता।

4. **पुष्पन को रोकना**– ये पौधों में पुष्पन क्रिया को रोकता है। कुछ पौधे जिनको पुष्पन के लिये लंबे दीप्तिकाल की आवश्यकता होती है उनके खिलने की अवधि को लंबा करता है। जब कि कम दीप्तिकाल वाले पौधों में इनकी कम सान्द्रता पुष्पन में मदद करती है।

   जब कि कम दीप्तिकाल वाले पौधें में इनकी कम सान्द्रता पुष्पन में मदद करती है।

5. **वाष्पोत्सर्जन को कम करना**– यह स्टोमेटा को बंद करके वाष्पोर्त्जन कम करता है। इसलिये कम जल वाली भूमी में खेती के लिये उपयोगी माना जाता है।

6. **पत्तियों में विलगन**– Abscissic acid की अधिक मात्रा होने पर पत्तियों में RNA एवं प्रोटीन का संश्लेषण रूक जाता है। इसमें पत्तियों में जीर्णता की स्थिति उत्पन्न हो जाती है तथा विलगन पर्त के निर्माण पश्चात् पत्तियों में विलगन हो जाता है।

5.8.5 इथिलीन (Ethylene)

यह एक मात्र ऐसा हार्मोन है जो प्राकृतिक रूप में गैसीय अवस्था में होता हैं तथा वृद्धि रोधक का कार्य करता है। इनकी उपस्थिति फलों में परिपक्वन तथा पत्तियों में विलगन को निर्धारित करती है।

Discovery of Ethylene

- Neljubow, (1901) ने अपने प्रयोगों के क्रम में पाया कि एथिलीन गैस की उपस्थिति जड़ों की अनुवर्ती गति को परिवर्तित कर देती है।
- Denny (1924) ने पता लगाया कि एथीलिन गैस फलों के परिपक्वन में सहायक होती है।
- जिमरमैन तथा उनके सहयोगियों (1931) ने पता लगाया कि यह पूर्व विलगन को अभिप्रेरित करता है।
- गेन (Gane, 1934) ने सर्वप्रथम एथीलिन को पके फलों में प्राकृतिक रूप से उपस्थित पाया तथा इसे वियोजित किया।
- क्रॉकर एवं उनके सहयोगियों ने एथिलीन को पादप हार्मोन के रूप में उपस्थिति की जानकारी दी।

प्रकार्यात्मक महत्त्व अथवा एथिलिन का कार्य

1. **कोशिकाओं का क्षैतिज फैलाव**– यह तना के दीर्घीकरण पर निरोधक प्रभाव डालता है, परन्तु उसके कोशिकाओं में क्षैतिज फैलाव को बढ़ा देता है, जिसे कारण तना फूला हुआ दिखायी देता है।

टिप्पणी

2. **फलों का पकना**– यह फलों को पकाने में सहायक होते हैं। विश्वास किया जाता है कि एथिलीन पौधे के तने के अग्र भाग में बनता हैं और विसरित होकर फलों को पकाता है। फलों के पकने के पहले ही ये फलों में स्थानांन्तरित हो जाते है।
3. **पुष्पन पर प्रभाव**– यह पुष्पन को कम करता है लेकिन अनन्नास में पुष्पन को बढ़ाता है। इसके प्रभाव से मादा पुष्पों की संख्या में वृद्धि होती है, जबकि नर पुष्पों की संख्या कम हो जाती है।
4. **विलगन में**– यह पत्ती, फलों एवं पुष्पों के विलगन को तीव्र करता है।
5. **स्लीप रोग**– इथिलिन खिले हुये पुष्पों के दलों की Inrotting के लिये जिम्मेदार माना जाता है। दलों की अन्तर्वलयन स्लीप रोग कहलाती है।
6. **प्रसुप्ति की समाप्ति (Breaking of dormancy)**– यह हार्मोन संचयन अंगो की प्रसुप्ति समाप्त करता है। इससे Rhizome, corn आदि को अंकुरित करने में मदद होती है।
7. **जड प्रवर्तन (Root initiation)**– कम मात्रा में होने पर एथीलिन जड़ प्रवर्तन में, पार्श्व जड़ों (Lateral roots) की वृद्धि में एवं मूल रोम के विकास में सहायता करता है।

अपनी प्रगति जाँचिए (Check Your Progress)

1. ऑक्सिन क्या हैं?
   (अ) प्रोटीन (ब) वसायें
   (स) कोशिका (द) वृद्धि हार्मोन
2. जिबरेलिन का पता सर्वप्रथम कहाँ लगाया गया?
   (अ) शैवाल में (ब) कवक में
   (स) जीवाणु में (द) उच्च पादपों की जड़ों में।
3. इथिलीन गैस
   (अ) एक संतृप्त हाइड्रोकार्बन है।
   (ब) सेब के पकने को धीमा करती है।
   (स) टमाटर के पकने को संदर्भित करती है।
   (द) फलों के परिपक्वन को तेज करती है।

5.9 अपनी प्रगति जाँचिए प्रश्नों के उत्तर (Answer to Check Your Progress)

1. (द)
2. (ब)
3. (द)

5.10 सारांश (Summary)

प्रस्तुत इकाई में विद्यार्थियों ने एन्जाइमों एवं पादप हार्मोन के बारे में विस्तृत जानकारी प्राप्त की। इनके पोधों के जैविक क्रियाओं पर प्रभाव एवं उपयोगिता के बारे में पूर्ण अध्ययन किया। जो कि विद्याथियों के लिए उपयोगी साबित होंगा।

5.11 मुख्य शब्दावली (Key Terminology)

- **एन्जाइमः** सूक्ष्म मात्रा में उपस्थित होकर क्रियाओं को उत्प्रेरित करने वाले पदार्थ।
- **हाइड्रोलेजः** जल की उपस्थिति में अणुओं को विघटित करते हैं।
- **ऑक्सीडेजः** हाइड्रोजन ग्राही O_2 उपस्थित होता है।
- **कोलाइडल स्टेजः** ऐसी अवस्था जिसमें कणों का आकार 1.0 nm से 10 nm तक होता है।
- **हार्मोनः** वृद्धि नियंत्रण पदार्थ।
- **ऑक्सिनः** पादप अग्रकों में उपस्थित वृद्धि प्रेरक हार्मोन।
- **जिबरेलिनः** तने की लम्बबत वृद्धि के लिए उत्तरदायी हार्मोन।
- **इथिलीनः** गैसीय पादप हार्मोन जो फलों में परिपक्वन लाता है।

5.12 स्व-मूल्यांकन प्रश्न एवं अभ्यास (Self Assessment Questions and Exercises)

लघु उत्तरीय प्रश्न (Short Answer Type Questions)

1. हार्मोन क्या होते हैं? पौधों में मादा गुण विकसित करने वाले किसी एक हार्मोन का नाम बताइये।
2. जिबरेलिन हार्मोन का पौधों में क्या महत्व है लिखिए।
3. ऑक्सिन के दो प्रकार्यात्मक प्रभावों को समझाइये।
4. बोल्टिंग प्रभाव किसे कहते हैं?

5. पादप वृद्धि नियन्त्रक पर संक्षेप में लिखिये।
6. साइटोकाइनिन्स पर टिप्पणी लिखिये।
7. इथिलीन व ऑक्सिन पर टिप्पणी लिखिये।
8. पौधों में ऑक्सिन की प्रायोगिक उपयोगिता को समझाइये।
9. एब्सिसिक अम्ल के कार्य लिखिये।
10. सुप्तावस्था नियंत्रण को समझाइये।

दीर्घ उत्तरीय प्रश्न (Long Answer Type Questions)

1. वृद्धि हार्मोन क्या होते हैं? इनके प्रकार एवं पादप जीवन पर प्रभाव पर निबन्ध लिखिये।
2. विभिन्न पादप हार्मोन एवं उनके महत्व का वर्णन कीजिये।
3. जिबरेलिन क्या हैं? पौधों में जिबरेलिन के कार्य लिखिये।
4. पादप हार्मोन की उपयोगिता का वर्णन करें।
5. इथिलीन की रचना व कार्यों का वर्णन करिये।
6. वृद्धि रोधक एवं वृद्धि अवरोधक हार्मोन के आर्थिक महत्व को समझाइये।
7. बॉयसन – जेन्सन एवं डार्विन के प्रयोगों का वर्णन कीजिये।

5.13 सहायक पाठ्य सामग्री (Suggested Readings)

1. College Botany vol. – 4, S. Sundara Rajan, Himalaya Publishing House, Mumbai, 2016.
2. Unified Botany, B.Sc. Vth Sem, Shivlal Agrawal, 2018-19.
3. R.P. Unified, Niranjan Kishotriy, Archana Kshotriya, Ramprasad, & Sons Bhopal.
4. Fundamentals of Plant Physiology, V.K. Jain.
5. Plant Physiology, Fourth Edition S.N. Pandey, V.K. Sinha.