

## তৃতীয় অধ্যায় : জৈবনিক প্রক্রিয়া

### উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা হল উদ্ভিদবিদ্যার সেই শাখা যেখানে উদ্ভিদের অসংখ্য শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া নিয়ে আলোচনা করা হয়।

### সালোকসংশ্লেষ

জীবের সবচেয়ে উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য গুলোর মধ্যে অন্যতম হল বিপাক, যা সম্পাদন করার জন্য শক্তি প্রয়োজন। খাদ্য হল জীবদেহে শক্তির প্রাথমিক উৎস। উদ্ভিদেরা খাদ্যের জন্য অন্য জীবের উপর নির্ভরশীল নয়। সবুজ উদ্ভিদের এই খাদ্য তৈরি করার জন্য সূর্যালোকের প্রয়োজন হয়, এবং খাদ্য তৈরির প্রক্রিয়াটি সালোকসংশ্লেষণ নামে পরিচিত।

### সালোকসংশ্লেষের ধারণা :

বার্নেস সালোকসংশ্লেষ ফটোসিন্থেসিস শব্দটি প্রথম প্রচলন করেন। ফটোসিন্থেসিস একটি যৌগিক শব্দ যা দুটি শব্দ দ্বারা গঠিত : "ফটোস" অর্থাৎ আলো এবং "সিন্থেসিস" অর্থাৎ সংশ্লেষ। সালোকসংশ্লেষ শব্দটি সালোক এবং সংশ্লেষ শব্দের সমন্বয়ে গঠিত।

স + আলোক = সালোক অর্থাৎ আলোর উপস্থিতিতে যেকোনো কিছুর সংশ্লেষণ। সূর্যালোকের সংস্পর্শে এলে, সবুজ উদ্ভিদের ক্লোরোফিল কোষ এবং ক্লোরোফিল দ্বারা পরিবেশ থেকে গৃহীত জল এবং কার্বন ডাই অক্সাইডের রাসায়নিক বিক্রিয়ায় সরল শর্করা (গ্লুকোজ) সংশ্লেষিত হয় এবং গৃহীত  $CO_2$ -এর সমতুল্য অণু  $O_2$  নির্গত করে এবং উৎপন্ন খাদ্যে সৌরশক্তি রাসায়নিক শক্তি হিসাবে আবদ্ধ হয়, একে সালোকসংশ্লেষ বলা হয়।

### সালোকসংশ্লেষের স্থান :

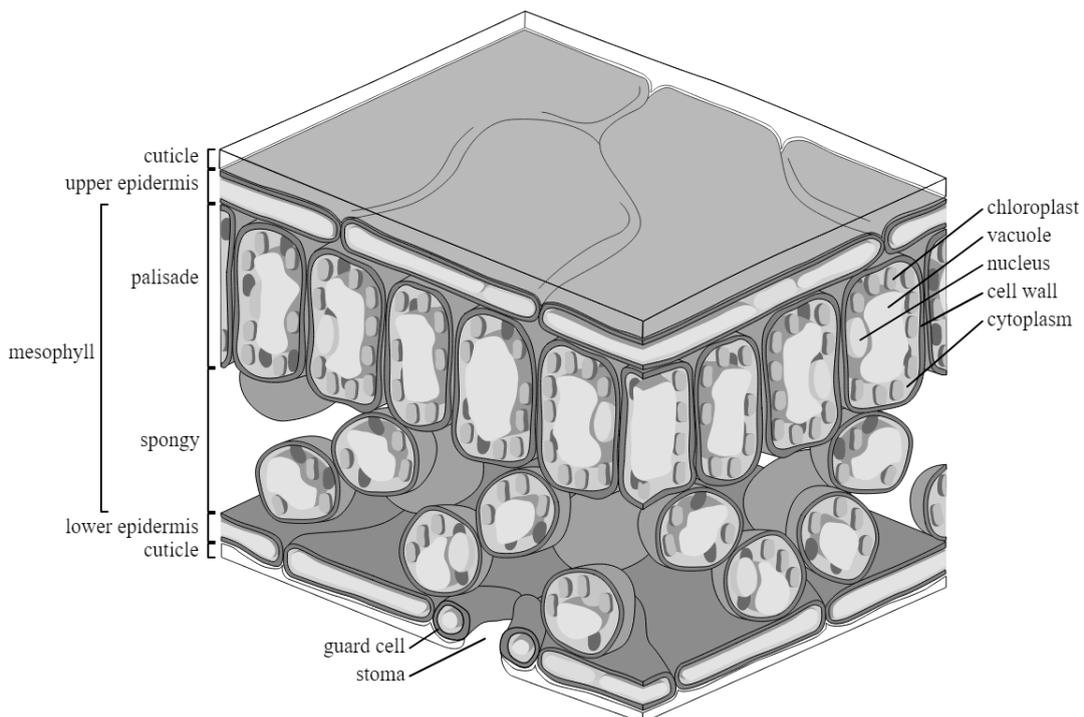
- সবুজ কাণ্ড (লাউ, কুমড়া)

- সবুজ মূল বা আত্তীকরণ মূল (অর্কিড, পানিফল)
- উপপত্র (মটর)
- পর্ণবৃত্ত (আকাশমণি)
- ফুলের পুষ্পধরপত্র (মুক্তাবুরি, বাসক)
- সবুজ বৃতি (চালতা, শালুক),
- ফুলের দলমন্ডল (কাঁঠালিচাঁপা, আতা)
- ফলত্বক (আম, ডাব)

### সালোকসংশ্লেষের প্রধান অঙ্গ পাতা :

পাতার বর্ধিত পৃষ্ঠ, পত্ররন্ধ্রের উপস্থিতি, প্রচুর ক্লোরোফিল এবং অবিরাম জল সরবরাহের কারণে পাতাকে সালোকসংশ্লেষণের জন্য আদর্শ স্থান বলা হয়। মেসোফিল কলা হল সবুজ পাতার উপরের এবং নীচের ত্বকের মধ্যে অবস্থিত ক্লোরোফিলযুক্ত কলা।

সবুজ গাছপালা ছাড়াও কিছু প্রোটিস্টা যেমন - ইউগ্লিনা এবং ক্রাইসেমিবা এবং সেইসাথে কিছু ব্যাকটেরিয়া (যথা - রোডোস্পাইরিলাম, রোডোসিউডোমোনাস, ক্লোরোবিয়াম প্রভৃতি) সালোকসংশ্লেষে সক্ষম।



## সালোকসংশ্লেষণের উপাদান এবং তাদের ভূমিকা

কার্বন ডাই অক্সাইড ( $CO_2$ ) :

উৎস :

- স্থলজ উদ্ভিদের  $CO_2$  এর উৎস হল বায়ুমন্ডলে গ্যাসীয়  $CO_2$  ।
- জলে দ্রবীভূত  $CO_2$ , কার্বনেট এবং বাই কার্বনেট যৌগ হল জলজ উদ্ভিদের  $CO_2$ -এর উৎস।

**আহরণ কৌশল :** পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় স্থলজ উদ্ভিদ, ভাসমান এবং আংশিক নিমজ্জিত উদ্ভিদ এবং পরাশ্রয়ী উদ্ভিদ বায়ুমন্ডল থেকে  $CO_2$  গ্যাস সংগ্রহ করে। জলজ উদ্ভিদ যেগুলি সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত হয় তারা সমগ্র দেহতল দিয়ে জলে দ্রবীভূত  $CO_2$  ব্যাপন প্রক্রিয়ায় শোষণ করে।

সালোকসংশ্লেষে  $CO_2$ -এর ভূমিকা :

- এই প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন গ্লুকোজ ( $C_6H_{12}O_6$ )-এর কার্বন এবং অক্সিজেনের প্রাথমিক উৎস হল  $CO_2$ -এর কার্বন এবং অক্সিজেন।
- $CO_2$  থেকে কার্বন সেলুলার কমপ্লেক্সে অঙ্গীভূত হয়, অর্থাৎ অঙ্গার আত্তীকরণ ঘটে। ফলস্বরূপ,  $CO_2$  ছাড়া সালোকসংশ্লেষণ অসম্ভব।

**জল ( $H_2O$ ) :**

উৎস :

- মাটির কৈশিক জল হল স্থলজ উদ্ভিদের উৎস।
- জলজ উদ্ভিদের জন্য জলের উৎস হল বিভিন্ন জলাধার।
- পরাশ্রয়ী উদ্ভিদের জলের উৎস হল বায়ুমণ্ডলের জলীয় বাষ্প।

**আহরণ কৌশল :**

- স্থলজ উদ্ভিদ শিকড়ের মূলরোমের মাধ্যমে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় মাটি থেকে কৈশিক জল গ্রহণ করে।
- জলজ উদ্ভিদ যা সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত, তার সমগ্র দেহতল দিয়ে, সেইসাথে

ভাসমান ও আংশিকভাবে নিমজ্জিত উদ্ভিদ তার নিমজ্জিত অংশ দিয়ে ব্যাপন এবং অভিশ্রবণের মাধ্যমে জল সংগ্রহ করে।

- পরাশ্রয়ী উদ্ভিদ তাদের বায়বীয় শিকড়ের মাধ্যমে (ভেলামেনের সাহায্যে) ব্যাপন প্রক্রিয়ায় বায়ুমণ্ডল থেকে জলীয় বাষ্প সংগ্রহ করে।

**সালোকসংশ্লেষে জলের ভূমিকা :**

- সালোকসংশ্লেষণের সময়, জল ক্লোরোফিল অণুগুলিতে ইলেকট্রন সরবরাহ করে।
- অন্ধকার প্রক্রিয়ায় কার্বন ডাই অক্সাইড বিয়োজিত করার জন্য প্রয়োজনীয় হাইড্রোজেন জল বিস্ফিষ্ট হয়ে উৎপন্ন হয়।
- জল হল অক্সিজেনের একটি উৎস, যা সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার উপজাত হিসেবে উৎপন্ন হয়। ফলস্বরূপ, জলহীন পরিবেশে সালোকসংশ্লেষ অসম্ভব।

**সূর্যালোক :**

**উৎস :** সালোকসংশ্লেষের জন্য, সূর্য থেকে আগত আলোক রশ্মির শুধুমাত্র দৃশ্যমান আলোক রশ্মি (390 nm-760 nm) প্রয়োজন।

**আহরণ কৌশল :** সূর্যালোক বা সূর্যালোকের ফোটন কণা উদ্ভিদের সবুজ অংশে পড়ে ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যস্থ ক্লোরোফিল ও অন্যান্য সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক দ্বারা শোষিত হয়।

**সালোকসংশ্লেষে সূর্যালোকের ভূমিকা :**

- যখন সূর্যালোকের ফোটন কণা ক্লোরোফিল দ্বারা শোষিত হয়, তখন ক্লোরোফিল সক্রিয় বা উজ্জ্বল হয়ে ওঠে এবং ক্লোরোফিল থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়। এই সক্রিয় ক্লোরোফিল জলের ফটোলাইসিসে সহায়তা করে।



- সূর্যের আলোর ফোটন কণা মধ্যস্থ শক্তি (কোয়ান্টাম) ক্লোরোফিল দ্বারা শোষিত হয় এবং সক্রিয় ক্লোরোফিল দ্বারা নির্গত ইলেকট্রন যে শক্তি নির্গত

করে তা ADP-এর সাথে অজৈব ফসফেট (Pi) -কে যোগ করে ATP সংশ্লেষে বা ফটোফসফোরাইলেশনে সাহায্য করে। নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড ফসফেট (NADP<sup>+</sup>) এর বিজারিত হওয়াতে সহায়তা করে।

## রঞ্জক পদার্থ

### ক্লোরোফিল:

**উৎস :** কোয়ান্টামের প্রধান রঞ্জক হল ক্লোরোফিল, যা ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রানার থাইলাকয়েড পর্দায় পাওয়া যায়। এটি ম্যাগনেসিয়াম (Mg) প্রোটিন থেকে তৈরি একটি সবুজ রঞ্জক। ক্লোরোফিলের একটি জলাকর্ষী মস্তক এবং একটি জলবিরোধী লেজ অংশ থাকে।

ক্লোরোফিল-a, ক্লোরোফিল-b, ক্লোরোফিল-c, ক্লোরোফিল-d এবং ক্লোরোফিল-e সহ ক্লোরোফিলের বিভিন্ন প্রকার রয়েছে। তবে বেশিরভাগ উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-b থাকে। প্রধান সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক হল ক্লোরোফিল-a।

**আহরণ কৌশল :** ক্লোরোফিলযুক্ত কোষে সালোকসংশ্লেষ হয়। সেজন্য গাছের বাইরে থেকে ক্লোরোফিল সংগ্রহের প্রয়োজন হয় না। ক্লোরোফিল প্রাথমিকভাবে সবুজ পাতার মেসোফিল কলায় পাওয়া যায়।

### সালোকসংশ্লেষে ক্লোরোফিলের ভূমিকা :

- ক্লোরোফিল সূর্যের আলোতে ফোটন কণার শক্তি (কোয়ান্টাম) শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং ইলেকট্রন নির্গত করে। উদ্দীপিত ক্লোরোফিল জলের আলোক বিশ্লেষণে পরোক্ষভাবে সাহায্য করে।
- সক্রিয় ক্লোরোফিল দ্বারা নির্গত ইলেকট্রনগুলি যখন বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়, তখন ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং ATP-এর মধ্যে সংরক্ষিত করে।
- ক্লোরোফিল দ্বারা নিঃসৃত ইলেক্ট্রন নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড ফসফেট (NADP<sup>+</sup>)-কে বিজারিত করে।

## ক্যারোটিনয়েডস্ :

**উৎস :** ক্যারোটিনয়েডস্ হল কোয়ান্টাজোমে পাওয়া লাল, কমলা, হলুদ, বাদামী প্রভৃতি রঞ্জক যা ক্লোরোপ্লাস্টে ক্লোরোফিল সহায়ক রঞ্জক পদার্থ হিসাবে কাজ করে।

ক্যারোটিনয়েডস্ দুটি প্রকারে বিভক্ত : ক্যারোটিন এবং জ্যান্থোফিল।

ক্লোরোফিলের মতোই সবুজ পাতার মেসোফিল কলায় ক্যারোটিনয়েডস্ পাওয়া যায়।

**আহরণ কৌশল :** ক্যারোটিনয়েডস্, ক্লোরোফিলের মতোই, বাইরে থেকে সংগ্রহ করার প্রয়োজন হয় না। সালোকসংশ্লেষকারী কোষে ক্যারোটিনয়েডস্ পাওয়া যায়।

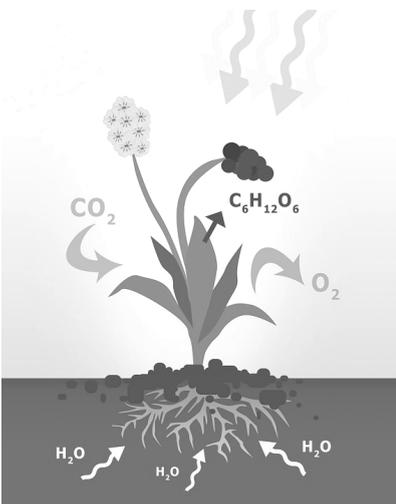
## সালোকসংশ্লেষে ক্যারোটিনয়েডস্-এর ভূমিকা :

- তীব্র আলো এবং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে, ক্লোরোফিলের আলোর জারণ বা ফটো-অক্সিডেশন থেকে ক্যারোটিনয়েডস্ রক্ষা করে।
- ক্যারোটিনয়েডস্ সহায়ক রঞ্জক হিসাবে সৌরশক্তি শোষণ করে এবং উত্তেজিত শক্তি ক্লোরোফিল-a -তে পাঠায়।

**শোষণ বর্ণালী :** একটি সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক দ্বারা শোষিত দৃশ্যমান আলোকরশ্মি বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের অংশকে ঐ সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জকের শোষণ বর্ণালী বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ- ক্লোরোফিল- a-এর শোষণ বর্ণালী হল 670 nm, 680 nm ইত্যাদি। বিভিন্ন সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জকগুলির শোষণ বর্ণালী

Spectrophotometer যন্ত্র ব্যবহার করে পরিমাপ করা যায়।

**কার্য বর্ণালি:** সালোকসংশ্লেষের কার্য বর্ণালী হল, সেই গ্রাফ যা একই তীব্রতার বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর সাথে সালোকসংশ্লেষের হার নির্ধারণ করে। সালোকসংশ্লেষের কার্য বর্ণালীর সাথে শোষণ বর্ণালীর তুলনা করলে দেখা



যায় যে, ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-b দৃশ্যমান আলোর বেগুনি-নীল এবং লাল অঞ্চলে বেশি সক্রিয়। অর্থাৎ বলা যায় যে, এই দুটি রঞ্জক সালোকসংশ্লেষে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ, এবং সালোকসংশ্লেষ এই দুই ধরনের আলোর অধীনে ভাল হয়।

### **সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি:**

সালোকসংশ্লেষ হল একটি জটিল প্রক্রিয়া। যেহেতু জল জারিত হয় এবং এই প্রক্রিয়ার সময় কার্বন ডাই অক্সাইড বিজারিত হয়, তাই এটিকে জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়া হিসাবে উল্লেখ করা হয়। যেহেতু জারণ প্রক্রিয়া সূর্যালোকের উপস্থিতিতে ঘটে, তাই এটিকে আলোক নির্ভর দশা বা আলোক বিক্রিয়া বা আলোক দশা হিসাবে উল্লেখ করা হয়। জল অক্সিডেশন প্রক্রিয়ায় জারিত হয়ে অক্সিজেন মুক্ত করে। কার্বন ডাই-অক্সাইড বিজারণ প্রক্রিয়ার সময় বিজারিত হয়ে শর্করা গঠন করে। বিজারণ প্রক্রিয়া আলোর অনুপস্থিতিতে ঘটে বলে এটিকে আলোক নিরপেক্ষ দশা বা অন্ধকার বিক্রিয়া বা অন্ধকার দশা হিসাবে উল্লেখ করা হয়। এটি ব্ল্যাকম্যান বিক্রিয়া হিসাবেও পরিচিত কারণ ব্ল্যাকম্যান প্রথম অন্ধকার বিক্রিয়া লক্ষ্য করেছিলেন। মেলভিন কেলভিন প্রথম এই দশার ধারাবাহিক বর্ণনা দেন বলে এই অন্ধকার বিক্রিয়া "কেলভিন চক্র" নামেও পরিচিত।

### **আলোক নির্ভর দশা বা আলোক দশা :**

সংঘটন স্থান : ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অঞ্চলে ঘটে।

আলোক নির্ভর দশার পর্যায় :

1. সৌরশক্তির আবদ্ধকরণ : সূর্যালোকের ফোটন কণার মধ্যস্থ শক্তি বা কোয়ান্টাম, ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রানার থাইলাকয়েড পর্দার কোয়ান্টোজোমের বিভিন্ন সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক দ্বারা শোষিত হয়। বিভিন্ন সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক, যেমন- ক্যারোটিনয়েডস্, ক্লোরোফিল-b ইত্যাদি দ্বারা শোষিত সৌরশক্তি একটি অনন্য পদ্ধতিতে ক্লোরোফিল-a -তে স্থানান্তরিত হয়।

2. **ক্লোরোফিল সক্রিয়করণ :** ক্লোরোফিল(-a) সৌরশক্তি শোষণ করলে একটি ইলেকট্রন ক্লোরোফিল থেকে বিচ্যুত হয় এবং উচ্চ শক্তিস্তরে চলে যায়। এরপর ইলেক্ট্রন শক্তি (তাপ শক্তি) ত্যাগ করে এবং নিম্নশক্তি স্তরে নেমে আসে। ফলস্বরূপ, যখন ইলেকট্রন ক্লোরোফিল থেকে বিচ্যুত হয়, তখন ক্লোরোফিল সক্রিয় বা উত্তেজিত হয়ে ওঠে।
3. **জলের আলোক বিশ্লেষণ বা ফটোলাইসিস :** সূর্যালোকের উপস্থিতিতে, সক্রিয় ক্লোরোফিলের সাহায্যে জল বিশ্লিষ্ট হয়ে হাইড্রোজেন ( $H^+$ ) এবং হাইড্রক্সিল ( $OH^-$ ) আয়নে রূপান্তরিত হয়। এই ধরনের জল আয়নীকরণকে জলের আলোক বিশ্লেষণ বা ফটোলাইসিস বলা হয়। রবার্ট হিল এই ঘটনাটি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করেন বলে, এই ঘটনাটি হিল বিক্রিয়া হিসাবে পরিচিত।
4. **অক্সিজেন উৎপাদন :** হাইড্রক্সিল [ $OH$ ] গঠিত হয় যখন ইলেকট্রনগুলি জলের ফটোলাইসিস প্রক্রিয়া দ্বারা উৎপাদিত  $OH^-$  থেকে বিচ্যুত হয়। জলের চারটি অণু থেকে সৃষ্ট চারটি হাইড্রক্সিল একত্রিত হয়ে উপজাত বস্তু হিসেবে অক্সিজেনের একটি অণু এবং জলের দুটি অণু তৈরি করে।  
আধুনিক তত্ত্ব অনুসারে, জলের আলোক বিশ্লেষণ এবং উপজাত হিসাবে  $O_2$  এবং  $H_2O$  -এর উৎপাদন একযোগে ঘটে এবং এই পদ্ধতিতে, অক্সিজেন ইভলভিং কমপ্লেক্স বা OEC সাহায্য করে এবং জলের আলোক বিশ্লেষণ একটি চক্রাকার পথে সম্পন্ন হয়। এই চক্রাকার পথটিকে বলা হয় ককস্ ক্লক বা S-স্টেট মেকানিজম।
5.  **$NADP^+$  -এর বিজারণ :** ফটোলাইসিস পদ্ধতিতে উৎপাদিত  $H^+$  অয়ন এবং ক্লোরোফিল থেকে নির্গত হওয়া ইলেক্ট্রন অক্সিডাইজড নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড ফসফেট, বা  $NADP^+$  দ্বারা গৃহীত হয়। এর ফলে উৎপন্ন হয়  $NADPH + H^+$ ।
6. **ফটোফসফোরাইলেশন :** ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে যখন সক্রিয়