

লাল - সরুজে  
দাগানো  
**TEXT BOOK**



উত্তিদি বিজ্ঞান

*New Edition*



**উমেষ**

মেডিকেল এন্ড ডেন্টাল এডমিশন কেয়ার

## নবম অধ্যায়

# উক্তি শারীরতত্ত্ব

### PLANT PHYSIOLOGY

প্রধান শব্দসমূহ : পত্রজ্ঞ,  
প্রবেদন, ফটোফসফোরাইলেশন,  
সালোকসংশ্লেষণ, শ্বসন

মাধ্যমিক শ্রেণিতে তোমরা সালোকসংশ্লেষণ, শ্বসন, উক্তি ও পানির সম্পর্ক, পানি ও খনিজ লবণ পরিশোষণ, কোষ রসের আরোহণ, প্রবেদন ইত্যাদি শারীরতত্ত্বিক প্রক্রিয়া সম্বন্ধে মোটামুটি ধারণা পেয়েছে। এই অধ্যায়ে উক্ত প্রক্রিয়াগুলো সম্বন্ধে আরও বিস্তারিত জানতে পারবে।

প্রতিটি সজীব উক্তিদের দেহাভ্যন্তরে বহুবিধ শারীরতত্ত্বিক (physiological) ক্রিয়া-বিক্রিয়া প্রতিনিয়ত চলতে থাকে। একাধিক ক্রিয়া-বিক্রিয়া মিলিতভাবে এক একটি শারীরতত্ত্বিক প্রক্রিয়া (physiological process) সম্পন্ন করে। উক্তিদের জীবনে গুরুত্বপূর্ণ কতিপয় শারীরতত্ত্বিক প্রক্রিয়া হলো খনিজ লবণ পরিশোষণ, রস উন্নোলন, সালোকসংশ্লেষণ, শ্বসন, প্রবেদন প্রভৃতি। কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ শারীরতত্ত্বিক প্রক্রিয়া সম্বন্ধে নিচে আলোচনা করা হলো।

উক্তিদবিজ্ঞানের যে শাখায় উক্তিদের বিভিন্ন শারীরতত্ত্বিক বিষয়াদি নিয়ে আলোচনা ও গবেষণা করে তাকে উক্তিদের শারীরতত্ত্ব বলে।

**Stephen Hales** নামক একজন ব্রিটিশ বিজ্ঞানী ১৭২৭ খ্রিষ্টাব্দে বলেন যে, উক্তিদের বায়ু থেকে কিছু খাদ্য গ্রহণ করে এবং সূর্যালোক হয়ত এতে অংশগ্রহণ করে। এ কারণে তাঁকে **উক্তিদের শারীরতত্ত্বের (Plant Physiology)** জনক বলা হয়। Plant Physiology শব্দটি দুটি গ্রিক শব্দ *Physis* (nature) এবং *logos* (discourse) থেকে উদ্ভৃত হয়েছে।

এ অধ্যায়ের পাঠগুলো পড়ে শিক্ষার্থীরা যা যা শিখবে—		পাঠ পরিকল্পনা
❖ উক্তিদের খনিজ লবণ শোষণ প্রক্রিয়া।	পাঠ ১	উক্তিদের খনিজ লবণ শোষণ : সক্রিয় শোষণ
❖ আধুনিক মতবাদসহ সক্রিয় ও নিচ্ছিয় শোষণ প্রক্রিয়া।	পাঠ ২	উক্তিদের খনিজ লবণ শোষণ : নিচ্ছিয় শোষণ
❖ সক্রিয় ও নিচ্ছিয় শোষণ প্রক্রিয়ার মধ্যে তুলনা।	পাঠ ৩	প্রবেদন
❖ চিত্রসহ পত্রজ্ঞের গঠন।	পাঠ ৪	পত্রজ্ঞ
❖ পত্রজ্ঞ উন্নত ও বন্ধ হওয়ার কৌশল।	পাঠ ৫	পত্রজ্ঞ খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল
❖ পত্রজ্ঞীয় প্রবেদন প্রক্রিয়া বর্ণনা।	পাঠ ৬	ব্যবহারিক : পত্রজ্ঞের গঠন পর্যবেক্ষণ ও চিহ্নিতকরণ
<b>ব্যবহারিক :</b>	পাঠ ৭	সালোকসংশ্লেষণ
০ পত্রজ্ঞের চিত্র অঙ্কন করে চিহ্নিতকরণ।	পাঠ ৮	সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া : আলোক পর্যায়
❖ ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড ট্র্যাক চক্র বর্ণনা।	পাঠ ৯	সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া : অঙ্ককার পর্যায়
❖ ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড ট্র্যাক চক্রের মধ্যে তুলনা।	পাঠ ১০	সালোকসংশ্লেষণে প্রভাবকসমূহের ভূমিকা
❖ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় লিমিটিং ফ্যাক্টরের ভূমিকা।	পাঠ ১১	ব্যবহারিক : সালোকসংশ্লেষণে $\text{CO}_2$ গ্যাসের অপরিহার্যতা পরীক্ষা
<b>ব্যবহারিক :</b>	পাঠ ১২	শ্বসন
০ সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাই-অক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষা।	পাঠ ১৩	স্বাত শ্বসন : গ্লাইকোলাইসিস
❖ স্বাত শ্বসন প্রক্রিয়ার বর্ণনা।	পাঠ ১৪	পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ ও ক্রেবস চক্র
❖ অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ার বর্ণনা।	পাঠ ১৫	ইলেক্ট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (ETC)
❖ শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার।	পাঠ ১৬	অবাত শ্বসন
❖ শ্বসনের প্রভাবকসমূহ।	পাঠ ১৭	শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার
<b>ব্যবহারিক :</b>	পাঠ ১৮	শ্বসন হার, শ্বসনের প্রভাবকসমূহ ও গুরুত্ব
০ অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ার পরীক্ষা।	পাঠ ১৯	ব্যবহারিক : অবাত শ্বসনে $\text{CO}_2$ গ্যাসের নির্গমন পরীক্ষা

### ৯.১ : খনিজ লবণ পরিশোষণ (Absorption of Mineral Salts)

উত্তিদ দেহাভ্যন্তরে বিভিন্ন শারীরতাত্ত্বিক প্রক্রিয়া সুসম্পন্ন করতে বিভিন্ন প্রকার খনিজ লবণের অংশগ্রহণ প্রয়োজন পড়ে। সাধারণত দেহাভ্যন্তরে এগুলো তৈরি হয় না; বাইরে থেকে, বিশেষ করে মাটি থেকে এসব খনিজ লবণ শোষণ করে নিতে হয়। আস্থাপ্রদ ও শারীরিক পরিপূর্ণতার জন্য এগুলো আবশ্যিকীয়। বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষায় দেখা গিয়েছে যে, উত্তিদের জন্য কার্বন, হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, ফসফরাস, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, সালফার (গন্ধক), লোহ, ম্যাংগানিজ, তামা, দস্তা, মলিবডেনাম, বোরন, নিকেল ও ক্রোরিন—এই ১৭টি উপাদান অত্যাবশ্যিকীয়। এর মধ্যে কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ছাড়া সব কয়টি উপাদান উত্তিদ মাটি হতে শোষণ করে।

**লবণ পরিশোষণ অঙ্গ :** স্তুলজ উত্তিদের মূলের অঞ্চলগের কোষ বিভাজন অঞ্চলের নব গঠিত কোষগুলোই লবণ পরিশোষণে অধিক কার্যক্রম। মূলরোম দিয়েও কিছু লবণ পরিশোষিত হয়ে থাকে। ধারণা করা হয় যে, নিমজ্জিত জলজ উত্তিদের সব অঙ্গই লবণ পরিশোষণে কার্যকর ভূমিকা পালন করে।

কোনু বা কি অবস্থায় লবণ পরিশোষিত হয়? উত্তিদ কখনো কঠিন অবস্থায় কোনো পদার্থ শোষণ করতে পারে না এবং এ বৈশিষ্ট্যে প্রাণী হতে উত্তিদ সম্পূর্ণ পৃথক। মাটিই খনিজ লবণ সরবরাহের একমাত্র উৎস। খনিজ লবণগুলো মাটিত্ব পানিতে দ্রবীভূত হয়ে ধনাত্মক আয়ন বা ক্যাটায়ন (+) ও ঝণাত্মক আয়ন বা অ্যানায়ন (-)-এ বিভক্ত থাকে এবং লবণগুলো উত্তিদ আয়ন হিসেবেই পরিশোষণ করে থাকে। উদাহরণস্বরূপ সোডিয়াম ক্লোরাইড ( $\text{NaCl}$ )-এর নাম উল্লেখ করা যায়। পানিতে দ্রবীভূত হলে এটি  $\text{Na}^+$  (ক্যাটায়ন) ও  $\text{Cl}^-$  (অ্যানায়ন)-এ বিভক্ত হয় এবং  $\text{Na}^+$  ও  $\text{Cl}^-$  আয়ন হিসেবেই মূল কর্তৃক শোষিত হয়। আয়ন দুটি সমভাবে অথবা অসমভাবে শোষিত হতে পারে। বিভিন্ন আয়ন শোষণের হার বিভিন্ন প্রকার  $\text{K}^+$  এবং  $\text{NO}_3^-$  আয়ন সবচেয়ে দ্রুতগতিতে শোষিত হয় এবং  $\text{Ca}^{2+}$  এবং  $\text{SO}_4^{2-}$  আয়ন সবচেয়ে মন্ত্র গতিতে শোষিত হয় বলে মনে করা হয়। সাধারণ ক্যাটায়নগুলো (+) হলো  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mn}^{++}$ ,  $\text{Fe}^{+++}$ ,  $\text{Cu}^{++}$ ,  $\text{Zn}^{++}$ ,  $\text{Co}^{++}$ ,  $\text{Na}^+$  এবং সাধারণ অ্যানায়নগুলো (-) হলো  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{BO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ।

MAT: 20-21

লবণ পরিশোষণ কী? উত্তিদের স্বাভাবিক বৃদ্ধি ও পরিপূর্ণ শারীরিক বিকাশের জন্য মাটি থেকে আয়ন হিসেবে খনিজ লবণ শোষণ প্রক্রিয়াই হলো লবণ পরিশোষণ।

MAT: 11-12

#### উত্তিদের জন্য অত্যাবশ্যিকীয় পুষ্টি উপাদান

E. Epstein (1972) বলেন যে, নিম্নলিখিত দুটি কারণে (অথবা দুটির যে কোনোটি) একটি মৌলকে অত্যাবশ্যিকীয় বলা যাবে; যথা- (১) এ মৌলটি ছাড়া উত্তিদ তার স্বাভাবিক জীবনচক্র সম্পন্ন করতে পারবে না, (২) মৌলটি উত্তিদ গঠনের বা মেটাবলিজমের প্রয়োজনীয় অংশ (যেমন- ম্যাগনেসিয়াম ক্লোরোফিল অণু গঠনের জন্য দরকারি, আর ক্লোরোফিল ফটোসিনথেসিস-এর জন্য দরকারি।)। ফসফরাসের অভাবে উত্তিদের পাতা ও ফল ঝরে পড়ে।

যে মৌলগুলো অধিক পরিমাণে লাগে সেগুলো ম্যাক্রোমৌল (১-৯); যে মৌলগুলো অপেক্ষাকৃত কম পরিমাণে লাগে সেগুলো মাইক্রোমৌল (১০-১৭); যে মৌল কোনো কোনো উত্তিদের জন্য বিশেষ প্রয়োজন, তাহলো উপকারীমৌল; যেমন সিলিকন (ঘাসের জন্য), সোডিয়াম ( $\text{C}_4$  উত্তিদের জন্য), কোবাল্ট (নাইট্রোজেন ফিকসিং লিগিউমের জন্য) ও আয়োডিন (সামুদ্রিক শৈবালের জন্য)। সিলিকন ঘাস উত্তিদের জন্য ম্যাক্রোমৌল (পরিমাণ-৩০)। কাজেই সে হিসেবে ম্যাক্রোমৌল ১০টি এবং মাইক্রোমৌল ৯টি বলা যায়।

নিচে বর্ণিত ছকের মাধ্যমে উত্তিদ যেসব পুষ্টি উপাদান গ্রহণ করে থাকে তা দেখানো হলো:

মৌলের নাম	ধাতু/অধাতু	রাসায়নিক সংকেত	গ্রহণীয় রূপ	শুক্র ওজনের ঘনত্ব ( $\text{m mol}^{-1}/\text{kg}$ )
ম্যাক্রোমৌল				
১. হাইড্রোজেন	অধাতু	H	$\text{H}_2\text{O}$	60,000
২. কার্বন	"	C	$\text{CO}_2$	40,000
৩. অক্সিজেন	"	O	$\text{O}_2, \text{CO}_2, \text{H}_2\text{O}$	30,000
৪. নাইট্রোজেন	"	N	$\text{NO}_3^-, \text{NH}_4^+$	1000

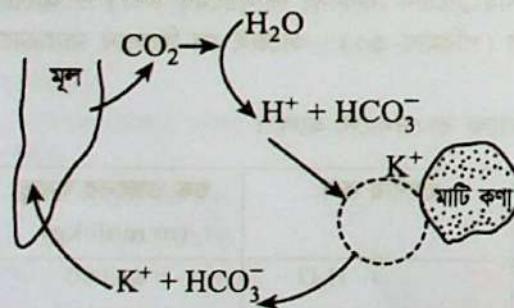
মৌলের নাম	ধাতু/অধাতু	রাসায়নিক সংকেত	গ্রহণীয় রূপ	শক্ত ওজনের ঘনত্ব (m mol/kg)
৫. পটাসিয়াম	ধাতু	K	$K^+$	250
৬. ক্যালসিয়াম	"	Ca	$Ca^{2+}$	125
৭. ম্যাগনেসিয়াম	"	Mg	$Mg^{2+}$	80
৮. ফসফরাস	অধাতু	P	$PO_4^{3-}$	60
৯. সালফার (গন্ধক)	"	S	$SO_4^{2-}$	30
মৌলের নাম	ধাতু/অধাতু	রাসায়নিক সংকেত	গ্রহণীয় রূপ	শক্ত ওজনের ঘনত্ব (m mol/kg)
মাইক্রোমৌল				
১০. ক্লোরিন	অধাতু	Cl	$Cl^-$	3.0
১১. বোরন	"	B	$BO_3^-$	2.0
১২. আয়রন (লোহ)	ধাতু	Fe	$Fe^{2+}, Fe^{3+}$	2.0
১৩. ম্যাঙ্গানিজ	"	Mn	$Mn^{2+}$	1.0
১৪. জিঙ (দন্ত)	"	Zn	$Zn^{2+}$	0.3
১৫. কপার (তামা) MAT: 17- 18		Cu	$Cu^{2+}$	0.1
১৬. নিকেল	"	Ni	$Ni^{2+}$	0.05
১৭. মলিবডেনাম	"	Mo	$Mo_4^{2-}$	0.001

### মাটিতে খনিজ লবণের প্রাপ্যতা (Availability of Mineral Salts in Soil)

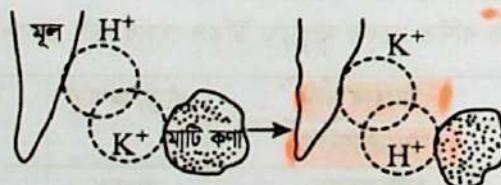
মাটিতে দ্রবণে খনিজ লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং ক্যাটায়নের কিছু পরিমাণ কলয়ডাল দানার গায়ে লেগে থাকতে (adsorbed) পারে। মনে করা হয় কলয়ডাল দানার গায়ে লাগানো আয়নসমূহ আয়ন একচেঙ্গ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদের জন্য সহজলভ্য। আয়ন একচেঙ্গ-এর জন্য দুটি মতবাদ প্রচলিত আছে।

#### মতবাদ দুটি নিম্নরূপ :

(i) **কার্বন ডাই-অক্সাইড একচেঙ্গ মতবাদ :** এ মতবাদ অনুযায়ী উদ্ভিদমূল শুসন প্রক্রিয়ায় যে  $CO_2$  সৃষ্টি করে তা মাটিতে পানির সাথে বিক্রিয়া করে কার্বনিক অ্যাসিড তৈরি করে। কার্বনিক অ্যাসিড পরে ভেঙে হাইড্রোজেন আয়ন ( $H^+$ ) এবং বাইকার্বনেট আয়ন ( $HCO_3^-$ -এ পরিণত হয়। কলয়ডাল দানার গায়ে লাগানো ক্যাটায়ন ( $K^+$ )-এর সাথে  $H^+$  এর ছান পরিবর্তন হয়। অন্য দিকে  $HCO_3^-$  আয়নের জন্যও অ্যানায়নের সাথে বিনিময় ঘটে। এর ফলে মূলের শোষণ অঙ্গের কাছে উভয় প্রকার আয়নই সহজলভ্য হয়।



চিত্র ৯.১ : কার্বন ডাই-অক্সাইড একচেঙ্গ মতবাদের চিত্ররূপ



চিত্র ৯.২ : কল্ট্যাক্ট একচেঙ্গ মতবাদের চিত্ররূপ

(ii) **কল্ট্যাক্ট একচেঙ্গ মতবাদ :** এ মতবাদ অনুযায়ী কলয়ডাল দানার গায়ে লাগানো আয়ন ছির অবস্থায় থাকে না এবং আয়নসমূহ কলয়ডাল দানার গায়ে স্বল্প জায়গায় কম্পিত হতে থাকে। মূলের গায়ের আয়নসমূহও একইভাবে কম্পিত হতে

থাকে। এভাবে দুই অবস্থানের আয়নসমূহের কম্পনের স্থান যদি সাধারণ অবস্থায় চলে আসে অর্থাৎ যুগপৎ ঘটে (overlap) তবেই ক্যাটায়ন একচেষ্ট তথা এক ক্যাটায়নের সঙ্গে অন্য ক্যাটায়নের বিনিময় সংঘটিত হয়। (চিত্রে  $K^+$  এর সাথে  $H^+$ ) এভাবে মূলের জন্য আয়ন সহজলভ্য হয়।

### উজ্জিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া

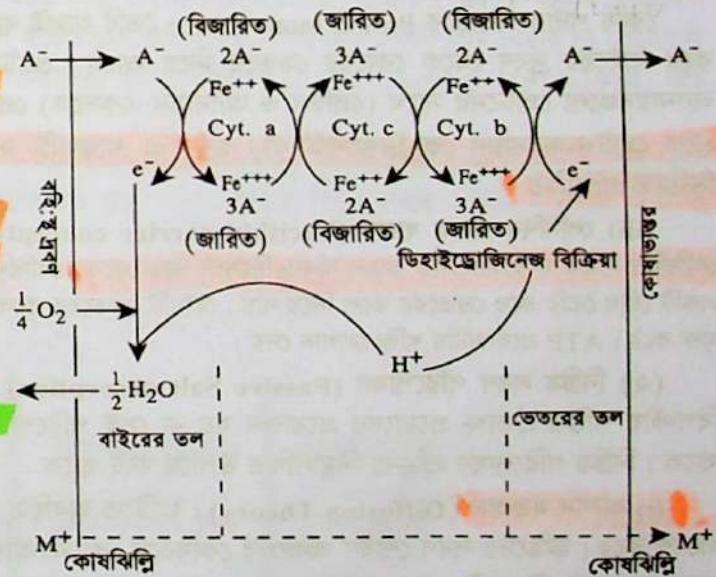
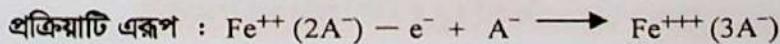
উজ্জিদ তার প্রয়োজনীয় খনিজ লবণ ( $N, Ca, P, K, Mg, Fe, S, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Cl, Ni$  প্রভৃতি) মাটি হতে আয়ন আকারে শোষণ করে নেয়। লবণগুলো মাটিতে দ্রবীভূত হয়ে ক্যাটায়ন (+) অথবা অ্যানায়ন (-) হিসেবে অবস্থান করে; যেমন-  $NaCl$  লবণ দ্রবীভূত হয়ে  $Na^+$  (ক্যাটায়ন) এবং  $Cl^-$  (অ্যানায়ন) হিসেবে অবস্থান করে। মাটিতে পানিতে অবস্থিত সাধারণ ক্যাটায়নগুলো (+) হলো  $K^+, Mg^{++}, Fe^{+++}, Mn^{++}, Cu^{++}, Zn^{++}$  এবং সাধারণ অ্যানায়নগুলো (-) হলো  $NO_3^-, PO_4^{--}, BO_3^-, SO_4^{--}, Cl^-$ ।

লবণ পরিশোষণ একটি জটিল প্রক্রিয়া এবং অদ্যাবধি লবণ পরিশোষণ সম্বন্ধে কোনো একটি নির্দিষ্ট প্রক্রিয়া সর্বজন স্বীকৃত হয়নি। বেশির ভাগ ক্ষেত্রে দেখা যায়, মাটিতে দ্রবীভূত লবণের ঘনত্ব মূলস্থ কোষরসের ঘনত্ব অপেক্ষা অনেক কম। তবুও উজ্জিদ ঘনত্বের আন্তি (concentration gradient)-এর বিরুদ্ধে লবণ শোষণ করে থাকে। যদিও এক্ষেত্রে সাধারণ ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কোম হতে লবণ বের হয়ে যাওয়ার কথা। যা হোক, খনিজ লবণ পরিশোষণের প্রক্রিয়াকে প্রধানত দু'ভাগে ভাগ করা যায়; যথা : (১) সক্রিয় পরিশোষণ এবং (২) নিয়মিত পরিশোষণ।

(১) সক্রিয় লবণ পরিশোষণ (Active Salt absorption) : মাটিতে দ্রবণে কোনো আয়নের ঘনত্ব মূলের শোষণ অন্তর্ভুক্ত কোষরসে সেই আয়নের ঘনত্ব অপেক্ষা কম হলেও দেখা যায় মাটির দ্রবণ হতে ঐ আয়ন কোষের অভ্যন্তরে প্রবেশ করছে। ঘনত্ব আন্তির (concentration gradient) বিপরীতে এই শোষণ ঘটে বলে এতে বিপাকীয় শক্তির প্রয়োজন পড়ে। বিপাকীয় কার্যাবলির কারণে শুসন হার বৃদ্ধি পায়। এ কারণেই এ জাতীয় পরিশোষণকে সক্রিয় পরিশোষণ বলে। অধিকাংশ খনিজ লবণ সক্রিয় পরিশোষণ পদ্ধতিতেই মূল কর্তৃক পরিশোষিত হয়ে থাকে। সক্রিয় শোষণেরও বিভিন্ন মতবাদ প্রচলিত আছে; যেমন- সাইটোক্রোম পাম্প মতবাদ, প্রোটন-অ্যানায়ন কোট্রান্সপোর্ট মতবাদ, লেসিথিন মতবাদ ইত্যাদি। তবে প্রত্যেক মতবাদই আয়ন বাহক ধারণার ওপর প্রতিষ্ঠিত। সক্রিয় শোষণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন একই সাথে পরিশোষিত হতে পারে।

আয়ন বাহক ধারণা (The carrier concept of ion) : আয়ন বাহক ধারণার উপর নির্ভরশীল তিনটি মতবাদ নিচে বর্ণনা করা হলো :

(i) লুনডেগড় মতবাদ (Lundegardth theory- 1955) : এ মতবাদকে Cytochrome pump মতবাদও বলা হয়। এ মতবাদ অনুযায়ী বাহক হচ্ছে cytochrome (Cyt.)। লুনডেগড়ের মতানুযায়ী অ্যানায়ন পরিশোষণ প্রক্রিয়াক্ষে cytochrome system-এর মাধ্যমে সম্পন্ন হয়ে থাকে। লুনডেগড়-এর মতে কোষবিল্লির ভেতরের তল-এ ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের বিক্রিয়ার ফলে প্রোটন ( $H^+$ ) এবং ইলেকট্রন ( $e^-$ ) সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনটি সাইটোক্রোম চেইন-এর মাধ্যমে কোষবিল্লির বাইরের দিকে চলে আসে এবং  $O_2$  এর সাথে মিলে প্রোটন সহযোগে পানি তৈরি করে। এর ফলে কোষবিল্লির বাইরের তলে সাইটোক্রোমের বিজারিত লৌহ (reduced iron) ইলেকট্রন হারিয়ে জারিত (oxidised) হয় এবং একটি অ্যানায়ন গ্রহণ করে।



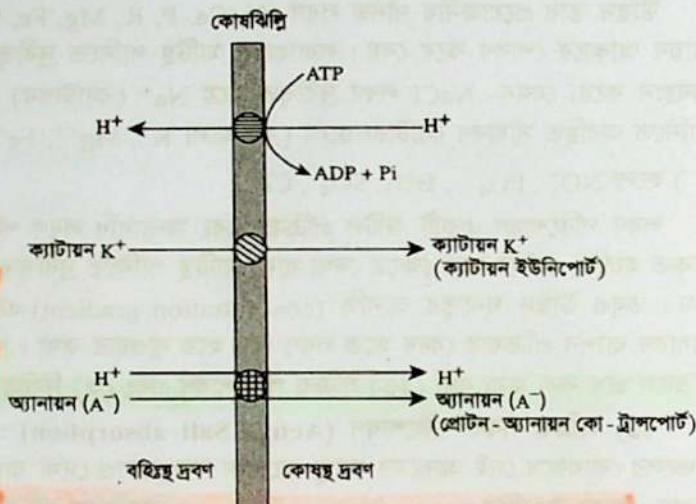
চিত্র ৯.৩ : সাইটোক্রোম পাম্প মতবাদ অনুযায়ী অ্যানায়ন ( $A^-$ ) সক্রিয়ভাবে এবং ক্যাটায়ন ( $M^+$ ) নিয়মিতভাবে পরিশোষিত হচ্ছে।

কোষঘনিলির ভেতরের তলে (inner space) সাইটোক্রোমের জারিত লৌহ ডিহাইড্রোজিনেজ বিক্রিয়া হতে প্রাপ্ত ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয় এবং কোষঘনিলির বাইরের তলে (outer space) সাইটোক্রোমের জারিত লৌহ যে অ্যানায়ন ( $A^-$ ) গ্রহণ করে তা বিক্রিয়ার শেষ পর্যায়ে ভেতরের দিকে মুক্ত করে দেয়। এভাবে ভেতরের দিকে অ্যানায়ন ( $A^-$ ) জমা হতে থাকে। **কিছু ক্যাটায়ন (চিত্র M<sup>+</sup>) শোষণ নিয়মিতভাবে বহিষ্ঠ দ্রবণ থেকে কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে।**

(ii) প্রোটন-অ্যানায়ন কো-ট্রান্সপোর্ট মতবাদ (Proton-Anion co-transport theory) : আধুনিক ধারণায়, কোষঘনিলির উভয় দিকে একটি তড়িৎ রাসায়নিক নতিমাত্রা (electrochemical gradient) সৃষ্টির মাধ্যমে আয়নগুলো কোষের ভেতরে স্থানান্তরিত হয়।

এ আধুনিক মতবাদ অনুসারে, **আয়ন নির্দিষ্ট কিছু সংখ্যক প্রোটিন বাহক দ্বারা বাহিত হয়ে বাইরের দ্রবণ থেকে কোষের ভেতরে দ্রবণে প্রবেশ করে। এক্ষেত্রে নির্দিষ্ট প্রোটিন নির্দিষ্ট আয়নের বাহক হিসেবে কাজ করে।**

ধারণা করা হয় কোষঘনিলির ভেতরের তলের দিকে ATP-ase এনজাইমের ক্রিয়ায় ATP ভেঙ্গে শক্তি নির্গত হয়। যার প্রভাবে প্রোটন ( $H^+$ ) কোষের বাইরে নিষ্কাশ হয়। একে প্রোটন পাস্প বলে।



চিত্র ৯.৪ : প্রোটন-অ্যানায়ন কো-ট্রান্সপোর্ট অন্যান্য আয়ন শোষণ

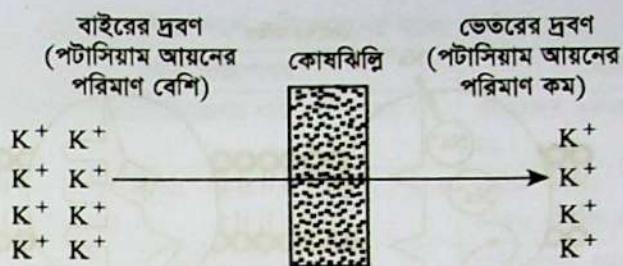
প্রোটন পাস্পের কারণে কোষের বাইরের সাথে ভেতরের দিকে pH gradient (বাইরে pH কম) এবং potential gradient (কোষের বাইরের +ve চার্জ বেশি, কোষের ভেতরে +ve চার্জ কম) তৈরি হয় যাকে একত্রে Electrochemical potential gradient বা Proton motive force বলে।

কোষ পর্দার Proton motive force তৈরি হলেই বাহক প্রোটিনগুলো সক্রিয় হয় এবং ক্যাটায়নগুলোকে বহন করে বাইরের দ্রবণ থেকে কোষের ভেতরে নিয়ে আসে। প্রোটনও বাইরে থেকে ভেতরে ঢুকতে চায়, আর সে সময় অ্যানায়নগুলো প্রোটনের সাথে (প্রোটন ও অ্যানায়ন একসঙ্গে) প্রোটিন বাহকের মাধ্যমে কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে। এজন্য একে প্রোটন-অ্যানায়ন কো-ট্রান্সপোর্ট বলা হয়। এ ধারণাটি Peter Mitchel (1968) এর কেমি-অসমোটিক মডেলের ভিত্তিতে প্রতিষ্ঠিত।

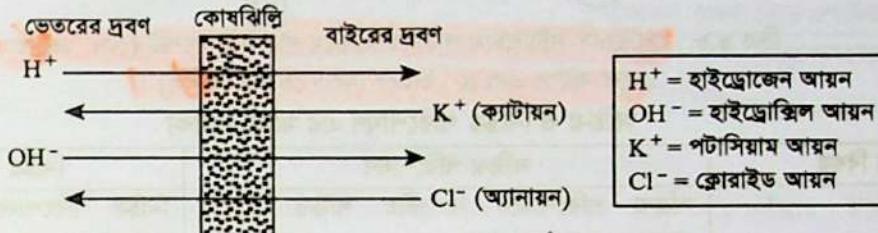
(iii) লেসিথিন বাহক ধারণা (Lacithin carrier concept) : Bennet Clark (1956) নামক বিজ্ঞানী মনে করেন, লেসিথিন নামক ফসফোলিপিড আয়ন বাহক হিসেবে কাজ করে। লেসিথিন কোষঘনিলির বাইরের তলে অ্যানায়ন ও ক্যাটায়ন গ্রহণ করে একটি যোগ তৈরি করে ভেতরের তলে নিয়ে যায়। যোগটি ভেতরের তলে কোলিন-ফসফেটাইডিক অ্যাসিড এ ভেঙ্গে গিয়ে আয়ন দুটিকে মুক্ত করে। ATP প্রয়োজনীয় শক্তি যোগান দেয়।

(2) নিয়মিত লবণ পরিশোষণ (Passive Salt absorption) : যে পরিশোষণ প্রক্রিয়ায় আয়ন শোষণের জন্য কোনো বিপরীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োগের প্রয়োজন হয় না সেই পরিশোষণই হলো নিয়মিত পরিশোষণ। এতে শুসন হার স্বাভাবিক থাকে। **NAT : ০৯-১০**

(i) ব্যাপন মতবাদ (Diffusion Theory) : মাটিতে অবস্থিত দ্রবণ হতে কোষের অভ্যন্তরে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কিছু আয়ন প্রবেশ করে। উদ্ধিদের লবণ শোষণ অঞ্চলের কোষরসে কোনো আয়নের ঘনত্ব মাটির দ্রবণে অবস্থিত এই আয়নের ঘনত্ব হতে কম হলে আয়নটি মাটির দ্রবণ হতে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কোষরসে প্রবেশ করে। এভাবে ক্রমান্বয়ে আয়ন পরিশোষিত হতে থাকে। (Hope & Stevens, 1952)



চিত্র ৯.৫ : ব্যাপন মতবাদ অনুযায়ী নিউক্লিয় পদ্ধতিতে আয়ন শোষণ।



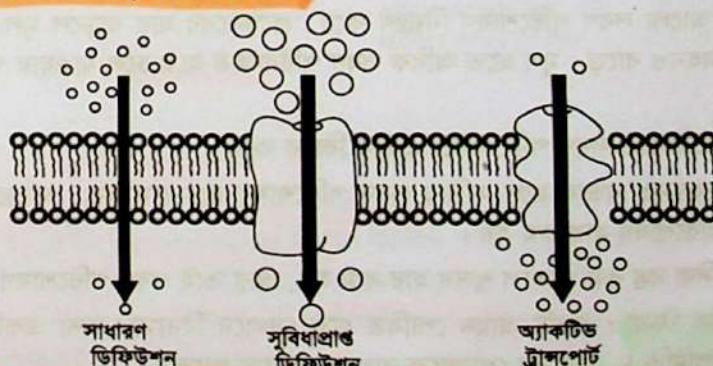
চিত্র ৯.৬ : আয়ন বিনিময় মতবাদ অনুযায়ী নিউক্লিয় পদ্ধতিতে আয়ন শোষণ। DAT ০৭-১০

(ii) আয়ন বিনিময় মতবাদ (Ion exchange theory) : উদ্ধিদমূলের কোষরস হতে **হাইড্রোজেন ( $H^+$ )** আয়ন বাইরের দ্রবণে নির্গত হয়। তখন কোষের বৈদ্যুতিক নিরপেক্ষতা বজায় রাখার জন্য বাইরের দ্রবণ হতে **ক্যাটায়ন ( $K^+$ )** কোষের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে। একইভাবে হাইড্রোক্সিল ( $OH^-$ ) আয়নের বিনিময়ে অ্যানায়ন ( $Cl^-$ -আয়ন) কোষরসে প্রবেশ করে। আয়ন এক্সচেঞ্চ বলতে আয়নের একপ বিনিময়কে বোঝানো হয়। ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন একসাথে পরিশোষিত হয় না। ডেভলিন (১৯৬৯), পাণ্ডে ও সিনহা (১৯৭২) এই মতবাদের প্রবক্তা।

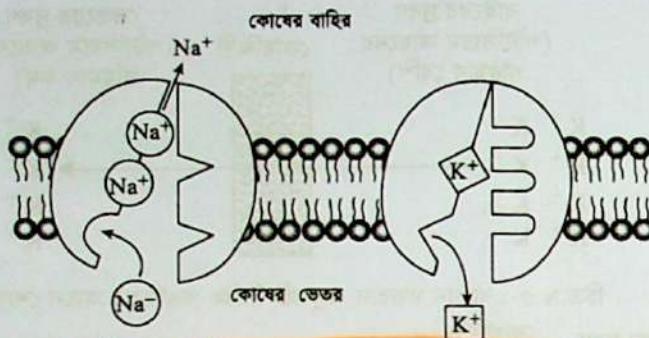
(iii) ডোন্যান সাম্যাবস্থা মতবাদ (Donnan equilibrium theory) : কোষবিল্লির অভ্যন্তরে অব্যাপনযোগ্য কিছু ট্রি ঝণাতাক চার্জ থাকলে, একে নিরপেক্ষ করার জন্য বাহির হতে কিছু ধনাতাক চার্জবিশিষ্ট ক্যাটায়ন বিল্লির অভ্যন্তরে প্রবেশ করে। প্রাজমাবিল্লির ভেতর একপ ট্রির আয়নের সংখ্যা বেশি হয়ে গেলে বাইরে থেকে ভেতরে একটি সাম্যাবস্থায় না পৌছানো পর্যন্ত ক্যাটায়নের ব্যাপন চলতে থাকে, একে ডোন্যান সাম্যাবস্থা বলে। বিজ্ঞানী F. G. Donnan (1911-1914) এই মতবাদের প্রবক্তা।

(iv) ব্যাপক প্রবাহ মতবাদ (Mass flow theory) : অনেক বিজ্ঞানী [Hylmo (1955) ও Kramen (1956)] মনে করেন যে, প্রবেদন টানে যখন ব্যাপক হারে পানি পরিশোষিত হয় তখন পানির সাথে সাথে খনিজ লবণের আয়নও পরিশোষিত হয়।

#### বন্ধুর কোষ মেম্ব্রেনের বাইলেয়ার পাড়ি দেয়ার কৌশল



চিত্র ৯.৭ : সাধারণ ডিফিউশনের মাধ্যমে, সুবিধাপ্রাপ্ত (প্রোটিন চেনেলের মধ্য দিয়ে) ডিফিউশনের মাধ্যমে নিউক্লিয় ট্রান্সপোর্ট হয়। ATP থেকে শক্তি খরচের মাধ্যমে অ্যাক্টিভ (সক্রিয়) ট্রান্সপোর্ট ঘটে।



চিত্র ৯.৮ : সোডিয়াম-পটাশিয়াম পাম্পের মাধ্যমে সক্রিয় ট্রান্সপোর্ট ( $\text{Na}^+$  ভেতর থেকে বাইরে এবং  $\text{K}^+$  বাইরে থেকে ভেতরে প্রবেশ)।

#### সক্রিয় ও নিউক্লিয় পরিশোধণ এর মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	সক্রিয় পরিশোধণ	নিউক্লিয় পরিশোধণ
১। বিপাকীয় শক্তি	সক্রিয় পরিশোধণে বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োগের প্রয়োজন পড়ে।	নিউক্লিয় পরিশোধণে বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োগের প্রয়োজন পড়ে না।
২। শুসন হার	সক্রিয় পরিশোধণে শুসন হার বৃদ্ধি পায়।	নিউক্লিয় পরিশোধণে শুসন হার স্বাভাবিক থাকে।
৩। ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শোষণ	ক্যাটায়ন (+) ও অ্যানায়ন (-) এর শোষণ একই সাথে সংঘটিত হয়।	ক্যাটায়ন (+) ও অ্যানায়ন (-) এর শোষণ একই সাথে সংঘটিত হয় না।
৪। আয়ন বাহক	সক্রিয় পরিশোধণ বাহক আয়ন বা অণু দ্বারা সম্পন্ন হয়।	নিউক্লিয় পরিশোধণে কোনো বাহক আয়ন বা অণুর দরকার হয় না।
৫। এনজাইম বা উৎসেচক	সক্রিয় শোষণে এনজাইম গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে।	এনজাইমের কোনো ভূমিকা নেই।

খনিজ লবণ পরিশোধণের প্রভাবকসমূহ : আয়নের ঘনত্ব, তাপমাত্রা, pH, আলোক, অক্সিজেন, শুসনিক বন্ত প্রভৃতি প্রভাবক দিয়ে খনিজ লবণ পরিশোধণ প্রভাবিত হয়। এ প্রভাবকগুলোর হ্যাস-বৃদ্ধি একটি নির্দিষ্ট সীমার মধ্যে খনিজ লবণ পরিশোধণের হ্যাস-বৃদ্ধি ঘটায়। **প্রভাবকগুলো নিম্নরূপ :**

১। **আয়নের ঘনত্ব :** বহিষ্ঠ দ্রবণে আয়নের ঘনত্ব শোষণ হারকে প্রভাবিত করে। একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আয়নের ঘনত্ব বাড়লে শোষণ হার বৃদ্ধি পায়।

২। **তাপমাত্রা :** একটি সংকীর্ণ সীমার মধ্যে তাপমাত্রার বৃদ্ধি লবণ পরিশোধণ হার বৃদ্ধি করে। এ সীমা থেকে নিম্ন তাপমাত্রা বা উচ্চ তাপমাত্রা পরিশোধণ হার কমিয়ে আনে, এমনকি পরিশোধণ বন্ধ হয়ে যেতে পারে।

৩। **আলো :** আলো পরোক্ষভাবে লবণ পরিশোধণ প্রক্রিয়ায় প্রভাব ফেলে। প্রত্রক্রের খোলা-বন্ধ হওয়া এবং প্রবেদনের হার নিয়ন্ত্রণ করার মাধ্যমে আলো লবণ পরিশোধণ নিয়ন্ত্রণ করে। প্রবেদনের হার বাড়লে মূল হতে পাতায় পানির পরিবহন হার বাড়ে, ফলে লবণ পরিবহনও বাড়ে। মূল হতে অধিক লবণ পরিবাহিত হয়ে চলে যাওয়ায় পরবর্তীতে মূল অধিক পরিমাণ লবণ শোষণ করতে পারে।

৪। **প্রবেদন :** প্রবেদন প্রক্রিয়াও লবণ পরিশোধণে প্রভাব বিস্তার করে।

৫। **অক্সিজেন :** অক্সিজেনের অভাব হলে সক্রিয় লবণ পরিশোধণ হার কম হয়। অক্সিজেনের অভাব শুসন প্রক্রিয়ায় ব্যাঘাত ঘটায়, তাই লবণ পরিশোধণ হার কম হয়।

৬। **শুসনিক বন্ত :** শুসনিক বন্ত কম থাকলে শুসন হার কম হয়, আর তাই লবণ পরিশোধণ হারও কমে যায়।

৭। **আয়নের পারল্পরিক ত্রিয়া :** একটি আয়ন শোষিত হলে সেখানে বিদ্যমান অন্য একটি আয়নের উপর তার প্রভাব পড়ে।  $\text{Ca}$ ,  $\text{Mg}$  আয়নের উপস্থিতি  $\text{K}$  আয়নের শোষণকে বাধাগ্রস্ত করতে পারে।

৮। **বৃদ্ধি অঞ্চল :** সক্রিয় কোষ বিভাজন অঞ্চল ও বৃদ্ধি অঞ্চলে লবণ পরিশোধণ বেশি ঘটে।

## পানি ও খনিজ লবণ পরিশোধণের মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	পানি পরিশোধণ	খনিজ লবণ পরিশোধণ
১. শোষণের অবস্থা	অধিকাংশ পানি নিউক্যুলাবে পরিশোধিত হয়।	অধিকাংশ খনিজ লবণ সক্রিয়ভাবে পরিশোধিত হয়।
২. বিপাকীয় শক্তি	পানি পরিশোধণের জন্য বিপাকীয় শক্তির প্রয়োজন পড়ে না।	খনিজ লবণ পরিশোধণের জন্য বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োজন পড়ে।
৩. শোষণ	পানি অগু হিসেবে শোধিত হয়।	খনিজ লবণ আয়ন হিসেবে শোধিত হয়।
৪. শোষণের মাধ্যম	অধিকাংশ পানি মূলরোম অঞ্চল দিয়ে শোধিত হয়।	অধিকাংশ খনিজ লবণ মূলের অঞ্চলগের কোষ বিভাজন অঞ্চল দিয়ে শোধিত হয়।
৫. বাহক	পানি পরিশোধণের জন্য কোনো বাহকের প্রয়োজন হয় না।	খনিজ লবণ পরিশোধণের জন্য বাহকের প্রয়োজন হয়।

## ৯.২ : প্রস্তুতি (Transpiration)

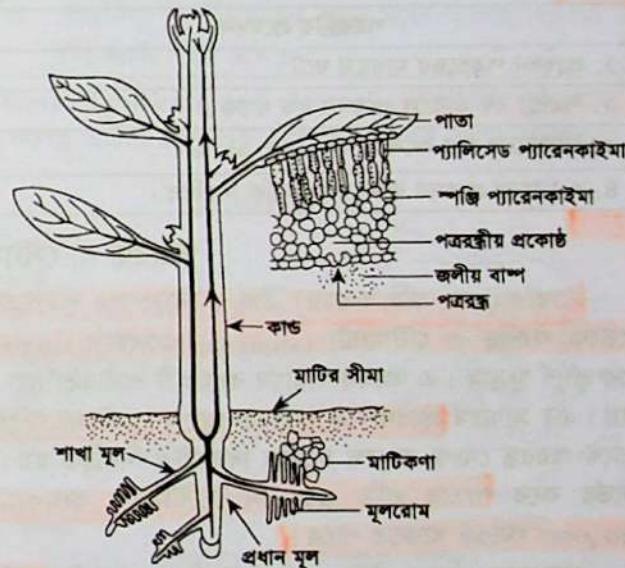
উচ্চিদ অব্যাহতভাবে তার মূলরোম দিয়ে পানি শোষণ করে এবং সেই পানি পাতা পর্যন্ত পৌছায়। উচ্চিদ কর্তৃক শোধিত পানির সামান্য অংশই তার বিভিন্ন জৈবনিক ক্রিয়া-বিক্রিয়ায় খরচ হয় এবং বেশির ভাগই (শতকরা ৯৯ ভাগ পর্যন্ত) বাস্পাকারে বের হয়ে যায়।

যে শারীরতাত্ত্বিক (physiological) প্রক্রিয়া উচ্চিদের বায়বীয় অঙ্গ (সাধারণত পাতা) হতে অতিরিক্ত পানি বাস্পাকারে বের হয়ে যায়, তাকে প্রস্তুতি বা বাস্পমোচন বলে। বায়ুমণ্ডলে উন্মুক্ত উচ্চিদের যে কোনো অংশে প্রস্তুতি সংঘটিত হয়। তবে পাতাই উচ্চিদের প্রধান প্রস্তুতি অঙ্গ। গড় হিসেবে শোধিত পানির মাত্র ১% দেহে অবস্থান করে ও কাজে লাগে, বাকি ৯৯% পানি দেহ থেকে বাস্পাকারে বের হয়ে যায়। এটি উচ্চিদের অত্যাবশ্যকীয় প্রক্রিয়া, তবে অনেক ক্ষেত্রে ক্ষতিকরও হতে পারে। বিজ্ঞানী কুর্টিস (Curtis) প্রস্তুতিকে 'প্রয়োজনীয় অঙ্গস্ত' (necessary evil) বলেছেন। গ্যানং পটোমিটার এর সাহায্যে প্রস্তুতি হার নির্ণয় করা যায়।

প্রস্তুতিনের প্রকার : যে পথে পানি বাস্পাকারে উচ্চিদের দেহাভ্যন্তর হতে বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে পড়ে সে পথের ভিন্নতার উপর নির্ভর করে প্রস্তুতিকে তিনি

ভাগে ভাগ করা হয়; যথা—

- (১) পত্ররক্ষীয় প্রস্তুতি (Stomatal transpiration) : পত্ররক্ষের মধ্য দিয়ে প্রস্তুতি;
  - (২) তৃকীয় বা কিউটিকুলার প্রস্তুতি (Cuticular transpiration) : পত্রত্বকের কিউটিকুলের মধ্য দিয়ে প্রস্তুতি;
  - (৩) লেন্টিকুলার প্রস্তুতি (Lenticular transpiration) : কাণ্ডের লেন্টিসেলের মধ্য দিয়ে প্রস্তুতি।
- (১) পত্ররক্ষীয় প্রস্তুতি : পানি বাস্পাকারে পত্ররক্ষ পথে বেরিয়ে বাতাসের সাথে মিশে যাওয়াকে পত্ররক্ষীয় প্রস্তুতি বলে। পাতায় এবং কাণ্ডে অসংখ্য পত্ররক্ষ থাকে (ফুলের বৃত্তি, পাপড়িতেও পত্ররক্ষ থাকে)। শতকরা ৯৫-৯৮ ভাগ প্রস্তুতি এ প্রক্রিয়ায় হয়ে থাকে। কাজেই পাতাই প্রস্তুতিনের প্রধান অঙ্গ।



চিত্র ৯.৯ : উচ্চিদ মূল কর্তৃক পানি পরিশোধণ এবং পাতা কর্তৃক প্রস্তুতি প্রক্রিয়ায় বাস্পাকারে নির্গমন।

(২) তৃকীয় বা কিউটিকুলার প্রবেদন : উজ্জিদ দেহকে শক্তার হাত হতে রক্ষার জন্য বহিঃত্তকের উপর যে কিউটিন জাতীয় অভেদ্য রাসায়নিক পদার্থের আন্তর থাকে তাকে কিউটিকুল বলে। কিউটিন হলো একটি স্নেহজাতীয় পদার্থ। বিশেষত পাতার উভয় পাশের বহিঃত্তকে কিউটিকুল থাকে। যে সব উজ্জিদ আর্দ্ধ, ছায়াময় পরিবেশে জন্মে তাদের কিউটিকুল বেশ পাতলা থাকে। এ ধরনের উজ্জিদের তৃকীয় প্রবেদনের হার বেশি হয়। কিউটিকুল পাতলা হলে কিউটিকুল ভেদ করেও কিছু পানি বাস্পাকারে বের হয়ে যায় অর্থাৎ প্রবেদন হয়। তৃকীয় কিউটিকুল ভেদ করে সংঘটিত প্রবেদনকে তৃকীয় বা কিউটিকুলার প্রবেদন বলে। যদিও পত্ররঙ্গীয় প্রবেদনের তুলনায় এর পরিমাণ অনেক কম। তথাপি অত্যধিক শক্তাবস্থায় যখন পত্ররঙ্গ বন্ধ হয়ে যায় (এবং এর ফলে পত্ররঙ্গীয় প্রবেদন বন্ধ হয়ে পড়ে) তখনও তৃকীয় প্রবেদন চলতে পারে।

এমতাবস্থায় মাত্রাতিরিক্ত প্রবেদনের ফলে উজ্জিদের প্রভৃতি ক্ষতি, এমনকি মৃত্যুও ঘটতে পারে। মরজ উজ্জিদের কিউটিকুল বেশ পুরু থাকে বলে এদের তৃকীয় প্রবেদন অত্যন্ত কম হয়।

(৩) লেন্টিকুলার প্রবেদন : উজ্জিদের সেকেন্ডারি বৃক্ষির ফলে অনেক সময় কাণ্ডের কর্ক টিস্যুর ছানে ছানে ফেটে গিয়ে লেন্টিসেল (lenticel)-এর সৃষ্টি হয়। লেন্টিসেল দিয়ে কিছু কিছু পানি বাস্পাকারে বের হয়ে যায়। পানি যখন বাস্পাকারে লেন্টিসেল পথে বেরিয়ে যায়, তখন তাকে লেন্টিকুলার প্রবেদন বলে। খুব কম পরিমাণ পানিই এ পথে বের হয়। লেন্টিসেল পেরিডার্ম স্তরে অবস্থান করে এবং সব সময় খোলা থাকে। এজন্য দিবা-রাত্রি সমভাবে লেন্টিকুলার প্রবেদন চলতে থাকে। উজ্জিদ প্রবেদন প্রক্রিয়ায় যে পরিমাণ পানি হারায় তার প্রায় ১% লেন্টিকুলার প্রবেদনের মাধ্যমে হয়ে থাকে।

#### পত্ররঙ্গীয় প্রবেদন ও তৃকীয় প্রবেদন এর মধ্যে পার্থক্য

পত্ররঙ্গীয় প্রবেদন	তৃকীয় প্রবেদন
১. প্রবেদন পত্ররঙ্গের মাধ্যমে ঘটে।	১. প্রবেদন কিউটিকুলের মাধ্যমে ঘটে।
২. পত্ররঙ্গ বন্ধ থাকলে প্রবেদন বন্ধ থাকে।	২. পত্ররঙ্গ বন্ধ থাকলেও প্রবেদন চলতে পারে।
৩. প্রবেদনের হার অনেক বেশি, ৯৫-৯৮%।	৩. প্রবেদনের হার খুবই কম, ২-৫% বা আরো কম।
৪. এ ধরনের প্রবেদন রক্ষীকোষ কর্তৃক নিয়ন্ত্রিত।	৪. এতে রক্ষীকোষের কোনো ভূমিকা নেই।

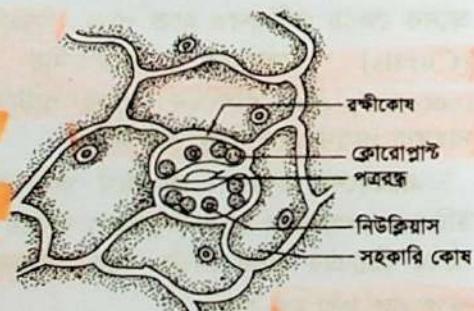
#### পত্ররঙ্গ বা স্টোম্যাটা (Stomata)

পাতার (এবং কচি কাণ্ডের) উর্ধ্ব ও নিম্নতলের বহিঃত্তকে (এপিডার্মিসে) অবস্থিত দুটি রক্ষীকোষ দিয়ে পরিবেষ্টিত সূক্ষ্ম রঙ্গকে পত্ররঙ্গ বা স্টোম্যাটা (stomata, একবচনে stoma) বলে। পত্ররঙ্গ শুধু বিশেষ আকৃতির ছিদ্র নয়, এটি একটি শুরুত্বপূর্ণ স্ফুরাঙ্গ। এ অঙ্গের মাধ্যমে প্রবেদন ও সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া পরিচালিত হয়। এর সাথে পত্ররঙ্গ খোলা বা বন্ধ হওয়ার বিষয়টিও নিয়ন্ত্রিত হয়। প্রজাতির উপর নির্ভর করে পাতার প্রতি এক বর্গ সেন্টিমিটারের এলাকায় ১,০০০ হতে ৬০,০০০ পত্ররঙ্গ থাকতে পারে।

পত্ররঙ্গের গঠন : পত্ররঙ্গ পাতার উপরিতলে অবস্থিত দুটি অর্ধচন্দ্রাকৃতির রক্ষীকোষ এবং এদের দিয়ে বেষ্টিত রঙ্গ নিয়ে গঠিত। পত্ররঙ্গের রক্ষীকোষে একটি সূল্পষ্ঠ নিউক্লিয়াস, বহু ক্লোরোপ্লাস্ট ও ঘন সাইটোপ্লাজম থাকে। রক্ষীকোষে প্রচুর ক্লোরোপ্লাস্ট থাকায় এটি খাদ্য তৈরি করে। রক্ষীকোষের চারদিকে অবস্থিত সাধারণ তৃকীয় কোষ হতে একটি বড় ভিত্তি আকার-আকৃতির তৃকীয় সহকারি কোষ থাকে। স্টোম্যাটার নিচে একটি বড় বায়ুকুঠুরী থাকে।

অধিকাংশ উজ্জিদের পত্ররঙ্গ সকাল ১০-১১টা এবং বিকাল ২-৩টায় পূর্ণ খোলা থাকে, অন্যান্য সময় আংশিক খোলা থাকে এবং রাত্রিতে বন্ধ থাকে।

পত্ররঙ্গের কাজ : উজ্জিদের প্রধান তিনটি শারীরবৃত্তীয় কাজে (খসন, সালোকসংশ্লেষণ ও প্রবেদন) পত্ররঙ্গ অংশগ্রহণ করে থাকে। যেমন—



চিত্র ৯.১০ : একটি পত্ররঙ্গের গঠন।

- (i) পত্ররক্তের মাধ্যমে সালোকসংশ্লেষণ ও শুসন চলাকালীন সময়ে উজ্জিদ অঙ্গ ও বায়ুমণ্ডলের মধ্যে গ্যাসীয় বিনিময় ঘটে ( $O_2$  ও  $CO_2$  ত্যাগ করে বা গ্রহণ করে)।
- (ii) উজ্জিদদেহ থেকে অতিরিক্ত পানি প্রবেদন প্রক্রিয়ায় বাস্পাকারে বের করে দেয়া পত্ররক্তের প্রধান কাজ। এতে পরিবেশ শীতল থাকে। অতি তাপের ক্ষতি থেকে উজ্জিদাঙ্গ রক্ষা পায়।
- (iii) পত্ররক্তের রক্ষীকোষগুলোতে ক্লোরোপ্লাস্ট থাকায় এরা সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।
- (iv) প্রবেদনের সময় পানি জলীয় বাস্পাকারে পত্ররক্তের মধ্য দিয়ে নির্গত হয়।
- (v). লুকায়িত পত্ররক্ত প্রবেদনের হার হ্রাস করে।

### স্ট্রোমা ও স্টোম্যাটার মধ্যে পার্থক্য

স্ট্রোমা	স্টোম্যাটা
১. ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যে সমস্ত ধাতবকে স্ট্রোমা বলে। স্ট্রোমা একটি কলয়েডধর্মী দ্রবণ।	১. উজ্জিদের পাতার তৃকে যে রক্ত বা ছিদ্র থাকে তাকে স্টোম্যাটা বলে।
২. স্ট্রোমাতে বিভিন্ন ধরনের প্রোটিন দানা, এনজাইম, স্টার্চদানা, লোহ, রাইবোসোম, প্রোটিন যৌগ, DNA তন্ত, RNA, ভিটামিন প্রভৃতি থাকে।	২. স্টোম্যাটা একটি স্টোম্যাটাল-রক্ত বা ছিদ্র ও দুটি রক্ষীকোষ নিয়ে গঠিত।
৩. সালোকসংশ্লেষণের অক্ষকার বিক্রিয়া স্ট্রোমায় ঘটে।	৩. অঙ্গটিস্যু ও পরিবেশের বায়ুর মধ্যে গ্যাসীয় বিনিময় স্টোম্যাটা দিয়ে চলে।

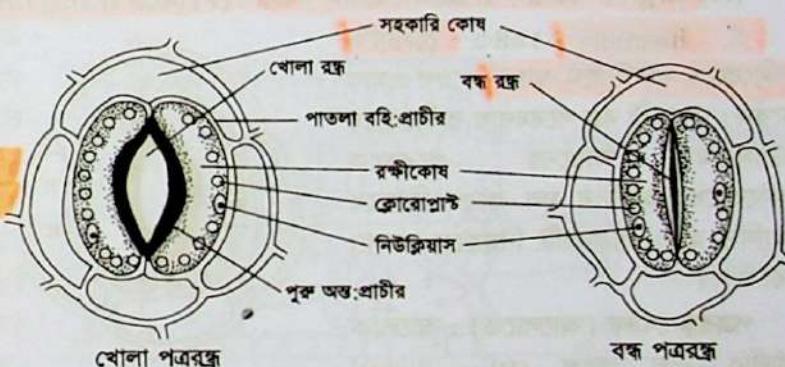
পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল (Mechanism of stomatal opening and closing) : পত্ররক্তের প্রবেদনের সবচেয়ে উপর্যোগী অঙ্গ হলো পত্ররক্ত। রক্ষীকোষদ্বয়ের পত্ররক্ত সংলগ্ন প্রাচীর বেশ পুরু কিন্তু বহির্ভাগের অর্থাৎ বহিত্তুক-কোষসংলগ্ন প্রাচীর বেশ পাতলা হয় এবং এদের মধ্যে একটি করে বড় নিউক্লিয়াস এবং কিছু ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে। পাতায় অবস্থিত পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার নিয়ন্ত্রক কোষই হলো রক্ষীকোষ। রক্ষীকোষদ্বয়ের স্ফীতি (turgid) অথবা শিথিল অবস্থা পত্ররক্তের খোলা বা বন্ধ হওয়া নিয়ন্ত্রণ করে। পারিপার্শ্বিক অবস্থার প্রেক্ষিতে বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কারণে রক্ষীকোষে অঙ্গঅভিস্ববণ ও বহিঅভিস্ববণ ঘটে থাকে।

রক্ষীকোষদ্বয় পার্শ্ব বহিত্তুক কোষ হতে অঙ্গঅভিস্ববণ প্রক্রিয়ায় পানি শোষণ করে স্ফীত হয় এবং এর ফলে রক্তসংলগ্ন পার্শ্বপ্রাচীর পুরু হওয়ায় এবং সেলুলোজ মাইক্রোফাইব্রিল আড়াআড়িভাবে বিন্যস্ত থাকায় উল্লেখিতে বেঁকে যায় এবং রক্ত খুলে যায়। অপরপক্ষে বহিঅভিস্ববণের ফলে রক্ষীকোষদ্বয় স্ফীতি হারিয়ে শিথিল হয়ে পড়ে, ফলে রক্ত বন্ধ হয়ে যায়। কাজেই দেখা যায়, পত্ররক্তের খোলা ও বন্ধ হওয়া রক্ষীকোষদ্বয়ের গঠন এবং তার স্ফীতি হওয়া ও শিথিল হওয়ার উপর নির্ভরশীল। রক্ষীকোষের স্ফীতি অবস্থা কতগুলো প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত হয়ে থাকে।

প্রভাবকগুলো- আলো, তাপমাত্রা ও জলীয় বাস্প। রক্ষীকোষের স্ফীতি ও শিথিল অবস্থা সৃষ্টির জন্য এগুলোর মধ্যে আলোই প্রধান প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। কিভাবে রক্ষীকোষের স্ফীতি ও শিথিল অবস্থার সৃষ্টি হয় সে ব্যাপারে মতপার্থক্য আছে।

(i) বিজ্ঞানী H. Von Mohl ১৮৫৬ খ্রিস্টাব্দে মত প্রকাশ করেন যে রক্ষীকোষের স্ফীতির পরিবর্তনই পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার প্রধান কারণ।

(ii) বিজ্ঞানী লয়েড (F. E. Loyd) ১৯০৮ খ্রিস্টাব্দে প্রস্তাব করেন যে রক্ষীকোষের স্ফীতির পরিবর্তন স্টার্চ-শ্যুগার পারিপারিক পরিবর্তনের উপর নির্ভরশীল। এই ধারণা পরবর্তীতে স্টার্চ-শ্যুগার মতবাদ হিসেবে প্রতিষ্ঠিত হয়। স্টার্চ



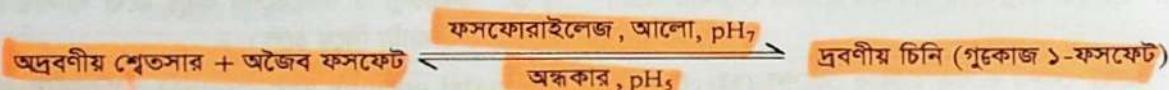
চিত্র ৯.১১ : পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল।

(শ্বেতসার) অদ্বণীয় হওয়ায় এর উপস্থিতিতে রক্ষীকোষদ্বয়ের অভিস্রবণিক চাপ কমে যায়, ফলে কোষস্থ পানির বহিঃঅভিস্রবণ ঘটে এবং কোষ শিথিল হয়ে পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়। অপরদিকে যখন অদ্বণীয় স্টার্চ (শ্বেতসার) হতে হাইড্রোলাইসিস প্রক্রিয়ায় দ্রবণীয় চিনি তৈরি হয় তখন অভিস্রবণিক চাপ বেড়ে যাওয়ার কারণে পার্শ্ববর্তী কোষ হতে অন্তঃঅভিস্রবণ ঘটে এবং রক্ষীকোষ দুটি স্ফীত হয়, ফলে পত্ররক্ত খুলে যায়।

কোনো কোনো প্রজাতির উঙ্গিদের রক্ষীকোষে কোনো ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে না, অথচ পত্ররক্ত পূর্ণমাত্রায় কর্মসূক্ষম থাকে। কাজেই পত্ররক্ত খোলাতে স্টার্চ-এর কোনো ভূমিকা থাকার কথা নয়।

(iii) বিজ্ঞানী স্যায়েরি (Sayre, 1926) এর মতে, শ্বেতসার ও চিনির আন্তঃপরিবর্তন কোষ রসের pH এর জন্য ঘটে থাকে। রাত্রিতে সূর্যালোক না থাকায় সালোকসংশ্লেষণ বন্ধ হয়ে যায় কিন্তু শুসন চলতে থাকে। শুসনের ফলে স্টেট  $\text{CO}_2$  রক্ষীকোষের কোষরসে দ্রবীভূত হয়ে কার্বনিক অ্যাসিড সৃষ্টি করে, তাই pH কমে যায় ( $\text{pH}_5$ )। কোষরসের pH কম হলে কোষস্থ দ্রবণীয় চিনি অদ্বণীয় শ্বেতসারে পরিণত হয়। রক্ষীকোষে অদ্বণীয় শ্বেতসার জমা হলে পানির বহিঃঅভিস্রবণ ঘটে, তাই রক্ষীকোষদ্বয় স্ফীতি হারিয়ে শিথিল হয়; ফলে পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়।

দিনের বেলায় সূর্যালোকের কারণে আবার সালোকসংশ্লেষণ শুরু হয়, ফলে কোষরসে দ্রবীভূত  $\text{CO}_2$  ব্যবহৃত হয়ে যায় এবং pH বেড়ে যায় ( $\text{pH}_7$ )। কোষরসস্থ pH বেড়ে গেলে অদ্বণীয় শ্বেতসারকে পুনরায় দ্রবণীয় চিনিতে পরিণত করে। ফলে অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ার পার্শ্ববর্তী কোষ হতে পানি রক্ষীকোষে প্রবেশ করে। তাই রক্ষীকোষ স্ফীত হয়, এবং পত্ররক্ত খুলে যায়।



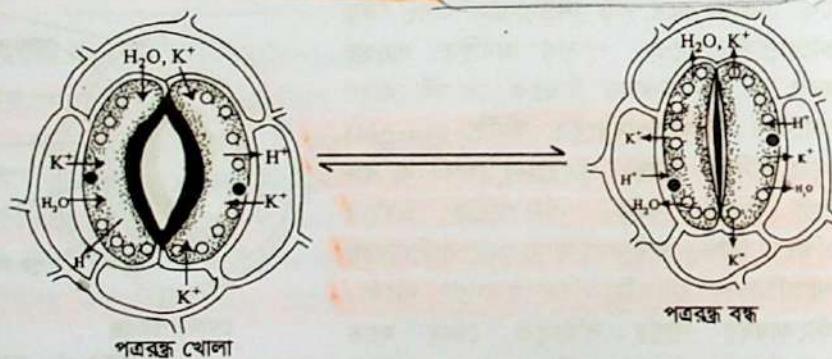
প্রোটন প্রবাহ মতবাদ প্রবর্তনের পূর্ব পর্যন্ত স্টার্চ-শৃঙ্গার মতবাদ প্রতিষ্ঠিত ছিল।

(iv) আধুনিক মতবাদ বা প্রোটন প্রবাহ মতবাদ (Proton transport theory) [পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার প্রক্রিয়া]:

S. Imamura ১৯৪৩ ইস্টার্নে

রক্ষীকোষে পটাসিয়াম আয়ন প্রবেশ প্রমাণ করেন। পরবর্তী বহু গবেষণায় রক্ষীকোষে পটাসিয়াম আয়নের প্রবেশকে রক্ষীকোষের স্ফীতির মূল কারণ হিসেবে প্রমাণিত হয়। প্রক্রিয়াটি নিম্নরূপে ব্যাখ্যা করা যায়।

পত্ররক্ত খোলা (আলোতে): আলোক বর্ণালীর নীল অংশ (Blue light) রক্ষীকোষের রিসেপ্টর (সেসর) গুলোকে উদ্বিগ্ন করে, যার ফলে সক্রিয়ভাবে



চিত্র ৯.১২: পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধে  $\text{K}^+$  প্রোটন প্রবাহ মতবাদ।

পটাসিয়াম আয়ন ( $\text{K}^+$ ) রক্ষীকোষে প্রবেশ করে।  $\text{K}^+$  প্রবেশের কারণে কোষস্থ দ্রবণে দ্রব্যের (solute) ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় (অর্থাৎ পানির পরিমাণ কমে যায়) এবং পার্শ্ববর্তী কোষ হতে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পানি রক্ষীকোষে প্রবেশ করে। রক্ষীকোষে পানি প্রবেশের ফলে রক্ষীকোষ স্ফীত হয় এবং পত্ররক্ত খুলে যায়।

- কোষে  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ কমে গেলে (সালোকসংশ্লেষণের ফলে এমন হয়) রক্ষীকোষে  $\text{K}^+$  প্রবেশ বৃদ্ধি পায়, ফলে পার্শ্ববর্তী কোষ থেকে পানি রক্ষীকোষে প্রবেশ করে এবং রক্ষীকোষ স্ফীত হয়ে পত্ররক্ত খুলে যায়।
- রক্ষীকোষ থেকে সক্রিয়ভাবে  $\text{H}^+$  বের হয়ে গেলেও পত্ররক্ত খুলে যায়।

পত্ররক্ত বন্ধ হওয়া (অঙ্ককারে): আলোর অভাবে বা অন্য কোনো কারণে রক্ষীকোষ থেকে  $\text{K}^+$  বের হয়ে যায়, সাথে সাথে পানিও বের হয়ে যায়। ফলে রক্ষীকোষ স্ফীতি হারিয়ে শিথিল হয়ে পড়ে এবং পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়।

- মেসোফিল কোষে পানির অভাব দেখা দিলে সেখানে আ্যুবসিসিক অ্যাসিড তৈরি হয়। যার ফলে রক্ষীকোষ থেকে  $K^+$  বের হয়ে যায়।  $K^+$  বের হয়ে গেলে পানি বের হয়ে যায়, ফলে রক্ষীকোষ স্ফীতি হারায় এবং পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়।
- উচ্চ তাপমাত্রায় ফটোসিনথেসিস কমে যায় এবং কোষীয় শ্বসন বেড়ে যায়। এর ফলে কোষে  $CO_2$  এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। পরিণামে পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়।  
কাজেই মনে করা হয় পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার জন্য একাধিক নিয়ামক কাজ করে।

অভিস্রবণিকভাবে কর্মক্ষম দ্রব (osmotically active solute), যার কারণে রক্ষীকোষে পানি প্রবেশ করে, তা বিভিন্ন উৎস থেকে আসে, যেমন—

- নীল আলোর কারণে  $K^+$  ও  $Cl^-$  প্রবেশ ও সেখানে তৈরি ম্যালেট (malate 2<sup>-</sup>)
- স্টার্চ হাইড্রোলাইসিস হয়ে সৃষ্টি সুকরোজ।
- ফটোসিনথেসিসের ফলে সৃষ্টি সুকরোজ।
- মেসোফিল কোষ থেকে অ্যাপোপ্লাস্টিক (Apoplastic) উপায়ে প্রবেশকৃত সুকরোজ।

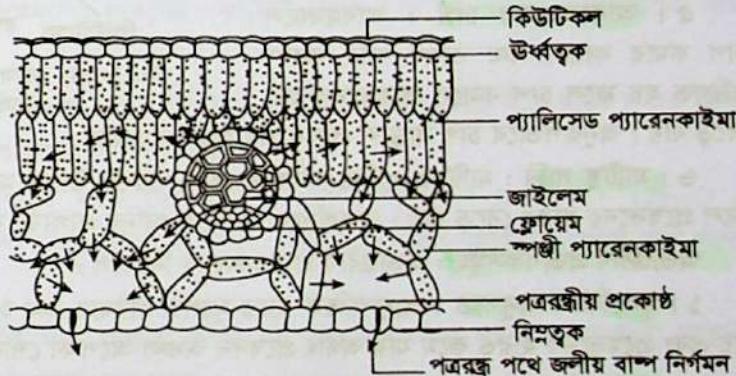
দেখা যায় সকালে পত্ররক্ত খোলার সূচনা করে  $K^+$ , এরপর কোষে ক্রমেই সুকরোজের পরিমাণ বাড়তে থাকে এবং এক সময় সুকরোজই প্রভাবশালী হয়ে উঠে। সন্ধ্যায় প্রথমে  $K^+$ , পরে সুকরোজ এবং শেষে পানি বের হয়ে যায় এবং পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়।

**পত্ররক্তীয় প্রবেদন প্রক্রিয়া :** পত্ররক্তগুলো প্রবেদনের অতি প্রয়োজনীয় অংশ। এগুলো দিনের বেলায় খোলা থাকে এবং রাতে বন্ধ থাকে। পত্ররক্তের মাধ্যমে যে প্রবেদন হয় তাকে পত্ররক্তীয় প্রবেদন বলে। একটি উজ্জিদে সংঘটিত প্রবেদনের শতকরা প্রায় ৯৫-৯৮ ভাগই পত্ররক্তীয় প্রক্রিয়ায় ঘটে থাকে। পত্ররক্ত খোলা থাকা অবস্থায় প্রবেদন কার্য সম্পন্ন হয়, পত্ররক্ত বন্ধ থাকা অবস্থায় প্রবেদন হয় না। মাটি থেকে শোষণকৃত পানি মূল থেকে কাও ও তার শাখা-প্রশাখা হয়ে পাতায় পৌছায় এবং পাতার শিরা-উপশিরার মাধ্যমে পাতাছু প্যালিসেড প্যারেনকাইমা ও স্পঞ্জী প্যারেনকাইমা কোষে পৌছায়। উক্ত পানি শোষণ করে পাতার প্যারেনকাইমা কোষগুলো সম্পৃক্ত (saturated) হয় এবং এই পানির অধিকাংশই পাতার অভ্যন্তর ও বহিঃ তাপ, চাপ ও অন্যান্য পারিপার্শ্বিক অবস্থায় বাস্পে পরিণত হয়। এই বাস্প তখন পাতার টিস্যুর আঙ্গুলকোষীয় ফাঁকে এবং পত্ররক্তসমূহের নিচে অবস্থিত পত্ররক্তীয় প্রকোষ্ঠে (গহ্বরে) জমা হয়। রক্ষীকোষের স্ফীতির কারণে পত্ররক্ত খুলে গেলে সঞ্চিত বাস্প এই রক্তপথে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় বের হয়ে বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে পড়ে। বাইরে বাতাসের অর্দ্ধতা কম থাকলে ব্যাপন প্রক্রিয়া দ্রুত হয়।

**প্রবেদনের প্রভাবকসমূহ :** প্রবেদনের প্রভাবকসমূহকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়; যথা : বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ এবং অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ।

**বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ :** বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ নিম্নরূপ :

- আলো : প্রথর সূর্যালোক ব্রাভাবিকভাবেই বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে এবং যার ফলে বায়ুর আপেক্ষিক অর্দ্ধতা হাস পায় এবং প্রবেদনের হার বেড়ে যায়। আলোকের উপস্থিতিতে পত্ররক্ত খোলা থাকে এবং আলোর অনুপস্থিতিতে পত্ররক্ত বন্ধ হয়ে যায়; আর পত্ররক্ত খোলা ও বন্ধ হওয়ার উপরই বেশির ভাগ প্রবেদন নির্ভরশীল। এ সমস্ত কারণেই প্রবেদনের হাস-বৃদ্ধিতে আলোর গুরুত্ব শীর্ষস্থানীয়। **ব্রুলাইট পত্ররক্ত খোলা ত্বরান্বিত করে।**



চিত্র ৯.১৩ : পত্ররক্তীয় প্রবেদন।

**২। তাপমাত্রা :** তাপের হ্যাস-বৃক্ষির ফলে প্রবেদন হারেরও হ্যাস-বৃক্ষি হয়ে থাকে। কারণ তাপ বাড়লে বায়ুমণ্ডলের জলীয়বাস্প ধারণ ক্ষমতা বেড়ে যায়, আপেক্ষিক আর্দ্রতা কমে যায়, ফলে বায়ু অধিক পরিমাণ জলীয়বাস্প শোষণ করতে পারে। অপরদিকে তাপ বাড়লে পানিও দ্রুত বাস্পে পরিণত হয় এবং প্রবেদনের হারকে ত্বরান্বিত করে। তাপমাত্রার হ্যাস-বৃক্ষির সাথে পত্ররক্তের আয়তনেরও হ্যাস-বৃক্ষি ঘটে থাকে। সুতরাং তাপ বিভিন্ন দিক হতে প্রবেদন প্রক্রিয়াকে প্রভাবিত করে থাকে।

**৩। আপেক্ষিক আর্দ্রতা :** আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হলে প্রবেদনের হার বেড়ে যায়। কারণ আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম হলে বায়ু অধিক পরিমাণ জলীয়বাস্প গ্রহণ করতে পারে। অপরদিকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা বেড়ে গেলে বায়ু কোষাভ্যন্তর হতে নির্গত জলীয়বাস্প ধারণ করার ক্ষমতা হারিয়ে ফেলে, ফলে প্রবেদনের হার হ্যাস পায়।

**৪। বায়ুপ্রবাহ :** উড়িদের প্রবেদন অঙ্গের আশপাশের বায়ু সাধারণত বেশি আর্দ্র থাকে। কারণ এ অঞ্চল কোষাভ্যন্তর হতে নির্গত জলীয়বাস্প সরাসরি গ্রহণ করে সম্পৃক্ত হয় এবং ক্রমান্বয়ে প্রবেদনের হারের হ্যাস ঘটে। প্রবাহিত বায়ু পাতার নিকট হতে অধিক আর্দ্র বায়ু প্রবাহিত করে নিয়ে যায়, ফলে ছানটি কম আর্দ্র বায়ু দ্বারা পরিপূর্ণ হয়। কম আর্দ্র বায়ু কোষাভ্যন্তর হতে নির্গত জলীয়বাস্প অধিকমাত্রায় গ্রহণ করে প্রবেদনের হারকে বাড়িয়ে দেয়।

**৫। আবহমণ্ডলের চাপ :** আবহমণ্ডলে চাপ কমার কারণে কম তাপে পানি বাস্পে পরিণত হয় ফলে চাপ কমলে প্রবেদনের হার বেড়ে যায়। অনুরূপভাবে চাপ বাড়লে প্রবেদনের হার কমে যায়।

**৬। মাটিতে পানি :** মাটিতে পানির পরিমাণ বেশি থাকলে উড়িদ মাটি হতে অধিকমাত্রায় পানি গ্রহণ করতে পারে। এর ফলে প্রবেদনের হারও বেড়ে যায়। অপরদিকে মাটিতে পানির প্রাপ্যতা কমে গেলে প্রবেদনের হারও ক্রমান্বয়ে কমে যায়।

#### অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ :

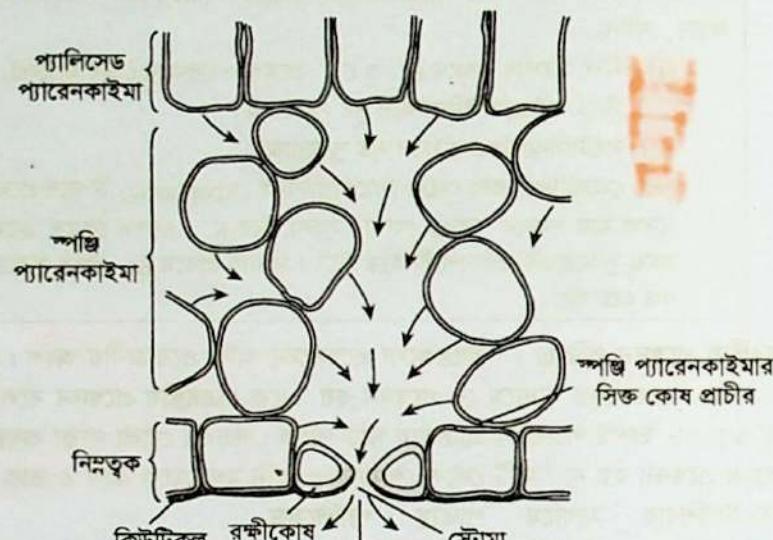
**১। মূল-বিটপ অনুপাত :** অনুপাতিক হারে মূলের পরিমাণ কম হলে উড়িদের জন্য মাটি হতে পানির প্রাপ্যতাও কমে যায় এবং প্রবেদনের হারও কমে যায় অর্থাৎ প্রবেদন অঞ্চল অপেক্ষা শোষণ অঞ্চল কম হলে প্রবেদনের হার হ্যাস পায়।

**২। পাতার আয়তন ও সংখ্যা :** পাতার আয়তন ও সংখ্যার তারতম্যে প্রবেদনের তারতম্য হয়। পাতার আয়তন ও সংখ্যা যত বেশি হবে প্রবেদনও তত বেশি হবে।

**৩। পাতার গঠন :** পাতার গঠনের উপর প্রবেদনের হার নির্ভরশীল। পাতায় পাতলা কিউটিকল, পাতলা কোষ প্রাচীর, অধিক স্পষ্টি চিস্য ও উন্মুক্ত পত্ররক্ত থাকলে প্রবেদন তুলনামূলকভাবে বেশি হয় কিন্তু পুরু কিউটিকল, অধিক প্যালিসেড প্যারেনকাইমা এবং পত্ররক্ত গর্ভস্থিত থাকলে প্রবেদনের হার কমে যায়। পাতার গায়ে পত্ররক্তের সংখ্যা, রক্তের পরিমাণ, রক্তীকোষের গঠন প্রভৃতি প্রবেদনের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে থাকে।

**৪। মেসোফিল টিস্যুতে পানির পরিমাণ :** পাতার মেসোফিল টিস্যুতে পানির পরিমাণ বেশি হলে প্রবেদন হার বাড়ে। পক্ষান্তরে, মেসোফিল টিস্যুতে পানির পরিমাণ কমলে প্রবেদন হার কম হয়।

**৫। জীবনীশক্তি (Vigour) :** প্রবেদনের হার উড়িদের জীবনীশক্তির উপরও নির্ভর করে। সুস্থ-সবল উড়িদে রোগান্ত দুর্বল উড়িদে অপেক্ষা প্রবেদন বেশি হয়।



চিত্ৰ ১৯.১৪ : কোষ প্রাচীর থেকে পানি ইভাপোৱেশন এবং স্টোমাৰ মধ্য দিয়ে জলীয় বাস্পের ব্যাপন।

**প্রবেদনের অপকারিতা ও উপকারিতা :** প্রবেদন উত্তিদের জন্য যেমন প্রয়োজনীয় তেমনি ক্ষতিকরও বটে। অবশ্য ক্ষতির তুলনায় উত্তিদ লাভবানই হয় বেশি। নিচে এদের বর্ণনা করা হলো :

**প্রবেদনের অপকারিতা বা নেতিবাচক প্রভাব :** মাটিতে পানির অভাব দেখা দিলেই প্রবেদন উত্তিদের জন্য ক্ষতিকর হয়ে দাঁড়ায়। মাটিতে পানির অভাবের জন্যই হোক বা অন্য কোনো কারণেই হোক উত্তিদ মাটি হতে যে পরিমাণ পানি শোষণ করে তার অধিক পরিমাণ পানি প্রবেদনে বের হয়ে গেলে তার অঙ্গচাপ কমে যায়; ফলে গাছটি নিষ্ঠেজ হয়ে পড়ে (উইলটিং)। কয়েকদিনের জন্য এ অবস্থা চলতে থাকলে গাছটি শুকিয়ে মারা যায়। প্রবেদনের কারণে উত্তিদের শোষিত পানির কিছুটা অপচয় হয়।

**প্রবেদনের উপকারিতা বা উত্তিদের জীবনে এর প্রয়োজনীয়তা বা গুরুত্ব**

প্রবেদন প্রক্রিয়া উত্তিদের জন্য বিশেষভাবে প্রয়োজন বা গুরুত্বপূর্ণ। এ প্রক্রিয়ার গুরুত্ব তথা প্রয়োজনীয়তার বিশেষ কারণগুলো নিচে দেয়া হলো :

**১। পানি শোষণ :** পাতায় প্রবেদনের ফলে বাহিকা নালীতে পানির যে টান পড়ে সেই টান মূলরোম কর্তৃক পানি শোষণে সাহায্য করে থাকে। তাই জীবন রক্ষাকারী পানি শোষণে প্রবেদনের ভূমিকা আছে।

**২। পানি ও খাদ্যরস উপরে উঠানো :** পাতা ও অন্যান্য অংশে পানি ও খাদ্যরস পৌছানো অপরিহার্য। প্রবেদনের ফলে বাহিকা নালীতে পানির যে টান পড়ে তা সরাসরি পানিকে জাইলেম ডেসেলের মাধ্যমে মূল হতে কাও হয়ে পাতা পর্যন্ত পৌছাতে সহায়তা করে। এ পানির সাথে মূল কর্তৃক শোষিত খনিজ পদার্থ তথা সামগ্রিকভাবে খাদ্যরস উপরে উঠিত হয়।

**৩। লবণ পরিশোষণ :** প্রবেদনের কারণে চারদিক থেকে লবণ উত্তিদমূলের কাছাকাছি আসে, তাই উত্তিদ সহজে লবণ পরিশোষণ করতে পারে।

**৪। পাতা ও অন্যান্য অংশে খনিজ লবণ পৌছানো :** মূল কর্তৃক মাটি হতে যে লবণ শোষিত হয় তা স্বাভাবিকভাবে উচু গাছের পাতা পর্যন্ত পৌছাতে কয়েক বছর লাগার কথা। পাতার প্রতিটি ক্লোরোফিল অণু তৈরি হতে Mg এর দরকার যা অতিদ্রুত মূল হতে পাতা পর্যন্ত পৌছে থাকে কেবল প্রবেদনের কারণেই। কাজেই প্রবেদন না হলে পাতার ক্লোরোফিল সৃষ্টি বন্ধ হয়ে যেতো, ফলে খাদ্য তৈরিই বন্ধ হয়ে যেতো।

**৫। সকল কোষে পানি সরবরাহ :** প্রতিটি জীবিত কোষেই প্রতিনিয়ত বিভিন্ন ক্রিয়া-বিক্রিয়া ঘটে থাকে। এর জন্য পানির প্রয়োজন। প্রবেদন প্রক্রিয়ার কারণে পানি সহজে সকল কোষে পৌছাতে পারে।

**৬। সালোকসংশ্লেষণ :** সালোকসংশ্লেষণের মাধ্যমে খাদ্য তৈরির জন্য পানির প্রয়োজন ( $6CO_2 + 12H_2O \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2$ )। প্রবেদন না হলে এ বিপুল পরিমাণ পানি পাওয়া যেতো না, ফলে সালোকসংশ্লেষণ তথা খাদ্য তৈরি করে যেতো, এমনকি বন্ধ হয়ে যেতো।

**৭। পাতায় উপযুক্ত তাপ নিয়ন্ত্রণ :** বিভিন্ন কাজের জন্য পাতায় একটি উপযুক্ত তাপমাত্রার দরকার। প্রবেদন গাছকে অত্যধিক গরম হওয়া থেকে রক্ষা করে এবং উপযুক্ত তাপমাত্রা রক্ষা করে।

**৮। কোষ বিভাজন :** কোষ বিভাজনের জন্য কোষের স্ফীতি অবস্থার প্রয়োজন। প্রবেদন পরোক্ষভাবে এ স্ফীতি অবস্থা এবং আরো পরোক্ষভাবে কোষ বিভাজনে সহায়তা করে।

**৯। দৈহিক বৃক্ষি :** কোষ বিভাজন, স্বাভাবিক স্ফীতি রক্ষা ইত্যাদির মাধ্যমে প্রবেদন গাছের দৈহিক বৃক্ষিতেও সাহায্য করে।

**১০। শক্তি নির্গমন :** পাতা সূর্য হতে প্রতি মিনিটে প্রচুর শক্তি শোষণ করে। এর মাত্র শতকরা একভাগ বিভিন্ন বিক্রিয়ার জন্য খরচ হয়, বাকি অধিকাংশ তাপশক্তি প্রবেদনের মাধ্যমে বের হয়ে যায়। নতুন গাছ অধিক তাপে মরে যেতো।

**১১। অভিস্রবণ প্রক্রিয়া :** প্রবেদনের ফলে কোষরসের ঘনত্ব বাড়ে, ফলে সহজে অভিস্রবণ প্রক্রিয়া ঘটে।

**১২। পাতায় ছত্রাক আক্রমণ রোধ :** প্রবেদনের ফলে পাতার পৃষ্ঠে কিছু পানিগ্রাহী লবণ জমা হয়, যা ছত্রাক আক্রমণ হতে পাতাকে রক্ষা করতে সাহায্য করে।

১৩। **খাদ্য পরিবহন** : প্রস্তেদনের ফলে উভিদ দেহের বিভিন্ন অংশে খাদ্য পরিবহন অব্যাহত থাকে।

১৪। **পুষ্প পরিস্ফুটন ও ফল সৃষ্টি** : প্রস্তেদনের ফলে কোষে পরম রসস্ফীতি রক্ষা পায় বলে পুষ্প প্রস্ফুটন ও ফল সৃষ্টি সম্ভব হয়।

১৫। **বৃষ্টিপাত** : প্রস্তেদনের ফলে পানি বাস্পাকারে বের হয়ে গিয়ে আকাশে ঘনীভূত হয়ে মেঘে পরিণত হয় এবং বৃষ্টিপাত ঘটায়। যে এলাকায় গাছপালা বেশি থাকে সে এলাকায় বৃষ্টিপাত বেশি হয়।

#### প্রস্তেদন ও বাস্পীভবনের মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	প্রস্তেদন	বাস্পীভবন
১. প্রক্রিয়া	এটি একটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া।	এটি একটি ভৌত প্রক্রিয়া।
২. চাপের উভিদ	এতে নানা ধরনের চাপের উভিদ ঘটে।	এতে কোনো ধরনের চাপের উভিদ ঘটে না।
৩. পাতা	এতে পাতার তলে (Surface) অর্দ্ধতা দেখা যায়।	এতে পাতার উপরিতলে শক্তা দেখা দেয়।
৪. বাস্প	এ প্রক্রিয়ায় উভিদ দেহের অতিরিক্ত পানি বাস্পে পরিণত হয় এবং স্টোম্যাটা, লেপিসেল ও কিউটিকল দিয়ে নির্গত হয়।	এ প্রক্রিয়ায় উন্মুক্ত ছান থেকে পানি সরাসরি বাস্পে পরিণত হয়।
৫. জীবিত কোষ	এ প্রক্রিয়া জীবিত কোষে সংঘটিত হয় এবং প্রোটোপ্লাজম দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।	কোনো জীবিত কোষ এ প্রক্রিয়ার সাথে জড়িত থাকে না। প্রোটোপ্লাজমের কোনো ভূমিকা নেই।

**ব্যবহারিক :** প্রত্রক্রের গঠন পর্যবেক্ষণ ও বিভিন্ন অংশ চিহ্নিতকরণ।

**পরীক্ষার উপকরণ :** একটি কচি যেকোনো বিষমপৃষ্ঠ পাতা, চিমটা, নিডল (সূচ), একটি স্লাইড, একটি ওয়াচ গ্লাস, একটি কভার স্লিপ, একটি তুলি, পরিমাণযন্ত পানি, গ্রিসারিন, ড্রপার, স্যাফ্রানিন ও অণুবীক্ষণযন্ত্র।

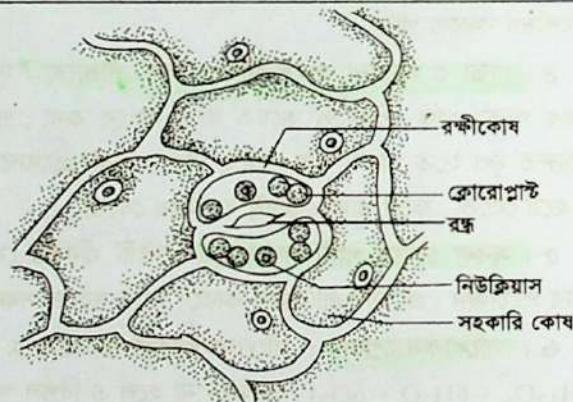
**কার্যপদ্ধতি :** পাতার পৃষ্ঠ থেকে (ওপর বা নিচ, নিচের পৃষ্ঠে প্রত্রক্র বেশি থাকে) নিডলের সাহায্যে আঁচড় দিয়ে চিমটা দিয়ে পাতার নিম্নতৃক পিল আকারে বিচ্ছিন্ন করে পানিপূর্ণ একটি ওয়াচ গ্লাসে রাখতে হবে। এরপর এতে সামান্য স্যাফ্রানিন দিয়ে কিছুক্ষণ রেখে সেখান থেকে তুলে স্লাইডে ড্রপারের সাহায্যে দুই ফেঁটা গ্রিসারিন দিয়ে তার ওপর পাতলা তুকটি রাখতে হবে এবং কভার স্লিপ দিয়ে ঢেকে দিতে হবে। নিডল দিয়ে কভার স্লিপের ওপর হালকা চাপ দিয়ে স্লাইডের অতিরিক্ত পানি বের করে দিয়ে ব্রিটিং পেপার দিয়ে চুষে নিতে হবে। এরপর মাউট করা স্লাইডটিকে অণুবীক্ষণযন্ত্রের নিচে রেখে প্রথমে কম ও পরে উচ্চশক্তিসম্পন্ন অবজেকটিভে পাতার প্রত্রক্র পর্যবেক্ষণ করতে হবে।

**পর্যবেক্ষণ :** অণুবীক্ষণযন্ত্রের নিচে পাতার পাতলা তুকটিতে দেখা যাবে বেশ কিছু প্রত্রক্র। প্রতিটি প্রত্রক্রের গঠনে দেখা যাবে কেন্দ্রে একটি রক্ত বা ছিদ্র। রক্তকে বেটন করে দুটি অর্ধচন্দ্রাকার রক্ষীকোষ বা গার্ড সেল। রক্ষীকোষ দুটির প্রাচীরের পুরুত্ব সবদিকে সমান নয়। রক্তের দিকে প্রাচীরের পুরুত্ব বেশি এবং বাইরের দিকে প্রাচীরের পুরুত্ব কম বা পাতলা। উচ্চশক্তিসম্পন্ন অবজেকটিভ দিয়ে দেখা যাবে যে, রক্ষীকোষের মধ্যে ঘন সাইটোপ্লাজম, একটি সুস্পষ্ট নিউক্লিয়াস এবং অনেকগুলো ক্রোরোপ্লাস্ট।

#### কয়েকটি প্রয়োজনীয় শব্দ

**অভিস্ববণ (Osmosis) :** একই দ্রাবকবিশিষ্ট দুটি ভিন্ন ঘনত্বের দ্রবণ একটি বৈষম্যাভেদে ঝিল্লি দ্বারা পাশাপাশি পৃথক থাকলে দ্রাবক পদার্থ যে প্রক্রিয়ায় তার বেশি ঘনত্বের এলাকা হতে কম ঘনত্বের এলাকার দিকে ব্যাপিত (diffusion) হয় সেই প্রক্রিয়াকে অভিস্ববণ বলে।

**ডিফিউশন (Diffusion) বা ব্যাপন :** একই তাপমাত্রা ও বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কোন পদার্থের অধিকতর ঘন ছান হতে কম ঘন ছানের দিকে বিস্তার লাভ প্রক্রিয়াকে ব্যাপন বলে।



চিত্র ১৫ : প্রত্রক্রের গঠন।

II-CH-1A

**অভিস্রবণিক চাপ (Osmotic Pressure)** : একই বায়ুমণ্ডলীয় চাপ ও তাপমাত্রা বিশিষ্ট একটি দ্রবণ ও তার বিশুদ্ধ দ্রবককে যদি একটি বৈষম্যভেদ্য খিল্লি দ্বারা পৃথক করে রাখা যায় তবে বৈষম্যভেদ্য খিল্লি ভেদ করে বিশুদ্ধ দ্রাবকের অধিক ঘন দ্রবণের প্রবেশকে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করতে অধিক ঘনত্বের দ্রবণের দিক হতে যে পরিমাণ চাপ প্রয়োগের প্রয়োজন হয় তাকে উক্ত দ্রবণের অভিস্রবণিক চাপ বলে।

**প্রাজমোলাইসিস (Plasmolysis) বা প্রোটোপ্লাজম সংকোচন** : বহুংঅভিস্রবণ (exosmosis) প্রক্রিয়ায় সজীব কোষছ পানি কোষের বাইরে বেরিয়ে আসার ফলে কোষের প্রোটোপ্লাজম সংকোচিত হওয়াকে প্রাজমোলাইসিস বলে।

**টারজিডিটি (Turgidity) বা রসক্ষীতি** : অন্তংঅভিস্রবণ (endosmosis) প্রক্রিয়ায় পানি গ্রহণের ফলে কোষের স্ফীত হওয়ার অবস্থাকে টারজিডিটি বলে।

**টারগার প্রেশার (Turgor Pressure) বা স্ফীতি চাপ** : টারজিডিটি তথা রসক্ষীতির জন্য প্রোটোপ্লাজম কর্তৃক কোষপ্রাচীরের উপর যে চাপের সৃষ্টি হয় তাকে টারগার প্রেশার বলে।

**ইমবাইবিশন (Imbibition)** : কলয়েড জাতীয় শুক বা আংশিক শুক পদার্থ কর্তৃক তরল পদার্থ শোষণের বিশেষ প্রক্রিয়াকে ইমবাইবিশন বলে। যেসব পদার্থ পানি শোষণ করে স্ফীত হয় সেসব পদার্থকে হাইড্রোফিলিক পদার্থ বলে। যেমন- আঠা, সেলুলোজ, স্টার্চ, প্রোটিন, জেলাটিন ইত্যাদি।

বাষ্পীভবন কী? (What is evaporation?) কোনো উন্মুক্ত স্থান থেকে পানি বাস্পে পরিণত হওয়াকে বাষ্পীভবন বলে। এ প্রক্রিয়ায় প্রোটোপ্লাজম জড়িত থাকে না। তাই এটি একটি ভৌত প্রক্রিয়া।

### ৯.৩ : ফটোসিনথেসিস (Photosynthesis) বা সালোকসংশ্রেষণ

গ্রিক *Photo* অর্থ light অর্থাৎ আলো এবং *synthesis* অর্থ সংশ্রেষণ অর্থাৎ একাধিক বস্তুর সমন্বয়ে কোনো যৌগ পদার্থ সৃষ্টি। কাজেই Photosynthesis এর শান্তিক অর্থ আলোর সাহায্যে কোনো যৌগ পদার্থ সৃষ্টি। Photosynthesis শব্দটি সর্বপ্রথম ব্যবহার করেন বিজ্ঞানী চার্লস বার্নেস (C.R. Barnes) ১৮৯৮ খ্রিস্টাব্দে।

DAT: 10-11

আলোক শক্তিকে শোষণ করে তা সঞ্চিত রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরের প্রক্রিয়াকে বলা হয় ফটোসিনথেসিস (The process of absorbing light energy and converting it into stored chemical energy is called photosynthesis.)

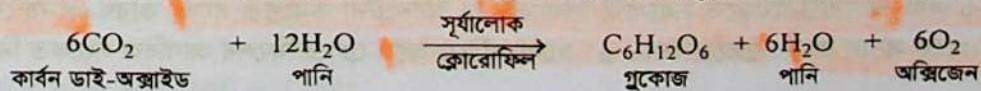
সজীব জীবকে তার কোষের কাঠামো গঠন করতে এবং জীবন ধারণের প্রক্রিয়াসমূহ পরিচালনা করতে জটিল কার্বন যৌগের (কার্বোহাইড্রেট, প্রোটিন, লিপিড) প্রয়োজন হয়। আলোক শক্তি রূপান্তরিত হয়ে এসব কার্বন যৌগে রাসায়নিক শক্তি হিসেবে জমা হয়। তাই বলা হয়, ফটোসিনথেসিস হলো আলোক শক্তি ব্যবহার করে কোষে কার্বন যৌগ তৈরি করা (Photosynthesis is the production of carbon compound in cells using light energy.)

MAT: 13-14

এ প্রক্রিয়ায় প্রয়োজন হয় (i)  $\text{CO}_2$ , (ii) পানি, (iii) সূর্যালোক এবং (iv) ক্লোরোফিল। উৎপন্ন হয় কার্বোহাইড্রেট (শর্করা) এবং  $\text{O}_2$ ।  $\text{CO}_2$  ব্যবহৃত হয় কার্বোহাইড্রেট তৈরির জন্য, পানি ব্যবহৃত হয় রাসায়নিক শক্তি হিসেবে NADPH + H<sup>+</sup> তৈরির জন্য। সূর্যালোকের প্রয়োজন হয় শক্তির জন্য এবং ক্লোরোফিলের প্রয়োজন হয় সূর্যশক্তিকে শোষণ করে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরের জন্য। এটি একটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া। বিষয়টিকে একটু বিস্তারিত করে এভাবে লেখা যায় :

যে শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় সজীব উজ্জিদ-কোষছ আলোক শক্তিকে ATP এবং NADPH + H<sup>+</sup> নামক রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং এ রাসায়নিক শক্তিকে (ATP ও NADPH + H<sup>+</sup>) কাজে লাগিয়ে  $\text{CO}_2$  বিজ্ঞারণের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট (শর্করা) জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত ও উপজাত হিসেবে  $\text{O}_2$  নির্গত করে, তাকে সালোকসংশ্রেষণ বা ফটোসিনথেসিস বলে।

নিচের রাসায়নিক বিক্রিয়াটির মাধ্যমে উচ্চতর উজ্জিদে সংঘটিত সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়াকে দেখানো যায়।

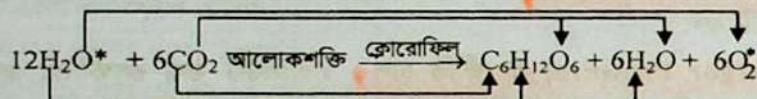


MAT : 10-11

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় ১ অণু হেঞ্জেজ শর্করা প্রস্তুত করতে ৬ অণু  $\text{CO}_2$  ও ১২ অণু  $\text{H}_2\text{O}$  প্রয়োজন পড়ে এবং ৫০-৬০ ফোটন কণা ব্যবহৃত হয়। এছাড়া সালোকসংশ্লেষণকে একটি জটিল জারণ-বিজ্ঞান প্রক্রিয়া বলা হয়। কারণ এখানে  $\text{H}_2\text{O}$  থেকে একদিকে যেমন  $\text{O}_2$  মুক্ত হয়, অন্যদিকে তেমনি  $\text{CO}_2$  এর সাথে হাইড্রোজেন সংযুক্ত হয়।

উপরের বিক্রিয়াটির প্রতি লক্ষ্য করলে যে কারো মনে হতে পারে যে এই বিক্রিয়ায় বামদিকে ১২টি পানির ( $12\text{H}_2\text{O}$ ) ছলে ৬টি পানি দেখিয়ে বিক্রিয়ার ডানদিকে ৬টি পানি না দেখালেই হতো; অর্থাৎ বিক্রিয়াটিকে  $6\text{H}_2\text{O} + 6\text{CO}_2 + \text{আলোকশকি} \xrightarrow{\text{ক্রোরফিল}} \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$  এমন লিখলেই হতো এবং বিক্রিয়াটি আরও সহজ হতো।

এবার নিচের বিক্রিয়াটিতে C, H ও O এর পরিণতি লক্ষ্য করুন :



এই বিক্রিয়ার মৌলিক বর্টন থেকে দেখা যায় বামদিকের পানির ১২ পরমাণু অক্সিজেন সম্পর্কেই মুক্ত অক্সিজেন হিসেবে বিক্রিয়া শেষে উৎপন্ন মুক্ত হিসেবে বের হয়ে যায়। এর কোনোটাই ডানদিকে উৎপাদিত পানির অংশ হয় না। অর্থাৎ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী পানি আর বিক্রিয়া শেষে উৎপাদিত পানি এক নয়। সালোকসংশ্লেষণে উৎপাদিত পানি এই প্রক্রিয়ার উপজাত পদার্থ। কাজেই বিক্রিয়ায় ১২ অণু পানির অংশগ্রহণই সঠিক।

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটি বোঝতে হলে নিম্নলিখিত বিষয়গুলো সম্বন্ধে জানতে হবে।

**সালোকসংশ্লেষণ অঙ্গ :** সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটি শুরু থেকে শেষ পর্যন্ত ক্রোরোপ্লাস্ট নামক সাইটোপ্লাজমিক অঙ্গাগুতেই ঘটে থাকে। ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে সবুজ শৈবাল, ব্রায়োফাইটস, টেরিডোফাইটস, জিমনোস্পার্ম এবং অ্যানজিওস্পার্ম উভিদে। সায়ানোব্যাকটেরিয়াতে ক্রোরোপ্লাস্ট নেই, তবে থাইলাকয়েডের গায়ে ফটোসিনথেটিক পিগমেন্ট থাকে। অন্যান্য কিছু শৈবাল (লোহিত শৈবাল, বাদামি শৈবাল ইত্যাদি) পিগমেন্টসমূহ ক্রোম্যাটোফোর (chromatophore) নামক অঙ্গাগুতে থাকে।

**ক্রোরোপ্লাস্টের অবস্থান :** উভিদের যে অঙ্গে ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে সে অঙ্গ সবুজ হয়, তাই অন্যভাবে বলা যায় উভিদের সবুজ অংশে ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে। সবুজ শৈবাল, *Riccia, Marchantia*-র মতো থ্যালয়েড ব্রায়োফাইটস-এর প্রায় সমস্ত দেহেই ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে। তবে উচ্চশ্রেণির উভিদের কচি কাও ও পাতায় ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে। সবচেয়ে বেশি ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে পাতায়, তাই সামগ্রিক বিবেচনায় সবুজ পাতাকেই ফটোসিনথেসিস-এর প্রধান অঙ্গ হিসেবে চিহ্নিত করা হয়।

**পাতার মেসোফিল টিস্যুতেই ক্রোরোপ্লাস্ট বিন্যস্ত থাকে।** পাতার নিচের তৃকে অনেক স্টোম্যাটা থাকে। স্টোম্যাটার মাধ্যমে রাতাস থেকে  $\text{CO}_2$  গৃহীত হয় এবং ভেতর থেকে বাতাসে  $\text{O}_2$  নির্গত হয়। ফলে ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়া সহজ হয়।

MAT 10-11

**ফটোসিনথেসিস অঙ্গ :** উভিদের সবুজ অঙ্গ, বিশেষত সবুজ পাতা।

**ফটোসিনথেসিস অঙ্গাণু :** ক্রোরোপ্লাস্ট।

**ফটোসিনথেসিস-এর ছান :** ক্রোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড।

**রঞ্জক পদার্থ :** যেসব রঞ্জক পদার্থ সালোকসংশ্লেষণে জড়িত সেগুলো হচ্ছে-ক্রোরফিল, ক্যারোটিনয়েডস ও ফাইকোবিলিনস।

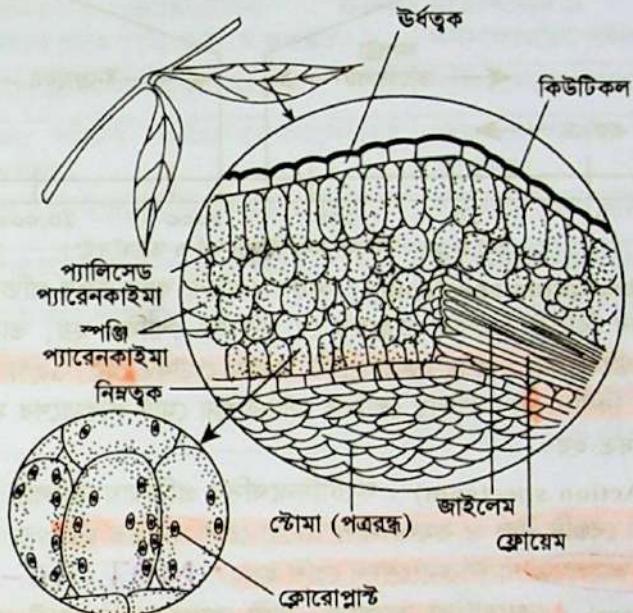
**ক্রোরফিল (Chlorophyll):** ক্রোরফিল হলো জীবকোষের ক্রোরোপ্লাস্টে অবস্থিত সবুজ বর্ণের রঞ্জক পদার্থ যা উভিদের খাদ্য তৈরিতে সাহায্য করে। ক্রোরফিল পিগমেন্ট প্রাস্তিত তথা ক্রোরোপ্লাস্টে থাকে, আর ক্রোরোপ্লাস্ট পাতার মেসোফিল টিস্যুতে অধিক পরিমাণে থাকে। সাধারণত উচ্চ শ্রেণির উভিদের ক্রোরোপ্লাস্টে ক্রোরফিল ‘a’ (chl ‘a’), ক্রোরফিল ‘b’ (chl ‘b’), জ্যান্থোফিল ও ক্যারোটিন পিগমেন্টসমূহ থাকে। chl ‘a’ হলুদ-সবুজ বর্ণের, chl ‘b’ নীলাভ-সবুজ বর্ণের, জ্যান্থোফিল হলুদ এবং ক্যারোটিন কমলা বর্ণের। এগুলো ছাড়াও ব্যাকটেরিয়া এবং শৈবালে ভিন্ন ধরনের ক্রোরফিল থাকে।

ক্রোরফিল-*b* এবং ক্যারোটিনয়েডকে সহযোগী পিগমেন্ট বা অ্যানটোনা কমপ্লেক্স বলে, কারণ এদের শোষিত আলোক শক্তি ক্রোরফিল-*a* কে প্রদান করে। ক্রোরফিল-‘*a*’ হলো সক্রিয় অণু। ক্রোরফিলের আণবিক সংকেত নিম্নরূপ :

**ক্রোরোফিল 'a'**:  $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$ ; **ক্রোরোফিল 'b'**:  $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

**ক্যারোটিনয়েডস (Carotinoids)**: ক্রোরোপ্লাস্টে সবুজ ক্রোরোফিল ছাড়াও হলুদ, কমলা, বাদামি প্রভৃতি বর্ণের রঞ্জক থাকে। এগুলোকে একসাথে **ক্যারোটিনয়েডস** বলে। এদের মধ্যে **ক্যারোটিন (carotene)** কমলা বর্ণের এবং **জ্যাঞ্চফিল (xanthophyll) হলুদ বর্ণের**। এদের আণবিক সংকেত-ক্যারোটিন:  $C_{40}H_{56}O$ ; জ্যাঞ্চফিল:  $C_{40}H_{56}O_2$ ।

DAT: 18-19



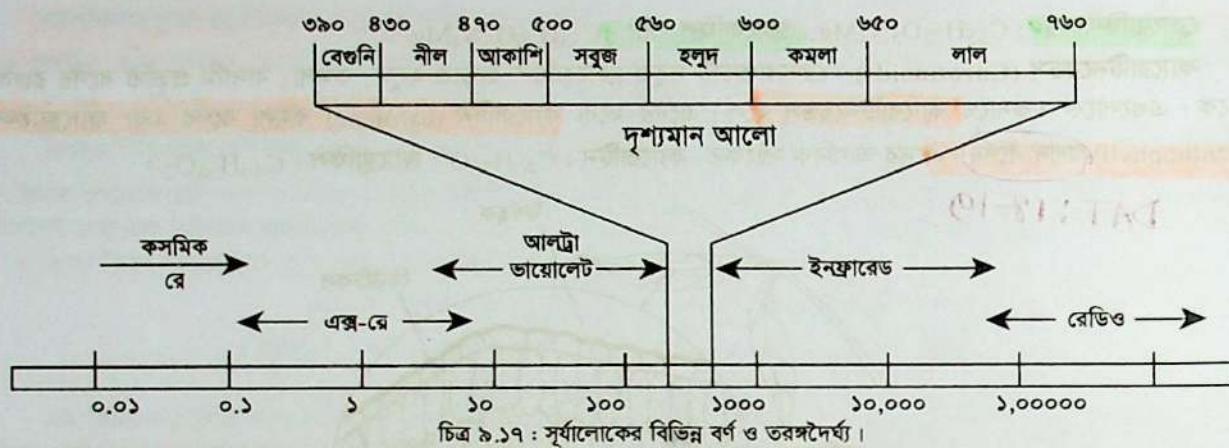
চিত্র ১.১৬ : পাতার প্রস্তুত্বে সালোকসংশ্লেষণ অঙ্গ দেখানো হয়েছে।

**ফাইকোবিলিনস (Phycobilins)**: নীল রঙের রঞ্জক পদার্থের নাম ফাইকোসায়ানিন এবং লাল রঙের রঞ্জক পদার্থের নাম ফাইকোইরেট্রিন। এ দুটি রঞ্জক পদার্থকে একত্রে ফাইকোবিলিনস বলে। সায়ানোব্যাকটেরিয়া ও লোহিত শৈবালে এদের পাওয়া যায়। এদের আণবিক সংকেত-ফাইকোসায়ানিন:  $C_{34}H_{44}O_8N_4$ ; ফাইকোইরেট্রিন:  $C_{34}H_{46}O_8N_4$ । সালোক-সংশ্লেষণের জন্য মূল পিগমেন্ট হলো ক্রোরোফিল-*a*। ক্যারোটিনয়েডস এবং ফাইকোবিলিনস হলো আনুষঙ্গিক পিগমেন্ট বা অ্যানটেনা পিগমেন্ট কারণ এরা আলোকশক্তি শোষণ করে ক্রোরোফিল-*a* কে প্রদান করে।

#### আলোর পরিচয়

আলো এক ধরনের তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণ। এর উৎস হলো সূর্য। সূর্য একটি বিরাট উত্তপ্ত পরমাণু চূল্পি। এখানে অনবরত হাইড্রোজেন পরমাণু হিলিয়াম পরমাণুতে পরিবর্তিত হচ্ছে। সূর্যের উত্তপ্ত কেন্দ্রের হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে হিলিয়াম পরমাণুতে রূপান্তরের সময় যে শক্তি বিকিরিত হয়, তাকে ফোটন কণা বলে। এক্স-রে ও গামা রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনেক কম এবং ইনফ্রারেড ও রেডিও-রে-এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য অনেক বেশি। আলোর তরঙ্গের শুধুমাত্র দৃশ্যমান আলো আমরা দেখতে পাই যা সাদা আলো নামে পরিচিত।

**আলোর বর্ণালি (Light spectrum)**: দৃশ্যমান আলো অনেকগুলো তরঙ্গের (spectra) সমষ্টি মাত্র। দৃশ্যমান আলোর প্রকৃতি বোঝানোর জন্য যে এককে প্রকাশ করা হয় তাকে ন্যানোমিটার (nanometer = nm;  $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ) বলে। দৃশ্যমান আলো একটি প্রিজম-এর ভেতর দিয়ে প্রবেশ করানো হলে অন্তর্মুখ যে তড়িৎরঞ্চ রয়েছে তা পরম্পর থেকে পৃথক হয়ে পড়ে। এর মধ্যে মোট সাত ধরনের তড়িৎরঞ্চ রয়েছে যার সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য হলো  $390\text{ nm}$  এবং সর্বোচ্চ দৈর্ঘ্য  $760\text{ nm}$ । এসব তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রতিফলিত হয়ে আমাদের চোখে পৌছালে প্রত্যেকটি ভিন্ন ভিন্ন রঙে ধরা পড়ে। এগুলো হলো—**বেগুনি (violet)**, **নীল (indigo)**, **নীলাভ-সবুজ বা আসমানী (blue)**, **সবুজ (green)**, **হলুদ (yellow)**, **কমলা (orange)** এবং **লাল (red)**। এগুলোর আদ্যাক্ষর নিয়ে সংক্ষিপ্ত নাম বেনিআসহক্লা বা VIBGYOR হয়েছে। একে আলোর বর্ণালি বলে। নিচে বর্ণালির নাম ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য উল্লেখ করা হলো।



আলোর শোষণ বর্ণালি (Absorption spectrum) : আলো কোনো বস্তুর উপর পতিত হলে তার কিছু অংশ শোষিত হয়। বস্তুর উপর পতিত আলোক তরঙ্গের যে পরিমাণ শোষিত হয়, তাকে শোষণ বর্ণালি (absorption spectrum) বলে। আপত্তি সূর্যালোকের ৮৩% ক্রোরোপ্লাস্ট কর্তৃক শোষিত হয়, ১২% বায়ুমণ্ডলে প্রতিফলিত হয় এবং বাকি ৫% ভূগর্ভে প্রতিসরিত বা বিলীন হয়। পাতায় শোষিত সৌররশ্যার মোট পরিমাণের মাত্র ০.৫-৩.৫% ক্রোরোফিল ও অন্যান্য রঞ্জক পদার্থ কর্তৃক শোষিত হয়।

আলোর কার্যকর বর্ণালি (Action spectrum) : ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ায় আলোর কার্যক্ষমতাকে বলা হয় কার্যকর বর্ণালি। সালোকসংশ্লেষণের সময় বেগুনি-নীল ও কমলা-লাল আলো বেশি ব্যবহৃত হয় এবং বাকি আলো অত্যন্ত কম ব্যবহৃত হয়। **একক আলো হিসেবে আলোকসংশ্লেষণ বেশি হয়। MAT: 10-11**

ফটোসিস্টেম (Photosystem) : ক্রোরোফিল অণুসমূহ, সাথী অ্যান্টেনা পিগমেন্ট অণুসমূহ এবং এর সাথে সংশ্লিষ্ট ইলেক্ট্রন গ্রহীতা একসাথে একটি ইউনিট হিসেবে অবস্থান করে ও কাজ করে। এই ইউনিটকে ফটোসিস্টেম বলে। ক্রোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে অবস্থিত আলোক শোষকারী কমপ্লেক্সকেই (Light harvesting Complex) ফটোসিস্টেম বলা হয়। প্রতিটি ফটোসিস্টেমে (i) একটি বিক্রিয়া কেন্দ্র (reaction centre), কয়েক শত অ্যান্টেনা পিগমেন্ট (যারা আলোকশক্তি শোষণ করে বিক্রিয়া কেন্দ্রে ক্রোরোফিল-এ কে প্রদান করে) এবং (iii) একটি প্রাথমিক ইলেক্ট্রন গ্রহীতা থাকে।

থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে কিছুটা দূরত্ব বজায় রেখে পাশাপাশি দুই প্রকার ফটোসিস্টেম থাকে; যথা— (i) ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) এবং ফটোসিস্টেম-২ (PS-II). PS-I আগে আবিস্থৃত হয়েছে এবং PS-II পরে আবিস্থৃত হয়েছে। আবিস্থারের ধারাবাহিকতা অনুসারেই একাপ নামকরণ করা হয়েছে।

**PS-I (ফটোসিস্টেম-১)** এর বিক্রিয়া কেন্দ্রের ক্রোরোফিল-a অণুটি ৭০০ nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক অত্যন্ত প্রবলভাবে শোষণ করে, তাই একে বলা হয় P700। **MAT: 10-11**

**PS-II (ফটোসিস্টেম-২)** এর বিক্রিয়া কেন্দ্রের ক্রোরোফিল-a অণুটি ৬৮০ nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক অত্যন্ত প্রবলভাবে শোষণ করে, তাই একে বলা হয় P680।

প্রতিটি ফটোসিস্টেমের তিনটি অংশ থাকে; যথা-১। আলোক শোষণ অংশ (light harvesting part), ২। বিক্রিয়া কেন্দ্র এবং (reaction centre) ৩। ইলেক্ট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (ETC)।

P700 এবং P680 অন্যান্য ক্রোরোফিল অণুর সাথে গঠনগতভাবে একই রকম। ফটোসিস্টেমে বিদ্যমান প্রোটিনের সাথে বিশেষ ইন্টারঅ্যাকশনের কারণে সূর্যশক্তি শোষণে এদের বিশেষ প্যাটার্ন রয়েছে। এদিক থেকে এরা পৃথক ধরনের।

**ফটোসিনথেটিক ইউনিট (Photosynthetic Unit)** : ক্রোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে অবস্থিত ফটোসিস্টেমই ফটোসিনথেটিক ইউনিট হিসেবে কাজ করে। এতে আলোর ফোটন শোষণ করার জন্য বিভিন্ন রঞ্জক অণু (৩০০-৪০০ অণু), সক্রিয় অণু ক্রোরোফিল-a; এক গুচ্ছ বিশেষ ধরনের প্রোটিন, ইলেক্ট্রন গ্রহকারে পাশাপাশি একটি কার্যকরী ইউনিট হিসেবে অবস্থান করে। এক সময় এই ইউনিটকে কোয়ান্টোসোম বলা হতো। কোয়ান্টাম (L. quantus: how great) থেকে কোয়ান্টোসোম এসেছে যার অর্থ শক্তির অবিভাজ্য ইউনিট।

**ফটোঅ্যাকটিভেশন (Photoactivation) :** পিগমেন্ট অণুর একটি ইলেক্ট্রন আলোক শক্তি শোষণ করে শক্তিকৃত (excited) হওয়াকে বলা হয় ফটোঅ্যাকটিভেশন।

### ফটোসিস্টেম-I এবং ফটোসিস্টেম-II এর মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	ফটোসিস্টেম-I	ফটোসিস্টেম-II
১। অবস্থান	ফটোসিস্টেম-I ক্রোরোপ্লাস্টের গ্রানার থাইলাকয়েডের পর্দার বাইরের দিকে অবস্থিত।	ফটোসিস্টেম-II ক্রোরোপ্লাস্টের গ্রানার থাইলাকয়েডের পর্দার ভেতরের দিকে অবস্থিত।
২। ক্রোরোফিল	বিক্রিয়াকেন্দ্রে ক্রোরোফিল a-700 থাকে।	বিক্রিয়াকেন্দ্রে ক্রোরোফিল a-680 থাকে।
৩। সম্পর্ক	চক্রীয় এবং অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের সাথে সম্পর্কযুক্ত।	কেবলমাত্র অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের সাথে সম্পর্কযুক্ত।
৪। পরিমাণ	অপেক্ষাকৃত বেশি পরিমাণে ক্রোরোফিল a থাকে।	অপেক্ষাকৃত কম পরিমাণে ক্রোরোফিল a থাকে।
৫। NADP	NADP বিজারণে ইলেক্ট্রন প্রদান করে।	NADP বিজারণে প্রোটন প্রদান করে।
৬। ঘাটতি ইলেক্ট্রন	PS-II থেকে এসে পূরণ হয়।	পানি থেকে এসে পূরণ হয়।
৭। ফটোলাইসিস	এটি ফটোলাইসিস-এর সাথে সংযুক্ত নয়।	এতে সংযুক্ত থাকে পানি বিশ্লেষণকারী এনজাইম এবং পানি বিশ্লেষিত হয়ে ইলেক্ট্রন, প্রোটন ও অক্সিজেন তৈরি হয়।

### বিক্রিয়া কেন্দ্র (Reaction Centre)

ফটোসিস্টেমের একটি বিক্রিয়া কেন্দ্র থাকে। বিক্রিয়া কেন্দ্রে অল্লসংখ্যক প্রোটিন থাকে। প্রতিটি প্রোটিন একদিকে একজোড়া বিশেষ ধরনের ক্রোরোফিল-a এর সাথে এবং অপরদিকে একটি প্রাথমিক ইলেক্ট্রনহাতীতার সাথে সংযুক্ত থাকে। প্রাথমিক ইলেক্ট্রনহাতীতা থেকে ইলেক্ট্রনটি একটি ইলেক্ট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (ETC)-এর মাধ্যমে অগ্রসরামান হয়। বিক্রিয়া কেন্দ্রের বিশেষ ক্রোরোফিল একটি ইলেক্ট্রন প্রাথমিক ইলেক্ট্রনহাতীতাকে প্রদান করলেই শোষিত আলোক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হতে পারে। **বিক্রিয়া কেন্দ্র থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনের বাইলেয়ারে অবস্থিত।**

এটমের নিম্নশক্তি বলয় ও উচ্চশক্তি বলয়ের মাঝে শক্তির যে পার্থক্য সৃষ্টি হয় তা অবশ্যই শোষিত আলোক শক্তির সমান হতে হবে। এই শক্তি সমান না হলে আলোর ফোটন শোষিত হবে না।

### পানির সালোকবিভাজন (Photolysis of water)

ফটোসিস্টেম-II (PS II) তে পানি অণুর বিভাজন ঘটে যার ফলে ইলেক্ট্রন ( $e^-$ ), প্রোটন ( $H^+$ ) এবং অক্সিজেন গ্যাস নির্গত হয়। PS II হতে ইলেক্ট্রন বের হয়ে প্রাথমিক ইলেক্ট্রনহাতীতায় চলে গেলে P680 অক্সিডাইজড হয় এবং প্রচণ্ডভাবে ইলেক্ট্রোনেগেচিভ হয়। এর ফলে  $P680^+$  শক্তি প্রয়োগ করে পানি অণু ভেঙ্গে ইলেক্ট্রন বের করে দিতে পারে। **বায়োলজিতে সবচেয়ে শক্তিশালী অক্সিডেন্ট হলো  $P680^+$** । একটি এনজাইম সাব ইউনিট (water splitting enzyme) পানি ভাঙ্গনে সহায়তা করে। এছাড়া  $Mn^{++}$  এবং  $Cl^-$  আয়নও এতে সহায়তা করে। এটি থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে প্রকোষ্ঠের দিকে থাকে। এক অণু অক্সিজেন ত্যাগ করতে হলে দুই অণু পানি বিশ্লেষিত হতে হয়, এতে চারটি ইলেক্ট্রন সৃষ্টি হয়।



চিত্র ৯.১৮ : একটি বিক্রিয়া কেন্দ্র : তীব্র চিহ্নের মাধ্যমে শক্তি জ্ঞানাত্মক ও ইলেক্ট্রন জ্ঞানাত্মক দেখানো হয়েছে।

PS II হতে একটি ইলেক্ট্রন ETC দিয়ে প্রবাহিত হয়ে NADP<sup>+</sup> পর্যন্ত পৌছাতে আলোর ২টি ফোটনের প্রয়োজন পড়ে। একটি ফোটন শোষণ করে PS II এবং একটি ফোটন শোষণ করে PS I। এটি শুরু হয় পানির অক্সিডেশন ও অক্সিজেন তৈরির মাধ্যমে। প্রতিটি NADPH + H<sup>+</sup> তৈরির জন্য ২টি ইলেক্ট্রনের প্রয়োজন হয়।

[শসনে NADH + H<sup>+</sup> থেকে e<sup>-</sup> ব্যতৎকৃতভাবে O<sub>2</sub> এ মিলিত হয়ে পানি তৈরি করে। আর ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়াতে শক্তি খরচ করে পানি থেকে ইলেক্ট্রন NADP<sup>+</sup> তে যায়। শসনে উচ্চ শক্তির NADH + H<sup>+</sup> থেকে অল্প শক্তির পানি তৈরি হয়। আর ফটোসিনথেসিস-এ অল্প শক্তির পানি হতে উচ্চ শক্তির NADPH + H<sup>+</sup>, তৈরি হয়।]

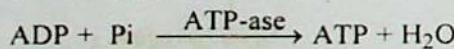
অক্সিজেন (O<sub>2</sub>) এবং H<sup>+</sup> উপজাত (by product) হিসেবে উৎপন্ন হয়। অক্সিজেন বর্জ্যবন্ধ তাই পরিবেশে ত্যাজ্য হয়। H<sup>+</sup> প্রোটন গ্র্যাডিয়েন্ট (Proton gradient) তৈরি করে।

**পানির বিভাজন কেবলমাত্র আলোর উপরিতে ঘটে থাকে তাই এর নাম দেয়া হয়েছে ফটোলাইসিস (Photolysis)।**

ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়াটির বিভাগিত ঘটনা বিজ্ঞানিগণ উন্মোচন করেছেন। ফটোসিস্টেম-II পানির অণু ভেঙ্গে অক্সিজেন থেকে হাইড্রোজেন এবং ইলেক্ট্রন পৃথক করে তা দিয়ে কার্বোহাইড্রেট উৎপন্ন করে। বিজ্ঞানিগণ এখন চাচ্ছেন এই প্রক্রিয়ায় সৃষ্টি ইলেক্ট্রনসিটি বা জ্বালানি হবে 'অ্যান এনার্জি' যা পরিবেশের জন্য ক্ষতিকর হবে না। বিজ্ঞানিগণ এতে কিছুটা সফলও হয়েছেন।

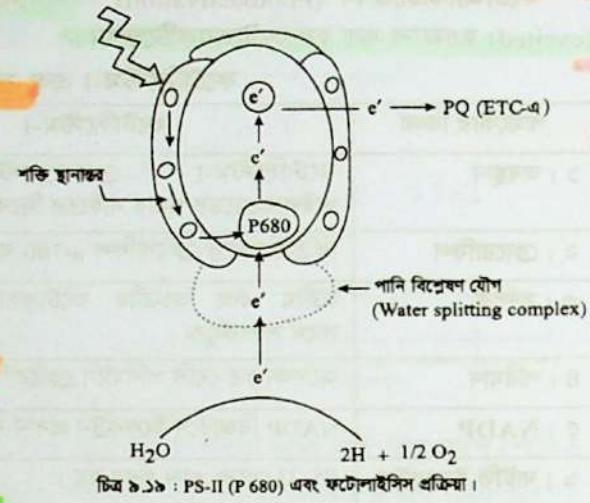
২০১১ সালে Massachusetts Institute of Technology-র বিজ্ঞানিগণ একটি কৃত্রিম পাতা উভাবনের ঘোষণা দেন। এই কৃত্রিম পাতাটি পানিতে রেখে সূর্যালোকে ছাপন করার ফলে এটি পানির অণু ভেঙ্গে H<sub>2</sub> ও O<sub>2</sub> গ্যাস সৃষ্টির মাধ্যমে ইলেক্ট্রনসিটি উৎপন্ন করে।

**ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> তৈরি :** (i) ATP (Adenosine Triphosphate) একটি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন রাসায়নিক পদার্থ। জীবকোষে রাসায়নিক শক্তির উৎস হিসেবে ATP কাজ করে। ADP (Adenosine Diphosphate) এর সাথে একটি অজৈব (Pi) ফসফেট যুক্ত হয়ে একটি ATP তৈরি হয়।

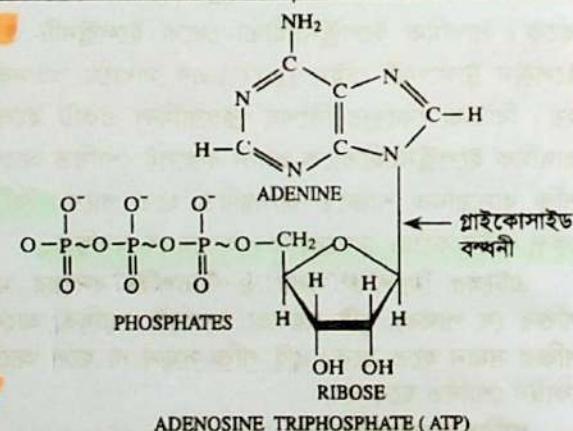


আলোক শোষণের ফলে পর্যাপ্ত ইলেক্ট্রন-এনার্জির সহায়তায় ATP-ase এনজাইম এর কার্যকারিতায় ADP এর সাথে Pi যুক্ত হয়ে ATP তৈরি হয়। থাইলাকয়েড (thylakoid) এর যে সার্কেস স্ট্রোমা (stroma) দিকে থাকে সে দিকে ATP তৈরি হয়। একটি ATP অণুতে প্রচুর শক্তি মজুত থাকে। প্রয়োজনে ATP-র মজুতকৃত শক্তি কোষের বিভিন্ন বিক্রিয়ার জন্য সরবরাহ করে। তাই ATP-কে জৈব মুদ্রা বা শক্তি মুদ্রা (Biological coin or Energy coin) বলা হয়।

(ii) NADP : NADP (Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate) একটি কো-এনজাইম। NADP থেকে তৈরি হয় NADPH + H<sup>+</sup>। এ বিক্রিয়ায় একটি reductase এনজাইম (লোহঘটিত প্রোটিন) কাজ করে। CO<sub>2</sub>-কে কার্বোহাইড্রেটে হ্রাসকরণ ও বিজ্ঞারণে NADPH + H<sup>+</sup> অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।



চিত্র ১.১৯ : PS-II (P 680) এবং ফটোলাইসিস এন্টিমা।



চিত্র ১.২০ : ATP-এর গঠন।

উক্তিদেহের ক্লোরোপ্রাস্টের স্ট্রামাতে অসংখ্য থলে সদৃশ্য গঠন থাকে, এদেরকে থাইলাকয়েড বলে। থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনের যে অংশ তার নিজস্ব প্রকোষ্ঠের দিকে উন্মুক্ত স্থানে PS-II ইউনিটসমূহ বিদ্যমান; থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনের যে অংশ স্ট্রামাতে উন্মুক্ত স্থানে PS-I এবং ATP synthase ইউনিট থাকে; সাইটোক্রোম যৌগ, প্রাস্টোকুইন, প্রাস্টোসায়ানিন মেম্ব্রেনের সকল অংশে সমানভাবে বিদ্যমান। **প্রক্রিয়ে PS-II এর বহু পূর্বে PS-I সৃষ্টি হয়েছিল। মাত্র ৩ বিলিয়ন বছর পূর্বে সায়ানোব্যাকটেরিয়াতে PS-II সৃষ্টি হয়।**

**থাইলাকয়েড ইলেক্ট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (TETC) :** থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে সুশৃঙ্খলভাবে সজ্জিত কিছু সংখ্যক ইলেক্ট্রন ট্রান্সপোর্ট চেইন (ETC) গঠিত। বাহকঙ্গলো পর্যায়ক্রমিকভাবে নিরূপণ :

১। **ফিঘোফাইটিন (Pheophytin = Ph)** : একটি রূপান্তরিত ক্লোরোফিল-এ অণু। পরবর্তী বাহক প্রাস্টোকুইননের সাথে এটি সংযোগ সৃষ্টি করে। **DAT : 10-11**

২। **প্রাস্টোকুইনন (Plastoquinone = PQ)** : অতি ছোট চলনশীল লিপিড যা থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে মুক্তভাবে চলাচল করতে পারে।

৩। **সাইটোক্রোম (Cytochrome = Cyt.)** : সাইটোক্রোম হলো লৌহযুক্ত হিম (heme) ফ্রাণ্সিষ্ট প্রোটিন। হিম ফ্রাণ্সের লৌহ ইলেক্ট্রন আদান-প্রদান করে।

৪। **প্রাস্টোসায়ানিন (Plastocyanin = PC)** : অত্যন্ত চলনশীল একটি শুধু মেম্ব্রেন প্রোটিন। এর ইলেক্ট্রন গ্রহীতা ফ্রাণ্স হলো কপার। এটি মুক্তভাবে থাইলাকয়েড প্রকোষ্ঠে চলাচল করতে পারে।

৫। **ফেরিডক্সিন (Ferredoxin = Fd)** : এটি একটি আয়রন-সালফার (Fe-S) প্রোটিন। এর লৌহ ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে ও বিতরণ করে।

৬। **NADP-রিডাক্টেজ (NADP reductase)** : এটি আসলে একটি ফ্লাওভোপ্রোটিন এবং বাইট কো-এনজাইম FAD (ফ্লাইডিন আডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড)। এর ফ্লাইডিন ফ্রাণ্স হলো ইলেক্ট্রন গ্রহীতা।

**সালোকসংশ্লেষণে পানি সরবরাহ :** উচ্চ শ্রেণির উক্তিদের সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় পানি একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান। ফটোসিনথেসিস-এর প্রধান ছান হলো পাতার মেসোফিল টিস্যুর কোষত্ত্ব ক্লোরোপ্রাস্ট। কাজেই পাতার মেসোফিল কোষে অব্যাহত পানি সরবরাহ নিশ্চিত হতে হবে।

উক্তিদের মূলরোধ দিয়ে (কখনো রাইজেড দিয়ে) মাটি কণা ফাঁকের কৈশিক পানি শোষণ করে। শোষিত পানি ক্রমান্বয়ে কর্টেক্স পার হয়ে জাইলেম টিস্যুতে পৌছায় এবং শেষ পর্যন্ত কাণ্ড ও তার শাখা-প্রশাখা পার হয়ে পাতায় পৌছায়। পাতার শিরাবিন্যাসের মাধ্যমে উক্ত পানি সমস্ত পত্রফলকের মেসোফিল টিস্যুতে ছড়িয়ে পড়ে। প্রধানত অসমোসিস প্রক্রিয়ায় পানি প্রথমে কোষাভ্যন্তরে এবং শেষ পর্যন্ত ক্লোরোপ্রাস্টে প্রবেশ করে। উক্ত পানি ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে এবং ফটোলাইসিস (photolysis) তথা সালোক বিভাজনের মাধ্যমে ভেঙে  $O_2$  হিসেবে বায়ুতে নির্গত হয় এবং  $2H^+$ , NADP-কে বিজ্ঞারিত করে NADPH + H<sup>+</sup> সৃষ্টি করতে ব্যবহৃত হয়।

অনেকের মতে, ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ায় সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়া হলো পানির ভাঙ্গন (ফটোলাইসিস), কারণ তা না হলে  $NADPH + H^+$  উৎপন্ন হবে না এবং বায়ুতে  $O_2$  আসবে না। আন্তর্করণ শক্তি  $NADPH + H^+$  তৈরি না হলে কার্বন বিজ্ঞারিত হয়ে শর্করা তৈরি হবে না।

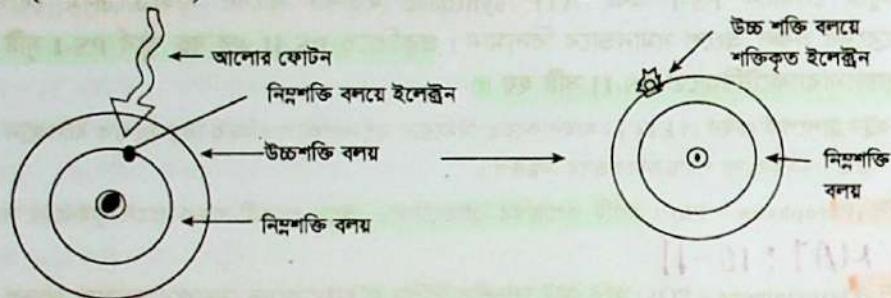
**পাতার মেসোফিল টিস্যুতে  $CO_2$ -এর প্রবেশ :**  $CO_2$  ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ার প্রধান উপাদান, কারণ শর্করা সৃষ্টির প্রধান কাঁচামাল হলো  $CO_2$ , সবুজ উক্তিদের ক্লোরোফিল অণু তা শোষণ করে সক্রিয় হয়। সক্রিয় ক্লোরোফিল অণুর মাথার ডবল বন্ড থেকে একটি ইলেক্ট্রন শক্তিকৃত হয়ে এটিমের নিম্ন বলয় থেকে উচ্চ বলয়ে চলে আসে। এটিমে শক্তির উচ্চ বলয় হতে ইলেক্ট্রনটি প্রাথমিক ইলেক্ট্রন গ্রহীতা গ্রহণ করলে ফটোসিনথেসিস-এর সূচনা ঘটে।

### ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ার সূচনা

সূর্যালোকের ফোটন (Photon = আলোক শক্তির ইউনিট) উক্তিদের সবুজ অঙ্গে (প্রধানত পাতা) পতিত হলে অভ্যন্তরীন ক্লোরোপ্রাস্টের ক্লোরোফিল অণু তা শোষণ করে সক্রিয় হয়। সক্রিয় ক্লোরোফিল অণুর মাথার ডবল বন্ড থেকে একটি ইলেক্ট্রন শক্তিকৃত হয়ে এটিমের নিম্ন বলয় থেকে উচ্চ বলয়ে চলে আসে। এটিমে শক্তির উচ্চ বলয় হতে ইলেক্ট্রনটি প্রাথমিক ইলেক্ট্রন গ্রহীতা গ্রহণ করলে ফটোসিনথেসিস-এর সূচনা ঘটে।

উচ্চ শক্তি বলয়ে আসা ইলেক্ট্রনের ভাগ্য নিম্নবর্ণিত তিনি প্রকারের যেকোনো এক প্রকার হতে পারে :

১। উচ্চশক্তি বলয় হতে শক্তি হারিয়ে পুনরায় নিম্নশক্তি বলয়ে ফিরে যাওয়া । এক্ষেত্রে শোষিত শক্তি তাপশক্তি হিসেবে মুক্ত হয় বা ফ্লুরেসেন্স (fluorescence) হিসেবে বিকিরিত হয় । সালোকসংশ্লেষণে এই শক্তি কাজে আসে না ।



চিত্ৰ ৯.২১ : এটমে শক্তি বলয় : নিম্ন শক্তি বলয় থেকে শক্তিকৃত ইলেক্ট্রন উচ্চ শক্তি বলয়ে উন্নীত ।

২। শোষিত শক্তি পাশের কোনো পিগমেন্টের অণুর ইলেক্ট্রনকে দিয়ে উচ্চ বলয়ের ইলেক্ট্রনটি নিম্নশক্তি বলয়ে ফিরে যাওয়া । এক্ষেত্রে শক্তি ছানাত্তর হয়—ইলেক্ট্রন নয় । এভাবেই অ্যাটেনা কমপ্লেক্সের শোষিত আলোক শক্তি ছানাত্তরিত হয়ে বিক্রিয়া কেন্দ্রের বিশেষ ক্লোরোফিল-a-তে আসে ।

৩। উচ্চশক্তি বলয় হতে উচ্চশক্তিসম্পন্ন ইলেক্ট্রনটি একটি প্রাথমিক ইলেক্ট্রন গ্রহীতাকে প্রদানে সমর্থ হওয়া । এক্ষেত্রে উচ্চশক্তিসম্পন্ন ইলেক্ট্রনটি ছানাত্তরিত হয় এবং ফটোসিনথেসিস প্রক্রিয়ার সূচনা হয় ।

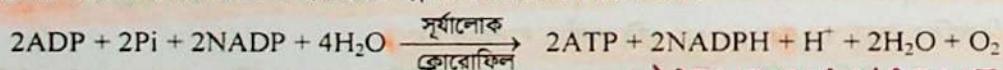
### সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার কলাকৌশল (Mechanism of Photosynthesis)

১৯০৫ খ্রিস্টাব্দে ইংরেজ শারীরতত্ত্ববিদ ব্ল্যাকম্যান (Blackman) সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াকে দুটি অধ্যায়ে ভাগ করেন; যথা— (ক) আলোকনির্ভর অধ্যায় এবং (খ) আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায় ।

(ক) আলোকনির্ভর অধ্যায় (Light dependent phase) : এই অধ্যায়ে ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> তৈরি হয় ।

আলোকনির্ভর অধ্যায়ের বিক্রিয়াসমূহ থাইলাকয়েড মেম্ব্রেন-এ সংঘটিত হয় । সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার যে অধ্যায়ে আলোক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> তে সংক্রান্ত হয়, তাকে আলোকনির্ভর অধ্যায় বলে । এ অংশের জন্য আলোক অপরিহার্য ।

ক্লোরোফিল অণু আলোকশির ফোটন (photon) শোষণ করে এবং শোষণকৃত ফোটন হতে শক্তি সঞ্চয় করে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ATP তৈরি করে । এ ছাড়া আলোক অধ্যায়ে H<sub>2</sub>O ভেঙে O<sub>2</sub> নির্গত হয় এবং NADP বিজারিত হয়ে NADPH + H<sup>+</sup> তৈরি হয় । আলোকনির্ভর অধ্যায়কে নিম্নলিখিতভাবে দেখানো হয় :

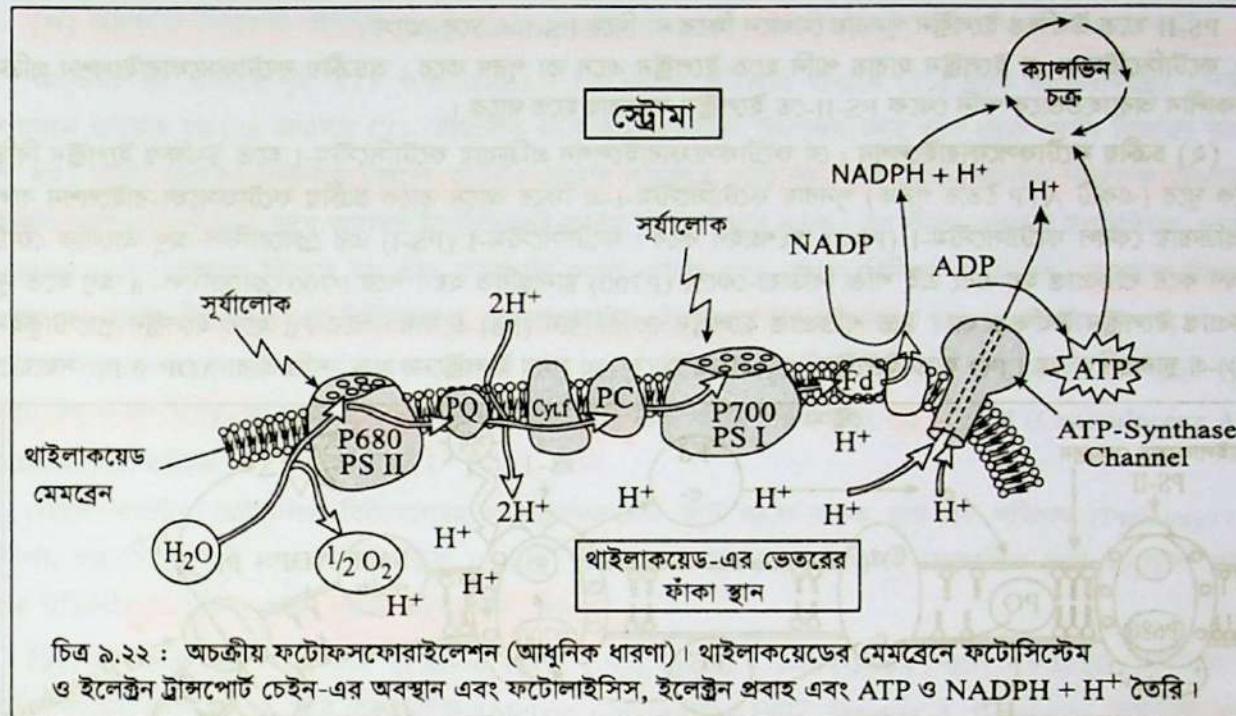


→ DAT: 19-20; MAT: 15-16

উচ্চশক্তি সম্পন্ন ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> সৃষ্টি করতে যে বিপুল পরিমাণ শক্তির প্রয়োজন হয় তা সূর্যালোক হতে আসে । সূর্যালোকের শক্তিকে ব্যবহার করে ATP তৈরির প্রক্রিয়াকে ফটোফসফোরাইলেশন বলে । CO<sub>2</sub> আন্তিকরণের মাধ্যমে শর্করা প্রস্তুত করতে ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> এর শক্তি ব্যবহৃত হয় বলে ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> কে আন্তিকরণ শক্তি (assimilatory power) বলে ।

ফটোফসফোরাইলেশন : সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় আলোক শক্তি ব্যবহার করে ATP তৈরি করার প্রক্রিয়াকে বলা হয় ফটোফসফোরাইলেশন । কোনো যৌগের সাথে ফসফেট সংযুক্ত প্রক্রিয়াকে বলা হয় ফসফোরাইলেশন; আর আলোক শক্তি ব্যবহার করে ফসফোরাইলেশন ঘটানোকে বলা হয় ফটোফসফোরাইলেশন । আরনন (Arnon) ও তাঁর সহকর্মীগণ ১৯৫৭ খ্রিস্টাব্দে ফটোফসফোরাইলেশন সম্পর্কে ধারণা দেন । ফটোফসফোরাইলেশন অচক্রীয় (non-cyclic) এবং চক্রীয় (cyclic) এ দুভাবে হতে পারে । বর্তমান ধারণার আলোকে এদেরকে নিচে বর্ণনা করা হলো :

(১) অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন : যে ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় ফটোসিস্টেম-II হতে উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন পুনরায় সেখানে ফিরে না গিয়ে, ফটোসিস্টেম-I এ চলে আসে তাকে অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন বলে । এ প্রক্রিয়ায় ফটোসিস্টেম-I এবং ফটোসিস্টেম-II উভয়ই অংশ গ্রহণ করে । প্রক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



(i) ফটোসিস্টেম-II (PS-II) এর ক্লোরোফিল অণু আলোকশক্তি শোষণ করে। শোষিত আলোকশক্তি এক অণু থেকে অন্য অণুতে স্থানান্তরিত হয়ে শেষ পর্যন্ত বিক্রিয়া কেন্দ্র (reaction centre) P680-তে পৌছে। বিক্রিয়া কেন্দ্র শক্তিকৃত ইলেক্ট্রনকে গ্রহীতার কাছে পাঠাতে পারে।

(ii) P680 এর অরবিট হতে শক্তিকৃত ২টি ইলেক্ট্রন উৎক্ষিণি হয় যা নিকটস্থ ইলেক্ট্রন গ্রহীতা ফিয়োফাইটিন (ছকে দেখানো হয়নি) কর্তৃক গ্রহীত হয়। একই সময়ে পানি ভাঙনের ফলে সৃষ্টি ২টি ইলেক্ট্রন এসে P680 এর ইলেক্ট্রন ঘাটতি প্রবণ করে।

(iii) ফিয়োফাইটিন হতে ইলেক্ট্রন ২টি সাথে সাথেই প্লাস্টোকুইনন-এ (PQ) স্থানান্তরিত হয়। PQ একটি লিপিড ও চলনশীল বাহক।

(iv) PQ তার ইলেক্ট্রন সাইটোক্রোম-এফ (Cyt. f) কে প্রদান করে পুনরায় ফিয়োফাইটিন হতে ইলেক্ট্রন গ্রহণের জন্য প্রস্তুত হয়। এ ধাপে যে শক্তি নির্গত হয় তা দিয়ে ADP এর সাথে অজৈব ফসফেট সংযুক্ত হয়ে একটি ATP তৈরি হয়। (প্রকৃতপক্ষে ATP তৈরি হয় পৃথকভাবে কেমিসমোটিক প্রক্রিয়ায় চিত্র-৯.২১।)

(v) সাইটোক্রোম-এফ, ইলেক্ট্রন ২টি প্লাস্টোসায়ানিন (PC)-কে প্রদান করে। PC একটি মেম্ব্রেন প্রোটিন।

(vi) প্লাস্টোসায়ানিন (PC) ফটোসিস্টেম-I (PS-I) এর P700 কে ইলেক্ট্রন প্রদান করে (কারণ ইতোমধ্যেই PS-I কর্তৃক আলোকশক্তি শোষণের ফলে P700 বিক্রিয়া কেন্দ্রে ক্লোরোফিল- a অণুর অরবিট হতে দুটি শক্তিকৃত ইলেক্ট্রন উৎক্ষিণি হয়ে গিয়েছে এবং তথায় ইলেক্ট্রনের ঘাটতি সৃষ্টি হয়েছে)।

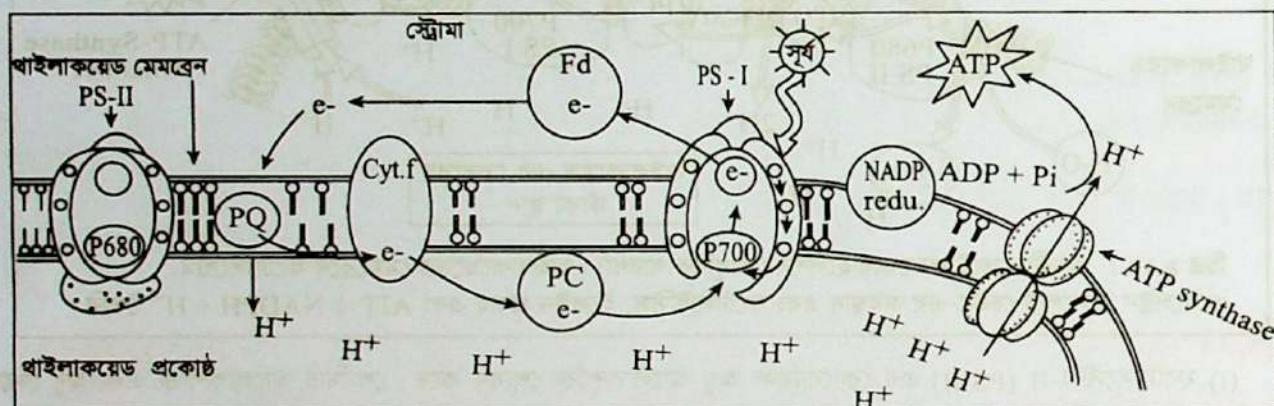
(vii) P 700 হতে উৎক্ষিণি ২টি ইলেক্ট্রন ফেরিডক্সিন (Fd) গ্রহণ করে।

(viii) Fd হতে ২টি ইলেক্ট্রন গ্রহণ করে NADP-reductase। NADP reductase দুটি ইলেক্ট্রন (P700 বিক্রিয়া কেন্দ্র হতে উৎক্ষিণি) এবং দুটি প্রোটিন (পানির ভাঙন হতে সৃষ্টি) সহযোগে NADP কে বিজ্ঞারিত করে NADPH + H<sup>+</sup> তৈরি করে। ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> পরবর্তীতে ক্যালভিন চক্রে অংশগ্রহণ করে।

PS-II হতে উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন পুনরায় সেখানে ফিরে না গিয়ে PS-I-এ চলে আসে।

ফটোসিস্টেম-II যে ইলেক্ট্রন হারায় পানি হতে ইলেক্ট্রন এসে তা পূরণ করে। অচ্ছীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়া চলাকালীন অব্যাহতভাবে পানি থেকে PS-II-তে ইলেক্ট্রন সরবরাহ হতে থাকে।

(২) চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন : যে ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় ফটোসিস্টেম-I হতে উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন বিভিন্ন বাহক ঘুরে (একটি ATP তৈরি পূর্বে) পুনরায় ফটোসিস্টেম-I-এ ফিরে আসে তাকে চক্রীয় ফটোফসফো-রাইলেশন বলে। এ প্রক্রিয়ায় কেবল ফটোসিস্টেম-I (PS-I) অংশগ্রহণ করে। ফটোসিস্টেম-I (PS-I) এর ক্রোরোফিল অণু আলোক ফোটন শোষণ করে শক্তিপ্রাপ্ত হয় এবং এই শক্তি বিক্রিয়া কেন্দ্রে (P700) দ্বান্তরিত হয়। পরে P700 ক্রোরোফিল-a অণু হতে দুটি শক্তিপ্রাপ্ত ইলেক্ট্রন উৎক্ষিণ হয়। উচ্চ শক্তিপ্রাপ্ত ইলেক্ট্রন ফেরিডক্সিন (Fd)-এ যায়। পরে Fd হতে ইলেক্ট্রন প্লাস্টোকুইন (PQ)-এ দ্বান্তরিত হয়। PQ হতে ইলেক্ট্রন Cyt. f.-এ আসে। এ সময় ইলেক্ট্রনের মুক্ত শক্তি দ্বারা ADP ও Pi সহযোগে



চিত্ৰ ৯.২৩ : চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন (আধুনিক ধারণা) : P700 (PS-I), Fd-ফেরিডক্সিন, PQ = প্লাস্টোকুইন, PC = প্লাস্টোসায়ানিন, Cyt.f = সাইটোক্রোম। e<sup>-</sup> = ইলেক্ট্রন। লক্ষ্যণীয় : e<sup>-</sup> P700 থেকে বের হয়ে পুনরায় P700-এ ফিরে এসেছে। PS-II এবং NADP রিডাক্সেজ এই চক্রে অংশগ্রহণ করে নাই। তবে থাইলাকয়েড মেম্ব্ৰেনে অবস্থান কৰে।

(কেমিওসমোটিক প্রক্রিয়ায়) একটি ATP তৈরি হয়। Cyt. f. হতে ইলেক্ট্রন প্লাস্টোসায়ানিন (PC)-এর মাধ্যমে P700-তে ফিরে আসে। আদি ব্যাক্টেরিয়াতে কেবল চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে। [সায়ানোব্যাক্টেরিয়া, শৈবাল ও সবুজ উড়িদে সাধাৰণত NADP-ৰ সৱৰণাহ বৰ্ক হয়ে গেলে চক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে থাকে। পানিৰ সৱৰণাহ বৰ্ক হলে অচক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে না, চক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে। প্ৰযোজন হলে উভয় প্রক্রিয়া একইসাথে চলতে পাৰে। কেবল চক্রীয় প্রক্রিয়ায় সৃষ্টি ATP দিয়ে উচ্চ শ্ৰেণিৰ উড়িদেৰ প্ৰযোজনীয় শৰ্কৰা তৈৰি সৃষ্টি নহয়।] (যেহেতু PS-II উপস্থিত থাকে কিন্তু চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়াতে অংশগ্রহণ কৰে না।)

#### অচক্রীয় ও চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন-এর মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন	চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন
১. উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন	PS-II হতে উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন পুনরায় PS-II তে ফিরে আসে না।	PS-I হতে উৎক্ষিণ ইলেক্ট্রন বিভিন্ন বাহকের মাধ্যমে বাহিত হয়ে পুনরায় PS-I এ ফিরে আসে।
২. ফটোসিস্টেম	PS-I ও PS-II উভয়ই অংশগ্রহণ কৰে।	কেবলমাত্ৰ PS-I অংশগ্রহণ কৰে।
৩. পানিৰ প্ৰযোজন	পানিৰ প্ৰযোজন হয়। কাৰণ পানিৰ ইলেক্ট্রন ও প্ৰোটোন এ প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।	পানিৰ প্ৰযোজন হয় না।
৪. O <sub>2</sub> উৎপন্ন	পানিৰ ভাঙনেৰ ফলে O <sub>2</sub> উৎপন্ন হয় যা পৰে বায়ুতে নিৰ্গত হয়।	কোনো O <sub>2</sub> উৎপন্ন হয় না কাৰণ এ প্রক্রিয়ায় কোনো পানি ব্যবহৃত হয় না।
৫. NADP এৰ জাৰণ	এক অণু NADP বিজাৱিত হয়ে এক অণু NADPH + H <sup>+</sup> সৃষ্টি কৰে।	কোনো NADP বিজাৱিত হয় না।

(খ) আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায় (Light independent phase) : কার্বোহাইড্রেট তৈরি বা কার্বন বিজ্ঞারণ পদ্ধতি।

আলোকনির্ভর অধ্যায়ে সৃষ্টি ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> বিশেষ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে CO<sub>2</sub> হতে কার্বোহাইড্রেট (শর্করা) উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। এ অধ্যায়ে CO<sub>2</sub> বিজ্ঞারিত হয়ে কার্বোহাইড্রেট উৎপাদন করে বলে একে কার্বন বিজ্ঞারণ অধ্যায় বলা হয়। কার্বন বিজ্ঞারণ প্রক্রিয়ায় কোনো আলোর প্রত্যক্ষ প্রয়োজন পড়ে না, তাই একে আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায় বা অন্ধকার অধ্যায়ও বলা হয়। তবে আলোর উপস্থিতিতেই কার্বন বিজ্ঞারণ হয়ে থাকে। এর কারণ আলোর উপস্থিতিতে ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> সরবরাহ নিশ্চিত হয় এবং স্টোম্যাটা খোলা থাকায় CO<sub>2</sub> ও O<sub>2</sub> বিনিময় সহজ হয়। আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায় (বা কার্বন বিজ্ঞারণ) এর বিক্রিয়াসমূহ ক্লোরোপ্রাস্টের স্ট্রোমাতে সংঘটিত হয়। আলোক অধ্যায় সম্পূর্ণ না হলে আলোকনিরপেক্ষ অধ্যায় ঘটবে না। আবহমণ্ডলের CO<sub>2</sub> হতে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট সৃষ্টির তিনটি স্বীকৃত পথ আছে; তা হলো—(১) ক্যালভিন চক্র, (২) হাচ ও স্ন্যাক চক্র এবং (৩) CAM (Crassulacean Acid Metabolism) প্রক্রিয়া।

DAT : ০৯-১০

কোষে সংঘটিত মেটাবলিক বিক্রিয়াসমূহ পর্যায়ক্রমিকভাবে ঘটে থাকে যাকে বলা হয় গতিপথ (Pathway)। যে গতিপথ চক্রাকারে ঘটে থাকে তাকে চক্র (cycle) বলা হয়। অধিকাংশ উত্তিদই ক্যালভিন চক্র অনুসরণ করে। এসব উত্তিদই C<sub>3</sub> উত্তিদ, যেমন- আম, জাম, ধান, পাট।

(১) ক্যালভিন চক্র : C<sub>3</sub> চক্র (Calvin cycle : C<sub>3</sub> cycle) : ১৯৪৭-১৯৪৯ সালে যুক্তরাষ্ট্রের ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের ক্যালভিন ও তাঁর সহযোগীরা (Melvin Calvin, 1911-1997, Benson & Bassham) **তেজস্ক্রিম কার্বন** (<sup>14</sup>C-কার্বনের আইসোটোপ) ব্যবহার করে সন্ধানী পদ্ধতিতে (tracer technique) *Chlorella* নামক এককোষী শৈবালে কার্বন বিজ্ঞারণের যে চক্রাকার গতিপথ আবিষ্কার করেন তা ক্যালভিন চক্র নামে পরিচিত। এই বিশেষ অবদানের জন্য ক্যালভিন ১৯৬১ সালে নোবেল পুরস্কার পান।

সংক্ষেপে ক্যালভিন চক্র নিম্নরূপ :

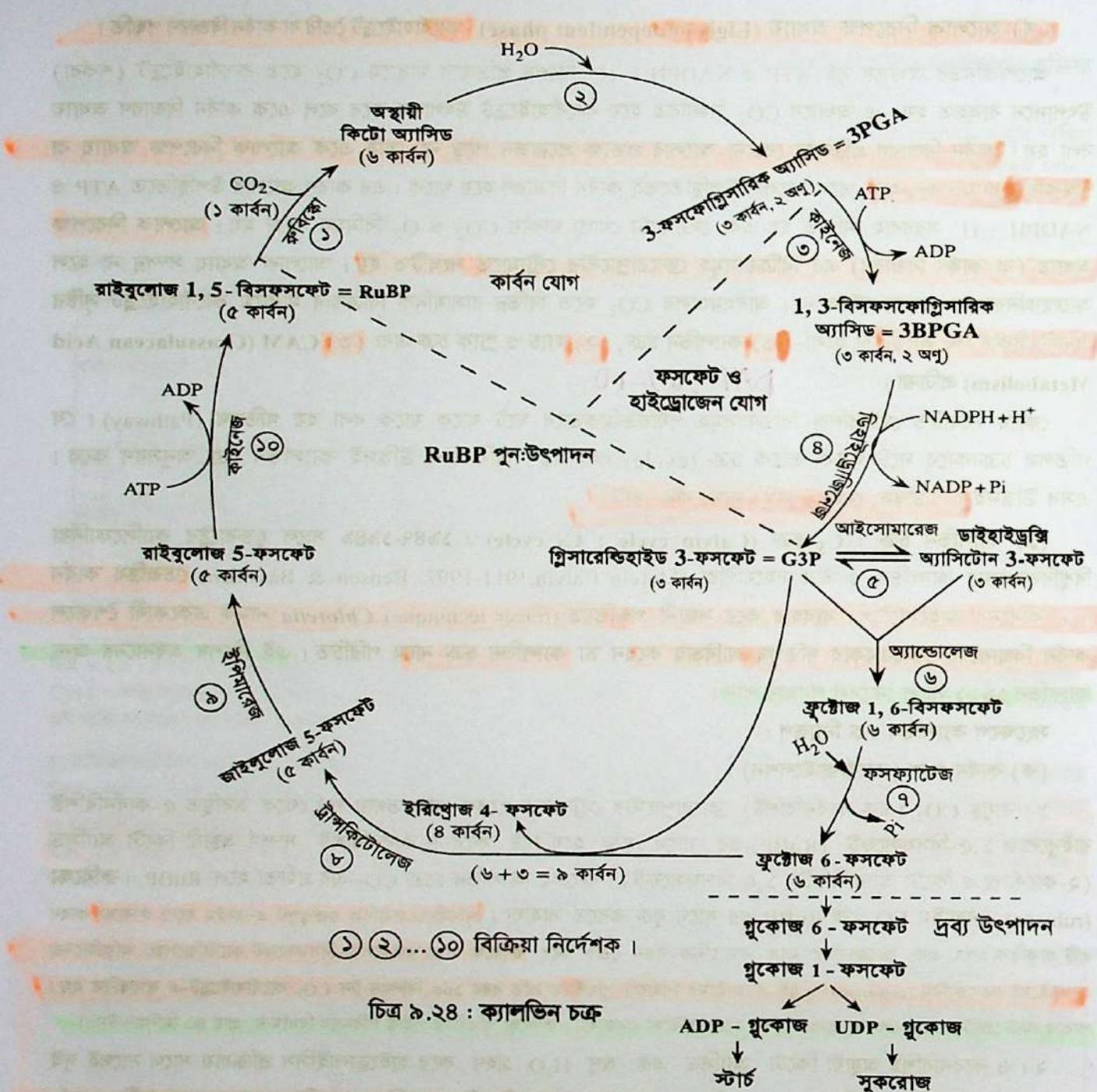
(ক) কার্বন যোগ (কার্বোক্লাইলেশন) :

১। বায়ুতে CO<sub>2</sub> (এক কার্বনবিশিষ্ট) ক্লোরোপ্রাস্টের স্ট্রোমাতে প্রবেশ করে তথায় পূর্ব থেকে অবস্থিত 5-কার্বনবিশিষ্ট রাইবুলোজ 1,5-বিসফসফেট (RuBP)-এর সাথে যুক্ত হয়ে সৃষ্টি করে 6-কার্বনবিশিষ্ট সম্পূর্ণ অঙ্গুয়ী কিটো অ্যাসিড (2-কার্বোক্সি ও কিটো অ্যারাবিনিটল 1,5 বিসফসফেট)। কাজেই ক্যালভিন চক্রে CO<sub>2</sub>-এর গ্রহণ হলো RuBP। রুবিক্সো (rubisco) এনজাইম CO<sub>2</sub>-কে RuBP এর সাথে যুক্ত করতে সাহায্য। [পৃথিবীতে সর্বাধিক গুরুত্বপূর্ণ এনজাইম হলো রুবিক্সো কারণ এটি প্রাকৃতিক জগৎ এবং জীবজগতের মধ্যে রাসায়নিক বদ্ধন তৈরি করে। রুবিক্সো হলো 'রাইবুলোজ বিসফসফেট কার্বোক্সিলেজ' / অক্সিজিনেজ এনজাইমের অ্যাক্রোনিম (acronym)]। এই এনজাইমের সাহায্যে পৃথিবীতে প্রতি বছর ১০০ বিলিয়ন টন CO<sub>2</sub> কার্বোহাইড্রেট-এ রূপান্তরিত হয়। পাতার মোট প্রোটিনের ৫০ ভাগ বা তারও অধিক হলো রুবিক্সো এনজাইম। রুবিক্সো পৃথিবীতে পর্যাপ্ত পরিমাণে বিদ্যমান, প্রায় ৪০ মিলিয়ন টন।]

২। 6 কার্বনবিশিষ্ট অঙ্গুয়ী কিটো অ্যাসিড এক অণু H<sub>2</sub>O গ্রহণ করে হাইড্রোলাইসিস প্রক্রিয়ায় সাথে সাথেই দুই অণু 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (3PGA) উৎপন্ন করে। 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড ক্যালভিন চক্রের প্রথম ছায়ী পদার্থ। ক্যালভিন চক্রে উৎপন্ন প্রথম ছায়ী পদার্থ 3-কার্বনবিশিষ্ট বলে এ চক্রকে C<sub>3</sub> চক্রও বলা হয়। যেসব উত্তিদে C<sub>3</sub> চক্রে মাধ্যমে কার্বন বিজ্ঞারণ হয় তাদেরকে C<sub>3</sub> উত্তিদ বলা হয়। অধিকাংশ উত্তিদই C<sub>3</sub> উত্তিদ, যেমন- আম, জাম, ধান, পাট।

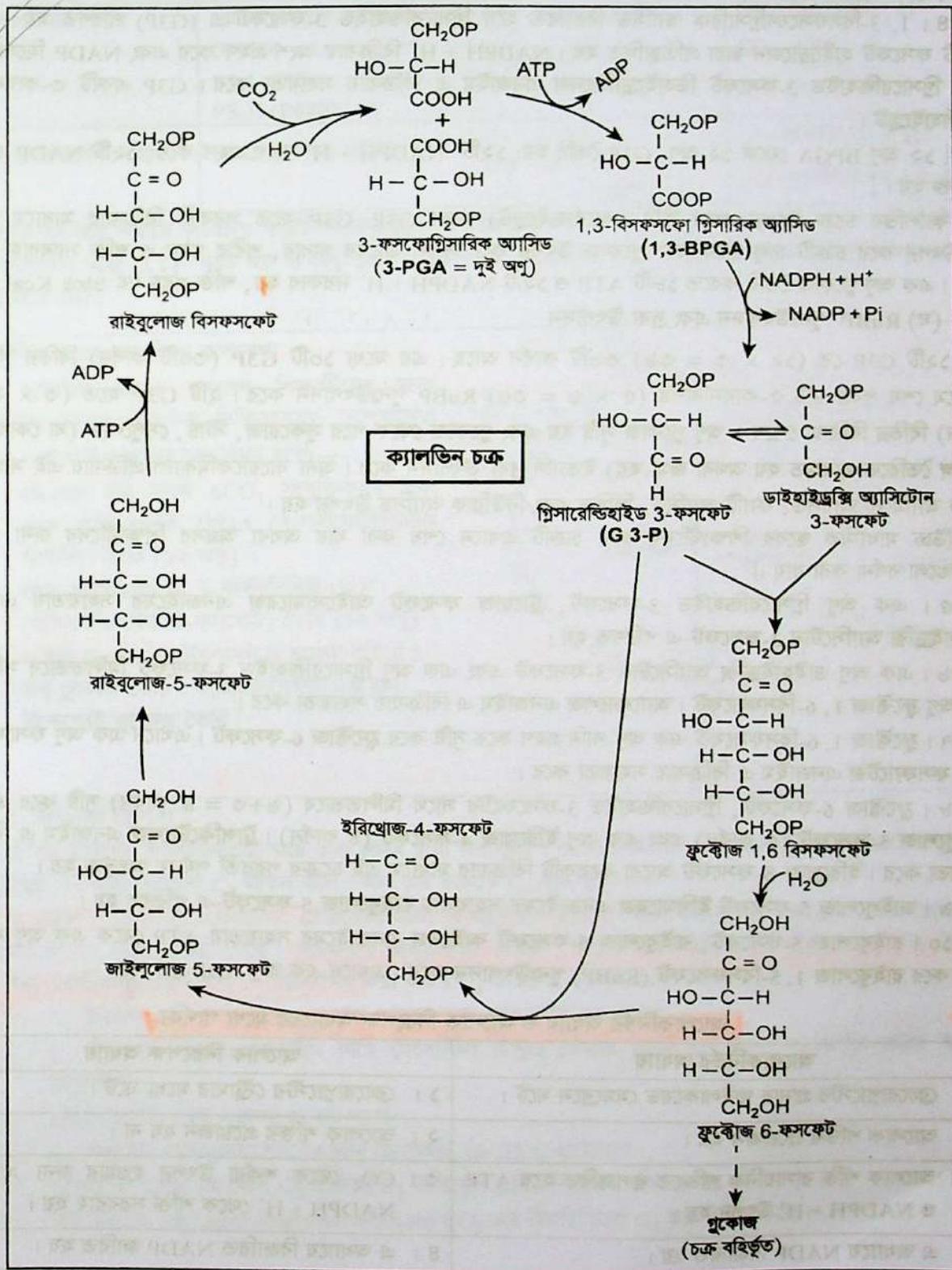
CO<sub>2</sub> এক কার্বনবিশিষ্ট, আর গুকোজ 6 কার্বনবিশিষ্ট, তাই এক অণু গুকোজ তৈরি করতে হলে 6 বার CO<sub>2</sub> যুক্ত হতে হবে অর্থাৎ চক্রটি 6 বার সম্পন্ন হতে হবে।

[ ৬ চক্রে ১২ অণু 3PGA তৈরি হয়। ]



৩। ATP থেকে একটি ফসফেট গ্রহণ করে 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড, 1, 3-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড-এ (BPGA) পরিণত হয়। এখানে একটি ATP খরচ হয় এবং ১টি ADP মুক্ত হয়। এখানে 3-ফসফোগ্লিসারেট কাইনেজ এনজাইম বিক্রিয়ায় সহযোগিতা করে থাকে।

[ ১২ অণু 3PGA থেকে ১২ অণু BPGA তৈরি হয়; ১২টি ATP খরচ হয়, ১২টি ADP মুক্ত হয়। ]



## (গ) হাইড্রোজেন যোগ (রিডাকশন)

৮। ১, ৩-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড বিজারিত হয়ে গ্লিসারেলিহাইড ৩-ফসফেট-এ (G3P) পরিণত হয়। এখানে একটি ফসফেট হাইড্রোজেন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। NADPH + H<sup>+</sup> বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে এবং NADP হিসেবে মুক্ত হয়। গ্লিসারেলিহাইড ৩-ফসফেট ডিহাইড্রেজিনেজ এনজাইম এ বিক্রিয়ায় সহায়তা করে। G3P একটি ৩-কার্বনবিশিষ্ট কার্বোহাইড্রেট।

[ ১২ অণু BPGA থেকে ১২ অণু G3P তৈরি হয়; ১২টি NADPH + H<sup>+</sup> অংশ গ্রহণ করে, ১২টি NADP ও ১২টি Pi মুক্ত হয়। ]

ক্যালভিন চক্রে উৎপন্ন প্রথম চিনি (কার্বোহাইড্রেট) হলো G3P. G3P হতে পরবর্তী বিক্রিয়ার মাধ্যমে RuBP পুনঃউৎপন্ন করে চক্রটি চালু রাখে এবং গুকোজ উৎপন্ন করে সকল জীবের খাবার, শরীর গঠন ও শক্তি সরবরাহ নিশ্চিত করে। এক অণু গুকোজ তৈরি করতে ১৮টি ATP ও ১২টি NADPH + H<sup>+</sup> দরকার হয়, শক্তি খরচ হয় ৬৮৬ Kcal।

## (ঘ) RuBP পুনঃউৎপাদন এবং দ্রব্য উৎপাদন

১২টি G3P তে ( $12 \times 3 = 36$ ) ৩৬টি কার্বন আছে। এর মধ্যে ১০টি G3P (৩০টি কার্বন) বিভিন্ন বিক্রিয়ার মাধ্যমে শেষ পর্যন্ত ৬টি ৫-কার্বনবিশিষ্ট ( $5 \times 6 = 30$ ) RuBP পুনঃউৎপাদন করে। ২টি G3P হতে ( $3 \times 2 = 6$  কার্বন) বিভিন্ন বিক্রিয়া শেষে ১ অণু গুকোজ সৃষ্টি হয় এবং গুকোজ থেকে পরে সুকরোজ, স্টার্চ, সেলুলোজ (যা কোষ, টিস্যু ও অঙ্গ তৈরিতে ব্যবহৃত হয় অথবা জমা হয়) ইত্যাদি দ্রব্য উৎপাদন করে। অন্য বায়োকেমিক্যাল প্রক্রিয়ায় এই সরল চিনি থেকে অ্যামিনো অ্যাসিড, ফ্যাটি অ্যাসিড, লিপিড এবং নিউক্লিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

ডিচ মাধ্যমিক স্তরের শিক্ষার্থীদের জন্য চক্রটি এখানে শেষ করা যায় অথবা অগ্রসর শিক্ষার্থীদের জন্য পরবর্তী স্টেপগুলো বর্ণনা করা যায়।]

৫। এক অণু গ্লিসারেলিহাইড ৩-ফসফেট, ট্রায়োজ ফসফেট আইসোমারেজ এনজাইমের সহায়তায় এক অণু ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ৩-ফসফেট-এ পরিণত হয়।

৬। এক অণু ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ৩-ফসফেট এবং এক অণু গ্লিসারেলিহাইড ৩-ফসফেট মিলিতভাবে সৃষ্টি করে এক অণু ফুকোজ ১, 6-বিসফসফেট। অ্যাল্ডোজেজ এনজাইম এ বিক্রিয়ায় সহায়তা করে।

৭। ফুকোজ ১, 6-বিসফসফেট এক অণু পানি গ্রহণ করে সৃষ্টি করে ফুকোজ ৬-ফসফেট। এখানে এক অণু ফসফেট মুক্ত হয়। ফসফ্যাটেজ এনজাইম এ বিক্রিয়ায় সহায়তা করে।

৮। ফুকোজ ৬-ফসফেট, গ্লিসারেলিহাইড ৩-ফসফেটের সাথে মিলিতভাবে ( $6+3 = 9$  কার্বন) সৃষ্টি করে এক অণু জাইলুলোজ ৫-ফসফেট (৫ কার্বন) এবং এক অণু ইরিথ্রোজ ৪-ফসফেট (৪ কার্বন)। ট্রাঙ্কিটোলেজ এনজাইম এ বিক্রিয়ায় সহায়তা করে। ইরিথ্রোজ ৪-ফসফেট আরো কয়েকটি বিক্রিয়ার মাধ্যমে এই চক্রের পরবর্তী পর্যায়ে অন্তর্ভুক্ত হয়।

৯। জাইলুলোজ ৫-ফসফেট ইপিমারেজ এনজাইমের সহায়তায় রাইবুলোজ ৫-ফসফেট-এ পরিণত হয়।

১০। রাইবুলোজ ৫-ফসফেট, রাইবুলোজ ৫-ফসফেট কাইনেজ এনজাইমের সহায়তায় ATP থেকে এক অণু ফসফেট গ্রহণ করে রাইবুলোজ ১, 5-বিসফসফেট (RuBP) পুনঃউৎপাদন করে। এখানে এক অণু ADP মুক্ত হয়।

## আলোকনির্ভর অধ্যায় ও আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায়ের মধ্যে পার্থক্য

আলোকনির্ভর অধ্যায়	আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায়
১। ক্রোরোপ্লাস্টের গ্রানার থাইলাকয়েড মেম্ব্রেনে ঘটে।	১। ক্রোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমার মধ্যে ঘটে।
২। আলোক শক্তির প্রয়োজন হয়।	২। আলোক শক্তির প্রয়োজন হয় না।
৩। আলোক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে ATP ও NADPH + H <sup>+</sup> উৎপন্ন হয়।	৩। CO <sub>2</sub> থেকে শর্করা উৎপন্ন হওয়ার জন্য ATP ও NADPH + H <sup>+</sup> থেকে শক্তি সরবরাহ হয়।
৪। এ অধ্যায়ে NADP বিজারিত হয়।	৪। এ অধ্যায়ে বিজারিত NADP জারিত হয়।

**C<sub>3</sub> (ক্যালভিন চক্র) উক্তিদে সালোকসংশ্লেষণের সার সংক্ষেপ**

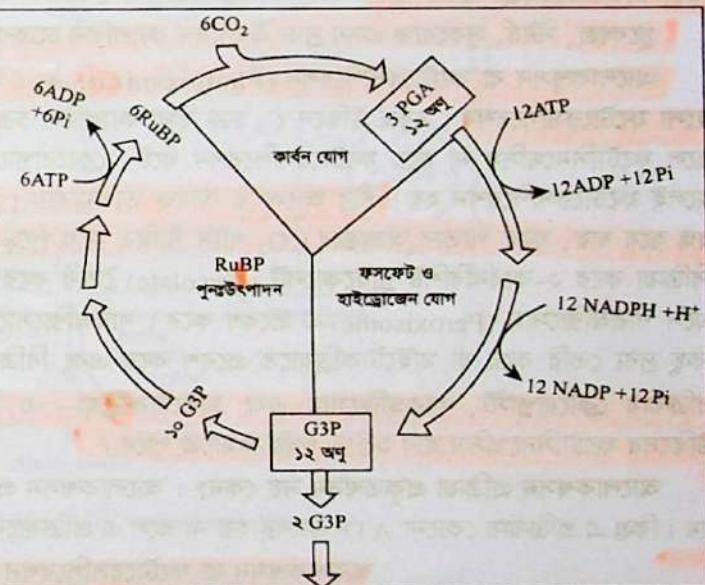
সালোকসংশ্লেষণের পর্যায়	ছান	অন্তর্ভুক্তি	উৎপাদন
আলোকনির্ভর পর্যায়	ক্লোরোপ্রাস্টের থাইলাকয়েড মেম্ব্রেন PS-I (P700) PS-II (P680)	(i) আলোর ফোটন (ii) H <sub>2</sub> O	(i) NADPH + H <sup>+</sup> (ii) ATP (iii) O <sub>2</sub>
আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়	ক্লোরোপ্রাস্টের স্ট্রোমা	(i) 6 CO <sub>2</sub> (ii) 18 ATP (iii) 12 NADPH + H <sup>+</sup>	(i) গুকোজ (১ অণু) (ii) পুনঃউৎপাদন 6RuBP

আলোকনির্ভর পর্যায়ে অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় সমান সংখ্যক ATP ও NADPH + H<sup>+</sup> উৎপন্ন হয় কিন্তু ক্যালভিন চক্রে ATP খরচ হয় ৬-অণু বেশি। উক্তিদে এই অতিরিক্ত ATP চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন করে নেয়।

**ক্যালভিন চক্রের সংক্ষিপ্ত রূপরেখা**

উচ্চ মাধ্যমিক স্তরের সাধারণ শিক্ষার্থীদের জন্য ক্যালভিন চক্রের বিস্তারিত বিক্রিয়াসমূহ অপেক্ষাকৃত জটিল। ক্যালভিন চক্রের মূল বিষয় হলো—

- 6RuBP এর সাথে 6CO<sub>2</sub> সংযুক্তিরণ এবং প্রথম ছায়ী পদার্থ 3PGA (3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড) তৈরি (১২ অণু)।
- প্রথম কার্বনহাইড্রেট 3-কার্বনবিশিষ্ট G3P (গ্লিসারেভিহাইড 3-ফসফেট) তৈরি (১২ অণু)।
- ৬ অণু RuBP পুনঃউৎপাদন ও চক্রের বাইরে ১ অণু গুকোজ তৈরি। ফটোসিনথেসিস এর মূল উদ্দেশ্যেই গুকোজ তৈরি।

**C<sub>3</sub> উক্তিদের বৈশিষ্ট্য :**

যে সব উক্তিদের ক্যালভিন চক্র ঘটে এবং প্রথম ছায়ী পদার্থকে 3-কার্বনবিশিষ্ট 3-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (3PGA) উৎপন্ন হয়, সে সব উক্তিদেকে C<sub>3</sub> উক্তিদে বলে। আর এই চক্রকে C<sub>3</sub> চক্র বলে।

যে সকল শৈবাল, ব্রায়োফাইটস, টেরিডোফাইটস ও নগুবীজী উক্তিদে সালোকসংশ্লেষণ পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে তার সবগুলোতেই C<sub>3</sub> চক্র পাওয়া গেছে। অধিকাংশ আবৃতবীজী উক্তিদে, বিশেষ করে দ্বিবীজপত্রী উক্তিদে C<sub>3</sub> চক্র বিদ্যমান। বেশ কিছু একবীজপত্রী উক্তিদেও C<sub>3</sub> চক্র লক্ষ্য করা যায়। C<sub>3</sub> উক্তিদের বৈশিষ্ট্যগুলো নিম্নরূপ :

- 1। C<sub>3</sub> উক্তিদের স্টোম্যাটা দিনের বেলায় খোলা থাকে এবং রাতে বন্ধ থাকে।
- 2। C<sub>3</sub> উক্তিদের পাতায় বাল্লসীথ ঘিরে মেসোফিল টিস্যুর কোনো পৃথক স্তর থাকে না অর্থাৎ ক্র্যান্থ অ্যানাটমি অনুপস্থিতি।
- 3। ক্লোরোপ্রাস্টে একই ধরনের গ্লানাম থাকে।
- 4। C<sub>3</sub> উক্তিদের সালোকসংশ্লেষণের জন্য তাপমাত্রা 10–25°C প্রয়োজন।
- 5। বায়ুমণ্ডলে 20% এর বেশি O<sub>2</sub> থাকলে C<sub>3</sub> উক্তিদের কার্বন বিজ্ঞারণ বাধাপ্রাপ্ত হয়।
- 6। বাতাসে 50–150 ppm (Parts per million) CO<sub>2</sub> এর উপস্থিতিতে C<sub>3</sub> চক্র ভালো চলে।

- ৭।  $C_3$  উভিদে রাইবুলোজ-১, ৫-বিসফসফেট প্রথম  $CO_2$  গ্রহণ করে।  
 ৮। এদের শর্করা উৎপাদন ক্ষমতা প্রজাতিভেদে নিম্ন থেকে উচ্চ।  
 ৯।  $C_3$  উভিদে ক্যালভিন চক্রের প্রথম ছায়ী পদার্থ ৩-ফসফেটিসারিক অ্যাসিড।

### স্টার্চ ও সুকরোজ উৎপাদন

**স্টার্চ :** সাইটোসোলে (Cytosol) অর্থোফসফেটের ( $P_i$ ) ঘনত্ব কম থাকলে ক্লোরোপ্লাস্টের অভ্যন্তরে স্টার্চ সংশ্রেষিত হয়। ট্রায়োজ ফসফেট ফিসারেভিহাইড ৩-ফসফেট এবং ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ৩-ফসফেট মিলিতভাবে এক অণু ৬-কার্বনবিশিষ্ট ফুকোজ ১, ৬-বিসফসফেট তৈরি করে যা ক্রমান্বয়ে ফুকোজ ৬-ফসফেট, গুকোজ ৬-ফসফেট, গুকোজ ১-ফসফেট,  $ADP$ -গুকোজ হয়ে স্টার্চ-এ পরিণত হয়।

**সুকরোজ :** সাইটোসোলে অর্থোফসফেটের ঘনত্ব বেশি থাকলে  $P_i$ -এর বিনিময়ে  $P_i$ -ট্রান্সপোর্টার দিয়ে ট্রায়োজ ফসফেট ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে সাইটোসোলে চলে আসে এবং ফুকোজ ১, ৬-বিসফসফেট, ফুকোজ ৬-ফসফেট, গুকোজ ৬-ফসফেট, গুকোজ ১-ফসফেট,  $UDP$ -গুকোজ ( $UDP$ = ইউরিডিন ডাই-ফসফেট) হয়ে শেষ পর্যন্ত সুকরোজ হিসেবে জমা হয়। **সুকরোজ** সারা উভিদে দেহে ট্রান্সপোর্ট হয়। স্টার্চ এবং সুকরোজ এই চক্রের উৎপাদন, এই চক্রে অংশগ্রহণকারী নয়।

গুকোজ, স্টার্চ, সুকরোজ এসব দ্রব্য উৎপাদন ক্যালভিন চক্রের বাইরে হয়। এরা চক্রের অংশ নয়।

**আলোকশন বা ফটোরেসপিরেশন (Photorespiration) :** আলোর সাহায্যে  $O_2$  গ্রহণ ও  $CO_2$  ত্যাগ করার প্রক্রিয়া হলো ফটোরেসপিরেশন। সবুজ উভিদে  $C_3$  চক্র তথা ক্যালভিন চক্র চলাকালে পরিবেশে তীব্র আলো ও উচ্চ তাপমাত্রা সৃষ্টি হলে ফটোসিনথেসিস না হয়ে ফটোরেসপিরেশন ঘটে। ক্লোরোপ্লাস্ট  $CO_2$  এর পরিমাণ কম এবং  $O_2$  এর পরিমাণ বেশি হলেই ফটোরেসপিরেশন হয়। তীব্র আলো ও অধিক তাপমাত্রায় ( $30^{\circ} \text{ সে. এর উপর}$ ) গাছে পানি সংরক্ষণের জন্য পত্রক বন্ধ হয়ে যায়, ফলে পাতার অভ্যন্তরে  $CO_2$  গ্যাস সীমিত হয়ে পড়ে। এমতাবস্থায় RuBP,  $CO_2$  এর পরিবর্তে  $O_2$  এর সাথে বিক্রিয়া করে ২-কার্বনবিশিষ্ট গ্লাইকোলেট (glycolate) তৈরি করে। গ্লাইকোলেট ক্লোরোপ্লাস্ট ত্যাগ করে সাইটোপ্লাজম-এ এসে পারঅক্সিসোম (Peroxisome)-এ প্রবেশ করে। পারঅক্সিসোমে প্রবেশ করে গ্লাইকোলেট  $O_2$  এর সাথে বিক্রিয়া করে কিছু দ্রব্য তৈরি করে যা মাইটোকন্ড্রিয়াতে প্রবেশ করে এবং বিক্রিয়া শেষে  $CO_2$  ত্যাগ করে। কাজেই ফটোরেসপিরেশন  $C_3$  উভিদের ফটোসিনথেসিস হর ২৫% পর্যন্ত কমাতে পারে।

**আলোকশন প্রক্রিয়া প্রকৃতক্ষন নয় কেন? :** আলোকশন প্রক্রিয়ায় কার্বন যোগ ভেঙ্গে  $CO_2$  নির্গত হয় ও  $O_2$  গৃহীত হয়। কিন্তু এ প্রক্রিয়ায় কোনো ATP উৎপন্ন হয় না বলে এ প্রক্রিয়াকে প্রকৃত ক্ষসন বলা যায় না।

### আলোকশন বা ফটোরেসপিরেশন ও ক্ষসনের মধ্যে পার্থক্য

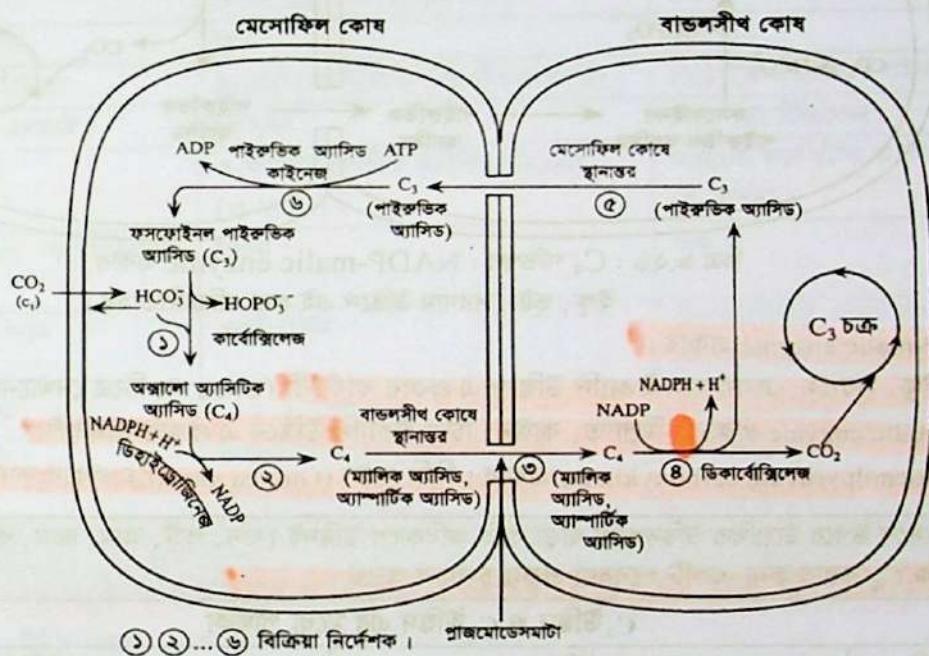
ফটোরেসপিরেশন	ক্ষসন
১. প্রক্রিয়াটি আলোকনির্ভর।	১. এটি আলোকনিরপেক্ষ প্রক্রিয়া।
২. ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিসোম ও মাইটোকন্ড্রিয়ার সাথে জড়িত।	২. মাইটোকন্ড্রিয়ার সাথে জড়িত।
৩. কোনো ATP ও NADPH উৎপন্ন হয় না।	৩. ATP ও NADPH উৎপন্ন হয়।
৪. ক্যালভিন চক্রের ওপর নির্ভরশীল।	৪. ক্যালভিন চক্রের সাথে কোনো সম্পর্ক নেই।
৫. প্রধানত $C_3$ উভিদে ঘটে।	৫. সকল জীবের সজীব কোষে ঘটে।

(২) হ্যাচ ও স্লাক চক্র :  $C_4$  চক্র (Hatch and Slack Cycle :  $C_4$  cycle) : H.P. Kortschak ও তাঁর সহযোগীরা  $^{14}CO_2$  প্রয়োগ করে ইক্সু উভিদে এবং একই পদ্ধতি ব্যবহার করে Y. Karpilov ও তাঁর সহযোগীরা ভুট্টা (*Zea mays*) উভিদে নিয়ে গবেষণা করে ৪-কার্বনবিশিষ্ট ম্যালিক অ্যাসিড এবং অ্যাসপারটিক অ্যাসিডে ৭০-৮০ ভাগ চিহ্নিত কার্বন দেখতে পান, অর্থাৎ গবেষণায় ব্যবহৃত  $^{14}CO_2$  কোনো  $C_3$  পদার্থ সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে না বরং  $C_4$  পদার্থ সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করেছে। এটি ক্যালভিন চক্রের ব্যতিক্রম। পরবর্তীতে M.D. Hatch ও C.R. Slack নামক দুজন অস্ট্রেলীয় বিজ্ঞানী ইক্সু উভিদে নিয়ে আরো বিস্তারিত গবেষণা করে কার্বন বিজ্ঞানের এ ভিত্তি পথকে সুন্দরভাবে ব্যাখ্যা করেন (অর্থাৎ ইক্সু উভিদেই পূর্ণাঙ্গভাবে এই গতিপথ প্রথম আবিষ্কৃত হয়), যা পরে Hatch & Slack গতিপথ বা  $C_4$  চক্র হিসেবে স্বীকৃতি পায়।

(১৯৭০)। ডাইকাৰ্বোক্সিলিক চক্র নামেও এটি পৰিচিত। বৰ্তমানে ১৬টি গোত্ৰের বহু উচ্চিদে এ গতিপথ আবিষ্কৃত হয়েছে। পাতাৰ মেসোফিল কোষ এবং বাল্লসীথ কোষ সম্পৰ্কভাবে এই গতিপথ সম্পন্ন কৰে। ফসফোইনল পাইকলেট কাৰ্বোক্সিলেজ এবং পাইকলেট-অৰ্থোফসফেট ডাইকাইনেজ এনজাইম মেসোফিল কোষে সীমাবদ্ধ থাকে। ডিকাৰ্বোক্সিলেজসমূহ এবং ক্যালভিন চক্ৰেৰ সকল এনজাইম বাল্লসীথ কোষে সীমাবদ্ধ থাকে।

নিম্নলিখিত পৰ্যায়ে এই গতিপথ (চক্র) সমাপ্ত হয় :

১। মেসোফিল কোষে অবস্থিত ফসফোইনল পাইকলিক অ্যাসিড (৩ কাৰ্বন) এৰ সাথে বায়ুত্ত  $\text{CO}_2$  ( $\text{HCO}_3^-$  হিসেবে অংশগ্ৰহণ কৰে) মিলিত হয়ে ৪-কাৰ্বনবিশিষ্ট অক্তালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড সৃষ্টি কৰে। কাৰ্বোক্সিলেজ এনজাইম এ বিক্ৰিয়ায় সহযোগিতা কৰে।



চিত্ৰ ৯.২৫ : হ্যাচ ও স্ন্যাক চক্র : একটি সাধাৰণ পথ পৰিক্ৰমা।

২। অক্তালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড পৰে ম্যালিক অ্যাসিড অথবা অ্যাল্পাটিক অ্যাসিড (৪ কাৰ্বন)-এ পৰিণত হয়। ডিহাইড্ৰোজিনেজ এনজাইম এ বিক্ৰিয়ায় সহযোগিতা কৰে। এখানে  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  যুক্ত হয়ে  $\text{NADP}$  তৈৰি কৰে। প্ৰথম ঘায়ী পদাৰ্থ ৪-কাৰ্বনবিশিষ্ট বলে এই চক্ৰকে  $\text{C}_4$  চক্ৰ বলা হয়। যেসব উচ্চিদে  $\text{C}_4$  চক্ৰেৰ মাধ্যমে কাৰ্বন বিজাৰণ হয় তাৰেকে  $\text{C}_4$  উচ্চিদ বলে।

৩। ম্যালিক অ্যাসিড বা অ্যাল্পাটিক অ্যাসিড মেসোফিল কোষ থেকে প্রাসমোডেসমাটা দিয়ে বাল্লসীথ কোষে প্ৰবেশ কৰে।

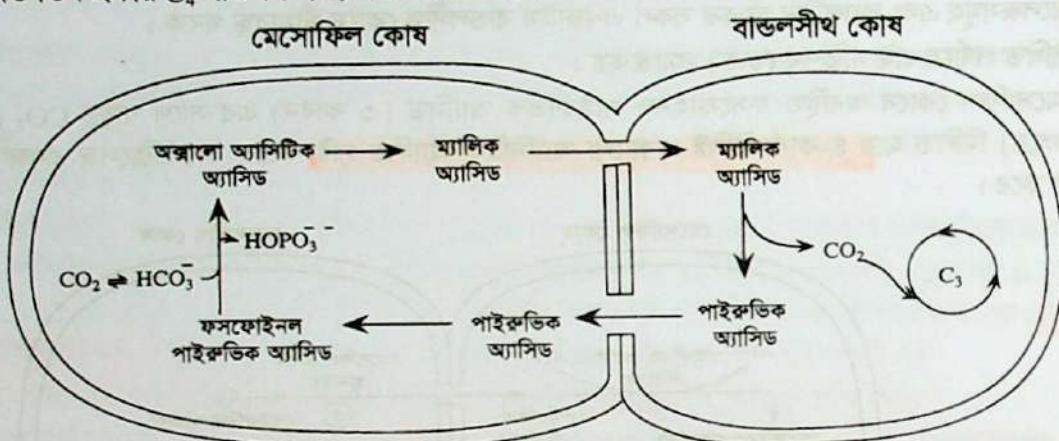
৪। বাল্লসীথ কোষে ম্যালিক অ্যাসিড বা অ্যাল্পাটিক অ্যাসিড এক অণু  $\text{CO}_2$  উৎপন্ন কৰে ৩-কাৰ্বনবিশিষ্ট পাইকলিক অ্যাসিডে পৰিণত হয়। এ বিক্ৰিয়ায়  $\text{NADP}$  অংশগ্ৰহণ কৰে এবং  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  তৈৰি হয়। উৎপন্ন  $\text{CO}_2$  সৱাসিৰ  $\text{C}_3$  চক্ৰ (ক্যালভিন চক্ৰ) প্ৰবেশ কৰে (অৰ্থাৎ রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট কৰ্তৃক গৃহীত হয়) এবং চক্ৰটি এখানে সুস্পন্দন হয়। এ বিক্ৰিয়ায় ডিকাৰ্বোক্সিলেজ এনজাইম সহযোগিতা কৰে।

৫। পাইকলিক অ্যাসিড বাল্লসীথ কোষ থেকে প্রাসমোডেসমাটা দিয়ে মেসোফিল কোষে প্ৰবেশ কৰে।

৬। পাইকলিক অ্যাসিড মেসোফিল কোষে পাইকলিক অ্যাসিড কাইনেজ এনজাইমেৰ সহযোগিতায় ফসফোইনল পাইকলিক অ্যাসিড পুনঃউৎপাদন কৰে এবং চক্ৰটি চালু থাকে। এখানে একটি ATP থেকে একটি ADP তৈৰি হয়।

বাল্লসীথ কোষে  $\text{CO}_2$  এৰ অভাৱ হয় না, তাই কোনো ফটোৱেসপিৰেশন হয় না, ফলে কাৰ্বন বিজাৰণ হ'ব অধিক হয়।

উভিদে তিন প্রকার C<sub>4</sub> গতিপথ লক্ষ্য করা যায় : (i) বান্ডলসীথ কোষে হানাতরিত C<sub>4</sub> অ্যাসিডের ধরন, (ii) মেসোফিল কোষে হানাতরিত C<sub>3</sub> অ্যাসিডের ধরন এবং (iii) বান্ডলসীথ কোষে ডিকার্বোক্সিলেশন এনজাইমের প্রকার—এ তিনি বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে নিম্নলিখিত তিনি প্রকার C<sub>4</sub> গতিপথ লক্ষ্য করা যায়। যথা :



চিত্র ৯.২৬ : C<sub>4</sub> গতিপথ : NADP-malic enzyme প্রকার  
ইকু, ভূট্টা, সরগাম উভিদে এই চক্র পরিচালিত হয়।

(A) NADP-malic enzyme প্রকার।

ভূট্টা, ইকু, সরগাম, ক্র্যাব ঘাস ইত্যাদি উভিদে এ প্রকার কার্যকরী (৯.২৬ নং চিত্রে দেখানো হলো)।

(B) NAD-malic enzyme প্রকার। মিল্যাত, কাউন, চিনা ইত্যাদি উভিদে এ প্রকার কার্যকরী।

(C) Phosphoenolpyruvate carboxykinase প্রকার। গিনি ঘাসে (Guinea grass) এ প্রকার কার্যকরী।

বি. মু. আমাদের দেশে উপরে উল্লেখিত উভিদগুলো ছাড়া বাকি অধিকাংশ উভিদই (ধান, পাট, আম, জাম, কলা, লিচু ইত্যাদি) C<sub>3</sub> উভিদ। ধানকে C<sub>4</sub> করার জন্য একটি গবেষণা প্রকল্প চলমান আছে।

C<sub>3</sub> উভিদ ও C<sub>4</sub> উভিদ এর মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	C <sub>3</sub> উভিদ	C <sub>4</sub> উভিদ
১। তাপমাত্রা	উচ্চ তাপমাত্রায় খাপখাইয়ে নিতে সক্ষম নয়।	উচ্চ তাপমাত্রায় খাপখাইয়ে নিতে সক্ষম।
২। ক্র্যান্ত অ্যানাটমি	পাতার বান্ডলসীথকে ঘিরে মেসোফিল কোষের কোনো পৃথক ত্তর থাকে না।	পাতার বান্ডলসীথকে ঘিরে অবীয়ভাবে সজ্জিত মেসোফিল কোষের ঘন ত্তর বিদ্যমান (ক্র্যান্ত অ্যানাটমি)।
৩। ক্রোরোপ্লাস্টের প্রকার	গঠনগতভাবে ক্রোরোপ্লাস্ট একই রকম।	গঠনগতভাবে ক্রোরোপ্লাস্ট দুই রকম : (i) গ্রানাযুক্ত মেসোফিল ক্রোরোপ্লাস্ট এবং (ii) গ্রানাবিহীন বান্ডলসীথ ক্রোরোপ্লাস্ট।
৪। CO <sub>2</sub> এর ঘনত্ব	সালোকসংশ্লেষণের জন্য বায়ুমণ্ডলে CO <sub>2</sub> এর ঘনত্ব কমপক্ষে ৫০ ppm (parts per million) প্রয়োজন (৫০-১৫০ ppm)।	সালোকসংশ্লেষণের জন্য বায়ুমণ্ডলে CO <sub>2</sub> এর ঘনত্ব কমপক্ষে ০.১০ ppm প্রয়োজন (০.১০-১০ ppm)।
৫। বিক্রিয়া	মেসোফিল কোষে আলোক বিক্রিয়া এবং ক্যালভিন চক্র সম্পূর্ণ হয়।	মেসোফিল কোষে আলোক বিক্রিয়া এবং বান্ডলসীথ কোষে CO <sub>2</sub> সৃষ্টি ও ক্যালভিন চক্র সম্পূর্ণ হয়।
৬। উৎপত্তি	মনে করা হয় বেশির ভাগ C <sub>3</sub> উভিদ অপেক্ষাকৃত শীতপ্রধান অঞ্চলে উৎপত্তি লাভ করেছে।	মনে করা হয় বেশির ভাগ C <sub>4</sub> উভিদ উৎপন্নে উৎপত্তি লাভ করেছে।
৭। সালোকসংশ্লেষণ হার	এসব উভিদের সালোকসংশ্লেষণ হার কম।	এসব উভিদের সালোকসংশ্লেষণ হার বেশি।
৮। O <sub>2</sub> এর উপস্থিতি	বান্ডলসীথ পরিমাণের চেয়ে ১% বেশি অ্যারিজেনের উপস্থিতি সালোকসংশ্লেষণ বাধাপ্রাপ্ত হয়।	অতিরিক্ত অ্যারিজেনের উপস্থিতি সালোকসংশ্লেষণ বাধাপ্রাপ্ত হয় না।
৯। উদাহরণ	ধান, গম, বার্লি, আম, জাম, কাঠালসহ ৮৫% উভিদ।	গিনি ঘাস, ইকু, ভূট্টা, মুখা ঘাস ইত্যাদি।

**ক্র্যাঙ্গ অ্যানাটমি (Krans anatomy) :** ক্র্যাঙ্গ অ্যানাটমি হলো উচ্চ তাপমাত্রায় থাপ থাইয়ে নেয়ার জন্য  $C_4$  উক্তিদসমূহের পাতার বিশেষ অঙ্গর্থন।  $C_4$  উক্তিদের পাতার বাণিজীখের চারদিকে ক্ষুদ্র ক্রোরোপ্লাস্টযুক্ত মেসোফিল টিস্যুর যে বিশেষ বলয় থাকে তাকে ক্র্যাঙ্গ অ্যানাটমি বলে। এরা উক্তিদেকে অল্প পরিমাণ  $CO_2$ -এর উপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষণে সহায়তা করে। এর মেসোফিল টিস্যুতে আলোক বিক্রিয়া এবং বাণিজীখ টিস্যুতে  $CO_2$  সৃষ্টি ও ক্যালভিন চক্র সম্পন্ন হয়।

### ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ-স্ন্যাক চক্রের মধ্যে পার্থক্য

পার্থক্যের বিষয়	ক্যালভিন চক্র	হ্যাচ ও স্ন্যাক চক্র
১. যে কোষে ঘটে	কেবল মেসোফিল কোষে হয়।	মেসোফিল ও বাণিজীখ কোষে হয়।
২. ফটোরেসপ্রিশেন	ঘটে।	ঘটে না।
৩. প্রাথমিক $CO_2$ গ্রহীতা	RuBP (রাইবুলোজ ১-৫ বিসফসফেট)।	PEP (ফসফোইনল পাইকুভিক অ্যাসিড)
৪. $CO_2$ ফিকসিং এনজাইম	রুবিক্সো।	PEP-কার্বোক্সিলেজ।
৫. প্রথম ছায়ী দ্রব্য	৩-ফসফেগ্নিসারিক অ্যাসিড [PGA] (৩-কার্বন)।	অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড [OAA] (৪-কার্বন)।
৬. $CO_2$ এর জন্য কার্বোক্সিলেজ এর দক্ষতা	মধ্যম।	উচ্চ।
৭. ক্রোরোপ্লাস্টের ধরন	একই রকম।	ক্রোরোপ্লাস্টের ধরন দুরকম : বাণিজীখ ক্রোরোপ্লাস্ট এবং মেসোফিল ক্রোরোপ্লাস্ট।
৮. আদর্শ তাপমাত্রা	১০° সে. থেকে ২৫° সে.।	৩০° সে. থেকে ৪৫° সে.।
৯. $CO_2$ এর ঘনত্ব	বায়ুমণ্ডলে প্রতি মিলিয়নে কমপক্ষে ৫০ ppm $CO_2$ থাকা প্রয়োজন।	বায়ুমণ্ডলে প্রতি মিলিয়নে কমপক্ষে ০.১০ ppm $CO_2$ থাকলেও চলে।

### $C_4$ উক্তিদের বৈশিষ্ট্য

DAT : ১৯-১৯

যে সব উক্তিদে প্রথম ছায়ী পদার্থ হিসেবে ৪-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় (হ্যাচ ও স্ন্যাক চক্রে) সে সব উক্তিদেকে  $C_4$  উক্তিদ বলে। আর এই চক্রকে  $C_4$  চক্র বলে।

- ১।  $C_4$  উক্তিদ প্রচণ্ড আলোতে অর্থাৎ 30–45°C তাপমাত্রাযুক্ত অঞ্চলে বেশি জন্মায়। গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলের একবীজপত্রী উক্তিদ এবং বেশ কিছু দ্বিবীজপত্রী উক্তিদেও  $C_4$  চক্র দেখা যায়।
- ২।  $C_4$  উক্তিদ উচ্চ তাপমাত্রায় সালোকসংশ্লেষণ করতে পারে।
- ৩। এরা পানির অপচয় করে এবং শুষ্ক অঞ্চলেও অভিযোজিত।
- ৪। বাণিজীখ কোষ ও মেসোফিল কোষে অনেক প্লাজমোডেজমাটা থাকে।
- ৫।  $C_4$  উক্তিদের পাতার বাণিজীখ কোষে ক্রোরোপ্লাস্ট থাকে।
- ৬। বাণিজীখের কোষগুলো ভাস্কুলার বাণিজের সাথে অরীয়ভাবে অবস্থান করে।
- ৭। বাণিজীখের মাঝে যে ক্রোরোপ্লাস্ট দেখা যায়, তাতে গ্রানা অনুপস্থিত কিন্তু মেসোফিল কোষে উন্নত প্রকৃতির গ্রানা বিদ্যমান। যেমন-ইক্সু উক্তিদের পাতা।
- ৮।  $C_4$  উক্তিদের মেসোফিল কোষে রাইবুলোজ বিসফসফেট কার্বোক্সিলেজ নামক এনজাইমের কার্যকারিতা অনুপস্থিত।
- ৯। NADP ম্যালিক অ্যাসিড এনজাইমের উপস্থিতিতে বাণিজীখ ক্রোরোপ্লাস্টে  $C_3$  চক্র পরিচালনার প্রয়োজনীয় বিপাকীয় শক্তি  $NADPH + H^+$  উৎপাদিত হয়।
- ১০। বাণিজীখ ক্রোরোপ্লাস্টে প্রচুর স্টার্চ দানা থাকে কিন্তু মেসোফিল ক্রোরোপ্লাস্টে স্টার্চ দানা থাকে না।
- ১১। রুবিক্সো এনজাইম মেসোফিলে থাকে না, বাণিজীখে অবস্থান করে।
- ১২।  $C_4$  উক্তিদে আলোকশুসন প্রায় অনুপস্থিত এবং সহজে শনাক্ত করা যায় না। তাই সালোকসংশ্লেষণে উৎপাদিত শর্করার অপচয় করে না।

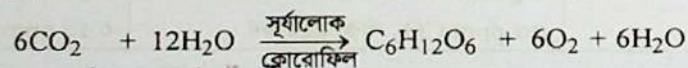
**C<sub>4</sub> উভিদে চক্রের গুরুত্ব**

- ১। C<sub>4</sub> উভিদে উচ্চ তাপমাত্রায় (30° C – 45° C) সালোকসংশ্লেষণ সংঘটিত হতে পারে, তাই উচ্চ তাপমাত্রায় এরা কর্মক্ষম থাকে।
- ২। C<sub>4</sub> উভিদের CO<sub>2</sub> গ্রাহক ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড, C<sub>3</sub> উভিদের CO<sub>2</sub> গ্রাহক রাইবুলোজ 1,5-বিসফসফেট অপেক্ষা অধিক কার্যকর থাকে।
- ৩। মুক্ত উভিদে প্রত্রঙ্ক আংশিকভাবে বন্ধ থাকলেও C<sub>4</sub> গতিপথ চালু থাকে।
- ৪। CO<sub>2</sub> এর অপেক্ষাকৃত কম ঘনত্বে C<sub>4</sub> গতিপথ চলতে পারে, তাই CO<sub>2</sub> কমের জন্য কার্বন বিজারণ বন্ধ হয় না।
- ৫। C<sub>4</sub> উভিদে প্রস্তুদেন ও ফটোরেসপিরেশন কম হয় বলে CO<sub>2</sub> এর বিজারণ বেশি হয়।
- ৬। C<sub>4</sub> উভিদের পাতায় Kranz অ্যানাটমির জন্য এর খাদ্য উৎপাদন ক্ষমতা বেশি ও অতি সহজভাবে এটি পরিবাহিত হতে পারে।

**CAM প্রক্রিয়া**

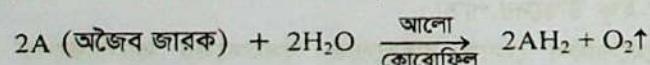
ক্রাসুলেসিয়ান অ্যাসিড মেটাবলিজম সংক্ষেপে CAM প্রক্রিয়া বলা হয়। Crassulaceae গোত্রের (পাথরকুচি গোত্র) উভিদে এ প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় বলে একে CAM নামকরণ করা হয়েছে। এসব উভিদে উষ্ণ আবহাওয়ায় বেঁচে থাকে। এসব উভিদে রাতে প্রত্রঙ্কগুলো খোলা থাকে। এর কারণ দিনের বেলায় এদের পাতায় জৈব অ্যাসিডের পরিমাণ কমে যায় যার ফলে pH এর মাত্রাও কমে যায় এবং রাতে জৈব অ্যাসিডের পরিমাণ বেড়ে যায় যার ফলে pH এর মাত্রা বেড়ে যায়। এ প্রক্রিয়ার বিক্রিয়ার ধাপগুলো C<sub>4</sub> বিক্রিয়ার মতোই।

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেন (O<sub>2</sub>)-এর উৎস : সবুজ উভিদের সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটি নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়।

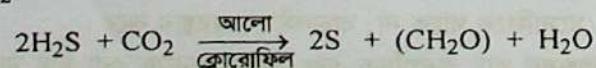


এতে দেখা যায়, এ প্রক্রিয়ায় এক অণু গুকোজ তৈরি হওয়ার মাধ্যমে ৬ অণু O<sub>2</sub> নির্গত হয়। বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে CO<sub>2</sub> ও H<sub>2</sub>O। অতএব, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের দুটি উৎস হতে পারে— একটি হলো CO<sub>2</sub> এবং অপরটি হলো H<sub>2</sub>O। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষাগুলো হতে এটি নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয়েছে যে, সালোকসংশ্লেষণের সময় যে O<sub>2</sub> নির্গত হয় তা H<sub>2</sub>O হতে আসে, CO<sub>2</sub> হতে নয়, অর্থাৎ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস হলো পানি (H<sub>2</sub>O)। পরীক্ষাগুলো নিম্নরূপ :

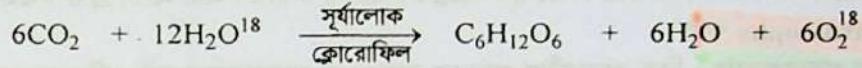
(i) হিল বিক্রিয়া : ১৯৩৭ খ্রিস্টাব্দে ইংরেজ প্রাণরসায়নবিদ রবিন হিল (Robin Hill) একটি পরীক্ষা করেন। তিনি CO<sub>2</sub> এর অনুপস্থিতিতে পৃথক্কৃত ক্রোরোপ্লাস্ট, পানি ও কিছু অজৈব জারক তথা হাইড্রোজেন গ্রাহক (hydrogen acceptor) একত্রে আলোতে রাখেন। পরীক্ষা শেষে দেখা যায় CO<sub>2</sub>-এর অনুপস্থিতিতে কোনো শর্করা তৈরি হয় না, কিন্তু অক্সিজেন নির্গত হয়। আসলে পানির হাইড্রোজেন অজৈব জারক তথা হাইড্রোজেন গ্রাহককে বিজারিত (reduced) করে এবং অক্সিজেন বের হয়ে আসে। হিলের এ পরীক্ষা হতে প্রমাণিত হয় যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস হলো পানি, সেই বিক্রিয়াটিই হলো হিল বিক্রিয়া। হিল বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :



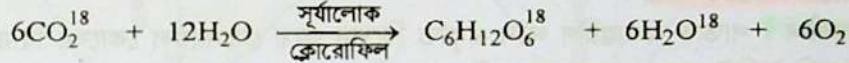
(ii) ভ্যান নীল (Van Niel)-এর পরীক্ষা : ভ্যান নীল সালোকসংশ্লেষণকারী সালফার ব্যাক্টেরিয়ার ক্ষেত্রে দেখান যে, সালফার ব্যাক্টেরিয়া পানির পরিবর্তে H<sub>2</sub>S গ্যাস ও CO<sub>2</sub> ব্যবহার করে শর্করা ও পানি উৎপন্ন করে। কিন্তু সেখানে কোনো অক্সিজেন নির্গত হয় না। তবে সালফার অণু নির্গত হয়। কাজেই এখানেও পরোক্ষভাবে প্রমাণিত হয় যে, সালোকসংশ্লেষণে নির্গত অক্সিজেনের উৎস পানি; CO<sub>2</sub> নয়।



(iii) কুবেন ও কামেন-এর তেজক্রিয় চিহ্নিতকরণ পরীক্ষা : ১৯৪১ খ্রিস্টাব্দে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের স্যামুয়েল কুবেন ও কামেন তেজক্রিয়  $O_2^{18}$  (অক্সিজেনের তেজক্রিয় আইসোটোপ) দ্বারা পানির অক্সিজেনকে চিহ্নিত করেন এবং এ পানিতে কতগুলো শৈবাল জাতীয় উজ্জিদ রেখে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার ফলাফল লক্ষ্য করেন।



দেখা গেল যে, নির্গত অক্সিজেন তেজক্রিয়। এতে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হলো যে, সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস পানি। একই পদ্ধতিতে কার্বন ডাই-অক্সাইড এর অক্সিজেনকে  $O_2^{18}$  দ্বারা চিহ্নিত করেন এবং স্বাভাবিক পানি ব্যবহার করে একই পরীক্ষা করা হলো।



এবার দেখা গেল যে, শর্করা ও পানিতে তেজক্রিয় অক্সিজেন বিদ্যমান। কিন্তু সালোকসংশ্রেষণের ফলে নির্গত অক্সিজেন মোটেও তেজক্রিয় নয়। কাজেই এটি সন্দেহাত্তিতভাবে প্রমাণিত হলো যে, সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত সবটুকু অক্সিজেনের উৎসই পানি। এর সামান্যতম অংশও কার্বন ডাই-অক্সাইড থেকে আসে না।

**সালোকসংশ্রেষণের প্রভাবকসমূহ** (Factors of Photosynthesis) : সালোকসংশ্রেষণ কতগুলো প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত হয়। প্রভাবকগুলো বাহ্যিক ও অভ্যন্তরীণ। প্রভাবকের উপস্থিতি, অনুপস্থিতি, পরিমাণের কম-বেশি সালোকসংশ্রেষণের পরিমাণও কম-বেশি করে থাকে। প্রভাবকগুলো নিম্নরূপ :

(ক) **বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ** : বেশ কিছু বাহ্যিক প্রভাবক রয়েছে যা সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়াকে প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে নিয়ন্ত্রণ করে থাকে।

১। **আলো** : সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় আলোর গুরুত্ব অপরিসীম। খাদ্য প্রস্তুতকরণে যে শক্তির প্রয়োজন হয় তা সূর্যালোক হতে এসে থাকে। সূর্যালোক ক্রোরোফিল সৃষ্টিতে অংশগ্রহণ করে। সূর্যালোকের প্রভাবেই পত্ররঞ্জ উন্মুক্ত হয়,  $CO_2$  পাতার অভ্যন্তরে প্রবেশ করতে পারে এবং খাদ্য প্রস্তুতকরণে অংশগ্রহণ করে। একটি নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত আলোর পরিমাণ বেড়ে গেলে সালোকসংশ্রেষণের পরিমাণও বেড়ে যায়। আলোক বর্ণালির সাতটি রঙের মধ্যে লাল, কমলা, নীল ও বেগুনি অংশই সালোকসংশ্রেষণে বেশি ব্যবহৃত হয়।

আলোর পরিমাণ অত্যধিক বেড়ে গেলে পাতার অভ্যন্তরস্থ অন্যান্য রাসায়নিক বিক্রিয়ার স্বাভাবিকতা নষ্ট হয়ে যায়, তাই সালোকসংশ্রেষণের হার কমে যায়।

২। **কার্বন ডাই-অক্সাইড ( $CO_2$ )** : কার্বন ডাই-অক্সাইড ছাড়া সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়া চলতে পারে না। কারণ এ প্রক্রিয়ায় যে খাদ্য প্রস্তুত হয় তা কার্বন ডাই-অক্সাইড বিজ্ঞারণের ফলেই হয়ে থাকে। উজ্জিদ বায়ুমণ্ডল হতে  $CO_2$  গ্রহণ করে থাকে। বায়ুমণ্ডলে  $CO_2$ -এর পরিমাণ শতকরা ০.০৪ ভাগ, কিন্তু এ প্রক্রিয়ায় উজ্জিদ শতকরা এক ভাগ পর্যন্ত  $CO_2$  ব্যবহার করতে পারে, তাই বায়ুমণ্ডলে কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাণ ১% পর্যন্ত বৃদ্ধি পাওয়ার সাথে সামঞ্জস্য রেখে সালোকসংশ্রেষণের পরিমাণও বেড়ে যায়।

৩। **পানি** : কার্বন ডাই-অক্সাইডের মতো পানিও এ প্রক্রিয়ার একটি কাঁচামাল। পানির পরিমাণ হ্রাস পেলে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারও কমে যায়। তাই সালোকসংশ্রেষণ কমে যেতে পারে। অপরপক্ষে পানির উপস্থিতিই রক্ষাকোষকে স্ফীত করে এবং পত্ররঞ্জ খুলে যায়। ফলে  $CO_2$  অভ্যন্তরে প্রবেশ করে। কাজেই পানির পরিমাণ কমে গেলে সালোকসংশ্রেষণের হার কমে আসে। পানি ভেঙ্গে  $O_2$  নির্গত হয় এবং  $NADPH + H^+$  তৈরি হয়।

৪। **তাপমাত্রা** : সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা বিশেষ প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। সাধারণত অতি নিম্ন তাপমাত্রায় ( $0^{\circ}$  সে.-এর কাছাকাছি) এবং অতি উচ্চ তাপমাত্রায় ( $45^{\circ}$  সে.-এর উপরে) এ প্রক্রিয়া চলতে পারে না। কতিপয় ব্যাক্টেরিয়া ও উষ্ণ প্রস্রবণের নীলাভ-সবুজ শৈবালে  $70^{\circ}$  সে. তাপমাত্রায়ও এ প্রক্রিয়া চলতে পারে। তবে  $45^{\circ}$  সে.-এর উপরে তাপমাত্রা উঠলে অধিকাংশ উজ্জিদেই এ প্রক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়।  $20^{\circ}$  সে. তাপমাত্রার নিচে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার হার কমে যায়। উজ্জিদের বিভিন্নতার উপর নির্ভর করে অন্তিমাম তাপমাত্রা  $22^{\circ}$  সে. হতে  $35^{\circ}$  সে. পর্যন্ত হয়ে থাকে।

৫। **অক্সিজেন** : বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেনের ঘনত্ব বেড়ে গেলে অধিকাংশ উজ্জিদেই সালোকসংশ্রেষণের হার কিছুটা কমে যায়। আর ঘনত্ব কমে গেলে সালোকসংশ্রেষণের হার বেড়ে যায়।

৬। **খনিজ পদার্থ :** ক্লোরোফিল তৈরির জন্য লোহ, ম্যাগনেসিয়াম ইত্যাদির প্রয়োজন হয়। মাটিতে এসব খনিজ পদার্থের অভাব হলে ক্লোরোফিল তৈরি করে যায়, ফলে সালোকসংশ্রেষণ হারও করে যায়।

৭। **বাইরে থেকে প্রাণ ভিটামিন বা অন্যান্য রাসায়নিক দ্রব্য :** কিছু শৈবাল বা অন্যান্য উদ্ভিদে বাইরে থেকে ভিটামিন বা অন্যান্য প্রয়োজনীয় দ্রব্য যদি না পায় তাহলে সালোকসংশ্রেষণ হয় না। কারণ এরা এসব দ্রব্য নিজে তৈরি করতে পারে না। এদেরকে **photoauxotrophs** বলে।

(খ) **অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ :** কিছু অভ্যন্তরীণ প্রভাবক রয়েছে যা সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়াকে নানাভাবে নিয়ন্ত্রণ করে।

৮। **পাতার বয়স :** পাতার বয়সও সালোকসংশ্রেষণে একটি প্রভাবক হিসেবে কাজ করে। একেবারে কচি পাতা এবং একেবারে বৃক্ষ পাতায় ক্লোরোফিলের পরিমাণ কম থাকে বলে সালোকসংশ্রেষণ কম হয়। **মাঝারি বয়সের পাতাই** অধিক পরিমাণে সালোকসংশ্রেষণ করতে পারে।

৯। **পাতার অঙ্গর্থন :** পাতার অভ্যন্তরীণ গঠন প্রকৃতি বিশেষ করে মেসোফিল কোষের বিন্যাস ও প্রকৃতি, পত্রদ্রোর সংখ্যা ও অবস্থান ইত্যাদি বৈশিষ্ট্য সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় ভূমিকা পালন করে।

১০। **ক্লোরোফিল :** ক্লোরোফিলই সূর্যালোকের শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে কার্বন বিজ্ঞানে সাহায্য করে থাকে। কাজেই ক্লোরোফিল সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার জন্য একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান। ক্লোরোফিলের অনুপস্থিতিতে কিছুতেই এ প্রক্রিয়া চলতে পারে না। ক্লোরোপ্রাস্টের অভ্যন্তরে সালোকসংশ্রেষণ হয়ে থাকে।

১১। **শর্করার পরিমাণ :** পাতার অভ্যন্তরে শর্করার পরিমাণ বেড়ে গেলে সালোকসংশ্রেষণের হার কমে যায়।

১২। **প্রোটোপ্রাজম :** প্রোটোপ্রাজমে পানির পরিমাণ, বিভিন্ন রাসায়নিক পদার্থের পরিমাণ ও ধরনের উপর সালোকসংশ্রেষণের হার অনেকটা নির্ভরশীল।

১৩। **পটাসিয়াম :** পটাসিয়ামের অভাবে সালোকসংশ্রেষণের পরিমাণ কমে যেতে দেখা যায়। কারণ, সম্ভবত এ প্রক্রিয়ার অগুঁটক হিসেবে পটাসিয়াম কাজ করে। পত্ররক্ত খোলাতে K<sup>+</sup> ভূমিকা রাখে।

১৪। **এনজাইম :** বহু ধারাবাহিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে সালোকসংশ্রেষণ সম্পন্ন হয়। কাজেই বিক্রিয়া সম্পন্নকারী প্রয়োজনীয় এনজাইমের উপস্থিতি ও পরিমাণও সালোকসংশ্রেষণ হার নিয়ন্ত্রণ করে থাকে।

### লিমিটিং ফ্যাক্টর (Limiting Factor) বা সীমাবদ্ধতা ফ্যাক্টর

বিভিন্ন পরিবেশমূলক ফ্যাক্টর, যথা-CO<sub>2</sub>, আলো, তাপ, পানি, অক্সিজেন ইত্যাদি একত্রে সালোকসংশ্রেষণের হার প্রভাবিত করে। উপরিউক্ত ফ্যাক্টরগুলোর মধ্যে কোনো একটি নির্দিষ্ট ফ্যাক্টর সালোকসংশ্রেষণের উপর যে প্রভাব বিস্তার করে তা এককভাবে অন্যান্য ফ্যাক্টর থেকে পৃথক করা কঠিন কাজ। এতদসত্ত্বেও সালোকসংশ্রেষণের উপর প্রভাব সম্পূর্ণ প্রতিটি ফ্যাক্টরের সর্বনিম্ন (minimum), উপর্যুক্ত (optimum) এবং সর্বোচ্চ (maximum) প্রভাব কি তার উপর ব্যাপক গবেষণা করা হয়েছে।

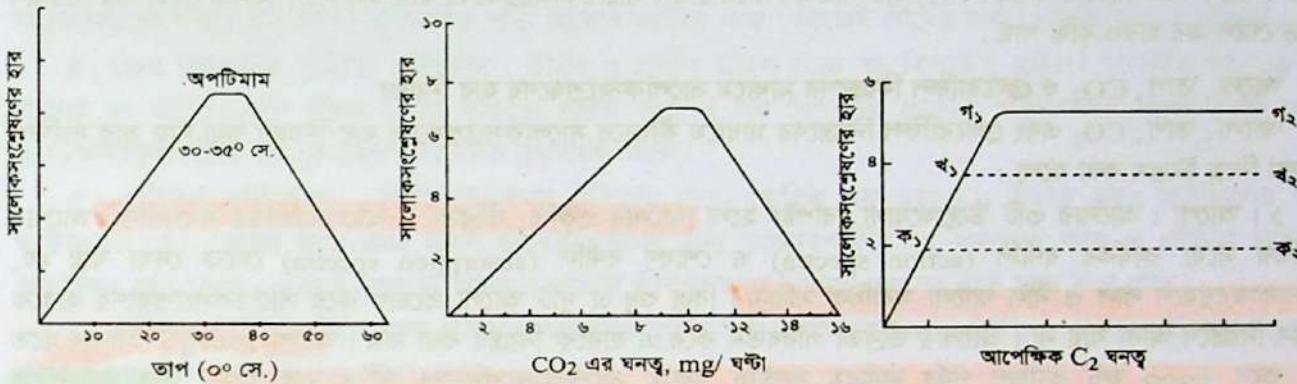
এ ব্যাপারে ১৮৪৩ খ্রিস্টাব্দে লিবিগ (Liebig, 1843) 'ল অব মিনিমাম' (Law of minimum) প্রস্তাব করেন। সূত্রটি নিম্নরূপ :

যদি একটি শারীরবিজ্ঞানিক প্রক্রিয়া একাধিক ফ্যাক্টর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তবে সবচেয়ে ধীর গতিসম্পন্ন ফ্যাক্টর (সর্বনিম্ন ফ্যাক্টর) দ্বারাই শারীরবিজ্ঞানিক প্রক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রিত হবে যাকে লিমিটিং ফ্যাক্টর বলে। ১৯০৫ সালে ব্ল্যাকম্যান (Blackman, 1905) 'ল অব মিনিমাম' (Law of minimum) এর উপর ভিত্তি করে 'ল অব লিমিটিং ফ্যাক্টর সূত্র' (Law of limiting factor) বা 'সীমাবদ্ধতা ফ্যাক্টর সূত্র' প্রস্তাব করেন। এ সূত্র অনুযায়ী যখন কোনো শারীরবিজ্ঞানিক প্রক্রিয়ার দ্রুততা (rapidity) কয়েকটি পৃথক ফ্যাক্টর দ্বারা প্রভাবিত হয় সে ক্ষেত্রে নিম্নতম গতিসম্পন্ন ফ্যাক্টর দ্বারাই এ প্রক্রিয়ার গতি সীমাবদ্ধ হবে। ব্ল্যাকম্যানের ভাষায় "When a process is conditioned as to its rapidity by a number of separate factors, the rate of the process is limited by the pace of the slowest factor."

সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় তাপমাত্রা, আলোর তৈর্যতা এবং CO<sub>2</sub> এর ঘনত্ব এই তিনটি লিমিটিং ফ্যাক্টর হিসেবে কাজ করে।

লিমিটিং ফ্যাক্টরের নীতি অনুযায়ী সালোকসংশ্রেষণ যে কোনো নির্দিষ্ট সময়ে শুধুমাত্র একটি ফ্যাক্টর দ্বারা সীমাবদ্ধ হয়। সালোকসংশ্রেষণের হার ঐ নির্দিষ্ট ফ্যাক্টরের সমানুপাতিক (proportional) অর্থাৎ ফ্যাক্টরটির পরিমাণ বাড়লে

সালোকসংশ্রেষণের হারও বাড়বে। কিন্তু এই ফ্যাক্টরটির পরিমাণ অপটিমাম মান (optimum value) থেকে অনেক বেশি হলে সালোকসংশ্রেষণের হারের উপর এর প্রভাব হঠাৎ বন্ধ হয়ে যায় এবং এর ছলে অন্য একটি ফ্যাক্টর সালোকসংশ্রেষণের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে। ২/৩টি উদাহরণ দ্বারা এ নীতিটি বোঝানো যায়।



চিত্র ৯.২৭ : সালোকসংশ্রেষণের উপর সীমাবদ্ধতা ফ্যাক্টর হিসেবে তাপের প্রভাব

চিত্র ৯.২৮ : সালোকসংশ্রেষণের হারের উপর  $\text{CO}_2$ -এর ঘনত্বের প্রভাব।

চিত্র ৯.২৯ : সালোকসংশ্রেষণের উপর সীমাবদ্ধতা ফ্যাক্টর হিসেবে আলোর তীর্যকতার প্রভাব।

30-35°C তাপমাত্রায় সালোকসংশ্রেষণের হার সবচেয়ে বেশি। অতএব 30-35°C সালোকসংশ্রেষণের অপটিমাম তাপমাত্রা। তাপমাত্রা 0°C থেকে ধীরে ধীরে উচ্চতর তাপমাত্রায় উন্নীত করলে সালোকসংশ্রেষণের হার সাথে সাথে বাড়তে থাকে এবং 30-35°C তাপমাত্রায় সালোকসংশ্রেষণের হার সবচেয়ে বেশি হয়। 35°C এর উপরে তাপমাত্রা বাড়ানো হলে সালোকসংশ্রেষণের হার হঠাৎ এবং দ্রুত কমে যায় (চিত্র ৯.২৭)। এখানে তাপমাত্রা হলো লিমিটিং ফ্যাক্টর।

অনুরূপভাবে,  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ সালোকসংশ্রেষণের হার নিয়ন্ত্রণকারী অপর একটি ফ্যাক্টর। যদি আলোকিত একটি পাতার ঘন্টায় 10 মিলিগ্রাম  $\text{CO}_2$  ব্যবহার করার সামর্থ্য থাকে কিন্তু ঐ পাতাকে ঘন্টায় 1 মিলিগ্রাম  $\text{CO}_2$  সরবরাহ করা হয় তবে  $\text{CO}_2$  লিমিটিং ফ্যাক্টর হিসেবে কাজ করবে। যদি  $\text{CO}_2$  এর সরবরাহ ধীরে ধীরে ঘন্টায় 1 হতে 2 মিলিগ্রাম, 2 হতে 3 মিলিগ্রাম বাড়ানো হয় তবে সালোকসংশ্রেষণের হারও বাড়বে এবং এ বর্ধিত হার সর্বোচ্চ পর্যায় পৌছবে যখন ঘন্টায় 10 মিলিগ্রাম  $\text{CO}_2$  সরবরাহ করা হয়।  $\text{CO}_2$  এর ঘনত্ব ঘন্টায় 10 মিলিগ্রামের উপরে হলে সালোকসংশ্রেষণের হার হঠাৎ কমে যাবে। এখানে  $\text{CO}_2$  হলো লিমিটিং ফ্যাক্টর (চিত্র ৯.২৮)।

নতুন একটি ফ্যাক্টর, ধরা যাক, আলো লিমিটিং ফ্যাক্টর হিসেবে কাজ করবে। আলোর তীর্যকতা (intensity of light) দ্বিগুণ বাড়লে সালোকসংশ্রেষণের হার দ্বিগুণ বেড়ে যায় এবং একটি স্থির হারে (constant rate) সালোকসংশ্রেষণ চলতে থাকে (চিত্র ৯.২৯ খ<sub>১</sub>-খ<sub>২</sub>)। আলোর তীর্যকতা তিনগুণ বাড়লে সালোকসংশ্রেষণের হার আরও বাড়ে, খ<sub>২</sub> হতে গ<sub>১</sub> এ উন্নীত হয় এবং গ<sub>১</sub> হতে গ<sub>২</sub> লাইনে প্রতিশীল হয়।

সমুদ্র সমতলে  $\text{CO}_2$  এর ঘনত্ব 300 পিপিএম এবং উচ্চ দ্রাঘিমাংশে (high altitude)  $\text{CO}_2$  এর ঘনত্ব কমতে থাকে। গম গাছে ০.১৫%  $\text{CO}_2$  ঘনত্বে সালোকসংশ্রেষণের হার সবচেয়ে বেশি থাকে। জলজ উজ্জিদে ১.১%  $\text{CO}_2$  ঘনত্ব পর্যন্ত সালোকসংশ্রেষণের হার বাড়তে থাকে। স্টিম্যান নীলসনের (Steemann Nielsen, 1955) মতে *Chlorella* এবং *Scenedesmus*-এ  $\text{CO}_2$ -এর উচ্চ ঘনত্ব সহ্য করার ক্ষমতা উচ্চ উজ্জিদের পাতা হতে বেশি। পাতায় বেশি  $\text{CO}_2$  সরবরাহ করলে পাতায় ক্ষতের সৃষ্টি হতে পারে। যেমন-টমেটো উজ্জিদে বেশি  $\text{CO}_2$  সরবরাহ করলে পাতায় ন্যাক্রোটিক অঞ্চল (necrotic area) সৃষ্টি হয়।

**একটি সহজ উদাহরণ :** রাত্রিতে আলোর তীব্রতা লিমিটিং ফ্যাক্টর, সকালে সূর্যের আলো শুরু হলে তাপ লিমিটিং ফ্যাক্টর এবং সূর্যের তাপ বাড়তে থাকলে  $\text{CO}_2$  এর ঘনত্ব লিমিটিং ফ্যাক্টর হিসেবে কাজ করে।

**সালোকসংশ্রেষণের হার/কোশেন্ট (Photosynthetic Quotient-P.Q) :** সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় সৌরশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে  $\text{CO}_2$  বিজ্ঞাপনের মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট উৎপাদন করে ও  $\text{O}_2$  পরিত্যক্ত হয়। এ প্রক্রিয়ায় শোষিত  $\text{CO}_2$  এর প্রায় সমপরিমাণ  $\text{O}_2$  পরিত্যক্ত হয়। নির্দিষ্ট সময়ে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায়  $\text{O}_2$  এবং  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণের অনুপাতকে সালোকসংশ্রেষণ হার বলে। সংক্ষেপে একে P.Q বলে। সালোকসংশ্রেষণের হার নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে হিসাব করা হয়।

$$\text{সালোকসংশ্রেষণ হার (P.Q)} = \frac{\text{O}_2 \text{ ত্যাগের পরিমাণ}}{\text{CO}_2 \text{ গ্রহণের পরিমাণ}} = \frac{1}{1} = 1$$

এ সমীকরণের মাধ্যমে সালোকসংশ্রেষণে কী পরিমাণ খাদ্যদ্রব্য তৈরি হয় তার ধারণা পাওয়া যায়। P.Q এর মান সব সময় । হয়। তবে কোনো কারণে  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ কমে গেলে সালোকসংশ্রেষণের হার কম হয়। আবার  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ বেড়ে গেলে এর হারও বৃদ্ধি পায়।

আলো, তাপ,  $\text{CO}_2$  ও ক্রোরোফিল নিয়ন্ত্রণের মাধ্যমে সালোকসংশ্রেষণের হার নিয়ন্ত্রণ

আলো, তাপ,  $\text{CO}_2$  এবং ক্রোরোফিল নিয়ন্ত্রণের মাধ্যমে কীভাবে সালোকসংশ্রেষণের হার নিয়ন্ত্রণ করা যায় তার সংক্ষিপ্ত বিবরণ নিম্নে উল্লেখ করা হলো :

১। **আলো** : আলোর ৩টি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য হলো আলোর প্রকৃতি, তীব্রতা ও আলোকপ্রাপ্তির সময়কাল। আলোর প্রকৃতির মধ্যে কার্যকর বর্ণালি (action spectra) ও শোষণ বর্ণালি (absorption spectra) থেকে দেখা যায় যে, সালোকসংশ্রেষণে লাল ও নীল আলো সর্বাধিক সক্রিয়। কিন্তু শুধু এ দুটি আলো প্রয়োগ করে সালোকসংশ্রেষণের হারকে তেমন নিয়ন্ত্রণে আনা যায় না। আলোর তীব্রতা পরিবর্তন করে এ হারকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়। আলো ১০০ ফুট ক্যান্ডল হতে শুরু করে ৩০০০ ফুট ক্যান্ডল পর্যন্ত বাড়িয়ে সর্বোচ্চ পর্যায়ে সালোকসংশ্রেষণকে উন্নীত করা যায়। তীব্র সূর্যালোকে ১০,০০০-১২,০০০ ফুট পর্যন্ত ক্যান্ডল পাওয়া যায়। কৃত্রিম পরিবেশে বা কাচের ঘরে নির্দিষ্ট পরিমাণ আলো নিয়ন্ত্রণ করে সালোকসংশ্রেষণ ঘটানো সম্ভব। আলোর সময়কাল, ছান ও ঝুঁতুভেদে বিভিন্ন হয়ে থাকে। জানা গেছে, দীর্ঘ অবিরাম আলোর তুলনায় সবিরাম আলোতে সালোকসংশ্রেষণ বেশি হয়। কারণ, দিনের বেলায় অবিরাম আলোতে সংশ্রেষিত সমষ্টি উপাদান আলোক-নিরপেক্ষ পর্যায়ে একই হারে ব্যবহার করতে পারে না। দীর্ঘদিনের আলো ১৪-১৬ ঘণ্টা পর্যন্ত সময় পেলেও তা সালোকসংশ্রেষণের কোনো কাজে লাগে না। অবিরাম আলো হলে ১০-১২ ঘণ্টায় সালোকসংশ্রেষণ সবচেয়ে বেশি পর্যায়ে পৌছানো সম্ভব। ফলে দীর্ঘ বা ছোট দিনে আলোকপ্রাপ্তি ও আলোর তীব্রতা নিয়ন্ত্রণ করে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে শর্করার উৎপাদন নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

২। **তাপ** : তাপ সালোকসংশ্রেষণের একটি প্রভাবক এবং এটি নিয়ন্ত্রণ করে সংশ্রেষণ হার কম-বেশি করা যায়। তাপ কম-বেশি করে আলোক পর্যায়ের বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করা যায় না। আলোক-নিরপেক্ষ পর্যায়ের ক্যালভিন চক্রকে সামান্য নিয়ন্ত্রণ করা যায়। সাধারণ অবস্থায় ১০°-৩০° সে. তাপমাত্রায় সালোকসংশ্রেষণের হার কয়েকগুণ বৃদ্ধি পায় (৩০° সে. থেকে ৩৫° সে. পর্যন্ত তা সর্বোচ্চ পর্যায়ে পৌছে)। সুতরাং কৃত্রিম পরিবেশে তাপমাত্রা নিয়ন্ত্রণের মাধ্যমে সালোক-সংশ্রেষণের হারকে বহুলভাবে নিয়ন্ত্রণ করা সম্ভব।

৩।  **$\text{CO}_2$**  : বায়ুতে  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ ০.০৩-০.০৮% পর্যন্ত ওঠা-নামা করে।  $\text{CO}_2$ -এর পরিমাণ বাড়িয়ে সালোকসংশ্রেষণের হার বৃদ্ধি করা যায়। পরীক্ষা থেকে দেখা গেছে, ০.৯-১% পর্যন্ত  $\text{CO}_2$  সালোকসংশ্রেষণের হারকে সর্বোচ্চ পর্যায়ে উন্নীত করা যায়। এ ক্ষমতা বিভিন্ন উক্তিদে বিভিন্ন রকম হয়ে থাকে, যেমন-১.১% পর্যন্ত  $\text{CO}_2$  এর পরিমাণ বায়ুতে বাড়িয়ে জলজ উক্তিদে সর্বোচ্চ সংশ্রেষণ হার পাওয়া গেছে, কিন্তু গম গাছে সর্বোচ্চ পর্যায়ে সংশ্রেষণ পাওয়া গেছে ০.১৫%  $\text{CO}_2$  ঘনত্বে। সুতরাং দেখা গেছে যে, পরিবেশে  $\text{CO}_2$  ঘনত্বের পরিমাণ কম-বেশি করে এর হারকে নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

৪। **ক্রোরোফিল** : ক্রোরোফিল সাধারণত ক্রোরোপ্লাস্টে থাকে। পাতায় ক্রোরোফিল-এর পরিমাণ সালোকসংশ্রেষণের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে থাকে।

#### জীবজগতে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার শুরুত

জীবজগতে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার শুরুত অপরিসীম। একে একটি প্রাকৃতিক জৈব রাসায়নিক শিল্প বলা যেতে পারে। নিচে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার শুরুত সম্বন্ধে বর্ণনা করা হলো :

১। **উক্তিদের খাদ্য প্রস্তুতি** : এ প্রক্রিয়ায় সবুজ উক্তিদের তাদের জন্য প্রয়োজনীয় খাদ্য তৈরি করে থাকে। কাজেই এ প্রক্রিয়ায় সবুজ উক্তিদের জীবনের মৌলিক চাহিদা মিটায়।

২। **প্রাণিকুলের খাদ্য** : প্রাণিজগৎ তার খাদ্যের জন্য সম্পূর্ণভাবে সবুজ উক্তিদের উপর নির্ভরশীল। প্রাণিজগতের সমুদয় খাদ্য উক্তিদেজগৎ সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় প্রস্তুত করে থাকে। কাজেই এ প্রক্রিয়ায় উক্তিদের উপর প্রত্যক্ষভাবে উক্তিদের জগৎ এবং পরোক্ষভাবে মানুষসহ সমন্বয়ে জীবজগৎ নির্ভরশীল।

৩। শক্তির উৎস : জীবজগতের শক্তির একমাত্র উৎস হল সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়া। আমরা কাজকর্ম, চলাফেরা, দৌড়, কুস্তি ইত্যাদিতে যে শক্তি খরচ করি তা আসে খাদ্য হতে, আর খাদ্য তৈরির প্রাথমিক বা মূল প্রক্রিয়া হল সালোকসংশ্রেষণ। কিন্তু খাদ্যে ঐ শক্তি কোথা হতে কিভাবে আসে? খাদ্যের মাঝে এ শক্তি আসে সূর্য হতে। সূর্যের এ শক্তি সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় খাদ্যে রাসায়নিক শক্তি হিসেবে আটকা পড়ে। কাজেই জীবের সকল শক্তির উৎস এ প্রক্রিয়া।

৪। জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া পরিচালন : উদ্ভিদ ও প্রাণীর জীবন চক্রে বহু বিপাকীয় প্রক্রিয়া সংঘটিত হয়। এ সব বিক্রিয়া না ঘটলে কোন জীবন টিকে থাকতে পারত না। এ সব বিপাকীয় প্রক্রিয়া পরিচালনার সকল শক্তি আসে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় সৃষ্টি জৈব রাসায়নিক দ্রব্যসমূহ হতে।

৫। পরিবেশ পরিশোধন : সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায়  $\text{CO}_2$  শোষণ হয় এবং  $\text{O}_2$  উৎপন্ন হয়। প্রাণিকুলের জন্য ক্ষতিকারক  $\text{CO}_2$  শোষণ করে এবং সকল জীবের শুসনের জন্য অত্যাবশ্যকীয়  $\text{O}_2$  সরবরাহ করে এ প্রক্রিয়া পরিবেশ পরিশোধন করে থাকে। এভাবে সবুজ উদ্ভিদের এ প্রক্রিয়া জীবজগতকে নিশ্চিত ধ্বন্সের হাত হতে রক্ষা করে।

৬। উদ্ভিদের দৈহিক বৃদ্ধি : সবুজ উদ্ভিদের স্বাভাবিক বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় খাদ্য, শক্তি ও অন্যান্য উপাদান প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্রেষণের মাধ্যমেই এসে থাকে।

৭। মানব সভ্যতায় অবদান : সালোকসংশ্রেষণ না থাকলে মানুষই থাকত না। তবুও বর্তমান মানবসভ্যতায় এ প্রক্রিয়ার অবদান অসীম। মানব সভ্যতার জন্য প্রয়োজনীয় কয়লা, পেট্রোল, রেয়ন, সেলোফেন, ফিল্ম, কাগজ, রবার, কুইনাইন, মরফিন, রেসারপিন ইত্যাদি সব কিছুই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ারই ফল।

মোটকথা উদ্ভিদ ও প্রাণী তথা সমগ্র জীবজগৎ তাদের খাদ্য, শক্তি ও জীবনসন্তান জন্য সম্পূর্ণভাবে সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ার উপর প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে নির্ভরশীল। কাজেই এ প্রক্রিয়ার গুরুত্ব বা তাৎপর্য অপরিসীম ও তুলনাবিহীন।

#### সালোকসংশ্রেষণে উৎপন্ন খাদ্য কোথায় যায়?

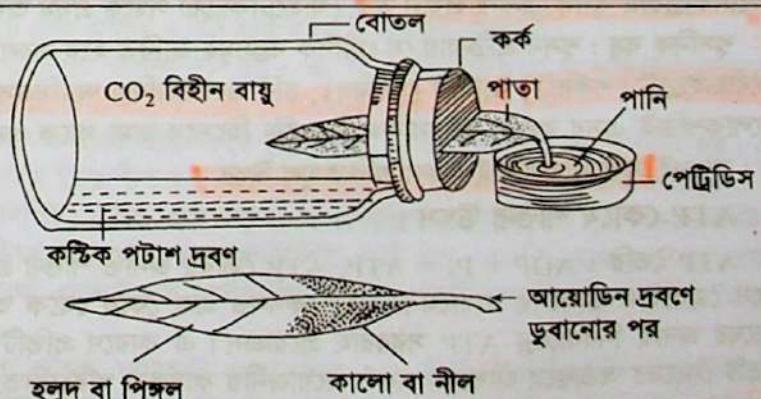
সালোকসংশ্রেষণের মাধ্যমে উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে শ্বেতসার বা স্টার্চ উৎপন্ন হয়। এটি একটি কঠিন পদার্থ। কাজেই উদ্ভিদ এটি সরাসরি ব্যবহার করতে পারে না, পাতায় তৈরি স্টার্চ প্রথমে গুকোজ ও পরবর্তীতে সুকরোজ-এ পরিবর্তিত হয়ে উদ্ভিদের বিভিন্ন অঞ্চলে সঞ্চালিত হয়। সালোকসংশ্রেষণ প্রক্রিয়ায় সাইটোসোলে সুকরোজ উৎপন্ন হয়। সুকরোজ সরাসরি উদ্ভিদের বিভিন্ন অংশে প্রবাহিত হয় এবং প্রয়োজনে ব্যবহৃত হয়। এর এক অংশ বিপাক্ত্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। বাড়ি অংশ সম্মত অঞ্চলে ভবিষ্যতের জন্য জমা হয়। বিভিন্ন কাজ-কর্ম চালানোর জন্য শুসন প্রক্রিয়ায় তা ভেঙে শক্তি উৎপন্ন করে। এক অংশ অন্য প্রকার খাদ্য যথা চর্বি, আমিষ প্রভৃতি তৈরিতে কাজে লাগে।

#### ব্যবহারিক : সালোকসংশ্রেষণে $\text{CO}_2$ গ্যাসের অপরিহার্যতাৰ পরীক্ষা।

পরীক্ষার উপকরণ : দ্বিতীয়পত্রী উদ্ভিদের একটি সবুজ পাতা, বড় মুখওয়ালা একটি কাচের বোতল ও বোতলের ছিপি, কস্টিক পটাশ দ্রবণ, একটি পেট্রিডিস, অ্যালকোহল, আয়োডিন দ্রবণ, ভেসেলিন।

কার্য পদ্ধতি : প্রথমে কিছু পরিমাণ কস্টিক পটাশ দ্রবণ বোতলের ভেতরে রাখতে হবে। সবুজ পাতাটিকে (যা সূর্যোদয়ের পূর্বে সংগ্রহ করা) বোতলের ছিপির মাঝে বরাবর দিয়ে এমনভাবে প্রবেশ করাতে হবে যেন পাতার বেঁটাসহ অর্ধেকটা ছিপির বাইরে থাকে, বাকি অর্ধেকটা বোতলের ভেতরে থাকে। এবার ভেসেলিন দিয়ে বোতলটাকে এমনভাবে বায়ুরোধক করতে হবে যেন কোনোক্রমেই বায়ু ( এবং

তার সাথে  $\text{CO}_2$ ) ভেতরে যেতে না পারে। পাতার বেঁটা পানিভর্তি একটি পেট্রিডিসে রাখতে হবে যেন প্রয়োজনীয় পানি শোষণ করতে পারে। এবার পরীক্ষণ সেটটিকে সূর্যালোকে রাখতে হবে। বিকেলে পাতাটিকে খুলে প্রথমে অ্যালকোহলে কতক্ষণ সিদ্ধ করতে হবে এবং পরে আয়োডিন দ্রবণে রাখতে হবে।



চিত্ৰ ৯.৩০ : সালোকসংশ্রেষণে  $\text{CO}_2$  গ্যাসের অপরিহার্যতাৰ পরীক্ষা