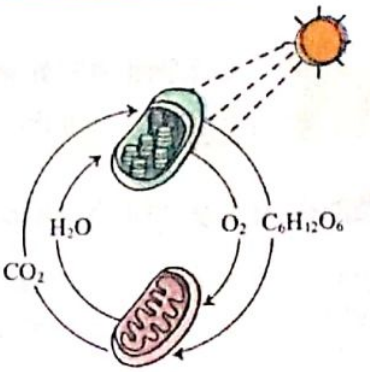
৯

উদ্ভিদ শারীরতত্ত্ব

Plant Physiology



প্রধান প্রধান শব্দ

- খনিজ লবণ
- প্রস্বেদন
- সালোকসংশ্লেষণ
- ফটোসিস্টেম
- ক্যালভিন চক্র
- শ্বসন
- গ্লাইকোলাইসিস
- ক্রেবস চক্র
- সাইটোক্রোম
- শ্বসন হার
- গাঁজন

উদ্ভিদবিজ্ঞানের একটি গুরুত্বপূর্ণ অধ্যায় হলো– উদ্ভিদ শারীরতত্ত্ব। উদ্ভিদের শারীরতাত্ত্বিক ঘটনাগুলো প্রকৃতপক্ষে উদ্ভিদ দেহাভ্যন্তরে সংঘটিত একাধিক জৈবিক ক্রিয়াকলাপের বহিঃপ্রকাশ মাত্র। এ জৈবিক প্রক্রিয়াগুলো পরিবেশের একাধিক বাহ্যিক ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত হয়। উদ্ভিদের বিভিন্ন জৈবনিক প্রক্রিয়ার মধ্যে পানি ও খনিজ লবণ শোষণ এবং পরিবহন, সালোকসংশ্লেষণ, শ্বসন, বৃদ্ধি, প্রজনন প্রভৃতি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। ১৭২৭ সালে ব্রিটিশ বিজ্ঞানী স্টিফেন হ্যালস্ (Stephen Hales) সর্বপ্রথম মন্তব্য করেন যে, উদ্ভিদ বাতাস থেকে কিছু খাদ্য গ্রহণ করে এবং সূর্যালোক হয়তো এখানে অংশ নেয়। এরূপ মন্তব্যের কারণে তাকে **উদ্ভিদ শারীরতত্ত্বের (Plant Physiology) জনক** হিসেবে বিবেচনা করা হয়। Physiology শব্দটি দুটি গ্রিক শব্দ Physis = nature এবং logos = discourse থেকে উদ্ভূত হয়েছে।

ক্রমবর্ধনশীল জনসংখ্যার খাদ্য নিরাপত্তা ও প্রাত্যহিক চাহিদা পূরণের জন্য শারীরতত্ত্বের তথ্যসমূহ বিভিন্নভাবে ব্যবহার করা যেতে পারে। পরিবেশগত প্রতিকূলতা এড়িয়ে জন্মাতে পারে এমন উদ্ভিদ উৎপাদনের জন্য উদ্ভিদ শারীরতত্ত্বের জ্ঞানের সার্থক প্রয়োগ আমাদের দেশের খাদ্য চাহিদা মেটাতে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রেখেছে এবং ভবিষ্যতেও রাখতে পারে।

এ অধ্যায়ের পাঠগুলো পড়ে যা যা শিখব

- উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ প্রক্রিয়া
- আধুনিক মতবাদসহ সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণ প্রক্রিয়া
- সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণ প্রক্রিয়ার মধ্যে তুলনা
- চিত্রসহ পত্ররন্ধ্রের গঠন
- পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল
- পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া
- ব্যবহারিক: পত্ররন্ধ্রের চিহ্নিত চিত্র অঙ্কন
- ক্যালভিন চক্র এবং হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র
- ক্যালভিন চক্র এবং হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্রের মধ্যে তুলনা
- সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় লিমিটিং ফ্যাক্টরের ভূমিকা
- ব্যবহারিক: সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষা
- সবাত শ্বসন প্রক্রিয়া
- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া
- শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার
- শ্বসনের প্রভাবকসমূহ
- ব্যবহারিক: অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ার পরীক্ষা

পাঠ পরিকল্পনা

পাঠ ১	উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ: নিষ্ক্রিয় শোষণ
পাঠ ২	উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ: সক্রিয় শোষণ
পাঠ ৩	প্রস্বেদন
পাঠ ৪	পত্ররন্ধ্র
পাঠ ৫	পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধের কৌশল
পাঠ ৬	ব্যবহারিক: পত্ররন্ধ্রের গঠন পর্যবেক্ষণ
পাঠ ৭	সালোকসংশ্লেষণ
পাঠ ৮	সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া: আলোক পর্যায়
পাঠ ৯	সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া: অন্ধকার পর্যায়
পাঠ ১০	সালোকসংশ্লেষণে প্রভাবকসমূহের ভূমিকা
পাঠ ১১	ব্যবহারিক: সালোকসংশ্লেষণে CO_2 গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষা
পাঠ ১২	শ্বসন
পাঠ ১৩	সবাত শ্বসন: গ্লাইকোলাইসিস
পাঠ ১৪	পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ ও ক্রেবস চক্র
পাঠ ১৫	ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম
পাঠ ১৬	অবাত শ্বসন
পাঠ ১৭	শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার
পাঠ ১৮	শ্বসন হার, শ্বসনের প্রভাবকসমূহ ও গুরুত্ব
পাঠ ১৯	ব্যবহারিক: অবাত শ্বসনে CO_2 গ্যাসের নির্গমন পরীক্ষা

CamScanner

পাঠ ১

উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ: নিষ্ক্রিয় শোষণ
Mineral Uptake in Plants: Passive Absorption

৯.১ উদ্ভিদের খনিজ পুষ্টি উপাদান (Mineral Nutrients of Plants)

উদ্ভিদের সুস্থ-স্বাভাবিক বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্য বেশ কিছু মৌল উপাদানের প্রয়োজন পড়ে। এসব উপাদানের মধ্যে কার্বন ও অক্সিজেন ভিন্ন অন্যান্য মৌল বা যৌগ যা লবণ হিসেবে মাটিতে অবস্থান করে। উদ্ভিদ প্রয়োজনীয় এসব উপাদান মাটি হতে মূলের সাহায্যে শোষণ করে। উদ্ভিদদেহে এ যাবৎ ৫৭টি মৌলের সন্ধান পাওয়া গেছে। এসব মৌলের মধ্যে ১৭টি প্রায় সকল উদ্ভিদেই পাওয়া যায় এবং এগুলো জীবনধারণের জন্য **অত্যাবশ্যকীয় উপাদান** (essential elements) বলে প্রমাণিত। কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ছাড়া সবকয়টি উপাদান উদ্ভিদ মাটি থেকে শোষণ করে। অত্যাবশ্যকীয় মৌলগুলোকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়। যথা-

১. **ম্যাক্রো পুষ্টি উপাদান (Macronutrients)**
এসব উপাদান উদ্ভিদের জন্য বেশি পরিমাণে প্রয়োজন হয়। অতিমাত্রায় প্রয়োজন পড়ে এরূপ পুষ্টি উপাদানের সংখ্যা ৯টি। যথা: কার্বন (C), অক্সিজেন (O), হাইড্রোজেন (H), নাইট্রোজেন (N), ফসফরাস (P), পটাসিয়াম (K), ক্যালসিয়াম (Ca),ম্যাগনেসিয়াম (Mg) ও সালফার (S)।

২. **মাইক্রো পুষ্টি উপাদান (Micronutrients)**
মাইক্রো পুষ্টি উপাদানগুলো অতি নগণ্য পরিমাণে উদ্ভিদের জন্য প্রয়োজন পড়ে এবং এদের অনুপস্থিতিতে জীবন প্রক্রিয়া বাধাগ্রস্থ হয়। মাইক্রো পুষ্টি উপাদান সাধারণত ৮টি। যথা: ম্যাঙ্গানিজ (Mn), জিঙ্ক (Zn), বোরন (B), কপার (Cu), মলিবডেনাম (Mo), ক্লোরিন (Cl), লৌহ (Fe) ও নিকেল (Ni)।

জেনে রাখো
- নাইট্রোজেনের অভাবে 'ক্লোরোসিস' হয়
- ফসফরাসের অভাবে উদ্ভিদের পাতা, ফুল ও ফল ঝরে যায়।
- বোরনের অভাবে ফুলের কুড়ি তৈরি ব্যাহত হয়।

এসব উপাদান ছাড়াও কিছু কিছু উদ্ভিদে বা বিশেষ টিস্যুতে সিলিকন, আয়োডিন, অ্যালুমিনিয়াম, কোবাল্ট প্রভৃতি মৌলের প্রয়োজন পড়ে। সেক্ষেত্রে এদের **উপকারী মৌল** বলে। যেমন– ঘাসের জন্য সিলিকন, আবার C_4 উদ্ভিদের জন্য সোডিয়াম, সামুদ্রিক শৈবালে আয়োডিন, লিগুম জাতীয় উদ্ভিদে কোবাল্ট।

নিচে ম্যাক্রো ও মাইক্রোমৌলের তালিকা ছকে দেখানো হলো—

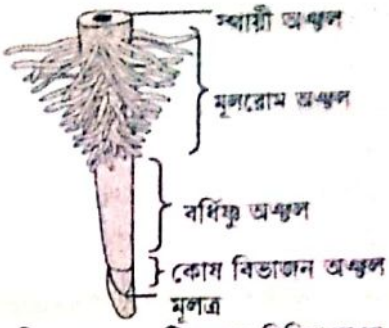
ম্যাক্রোমৌল	গ্রহণীয় রূপ	শুষ্ক ওজনের ঘনত্ব (m mol/kg)
১. হাইড্রোজেন (H)	H_2O	60,000
২. কার্বন (C)	CO_2	40,000
৩. অক্সিজেন (O)	O_2, CO_2, H_2O	30,000
৪. নাইট্রোজেন (N)	NO_3^-, NH_4^+	1000
৫. পটাসিয়াম (K)	K^+	250
৬. ক্যালসিয়াম (Ca)	Ca^{2+}	125
৭. ম্যাগনেসিয়াম (Mg)	Mg^{2+}	80
৮. ফসফরাস (P)	PO_4^{3-}	60
৯. সালফার (S)	SO_4^{2-}	30

মাইক্রোমৌল	গ্রহণীয় রূপ	শুষ্ক ওজনের ঘনত্ব (m mol/kg)
১. ক্লোরিন (Cl)	Cl^-	3.0
২. বোরন (B)	BO_3^-	2.0
৩. লৌহ (Fe)	Fe^{2+}, Fe^{3+}	2.0
৪. ম্যাঙ্গানিজ (Mn)	Mn^{2+}	1.0
৫. জিঙ্ক (Zn)	Zn^{2+}	0.3
৬. কপার/তামা (Cu)	Cu^{2+}	0.1
৭. নিকেল (Ni)	Ni^{2+}	0.05
৮. মলিবডেনাম (Mo)	MoO_4^{2-}	0.001

খনিজ পদার্থের ভূমিকা : খনিজ পদার্থ উদ্ভিদদেহে তিন ধরনের ভূমিকা পালন করে– গাঠনিক, তড়িৎ রাসায়নিক ও প্রভাবক। গাঠনিক উপাদান হিসেবে শর্করা, প্রোটিন, স্নেহ, নিউক্লিক অ্যাসিড প্রভৃতি সংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। কোষে আয়নের ভারসাম্য ও ম্যাক্রোঅণুর স্থিতাবস্থা রক্ষার কাজ করে। বিভিন্ন মৌলিক উপাদান কো-ফ্যাক্টর হিসেবে প্রোপরাসায়নিক বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।

৯.১.১ খনিজ লবণ শোষণ অঙ্গ (Mineral Absorbing Organs of Plant)

উদ্ভিদ C ও O_2 ছাড়া অন্য খনিজ লবণ মাটি হতে শোষণ করে। জলজ উদ্ভিদের বিভিন্ন নিমজ্জিত অঙ্গের ত্বকীয় কোষ খনিজ লবণ শোষণের উপযোগী, তবে যথার্থভাবে তা প্রমাণিত হয়নি। স্থলজ উদ্ভিদ মূলের সাহায্যে মৃত্তিকাস্থ পানিতে দ্রবীভূত লবণের বিভিন্ন আয়ন শোষণ করে। মূল শীর্ষের ১-২ মি. মি. পশ্চাতবর্তী বর্ধিষ্ণু অঞ্চলের নবীন কোষসমূহ খনিজ লবণ শোষণের জন্য বিশেষ উপযোগী। মূলরোম পানি শোষণ করলেও লবণ শোষণে এদের কোনো ভূমিকা নেই।



চিত্র-৯.১: একটি মূলের বিভিন্ন অংশ

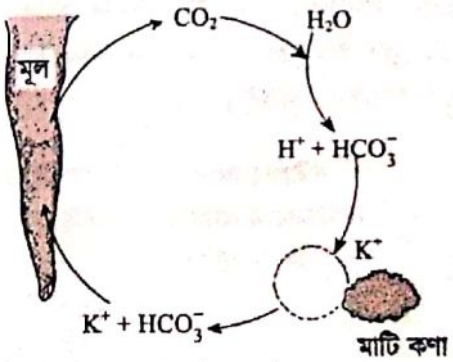
৯.১.২ খনিজ লবণের শোষণযোগ্য অবস্থা (Absorbable State of Minerals)

মাটিস্থ পানিতে খনিজ লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় থাকলেও উদ্ভিদ কখনও লবণের সম্পূর্ণ অণু শোষণ করতে পারে না। লবণগুলোকে কেবল আয়নিত অবস্থায় উদ্ভিদ শোষণ করতে পারে। বিভিন্ন খনিজ লবণ মাটিস্থ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় আয়নে পরিণত হয়, যেমন- KCl হতে K^+ ও Cl^- আয়ন উৎপন্ন হয়। পরবর্তীতে ক্যাটায়ন (K^+) ও অ্যানায়ন (Cl^-) হিসেবে এসব আয়ন পৃথকভাবে গৃহীত হয়। একই লবণের বিভিন্ন আয়ন শোষণের হার বিভিন্ন হতে দেখা যায়। যেমন Ca^{++} ও SO_4^{--} সবচেয়ে ধীর গতিতে আর K^+ ও NO_3^- সবচেয়ে দ্রুত গতিতে শোষিত হয় বলে মনে করা হয়। সাধারণ ক্যাটায়নগুলো (+) হলো K^+, Ca^{++}, Mg^{++}, Mn^{++}, Fe^{+++}, Cu^{++}, Zn^{++}, Co^{++}, Na^+ এবং সাধারণ অ্যানায়নগুলো (–) হলো NO_3^-, PO_4^{---}, Cl^-, SO_4^{--} প্রভৃতি। কোষঝিল্লি এসব আয়ন চলাচল (বাইরের সাথে কোষাভ্যন্তরে) নিয়ন্ত্রণ করে। মূলের ত্বকের কোষে মৌল গৃহীত হওয়ার পর সাইটোপ্লাজম বা সিমপ্লাস্টের মাধ্যমে কোষ হতে কোষান্তরে পৌঁছায়।

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

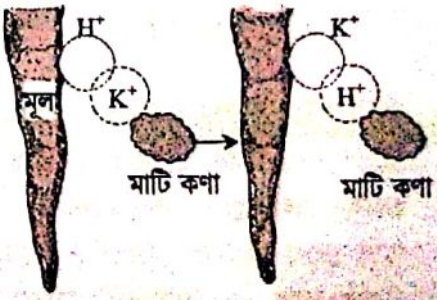
খনিজ লবণ মাটিস্থ দ্রবণে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে এবং ক্যাটায়নের কিছু পরিমাণ কলয়ডাল দানার গায়ে লেগে থাকতে পারে। কলয়ডাল দানার গায়ে লাগানো আয়নসমূহ আয়ন একচেঞ্জ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদের জন্য সহজলভ্য বলে মনে করা হয়। আয়ন একচেঞ্জ-এর জন্য দুটি মতবাদ প্রচলিত আছে। মতবাদ দুটি নিম্নরূপ-

i. কার্বন ডাইঅক্সাইড একচেঞ্জ মতবাদ : এ মতবাদ অনুযায়ী, যে CO_2 উদ্ভিদমূল শ্বসন প্রক্রিয়ায় সৃষ্টি করে তা মাটিস্থ পানির সাথে বিক্রিয়া করে কার্বনিক অ্যাসিড তৈরি করে। পরে এটি ভেঙে হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) এবং বাইকার্বনেট আয়ন (HCO_3^-) এ পরিণত হয়। কলয়ডাল দানার গায়ে যে ক্যাটায়ন লাগানো থাকে তা H^+ এর সাথে স্থান পরিবর্তন করে। অন্যদিকে HCO_3^- আয়নের জন্যও অ্যানায়নের সাথে বিনিময় ঘটে। এর ফলে মূলের শোষণ অঙ্গের কাছে উভয় প্রকার আয়নই সহজলভ্য হয়।



চিত্র-৯.২: কার্বন ডাইঅক্সাইড একচেঞ্জ মতবাদের চিত্ররূপ

ii. কনট্যাক্ট একচেঞ্জ মতবাদ : এ মতবাদ অনুযায়ী, কলয়ডাল দানার গায়ে লাগানো আয়ন স্থির অবস্থায় থাকে না এবং আয়নসমূহ কলয়ডাল দানার গায়ে স্বল্প জায়গায় কম্পিত হতে থাকে। মূলের গায়ের আয়নসমূহও একইভাবে কম্পিত হতে থাকে। এভাবেই দুই অবস্থানের আয়নসমূহের কম্পনের স্থান যদি সাধারণ অবস্থায় চলে আসে অর্থাৎ যুগপৎ ঘটে (overlap) তবেই ক্যাটায়ন একচেঞ্জ তথা এক ক্যাটায়নের সঙ্গে অন্য ক্যাটায়নের বিনিময় সংঘটিত হয়। এভাবে মূলের জন্য আয়ন সহজলভ্য হয়।



চিত্র-৯.৩: কনট্যাক্ট একচেঞ্জ মতবাদের চিত্ররূপ

৯.২ খনিজ লবণ শোষণ পদ্ধতি (Process of Mineral Absorption)

প্রয়োজনীয় খনিজ লবণ মাটিস্থ পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে আর উদ্ভিদ সেখান থেকে পৃথক পৃথকভাবে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন হিসেবে খনিজ লবণ শোষণ করে। তবে এখন পর্যন্ত সর্বজন স্বীকৃত লবণ শোষণ পদ্ধতি শনাক্ত হয়নি। সবাই মনে করেন, জীবকোষে বিভিন্ন পদার্থের শোষণ তাদের ঘনত্ব পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল। আবার, এর বিপক্ষেও অনেক সাক্ষ্য প্রমাণ পাওয়া যায়।

উদ্ভিদে খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া সম্বন্ধে প্রচলিত বিভিন্ন মতবাদ প্রধানত দু'শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয়; যথা: (ক) নিষ্ক্রিয় শোষণ ও (খ) সক্রিয় শোষণ।

৯.২.১ নিষ্ক্রিয় শোষণ (Passive Absorption)

Briggs ও Robertson (১৯৫৭) মত প্রকাশ করেন যে, উদ্ভিদের লবণ শোষণ সম্পূর্ণ ভৌত প্রক্রিয়ায় ঘটে এবং এজন্য কোনো জীবনীশক্তি (ATP) প্রয়োগের প্রয়োজন পড়ে না। **বিপাকীয় শক্তির ব্যবহার ছাড়া আয়ন শোষিত হলে সে প্রক্রিয়াকে নিষ্ক্রিয় শোষণ বলে**। নিচে কয়েকটি নিষ্ক্রিয় শোষণ মতবাদ উল্লেখ করা হলো-

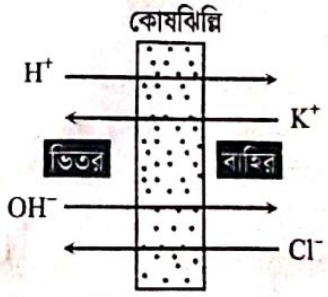
১. **ব্যাপন মতবাদ (Diffusion Theory)**

উদ্ভিদের কোষরসে আয়নের ঘনত্বের চেয়ে বহিঃমাধ্যমে খনিজ আয়নের পরিমাণ বেশি থাকলে খনিজের আয়ন ব্যাপন প্রক্রিয়ায় মূলের ত্বকীয় কোষে প্রবেশ করে। বিপাকীয় প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন আয়ন ব্যবহৃত হওয়ায় মূলের জীবন্ত কোষে আয়নের পরিমাণ কমতে থাকে (Hopeman ও Stevens, ১৯৫২)। তবে দেখা যায়, কোষে আয়নের ঘনত্ব বেশি থাকলেও উদ্ভিদে লবণ শোষণ চলতে থাকে, যা ব্যাপনের মাধ্যমে শোষণ মতবাদের পরিপন্থী।

২. **আয়ন বিনিময় মতবাদ (Ion Exchange Theory)**

পানির সাথে সংশ্লিষ্ট অধিকাংশ পদার্থ নেগেটিভ চার্জ বিশিষ্ট থাকে। মূলের ত্বকে অনেক ধরনের ক্যাটায়ন (+) বিপরীত চার্জের আকর্ষণে যুক্ত থাকে। এরূপ একটি ক্যাটায়নের বিনিময়ে মৃত্তিকাস্থ অন্য ক্যাটায়ন মূলত্বকে সংযুক্ত হয়। মূলত্বক হতে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় মৌলের আয়ন কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে ও সেখান থেকে বিভিন্ন অংশে পরিবাহিত হয়। মূলে যেসব আয়ন বেশি থাকে তাদের বিনিময়ে স্বল্পমাত্রার আয়ন গৃহীত হয়; যেমন- H^+ আয়নের পরিবর্তে K^+, Na^+, NH_4^+ ইত্যাদি। অনুরূপভাবে, OH^- আয়নের বিনিময়ে Cl^-, SO_4^{--} সহ কতিপয় অ্যানায়ন শোষণ ঘটে। Jonney, Overstreet, Devlin, Panday-Singha প্রমুখ বিজ্ঞানীগণ আয়ন বিনিময় মতবাদ সমর্থন করেন।

চিত্র-৯.৪: ব্যাপন মতবাদ অনুযায়ী নিষ্ক্রিয় পদ্ধতিতে আয়ন



চিত্র-৯.৫: আয়ন বিনিময় মতবাদ অনুযায়ী নিষ্ক্রিয় পদ্ধতিতে আয়ন শোষণ

৩. **ডোনান সাম্যাবস্থা মতবাদ (Donnan Equillibrium Theory)**

কতিপয় পদার্থের আয়ন কোষঝিল্লির মাধ্যমে ব্যাপন ঘটাতে পারে না। যেমন— প্রোটিন অণুর আয়তনের কারণে কোষঝিল্লির মাধ্যমে এর ব্যাপন বাধাপ্রাপ্ত হয়। এরূপ আয়নকে যুক্ত (fixed) আয়ন বলে। কোষঝিল্লির অভ্যন্তরীণ তলে বেশি পরিমাণ নেগেটিভ চার্জের প্রোটিন যুক্ত হলে একে নিরপেক্ষ করার জন্য বাইর থেকে ক্যাটায়ন কোষে প্রবেশ করে এবং আয়নের সাম্যতা আনয়ন করে। ১৯২৭ খ্রিস্টাব্দে **F.G. Donnan** এ মত প্রকাশ করেন। তার মতে, আয়নের ভারসাম্য প্রতিষ্ঠা না হওয়া পর্যন্ত এভাবে আয়ন শোষণ চলতে থাকে।

CamScanner

৪. ব্যাপক প্রবাহ মতবাদ (Mass Flow Theory)

Hylmo (১৯৫৫), Kramen (১৯৫৬) প্রমুখ বিজ্ঞানী মনে করেন যে, প্রস্বেদনের সময় যখন ব্যাপক পরিমাণে পানি শোষণ ঘটে তখন প্রস্বেদনের টানে পানির সাথে খনিজ লবণের আয়নগুলিও পরিশোষিত হয়। এ মতবাদটি বর্তমানে তেমন গ্রহণযোগ্য নয়।

শ্রেণির কাজ

উদ্ভিদের স্বাভাবিক বৃদ্ধি ও বিকাশের জন্য মাইক্রো ও ম্যাক্রোনিউট্রিয়েন্টের একটি তালিকা তৈরি করো ও শ্রেণিশিক্ষককে দেখাও।

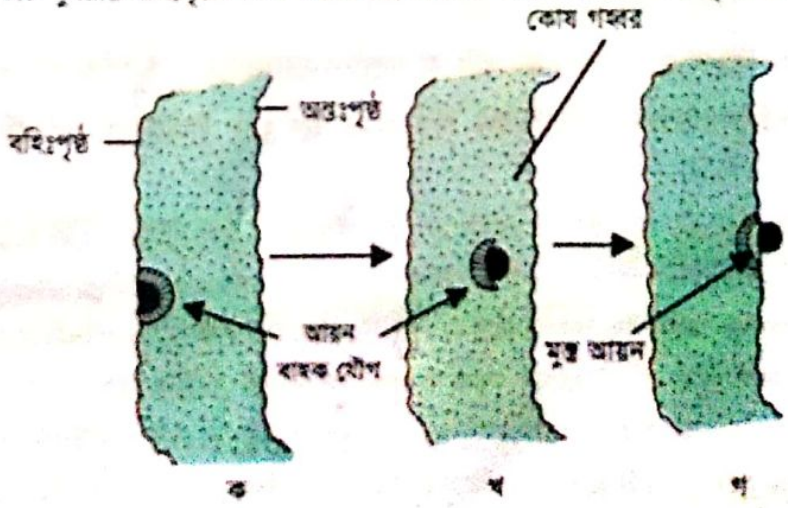
পাঠ ২ উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ: সক্রিয় শোষণ
Mineral Uptake in Plants: Active Absorption

৯.৩ সক্রিয় শোষণ (Active Absorption)

মাটিস্থ দ্রবণে নির্দিষ্ট আয়নের ঘনত্বের চেয়ে মূলরোমের কোষরসে বিদ্যমান সে আয়নের ঘনত্ব বেশি হওয়া সত্ত্বেও তা মূলরোমে অনুপ্রবেশ করতে দেখা যায়। নিম্নতাপমাত্রা, স্বল্প অক্সিজেন বা বিপাকে বাধাদানকারী পদার্থের উপস্থিতিতে বিপাকের হার হ্রাস পাওয়ার সাথে সাথে উদ্ভিদের লবণ শোষণ দ্রুত হ্রাস পায়। এজন্য উদ্ভিদের লবণ শোষণ বিপাকীয় শক্তির সাহায্যে হয় বলে Steward, Hopkins, Turner প্রমুখ বিজ্ঞানীগণ মত প্রকাশ করেন। বিপাকীয় শক্তির ব্যবহার দ্বারা আয়ন শোষিত হলে সে প্রক্রিয়াকে **সক্রিয় শোষণ** বলে। সক্রিয় লবণ শোষণ মতবাদগুলো নিম্নরূপ-

৯.৩.১ আয়ন বাহক মতবাদ (Carrier Concept of Ion)

বিজ্ঞানী **Vanden Honet** (১৯৩৭) এর মতে, কোষঝিল্লি ভেদ করে পদার্থের আয়ন সরাসরি কোষে প্রবেশ করতে পারে না। অভেদ্য এ অংশে এক ধরনের বাহক থাকে। এ বাহক অণু কোষঝিল্লির বহিঃপৃষ্ঠে মুক্ত আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে **আয়ন-বাহক যৌগ** সৃষ্টি করে এবং মধ্যবর্তী অভেদ্য অঞ্চল পার হওয়ার পর ভিতরের অংশে আয়নকে মুক্ত করে। নতুন আয়ন গ্রহণের জন্য বাহকটি পুনরায় বহিঃপৃষ্ঠে গমন করে এবং আগের মতো আয়নকে অন্তঃপৃষ্ঠে বহন করে আনে।

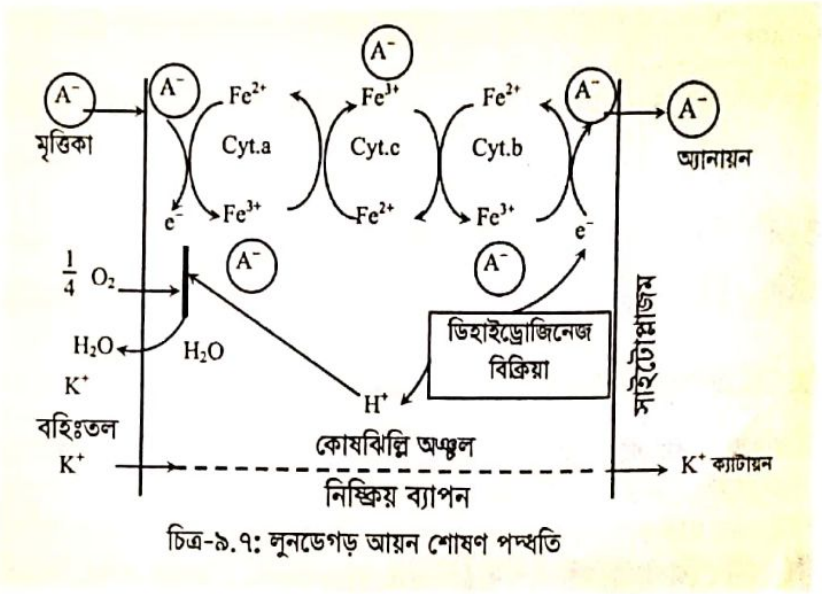


চিত্র-৯.৬: ক, বাহক অণু বহিঃপৃষ্ঠে আয়নের সাথে যুক্ত হয়; খ, আয়ন-বাহক যৌগ স্থানান্তর; গ, বাহক হতে আয়ন অন্তঃপৃষ্ঠে মুক্ত হয়

বিভিন্ন আয়নের জন্য ভিন্ন ভিন্ন বাহক রয়েছে এবং বাহকের এ কাজের জন্য বিপাকীয় শক্তির প্রয়োজন হয়।

৯.৩.২ লুনডেগড় আয়ন শোষণ মতবাদ (Ion-Absorption Theory of Lundigardth)

Lundigardth (১৯৫৫) এর মতে, শ্বসন শক্তি ব্যবহার করে কোষে অ্যানায়ন শোষিত হয়। কোষে অ্যানায়নের পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে আয়নের সমতা বিধানের জন্য সমসংখ্যক ক্যাটায়ন ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কোষে অনুপ্রবেশ করে। কোষঝিল্লির বহিঃতলে সাইটোক্রোমের (cytochrome) জারণ ঘটে (Fe^{3+}) ও অন্তঃতলে সাইটোক্রোম বিজারিত (Fe^{2+}) হয়। জারিত অবস্থায় সাইটোক্রোম একটি ইলেকট্রন ত্যাগ করে এবং বহিঃতল থেকে অ্যানায়ন গ্রহণ করে।



চিত্র-৯.৭: লুনডেগড় আয়ন শোষণ পদ্ধতি

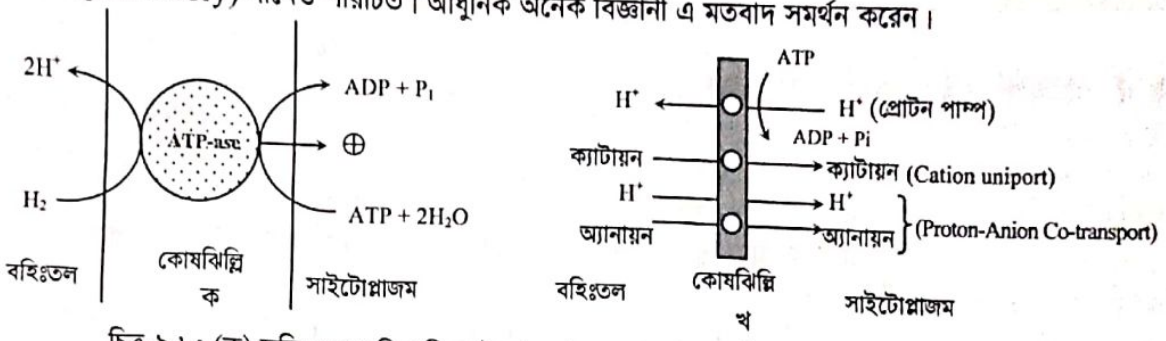
অ্যানায়ন সাইটোক্রোম চেইন এর মাধ্যমে অন্তঃতলের দিকে ধাবিত হয়। এসময় মুক্ত ইলেকট্রনটি প্রোটন (H^+) ও অক্সিজেনের সাথে মিলিত হয়ে পানি উৎপন্ন করে। অন্তঃতলে ডিহাইড্রোজিনেজ বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন ভেঙে প্রোটন (H^+) ও ইলেকট্রন (e^-) তৈরি হয়। এ ইলেকট্রন অন্তঃতলে জারিত সাইটোক্রোমের সাথে যুক্ত হয় এবং সাইটোক্রোম বিজারিত হয়ে অ্যানায়ন ত্যাগ করে। এ মতবাদে সাইটোক্রোম বাহকের ভূমিকা পালন করার কারণে মতবাদটি **সাইটোক্রোম পাম্প (cytochrome pump)** মতবাদ নামেও পরিচিত।

৯.৩.৩ তড়িৎ-রাসায়নিক বিভব বৈসাম্যতা মতবাদ বা প্রোটন-অ্যানায়ন সহ-পরিবহন তত্ত্ব (Electro-Chemical Potential Gradient Hypothesis Or Proton-anion co-transport Theory)

বিজ্ঞানী **Piter Mitchell** (১৯৬৮) মত প্রকাশ করেন যে, কোষঝিল্লির উভয় পার্শ্বের তড়িৎ এবং রাসায়নিক বিভব বৈসাম্যতার (potential gradient = বাইরে +ve চার্জ বেশি আর ভেতরে কম এবং pH gradient = বাইরে pH কম আর ভেতরে বেশি) জন্য কোষে অ্যানায়ন শোষণ ঘটে। এ দু'টি ঘটনাকে একত্রে Electro-chemical potential gradient বলে। বাইরের দ্রবণ হতে প্রতিটি আয়ন কোষ পর্দামধ্যস্থ নির্দিষ্ট প্রোটিন বাহক দিয়ে বাহিত হয়ে কোষের মধ্যে প্রবেশ করার জন্য যে চালিকা শক্তি (motive force) প্রয়োজন হয় তা ATP ভাঙনের মাধ্যমে আসে, একে **Proton Motive Force** বলে। ATP-ase এনজাইমের প্রভাবে কোষের ভেতর ATP ভেঙে ADP ও iP (অজৈব ফসফেট) তৈরি হয় এবং এসময়ে পানি ভেঙে OH^-ও H^+ আয়ন উৎপন্ন হয়। সৃষ্ট প্রোটন (H^+) কোষঝিল্লি ভেদ করে বেরিয়ে যায় এবং একে **প্রোটন পাম্প বলে**। এর ফলে কোষের সাথে বাইরের প্রোটন সাম্যতা বিভেদ (উপর্যুক্ত দু'প্রকার) সৃষ্টি হয়। প্রোটন মোটিভ ফোর্স তৈরি হলেই বাহক প্রোটিন অণুগুলো সক্রিয় হয় এবং ক্যাটায়নগুলোকে ভেতরে আনে।

CamScanner

এসময় প্রোটনও বাইরে থেকে ভেতরে ঢুকতে চায়। তখন প্রোটন-অ্যানায়ন সহপরিবহন প্রক্রিয়ায় নির্দিষ্ট প্রোটিন বাহকের মাধ্যমে ভেতরে প্রবেশ করে। সে কারণে এ মতবাদটি **প্রোটন-অ্যানায়ন সহ-পরিবহন তত্ত্ব** (proton-anion co-transport theory) নামেও পরিচিত। আধুনিক অনেক বিজ্ঞানী এ মতবাদ সমর্থন করেন।



চিত্র-৯.৮: (ক) তড়িৎ রাসায়নিক বিভব বৈসাম্যতার মতবাদ (খ) প্রোটন– অ্যানায়ন সহ-পরিবহন তত্ত্ব

৯.৩.৪ লেসিথিন বাহক ধারণা (Lacithin carrier concept)

Bennet Clark (1956) নামক বিজ্ঞানী মনে করেন, লেসিথিন নামক ফসফোলিপিড আয়ন বাহক হিসেবে কাজ করে। লেসিথিন কোষঝিল্লির বাইরের তলে অ্যানায়ন ও ক্যাটায়ন গ্রহণ করে একটি যৌগ তৈরি করে ভেতরের তলে নিয়ে যায়। যৌগটি ভেতরের তলে কোলিন-ফসফোটাইডিক অ্যাসিড এ ভেঙে গিয়ে আয়ন দুটিকে মুক্ত করে। এ কাজে ATP প্রয়োজনীয় শক্তির যোগান দেয়।

৯.৪ লবণ শোষণের প্রভাবকসমূহ (Factors of Mineral Absorption)

উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ কিছু প্রভাবক দ্বারা প্রভাবিত হয়। উদ্ভিদের লবণ শোষণের কয়েকটি প্রভাবক নিচে উল্লেখ করা হলো-

১. **তাপমাত্রা:** পরিবেশের তাপমাত্রা লবণ শোষণের ওপর প্রভাব বিস্তার করে। নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে লবণ শোষণ বৃদ্ধি পায়। নিম্ন বা অতি উচ্চ তাপমাত্রায় লবণ শোষণের হার কমে যায় বা বন্ধ হয়।

২. **আয়নের ঘনত্ব:** মাটিতে আয়নের ঘনত্ব বাড়লে নির্দিষ্ট সীমা পর্যন্ত লবণ শোষণ বৃদ্ধি পায়।

৩. **আলো:** আলো উদ্ভিদের বিভিন্ন বিপাকীয় প্রক্রিয়ার সাথে জড়িত। বিপাকীয় প্রক্রিয়ার হ্রাস-বৃদ্ধির সাথে লবণ শোষণের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে। সেজন্য আলো লবণ শোষণে পরোক্ষ প্রভাব ফেলে থাকে।

৪. **অক্সিজেন:** অক্সিজেনের উপস্থিতি শ্বসন ক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণ করে। শ্বসনের সাথে উদ্ভিদের লবণ শোষণের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে।

৫. **আয়নের মিথস্ক্রিয়া:** কোনো কোনো আয়নের উপস্থিতিতে অন্য আয়নের শোষণ প্রভাবিত হয়, যেমন-ক্যালসিয়াম (Ca^{++}) আয়নের উপস্থিতিতে ম্যাগনেসিয়াম (Mg^{++}) আয়নের শোষণ কমে যায়।

৬. **বাহক অণুর বন্ধনী:** কোনো কোনো আয়ন বাহক অণুর একই স্থানে যুক্ত হয় বলে পরস্পরের প্রতিযোগীরূপে আয়ন শোষণ প্রভাবিত করে।

৭. **প্রস্বেদন:** প্রস্বেদনের জন্য জাইলেম ভেসেলে যে শোষণ টান সৃষ্টি হয় তার ফলে অনেকাংশে লবণ শোষণ ঘটে। প্রস্বেদনের হ্রাস-বৃদ্ধি দিয়ে লবণ শোষণ প্রভাবিত হয়।

৮. **বৃদ্ধি অঞ্চল:** সক্রিয় কোষ বিভাজন অঞ্চল ও বৃদ্ধি অঞ্চলে লবণ পরিশোষণ বেশি হয়।

৯. **শ্বসনিক বস্তু:** শ্বসনিক বস্তু কম থাকলে শ্বসন হার কম হয়, ফলে লবণ পরিশোষণ হারও কমে যায়।

বাড়ির কাজ

উদ্ভিদের লবণ শোষণে দুনডেগড় আয়ন শোষণ মতবাদ ও লবণ শোষণের প্রভাবকসমূহের উপর একটি প্রতিবেদন তৈরি করো।

পাঠ ৩

প্রস্বেদন
Transpiration

৯.৫ প্রস্বেদন (Transpiration)

উদ্ভিদ মাটি থেকে মূলের সাহায্যে পানি শোষণ করে এবং সেই পানি পাতা পর্যন্ত পৌছায়। তবে শোষিত পানির খুব সামান্য অংশ (১%) বিপাক প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। প্রয়োজনের অতিরিক্ত শোষিত পানি (৯৯% পর্যন্ত) দেহ থেকে নিষ্কাশনের প্রয়োজন পড়ে। উদ্ভিদ প্রধানত পত্ররন্ধ্র বা ত্বকীয় পথে প্রয়োজনের অতিরিক্ত পানি বাষ্পাকারে বায়ুমণ্ডলে ত্যাগ করে। **যে শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদের পাতা বা অন্যকোনো অঙ্গ দিয়ে প্রয়োজনের অতিরিক্ত পানি বাষ্পাকারে নির্গত হয়ে যায়, তাকে প্রস্বেদন বলে।**

সাধারণত পাতার গঠন চওড়া এবং চ্যাপ্টা। দুই ত্বকের মধ্যবর্তী ক্লোরোফিল বিশিষ্ট মেসোফিল টিস্যুর মাঝে মাঝে পরিবহন টিস্যুগুচ্ছ বিন্যস্ত থাকে। মেসোফিলের কোষগুলো ঢিলাভাবে বিন্যস্ত এবং আন্তঃকোষীয় ফাঁকাস্থান বেশি থাকে।

প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় পাতার মেসোফিল টিস্যুর কোষ সাধারণত পানি হারাতে থাকে। অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পানি পত্ররন্ধ্র খোলা হলে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় জলীয়বাষ্প পত্ররন্ধ্রীয় গহ্বর হয়ে পাতার বাইরে বেরিয়ে যায়। পানি হারিয়ে মেসোফিলের কোষরসের ঘনত্ব বেড়ে যায়। এর ফলে জাইলেমের পানিস্তম্ভে যে শোষণ টানের সৃষ্টি হয় তা মূল পর্যন্ত বিস্তার লাভ করে এবং মূল থেকে পানি পাতায় পৌছায়। প্রস্বেদনের ফলে মরুভূমির একটি খেজুর গাছ দৈনিক ৩০০-৪০০ লিটার পানি হারায়। একটি ভূট্টা গাছ হতে প্রতি মৌসুমে (৩-৪ মাস) ২০০-৩০০ লিটার পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে যায়। এছাড়া বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বাড়লে প্রস্বেদন হার বৃদ্ধি পায়।

পাতায় প্রস্বেদনের জন্য সৃষ্ট শোষণ টানের দ্বারা পানি উত্তোলনকে **প্রস্বেদন প্রবাহ** (transpiration stream) বলে।

৯.৫.১ প্রস্বেদনের প্রকারভেদ (Types of Transpiration)

প্রস্বেদন অঙ্গের ভিত্তিতে উদ্ভিদের প্রস্বেদনকে তিন ভাগে ভাগ করা হয়, যথা: (১) পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন, (২) ত্বকীয় প্রস্বেদন ও (৩) লেন্টিকুলার প্রস্বেদন।

১. **পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন (Stomatal Transpiration) :** উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে যে প্রস্বেদন ঘটে তাকে পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন বলে। মোট প্রস্বেদনের ৯০-৯৫% পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। উদ্ভিদদেহে প্রস্বেদনের প্রধান অঙ্গ পত্ররন্ধ্র। পাতার ত্বকে অতিক্ষুদ্র যে ছিদ্রপথ বিশেষ আকৃতির রক্ষীকোষ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাকে পত্ররন্ধ্র বলে। **তাই পাতাই প্রস্বেদনের প্রধান অঙ্গ।** বিষমপৃষ্ঠ পাতার নিম্নত্বকে এবং সমাঙ্গপৃষ্ঠ পাতার উভয় ত্বকে পত্ররন্ধ্র উপস্থিত থাকে। কচি কাণ্ডের ত্বকেও অনেক সময় পত্ররন্ধ্র দেখা যায়। পাতায় প্রতি বর্গ সেন্টিমিটারে প্রজাতিভেদে ১,০০০-৬০,০০০ পর্যন্ত পত্ররন্ধ্র থাকতে পারে।

২. **ত্বকীয় প্রস্বেদন (Cuticular Transpiration) :** উদ্ভিদের পাতা ও কাণ্ডের ত্বকের মাধ্যমে উদ্ভিদের ত্বকীয় প্রস্বেদন সম্পন্ন হয়ে থাকে। উদ্ভিদের বায়বীয় অঙ্গে ত্বকের উপরিভাগে কিউটিকল নামক মোমজাতীয় পদার্থের স্তর থাকে বলে ত্বকীয় প্রস্বেদনের হার অত্যন্ত সীমিত। প্রজাতিভেদে এবং পরিবেশের উপর নির্ভর করে কিউটিকলের পুরুত্ব কম বেশি হয়। যেসব উদ্ভিদ আর্দ্র, ছায়াময় পরিবেশে জন্মে তাদের কিউটিকল খুব পাতলা থাকে। এ ধরনের উদ্ভিদে ত্বকীয় প্রস্বেদনের হার বেশি হয়। মরুজ উদ্ভিদের কিউটিকল বেশি পুরু থাকে বলে এদের ত্বকীয় প্রস্বেদন অত্যন্ত কম হয়।

৩. **লেন্টিকুলার প্রস্বেদন (Lenticular Transpiration) :** উদ্ভিদের সেকেন্ডারি বৃদ্ধির ফলে অনেক সময় কাণ্ডের কর্ক টিস্যুর কিছু কিছু স্থান ফেটে গিয়ে **লেন্টিসেল (lenticel)** তৈরি হয়। লেন্টিসেল দিয়ে কিছু কিছু পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে যায়। একে লেন্টিকুলার প্রস্বেদন বলে। লেন্টিসেল পেরিডার্ম স্তরে দ্বিউত্তল আকৃতিতে অবস্থান করে এবং সব সময় খোলা থাকে। এজন্য দিন রাত্রি সমানভাবে লেন্টিকুলার প্রস্বেদন চলতে থাকে। তবে প্রস্বেদনের পরিমাণ অতি সামান্য। উদ্ভিদ প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় যে পরিমাণ পানি হারায় তার প্রায় ১% লেন্টিকুলার প্রস্বেদনের মাধ্যমে হয়ে থাকে।

CamScanner

৯.৫.২ প্রস্বেদনের প্রভাবকসমূহ (Catalyst of Transpiration)

প্রস্বেদনের প্রভাকসমূহকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়; যথা : বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ এবং অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ।

বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ : বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ নিম্নরূপ-

১. **আলো:** প্রখর সূর্যালোক স্বাভাবিকভাবেই বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করে, যার ফলে বায়ুর আপেক্ষিক আর্দ্রতা হ্রাস পায় এবং প্রস্বেদনের হার বেড়ে যায়। আলোর উপস্থিতিতে পত্ররন্ধ্র খোলা থাকে এবং আলোর অনুপস্থিতিতে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়; আর পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার উপরই বেশির ভাগ প্রস্বেদন নির্ভরশীল। এ সমস্ত কারণেই প্রস্বেদনের হ্রাস-বৃদ্ধিতে আলোর গুরুত্ব অপরিসীম। **নীল আলো পত্ররন্ধ্র খোলা ত্বরান্বিত করে।**

২. **তাপমাত্রা :** তাপের হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে প্রস্বেদন হারেরও হ্রাস-বৃদ্ধি হয়ে থাকে। কারণ তাপ বাড়লে বায়ুমণ্ডলের জলীয়বাষ্প ধারণ ক্ষমতা বেড়ে যায়, আপেক্ষিক আর্দ্রতা কমে যায়, ফলে বায়ু অধিক পরিমাণ জলীয়বাষ্প শোষণ করতে পারে। অপরদিকে তাপ বাড়লে পানি দ্রুত বাষ্পে পরিণত হয় এবং প্রস্বেদনের হারকে তরান্বিত করে। তাপমাত্রার হ্রাস-বৃদ্ধির সাথে পত্ররন্ধ্রের আয়তনেরও হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে থাকে। সুতরাং তাপ বিভিন্ন দিক হতে প্রস্বেদন প্রক্রিয়াকে প্রভাবিত করে থাকে।

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

৪. **বায়ুপ্রবাহ :** উদ্ভিদের প্রস্বেদন অঙ্গের আশপাশের বায়ু সাধারণত বেশি আর্দ্র থাকে। প্রবাহিত বায়ু পাতার নিকট হতে অধিক আর্দ্র বায়ু প্রবাহিত করে নিয়ে যায়, ফলে স্থানটি কম আর্দ্র বায়ু দ্বারা পরিপূর্ণ হয়। কম আর্দ্র বায়ু কোষাভ্যন্তর হতে নির্গত জলীয়বাষ্প অধিকমাত্রায় গ্রহণ করে প্রস্বেদনের হারকে বাড়িয়ে দেয়। অর্থাৎ বায়ুমণ্ডলে আর্দ্রতা হ্রাস পেলে প্রস্বেদন বৃদ্ধি পায়।

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

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

অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ : অভ্যন্তরীণ প্রভাকসমূহ নিম্নরূপ-

১. **মূল-বিটপ অনুপাত :** আনুপাতিক হারে মূলের পরিমাণ কম হলে উদ্ভিদের জন্য মাটি হতে পানির প্রাপ্যতা কমে যায় এবং প্রস্বেদনের হারও কমে যায় অর্থাৎ প্রস্বেদন অঞ্চল অপেক্ষা শোষণ অঞ্চল কম হলে প্রস্বেদনের হার হ্রাস পায়।

২. **পাতার আয়তন ও সংখ্যা :** পাতার আয়তন ও সংখ্যার তারতম্যে প্রস্বেদনের তারতম্য হয়। পাতার আয়তন ও সংখ্যা যত বেশি হবে প্রস্বেদনও তত বেশি হবে।

৩. **পাতার গঠন :** পাতার গঠনের উপর প্রস্বেদনের হার নির্ভরশীল। পাতায় পাতলা কিউটিকল, পাতলা কোষ প্রাচীর, অধিক স্পঞ্জি টিস্যু ও উন্মুক্ত পত্ররন্ধ্র থাকলে প্রস্বেদন তুলনামূলকভাবে বেশি হয় কিন্তু পুরু কিউটিকল, অধিক প্যালিসেড প্যারেনকাইমা এবং পত্ররন্ধ্র লুকানো থাকলে প্রস্বেদনের হার কমে যায়। পাতার গায়ে পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, রন্ধ্রের পরিমাণ, রক্ষীকোষের গঠন প্রভৃতি প্রস্বেদনের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে।

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

৫. **জীবনীশক্তি (Vigour) :** প্রস্বেদনের হার উদ্ভিদের জীবনীশক্তির উপর নির্ভর করে। সুস্থ-সবল উদ্ভিদে রোগাক্রান্ত দুর্বল উদ্ভিদ অপেক্ষা প্রস্বেদন বেশি হয়।

৯.৫.৩ উদ্ভিদের জীবনে প্রস্বেদনের গুরুত্ব (Importance of Transpiration in Plant Life)

প্রস্বেদন উদ্ভিদের জন্য যেমন প্রয়োজনীয় তেমনি ক্ষতিকরও বটে। অবশ্য ক্ষতির তুলনায় উদ্ভিদ লাভবানই হয় বেশি। নিচে এটি বর্ণনা করা হলো-

অপকারিতা বা নেতিবাচক প্রভাব : মাটিতে পানির অভাব দেখা দিলেই প্রস্বেদন উদ্ভিদের জন্য ক্ষতিকর হয়ে দাঁড়ায়। মাটির পানির অভাবের জন্যই হোক বা অন্য কোনো কারণেই হোক উদ্ভিদ মাটি হতে যে পরিমাণ পানি শোষণ করে তার অধিক পরিমাণ প্রস্বেদনে বের হয়ে গেলে গাছের কোষগুলোতে টারজিডিটি কমে যায়; ফলে গাছটি নিস্তেজ হয়ে পড়ে (উইলটিং)। কয়েকদিনের জন্য এ অবস্থা চলতে থাকলে গাছটি মরে যায়। প্রস্বেদনের কারণে শোষিত পানির কিছুটা অপচয় হয়।

উপকারী প্রভাব : প্রস্বেদন প্রক্রিয়া উদ্ভিদের জন্য বিশেষভাবে প্রয়োজন। এ প্রক্রিয়ার গুরুত্বপূর্ণ কারণগুলো নিচে দেয়া হলো-

১. **পানি শোষণ :** পাতায় প্রস্বেদনের ফলে ভেসেলে পানির যে টান পড়ে সেই টান মূলরোম কর্তৃক পানি শোষণে সাহায্য করে। তাই জীবন রক্ষাকারী পানি শোষণে প্রস্বেদনের ভূমিকা আছে।

২. **পানি ও খাদ্য উপাদান উপরে উঠানো :** পাতা ও অন্যান্য অংশে পানি ও খাদ্য উপাদান পৌছানো অপরিহার্য। প্রস্বেদনের ফলে ভেসেলে পানির যে টান পড়ে তা সরাসরি পানিকে মূল হতে কাণ্ড হয়ে পাতা পর্যন্ত পৌছায়। এ পানির সাথে মূল কর্তৃক শোষিত খনিজ পদার্থ উপরে উত্থিত হয়।

৩. **লবণ পরিশোষণ :** প্রস্বেদনের কারণে চারদিক থেকে লবণ উদ্ভিদ মূলের কাছাকাছি আসে, তাই উদ্ভিদ সহজে লবণ পরিশোষণ করতে পারে।

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

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

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

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

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

৯. **দৈহিক বৃদ্ধি :** উদ্ভিদের স্বাভাবিক দৈহিক বৃদ্ধিতে প্রস্বেদনের বিশেষ ভূমিকা রয়েছে।

১০. **শক্তি নির্গমন :** পাতা সূর্য হতে প্রতি মিনিটে প্রচুর শক্তি শোষণ করে। এর মাত্র শতকরা একভাগ (বা তার কম) বিভিন্ন বিক্রিয়ার জন্য খরচ হয়, বাকি অধিকাংশ তাপশক্তি প্রস্বেদনের মাধ্যমে গাছ থেকে বের হয়ে যায়। নতুবা গাছ অধিক তাপে মারা যেত।

১১. **অভিস্রবণ প্রক্রিয়া :** প্রস্বেদনের ফলে কোষরসের ঘনত্ব বাড়ে, ফলে অভিস্রবণ প্রক্রিয়া ঘটার উপযুক্ত পরিবেশ সৃষ্টি হয়।

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

১৩. **খাদ্য পরিবহন :** প্রস্বেদনের ফলে গৃহিত পানিতে দ্রবীভূত অবস্থায় উদ্ভিদ দেহের বিভিন্ন অংশে খাদ্য পরিবহন হয়।

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

১৫. **বৃষ্টিপাত :** প্রস্বেদনের ফলে পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে আকাশে ঘনীভূত হয়ে মেঘে পরিণত হয় এবং বৃষ্টিপাত ঘটায়। যে এলাকায় গাছপালা বেশি থাকে সে এলাকায় বৃষ্টিপাত বেশি হয়।

একক কাজ

পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন ও ত্বকীয় প্রস্বেদনের মধ্যে পার্থক্য করো।

পাঠ ৪ পত্ররন্ধ্র
Stomata

৯.৬ পত্ররন্ধ্র (Stomata)

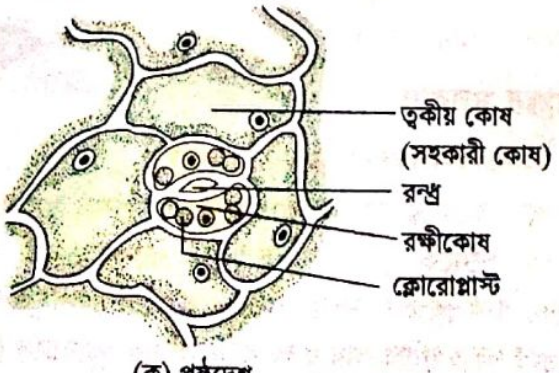
কচি কান্ড এবং পাতার ত্বকে বিশেষ আকৃতির রক্ষীকোষ দ্বারা পরিবেষ্টিত অতিক্ষুদ্র ছিদ্রকে **পত্ররন্ধ্র** (stomata, একবচনে stoma) বলে। গ্রিক শব্দ *stoma* হতে stomata শব্দের উৎপত্তি।

৯.৬.১ অবস্থান (Location)

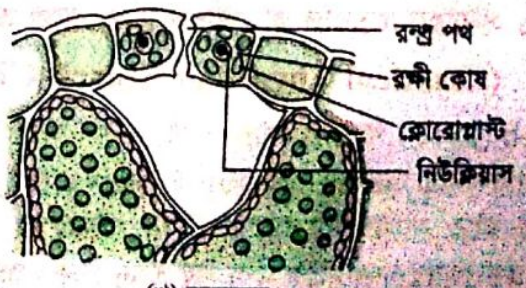
সাধারণত পাতায় পত্ররন্ধ্র সর্বজনীনভাবে উপস্থিত থাকলেও কচি সবুজ বায়বীয় অক্ষ যেমন- কচিকান্ড, ফুলের বৃতি প্রভৃতিতে পত্ররন্ধ্র উপস্থিত। পাতার প্রতিবর্গ সে.মি.-এ ১,০০০ হতে ৬০,০০০ পর্যন্ত পত্ররন্ধ্র থাকে। অনেক নিমজ্জিত জলজ উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র অনুপস্থিত থাকতে দেখা যায়। মরুজ উদ্ভিদে ত্বকের নিচের দিকে **লুকায়িত** (sunken) **পত্ররন্ধ্র** থাকে। দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতার নিম্নত্বকে সাধারণত পত্ররন্ধ্র থাকে। একবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতার উভয় ত্বকে সমসংখ্যক পত্ররন্ধ্র থাকতে দেখা যায় এবং ভাসমান জলজ উদ্ভিদের পাতার উপরিত্বকে পত্ররন্ধ্র থাকে।

৯.৬.২ গঠন (Structure)

প্রতিটি পত্ররন্ধ্রকে ঘিরে ২টি বিশেষ আকৃতির **রক্ষীকোষ** (guard cell) অবস্থান করে। কোনো কোনো ক্ষেত্রে রক্ষীকোষের সাথে সংযুক্ত ত্বকীয় কোষগুলো বিশেষভাবে রূপান্তরিত হতে দেখা যায়। এরূপ রূপান্তরিত ত্বকীয় কোষকে **সহকারী কোষ** (accessory cell বা subsidiary cell) বলে। **পত্ররন্ধ্র বলতে প্রকৃতপক্ষে রন্ধ্র পথ, রক্ষীকোষ ও সহকারী কোষকে বোঝায়।** পত্ররন্ধ্রের নিচে মেসোফিল টিস্যুতে একটি প্রকোষ্ঠ উপস্থিত থাকে। এ প্রকোষ্ঠকে **উপপত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠ** (sub-stomatal chamber) বলে। রক্ষীকোষ সাধারণত বৃক্কাকার বা অর্ধচন্দ্রাকার। এতে ঘন সাইটোপ্লাজম, বড় নিউক্লিয়াস ও ক্লোরোপ্লাস্ট উপস্থিত থাকে। ত্বকীয় কোষে ক্লোরোপ্লাস্ট সাধারণত অনুপস্থিত থাকলেও রক্ষীকোষ এক্ষেত্রে ব্যতিক্রম। রক্ষীকোষের প্রাচীর সবস্থানে সমানভাবে পুরু না হয়ে রন্ধ্রের দিকে বেশি পুরু হয়। এই অসম পুরুত্ব পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধে বিশেষ ভূমিকা রাখে। পত্ররন্ধ্র সাধারণত দিনে খোলা ও রাতে বন্ধ থাকে। নীল আলো সাধারণত পত্ররন্ধ্র খোলা ত্বরান্বিত করে। অধিকাংশ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র সকাল ১০-১১টা এবং দুপুর ২-৩ টার সময় পরিপূর্ণ খোলা থাকে। আর দিনের অন্যান্য সময় আংশিক খোলা থাকে। পাথরকুচিসহ রসালো, মরুজ উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র দিনে বন্ধ আর রাতে খোলা থাকে। রক্ষীকোষে **রসস্ফীতি চাপ** (turgor pressure) বেড়ে গেলে স্ফীত হয়ে ধনুকের মত বেঁকে যায় এবং পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। একবীজপত্রী উদ্ভিদের রক্ষীকোষ সাধারণত ডাম্বেল আকৃতির। এদের প্রান্তের দিকে কোষপ্রাচীর পাতলা ও মধ্য ভাগের কোষপ্রাচীর পুরু থাকে।



(ক) পৃষ্ঠদেশ



(খ) ব্যবচ্ছেদ

চিত্র-৯.৯: পত্ররন্ধ্রের গঠন

৯.৬.৩ বিন্যাস (Arrangement)

পাতায় দু'ধরনের পত্ররন্ধ্র বিন্যাস দেখা যায়। যথা-

ক. **সমান্তরাল সারিবিন্যাস :** একবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতায় পত্ররন্ধ্র সমান্তরাল সারিতে বিন্যস্ত থাকে এবং এদের উপপত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠগুলো পরস্পর যুক্ত থাকে।

খ. **বিক্ষিপ্ত বিন্যাস :** দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতায় পত্ররন্ধ্রগুলো বিক্ষিপ্তভাবে বিন্যস্ত থাকে। এদের উপপত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠগুলো কখনও পরস্পর সংযুক্ত থাকে না।

জেনে রাখো

পত্ররন্ধ্রীয় ঘড়ি: বিভিন্ন ধরনের পারিপার্শ্বিক অবস্থায় এবং দিন রাতের সময়ের সাথে সম্পর্ক রেখে পত্ররন্ধ্র এক সময় খুলতে থাকে। কখনো আংশিক বা পূর্ণ খোলা থাকে, আবার বন্ধও হয়। পত্ররন্ধ্রের এরূপ ছন্দকে পত্ররন্ধ্রীয় ঘড়ি বলে।

৯.৬.৪ পত্ররন্ধ্রের কাজ (Functions of Stomata)

১. উদ্ভিদদেহ ও পার্শ্ববর্তী পরিবেশের মধ্যে বায়বীয় আদান-প্রদান পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে ঘটে থাকে অর্থাৎ পত্ররন্ধ্র পথে উদ্ভিদ বায়ু থেকে শ্বসনের জন্য অক্সিজেন গ্রহণ ও কার্বন ডাইঅক্সাইড ত্যাগ করে। আবার, সালোকসংশ্লেষণের জন্য কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্রহণ ও অক্সিজেন ত্যাগ করে।

২. পত্ররন্ধ্র পথে উদ্ভিদদেহ থেকে প্রয়োজনের অতিরিক্ত পানি প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় বের হয়ে যায়। উদ্ভিদদেহে পানির সাম্যতা বজায় থাকে।

৩. রক্ষীকোষে ক্লোরোপ্লাস্টের উপস্থিতির কারণে এরা সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

পাঠ ৫ পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধের কৌশল
Mechanism of Opening and Closing of Stomata

৯.৭ পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধের কৌশল সম্পর্কিত মতবাদ (Theories related to the Mechanism of Stomatal Opening and Closing)

অধিকাংশ উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র দিনে খোলা ও রাতে বন্ধ থাকে। একই অবস্থায় থাকলেও অনেক উদ্ভিদে পর্যায়ক্রমিক ও ছন্দমাফিক পত্ররন্ধ্র খোলা-বন্ধ প্রক্রিয়া চলতে থাকে। কতিপয় মরুজ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র রাতে খোলা ও দিনে বন্ধ থাকে। উদ্ভিদে শোষণ অপেক্ষা প্রস্বেদন বেশি হলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়। এ থেকে দেখা যায়, পানি সংরক্ষণের জন্য পত্ররন্ধ্র বন্ধ ও গ্যাস বিনিময়ের জন্য খোলা রাখার প্রয়োজন পড়ে।

রক্ষীকোষের স্ফীতিচাপের জন্য পত্ররন্ধ্রের আয়তনে পরিবর্তন ঘটলেও কীভাবে স্ফীতিচাপের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে সে বিষয়ে শারীরবিজ্ঞানী মহলে মতপার্থক্য রয়েছে। উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ কৌশল ব্যাখ্যা করার জন্য চারটি মতবাদ প্রচলিত আছে। এসব মতবাদের মধ্যে গুরুত্বপূর্ণ দু'টি নিচে আলোচনা করা হলো।

৯.৭.১ সনাতন মতবাদ বা শ্বেতসার-গ্লুকোজ আন্তঃরূপান্তর মতবাদ (Classical Theory or Starch-Glucose Interconversion Theory)

Loyed (১৯০৫) পত্ররন্ধ্র খোলা-বন্ধ কৌশল ব্যাখ্যার জন্য প্রথম শ্বেতসার-গ্লুকোজ আন্তঃরূপান্তর মতবাদ প্রদান করেন এবং পরবর্তীতে **Sayre (১৯২৬)** ও **Steward (১৯৬৪)** সহ অনেকে এ মতবাদের বিস্তৃত ব্যাখ্যা প্রদান করেন। তাদের মতে সালোকসংশ্লেষণের উপর পত্ররন্ধ্রের খোলা বা বন্ধ হওয়া নির্ভর করে। রাতের বেলা অন্ধকারে সালোকসংশ্লেষণ বন্ধ থাকে এবং শুধু শ্বসন চলে। ফলে CO_2 এর ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় এবং রক্ষীকোষের কোষরসে দ্রবীভূত হয়ে কার্বনিক অ্যাসিড তৈরি করে। এতে কোষরসের pH কমে যায়। এসময় অম্লীয় পরিবেশে দ্রবণীয় গ্লুকোজ অদ্রবণীয় শ্বেতসারে রূপান্তরিত হয় এবং কোষরসের ঘনত্ব কমে যায়। ফলে রক্ষীকোষ থেকে বহিঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পানি বের

হয়ে যায়। স্ফীতি চাপ কমে যাওয়ায় রক্ষীকোষ শ্লথ (শিথিল) হয়ে পড়ে এবং পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়। আবার, দিনের বেলায় সূর্যালোকের প্রভাবে রক্ষীকোষের ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষণ করতে শুরু করে। এ সময় CO_2 ব্যবহৃত হওয়ায় কোষরসে CO_2 এর ঘনত্ব কমে যায় এবং pH বৃদ্ধি পায়। ক্ষারীয় পরিবেশে ফসফোরাইলেজ এনজাইমের প্রভাবে কোষস্থ অদ্রবণীয় শ্বেতসার দ্রবণীয় গ্লুকোজে পরিণত হয়। ফলে কোষরসের ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় এবং অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় রক্ষীকোষে পানি প্রবেশ করে। পানি গ্রহণের জন্য রক্ষীকোষ এসময় স্ফীত হয় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায়। ছিদ্রের বিপরীত রক্ষীকোষের প্রাচীর সরু বলে বেশি স্ফীত হয় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায়।

$$\text{শ্বেতসার} + \text{অজৈব ফসফেট (Pi)} \underset{\text{pH} - 0.5 \text{ (রাত)}}{\overset{\text{ফসফোরাইলেজ}}{\overset{\text{pH} - 7.0 \text{ (দিন)}}{\rightleftharpoons}}} \text{গ্লুকোজ-১ ফসফেট।}$$

লয়েড গ্লুকোজ-শ্বেতসারের রূপান্তরের কথা বললেও, **সায়রি** (Sayre, ১৯২৬) প্রথম এ রূপান্তরের জন্য pH কে প্রধান নিয়ামক বিবেচনা করেন। তবে **স্টিওয়ার্ড** (Steward, ১৯৬৪) মনে করেন, শ্বেতসার ও গ্লুকোজ-১ ফসফেট অদ্রবণীয় হওয়ায় এদের রূপান্তরে অভিস্রবণিক চাপের পরিবর্তন ঘটে না। বরং গ্লুকোজ-১ ফসফেট ফসফোগ্লুকোমিউটেজ এনজাইমের সাহায্যে প্রথমে গ্লুকোজ-৬ ফসফেট এবং শেষে ফসফাইটেজ এনজাইমের সাহায্যে দ্রবণীয় গ্লুকোজে পরিণত হলে অভিস্রবণিক চাপ বৃদ্ধি পায় এবং একই সাথে pH বেড়ে যায় (pH5 → pH6)।

কোষরসস্থ pH বেড়ে গেলে অদ্রবণীয় শ্বেতসারকে পুনরায় দ্রবণীয় গ্লুকোজে পরিণত করে। ফলে অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পার্শ্ববর্তী কোষ হতে পানি রক্ষীকোষে প্রবেশ করে। তাই রক্ষীকোষ স্ফীত হয় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায়।

পিয়াজ, রসুন, আইরিস প্রভৃতি একবীজপত্রী উদ্ভিদের রক্ষীকোষে শর্করা তৈরি হয় না এবং অনেক উদ্ভিদে শর্করার রূপান্তর ঘটে না। তাছাড়া, এসব কারণে সনাতন মতবাদ সর্বজনীন গ্রহণযোগ্যতা অর্জন করতে ব্যর্থ হয়েছে।

৯.৭.২ সক্রিয় পটাসিয়াম ট্রান্সপোর্ট বা পটাসিয়াম পাম্প মতবাদ

(Active K^+ transport or Potassium Pump Theory)

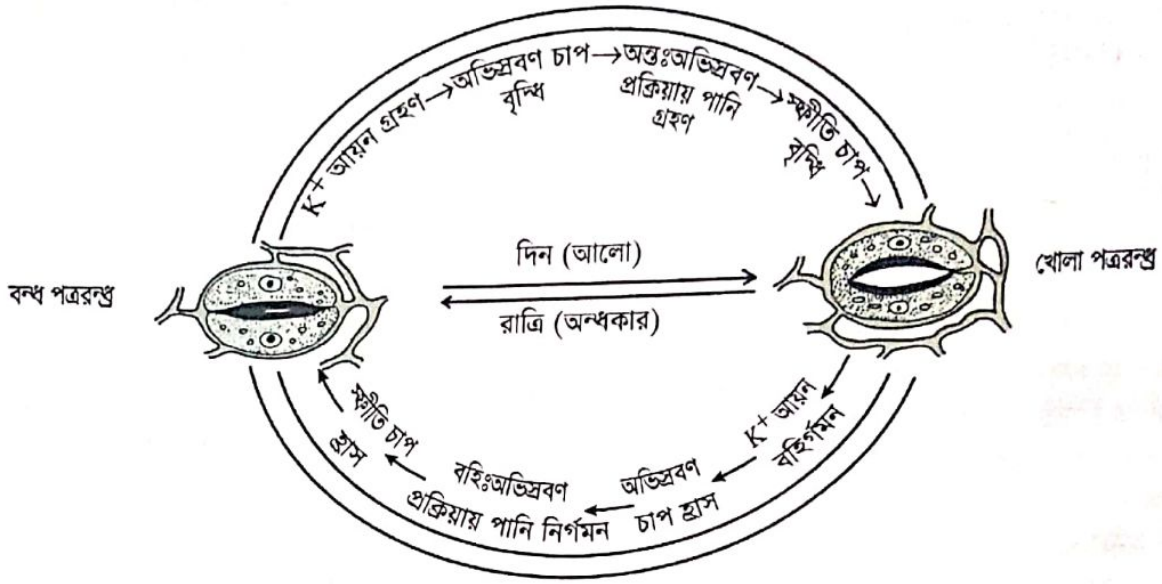
জাপানি বিজ্ঞানী **Imamura** ও **Fujino** (১৯৫৯) তেজস্ক্রীয় আইসোটোপ ব্যবহার করে দেখান যে, রক্ষীকোষে পটাসিয়াম আয়নের (K^+) সক্রিয় শোষণের দ্বারা পত্ররন্ধ্রের খোলা ও বন্ধ হওয়া নিয়ন্ত্রিত হয়। পার্শ্ববর্তী ত্বকীয় কোষগুলো রক্ষীকোষের চাহিদা অনুযায়ী পটাসিয়াম ও অন্যান্য আয়ন সরবরাহ করে।

সক্রিয় শোষণ বন্ধ হয়ে গেলে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় রক্ষীকোষ থেকে (K^+) আয়ন বের হয়ে যায় এবং কোষ পানি হারিয়ে শিথিল হয়ে পড়ে। ফলে এসময়ে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়। **লেভিট** (Levitt, ১৯৭৪) এর মতে, দিনের বেলা রক্ষীকোষ ও সহকারী কোষে CO_2 এর ঘনত্ব কমে গিয়ে pH বৃদ্ধি পায়। তখন রক্ষীকোষে সঞ্চিত স্টার্চ প্রথমে ম্যালিক অ্যাসিডে রূপান্তর ঘটে এবং পরে H^+ ও ম্যালেট আয়নে বিভক্ত হয়ে যায়। H^+ রক্ষীকোষ থেকে পার্শ্ববর্তী কোষে চলে গেলে চার্জের সমতা আনার জন্য K^+ রক্ষীকোষে প্রবেশ করে। এরপর পটাসিয়াম-ম্যালেট যৌগ গঠন করে, যা চার্জ নিরপেক্ষ এবং কোষগহ্বরে প্রবেশ করে ও সঞ্চিত থাকে। রক্ষীকোষে পটাসিয়াম (K^+) আয়নের ঘনত্ব বেড়ে গেলে কোষে অভিস্রবণ চাপ বেড়ে যায় এবং অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পানি রক্ষীকোষে প্রবেশ করে। রসস্ফীতি চাপ বৃদ্ধির ফলে রক্ষীকোষ ২টি ধনুকের মতো বেঁকে যায় ও পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। পটাসিয়াম আয়নের অন্তঃগমনের সময় কোষে চার্জের সমতা বিধানের জন্য সমসংখ্যক অ্যানায়ন (Cl^-) এর অন্তঃগমন ঘটতে দেখা যায়। এজন্য একে **আয়ন প্রবাহ মতবাদও** বলে।

$$\underset{\text{ম্যালিক অ্যাসিড}}{R(COOH)_2} \rightleftharpoons \underset{\text{ম্যালেট}}{R(COO^-)_2} + \underset{\text{প্রোটন}}{2H^+}$$

রাতের বেলা ঠিক এর বিপরীত ঘটনাগুলো ঘটে। ফলে ম্যালিক অ্যাসিড হ্রাস পায়, যা CO_2 ও পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। আরো কতকগুলো ধাপের মাধ্যমে শ্বেতসার গঠন করে। রক্ষীকোষের অভিস্রবণিক চাপ হ্রাস পায় এবং রক্ষীকোষ দু'টি শিথিল হয়ে পত্ররন্ধ্র বন্ধ করে দেয়। রাতে পানির অভাব দেখা দিলে অ্যাবসিসিক অ্যাসিড (ABA) নিঃসৃত হয়। ABA এর প্রভাবে পটাসিয়াম আয়ন বের হয়ে যায়। ফলে কোষ পানি হারিয়ে শিথিল হয়ে পড়ে ও পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

CamScanner

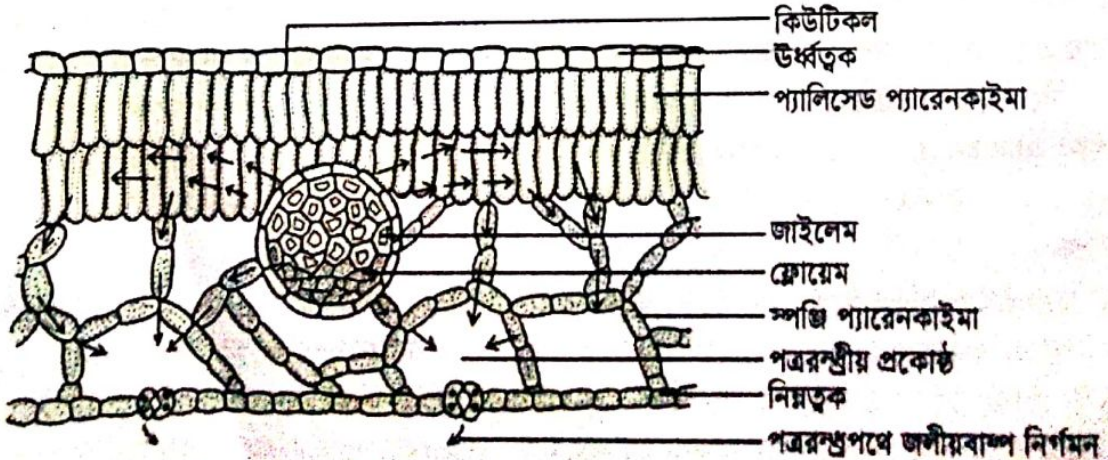


চিত্র-৯.১০: K^+ পাম্পের মাধ্যমে রক্ষীকোষের পরিবর্তন ও পত্ররন্ধ্র খোলার পদ্ধতি

রক্ষীকোষে, পটাসিয়াম আয়নের সক্রিয় শোষণ ঘটে। কারণ, আলোর প্রভাবে রক্ষীকোষে ATP-ase এনজাইম উজ্জীবিত হয় এবং সালোকসংশ্লেষণের ফলে ATP উৎপন্ন হয়। ATP পটাসিয়াম আয়ন শোষণের শক্তি সরবরাহ করে।

৯.৮ পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া (Mechanism of Stomatal Transpiration)

উদ্ভিদ মূলরোম দ্বারা মাটি থেকে পানি শোষণ করে থাকে। শোষিত পানির খুব সামান্য পরিমাণ তার জৈবিক কাজে ব্যবহার করে এবং প্রয়োজনের অতিরিক্ত পানি প্রস্বেদনের মাধ্যমে বাইরে নির্গত করে। পত্ররন্ধ্র প্রস্বেদনের প্রধান অঙ্গ এবং পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে যে প্রস্বেদন ঘটে তাকে **পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন** বলে। পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদনের ক্ষেত্রে মাটি থেকে শোষিত পানি পাতার শিরা-উপশিরার মাধ্যমে প্যালিসেড ও স্পঞ্জী প্যারেনকাইমা কোষে পৌঁছায়। উক্ত পানি শোষণ করে পাতার প্যারেনকাইমা কোষগুলো সম্পৃক্ত (saturated) হয় এবং ঐ পানির অধিকাংশই পাতার অভ্যন্তরস্থ ও বহিঃস্থ তাপ, চাপ ও অন্যান্য পারিপার্শ্বিক অবস্থায় বাষ্পে পরিণত হয়। ঐ বাষ্প তখন পাতার টিস্যুর আন্তঃকোষীয় ফাঁকে এবং পত্ররন্ধ্র সমূহের নিচে অবস্থিত পত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠে জমা হয়। দিনের বেলায় রক্ষীকোষের রসস্ফীতির ফলে পত্ররন্ধ্র খুলে যায় এবং বাইরের বাতাসে আপেক্ষিক আর্দ্রতা কম থাকলে আন্তঃকোষীয় ফাঁক ও পত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠে সঞ্চিত বাষ্প ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে দ্রুত বায়ুমণ্ডলে ছড়িয়ে পড়ে।



চিত্র-৯.১১: পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন

৯.৯ উদ্ভিদের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া (Important Physiological Processes of Plant)

অভিস্রবণিক চাপ (Osmotic pressure, OP): দুটি অসম ঘনত্বের দ্রবণকে অর্ধভেদ্য পর্দা দ্বারা পৃথক করে রাখলে যে অতিরিক্ত চাপ প্রয়োগে তাদের মধ্যে সাম্যবস্থা ঘটে অর্থাৎ কোনো দ্রবণে অতিরিক্ত পানি-চাপ প্রয়োগে পানি-বিভব বিশুদ্ধ পানির সমান হয় তাকে অভিস্রবণিক চাপ বলে। একে **অসমোটিক বিভবও** (osmotic potential) বলা হয়। অসমোটিক বিভবকে গ্রিক সংকেত π (পাই) দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং এর মান সর্বদা ঋণাত্মক। অসমোটিক বিভবকে নিম্নের সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা হয়—

$$\pi = -\frac{n}{V}RT$$

এখানে n = দ্রবণে গ্রাম অণুর সংখ্যা; V = দ্রবণের পরিমাণ; R = গ্যাস ধ্রুবক (.082); T = চরম তাপমাত্রা (কক্ষ তাপমাত্রা)

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

ব্যাপন (Diffusion): একই তাপমাত্রা ও বায়ুমণ্ডলীয় চাপে কোনো পদার্থের অধিকতর ঘন স্থান হতে কম ঘন স্থানের দিকে বিস্তার লাভ প্রক্রিয়াকে ব্যাপন বলে।

প্লাজমোলাইসিস (Plasmolysis) : কোনো কোষ হতে অসমোসিস প্রক্রিয়ায় পানি বের হয়ে গেলে ঐ কোষের রসস্ফীতি কমে গিয়ে প্রোটোপ্লাজম সঙ্কুচিত হয়ে যায়। কোষের প্রোটোপ্লাজমের এ সঙ্কোচনকে **প্লাজমোলাইসিস** বলে। কোনো নির্দিষ্ট অসমোটিক বিভব সম্পন্ন কোষকে সমমাত্রিক দ্রবণে নিমজ্জিত করলে কোষের কোনো পরিবর্তন পরিলক্ষিত হয় না।

মূলজ চাপ (Root pressure) : মূলরোম কর্তৃক পানি শোষণের ফলে উদ্ভিদের বহিঃস্তরের কোষগুলোর রসস্ফীতি ঘটে। পূর্ণ স্ফীত অবস্থায় মূলের কর্টেক্সের কোষগুলো যে চাপের সৃষ্টি করে তাকে **মূলজ চাপ** বলে। **স্টকিং (Stocking,** 1956) এর মতে **"মূলের বিপাকীয় কার্যের ফলে জাইলেম বাহিকায় যে চাপের সৃষ্টি হয় তাই মূলজ চাপ।"**

ইমবাইবিশন (Imbibition) : কলয়েড জাতীয় শুষ্ক বা আংশিক শুষ্ক 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। অঙ্কুরোদগমের সময় বীজ ইমবাইবিশন প্রক্রিয়ায় পানি শোষণ করে।

টারজিডিটি (Turgidity) বা রসস্ফীতি : অন্তঃঅভিস্রবণ (endosmosis) প্রক্রিয়ায় পানি গ্রহণের ফলে কোষের স্ফীত হওয়ার অবস্থাকে টারজিডিটি বলে।

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

বাড়ির কাজ

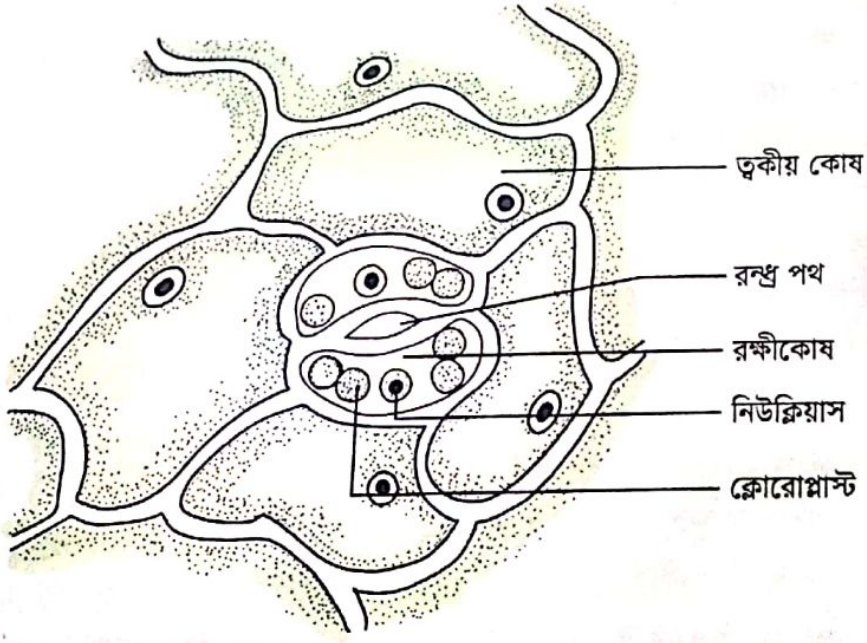
পটাসিয়াম আয়নের মাধ্যমে পত্ররন্ধ্রের খোলা ও বন্ধের প্রক্রিয়া রেখাচিত্রের মাধ্যমে উপস্থাপন করো।

পাঠ ৬ ব্যবহারিক: পত্ররন্ধ্রের গঠন পর্যবেক্ষণ

তত্ত্ব : উদ্ভিদের সবুজ পাতা বা কচি কাণ্ডের ত্বকে যে অতি ক্ষুদ্র ছিদ্র থাকে তাকে পত্ররন্ধ্র বলে। পত্ররন্ধ্র দুটি বিশেষ আকৃতির রক্ষীকোষ দ্বারা আবৃত থাকে। ত্বকের কোষে ক্লোরোপ্লাস্ট না থাকলেও রক্ষীকোষে ক্লোরোপ্লাস্ট উপস্থিত থাকে।

প্রয়োজনীয় উপকরণ : কচি সবুজ পাতা (আমপাতা), স্ক্যালপেল বা ব্লেড, গ্লাস স্লাইড ও কভার স্লিপ, অণুবীক্ষণ যন্ত্র, ১০% গ্লিসারিন দ্রবণ।

পরীক্ষণ পদ্ধতি : কচি সবুজ পাতার নিচের তল থেকে ব্লেডের সাহায্যে একটি পাতলা পিলিং নিয়ে পরিষ্কার গ্লাস স্লাইডে এক ফোটা গ্লিসারিন দ্রবণের উপর স্থাপন করি। লক্ষ রাখতে হবে, যাতে কোন বাতাস না থাকে। এবার পিলিংটি সুবিধাজনক ভাবে কেটে মোটা অংশটুকু বাদ দেই। অবশিষ্ট পাতলা অংশটি কভার স্লিপ দিয়ে ঢেকে দেই। এভাবে নমুনাটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পর্যবেক্ষণ করি।



চিত্র-৯.১২: পত্ররন্ধ্রের গঠন

বৈশিষ্ট্য:

১. পাতার ত্বকের কোষগুলো বড়, ক্লোরোপ্লাস্টবিহীন এবং রক্ষীকোষ ছোট, বৃক্কাকার ও ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত।
২. দুটি বৃক্কাকার রক্ষীকোষ দ্বারা ছিদ্রপথ পরিবেষ্টিত।
৩. রক্ষীকোষের ছিদ্রসংলগ্ন প্রাচীর পুরু কিন্তু বিপরীত পাশে পাতলা।
৪. পত্ররন্ধ্রগুলো পাতায় বিক্ষিপ্তভাবে সজ্জিত।

শনাক্তকরণ : পাতার নিম্নত্বকে অসংখ্য পত্ররন্ধ্র উপস্থিত।

সাবধানতা:

১. পিলিংটি যেন পুরু না হয় সেদিকে লক্ষ রাখতে হবে।
২. স্লাইডে যেন বাতাস প্রবেশ না করে।

CamScanner

পাঠ ৭

সালোকসংশ্লেষণ
Photosynthesis

৯.১০ সালোকসংশ্লেষণ (Photosynthesis)

সবুজ উদ্ভিদ স্বভোজী অর্থাৎ জীবনীশক্তি আহরণের জন্য প্রয়োজনীয় খাদ্য নিজেরাই উৎপাদন করতে সক্ষম। পরিবেশ থেকে সরল উপাদান গ্রহণ করে সৌরশক্তির সাহায্যে জটিল রাসায়নিক পদার্থ উৎপাদনের মাধ্যমে উদ্ভিদ তাদের খাদ্য চাহিদা পূরণ করে। উদ্ভিদ বাতাস থেকে গৃহীত কার্বন ডাইঅক্সাইড ও মাটি থেকে শোষিত পানি ব্যবহার করে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন করে। এ প্রক্রিয়ায় অক্সিজেন উপজাত হিসেবে তৈরি হয়। উৎপাদিত শর্করা অপেক্ষা ব্যবহৃত কাঁচামাল কার্বন ডাইঅক্সাইড ও পানিতে রাসায়নিক শক্তি অনেক কম থাকে বলে এ প্রক্রিয়ায় বাইরের উৎস থেকে শক্তি সংগ্রহের প্রয়োজন পড়ে। উদ্ভিদের উপর সূর্যালোক পতিত হলে উদ্ভিদের ক্লোরোফিল সৌরশক্তি গ্রহণ করে এবং শর্করা উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। এজন্য শর্করা হলো উচ্চশক্তি সমৃদ্ধ যৌগ তথা রাসায়নিক শক্তি। সৌরশক্তি ব্যবহার করে উদ্ভিদের খাদ্য তৈরির এ প্রক্রিয়াই হলো **সালোকসংশ্লেষণ (photosynthesis)**। বিজ্ঞানী বার্নেস (C.R. Barnes) সর্বপ্রথম ১৮৯৮ খ্রিস্টাব্দে photosynthesis (গ্রিক শব্দ *photo* = আলো, *synthesis* = সংশ্লেষণ) শব্দটি ব্যবহার করেন। সালোকসংশ্লেষণ একটি জটিল ও দীর্ঘ জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়া।

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটি সংক্ষেপে নিচের সমীকরণ দিয়ে প্রকাশ করা হয়-

$$\underset{\text{কার্বন ডাইঅক্সাইড}}{6CO_2} + \underset{\text{পানি}}{12H_2O} \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলো}} \underset{\text{গ্লুকোজ (শর্করা)}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{অক্সিজেন}}{6O_2} + \underset{\text{পানি}}{6H_2O}$$

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় ১ অণু গ্লুকোজ (শর্করা) প্রস্তুত করতে ৬ অণু কার্বন ডাইঅক্সাইড ও ১২ অণু পানি প্রয়োজন পড়ে এবং ৫০-৬০ ফোটন কণা ব্যবহৃত হয়। এছাড়া সালোকসংশ্লেষণকে একটি জটিল **জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়া** বলা হয়। কারণ এখানে পানি থেকে একদিকে যেমন অক্সিজেন মুক্ত হয়; অন্যদিকে তেমনি কার্বন ডাইঅক্সাইডের সাথে হাইড্রোজেন সংযুক্ত হয়। সালোকসংশ্লেষণে রাসায়নিক শক্তি হল ATP ও $NADPH + H^+$।

যে পদ্ধতিতে ক্লোরোফিলযুক্ত উদ্ভিদ আলোর উপস্থিতিতে বায়ুমণ্ডলস্থ কার্বন ডাইঅক্সাইড ও পানির সাহায্যে শর্করা জাতীয় পদার্থ সৃষ্টি করে এবং উপজাত হিসেবে অক্সিজেন ও পানি ত্যাগ করে তাকে সালোকসংশ্লেষণ বলে।

৩৫০ কোটি বছর পূর্বে ব্যাকটেরিয়া বিশেষ ধরনের সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া শুরু করে। সায়ানোব্যাকটেরিয়াগুলোই প্রথম সালোকসংশ্লেষণে এ প্রক্রিয়ায় (৩০০ কোটি বছর পূর্বে) পানি ব্যবহার করে ও অক্সিজেন নির্গত করে। তখন থেকে বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন জমা হতে শুরু করে, যা **অক্সিজেন বিপ্লব** নামে পরিচিত।

৯.১০.১ উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণকারী অঙ্গসমূহ (Photosynthetic Organs)

ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত যেকোনো অঙ্গই সালোকসংশ্লেষণে সক্ষম। এ অঙ্গ প্রধানত সবুজ বর্ণের। অঙ্গগুলো নিম্নরূপ-

১. পাতার সবুজ অংশ। উচ্চ শ্রেণির উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণের প্রধান অঙ্গই হলো সবুজ পাতা।
২. সবুজ কচি কাণ্ড।
৩. থ্যালয়েড সবুজ উদ্ভিদের সম্পূর্ণ থ্যালাস।
৪. ফুলের বৃতি ও বৃন্ত।
৫. ফলের সবুজ ত্বক।
৬. কতিপয় ব্যাকটেরিয়াতে সুগঠিত প্লাস্টিড না থাকাতে সাইটোপ্লাজমে ভাসমান ল্যামিলিতে সালোকসংশ্লেষণ হয়।

৯.১০.২ সালোকসংশ্লেষণকারী পিগমেন্টসমূহ (Photosynthetic Pigments)

সালোকসংশ্লেষণকারী পিগমেন্টগুলো প্রধানত তিন প্রকার। যেমন– ক্লোরোফিল, ক্যারোটিনয়েড এবং ফাইকোবিলিন। এদের বিস্তৃত তালিকা নিম্নরূপ-

১. ক্লোরোফিল : উদ্ভিদের খাদ্য তৈরিতে সাহায্যকারী ক্লোরোপ্লাস্টে অবস্থিত সবুজ বর্ণের রঞ্জক পদার্থই হলো ক্লোরোফিল। ক্লোরোফিল বিভিন্ন প্রকার হয়ে থাকে। সকল উচ্চ শ্রেণির উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-এ এবং বি থাকলেও শৈবালের মধ্যে মোট পাঁচ প্রকার ক্লোরোফিল পাওয়া যায়। তাছাড়া ব্যাকটেরিয়ায় বিশেষ ধরনের ক্লোরোফিল দেখা যায়। নিচে বিভিন্ন প্রকার ক্লোরোফিলের তালিকা দেয়া হলো–

ক. উদ্ভিদের ক্ষেত্রে-
i. ক্লোরোফিল-এ
ii. ক্লোরোফিল-বি
iii. ক্লোরোফিল-সি
iv. ক্লোরোফিল-ডি
v. ক্লোরোফিল-ই

খ. ব্যাকটেরিয়ার ক্ষেত্রে-
i. ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল-এ
ii. ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল-বি
iii. ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল

বিভিন্ন প্রকার ক্লোরোফিলের মধ্যে ক্লোরোফিল-এ সকল প্রকার স্বভোজী উদ্ভিদে থাকে। আর সকল প্রকার সবুজ উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-এ এবং বি থাকে। অপরদিকে, ক্লোরোফিল-সি, ডি, ই শুধু বিভিন্ন বর্ণের শৈবালে পাওয়া যায়। বিভিন্ন প্রকার ব্যাকটেরিয়ায় ভিন্ন ভিন্ন ধরনের ক্লোরোফিল রয়েছে। বিভিন্ন প্রকার ক্লোরোফিল দৃশ্যমান আলোক রশ্মির নীল (৪২০-৪৫০ ন্যা. মি.) ও লাল (৬৪০-৭৬০ ন্যা. মি.) অংশ থেকে আলোক রশ্মি শোষণ করে। অবশ্য লোহিত ব্যাকটেরিয়া ইনফ্রারেড এবং কতিপয় উদ্ভিদ অতিবেগুনি রশ্মিকেও সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহার করতে পারে। আলোক রশ্মি শোষণ ক্ষমতার ভিত্তিতে ক্লোরোফিল-এ মোট ছয় প্রকার এবং বিভিন্ন নামে অভিহিত করা হয়। যেমন– (i) ক্লোরোফিল-$a_{৬৬৩}$ (যা ৬৬৩ ন্যা. মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি শোষণ করে।) (ii) ক্লোরোফিল-$a_{৬৮৩}$ (যা ৬৮৩ ন্যা.মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি শোষণ করে।) (iii) $P_{৭০০}$ (যা ৭০০ ন্যা.মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক রশ্মি শোষণ করে)। বিভিন্ন প্রকার ক্লোরোফিলের মধ্যে ক্লোরোফিল-এ হলো প্রধান রঞ্জক পদার্থ; কারণ অন্যান্য প্রকার ক্লোরোফিল আলোক রশ্মি শোষণ করলেও তা ক্লোরোফিল-'এ' এর নিকট স্থানান্তর করে। ক্লোরোফিল-এ শোষিত আলোক শক্তি সরাসরি সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহার করে।

রাসায়নিকভাবে ক্লোরোফিল পরফাইরিন মস্তক ও ফাইটলের একটি দীর্ঘ চেইনের সমন্বয়ে গঠিত। ক্লোরোফিল-এ ও বি এর রাসায়নিক সংকেত নিম্নরূপ-

ক্লোরোফিল-এ (নীলাভ- সবুজ) : $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

ক্লোরোফিল-বি (হলুদাভ- সবুজ) : $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$

কাজ : এদের প্রধান কাজ সালোকসংশ্লেষণে অংশ নেয়া। বর্ণযুক্ত হওয়ায় এরা পরাগায়নে সহায়তা করে।

২. ক্যারোটিনয়েড : লাল, কমলা, হলুদ বা বাদামি বর্ণের প্রায় ষাট প্রকার ক্যারোটিনয়েড পাওয়া যায়। এরা এককভাবে সালোকসংশ্লেষণ করতে পারে না বরং বেগুনী ও নীল আলোকশক্তি (৪০০-৫০০ ন্যা.মি.) শোষণ করে তা ক্লোরোফিল-এ তে স্থানান্তরিত করে। এজন্য এদেরকে সাহায্যকারী পিগমেন্ট বলে।

এগুলো থাইলাকয়েডের পর্দায় ক্লোরোফিলের সাথে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে।

সকল প্রকার ক্যারোটিনয়েডকে দুটি গ্রুপে ভাগ করা হয়। যথা-

i. **ক্যারোটিন (কমলা বা লাল কমলা বর্ণের) :** রাসায়নিক সংকেত $C_{40}H_{56}O$। ক্যারোটিনয়েডগুলোর মধ্যে α ও β– ক্যারোটিন সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ।

ii. **জ্যান্থোফিল (হলুদ বর্ণের) :** রাসায়নিক সংকেত $C_{40}H_{56}O_2$। বিভিন্ন প্রকার জ্যান্থোফিলের মধ্যে লুটেইন, ফিউকোজ্যান্থিন, ডায়াটোজ্যান্থিন উল্লেখযোগ্য।

কাজ : এরা ক্লোরোফিলের সহায়ক পিগমেন্ট হিসেবে কাজ করে। পুষ্পের বিভিন্ন অংশে থেকে পরাগায়নে সহায়তা করে। এছাড়া অতিরিক্ত নীল বর্ণের আলোক রশ্মি শোষণ করে ক্লোরোফিলকে আলোক জারণ নামক ধ্বংসাত্মক ভূমিকা থেকে রক্ষা করে।

৩. ফাইকোবিলিন : এরাও সাহায্যকারী পিগমেন্ট। প্রধানত লোহিত শৈবাল ও সায়ানোব্যাকটেরিয়ায় এদের পাওয়া যায়। উচ্চ শ্রেণির উদ্ভিদে ফাইকোবিলিন অনুপস্থিত। ফাইকোবিলিন উদ্ভিদকোষে প্রোটিনের সাথে যুক্ত অবস্থায় থাকে এবং তাদের একত্রে ফাইকোবিলি-প্রোটিন বলে।

CamScanner

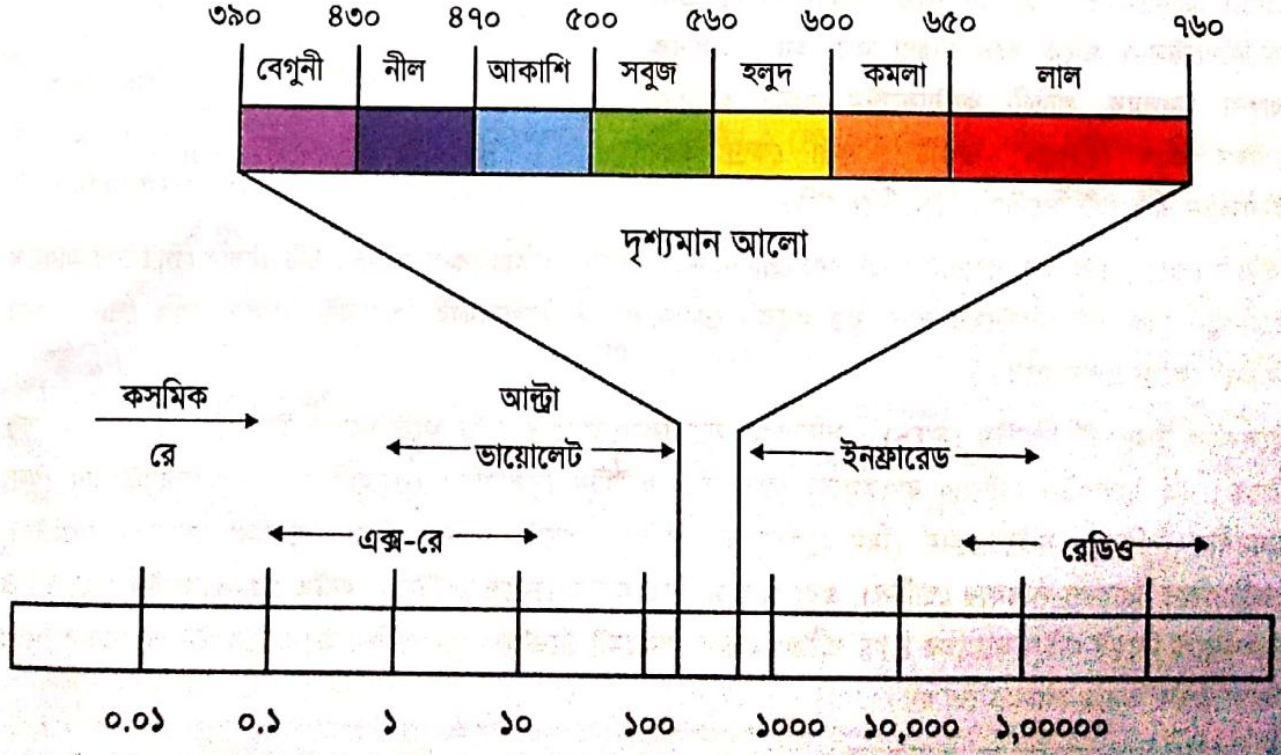
ফাইকোবিলিন তিন শ্রেণির এবং মোট সাত প্রকার।

i. ফাইকোইরিথ্রিন (লাল বর্ণের; $C_{34}H_{46}O_8N_4$)- আর,-সি,-এক্স,-বি
ii. ফাইকোসায়ানিন (নীল বর্ণের; $C_{34}H_{44}O_8N_4$)-আর,-সি
iii. অ্যালোফাইকোসায়ানিন

কাজ : এরা ক্লোরোফিলের সহায়ক পিগমেন্ট হিসেবে কাজ করে। ফাইকোসায়ানিন সাইটোক্রোম, RNA ও এনজাইম সৃষ্টিতে সহায়তা করে। ক্যারোটিনয়েডস এবং ফাইকোবিলিন হলো আনুষাঙ্গিক পিগমেন্ট বা অ্যান্টেনা পিগমেন্ট কারণ এরা আলোকশক্তি শোষণ করে ক্লোরোফিল— a কে প্রদান করে।

৯.১০.৩ সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত আলোক রশ্মি (Photosynthetic Light Rays)

আলো হচ্ছে ইলেকট্রোম্যাগনেটিক ওয়েভ যা কোন বস্তুকে খালি চোখে দৃশ্যমান করে। সূর্যরশ্মি হলো তড়িৎ চুম্বকীয় শক্তির বিচ্ছিন্ন ফোটন কণিকার স্রোত। কারণ সূর্য একটি পারমাণবিক চুল্লি যেখানে সবসময় হাইড্রোজেন পরমাণু হিলিয়াম পরমাণুতে রূপান্তর হচ্ছে। এসময় যে শক্তি বিকিরিত হয় তাকেই **ফোটন কণা** বলে। প্রতিটি ফোটন কণিকা এক একটি অতিক্ষুদ্র শক্তির মোড়ক বিশেষ। একটি ফোটন কণিকা দ্বারা বাহিত শক্তিকে এক **কোয়ান্টাম** বলে। এক মোল ফোটনকে বলা হয় **আইনেস্টাইন**। কোনো বস্তুর উপর পতিত আলোর বিভিন্ন আলোক তরঙ্গের যে পরিমাণ শোষিত হয় তাকে শোষণ বর্ণালি (absorption spectrum) বলে। আপতিত সূর্যালোকের ৮৩% ক্লোরোপ্লাস্ট কর্তৃক শোষিত হয়, ১২% বায়ুমণ্ডলে প্রতিফলিত হয় এবং বাকী ৫% ভূগর্ভে বিলীন হয়। পাতায় শোষিত সৌররশ্মির মোট পরিমাণের মাত্র ০.৫-৩.৫% ক্লোরোফিল ও অন্যান্য রঞ্জক পদার্থ কর্তৃক শোষিত হয়। গাছের পাতায় পতিত সৌরশক্তির মাত্র ১-২% গাছ সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহার করে। বাকি অংশ নানাভাবে ফেরত যায়। বিচ্ছুরিত এই **আলোর যেটুকু দৃশ্যমান তার তরঙ্গদৈর্ঘ্য ৩৯০ ন্যা. মি. হতে ৭৬০ ন্যা. মি.**। এছাড়া কিছু অংশ অদৃশ্যমান রয়েছে। যেমন– আল্ট্রাভায়োলেট রে, এক্স-রে, কসমিক রে, গামা রে। এদের তরঙ্গদৈর্ঘ্য ৩৯০ ন্যা. মি. অপেক্ষা কম। আবার, ইনফ্রারেড রে এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য ৭৬০ ন্যা. মি. হতে বেশি। অর্থাৎ ৩৯০ ন্যা. মি. হতে কম এবং ৭৬০ ন্যা. মি. হতে বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো অদৃশ্যমান। সূর্যের বর্ণহীন আলোর মধ্যে যে সাতটি বর্ণালী পাওয়া যায়, তার মধ্যে **কমলা-লাল** ৬১০-৭০০ ন্যা.মি. এবং **বেগুনী-নীল** ৪০০-৫০০ ন্যা.মি. অংশই সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় বেশি কার্যকরী। তাই এদের **কার্যকরী বর্ণালী** বলে। অন্যরা খুব কম ব্যবহার হয়। আলোর তরঙ্গদৈর্ঘ্য যত ছোট হবে প্রতি কোয়ান্টামে শক্তির পরিমাণ তত বৃদ্ধি পাবে। যেমন– লাল আলোর প্রতি ফোটনে শক্তি থাকে ৪০ কি. ক্যাল. অথচ নীল আলোয় প্রতি ফোটনে শক্তি থাকে ৭০ কি. ক্যাল.। সাধারণত সূর্যের লাল আলোতেই সালোকসংশ্লেষণ বেশি হয়।



চিত্র-৯.১৩: সূর্যালোকের বিভিন্ন বর্ণ ও তরঙ্গদৈর্ঘ্য

৯.১০.৪ ফটোসিস্টেম (Photosystem)

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার প্রধান এবং প্রয়োজনীয় উপাদান হলো ক্লোরোফিল। এটা পাতা বা সবুজ অঙ্গের কোষে থাকে। এই ক্লোরোফিল অণুগুলো এবং তার সাথে সংশ্লিষ্ট ইলেকট্রন গ্রহীতাসমূহ এক সাথে একটা ইউনিট হিসেবে কাজ করে। এই ইউনিটকেই **ফটোসিস্টেম বা পিগমেন্ট সিস্টেম** (pigment system) বলে। ফটোসিস্টেমে সাধারণত ক্লোরোফিল-এ, -বি, -সি, -ডি এবং ক্যারোটিনয়েড থাকতে পারে। ফটোসিস্টেম ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড পর্দায় অবস্থান করে। থাইলাকয়েড পর্দায় দুই ধরনের ফটোসিস্টেম থাকে। যথা- (১) ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) ও (২) ফটোসিস্টেম-২ (PS-II)। প্রত্যেকটিতে ৩০০-৪০০ পর্যন্ত ক্লোরোফিল অণু থাকতে পারে।

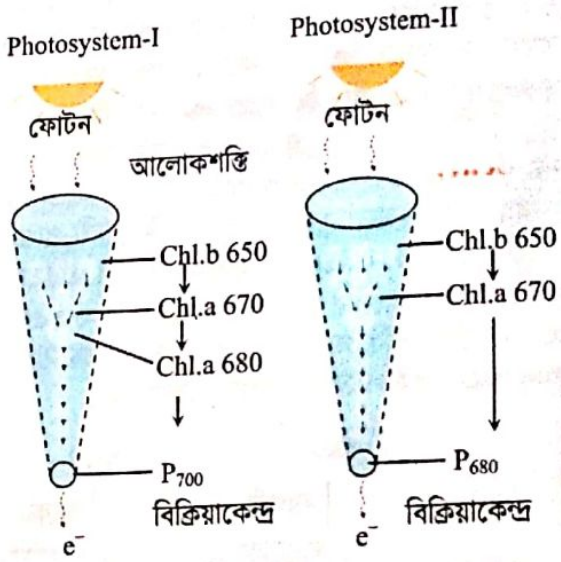
(১) ফটোসিস্টেম-১ (PS-I)

এতে ক্লোরোফিল $a_{৬৮৩}$, সামান্য ক্লোরোফিল বি ও কিছু β ক্যারোটিন, জ্যান্থোফিল এবং ট্রাপ সেন্টারে $পি_{৭০০}$ নামক একটি রিঅ্যাকটিভ পিগমেন্ট (chl-a) অণু থাকে, যা ৭০০ ন্যা. মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট অতি লাল আলোক রশ্মি শোষণ করে। তাই একে বলা হয় $পি_{৭০০}$।

(২) ফটোসিস্টেম-২ (PS-II)

এতে ক্লোরোফিল $a_{৬৭৩}$, -বি, β ক্যারোটিন এবং একটি $পি_{৬৮০}$ নামক রিঅ্যাকটিভ পিগমেন্ট (chl-a) অণু থাকে, যা ৬৮০ ন্যা. মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্য বিশিষ্ট লাল আলোক রশ্মি শোষণ করে। তাই একে বলা হয় $পি_{৬৮০}$। এখানে ক্লোরোফিল-এ এবং -বি অণুর পরিমাণ প্রায় সমান। এছাড়া, এখানে ফিয়োফাইটিন নামক একটি বর্ণহীন ক্লোরোফিল-এ অণু থাকে।

প্রতিটি গ্রানামে প্রায় ২০০টি করে ফটোসিস্টেম-১ এবং ফটোসিস্টেম-২ থাকে বলে ধারণা করা হয়। আধুনিক ধারণা অনুসারে, প্রতিটি ফটোসিস্টেম একটি আলোক শোষণ অংশ (LHC)*, একটি বিক্রিয়া কেন্দ্র এবং ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম (ETS) নিয়ে গঠিত।



চিত্র-৯.১৪: ফটোসিস্টেম I ও II

বিক্রিয়া কেন্দ্র : এক অণু ক্লোরোফিল-এ এবং প্রোটিন নিয়ে প্রতিটা বিক্রিয়া কেন্দ্র গঠিত। এটি আবার প্রোটিনের মাধ্যমে ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেমের সাথে যুক্ত থাকে। ক্লোরোফিল ও সাহায্যকারী পিগমেন্ট আলোক শক্তি শোষণ করে বিক্রিয়া কেন্দ্রে প্রদান করে।

ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম (ETS) : সাধারণত সালোকসংশ্লেষণের দু'টি ফটোসিস্টেম ইলেকট্রন চেইন দ্বারা যুক্ত থাকে। এই ইলেকট্রন চেইনের বাহকগুলো হলো ফিয়োফাইটিন (রূপান্তরিত ক্লোরোফিল-এ), প্লাস্টোকুইনোন (ক্ষুদ্র চলনশীল লিপিড), সাইটোক্রোম (হিম গ্রুপসমৃদ্ধ প্রোটিন), প্লাস্টোসায়ানিন (ক্ষুদ্র চলনশীল মেমব্রেন প্রোটিন), ফেরিডক্সিন (আয়রণ-সালফার প্রোটিন), এবং NADP রিডাকটেজ (ফ্লাভোপ্রোটিন ও বাউন্ড কো-এনজাইম FAD)। এ বাহকগুলো দিয়েই থাইলাকয়েডের ETS গঠিত। এদের মাধ্যমেই উত্তেজিত ক্লোরোফিল অণুর ইলেকট্রন চক্রাকারে ফিরে আসে অথবা অন্যত্র স্থানান্তরিত হয়।

---

* LHC = Light harvesting complexes

ফটোসিনথেটিক ইউনিট (Photosynthetic Unit) : সালোকসংশ্লেষণের আলোক পর্যায়ের চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের গুরুত্বপূর্ণ ইউনিট হলো ফটোসিনথেটিক ইউনিট। ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেমব্রেনে অবস্থিত ফটোসিস্টেমই ফটোসিনথেটিক ইউনিট হিসেবে কাজ করে। এতে আলোর ফোটন শোষণ করার জন্য বিভিন্ন রঞ্জক অণু (৩০০-৪০০ অণু), সক্রিয় অণু ক্লোরেফিল-a; এক গুচ্ছ বিশেষ ধরনের প্রোটিন, ইলেকট্রন গ্রহীতা ও ETC গুচ্ছাকারে পাশাপাশি একটি কার্যকরী ইউনিট হিসেবে অবস্থান করে। এক সময় এই ইউনিটকে কোয়ান্টোসোম বলা হতো। প্রতিটি থাইলাকয়েডে অনেকগুলো কোয়ান্টোসোম থাকে। কোয়ান্টাম (L. quantus: how great) থেকে কোয়ান্টোসোম এসেছে যার অর্থ শক্তির অবিভাজ্য ইউনিট।

৯.১০.৫ সালোকসংশ্লেষণে পানি সরবরাহ (Water Transportation for Photosynthesis)

উদ্ভিদের সকল শারীরবৃত্তীয় কাজে, বিশেষ করে সালোকসংশ্লেষণে পানি একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান। জলজ উদ্ভিদ দেহের সব স্থান দিয়েই পানি শোষণ করতে পারে। উচ্চশ্রেণির উদ্ভিদ মাটি থেকে পানি শোষণ করে জাইলেম টিস্যুর মাধ্যমে পাতার মেসোফিল টিস্যুতে পৌঁছায়। সালোকসংশ্লেষণে পানি বিশ্লিষ্ট হয়ে H^+ এবং OH^- আয়ন উৎপন্ন করে। H^+ আয়ন CO_2 কে বিজারিত করে শর্করা উৎপাদনে অংশ নেয়। OH^- আয়ন O_2 উৎপাদনে অংশ নেয়। পানি জারণের ফলে নির্গত ইলেকট্রন $NADP^+$ কে বিজারিত করে।

৯.১০.৬ পাতার মেসোফিল টিস্যুতে CO_2-এর প্রবেশ (Entering CO_2 into Mesophyll Tissue of Leaf)

সালোকসংশ্লেষণের অত্যাবশ্যকীয় উপাদানগুলোর মধ্যে CO_2 অন্যতম। CO_2- এর অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষণ অসম্ভব। বায়ুমণ্ডলে ০.০৩৫% CO_2 থাকে। উদ্ভিদ প্রধানত পত্ররন্ধ্রের সাহায্যে CO_2 শোষণ করে। লেন্টিসেল ও কিউটিকল দিয়েও এ গ্যাস শোষিত হয়। শ্বসনে উৎপন্ন পাতার অভ্যন্তরের CO_2 সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। CO_2 ব্যাপনের মাধ্যমে মেসোফিল টিস্যুর কোষে প্রবেশ করে। সেখান থেকে ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং শর্করা তৈরির প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

৯.১০.৭ পানির সালোকবিভাজন (Photolysis of Water)

আলোর উপস্থিতিতে অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের ফটোসিস্টেম-২ (PS-II) তে পানি অণুর বিভাজন ঘটে। পানি অণুর বিভাজনের ফলে সেখান থেকে ইলেকট্রন (e^-), প্রোটন (H^+) এবং অক্সিজেন (O_2) নির্গত হয়। আলোর উপস্থিতিতে পানি অণুর বিভাজনকে বলা হয় **পানির সালোকবিভাজন**। এ ক্ষেত্রে PS-II হতে ইলেকট্রন (e^-) বের হয়ে প্রাথমিক ইলেকট্রন গ্রহীতায় চলে গেলে P680 অক্সিডাইজড হয় এবং প্রচণ্ডভাবে ইলেক্ট্রোনেগেটিভ হয়। এর ফলে $P680^+$ শক্তি প্রয়োগ করে পানি অণু ভেঙ্গে ইলেকট্রন বের করে দিতে পারে। **বায়োলজিতে সবচেয়ে শক্তিশালী অক্সিডেন্ট হলো $P680^+$**। একটি এনজাইম সাব ইউনিট (water splitting enzyme) পানি ভাঙানে সহায়তা করে। এছাড়া Mn^{++} এবং Cl^- আয়নও এতে সহায়তা করে। এটি থাইলাকয়েড মেমব্রেনে প্রকোষ্ঠের দিকে থাকে। এক অণু অক্সিজেন ত্যাগ করতে হলে দুই অণু পানি বিভাজিত হতে হয়, এতে চারটি ইলেকট্রন তৈরি হয়।

$$2H_2O \rightarrow 4H^+ + 4e^- + O_2$$

শ্রেণির কাজ

সালোকসংশ্লেষণকারী পিগমেন্টসমূহের নাম ও কাজ ছকাকারে উপস্থাপন করে শ্রেণিশিক্ষকের নিকট জমা দাও।

CamScanner

পাঠ ৮

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া: আলোক পর্যায়
Photosynthesis Mechanism: Light Phase

৯.১১ সালোকসংশ্লেষণের পর্যায়সমূহ (Phases of Photosynthesis)

Blackman (১৯০৫) সালোকসংশ্লেষণের সম্পূর্ণ প্রক্রিয়াটিকে দুটি প্রধান অধ্যায়ে বিভক্ত করেন– আলোক পর্যায় (light phase) এবং অন্ধকার পর্যায় (dark phase)। তবে বর্তমানে ঐ অধ্যায় দুটিকে আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়া এবং রাসায়নিক বিক্রিয়া বা কার্বণ বিজারণ বিক্রিয়া বলে।

ক. আলোক পর্যায় (Light Phase)

সালোকসংশ্লেষণের যে পর্যায়ে আলোক শক্তি শোষিত হয়ে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাকে আলোক পর্যায় বলে। ঐ শোষিত শক্তি ATP এবং NADPH + H^+ এর মধ্যে সঞ্চিত থাকে। সে কারণে সালোকসংশ্লেষণের রাসায়নিক শক্তি হলো ATP এবং NADPH + H^+। মূলের মাধ্যমে গৃহীত পানি পাতার মেসোফিল টিস্যুতে আসার পর ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং এক পর্যায়ে তা ভেঙে $2H^+$ ও O_2 গঠন করে। এই O_2 পরে পত্ররন্ধ্র দিয়ে বাইরে নির্গত হয়।

খ. অন্ধকার পর্যায় বা আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় (Dark Phase or Light Independent Phase)

আলোক পর্যায়ে উৎপন্ন রাসায়নিক শক্তি সালোকসংশ্লেষণের যে পর্যায় ব্যবহার করে কার্বন আত্তীকরণ ঘটে তাকে অন্ধকার পর্যায় বলে। এ পর্যায়ে আলোর উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি কোন প্রভাব বিস্তার করে না। এ ধাপে CO_2 পত্ররন্ধ্র দিয়ে মেসোফিলের ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং শেষে স্ট্রোমায় শর্করা তৈরি হয়।

দুই পর্যায়ের সম্পর্ক: আলোক পর্যায়ে যে রাসায়নিক শক্তি তৈরি হয় তা ব্যবহার করেই অন্ধকার পর্যায়ে কার্বন আত্তীকরণ ঘটে। এখানে শক্তির স্থানান্তর একমুখী। সালোকসংশ্লেষণের আলোক পর্যায়ে কার্যকরী আলোক শক্তি রাসায়নিক শক্তিতে তথা ATP ও NADPH + H^+ -এ সংশ্লেষিত হয়। এ ঘটনা ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রানা অংশের থাইলাকয়েড পর্দায় ঘটে থাকে। এই ATP এবং NADPH + H^+ -কে আত্তীকৃত শক্তি বলা হয়।

$$ADP + iP \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলোক}} ATP$$

$$\text{এবং } NADP + H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলোক}} NADPH + H^+ + \frac{1}{2}O_2$$

অপরপক্ষে, অন্ধকার পর্যায়ের এই আত্তীকৃত শক্তি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে দ্রবীভূত CO_2 কে বিজারিত করে শর্করা জাতীয় খাদ্য তথা গ্লুকোজ উৎপাদন করে। অর্থাৎ

$$CO_2 + [ATP + NADPH + H^+] \xrightarrow[\text{এনজাইম}]{\text{বিভিন্ন}} C_6H_{12}O_6$$

যদি আলোক পর্যায়ে আত্তীকৃত শক্তি তৈরি না হতো তবে অন্ধকার পর্যায়ে CO_2 বিজারিত হতে পারত না। অর্থাৎ গ্লুকোজ তৈরি হতো না। তাই সালোকসংশ্লেষণের আলোক পর্যায়ের সাথে অন্ধকার পর্যায়ের একটি যোগসূত্র আছে। এই পাঠে আলোক পর্যায় সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করা হলো।

৯.১১.১ আলোক পর্যায় বা আলোকনির্ভর বিক্রিয়া (Light Phase)

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় সূর্যালোকের উপস্থিতিতে যে বিক্রিয়া সংঘটিত হয় তাকে আলোক পর্যায় বলে। এতে আলোকশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত হয়, তবে এ কাজে ক্লোরোফিল অত্যাবশ্যক। আলোক পর্যায়ের বিক্রিয়ায় ATP ও NADPH + H^+ উৎপন্ন হয়। এই যৌগগুলোতে উচ্চ শক্তি সঞ্চিত অবস্থায় থাকে, যা অন্ধকার পর্যায়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড বিজারণের জন্য প্রয়োজন হয়। আলোক শক্তি ব্যবহার করে ADP এবং অজৈব ফসফেট (Pi) বিক্রিয়া করে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন

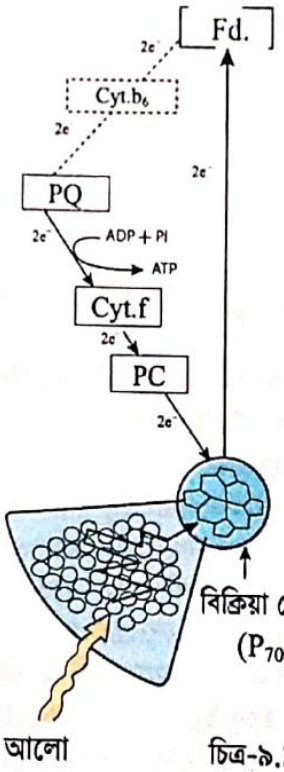
যৌগ ATP তৈরি করাকে ফটোফসফোরাইলেশন (photophosphorilation) বা ফটোসিনথেটিক ফসফোরাইলেশন বলে। থাইলাকয়েড পর্দায় দুই প্রকার ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রের মাধ্যমে ফটোফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয়।

$$2ADP + 2Pi + 2NADP + 4H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}]{\text{আলো}} 2ATP + 2NADPH + H^+ + 2H_2O + O_2$$

ফটোফসফোরাইলেশন দু'প্রকার; যথা–

(ক) চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন এবং (খ) অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন।

ক. চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন : যে চক্রাকার ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রের মাধ্যমে ইলেকট্রন ফটোসিস্টেম-১ হতে বিভিন্ন গ্রাহকের মাধ্যমে পুনরায় স্বস্থানে ফিরে আসে এবং গতিপথে ফটোফসফোরাইলেশন ঘটায় তাকে **চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন** বলে। এই প্রক্রিয়ায় শুধু ফটোসিস্টেম-১ জড়িত এবং প্রতি চক্রে একটি ATP উৎপন্ন হয়। ৬৮০ ন্যা. মি. এর অধিক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো ক্লোরোপ্লাস্টের উপর পতিত হলে আলোক শক্তি ধারণ করে ক্লোরোফিল অণু উজ্জীবিত হয়। তখন শুধু চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন চলে এবং অচক্রীয় পদ্ধতি বন্ধ হয়ে যায়। এ সময় ২টি ইলেকট্রন চক্রাকার পথে বিভিন্ন বাহকের মাধ্যমে ঘুরে পুনরায় স্বস্থানে আসে এবং ১ অণু ATP উৎপন্ন করে। তবে পুরাতন ধারণা ছিল যে, এই চক্রাকার গতিপথে ২ অণু ATP তৈরি হয়।



সংকেতের ব্যাখ্যা

P_{700} = ৭০০ ন্যা. মি. তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূর্যালোক গ্রহণকারী ক্লোরোফিল- a

Fd. = প্রাথমিক ইলেকট্রন গ্রহীতা (ফেরিডক্সিন)

Cyt-b_6 = সাইটোক্রোম -b_6

Cyt-f = সাইটোক্রোম -f

PC = প্লাস্টোসায়ানিন

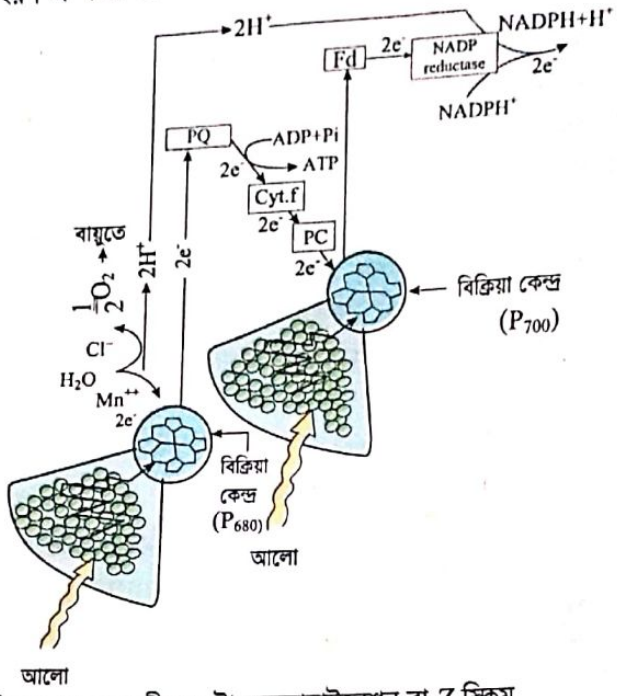
চিত্র-৯.১৫: চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন

গতিপথ : ফটোসিস্টেম-১ (P_{700}) এর উপর আলোক রশ্মি পতিত হলে আলোক শক্তি ধারণ করে ক্লোরোফিল অণু উজ্জীবিত হয় এবং এর বহিঃস্থ অরবিটের দুটি উচ্চ শক্তি সম্পন্ন উত্তেজিত ইলেকট্রন বিক্রিয়াস্থল (P_{700}) হতে প্রবাহিত হয়ে প্রাথমিক গ্রাহক ফেরিডক্সিনে (Fd) স্থানান্তরিত হয়। এরপর ইলেকট্রন সাইট্রোক্রোম -b_6 (Cyt.b_6) এ আসে। সেখান থেকে ইলেকট্রনটি প্লাস্টোকুইনোন (PQ), সাইটোক্রোম-f (Cyt.f) এবং প্লাস্টোসায়ানিন (PC) হয়ে পুনরায় শক্তিহীন অবস্থায় বিক্রিয়াস্থল P_{700} তে ফিরে আসে। ইলেকট্রনটি এর গতিপথে যে শক্তি হারায় তা ব্যবহার করে, ADP অণুর সাথে অজৈব ফসফেট (Pi) যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন করে।

ব্যাকটেরিয়াতে চক্রীয় ফসফোরাইলেশন চলে। সায়ানোব্যাকটেরিয়া, শৈবাল ও সবুজ উদ্ভিদে NADP-র অনুপস্থিতিতে চক্রীয় পদ্ধতি চলে। তবে প্রয়োজন হলে উভয় প্রক্রিয়া একই সাথে চলে।

খ. অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন : যে ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় ক্লোরোফিল অণু থেকে উৎক্ষিপ্ত উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার পর NADP-এর সাথে যুক্ত হয় কিন্তু ইলেকট্রন যে

ক্লোরোফিল থেকে নির্গত হয়েছিল সেই ক্লোরোফিলে পুনরায় ফিরে আসে না তাকে **অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন** বলে। এই প্রক্রিয়ায় ফটোসিস্টেম-১ এবং ফটোসিস্টেম-২ উভয়ই জড়িত। এক্ষেত্রে প্রতিবার একটি ATP এবং একটি $NADPH + H^+$ তৈরি হয়। ৬৮০ ন্যা. মি. বা তার চেয়ে কম তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের সূর্যালোক ফটোসিস্টেম-২ এর উপর পতিত হলে অচক্রীয় পদ্ধতি শুরু হয়। এ সময় চক্রীয় পদ্ধতি বন্ধ থাকে।



চিত্র-৯.১৬: অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন বা Z স্কিম

গতিপথ : ৬৮০ ন্যানোমিটার বা তার চেয়ে কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের সূর্যালোক ফটোসিস্টেম-২ এর উপর পতিত হলে ফোটন শোষণ করে বিক্রিয়া কেন্দ্র P_{680} -তে স্থানান্তর হয়। এ সময় উত্তেজিত ২টি ইলেকট্রন P_{680} হতে উৎক্ষিপ্ত হয়ে যথাক্রমে প্লাস্টোকুইনোন, সাইটোক্রোম-f বা b_6, প্লাস্টোসায়ানিন (PC) বাহক তন্ত্রের মাধ্যমে ফটোসিস্টেম-১ এ পৌছায়। আধুনিক ধারণা অনুসারে, ফিয়োফাইটিন (Pheo) নামক বর্ণহীন ক্লোরোফিল- এ অণু দ্বারা ইলেকট্রন সর্বপ্রথম গৃহীত হয়। এই গতিপথে ইলেকট্রন প্লাস্টোকুইনোন হতে সাইটোক্রোম-f এ স্থানান্তরের সময় একটি ATP তৈরি হয়। ফটোসিস্টেম-২ এর ইলেকট্রন শূণ্যতা পূরণ করার উদ্দেশ্যে পানির সালোকবিভাজন ঘটে। এতে উৎপন্ন ইলেকট্রন ফটোসিস্টেম-২ এর শূণ্যস্থান পূরণ করে আর অক্সিজেন বাতাসে নির্গত হয়। পুনরায় প্লাস্টোকুইনন থেকে ইলেকট্রন ফটোসিস্টেম-১ এর বিক্রিয়া কেন্দ্র P_{700} তে স্থানান্তরিত হয়। এ সময় P_{700} হতে দুটি উত্তেজিত ইলেকট্রন পুনরায় নিক্ষিপ্ত হয়, যা প্রাথমিকভাবে ফেরিডক্সিন (Fd) কর্তৃক গৃহীত হয়। এরপর ইলেকট্রন ২টি NADP তে স্থানান্তরিত হয় এবং $NADP^-$ উৎপন্ন করে। $NADP^-$ এর সাথে এসময়ে পানি বিশ্লেষণের ফলে সৃষ্ট $2H^+$ যুক্ত হয়ে $NADPH + H^+$ উৎপন্ন করে। এ বিজারণের সময় প্রয়োজনীয় প্রোটন (H^+) আসে পানির সালোক বিভাজন থেকে। অপরদিকে, ফটোসিস্টেম-১ এর যে ইলেকট্রন ঘাটতি হলো তা P_{680} থেকে এসে পূরণ হয়। এই চক্রের বিশেষত্ব হলো, মূল ক্লোরোফিল অণুতে যে ইলেকট্রন শূন্যতা দেখা দেয় তা পানির সালোক বিভাজনের (ফটোলাইসিস) ফলে যে ইলেকট্রন ($2e^-$) সৃষ্টি হয়, তার মাধ্যমে পূরণ হয়। অচক্রীয় পর্যায়ে এক অণু পানি ভাঙ্গানের ফলে ১টি ATP এবং অতি উচ্চ শক্তি সম্পন্ন ১টি $NADPH + H^+$ তৈরি হয়।

হিল এবং বেন্ডাল (১৯৬০) উপস্থাপিত ইলেকট্রনের অচক্রীয় স্থানান্তর পথটি ইংরেজি বর্ণ জেড (Z) আকৃতি বিশিষ্ট বলে অনেকে একে **'Z স্কিম'** নামেও অভিহিত করে থাকেন।

একক কাজ

চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ার মধ্যকার পার্থক্যগুলো ছকে লিপিবদ্ধ করো।

CamScanner

পাঠ ৯

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া: অন্ধকার পর্যায়
Photosynthesis Mechanism: Dark Phase

৯.১২ সালোকসংশ্লেষণের অন্ধকার পর্যায় (Dark Phase of Photosynthesis)

সালোকসংশ্লেষণের চূড়ান্ত লক্ষ্য কার্বন সংবন্ধনের মাধ্যমে শর্করা উৎপাদন। সেজন্য অন্ধকার পর্যায়কে **আত্মীকরণ পর্যায়** এবং সামগ্রিকভাবে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াকে **কার্বন আত্মীকরণ** (carbon assimilation) পদ্ধতি বলা হয়। সালোকসংশ্লেষণের আলোক পর্যায়ে আলোক-রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে ATP ও $NADPH+H^+$ উৎপন্ন হয় অন্ধকার পর্যায়ে তা ব্যবহার করে কার্বন ডাইঅক্সাইড সংবন্ধন ঘটে এবং চূড়ান্ত ধাপে গ্লুকোজ উৎপন্ন হয়। এ পর্যায়ের বিক্রিয়াসমূহের উপর আলোর কোন প্রভাব নেই। এজন্য কার্বন বিজারণ বিক্রিয়াকে **অন্ধকার পর্যায় বা আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়** (dark phase বা light independent phase) বলে। আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় দিন ও রাতে সমানভাবে চলতে থাকে। **অন্ধকার পর্যায়ের সকল বিক্রিয়া ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমায় সম্পন্ন হয়।**

বিজ্ঞানী **Melvin Calvin** ও তাঁর সহযোগীবৃন্দ (১৯৪৬-৫৩) উল্লেখ করেন যে, কার্বন বিজারণের বিক্রিয়াসমূহ একটি চক্রাকার পথে চলতে থাকে। তাঁরা তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C- কার্বনের আইসোটোপ) ব্যবহার করে সন্ধানী পদ্ধতিতে (tracer technique) *Chlorella* নামক এককোষী শৈবালে কার্বন বিজারণের চক্রাকার গতিপথ আবিষ্কার করেন। কার্বন বিজারণের এ চক্রাকার গতিপথই হলো ক্যালভিন চক্র। এ কাজের জন্য তাঁরা ১৯৬১ সালে নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হন। অন্ধকার পর্যায়কে **ক্যালভিন চক্র** বলা হয়।

এ পর্যন্ত অন্ধকার পর্যায়ে কার্বন বিজারণের তিনটি গতিপথ আবিষ্কৃত হয়েছে। যথা-

ক. ক্যালভিন চক্র (Calvin Cycle)
খ. হ্যাচ-স্লাক গতিপথ (Hatch-Slack Pathway) ও
গ. ক্রাসুলেসিয়ান অ্যাসিড মেটাবলিজম (CAM) পথ

৯.১২.১ ক্যালভিন চক্র (Calvin Cycle)

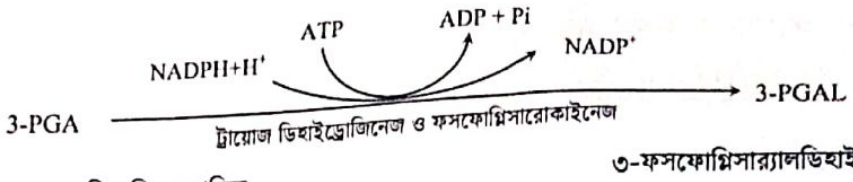
ক্যালভিন চক্রের অনুসারী নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের উদ্ভিদসমূহে, যেমন- ধান, গম, সয়াবিন প্রভৃতি অন্ধকার পর্যায়ের শুরুতে প্রথম স্থায়ী যৌগ হিসেবে **৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড** উৎপন্ন করে। প্রথম স্থায়ী যৌগ ৩ কার্বন বিশিষ্ট যৌগ হওয়ায় এ ধরনের উদ্ভিদকে **C_3 উদ্ভিদ** আর **কেলভিন চক্রকে C_3 চক্র** বলে।

নিচে ক্যালভিন চক্রটি সংক্ষেপে আলোচনা করা হলো–

১. অন্ধকার পর্যায়ের শুরুতে কোষস্থ রাইবুলোজ বিসফসফেট (RuBP) কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্রহণ করে একটি অস্থায়ী ৬-কার্বন যৌগ **কিটো অ্যাসিড** উৎপন্ন করে। রাইবুলোজ বিসফসফেট কার্বক্সিলেজ-অক্সিডেজ **(RuBISCO)** নামক এনজাইম এ প্রক্রিয়ায় অনুঘটক হিসেবে কাজ করে। **রুবিস্কো পৃথিবীর সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ এনজাইম কারণ এটা প্রকৃতি (CO_2) এবং জীবজগতের (RuBP) মধ্যে রাসায়নিক বন্ধন তৈরি করে।** অস্থায়ী ৬-কার্বন যৌগ তাৎক্ষণিকভাবে ভেঙে দুই অণু ট্রায়োজ ফসফেট তথা ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে (3-PGA) পরিণত হয়।

$$\underset{\text{(৫-কার্বন) রাইবুলোজ বিসফসফেট}}{RuBP} + \underset{\text{কার্বন ডাইঅক্সাইড}}{CO_2} \xrightarrow{RuBISCO} \underset{\text{অস্থায়ী}}{[৬\text{- কার্বনযৌগ}]} \rightarrow \underset{\text{(৩-কার্বন) ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড}}{2\ (3PGA)}$$

২. ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড $NADPH+H^+$ দ্বারা বিজারিত হয়ে ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড (3PGAL) উৎপন্ন করে। $NADPH+H^+$ হাইড্রোজেন ত্যাগ করে $NADP^+$ এ পরিণত হয়। ATP এ বিক্রিয়ায় শক্তি সরবরাহ করে এবং বিক্রিয়া শেষে ADP-তে পরিণত হয়। ফসফোগ্লিসারোকাইনেজ ও ট্রায়োজ ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইম এ বিক্রিয়ায় সহযোগিতা করে। (এ পর্যায়ে উৎপন্ন $NADP^+$ ও ADP পুনরায় আলোক অধ্যায়ে ব্যবহৃত হয়।)

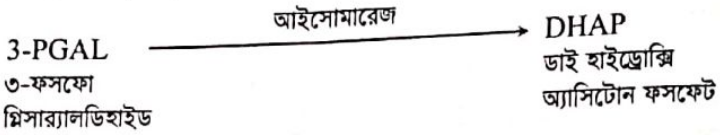


৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড

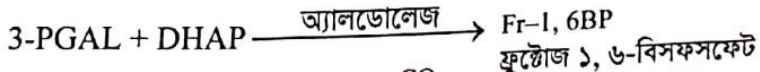
৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড

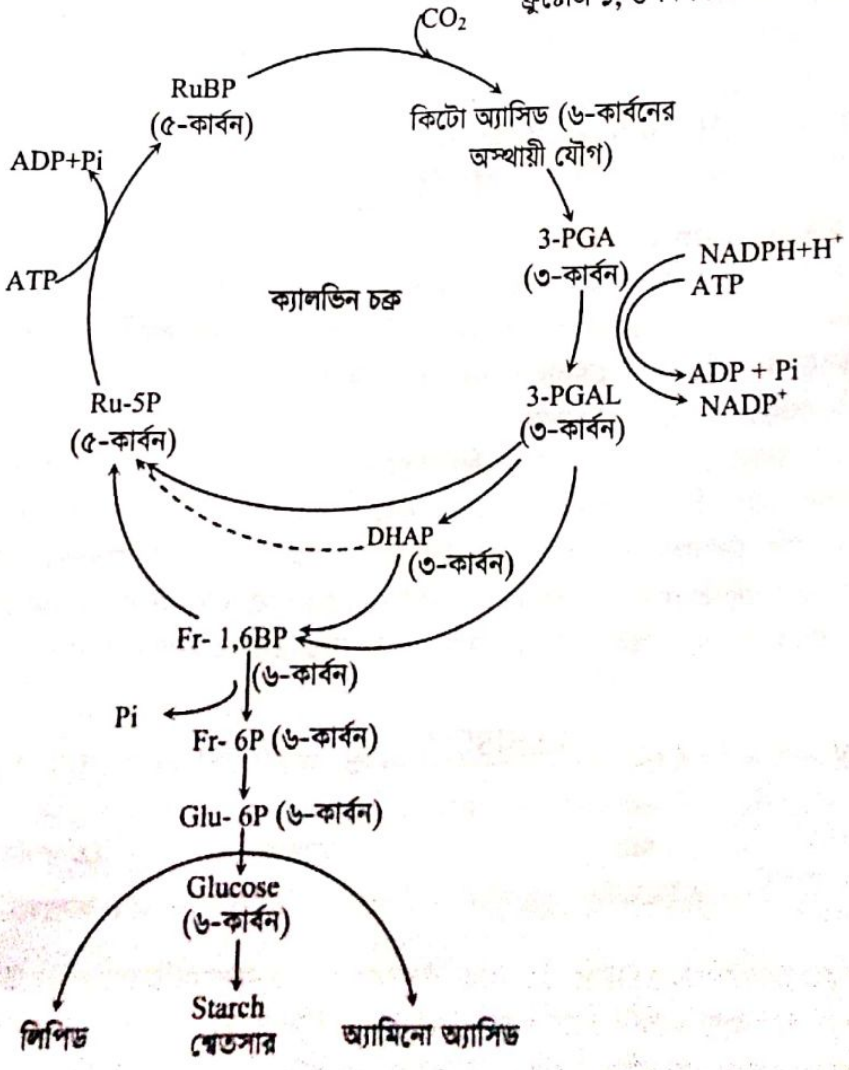
এভাবে উৎপন্ন প্রতি ৬ অণু ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইডের ৫-অণু পুনরায় কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্রহণের জন্য RuBP উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় এবং এক অণু শর্করা উৎপাদনে অংশগ্রহণ করে।

৩. শর্করা উৎপাদনে অংশগ্রহণকারী প্রতি দুই অণু ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইডের এক অণু আইসোমারেজ এনজাইমের প্রভাবে ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেটে (DHAP) পরিণত হয়।



৪. অ্যালডোলেজ এনজাইমের প্রভাবে এক অণু 3-PGAL এর সাথে এক অণু DHAP যুক্ত হয়ে ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিস ফসফেট (Fr-1, 6 BP) উৎপন্ন করে।





চিত্র-৯.১৭: কার্বন বিজারণের বিভিন্ন ধাপ

৫. ফ্রুক্টোকাইনেজ এনজাইমের প্রভাবে ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট এক অণু ফসফেট ত্যাগ করে ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেটে পরিণত হয়। এ পর্যায়ে এক অণু অজৈব ফসফেট মুক্ত হয়।

$$\underset{\text{ফ্রুক্টোজ-১, ৬-বিসফসফেট}}{\text{Fr–1, 6BP}} \xrightarrow{\text{ফ্রুক্টোকাইনেজ}} \underset{\text{ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেট}}{\text{Fr– 6P}} + \text{Pi (অজৈব ফসফেট)}$$

৬. ফসফোফ্রুক্টোআইসোমারেজ এনজাইমের প্রভাবে ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেট গ্লুকোজ ৬-ফসফেটে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেট}}{\text{Fr–6P}} \xrightarrow{\text{ফসফোফ্রুক্টো আইসোমারেজ}} \underset{\text{গ্লুকোজ-৬-ফসফেট}}{\text{Glu–6P}}$$

৭. গ্লুকোজ ৬-ফসফেট অতঃপর হেক্সোকাইনেজ এনজাইমের প্রভাবে ফসফেট ত্যাগ করে গ্লুকোজে ($C_6H_{12}O_6$) পরিণত হয়।

$$\text{গ্লুকোজ-৬-ফসফেট} \xrightarrow{\text{হেক্সোকাইনেজ}} \text{গ্লুকোজ } (C_6H_{12}O_6) + \text{Pi}$$

গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ সরাসরি শ্বসন বা অন্য বিপাকীয় প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। প্রয়োজনের অতিরিক্ত হেক্সোজ শর্করা হতে ওলিগোস্যাকারাইড, পলিস্যাকারাইড, লিপিড, অ্যামিনো অ্যাসিড, জৈব অ্যাসিড প্রভৃতি সঞ্চিত পদার্থ উৎপন্ন হয়। উদ্বৃত্ত শর্করা উদ্ভিদ শ্বেতসার হিসেবে সঞ্চিত রাখে। অন্ধকার পর্যায় বা কার্বন বিজারণের সামগ্রিক বিক্রিয়া সংক্ষেপে নিম্নরূপে প্রকাশ করা হয়-

$$6\,CO_2 + 18\,ATP + 12\,(NADPH + H^+) \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 18\,ADP + 18\,Pi + 12\,NADP^+ + 6H_2O$$

এক অণু গ্লুকোজ উৎপাদনের জন্য 18 ATP ও 12 ($NADPH + H^+$) ব্যবহৃত হয়।

রাইবুলোজ বিস ফসফেট পুনঃউৎপাদন: ক্যালভিন চক্রটি চালু রাখতে হলে অব্যাহতভাবে RuBP (রাইবুলোজ-১, ৫-বিস ফসফেট) এর পুনঃউৎপাদন প্রয়োজন। কারণ এ চক্রে RuBP হলো CO_2 এর একমাত্র গ্রহীতা।

৮. ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড এবং ফ্রুক্টোজ-১,৬-বিস ফসফেট মিলিত হয়ে কয়েকটি বিক্রিয়া শেষে রাইবুলোজ ৫-ফসফেট (Ru-5P; ৫ কার্বন বিশিষ্ট) তৈরি করে।

৯. শেষ ধাপে ফসফোপেন্টোকাইনেজ এনজাইমের উপস্থিতিতে রাইবুলোজ ৫-ফসফেট ATP থেকে ফসফেট গ্রহণ করে রাইবুলোজ- ১,৫-বিস ফসফেটে (RuBP) পরিণত হয়।

$$\underset{\text{রাইবুলোজ-৫ ফসফেট}}{\text{Ru5P}} + \text{ATP} \xrightarrow{\text{ফসফোপেন্টোকাইনেজ}} \underset{\text{রাইবুলোজ-১,৫- বিসফসফেট}}{\text{RuBP}} + \text{ADP}$$

রাইবুলোজ-১,৫-বিস ফসফেট পুনঃউৎপাদনের মাধ্যমে ক্যালভিন চক্র (C_3 চক্র) সম্পূর্ণ হয় এবং শর্করা উৎপাদন অব্যাহত থাকে। উল্লেখ্য যে, অন্ধকার পর্যায়ে ১২ অণু ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড থেকে মাত্র ২ অণু গ্লুকোজ উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় এবং ১০ অণু RuBP পুনঃ উৎপাদনে ব্যয় হয়। অর্থাৎ, **প্রতি ৬ চক্রে ১ অণু গ্লুকোজ উৎপন্ন হয়।**

C_3 উদ্ভিদ এবং এদের বৈশিষ্ট্য

যে সকল উদ্ভিদে C_3 চক্র তথা ক্যালভিন চক্র ঘটে এবং প্রথম স্থায়ী পদার্থরূপে ৩-কার্বনবিশিষ্ট ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় সে সকল উদ্ভিদকে C_3 উদ্ভিদ বলে।

অধিকাংশ গুপ্তবীজী উদ্ভিদে, বিশেষ করে দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে C_3 চক্র বর্তমান। বেশ কিছু একবীজপত্রী উদ্ভিদেও C_3 চক্র দেখা যায়। ১১টি গণের সপুষ্পক উদ্ভিদে C_3 এবং C_4 উভয় চক্রই পাওয়া গেছে (Salisbury, 1986)। নগ্নবীজী উদ্ভিদ, টেরিডোফাইটস, ব্রায়োফাইটস এবং শৈবালের যত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষণ পর্যবেক্ষণ করা হয়েছে তাদের সবগুলোতেই C_3 চক্র পাওয়া গেছে। **C_3 উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য নিম্নরূপ-**

১. C_3 উদ্ভিদে রাইবুলোজ-১, ৫-বিসফসফেট প্রথমে CO_2 গ্রহণ করে।

২. C_3 উদ্ভিদ প্রধানত মেসোফাইটিক।

৩. C_3 উদ্ভিদের স্টোমাটা দিনে খোলা থাকে এবং রাতে বন্ধ থাকে।

CamScanner

৪. C_3 উদ্ভিদের পাতায় বান্ডলসীথ ঘিরে মেসোফিল কোষের কোনো পৃথক স্তর থাকে না অর্থাৎ ক্রান্জ অ্যানাটমি অনুপস্থিত।
৫. ক্লোরোপ্লাস্টে একই রকম গ্রানাম থাকে।
৬. বাতাসে ২০% এর বেশি O_2 থাকলে এদের কার্বন বিজারণ বাধাগ্রস্ত হয়।
৭. এ সকল উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণের জন্য সুবিধাজনক তাপমাত্রা ১০-২৫° সে.।
৮. বাতাসে ৫০ - ১৫০ ppm (parts per million) CO_2 এর উপস্থিতিতে C_3 চক্র ভালো চলে।
৯. এদের শর্করা উৎপাদন ক্ষমতা প্রজাতিভেদে নিম্ন থেকে উচ্চ।
১০. এ সকল উদ্ভিদে ক্যালভিন চক্রের (C_3) মাধ্যমে দিনের বেলা CO_2 আত্তীকরণ ঘটে।
১১. C_3 উদ্ভিদে ক্যালভিন চক্রের প্রথম যৌগ হচ্ছে ৩-ফসফোগ্লিসারিক এসিড।

আলোকশ্বসন বা ফটোরেসপিরেশন (Photorespiration)

ফটোরেসপিরেশন হলো আলোর সাহায্যে O_2 গ্রহণ ও CO_2 ত্যাগ করার বিশেষ শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া। C_4 উদ্ভিদে সাধারণত আলোকশ্বসন তথা ফটোরেসপিরেশন ঘটে থাকে। উদ্ভিদে C_3 চক্র চলাকালে পরিবেশে তীব্র আলো ও উচ্চ তাপমাত্রা সৃষ্টি হলে সালোকসংশ্লেষণ না ঘটে আলোকশ্বসন ঘটে।

তীব্র আলো ও অধিক তাপমাত্রায় (৩০° সে. এর উপর) গাছে পানি সংরক্ষণের জন্য পত্ররন্ধ্র 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 তৈরি করে। গ্লাইকোলেট ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে সাইটোপ্লাজমে এসে **পারঅক্সিজোম**-এ প্রবেশ করে। পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে গ্লাইঅক্সিলেট, গ্লাইসিন ইত্যাদি যৌগ তৈরি করে। অবশেষে সেরিন নামক অ্যামিনো অ্যাসিডের সৃষ্টি করে যা মাইটোকন্ড্রিয়াতে প্রবেশ করে এবং বিক্রিয়া শেষে CO_2 ত্যাগ করে।

জেনে রাখো

আলোকশ্বসন প্রক্রিয়া প্রকৃত শ্বসন নয় কেন?
আলোকশ্বসন প্রক্রিয়ায় কার্বন যৌগ ভেঙ্গে CO_2 নির্গত হয় ও O_2 গৃহীত হয়। কিন্তু এ প্রক্রিয়ায় কোনো ATP উৎপন্ন হয় না বলে এ প্রক্রিয়াকে প্রকৃত শ্বসন বলা যায় না।

৯.১২.২ হ্যাচ-স্ল্যাক গতিপথ (Hatch and Slack Pathway)

১৯৬২ সালে স্টেইলার (Steiler) সর্বপ্রথম ক্যালভিন চক্রের সর্বজনীনতা নিয়ে সন্দেহ পোষণ করেন। পরে ১৯৬৫ সালে আখে তেজস্ক্রিয় CO_2 ব্যবহার করে ৪-কার্বন বিশিষ্ট ম্যালিক অ্যাসিড ও অ্যাসপারটিক অ্যাসিড দেখতে পান। অস্ট্রেলিয়ান বিজ্ঞানী M.D. Hatch ও R.C. Slack (১৯৬৬) আখের উপর গবেষণায় দেখতে পান যে, অন্ধকার দশায় রাইবুলোজ বিসফসফেটের পরিবর্তে ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড (PEPA) নামক তিন কার্বন যৌগের সাথে কার্বন ডাইঅক্সাইড যুক্ত হয়ে **অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড** (OAA) নামক ৪-কার্বন বিশিষ্ট পদার্থ উৎপন্ন হয়। PEPA-কার্বোক্সিলেজ এনজাইম এ বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে বলে অক্সিজেন যুক্ত হতে পারে না। কার্বন ডাইঅক্সাইডের ঘনত্ব তুলনামূলকভাবে অনেক কম হলেও এদের সালোকসংশ্লেষণ চলতে থাকে। এ ধরনের উদ্ভিদে অন্ধকার পর্যায়ে প্রথম স্থায়ী পদার্থ ৪-কার্বন বিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড। তাই এমন উদ্ভিদকে **C_4 উদ্ভিদ** বলে এবং এমন চক্রকে **C_4 চক্র** বলে। এ চক্রের প্রথম স্থায়ী যৌগ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডে (OAA) দুটি কার্বোক্সিল গ্রুপ (COOH) থাকায় এ চক্রটি **ডাই কার্বোক্সিলিক চক্র** নামেও পরিচিত। যেমন– ভূট্টা, আখ বা ইক্ষু, বাজরা, কাউন, চিনা, গিনি ঘাস, ডাটা, মুথাঘাস প্রভৃতি C_4 উদ্ভিদ। এদের মেসোফিল কোষে RuBP এনজাইম নিষ্ক্রিয় থাকলেও বান্ডল সিথ ক্লোরোপ্লাস্টে সক্রিয় থাকে। C_4 উদ্ভিদের কার্বন সংবন্ধনের বিভিন্ন ধাপ নিচে আলোচনা করা হলো-

১. C_4 উদ্ভিদে কার্বোক্সিলেজ নামক এনজাইমের সহায়তায় ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড (PEPA) CO_2 গ্রহণ করে অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড (OAA) উৎপন্ন করে। এসময়ে ফসফোরিক অ্যাসিড (PA) উপজাত হিসেবে উৎপন্ন হয়।

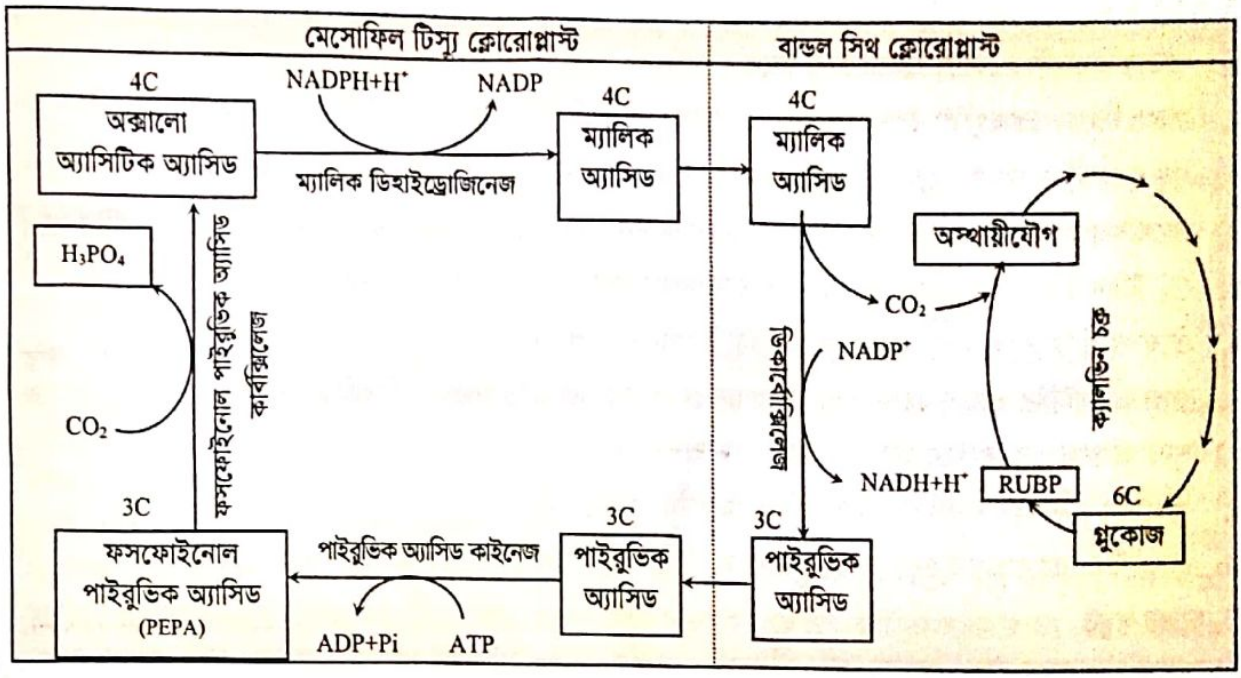
$$PEPA + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{কার্বোক্সিলেজ}} OAA + PA$$

২. ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে $NADPH+H^+$ দ্বারা বিজারিত হয়ে অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড ম্যালিক অ্যাসিডে (MA) পরিণত হয়।

$$OAA + NADPH+H^+ \xrightarrow{\text{ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ}} MA + NADP$$

CamScanner

উপরিউক্ত বিক্রিয়া দুটি পাতার মেসোফিল টিস্যুর ক্লোরোপ্লাস্টে সম্পন্ন হয় এবং ম্যালিক অ্যাসিড বান্ডল সিথের কোষে প্রবেশ করে।



চিত্র-৯.১৮: হ্যাচ-স্লাক পথ

৩. ম্যালিক ডিকার্বোক্সিলেজ এনজাইমের প্রভাবে বান্ডল সিথের ক্লোরোপ্লাস্টে ম্যালিক অ্যাসিড (MA) কার্বন ডাইঅক্সাইড ত্যাগ করে পাইরুভিক অ্যাসিডে (PA) পরিণত হয়। এসময়ে NADP থেকে $NADPH + H^+$ উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ায় উৎপন্ন CO_2 পুনরায় ক্যালভিন চক্রে প্রবেশ করে এবং RuBP দ্বারা গৃহীত হয় ও শর্করা উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

$$MA + NADP \xrightarrow{\text{ম্যালিক ডিকার্বোক্সিলেজ}} PA + CO_2 + NADPH + H^+$$

৪. পাইরুভিক অ্যাসিড (PA) পুনরায় মেসোফিল টিস্যুতে ফিরে যায় এবং পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ এনজাইমের প্রভাবে ATP, ADP তে রূপান্তরিত হয় ও ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড (PEPA) সৃষ্টির মাধ্যমে CO_2 গ্রহণে অংশ নেয়।

$$PA + ATP \xrightarrow{\text{পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ}} PEPA + ADP$$

এ প্রক্রিয়ায় শর্করা উৎপাদনের জন্য C_4 চক্রের সাথে C_3 চক্র সম্পর্কযুক্ত, এ কারণে এ চক্রকে **কো-অপারেটিভ ফটোসিনথেসিস** নামেও অভিহিত করা হয়।

ক্রাঞ্জ অ্যানাটমি (Kranz Anatomy)

C_4 উদ্ভিদের পাতার গঠন বৈচিত্র্যপূর্ণ। পাতার পরিবহন টিস্যুগুচ্ছের চারদিকে বলয় আকারে একসারি বৃহদায়তন ক্লোরোপ্লাস্টযুক্ত বান্ডল সিথ কোষ নিবিড়ভাবে সাজানো থাকে। বান্ডল সিথকে ঘিরে আরেক সারি মেসোফিল কোষ সাজানো থাকে। এরূপ টিস্যুবিন্যাসকে **ক্রাঞ্জ অ্যানাটমি** (জার্মান শব্দ *kranz* = wreath) বলে, যা দেখে C_4 উদ্ভিদ শনাক্ত করা যায়।

C_4 উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য

যে সকল উদ্ভিদে C_4 চক্র দেখা যায় তাদের C_4 উদ্ভিদ বলে। নিচে এদের বৈশিষ্ট্যগুলো উল্লেখ করা হলো-

১. পাতার বান্ডলসিথ কোষে ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে।
২. বান্ডল সিথের কোষগুলো ভাস্কুলার বান্ডলের সাথে অরীয়ভাবে সজ্জিত।
৩. শুধু মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে গ্রানা বিদ্যমান। আর বান্ডল সিথ ক্লোরোপ্লাস্টে স্ট্রোমা থাকে।
৪. সালোকসংশ্লেষণের হার অপেক্ষাকৃত বেশি। এমনকি স্বল্প CO_2 এর উপস্থিতিতেও সালোকসংশ্লেষণ সংঘটিত হয়।
৫. C_4 উদ্ভিদ উচ্চ তাপমাত্রায় খাপ খাইয়ে স্বাভাবিকভাবে সালোকসংশ্লেষণ করতে পারে।
৬. প্রস্বেদন ও আলোক শ্বসন কম হওয়ায় শর্করা উৎপাদন বেশি হয়।
৭. ক্রাঞ্জ অ্যানাটমির কারণে এদের খাদ্য উৎপাদন বেশি এবং তা অতি সহজে পরিবাহিত হয়।
৮. শুষ্ক অঞ্চলে এরা অভিযোজিত এবং কম পানি অপচয় করে।
৯. রুবিস্কো এনজাইম বান্ডলসীথে থাকে কিন্তু মেসোফিলে থাকে না।
১০. বান্ডলসীথ ক্লোরোপ্লাস্টে প্রচুর স্টার্চ দানা থাকে, কিন্ত মেসোফিল ক্লোরোপ্লাস্টে স্টার্চ দানা থাকে না।

C_4 চক্রের গুরুত্ব

১. অধিক তাপমাত্রায় (৩০° – ৪৫° C) C_4 উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষণ সংঘটিত হতে পারে। কিন্তু C_3 উদ্ভিদে কম তাপমাত্রায় (১০° - ২৫°C) CO_2 বিজারণ ঘটে।
২. মরু উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র আংশিকভাবে বন্ধ থাকলেও C_4 গতিপথ চলতে পারে।
৩. C_4 উদ্ভিদের CO_2 গ্রাহক ফসফোইনল পাইরুভিক এসিড C_3 উদ্ভিদের CO_2 গ্রাহক রাইবুলোজ ১,৫ বিসফসফেট অপেক্ষা অধিক কার্যকর।
৪. C_4 উদ্ভিদে ফটোরেসপিরেশন ও প্রস্বেদন কম হয় বলে CO_2 বিজারণ বেশি হয়।
৫. C_4 উদ্ভিদের পাতায় ক্র্যাঞ্জ অ্যানাটমি-র জন্য এর খাদ্য উৎপাদন ক্ষমতা বেশি ও অতি সহজে এটি পরিবাহিত হতে পারে।
৬. CO_2 এর স্বল্প উপস্থিতিতে C_4 গতিপথ চলতে পারে।

৯.১২.৩ CAM প্রক্রিয়া (CAM Process)

ক্র্যাসুলেসিয়ান অ্যাসিড মেটাবলিজমকে সংক্ষেপে CAM প্রক্রিয়া বলা হয়। Crassulaceae গোত্রের (পাথরকুচি গোত্র) উদ্ভিদে এ প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় বলে একে CAM নামকরণ করা হয়েছে। এসব উদ্ভিদ উষ্ণ আবহাওয়ায় বেঁচে থাকে। এসব উদ্ভিদে রাতে পত্ররন্ধ্রগুলো খোলা থাকে। এর কারণ দিনের বেলায় এদের পাতায় জৈব অ্যাসিডের পরিমাণ কমে যায় ফলে pH এর মাত্রাও কমে যায় এবং রাতে জৈব অ্যাসিডের পরিমাণ বেড়ে যায় যার ফলে pH এর মাত্রা বেড়ে যায়। এ প্রক্রিয়ার ধাপগুলো C_4 বিক্রিয়ার মতোই।

বাড়ির কাজ

আলোক নিরপেক্ষ অধ্যায়ে কিছু উদ্ভিদ শর্করা সৃষ্টির লক্ষ্যে সংঘটিত বিক্রিয়াসমূহের গতিপথ দুটি বিশেষ চক্রের মাধ্যমে সম্পন্ন করে।

ক. উদ্দীপকে অধ্যায়টিতে আলোর ভূমিকা ব্যাখ্যা করো।
খ. উক্ত বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন উদ্ভিদগুলোতে সংঘটিত চক্র দুটির মধ্যে তুলনামূলক আলোচনা করো।

পাঠ ১০

সালোকসংশ্লেষণে প্রভাবকসমূহের ভূমিকা
Role of Factors of Photosynthesis

৯.১৩ সালোকসংশ্লেষণে প্রভাবকসমূহের ভূমিকা (Role of Factors of Photosynthesis)

কিছু সংখ্যক পারিপার্শ্বিক ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবক দ্বারা উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণের হার নিয়ন্ত্রিত হয়। এসব প্রভাবককে প্রধানত দু'ভাগে ভাগ করা যায়; যথা: (ক) **বাহ্যিক** ও (খ) **অভ্যন্তরীণ**। নিচে গুরুত্বপূর্ণ প্রভাবকগুলো আলোচনা করা হলো-

৯.১৩.১ বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ (External Factors)

যেসব পরিবেশগত কারণে সালোকসংশ্লেষণের হার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে তাদেরকে বাহ্যিক প্রভাবক বলে। আলো, CO_2, তাপমাত্রা, O_2, পানি, পুষ্টি, দূষণকারী পদার্থ সালোকসংশ্লেষণের উপর প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষ প্রভাব বিস্তার করে।

১. **আলো :** সালোকসংশ্লেষণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি সূর্যালোক থেকে উদ্ভিদ আহরণ করে। আলোর তীব্রতা, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, স্থায়িত্ব প্রভৃতির উপর সালোকসংশ্লেষণের হার নির্ভর করে। আলোর তীব্রতার সাথে সালোকসংশ্লেষণের হার বৃদ্ধি (৭-৮ গুণ) পেতে থাকে। ২০-৩০% পূর্ণ তীব্রতায় অনেক উদ্ভিদে সর্বোচ্চ সালোকসংশ্লেষণ হতে দেখা যায়। তবে বায়ুমণ্ডলে আলোর পরিমাণ অত্যধিক বৃদ্ধি পেলে বা প্রখর সূর্যালোকে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায় এবং সালোকসংশ্লেষণ হ্রাস পায়। এছাড়া তীব্র আলোয় ক্লোরোফিল নষ্ট হয় এবং এনজাইম তীব্র আলোয় কর্মদক্ষতা হারায়। ৬১০-৭০০nm (কমলা-লাল) আলোক তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সালোকসংশ্লেষণে সর্বাধিক ব্যবহার হয় এবং ৬৬৫nm (লাল) তরঙ্গ দৈর্ঘ্য সর্বোচ্চ পরিমাণে বিবেচিত। ৪০০-৫০০nm (বেগুনী- নীল) তরঙ্গ দৈর্ঘ্যে সালোকসংশ্লেষণের দ্বিতীয় সর্বাধিক হার পরিলক্ষিত হয়। অপরদিকে, সবুজ, হলুদ ও কমলা রশ্মিতে সালোকসংশ্লেষণের হার সর্বনিম্ন। ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল এর সর্বোচ্চ শোষণ ঘটে ইনফ্রারেড এবং নীল-বেগুনী রশ্মিতে।

২. **CO_2 এর ঘনত্ব :** সালোকসংশ্লেষণের অন্যতম প্রধান উপাদান CO_2। বাতাসে CO_2 এর ঘনত্ব ০.০৩-০.০৪%। সালোকসংশ্লেষণের হার CO_2 ঘনত্ব ০.৫% পর্যন্ত বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি পায়। অধিকাংশ উদ্ভিদে ৮০০-১,২০০ppm CO_2 মাত্রায় সর্বোচ্চ সালোকসংশ্লেষণ হতে দেখা যায়।
CO_2 এর ঘনত্ব অত্যধিক (১০%) হলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায় এবং কম ঘনত্বে C_3 উদ্ভিদে আলোক শ্বসন-এর (ফটোরেসপিরেশনের) জন্য সালোকসংশ্লেষণের হার কমতে থাকে। তবে C_3 উদ্ভিদের CO_2 কমপেনসেশন পয়েন্ট (২৫-১০০ ppm) যা C_4 উদ্ভিদের তুলনায় (৫ ppm-এর চেয়ে কম) অনেক বেশি থাকে।

৩. **তাপমাত্রা :** তাপমাত্রা সালোকসংশ্লেষণ ও গ্যাস বিনিময় প্রক্রিয়া প্রভাবিত করে। উচ্চ ও নিম্নতাপমাত্রায় পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়। তাছাড়া, সালোকসংশ্লেষণের সাথে সংশ্লিষ্ট অধিকাংশ এনজাইম তাপমাত্রার প্রতি অত্যন্ত সংবেদনশীল। ২০-৩০° সে. তাপমাত্রায় এনজাইমের কার্যকারিতা স্বাভাবিক থাকে। তাপমাত্রা কমলে বা বাড়লে এনজাইমের কর্মক্ষমতা হ্রাস পায়।

৪. **পানি :** উদ্ভিদ মাটি থেকে যে পরিমাণ পানি শোষণ করে তার প্রায় ১% সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। পানির অভাবে প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষণের হার কমতে থাকে। উদ্ভিদে পানির ঘাটতি দেখা দিলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায় এবং হিল বিক্রিয়া ব্যাহত হয়।

৫. **খনিজ পুষ্টি :** বিভিন্ন মৌল অণু সালোকসংশ্লেষণে অংশগ্রহণকারী এনজাইমের কার্যক্ষমতা নিয়ন্ত্রণ করে। ক্লোরোফিলের গুরুত্বপূর্ণ উপাদান Mg এর অভাবে ক্লোরোফিল নষ্ট হয়ে যায়। Mn, Ca, Cl প্রভৃতি পানি ফটোলাইসিসের জন্য প্রয়োজন। পরিমিত খনিজ পদার্থের অভাব দেখা দিলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমতে থাকে।

৬. **দূষণকারী পদার্থ :** শিল্পায়ন ও নগরায়ণের জন্য বেশ কিছু বিদূষক পদার্থ নির্গত হয় যা সালোকসংশ্লেষণের হার বাধাগ্রস্থ করে। এসব ক্ষতিকর পদার্থের মধ্যে ভারী ধাতু; যেমন- সিসা, পারদ, ক্যাডমিয়াম প্রভৃতি উদ্ভিদের আলোক রাসায়নিক ও অন্ধকার পর্যায়ের বিভিন্ন বিক্রিয়ায় বাধা সৃষ্টি করে। কল-কারখানা থেকে নির্গত SO_2, NO_2, H_2S, O_3 প্রভৃতি উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণে বাধাদান করে।

৭. **অক্সিজেন:** সালোকসংশ্লেষণে O_2-এর প্রভাব রয়েছে। বায়ুমণ্ডলে O_2-এর ঘনত্ব বেড়ে গেলে অধিকাংশ উদ্ভিদেই সালোকসংশ্লেষণের হার কিছুটা কমে যায়। আবার, O_2-এর ঘনত্ব কমে গেলে সালোকসংশ্লেষণের হার বেড়ে যায়।

CamScanner

৯.১৩.২ অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ (Internal Factors)

পাতার গঠন, পত্ররন্ধ্রের আকৃতি ও ঘনত্ব, ক্লোরোফিল ও অন্যান্য রঞ্জক এবং এনজাইম অভ্যন্তরীণ প্রভাবকের মধ্যে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। নিচে এদের প্রভাব সম্পর্কে উল্লেখ করা হলো-

১. **পাতার গঠন :** পাতার মেসোফিলে সালোকসংশ্লেষণ সম্পন্ন হয়। মেসোফিলের কোষ ঢিলাভাবে বিন্যস্ত হলে আন্তঃকোষীয় ফাঁকা স্থানে CO_2 অধিক পরিমাণ জমা হতে পারে। এরূপ পাতার সালোকসংশ্লেষণ হার বেশি হতে দেখা যায়। বড় ও প্রসারিত পাতার চেয়ে ছোট সরু পাতার সালোকসংশ্লেষণ হার বেশি থাকে।

২. **পত্ররন্ধ্র :** পত্ররন্ধ্রের খোলা-বন্ধের উপর এসব গ্যাসের বিনিময় হার নির্ভর করে এবং সালোকসংশ্লেষণের হার নিয়ন্ত্রিত হয়। পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, আকৃতি, অবস্থান প্রভৃতি গ্যাস বিনিময় তথা সালোকসংশ্লেষণের উপর প্রভাব বিস্তার করে।

জেনে রাখো

ক্লোরোপ্লাস্ট বায়ুমণ্ডলের CO_2 সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহার করে বিধায় এ অঙ্গাণুর সংখ্যা বৃদ্ধি পেলে বিশ্ব উষ্ণায়ন হ্রাস পাবে।

৩. **রঞ্জক পদার্থ :** উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি সূর্যালোক থেকে আহরণ করে। ক্লোরোফিলসহ ক্যারোটিন, জ্যান্থোফিল প্রভৃতি রঞ্জক পদার্থ সূর্যালোক ধারণ করে রাসায়নিক শক্তিতে পরিণত করে যা কার্বন সংবন্ধনে ব্যবহৃত হয়। রঞ্জক পদার্থের বৈশিষ্ট্য অনুযায়ী পাতার আলোক ধারণ ক্ষমতা নির্ভর করে। বেশি বয়সী পাতায় ক্লোরোফিল নষ্ট হয়ে যায় বলে সালোকসংশ্লেষণ কম হয়।

৪. **এনজাইম :** তাপমাত্রা, pH প্রভৃতির কারণে এনজাইমের ঘাটতি হলে বা এনজাইমের কার্যক্রম ব্যাহত হলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমতে থাকে।

৫. **শর্করার উপস্থিতি :** সালোকসংশ্লেষণে উৎপন্ন শর্করা কোষ হতে পরিবাহিত না হলে ঘনত্ব বৃদ্ধি পায় এবং সালোকসংশ্লেষণ কমতে থাকে।

৬. **পটাশিয়াম:** পাতায় পটাশিয়ামের ঘাটতি দেখা দিলে সালোকসংশ্লেষণের হার কমে যায়। কারণ, পত্ররন্ধ্র খোলাতে K^+ ভূমিকা রাখে।

৭. **পাতার বয়স:** একেবারে কচি পাতা ও একেবারে বৃদ্ধ পাতায় ক্লোরোফিলের পরিমাণ কম থাকে বলে সালোকসংশ্লেষণ কম হয়। মাঝারি বয়সের পাতায় ক্লোরোফিল বেশি থাকায় সেখানে সালোকসংশ্লেষণ বেশি হয়।

৯.১৪ সালোকসংশ্লেষণের হার (Photosynthetic Quotient)

নির্দিষ্ট সময়ে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শোষিত CO_2 অণুর সংখ্যা এবং ঐ সময়ে নির্গত O_2 অণুর সংখ্যার অনুপাতকে সালোকসংশ্লেষণের হার বলে। একে P.Q. দ্বারা প্রকাশ করা হয়।

$$P.Q. = \frac{\text{নির্গত অক্সিজেন অণুর সংখ্যা}}{\text{শোষিত কার্বন ডাইঅক্সাইড অণুর সংখ্যা}} = \frac{1}{1} = 1$$

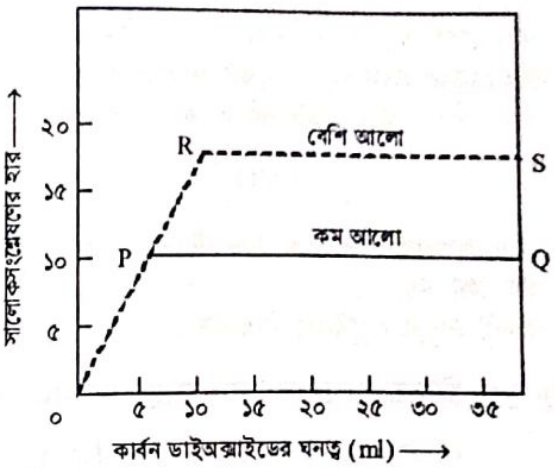
PQ এর মান সব সময় 1 হয়। তবে CO_2 পরিমাণ বেড়ে গেলে এই হার বৃদ্ধি পায়। অর্থাৎ এ সমীকরণ দিয়ে উৎপাদিত খাদ্যদ্রব্যের পরিমাণের ধারণা পাওয়া যায়।

৯.১৫ সালোকসংশ্লেষণে লিমিটিং ফ্যাক্টরের ভূমিকা (Role of Limiting Factor in Photosynthesis)

অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ার মতো সালোকসংশ্লেষণ কতকগুলো বাহ্যিক এবং অভ্যন্তরীণ ফ্যাক্টর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। যেমন– আলো, CO_2, অক্সিজেন, তাপমাত্রা, পানি প্রভৃতি। সালোকসংশ্লেষণের উপর এসব ফ্যাক্টরগুলোর ক্রিয়া সবসময় সমষ্টিগত ভাবে হয়ে থাকে। তবে বিজ্ঞানীরা চেয়েছিলেন প্রতিটি ফ্যাক্টরের সর্বনিম্ন, সর্বানুকূল ও সর্বোচ্চ হার কখন হয় তা জানতে। ১৮৪৩ সালে **লিবিগ** (D.V. Leibig) প্রথম **law of minimum** নামে একটি মতবাদ উপস্থাপন করেন। তার মতে **"যদি কোন শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া একাধিক ফ্যাক্টর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাহলে নিয়ন্ত্রণকারী ফ্যাক্টরগুলোর মধ্যে সবচেয়ে মন্থর গতিসম্পন্ন ফ্যাক্টর দ্বারা ঐ প্রক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রিত হবে।"** এরপর ১৯০৫ সালে **ব্লাকম্যান** (F. F. Blackman) ঐ মতবাদটি বিস্তৃত করে **"law of limiting factors"** প্রস্তাব করেন। তার মতে **"যখন কোন**

শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ার দ্রুততা কয়েকটি পৃথক ফ্যাক্টর দ্বারা প্রভাবিত হয় তখন নিম্নতম গতিসম্পন্ন ফ্যাক্টর দ্বারাই ঐ প্রক্রিয়ার গতি সীমিত হয়।" এর অর্থ হলো সালোকসংশ্লেষণে আলো, তাপমাত্রা, অক্সিজেন, পানিসহ অন্যান্য ফ্যাক্টরগুলো সর্বোচ্চ মাত্রায় উপস্থিত থাকলেও শুধু CO_2 এর ঘনত্ব ন্যূনতম হলে, একমাত্র CO_2-ই একা সালোকসংশ্লেষণের হার সীমিত করে দেবে। তবে CO_2-এর ঘনত্ব ক্রমশ বাড়িয়ে দিলে সালোকসংশ্লেষণের হার বাড়তে থাকবে, যদি না অপরাপর ফ্যাক্টরগুলো সর্বোচ্চ মাত্রা থেকে সর্বনিম্ন মাত্রায় নেমে যায়।

ব্ল্যাকম্যানের এ তত্ত্বটি লেখচিত্রের সাহায্যে সুন্দরভাবে ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন: একটি পাতা নির্দিষ্ট আলোক তীব্রতায় প্রতি ঘণ্টায় ৫ মিলি CO_2 ব্যবহার করে। এখন CO_2 এর ঘনত্ব ১ থেকে ৫ মিলি/ঘণ্টা বাড়ানোর ফলে সালোকসংশ্লেষণের হার OP পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়। একই আলোক তীব্রতায় CO_2 এর ঘনত্ব আরো বৃদ্ধি করলেও সালোকসংশ্লেষণের হার বৃদ্ধি না পেয়ে PQ রেখা বরাবর সীমিত থেকে যায়। অর্থাৎ আলোর তীব্রতা এখানে লিমিটিং ফ্যাক্টরের ভূমিকা পালন করছে। পুনরায় আলোর তীব্রতা বৃদ্ধি করলে হার বৃদ্ধি পাবে PR পর্যন্ত। যেহেতু CO_2 এর ঘনত্ব ২য় দফা (১০ মিলি/ঘণ্টা) বৃদ্ধি করা হয়েছে। তবে আবারও CO_2 এর ঘনত্ব বাড়তে (১৫ মিলি/ঘণ্টা) থাকলে হার RS পর্যন্ত সীমিত থাকবে। কারণ এখানেও আলোক লিমিটিং ফ্যাক্টরের কাজ করছে। সুতরাং, ১টি মাত্র ফ্যাক্টর বৃদ্ধি করে সালোকসংশ্লেষণের হার বাড়ানো সম্ভব নয় বরং অন্যান্য ফ্যাক্টরগুলো সঠিক অনুপাতে বাড়াতে হবে।



চিত্র-৯.১৯: সালোকসংশ্লেষণে Limiting Factor

তবে লিমিটিং ফ্যাক্টর-এর ধারণাটি সমালোচিত। অনেকে মনে করেন, ধারণাটি অনেকাংশে আপেক্ষিক এবং একেবারে নিখুত নয়। কারণ ক্লোরোপ্লাস্টের পরিবেশগত অবস্থা সবসময় একই রকম থাকে না। আর ব্ল্যাকম্যানের সর্বোচ্চ মাত্রা বের করাও কঠিন।

৯.১৬ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস

(Source of Released O_2 in Photosynthesis Process)

আলোর উপস্থিতিতে সবুজ উদ্ভিদের ক্লোরোফিলে CO_2 ও H_2O সহযোগে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শর্করা তৈরি হয়। সালোকসংশ্লেষণের সাধারণ বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

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

সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত CO_2 ও H_2O উভয়ের মধ্যে O_2 থাকায় প্রশ্ন জাগে এ প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন O_2-এর উৎস কোনটি? বিভিন্ন বিজ্ঞানভিত্তিক পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয়েছে, নির্গত O_2 বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণকারী H_2O হতে আসে, CO_2 হতে নয়। নিচে এমন কয়েকটি পরীক্ষার বর্ণনা দেওয়া হলো-

১. হিল-বিক্রিয়া: রবিন হিল (Robin Hill) নামক একজন ইংরেজ প্রাণরসায়নবিদ ১৯৩৭ সালে একটি পরীক্ষায় CO_2 বিহীন পরিবেশে উদ্ভিদ কোষ থেকে পৃথককৃত ক্লোরোপ্লাস্ট, পানি ও কিছু হাইড্রোজেন গ্রাহক (অজৈব জারক) একত্রে আলোতে রাখেন। পরীক্ষা শেষে দেখা যায় যে, CO_2-এর অনুপস্থিতিতে শর্করা তৈরি হয়নি, কিন্তু পানি থেকে হাইড্রোজেন গ্রাহক কর্তৃক হাইড্রোজেন গৃহীত হয়েছে এবং O_2 নির্গত হয়েছে। হিলের এ পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হয় যে, সালোকসংশ্লেষণে নির্গত O_2-এর উৎস পানি।

$$2H_2O + 2A\ (\text{হাইড্রোজেন গ্রাহক}) \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলো}} 2AH_2 + O_2$$

২. ভ্যান নেইল (Van Niel)-এর পরীক্ষা: ভ্যান নেইল সালোকসংশ্লেষণকারী সালফার ব্যাকটেরিয়ার ক্ষেত্রে দেখান যে, সালফার ব্যাকটেরিয়া পানির পরিবর্তে H_2S গ্যাস ও CO_2 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_2 নয়।

$$12H_2S + 6CO_2 \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলো}} 6S + C_6H_{12}O_6 + 6H_2O$$

CamScanner

৩. রুবেন ও কামেন-এর তেজস্ক্রিয় চিহ্নিতকরণ পরীক্ষা: ১৯৪১ খ্রিস্টাব্দে ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের স্যামুয়েল রুবেন ও কামেন তেজস্ক্রিয় O_2^{18} (অক্সিজেনের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ) দ্বারা পানির অক্সিজেনকে চিহ্নিত করেন এবং ঐ পানিতে কতগুলো শৈবাল জাতীয় উদ্ভিদ রেখে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার ফলাফল লক্ষ করেন।

$$6CO_2 + 12H_2O^{18} \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{সূর্যালোক}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6O_2^{18}$$

দেখা গেল যে, নির্গত অক্সিজেন তেজস্ক্রিয়। এতে নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হলো যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস পানি। একই পদ্ধতিতে কার্বন ডাইঅক্সাইডের অক্সিজেনকে O_2^{18} দ্বারা চিহ্নিত করেন এবং স্বাভাবিক পানি ব্যবহার করে একই পরীক্ষা করা হলো।

$$6CO_2^{18} + 12H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{সূর্যালোক}} C_6H_{12}O_6^{18} + 6H_2O^{18} + 6O_2$$

এবার দেখা গেল যে, শর্করা ও পানিতে তেজস্ক্রিয় অক্সিজেন বিদ্যমান। কিন্তু সালোকসংশ্লেষণের ফলে নির্গত অক্সিজেন তেজস্ক্রিয় নয়।

কাজেই উপরোক্ত পরীক্ষা নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে যে, সালোকসংশ্লেষণে নির্গত অক্সিজেনের উৎস পানি।

৯.১৭ জীবজগতে সালোকসংশ্লেষণের গুরুত্ব
(Importance of Photosynthesis in Living World)

সালোকসংশ্লেষণের অনুপস্থিতিতে জীবজগতের বেঁচে থাকা অসম্ভব। এজন্য জীবজগতে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার গুরুত্ব অপরিসীম। নিচে সালোকসংশ্লেষণের গুরুত্ব সম্বন্ধে আলোচনা করা হলো–

১. **উদ্ভিদজগতের জন্য খাদ্য তৈরি:** উদ্ভিদের বেঁচে থাকার জন্য যে খাদ্য প্রয়োজন হয় তা সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায়ই তৈরি হয়ে থাকে। কাজেই এ প্রক্রিয়া সবুজ উদ্ভিদের জন্য খুবই গুরুত্বপূর্ণ।

২. **প্রাণিকুলের খাদ্য তৈরিতে:** প্রাণিজগত নিজের খাদ্য নিজে তৈরি করতে পারেনা। এরা খাদ্যের জন্য সম্পূর্ণরূপে সবুজ উদ্ভিদের উপর নির্ভরশীল। কাজেই সমগ্র প্রাণিজগতের খাদ্য তৈরিতে মুখ্য ভূমিকা রাখে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া।

৩. **শক্তির উৎস:** জীবদেহের সকল বিপাকীয় কাজে ব্যবহৃত শক্তির একমাত্র উৎস হলো সৌরশক্তি। কেবল উদ্ভিদই সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় সৌরশক্তিকে রাসায়নিক স্থিতিশক্তি হিসেবে খাদ্যে আবদ্ধ করে। উদ্ভিদ ও প্রাণী তাদের বৃদ্ধি এবং সকল শারীরবৃত্তীয় কাজে ব্যবহৃত শক্তি এ খাদ্যের মাধ্যমেই পেয়ে থাকে।

৪. **জীবের শ্বসন:** জীবের শ্বসন কাজে ব্যবহৃত O_2-এর একমাত্র উৎস হলো সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় সৃষ্ট O_2।

৫. **পরিবেশ পরিশোধন:** সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় CO_2 শোষিত হয় এবং O_2 উৎপন্ন হয়। শারীরবৃত্তীয় এ প্রক্রিয়া প্রাণিকূলের জন্য ক্ষতিকারক CO_2 শোষণ করে এবং সকল জীবের শ্বসনের জন্য অত্যাবশ্যকীয় O_2 সরবরাহ করে। এ প্রক্রিয়া পরিবেশ পরিশোধন করে থাকে। এভাবে সবুজ উদ্ভিদের এ প্রক্রিয়া জীবজগতকে নিশ্চিত ধ্বংসের হাত হতে রক্ষা করে।

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

৭. **ভূ-পৃষ্ঠের তাপমাত্রা রক্ষা:** সালোকসংশ্লেষণের সময় উদ্ভিদ প্রচুর সৌরশক্তি শোষণ করায় ভূ-পৃষ্ঠের তাপমাত্রা সহনীয় পর্যায়ে থাকে।

৮. **মানব সভ্যতা বিকাশে:** ক্রমবিকশিত মানবসভ্যতা খাদ্য, বস্ত্র, ওষুধ, জ্বালানি, জীবাশ্ম-জ্বালানি, কাগজ, আসবাবপত্র ইত্যাদির উপর সম্পূর্ণরূপে নির্ভরশীল। আর এসব কিছুই প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে আসে উদ্ভিদজগত থেকে। উদ্ভিদদেহের সব কিছুই মূলত সালোকসংশ্লেষণের ফসল। এভাবে হাজার বছর ধরে গড়ে উঠা মানবসভ্যতা উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষণের উপর নির্ভরশীল।

শ্রেণির কাজ

সালোকসংশ্লেষণের বাহ্যিক ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহের একটি তালিকা তৈরি করো।

CamScanner

পাঠ ১১ ব্যবহারিক: সালোকসংশ্লেষণে CO_2 গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষা

তত্ত্ব : সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শর্করা তৈরিতে কাঁচামাল হিসেবে CO_2 গ্যাস অপরিহার্য।

উপকরণ : টবে লাগানো একটি চারা গাছ, বড় মুখওয়ালা একটি কাচের স্বচ্ছ চ্যাপ্টা বোতল, মাঝে কাটা একটি কর্ক, কস্টিক পটাশ (KOH) দ্রবণ ও আয়োডিন দ্রবণ, গরম পানি ও ইথাইল অ্যালকোহল।

কার্যপদ্ধতি : পরীক্ষায় ব্যবহৃত গাছটির পাতায় যেন কোনো শর্করা না থাকে এ জন্য গাছটি ব্যবহারের আগে ২—৩ দিন অন্ধকার ঘরে রাখতে হবে। একটি বোতলে কিছুটা কস্টিক পটাশ দ্রবণ নেওয়া হলো। পরে অন্ধকারে রাখা টবের গাছের একটি পাতার অর্ধেক অংশ কর্কের মধ্য দিয়ে বোতলে প্রবেশ করিয়ে ছিপিটি বোতলের মুখে আটকে দেয়া হলো। এভাবে প্রস্তুতকৃত গাছটি টবসহ সারাদিন রোদে রেখে দেয়া হয়। দিনের শেষে পাতাটি ছিড়ে নিয়ে প্রথমে গরম পানিতে ২০ মিনিট ধরে ফুটানো হলো। পরে পাতাটি অ্যালকোহলে ধুয়ে নিয়ে আয়োডিন দ্রবণে ৫ মিনিট রেখে দেয়া হয়।

পর্যবেক্ষণ : আয়োডিন দ্রবণ থেকে উঠিয়ে পাতাটি পরিষ্কার করে পর্যবেক্ষণ করা হলো। দেখা গেল, পাতার যে অংশটি বোতলের মধ্যে ছিল সে অংশের বর্ণ পরিবর্তন হয়নি কিন্তু যে অংশটি বাইরে ছিল তা গাঢ় নীল বর্ণ ধারণ করেছে।

সিদ্ধান্ত : বোতলের ভেতরে কস্টিক পটাশ থাকায় এ অংশে কার্বন ডাইঅক্সাইড ছিল না। তাই আলো ও পানি পাওয়া সত্ত্বেও এ অংশে সালোকসংশ্লেষণ হয়নি। এ জন্য আয়োডিন প্রয়োগে পাতার বোতলের ভেতরের অংশে বর্ণের পরিবর্তন ঘটেনি। অপরপক্ষে, বোতলের বাইরের অংশ আলো, পানি ও কার্বন ডাইঅক্সাইড পাওয়ায় সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শর্করা উৎপন্ন করেছে। এ শর্করার উপস্থিতির জন্য বোতলের বাইরের অংশ গাঢ় নীল বর্ণ ধারণ করেছে।

চিত্র-৯.২০: সালোকসংশ্লেষণে CO_2 এর অপরিহার্যতা পর্যবেক্ষণ

এ থেকে প্রমাণিত হয় যে, সালোকসংশ্লেষণের জন্য CO_2 গ্যাস অত্যাবশ্যকীয় অর্থাৎ CO_2 এর অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষণ ঘটে না।

সাবধানতা

১. গাছটি সতেজ হতে হবে ও পরীক্ষার পূর্বে ২—৩ দিন অন্ধকারে রাখতে হবে।

২. কর্কটি ভালোভাবে এঁটে দিতে হবে যাতে বোতলে বাতাস ঢুকতে না পারে।

৩. পরীক্ষণটি শেষ না হওয়া পর্যন্ত পাতাটি গাছ থেকে ছেড়া যাবে না।

পাঠ ১২

শ্বসন
Respiration

৯.১৮ শ্বসন (Respiration)

প্রতিটি জীবন্ত কোষে দিবা-রাত্রি ২৪ ঘণ্টা শ্বসন প্রক্রিয়া চলে। কারণ জীবের বিপাক, বৃদ্ধি, চলন, জনন ও শারীরবৃত্তীয় বিভিন্ন কাজ পরিচালনার জন্য প্রতিনিয়ত শক্তির প্রয়োজন হয়। জীবদেহে সঞ্চিত খাদ্যবস্তু জারণের মাধ্যমে প্রয়োজনীয় শক্তি তৈরি হয়। জীবকোষে জটিল জৈব যৌগ হিসেবে খাদ্য সঞ্চিত থাকে এবং রাসায়নিক শক্তিরূপে (স্থিতিশক্তি) খাদ্যে জমা থাকে। বিভিন্ন এনজাইমের প্রভাবে এসব জৈব যৌগ জারিত হলে ধাপে ধাপে স্থিতিশক্তি পরিবর্তিত হয়ে গতিশক্তিরূপে (ATP) নির্গত হয়। **যে জৈব-রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় এনজাইম নিয়ন্ত্রিত অবস্থায় জীবকোষের অভ্যন্তরে জটিল জৈব যৌগ জারণের মাধ্যমে শক্তি নির্গত হয় তাকে শ্বসন বলে (Respiration; ল্যাটিন শব্দ *respirae* = শ্বাস নেয়া)।**

সাধারণত শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোষস্থ শর্করা (গ্লুকোজ) অক্সিজেনের সাহায্যে জারিত হয়ে CO_2 ও H_2O উৎপন্ন করে। এ প্রক্রিয়ায় রাসায়নিক শক্তি গতিশক্তিরূপে মুক্ত হয় এবং ATP উৎপন্ন করে। তাই **শর্করাই হলো শক্তির প্রধান উৎস।**

শ্বসনের সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{অক্সিজেন}}{6O_2} + 6H_2O + 38\,ADP + 38Pi \xrightarrow[\text{এনজাইমসমূহ}]{\text{শ্বসন}} \underset{\text{কার্বন ডাইঅক্সাইড}}{6CO_2} + \underset{\text{পানি}}{12H_2O} + \underset{\text{শক্তি}}{38ATP\ (686\ \text{কি. ক্যালরি})}$$

শ্বসন প্রক্রিয়ায় যে পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয় তার প্রায় ৪৫% তাপ শক্তিতে পরিণত হয় এবং বাকি ৫৫% ATP হিসেবে কোষে উপস্থিত থাকে (আবার অনেকের মতে ৪০%)। সে হিসেবে প্রাপ্ত শক্তির মোট পরিমাণ ৩৮০ কি. ক্যালরি। ATP কে **জৈবিক মুদ্রা (biological coin)** বলা হয়ে থাকে। মুদ্রার ন্যায় দেহের যে কোন স্থানে তাৎক্ষণিক শক্তি চাহিদা মেটাতে ATP ব্যবহৃত হয়। একক সময়ে কোষে সামান্য পরিমাণ ATP জমা থাকে, তাই শ্বসনের মাধ্যমে প্রতিনিয়ত ATP উৎপন্ন হয়। শ্বসন বন্ধ হলে ATP উৎপাদন বন্ধ হয় এবং কোষ তথা জীবের মৃত্যু ঘটে। এক অণু ATP প্রায় ১০,০০০ — ১২,০০০ ক্যালরি শক্তি ধারণ করে।

জেনে রাখো

প্রকৃতকোষী প্রতিটি জীব কোষেই দিবারাত্রি শ্বসন সংঘটিত হয়। প্রয়োজনীয় এনজাইম থাকায় কোষের সাইটোপ্লাজমে শ্বসনের প্রথম পর্যায় সম্পন্ন হয় এবং শক্তি উৎপাদনের অধিকাংশ বিক্রিয়াগুলো মাইটোকন্ড্রিয়াতে ঘটে।

৯.১৮.১ শ্বসনিক বস্তু (Respiratory Substance)

শ্বসন প্রক্রিয়ায় যেসব জৈব যৌগ জারিত হয়ে শক্তি উৎপন্ন হয় সেগুলো হলো শ্বসনিক বস্তু। সাধারণত সরল শর্করা গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ শ্বসন প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। এসব পদার্থের অনুপস্থিতিতে অন্যান্য শর্করা, যেমন- সুক্রোজ, স্টার্চ প্রভৃতি শ্বসনিক বস্তু হিসেবে শক্তি উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়। দেহে শর্করার ঘাটতি দেখা দিলে চর্বি, অ্যামিনো অ্যাসিড, পেপটাইড ও প্রোটিন প্রভৃতি শ্বসনিক বস্তু হিসেবে শক্তি জোগান দেয়।

৯.১৮.২ শ্বসন অঙ্গাণু (Respiratory Organelles)

শ্বসন বলতে প্রধানত কোষীয় শ্বসনকে বোঝানো হয়। **জীবের প্রতিটি জীবন্ত কোষে জন্ম থেকে মৃত্যু পর্যন্ত অবিরত শ্বসন প্রক্রিয়া চলে।** শ্বসন প্রক্রিয়ার প্রাথমিক পর্যায়ে গ্লুকোজ ভেঙে দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। এ পর্যায়কে গ্লাইকোলাইসিস বলে। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় এনজাইম ও কো-এনজাইম কোষের সাইটোপ্লাজমে উপস্থিত থাকে। এজন্যে শ্বসনের গ্লাইকোলাইসিস কোষের সাইটোপ্লাজমের সাইটোসলে সম্পন্ন হয়।

শ্বসনের দ্বিতীয় পর্যায়ে, পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে কার্বন অপসারিত হয় এবং অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় H_2O ও ATP উৎপন্ন হয়। এ পর্যায়ের সকল এনজাইম, কো-এনজাইম ও কো-ফ্যাক্টর মাইটোকন্ড্রিয়ায় উপস্থিত থাকে। মাইটোকন্ড্রিয়ার অভ্যন্তরে শ্বসনের অ্যাকটিভ অ্যাসিটিক অ্যাসিড তৈরি, ক্রেবস চক্র ও প্রান্তীয় জারণ সম্পন্ন হয়।

CamScanner

৯.১৮.৩ শ্বসনের প্রকারভেদ (Types of Respiration)

সাধারণত শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেন প্রয়োজন পড়ে। কিন্তু অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতেও কোষে শ্বসন প্রক্রিয়ায় শক্তি উৎপন্ন হয়, যেমন- অনেক অণুজীব অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে জন্মাতে সক্ষম। অক্সিজেনের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতির ভিত্তিতে শ্বসন দু'প্রকার — (ক) সবাত শ্বসন ও (খ) অবাত শ্বসন

ক. **সবাত শ্বসন (Aerobic Respiration) :** যে শ্বসন প্রক্রিয়ায় মুক্ত O_2- এর প্রয়োজন হয় তাকে সবাত শ্বসন বলে। সবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের উপস্থিতিতে শ্বসনিক বস্তু সম্পূর্ণরূপে জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড, পানি ও প্রচুর শক্তি উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O + 38ADP + 38Pi \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O + (38\ ATP)$$

সবাত শ্বসনে গ্লুকোজের পূর্ণ জারণে যে পরিমাণ অক্সিজেন গৃহীত হয় ঠিক সে পরিমাণ CO_2 নির্গত হয়।

খ. **অবাত শ্বসন (Anaerobic Respiration) :** যে শ্বসন প্রক্রিয়া মুক্ত O_2-এর অনুপস্থিতিতে সংঘটিত হয় তাকে অবাত শ্বসন বলে। অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে শ্বসনিক বস্তু অসম্পূর্ণরূপে জারিত হয় এবং অল্প পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করে। এখানে উৎপন্ন ২টি ATP থেকে ২০ কি. ক্যালরি শক্তি তৈরি হয়।

অবাত শ্বসনে গ্লুকোজ ভেঙ্গে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড অথবা ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

(i) $$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi \longrightarrow 2CO_2 + \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{2C_2H_5OH} + (2\ ATP)$$

(ii) $$C_6H_{12}O_6 + 2ADP + 2Pi \longrightarrow \underset{\text{ল্যাকটিক অ্যাসিড}}{2C_3H_6O_3} + (2\ ATP)$$

কতিপয় প্রজাতির ব্যাকটেরিয়া, এককোষী ছত্রাক, ঈস্ট, জলাবদ্ধ মাটিতে উদ্ভিদের মূলের কোষ এবং অতিরিক্ত পরিশ্রমের সময় মানুষের পেশি কোষে অবাত শ্বসনে শক্তি উৎপন্ন হয়। পেশি কোষে অবাত শ্বসনে ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

বাড়ির কাজ

সবাত ও অবাত শ্বসনের মধ্যকার সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্যগুলো খাতায় লিপিবদ্ধ করো।

পাঠ ১৩

সবাত শ্বসন: গ্লাইকোলাইসিস
Aerobic Respiration: Glycolysis

৯.১৯ সবাত শ্বসন (Aerobic Respiration)

যে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় মুক্ত অক্সিজেন ব্যবহৃত হয়ে শ্বসনিক বস্তু সম্পূর্ণভাবে জারণের মাধ্যমে শক্তি মুক্ত করে তাকে সবাত শ্বসন বলে। সবাত শ্বসনে সাধারণত গ্লুকোজ জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড ও পানি উৎপন্ন হয় এবং বিপুল পরিমাণ শক্তি মুক্ত হয়।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O + 38ADP + 38\ Pi \longrightarrow 6CO_2 + 12H_2O + 38\ ATP \text{ শক্তি}$$

সবাত শ্বসনে শর্করা জারণ ও শক্তি উৎপাদনের কাজটি প্রধানত চারটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। যথা-

১. গ্লাইকোলাইসিস,
২. পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ বা অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি,
৩. ক্রেবস চক্র ও
৪. প্রান্তীয়জারণ বা অক্সিডেভিট ফসফোরাইলেশন।

CamScanner

প্রকৃতকোষী (সুকেন্দ্রিক) জীবে গ্লাইকোলাইসিস ছাড়া বাকি ৩টি পর্যায় মাইটোকন্ড্রিয়াতে সম্পন্ন হয়। এজন্য মাইটোকন্ড্রিয়াকে জৈবিক শক্তিঘর (biological power house) বলে। আর আদিকোষী (প্রাক-কেন্দ্রিক) জীবে কোন অঙ্গাণু না থাকায় সকল ধাপ সাইটোপ্লাজমে ঘটে।

৯.১৯.১ গ্লাইকোলাইসিস (Glycolysis)

শ্বসনের যে পর্যায়ে গ্লুকোজ কতিপয় এনজাইমের ধারাবাহিক কার্যকারিতায় ভেঙে তিন কার্বন বিশিষ্ট ২ অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাকে গ্লাইকোলাইসিস বলে। এই ধাপ উচ্চশ্রেণি ও নিম্নশ্রেণির জীবের ক্ষেত্রে একটি সাধারণ বা কমন ধাপ। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়া কোষের সাইটোপ্লাজমের সাইটোসলে সম্পন্ন হয় এবং এখানে বিক্রিয়ার সকল এনজাইম থাকে। গ্লাইকোলাইসিসের বিক্রিয়াসমূহ **George Embden, Otto Meyerhof ও Jacob K. Parnas** আবিষ্কার করেন বলে, বিজ্ঞানী তিনজনের নামের অদ্যাক্ষর মিলিয়ে এ পর্যায়কে **EMP Pathway** বলা হয়।

গ্লাইকোলাইসিসের সামগ্রিক বিক্রিয়া নিচের সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় —

$$\text{গ্লুকোজ} + 2ATP + 4ADP + 4Pi + 2NAD^+ \xrightarrow{\text{গ্লাইকোলাইসিস}} \text{২ পাইরুভিক অ্যাসিড} + 4ATP + 2NADH+2H^+ + 2ADP + 2Pi$$

গ্লাইকোলাইসিস-এর মাধ্যমে এক অণু গ্লুকোজ থেকে ২ অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

গ্লাইকোলাইসিসের বিভিন্ন ধাপ নিচে বর্ণনা করা হলো–

i. গ্লাইকোলাইসিসের প্রারম্ভিক ধাপে গ্লুকোজ এক অণু ATP দ্বারা ফসফেটযুক্ত হয়ে শক্তি সঞ্চয় করে এবং গ্লুকোজ ৬-ফসফেটে পরিণত হয়। এক্ষেত্রে **হেক্সোকাইনেজ** এনজাইম অণুঘটক হিসেবে কাজ করে এবং ATP ফসফেট ত্যাগ করে ADP তে পরিণত হয়।

$$\text{গ্লুকোজ} + ATP \xrightarrow[Mg^{++}]{\text{হেক্সোকাইনেজ}} \text{গ্লুকোজ ৬- ফসফেট} + ADP$$

ii. **ফসফোগ্লুকোআইসোমারেজ** এনজাইমের প্রভাবে গ্লুকোজ ৬-ফসফেট পরিবর্তিত হয়ে ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেটে পরিণত হয়।

$$\text{গ্লুকোজ ৬-ফসফেট} \xleftrightarrow{\text{ফসফোগ্লুকোআইসোমারেজ}} \text{ফ্রুক্টোজ ৬- ফসফেট}$$

iii. ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেট ম্যাগনেশিয়াম আয়নের উপস্থিতিতে **ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ** এনজাইমের প্রভাবে আরেক অণু ATP দ্বারা ফসফেট যুক্ত হয়ে ফ্রুক্টোজ ১, ৬- বিসফসফেটে পরিণত হয়। এ সময়ে ATP হতে ADP উৎপন্ন হয়।

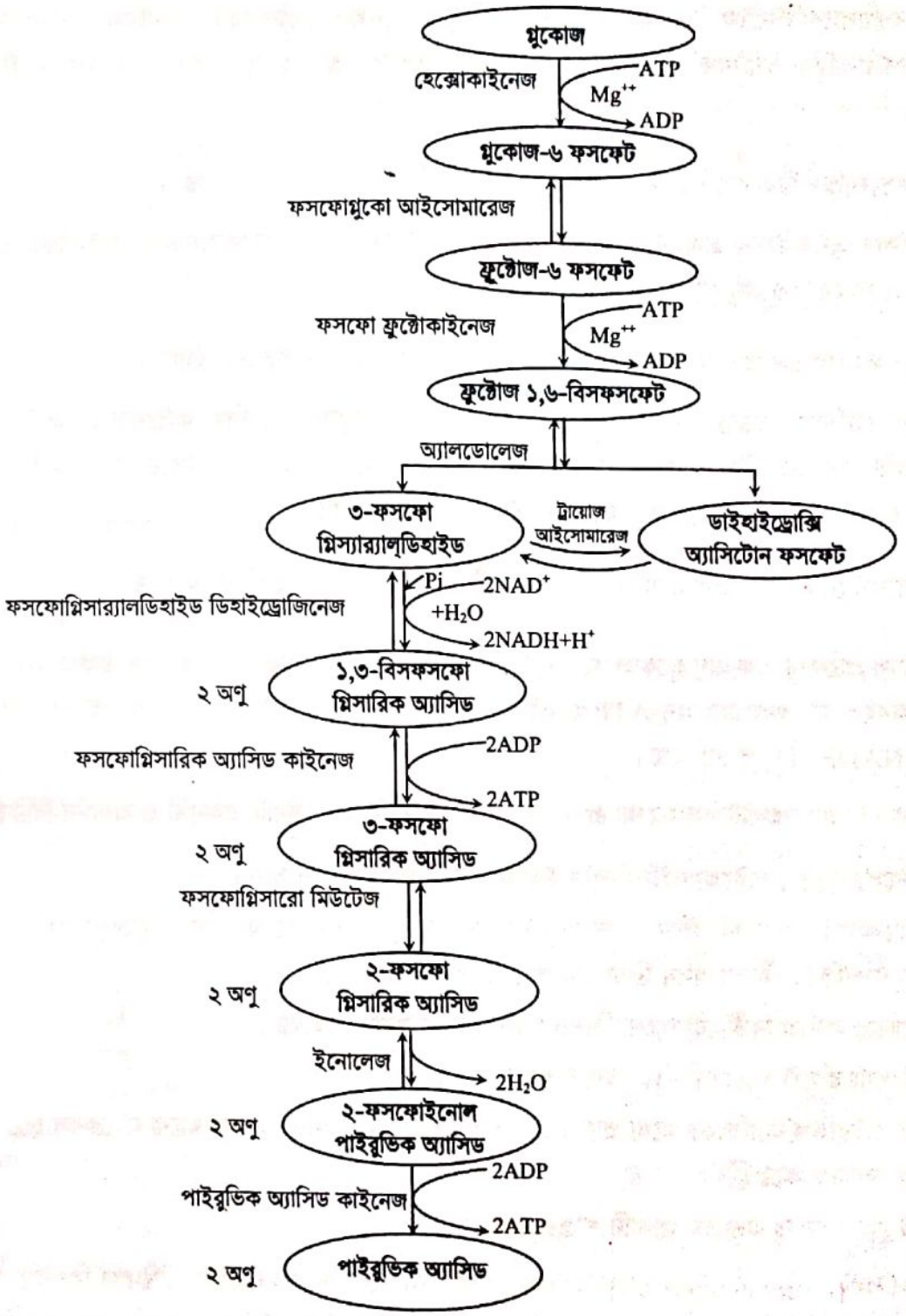
$$\text{ফ্রুক্টোজ ৬- ফসফেট} + ATP \xrightarrow[Mg^{++}]{\text{ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ}} \text{ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট} + ADP$$

iv. ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট অতঃপর **অ্যালডোলেজ** এনজাইমের প্রভাবে ভেঙে তিন কার্বন বিশিষ্ট গ্লিসার‍্যালডিহাইড ৩-ফসফেট ও ডাই-হাইড্রোক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট উৎপন্ন করে। ডাই-হাইড্রোক্সি অ্যাসিটোন ফসফোট্রায়োজ আইসোমারেজ এনজাইমের প্রভাবে পরিবর্তিত হয়ে ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইডে পরিণত হয়। ফলে দুই অণু ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড পাওয়া যায়।

$$\text{ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট} \xleftrightarrow{\text{অ্যালডোলেজ}} \text{৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড} + \text{ডাই-হাইড্রোক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট}$$

v. NAD^+ এর উপস্থিতিতে **ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ** এনজাইমের প্রভাবে ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইডে এক অণু অজৈব ফসফেট (P_i) যুক্ত হয়ে ১,৩-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময় NAD^+ বিজারিত হয়ে $NADH+H^+$ উৎপন্ন করে এবং এক অণু পানি যুক্ত হয়।

$$\text{৩-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড} + Pi \xleftrightarrow[NAD^+ \quad NADH + H^+]{\text{ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ}} \text{১, ৩-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড}$$



চিত্র-৯.২১: গ্লাইকোলাইসিসের বিভিন্ন ধাপ

vi. **ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড কাইনেজ** নামক এনজাইমের প্রভাবে ADP এর উপস্থিতিতে ১, ৩-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড এক অণু ফসফেট ত্যাগ করে ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময়ে ADP ফসফেটযুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন করে।

১,৩- বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড $\xleftarrow[ADP + Pi \quad ATP]{\text{ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড কাইনেজ}}$ ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড

vii. **ফসফোগ্লিসারোমিউটেজ** এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড পরিবর্তিত হয়ে ২-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময়ে ফসফেট অণু ৩ নং কার্বন থেকে ২নং কার্বনে স্থানান্তরিত হয়।

৩- ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড $\xleftarrow{\text{ফসফোগ্লিসারোমিউটেজ}}$ ২- ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড

viii. **ইনোলেজ** এনজাইমের প্রভাবে ২-ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড হতে ২-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এ সময়ে এক অণু পানি বের হয়ে যায়।

২- ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড $\xleftarrow{\text{ইনোলেজ}}$ ২- ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড

ix. গ্লাইকোলাইসিসের চূড়ান্ত ধাপে ADP-এর উপস্থিতিতে **পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ** এনজাইমের প্রভাবে ২-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড এক অণু ফসফেট ত্যাগ করে পাইরুভিক অ্যাসিডে ($CH_3 - CO - COOH$) পরিণত হয়। ADP এ সময়ে ফসফেট যুক্ত হয়ে ATP তে পরিণত হয়।

২-ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড $\xrightarrow[\text{ADP + Pi}]{\text{পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ}}$ পাইরুভিক অ্যাসিড (ATP)

গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় এক অণু গ্লুকোজ হতে দুই অণু ৩-কার্বন বিশিষ্ট পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। এ সময়ে দুই অণু ATP ব্যবহৃত হয় এবং চার অণু ATP ও দুই অণু $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়। গ্লাইকোলাইসিস শেষে প্রকৃতপক্ষে 2ATP ও $2NADH+H^+$ পাওয়া যায়।

এখানে উল্লেখ্য যে, গ্লাইকোলাইসিস ধাপের প্রথম, তৃতীয়, ও নবম বিক্রিয়া তিনটি একমুখী ও অন্যান্য বিক্রিয়া উভমুখী।

গ্লাইকোলাইসিসের গুরুত্ব : গ্লাইকোলাইসিস শক্তি উৎপাদনের একটি গুরুত্বপূর্ণ ধাপ।

- গ্লাইকোলাইসিস সকল জীবে ও সকল প্রকার শ্বসনে গ্লুকোজ জারণের একটি গুরুত্বপূর্ণ পর্যায়। এ পর্যায়টির অনুপস্থিতিতে জীবের শ্বসন ক্রিয়া তথা শক্তি উৎপাদন অসম্ভব।
- এক্ষেত্রে সৃষ্ট অন্তবর্তী যৌগগুলো বিভিন্ন ধরনের বিপাকে ব্যবহার হয়।
- এই পর্যায়ে সৃষ্ট $NADH + H^+$ অবাত শ্বসনে ব্যবহার হয়।
- সৃষ্ট পাইরুভিক অ্যাসিডের মধ্যে প্রায় ৮০% শক্তি (গ্লুকোজের তুলনায়) জমা থাকে যা ক্রেবস চক্রের সাবস্ট্রেট হিসেবে কাজ করে।
- এটি কোষ কলার অন্যতম জ্বালানি শক্তির উৎস হিসেবে কাজ করে।

গ্লুকোনিওজেনেসিস (Gluconeogenesis): গ্লুকোনিওজেনেসিস হলো গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার বিপরীত পথে গ্লুকোজ তৈরি হওয়ার প্রক্রিয়া। উদ্ভিদের ক্ষেত্রে যেমন- রেড়ি বীজ, সূর্যমুখী বীজ ইত্যাদিতে জমাকৃত তেল গ্লুকোনিওজেনেসিস প্রক্রিয়ায় গ্লুকোজে পরিণত হয়, যা পরবর্তীতে বীজ থেকে অঙ্কুরিত চারার বৃদ্ধিতে ভূমিকা রাখে। এ প্রক্রিয়াটি তুলনামূলকভাবে উদ্ভিদের চেয়ে প্রাণীতে বেশি ঘটে থাকে।

দলীয় কাজ

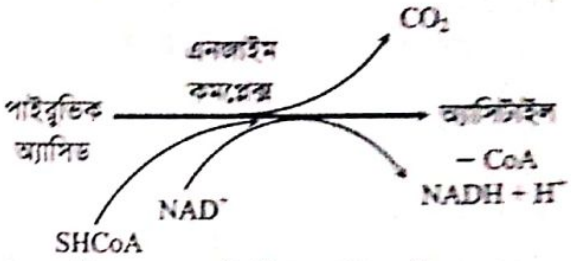
দলগতভাবে একটি পোস্টার পেপারে গ্লাইকোলাইসিস ধাপটির রেখাচিত্র উপস্থাপন করো এবং শ্রেণিশিক্ষকের নিকট জমা দাও।

পাঠ ১৪

পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ ও ক্রেবস চক্র
Activation of Pyruvic Acid and Kreb's Cycle

৯.২০ পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ (Activation of Pyruvic Acid)

এ পর্যায়ের আরেক নাম **অ্যাসিটাইল কো-এনজাইম-A (অ্যাসিটাইল-CoA) সৃষ্টি**। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন ৩ কার্বন বিশিষ্ট পাইরুভিক অ্যাসিড অক্সিজেনের উপস্থিতিতে মাইটোকন্ড্রিয়ার ম্যাট্রিক্সে প্রবেশ করে। মাইটোকন্ড্রিয়ায় কতিপয় এনজাইমের যৌথ প্রভাবে NAD^+ এর উপস্থিতিতে পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে এক অণু কার্বন ডাইঅক্সাইড ও $2H^+$ বের হয়ে যায়। এ সময়ে পাইরুভিক অ্যাসিড কো-এনজাইম-A যুক্ত হয়ে অ্যাসিটাইল-CoA উৎপন্ন করে এবং NAD^+ এর সাথে $2H^+$ যুক্ত হয়ে $NADH+H^+$ সৃষ্টি করে। এ জন্য এ বিক্রিয়াকে **অক্সিডেটিভ ডিকার্বোক্সিলেশন** বলে। অ্যাসিটাইল -CoA শ্বসনের তৃতীয় ধাপ ক্রেবস চক্রে প্রবেশ করে।



চিত্র-৯.২২: পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ

৯.২১ ক্রেবস চক্র (Krebs's Cycle)

অ্যাসিটাইল-CoA গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রের মধ্যে সেতু বন্ধন রচনা করে অর্থাৎ, অ্যাসিটাইল CoA হলো ক্রেবস চক্রের প্রধান কাঁচামাল। জার্মান বিজ্ঞানী **Sir Hans Adolf Krebs** (১৯৩৭) দেখান যে, দুই কার্বন বিশিষ্ট অ্যাসিটাইল-CoA একটি চার কার্বন যৌগ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়ে ছয় কার্বন যৌগ সৃষ্টি করে। এ যৌগ থেকে দুটি কার্বন ডাইঅক্সাইড অণু বের হয়ে যাওয়ায় পুনরায় অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। বিজ্ঞানীর নামানুসারে এ পর্যায়ের বিক্রিয়াসমূহকে **ক্রেবস চক্র** বলা হয়। এ চক্রে উৎপন্ন কয়েকটি অ্যাসিডে তিনটি কার্বোক্সিল গ্রুপ (–COOH) থাকার কারণে একে **ট্রাইকার্বোক্সিলিক অ্যাসিড চক্র**, সংক্ষেপে TCA চক্র বলে। এ চক্রে সর্বপ্রথম সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয় বলে অনেকে একে **সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রও** বলে থাকেন। সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রে যে হাইড্রোজেন নির্গত হয় তা FAD^+ অথবা NAD^+ গ্রহণ করে বিজারিত হয়ে $FADH_2$ ও $NADH+H^+$ উৎপন্ন করে। প্রান্তীয় জারণে এসব পদার্থ ATP উৎপন্ন করে। **ক্রেবস চক্রের বিক্রিয়াসমূহ মাইটোকন্ড্রিয়ার ম্যাট্রিক্সে সংঘটিত হয়।**

ক্রেবস চক্রের ধাপগুলো নিচে বর্ণনা করা হলো —

i. সাইট্রেট সিনথেটেজ এনজাইমের প্রভাবে অ্যাসিটাইল-CoA চার কার্বন বিশিষ্ট যৌগ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময় CoA মুক্ত হয়।

ii. অ্যাকোনাইটেজ এনজাইমের প্রভাবে সাইট্রিক অ্যাসিড থেকে এক অণু পানি দূরীভূত হয় এবং সিস অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

iii. সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড পুনরায় এক অণু পানি যুক্ত হয়ে আইসোসাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। অ্যাকোনাইটেজ এনজাইম পানি যোজনে সহায়তা করে।

iv. আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে NAD^+ এর উপস্থিতিতে $2H^-$ হারিয়ে অক্সালো সাকসিনিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। NAD^+ উক্ত হাইড্রোজেন আয়ন গ্রহণ করে $NADH+H^+$ উৎপন্ন করে।

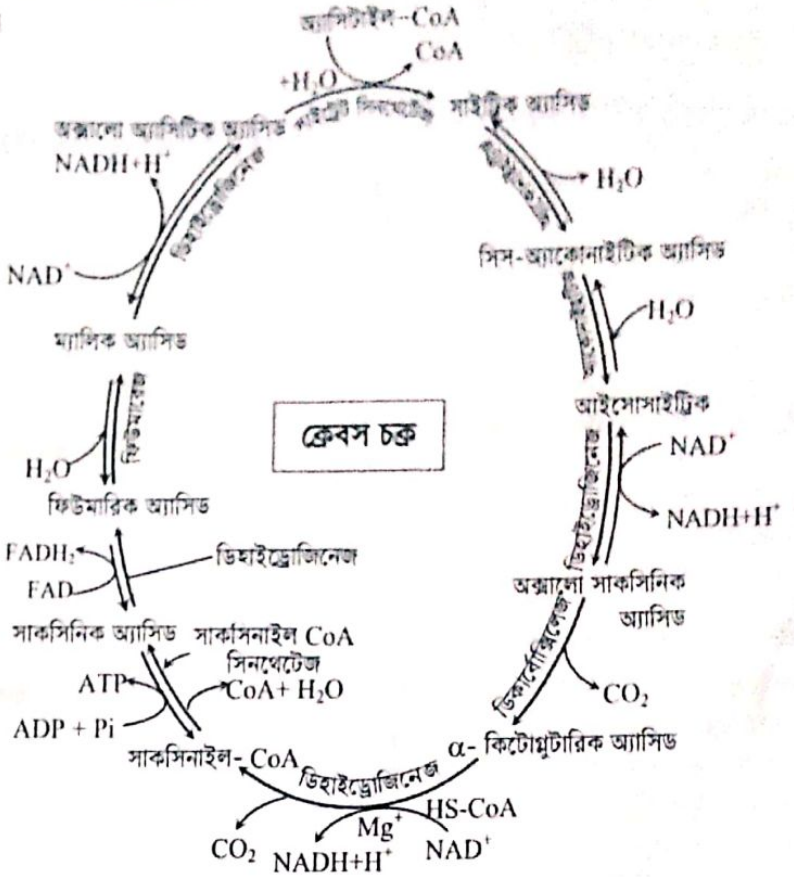
v. ডিকার্বোক্সিলেজ এনজাইমের প্রভাবে অক্সালো সাকসিনিক অ্যাসিড হতে এক অণু CO_2 অপসারিত হয় এবং α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।

vi. α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড হতে α-কিটোগ্লুটারিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে এক অণু CO_2 বের হয়ে যায় এবং এর সাথে HS-CoA যুক্ত হয়ে সাকসিনাইল–CoA উৎপন্ন হয়। এ বিক্রিয়ায় নির্গত দুটি হাইড্রোজেন NAD^+ কে বিজারিত করে $NADH+H^+$ উৎপন্ন করে।

vii. সাকসিনাইল CoA সিনথেটেজ এনজাইমের প্রভাবে ADP এর উপস্থিতিতে সাকসিনাইল CoA হতে CoA মুক্ত হয়ে সাকসিনিক অ্যাসিড তৈরি হয়। এ সময়ে ADP অজৈব ফসফেট (Pi) ব্যবহার করে ATP তে পরিণত হয়।

viii. FAD এর উপস্থিতিতে সাকসিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে সাকসিনিক অ্যাসিড ফিউমারিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ বিক্রিয়ায় হাইড্রোজেন গ্রহণের ফলে FAD হতে $FADH_2$ উৎপন্ন হয়।

ix. ফিউমারিক অ্যাসিড এ পর্যায়ে ফিউমারেজ এনজাইমের প্রভাবে এক অণু পানি গ্রহণ করে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।



চিত্র-৯.২৩: ক্রেবস চক্রের বিভিন্ন ধাপ

x. ক্রেবস চক্রের চূড়ান্ত পর্যায়ে ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ম্যালিক অ্যাসিড চার কার্বন বিশিষ্ট যৌগ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময়ে হাইড্রোজেন গ্রহণ করে NAD^+ হতে $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়।

অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড ক্রেবস চক্র শুরু করার জন্য পুনরায় অ্যাসিটাইল-CoA এর সাথে যুক্ত হয়।

ক্রেবস চক্রের শেষে অ্যাসিটাইল CoA থেকে তিন অণু $NADH+H^+$, এক অণু $FADH_2$, এক অণু ATP এবং দুই অণু CO_2 পাওয়া যায়। অর্থাৎ ক্রেবস্ চক্রে প্রতি অণু গ্লুকোজ থেকে ৪ অণু CO_2, ৬ অণু $NADH+H^+$ এবং ২ অণু ATP তৈরি হয়।

ক্রেবস চক্রের গুরুত্ব (Significance of Krebs's Cycle)

১. ক্রেবস চক্র শক্তি উৎপাদনের প্রধান কেন্দ্রস্থল এবং উৎপন্ন শক্তি জীবের বিভিন্ন বিপাকীয় কাজে ব্যবহার হয়। ২. এ চক্রের বিভিন্ন পর্যায়ে যে সকল জৈব অ্যাসিড উৎপন্ন হয়, সেগুলো নাইট্রোজেন বিপাক, অ্যামিনো অ্যাসিড সংশ্লেষণসহ বিভিন্ন কাজে জড়িত। ৩. অন্তবর্তী যৌগ সাক্সিনাইল কো-এ সাইটোক্রোম, ফাইকোবিলিন, হিমোগ্লোবিন প্রভৃতি গঠনে ভূমিকা রাখে। ৪. অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড হতে সৃষ্ট অ্যাসপারটিক অ্যাসিড পরবর্তীতে পাইরিমিডিন ও অ্যালকালয়েড তৈরিতে ব্যবহার হয়। ৫. সালোকসংশ্লেষণের কাঁচামাল CO_2 শ্বসনের এ চক্র থেকেই উৎপন্ন হয়। ৬. ক্রেবস্ চক্রে উৎপন্ন সাকসিনিক অ্যাসিড ক্লোরোফিল অণু তৈরির সাবস্ট্রেট হিসেবে ব্যবহৃত হয়। ৭. শর্করা, ফ্যাটি অ্যাসিড এবং অ্যামিনো অ্যাসিড জারণের সাধারণ পথ হচ্ছে ক্রেবস্ চক্র। ৮. ক্রেবস্ চক্রে উৎপন্ন জৈব অ্যাসিডগুলো জৈব অ্যাসিড বিপাকে অংশগ্রহণ করে।

শ্রেণির কাজ

ক্রেবস চক্র সম্পাদনের ক্ষেত্রে নিম্নের এনজাইমগুলোকে ধারাবাহিকভাবে সাজাও। ১. সাইট্রেট সিনথেটেজ ২. অ্যাকোনাইটেজ, ৩. আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ, ৪. ডি কার্বোক্সিলেজ, ৫. α-কিটোগ্লুটারিক ডিহাইড্রোজিনেজ, ৬. সাকসিনিক থায়োকাইনেজ, ৭. সাকসিনিক ডিহাইড্রোজিনেজ, ৮. ফিউমারেজ ও ৯. ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ।

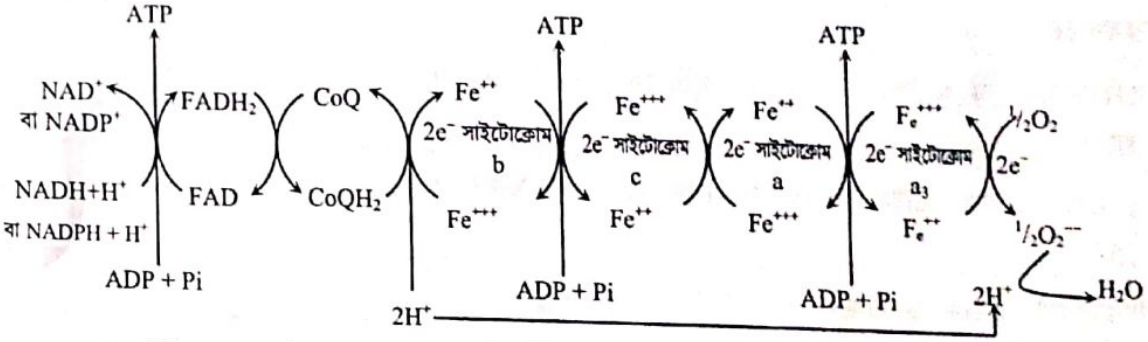
পাঠ ১৫

ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম
Electron Transport System - ETS

৯.২২ ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম (Electron Transport System - ETS)

গ্লাইকোলাইসিস, পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ (অ্যাসিটাইল-CoA সৃষ্টি) ও ক্রেবস চক্রে স্বল্প পরিমাণ ATP তৈরি হয় কিন্তু অধিকাংশ শক্তি $NADH+H^+$; $NADPH+H^+$ ও $FADH_2$ তে জমা থাকে। এসব উচ্চশক্তির যৌগগুলো হতে ইলেকট্রন মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় বিদ্যমান কতিপয় বাহকের মাধ্যমে O_2 এর কাছে পৌঁছায়। ইলেকট্রনের এ বাহকগুলো সেখানে ধারাবাহিকভাবে সাজানো থাকে। এ বাহকগুলোকে একত্রে ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্র (Electron Transport System = ETS) বলে। ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রে ক্রমান্বয়ে উচ্চ শক্তিমাত্রা থেকে নিম্ন শক্তিমাত্রায় প্রবাহের সময় ইলেকট্রন যে শক্তি হারায়, তা ব্যবহার করে ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) মিলিত হয়ে ATP উৎপন্ন করে। এ জন্য এ ধাপকে অনেক সময় **অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশনও** বলে। পাশাপাশি উচ্চশক্তির যৌগগুলো জারিত হয়ে NAD^+, $NADP^+$ এবং FAD তৈরি করে।

ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রে FAD, CoQ, সাইটোক্রোম b, সাইটোক্রোম c এবং সাইটোক্রোম a ও a_3 ধারাবাহিকভাবে সাজানো থাকে। প্রবাহতন্ত্রে বাহকগুলোর ইলেকট্রন আকর্ষণ ক্ষমতা পূর্ববর্তী বাহক অপেক্ষা বেশি থাকে বলে ইলেকট্রন প্রবাহ সর্বদা একমুখী হয়। সাইটোক্রোম a_3 হতে মুক্ত ইলেকট্রন বায়ুস্থ অক্সিজেন ($\frac{1}{2}$ O_2) এবং প্রোটন (H^+) যুক্ত হয়ে H_2O উৎপন্ন করে। এখানে **অক্সিজেনই হলো ইলেকট্রনের শেষ গ্রহীতা**। এ অক্সিজেন পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে। সাইটোক্রোম অক্সিডেজ এনজাইম এখানে অনুঘটক হিসেবে কাজ করে। সেজন্য ETS-এর এ কর্মকাণ্ডকে **প্রান্তীয় জারণ** বলা হয়ে থাকে।



চিত্র-৯.২৪: ইলেকট্রন প্রবাহতন্ত্রে প্রান্তীয় জারণ ও অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন

প্রান্তীয় জারণে এক অণু $NADH+H^+$ বা $NADPH+H^+$ জারণের ফলে তিন অণু ATP এবং এক অণু $FADH_2$ বা $FMAH_2$ জারণে দুই অণু ATP উৎপন্ন হয়।

ETS-এর ইলেকট্রন বাহকসমূহ (Electron Transporter of ETS)

১. **ফ্লাভোপ্রোটিন:** এরা দু'প্রকার FAD (Flavin Adenine Dinucleotide) এবং FMN (Flavin Mononucleotide)। ক্রেবস্ চক্রে $FADH_2$-এর উৎপত্তি ঘটে যা ETS-এ এসে জারিত হয় (FAD) এবং দুই অণু ATP তৈরি করে।
কাজ: (i) FAD বা FMN ETS-এর প্রথম ইলেকট্রন গ্রহীতার কাজ করে।
(ii) $NADH+H^+$ বা $NADPH+H^+$ থেকে হাইড্রোজেন মুক্ত করে ETS-এ সরবরাহ করে।

২. **সাইট্রোক্রোম :** এটা হলো এক প্রকার এনজাইম যার হেমিন (hemin) নামক অপ্রোটিন অংশে লৌহ (Fe) থাকে। ETS-এ কয়েক প্রকার সাইটোক্রোম (b, c_1 c, a ও a_3) পর্যায়ক্রমে সাজানো থাকে।
কাজ: লৌহ জারণ ও বিজারণের (Fe^{++} ও Fe^{+++}) মাধ্যমে ইলেকট্রন স্থানান্তর করে।

৩. **কো-এনজাইম-Q :** এর অপর নাম ইউবিকুইনোন। এটা রাসায়নিকভাবে ভিটামিন-K এবং ভিটামিন-E এর সাথে সম্পর্কযুক্ত এবং ক্লোরোপ্লাস্টের প্লাস্টোকুইনোন-এর মতো।
কাজ: এরা ফ্লাভোপ্রোটিন ও সাইটোক্রোম-বি এর মাঝে একটি সহযোগী বাহকের কাজ করে।

CamScanner

৯.২৩ সবাত শ্বসনে শক্তির (ATP) হিসাব (Energy (ATP) Calculation in Aerobic Respiration)

শ্বসনের বিভিন্ন ধাপে উৎপন্ন শক্তি (ATP) নিচের ছকে দেখানো হলো –

সারণি: এক অণু গ্লুকোজ জারণের ফলে উৎপন্ন ATP ধাপ অনুযায়ী দেখানো হয়েছে

শ্বসনের ধাপ	ব্যবহৃত / উৎপন্ন শক্তিরূপ	মোট উৎপন্ন ATP
ক. গ্লাইকোলাইসিস		
১. গ্লুকোজ → গ্লুকোজ ৬-ফসফেট	– 1 ATP } –2ATP	
২. ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেট → ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট	– 1 ATP }	
৩. 3PGAL→ 1, 3BPGA	$2NADH+H^+$	→ 4ATP *
৪. 1, 3 BPGA → 3PGA	2ATP	→ 2ATP
৫. PEP → পাইরুভিক অ্যাসিড	2ATP	→ 2ATP
খ. পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ	$2NADH+H^+$	→ 6ATP
গ. ক্রেবস চক্র		
১. আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড → α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড	→ $2NADH+H^+$	→ 6ATP
২. α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড → সাকসিনাইল CoA	→ $2NADH+H^+$	→ 6ATP
৩. সাকসিনাইল CoA→ সাকসিনিক অ্যাসিড	→ 2ATP	→ 2ATP
৪. সাকসিনিক অ্যাসিড→ ফিউমারিক অ্যাসিড	→ $2FADH_2$	→ 4ATP
৫. ম্যালিক অ্যাসিড→ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড	→ $2NADH+H^+$	→ 6ATP
	নীট ATP = 38ATP – 2 ATP = 36ATP	

* গ্লাইকোলাইসিসে ২টি $NADH+H^+$ থেকে ৬টির পরিবর্তে ৪টি ATP তৈরি হয়।

সবাত শ্বসনের গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ে ২টি ATP ব্যয়িত হয় এবং বিভিন্ন পর্যায়ে ৩৮টি ATP উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ এক অণু গ্লুকোজের সম্পূর্ণ জারণের ফলে **সবাত শ্বসনে নীট উৎপাদন ৩৬ অণু ATP**। কিন্তু পূর্বের ধারণা অনুসারে, সবাত শ্বসনে নীট ৩৮ ATP তৈরি হতো।

অপরদিকে, অবাত শ্বসনে সর্বমোট ৪টি ATP তৈরি হয় যার ২টি গ্লাইকোলাইসিস ধাপে ব্যবহৃত হয় অর্থাৎ **অবাত শ্বসনে নীট উৎপাদন 2ATP**।

একক কাজ

৮ অণু গ্লুকোজ থেকে উৎপাদিত মোট ATP সংখ্যা ছকের মাধ্যমে হিসেব করে দেখাও।

CamScanner

পাঠ ১৬

অবাত শ্বসন
Anaerobic Respiration

৯.২৪ অবাত শ্বসন (Anaerobic Respiration)

কিছু কিছু অণুজীব অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে জীবনধারণ করে। এদের শ্বসনের জন্য অক্সিজেন প্রয়োজন পড়ে না। অনেক অণুজীব অক্সিজেনের উপস্থিতিতেই বরং মারা যায়। যেমন– ভাত বাসি হলে সেখানে অবাত শ্বসন ঘটে।
৩৫০ হতে ৩৯০ কোটি বছর পূর্বে আর্কিয়োজোইক মহাযুগে O_2 বিহীন পরিবেশে আদিম কোষীয় জীবনের উদ্ভব ঘটেছিলো। তাদের এক পর্যায়ে গ্লাইকোলাইসিস শুরু হয় এবং জৈব বস্তু থেকে ATP মুক্ত হতে থাকে। অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে শ্বসনিক বস্তু অসম্পূর্ণরূপে জারিত হয় এবং অতি সামান্য পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়। অর্থাৎ **যে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় মুক্ত অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে শ্বসনিক বস্তু আংশিক জারণের মাধ্যমে স্বল্প পরিমাণ শক্তি মুক্ত করে তাকে অবাত শ্বসন বলে**। কিছু ব্যাকটেরিয়া ও কিছু ছত্রাক নিয়মিত অবাত শ্বসন ঘটায়।
অবাত শ্বসনকারী জীবসমূহকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়। যথা:

১. **সম্পূর্ণ অবাত জীব (Obligate Anaerobes) :** এ ধরনের অণুজীব সম্পূর্ণভাবে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে জীবনধারণ করে এবং সামান্য পরিমাণ অক্সিজেনের উপস্থিতি সহ্য করতে পারে না, যেমন- *Clostridium*।
২. **অর্ধ অবাত জীব (Facultative Anaerobes):** যেসব অণুজীব বায়বীয় পরিবেশে জীবন ধারণ করলেও শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেন ব্যবহার করে না তারা অর্ধ অবাত জীব নামে পরিচিত, যেমন- *Escherichia*।

অবাত জীবে প্রান্তীয় জারণে অক্সিজেনের পরিবর্তে অন্য কোনো অজৈব যৌগে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয়। *Methanobacterium* এ CO_2 ইলেকট্রন গ্রহীতা হিসেবে কাজ করে এবং হাইড্রোজেন দ্বারা জারিত হয়ে মিথেন উৎপন্ন করে।

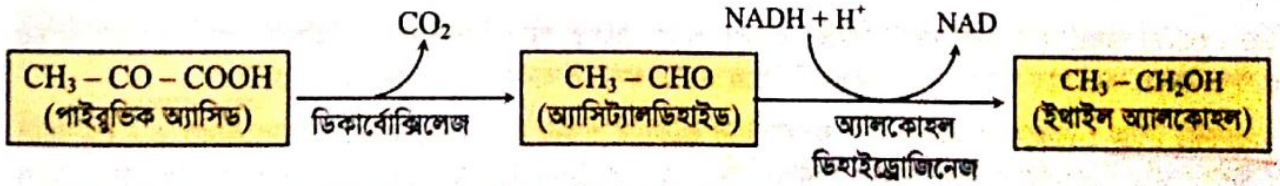
$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow \underset{\text{মিথেন}}{CH_4} + 2CHO$$

অবাত শ্বসনে উৎপন্ন শক্তির পরিমাণ সবাত শ্বসন অপেক্ষা অনেক কম হয়।

৯.২৪.১ অবাত শ্বসন কৌশল (Procedure of Anaerobic Respiration)

অবাত শ্বসন দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। যথা : ১. গ্লাইকোলাইসিস ও ২. পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ।
গ্লাইকোলাইসিস : সবাত ও অবাত শ্বসনের প্রারম্ভিক এ ধাপে গ্লুকোজ অণু এনজাইমের প্রভাবে ভেঙে দুই অণু পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এজন্য এপর্যায়টিকে **অবাত ও সবাত শ্বসনের সাধারণ গতিপথ** (common pathway) বলে। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণভাবে সাইটোপ্লাজমে সম্পন্ন হয়। গ্লাইকোলাইসিসকে একারণে **সাইটোপ্লাজমিক শ্বসন-** ও বলে। গ্লাইকোলাইসিস সম্বন্ধে ইতোপূর্বে বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে।
পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ : অবাত শ্বসনের দ্বিতীয় পর্যায়ে পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ ঘটে। এ সময়ে অক্সিজেন ব্যবহার হয় না এবং সামান্য পরিমাণ শক্তি নির্গত হয়।
অবাত শ্বসনের চূড়ান্ত পদার্থ সাধারণত ইথাইল অ্যালকোহল বা ল্যাকটিক অ্যাসিড।

১. **ইথাইল অ্যালকোহল সৃষ্টি :** সাইটোপ্লাজমে উপস্থিত কতিপয় এনজাইমের প্রভাবে পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন হয়।
এ বিক্রিয়ার প্রথম ধাপে ডিকার্বোক্সিলেজ এনজাইমের প্রভাবে পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে এক অণু CO_2 বের হয়ে যায় এবং এক অণু অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।
অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে $NADH+H^+$ এর উপস্থিতিতে অ্যাসিট্যালডিহাইড বিজারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহলে পরিণত হয়। এ সময় $NADH+H^+$ জারিত হয়ে NAD^+ তে পরিণত হয়।



অবাত শ্বসনে এক অণু গ্লুকোজ ভেঙে দুই অণু ইথাইল অ্যালকোহল ও দুই অণু CO_2 উৎপন্ন হয়।

$$\underset{\text{গ্লুকোজ}}{C_6H_{12}O_6} \longrightarrow 2CO_2 + \underset{\text{ইথাইল অ্যালকোহল}}{2C_2H_5OH} + \text{২০ কি. ক্যালরি শক্তি}$$

২. **ল্যাকটিক অ্যাসিড সৃষ্টি :** কিছু ব্যাকটেরিয়া ও প্রাণীর পেশি কোষে ল্যাকটিক অ্যাসিড তৈরি হয়। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন পাইরুভিক অ্যাসিড এ সময়ে ল্যাকটিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের প্রভাবে $NADH+H^+$ এর উপস্থিতিতে **ল্যাকটিক অ্যাসিডে** পরিণত হয়। $NADH+H^+$ হাইড্রোজেন হারিয়ে এ প্রক্রিয়ায় NAD তে পরিণত হয়।

$$\underset{\text{(পাইরুভিক অ্যাসিড)}}{CH_3-CO-COOH} \xrightarrow[\text{ল্যাকটিক ডিহাইড্রোজিনেজ}]{NADH+H^+ \;\; NAD} \underset{\text{(ল্যাকটিক অ্যাসিড)}}{C_3H_6O_3}$$

অবাত শ্বসনে এক অণু গ্লুকোজ হতে দুই অণু **ল্যাকটিক অ্যাসিড** উৎপন্ন হয়।

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow \underset{\text{ল্যাকটিক অ্যাসিড}}{2C_3H_6O_3} + \text{২০ কি. ক্যালরি শক্তি}$$

দৌড়বিদদের মাংসপেশি প্রচুর সঞ্চালিত হয় এজন্য সেখানে প্রচুর ATP প্রয়োজন হয়। কিন্তু পেশিতে সঞ্চিত ATP ৫-৬ সেকেন্ডের মধ্যেই নিঃশেষ হয়ে যায়। নতুন ATP তৈরির জন্য পেশি কোষে O_2 থাকে না। ফলে O_2 বিহীন পরিবেশে পাইরুভিক অ্যাসিড অসম্পূর্ণ জারণের মাধ্যমে ল্যাকটিক অ্যাসিড এবং সামান্য ATP তৈরি হয়। যদিও ল্যাকটিক অ্যাসিড পরে বিপাকে ব্যবহার হয়ে থাকে। **তবে উচ্চ শ্রেণির উদ্ভিদে ল্যাকটিক অ্যাসিড তৈরি হয় না।**

জেনে রাখো

পাস্তুর ইফেক্ট (Pasteur Effect): ১৮৫৭ সালে লুইস পাস্তুর এ ঘটনা আবিষ্কার করেন। ঈস্ট জাতীয় ছত্রাক অক্সিজেনের উপস্থিতি (সবাত) ও অনুপস্থিতিতে (অবাত) বাঁচতে পারে। তবে সবাত পরিবেশে সবাত শ্বসনের মাধ্যমে যে পরিমাণ শক্তি লাভ করে, অবাত পরিবেশে গাঁজনের মাধ্যমে সমপরিমাণ শক্তির জন্য ১৮ গুণ বেশি গ্লুকোজ ব্যবহার করে।
গবেষকরা দেখেছেন ঈস্ট *Saccharomyces cerevisiae)* চিনিকে অ্যালকোহলে রূপান্তরিত করতে পারে। অবাত শ্বসনের মাধ্যমেই তা করে থাকে।

৯.২৪.২ গাঁজন (Fermentation)

কতিপয় অণুজীবে (কিছু ব্যাকটেরিয়া ও ঈস্ট জাতীয় ছত্রাক) ATP উৎপাদনের অন্য একটি পথ দেখতে পাওয়া যায়, যা গাঁজন নামে পরিচিত। গাঁজন প্রক্রিয়ায় বিপাকের মাধ্যমে ATP উৎপন্ন হয় এবং একই জৈববস্তু ইলেকট্রন দাতা ও গ্রহীতা হিসেবে কাজ করে। গাঁজন প্রক্রিয়ায় যে জৈব যৌগ ইলেকট্রন দান করে তার বিপাকে উৎপন্ন দ্রব্য উক্ত ইলেকট্রন গ্রহণ করে। ফলে সাবস্ট্রেটের সাথে উৎপন্ন পণ্যে অক্সিজেন পর্যায়ের কোনো পার্থক্য থাকে না। শ্বসনের ন্যায় গাঁজন প্রক্রিয়ায় অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন ঘটে না। গাঁজনে কার্বন ও শক্তির উৎস হিসেবে ব্যবহৃত বস্তু কতিপয় ধারাবাহিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে ATP উৎপন্ন করে। যেহেতু গাঁজন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের প্রয়োজন পড়ে না সে জন্য গাঁজনকারী অণুজীব মুক্ত অক্সিজেনের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতিতে জীবনধারণে সক্ষম। গাঁজনের ফলে পাইরুভিক অ্যাসিড ভেঙে ইথানল, ল্যাকটিক অ্যাসিড, প্রোপানয়িক অ্যাসিড, বিউটানল প্রভৃতি উৎপন্ন হয়। যেমন– পান্তা ভাতে গাঁজন ঘটে। গাঁজনকে এভাবে বলা যায় যে, **কোষের বাইরে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে জাইমেজ এনজাইমের উপস্থিতিতে গ্লুকোজ অণু সম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহল বা ল্যাকটিক অ্যাসিড সৃষ্টি ও অল্প পরিমাণ শক্তি উৎপাদন প্রক্রিয়াকে গাঁজন (Fermentation) বলে।**

পাঠ ১৭

শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার
Industrial Use of Anaerobic Respiration

৯.২৫ শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার (Industrial Uses of Anaerobic Respiration)

বিভিন্ন প্রজাতির অণুজীবে অবাত শ্বসনে বিভিন্ন ধরনের পদার্থ উৎপন্ন হয়। অণুজীবের এ বৈশিষ্ট্য কাজে লাগিয়ে বিভিন্ন শিল্প পণ্য উৎপন্ন করা হয়ে থাকে। নিচে কয়েকটি শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার আলোচনা করা হলো।

- **বেকারি শিল্পে :** এককোষী ছত্রাক ইস্ট ফার্মেন্টেশন প্রক্রিয়ায় শর্করা দ্রবণ ভেঙে ইথাইল অ্যালকোহল ও CO_2 গ্যাস উৎপন্ন করে। বেকারিতে ময়দার সাথে সামান্য চিনি ও ইস্ট পাউডার মিশিয়ে ময়দার দলা তৈরি করে কিছু সময় রেখে দেওয়া হয়। এ সময় ইস্ট কোষ গাঁজন প্রক্রিয়ায় যে CO_2 তৈরি করে, তার জন্য রুটি বা কেক ধীরে ধীরে ফুলে ওঠে ও ফাঁপা হয়। রুটি পরে চুল্লিতে দিলে ইস্ট কোষ মারা যায় এবং ইথাইল অ্যালকোহল বাষ্পাকারে উড়ে যায়। এ সময় উত্তাপে CO_2 এর বুদবুদ আরও বড় হয়ে বেরিয়ে যায় এবং ফুলে ওঠা রুটি বা কেক নরম ও ফাঁপা হয়।

CamScanner

- পাট শিল্পে: *Clostridium butyricum* ব্যাকটেরিয়ার নিঃসৃত এনজাইম পাটগাছ থেকে তন্তু নিষ্কাশনে সাহায্য করে।
- মদ শিল্পে: ব্যাকটেরিয়া ও ইস্টের গাঁজন বৈশিষ্ট্য কাজে লাগিয়ে শর্করা, আঙ্গুর প্রভৃতি থেকে ইথাইল অ্যালকোহল তৈরি করা হয়। ইথাইল অ্যালকোহল মদের একটি প্রধান উপকরণ। মদে অ্যালকোহলের হারের উপর এর গুণ-মান নির্ধারিত হয়।
- চা ও তামাক শিল্পে: *Bacillus megatherium* নামক ব্যাকটেরিয়ার সাহায্যে চা ও তামাক পাতাকে প্রক্রিয়াজাত করে তামাটে বর্ণ ও সুগন্ধযুক্ত করা হয়।
- জৈব অ্যাসিড উৎপাদন: অণুজীব প্রজাতির উপর নির্ভর করে গাঁজন প্রক্রিয়ায় গ্লুকোজ ভেঙে ইথাইল অ্যালকোহল (ইস্ট) ছাড়াও ল্যাকটিক অ্যাসিড *(Lactobacillus)*, প্রোপানয়িক অ্যাসিড, বিউটাইরিক অ্যাসিড, অ্যাসিটিক অ্যাসিড *(Acetobacter aceti)*, বিউটানল প্রভৃতি চূড়ান্ত পদার্থ উৎপন্ন হয়। শিল্পে এসব জৈবযৌগ উৎপাদনের জন্য অণুজীব ব্যবহার করা হয়।
- দুগ্ধজাত খাদ্য উৎপাদন: দুধ থেকে দই, পনির, মাখন, প্রভৃতি খাদ্য উৎপাদনের জন্য অণুজীবের (*Lactobacillus, Streptococcus* প্রভৃতি) গাঁজন বৈশিষ্ট্যকে কাজে লাগানো হয়।
- মাংস, মাছ ও উদ্ভিদজাত খাদ্য শিল্পে: বিভিন্ন অণুজীবের গাঁজন প্রক্রিয়ার উপর নির্ভর করে মাংসজাত খাদ্য, যেমন- হ্যাম, বেলোনা প্রভৃতি তৈরি করা হয়। মাছ হতে তৈরি কাতসুবুশি, বিভিন্ন প্রকার সস্ এ প্রক্রিয়ায় উৎপাদন করা হয়। তাছাড়া, উদ্ভিজ্জ খাদ্য কাফির, কিমচি, বিভিন্ন প্রকার আচার, কম্বু, সারক্রট, সয়াসস্, সিসো, তোফু প্রভৃতি গাঁজন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়।
- ঔষধ শিল্পে: ঔষধ শিল্পে অ্যান্টিবায়োটিক, স্টেরয়েড, ভিটামিন, হরমোন প্রভৃতি অণুজীবের (ব্যাকটেরিয়া ও ইস্ট) গাঁজন বৈশিষ্ট্য কাজে লাগিয়ে উৎপন্ন করা হয়। দেশীয় পদ্ধতির কবিরাজী ও ইউনানী চিকিৎসায় ব্যবহৃত অনেক ঔষধও গাঁজন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হয়।
- কোমল পানীয় শিল্পে: চা ও কফির সুগন্ধি সৃষ্টিতে অণুজীবের গাঁজন পদ্ধতি প্রয়োগ করা হয়। তাছাড়া, বিভিন্ন প্রকার কোমল পানীয়ের প্রধান উপাদান সাইট্রিক অ্যাসিড গাঁজন প্রক্রিয়ায় উৎপাদিত হয়।
- ভিটামিন তৈরিতে: অবাত শ্বসনকে কাজে লাগিয়ে ইস্ট থেকে থিয়ামিন ও রিবোফ্ল্যাভিন নামক ভিটামিন B_1 ও B_2 তৈরি করা হয়।
- চামড়া শিল্পে: চামড়া থেকে লোম অপসারণে *Bacillus subtilis* নামক ব্যাকটেরিয়ার গাঁজন ক্রিয়া মূখ্য ভূমিকা পালন করে।

বাড়ির কাজ

শিক্ষক আজ ক্লাসে এক ধরনের জীব সম্পর্কে ধারণা দিলেন যা অক্সিজেন ছাড়াই পরিবেশে বাঁচতে পারে এবং অক্সিজেনের উপস্থিতিতে এরা মারা যায়। এরা অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে ল্যাকটিক অ্যাসিড তৈরিতে সক্ষম।

ক. উল্লিখিত জীবের কয়েকটি উদাহরণ দাও।

খ. শিক্ষকের বলা জীবগুলোর শ্বসন প্রক্রিয়া শিল্পক্ষেত্রে কী ভূমিকা রাখতে পারে বলে তুমি মনে করো?

পাঠ ১৮

শ্বসন হার, শ্বসনের প্রভাবকসমূহ ও গুরুত্ব
Respiratory Quotient, Factors and Importance of Respiration

৯.২৬ শ্বসন হার (Respiratory Quotient)

শ্বসনের সময় সাধারণত অক্সিজেন গৃহীত হয় এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড নির্গত হয়। নির্ধারিত সময়ে শ্বসন প্রক্রিয়ায় গৃহীত অক্সিজেনের সাথে নির্গত কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাপের অনুপাতকে শ্বসন হার (Respiratory Quotient; R.Q.) বলে। সাধারণত কোনো নির্ধারিত সময়ে গৃহীত অক্সিজেন অণুর সাথে নির্গত CO_2 অণুর অনুপাত নির্ণয়ের মাধ্যমে শ্বসন হার নির্ণয় করা হয়।

CamScanner

সবাত শ্বসনে হেক্সোজ (গ্লুকোজ অথবা ফ্রুক্টোজ) সম্পূর্ণরূপে জারিত হওয়ার সময় ৬ অণু অক্সিজেন গৃহীত ও ৬ অণু CO_2 নির্গত হয়।

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O$$

এক্ষেত্রে শ্বসন হার (R.Q.) নির্ণয়ের জন্য নিচের সমীকরণ ব্যবহার করা হয়।

$$\text{শ্বসন হার (R.Q.)} = \frac{\text{নির্গত } CO_2 \text{ এর অণুর পরিমাণ}}{\text{গৃহীত } O_2 \text{ এর অণুর পরিমাণ}}$$

$$\text{R.Q.} = \frac{6CO_2}{6O_2} = \frac{6}{6} = 1$$

শ্বসন প্রক্রিয়ায় কার্বোহাইড্রেট, জৈব অ্যাসিড, চর্বি ও প্রোটিন শ্বসনিক বস্তু হিসেবে জারিত হয়। শ্বসনিক বস্তু এবং শ্বসনের ধরনের ওপর শ্বসন হার (R.Q.) ভিন্ন ভিন্ন হতে দেখা যায়। যেমন-

গ্লুকোজের (সবাত শ্বসন) $\text{R.Q.} = \frac{6CO_2}{6O_2} = \frac{6}{6} = 1$

ওলিক অ্যাসিডের $\text{R.Q.} = \frac{36CO_2}{51O_2} = \frac{36}{51} = 0.71$

ম্যালিক অ্যাসিডের $\text{R.Q.} = \frac{4CO_2}{3O_2} = \frac{4}{3} = 1.33$

প্রোটিনে অক্সিজেনের পরিমাণ কম থাকে, তাই প্রোটিন শ্বসনিক বস্তু হিসেবে ব্যবহৃত হলে এদের R.Q. মান 1 এর অনেক কম হয়।

৯.২৭ শ্বসনের প্রভাবকসমূহ (Factors Affecting Respiration)

বেশ কিছু সংখ্যক পরিবেশগত ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবক শ্বসন প্রক্রিয়াকে নানাভাবে প্রভাবিত করে। কতিপয় গুরুত্বপূর্ণ বাহ্যিক ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবক সম্বন্ধে নিচে আলোচনা করা হলো।

বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ

পরিবেশগত যেসব কারণে শ্বসনের হার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে তাদেরকে বাহ্যিক প্রভাবক বলে। পরিবেশে অক্সিজেনের প্রাপ্যতা, কার্বন ডাইঅক্সাইডের ঘনত্ব, তাপমাত্রা, আলো, পানি, খনিজ প্রভৃতি দ্বারা শ্বসন বিশেষভাবে নিয়ন্ত্রিত হয়।

- **অক্সিজেনের প্রাপ্যতা :** অক্সিজেন শ্বসন প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত একটি গুরুত্বপূর্ণ উপাদান। অক্সিজেনের ঘনত্ব বিভিন্ন টিস্যুতে বিভিন্নভাবে শ্বসনের উপর প্রভাব বিস্তার করে। বায়ুমণ্ডলে O_2 এর ঘনত্ব ৩% এর নিচে নেমে গেলে শ্বসন হার কমতে থাকে। অতিরিক্ত অক্সিজেন মাত্রাও শ্বসনে বাধার সৃষ্টি করে।
- **কার্বন ডাইঅক্সাইডের ঘনত্ব :** পরিবেশে CO_2 এর ঘনত্ব বৃদ্ধি পেলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে গ্যাস বিনিময়ে বাধা সৃষ্টি করে। ফলে শ্বসনের হার কমতে থাকে।
- **তাপমাত্রা :** তাপমাত্রা শ্বসন প্রক্রিয়ায় নিয়োজিত অধিকাংশ এনজাইমের কার্যক্ষমতা নিয়ন্ত্রণ করে। নিম্ন তাপমাত্রায় শ্বসন হার কমতে থাকে এবং তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে শ্বসন হার বৃদ্ধি পায়। অপটিমাম তাপমাত্রার (৩০°C) বেশি উষ্ণতায় শ্বসনের হার কমতে থাকে এবং ৪০-৪৫° সে. তাপমাত্রায় শ্বসন হার সর্বনিম্ন মাত্রায় পৌঁছায়।
- **পানি :** শ্বসন প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত অধিকাংশ জৈব যৌগ ব্যবহার উপযোগী করার জন্য আর্দ্রবিশ্লেষণের প্রয়োজন হয়। পানির পরিমাণ কম হলে আর্দ্রবিশ্লেষণ বাধাগ্রস্ত হয় এবং শ্বসন হার কমতে থাকে।
- **খনিজ পদার্থ :** খনিজ লবণের ঘনত্বের সাথে শ্বসন হার বাড়তে থাকে। NaCl, $MgCl_2$, NH_4NO_3 প্রভৃতি উদ্ভিদের শ্বসন হার বৃদ্ধিতে সহায়তা করে।

অভ্যন্তরীণ প্রভাবক

- **কোষের বয়স :** নতুন কোষে প্রোটোপ্লাজম বেশি কর্মক্ষম থাকে বলে পুরাতন কোষ অপেক্ষা নতুন কোষে শ্বসনের হার বেশি হতে দেখা যায়। বয়সের সাথে সাথে কোষের শ্বসন ক্ষমতা কমতে থাকে।
- **প্রোটোপ্লাজম :** প্রোটোপ্লাজমের অভ্যন্তরে সমস্ত বিপাকীয় ক্রিয়া সম্পন্ন হয় এবং প্রয়োজনীয় উপাদান ও এনজাইম প্রোটোপ্লাজমে সঞ্চিত থাকে। বয়সের সাথে সাথে প্রোটোপ্লাজমের পরিমাণ কমতে থাকে ফলে শ্বসনের হার হ্রাস পায়।

CamScanner

- **এনজাইম :** শ্বসনের যাবতীয় বিক্রিয়া এনজাইম নির্ভর। প্রোটোপ্লাজমে প্রয়োজনীয় এনজাইমের সংশ্লেষণ ব্যাহত হলে শ্বসনের হার কমতে থাকে। অনুরূপভাবে, এনজাইমের কাজের জন্য যেসব কো-এনজাইম ও কো-ফ্যাক্টর প্রয়োজন পড়ে তাদের পরিমিত পরিমাণের অভাবে এনজাইমের কাজে বাধা সৃষ্টি হয় এবং শ্বসন হার কমতে থাকে।
- **শ্বসনিক বস্তু :** শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোষস্থ সঞ্চিত খাদ্য জারিত হয়ে শক্তি উৎপন্ন হয়। সাধারণত শর্করা শ্বসনে জারিত হয় এবং শর্করায় ঘাটতি দেখা দিলে চর্বি ও প্রোটিন শ্বসনে জারিত হয়। শর্করার উপস্থিতির উপর নির্ভর করে শ্বসনের হার হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটে।
- **কোষস্থ খনিজ :** বিভিন্ন মৌল শ্বসনে অংশগ্রহণকারী এনজাইমের কো-ফ্যাক্টর হিসেবে কাজ করে। এদের অভাবে এনজাইমের কর্মক্ষমতা কমে যায় এবং শ্বসন হার কমতে থাকে।

৯.২৮ শ্বসনের গুরুত্ব (Importance of Respiration)

শ্বসন জীবের গুরুত্বপূর্ণ বৈশিষ্ট্য। শ্বসন প্রক্রিয়ায় জীবন ধারণের প্রয়োজনীয় শক্তি উৎপন্ন হয়। অণুজীবের শ্বসন বৈশিষ্ট্য কাজে লাগিয়ে অনেক সময় প্রয়োজনীয় যৌগ উৎপন্ন করে। নিচে শ্বসনের কতিপয় গুরুত্ব উল্লেখ করা হলো—

- **শক্তি উৎপাদন :** প্রতিনিয়ত জীবের বিভিন্ন বিপাকীয় প্রক্রিয়ায় যে শক্তির প্রয়োজন পড়ে, শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোষস্থ সঞ্চিত খাদ্য জারণের মাধ্যমে সে শক্তি উৎপন্ন হয়। চলন, দর্শন, পরিপাক, সংবেদন, জনন প্রভৃতি শারীরবৃত্তীয় প্রয়োজনে শ্বসন শক্তি ব্যবহৃত হয়।
- **গাঠনিক উপাদান উৎপাদন :** শ্বসন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন বিভিন্ন মধ্যবর্তী পদার্থ ব্যবহার করে প্রয়োজনীয় গাঠনিক উপাদান দেহে তৈরি হয়। এভাবে সাকসিনাইল কো-এ থেকে ক্লোরোফিল, সাইটোক্রোম প্রভৃতি এবং অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড থেকে কোষে অ্যাসপারটিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়।
- **কোষ বিভাজন ও বৃদ্ধি :** কোষ বিভাজন ও দৈহিক বৃদ্ধির জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি শ্বসন প্রক্রিয়া থেকে পাওয়া যায়।
- **পরিবেশের ভারসাম্য সংরক্ষণ :** শ্বসন প্রক্রিয়ায় O_2 গৃহীত এবং CO_2 নির্গত হয়। সবুজ উদ্ভিদ CO_2 ব্যবহার করে খাদ্য প্রস্তুত করে এবং এ প্রক্রিয়ায় O_2 নির্গত হয়। এভাবে পরিবেশে O_2 ও CO_2 এর ভারসাম্য সংরক্ষিত হয়।
- **দুগ্ধজাত খাদ্য উৎপাদন :** অণুজীবের অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া কাজে লাগিয়ে দুধ থেকে দই, পনির, মাখন প্রভৃতি খাদ্য উৎপাদন করা হয়।
- **বেকারি ও মদশিল্পে :** বেকারিতে পাউরুটি, কেক ও চোলাই কারখানায় মদ, শিল্পে বিয়ার প্রভৃতি উৎপাদনের জন্য বিভিন্ন প্রজাতির অণুজীবের শ্বসন বৈশিষ্ট্য (গাঁজন) কাজে লাগান হয়।
- **চিকিৎসা উপকরণ উৎপাদন :** অণুজীব অবাত শ্বসনের মাধ্যমে বিভিন্ন ধরনের উপজাত পদার্থ, যেমন- জৈব অ্যাসিড, অ্যালকোহল, উপক্ষার, স্টেরয়েড, ভিটামিন, হরমোন, এনজাইম, অ্যান্টিবায়োটিক প্রভৃতি উৎপন্ন করে। এসব পদার্থ রোগ নিরাময়ের জন্য গুরুত্বপূর্ণ।
- **তাপমাত্রা রক্ষা :** শ্বসনের ফলে যে তাপ সৃষ্টি হয় তা জীবদেহের প্রয়োজনীয় তাপমাত্রা বজায় রাখতে ভূমিকা রাখে।
- **খাদ্য তৈরি :** শ্বসন ক্রিয়ায় নির্গত CO_2 সালোকসংশ্লেষণে অংশগ্রহণের মাধ্যমে খাদ্য তৈরি করে। এ খাদ্যের উপর সমগ্র জীবজগত নির্ভরশীল।

৯.২৯ আদিকোষী ও প্রকৃতকোষী জীবের শ্বসনস্থল (Respiration Site of Eukaryotic and Prokaryotic Organism)

আদিকোষী জীব: এদের সাইটোপ্লাজমে গ্লাইকোলাইসিস, পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ, ক্রেবস চক্র ঘটে। আর কোষ ঝিল্লির ভিতরের তলে প্রান্তীয় জারণ ঘটে।

প্রকৃতকোষী জীব: এদের সাইটোপ্লাজমে গ্লাইকোলাইসিস হয়। মাইটোকন্ড্রিয়ার ম্যাট্রিক্সে পাইরুভিক অ্যাসিড সক্রিয়করণ ও ক্রেবসচক্র ঘটে। আর অন্তঃপর্দার ভিতরের তলে প্রান্তীয় জারণ ঘটে।

অবাত শ্বসন: সকল প্রকার জীবের অবাত শ্বসন শুধুমাত্র সাইটোপ্লাজমে সম্পন্ন হয়।

একক কাজ

নিচের প্রভাবকগুলোকে বাহ্যিক ও অভ্যন্তরীণ প্রভাবকে ভাগ করে শ্বসনে তাদের প্রভাব উল্লেখ করো। প্রভাবকসমূহ– নিম্ন তাপমাত্রা, অতিরিক্ত অক্সিজেন, নতুন কোষ, কোষস্থ খনিজ।

CamScanner

পাঠ ১৯ ব্যবহারিক: অবাত শ্বসনে CO_2 গ্যাসের নির্গমন পরীক্ষা

তত্ত্ব : শ্বসন প্রক্রিয়ায় জীবকোষে সঞ্চিত খাদ্য ভেঙে শক্তি নির্গত হয় ও এ প্রক্রিয়ায় CO_2 উৎপন্ন হয়। অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে যে শ্বসন ঘটে তাকে অবাত শ্বসন বলে।

উপকরণ : একটি টেস্টটিউব, টেস্টটিউব হোল্ডার, একটি ছোট বিকার, পারদ, ভেজানো সামান্য অঙ্কুরিত ছোলা বীজ, চিমটা ও কস্টিক পটাশের টুকরা।

কার্যপদ্ধতি : প্রথমে বিকারটিতে অর্ধেক পরিমাণ পারদ পূর্ণ করা হলো। পরে টেস্টটিউবটি পারদ দ্বারা পূর্ণ করে মুখ বুড়ো আঙ্গুল দিয়ে চেপে ধরে বিকারের পারদের উপর উপুড় করে রাখা হলো। এবারে হোল্ডারের সাহায্যে টেস্টটিউবটিকে খাড়াভাবে আবদ্ধ করে রাখা হলো। আগে থেকে ভিজিয়ে রাখা অঙ্কুরিত ছোলাবীজ এবারে চিমটার সাহায্যে টেস্টটিউবে প্রবেশ করানো হলো। বীজগুলো পারদের চাপে টেস্টটিউবের উপরের দিকে উঠে যায়। এ অবস্থায় সেটটিকে ২ ঘণ্টা রেখে দেয়া হলো।

পর্যবেক্ষণ : দু'ঘণ্টা পর দেখা গেল টেস্টটিউবের ভেতরে পারদের স্তর বেশ নিচে নেমে গেছে। এবারে কস্টিক পটাশের কয়েকটি ছোট টুকরা চিমটার সাহায্যে টেস্ট টিউবে প্রবেশ করালে কিছুক্ষণ পর টিউবটি পুনরায় পারদে পূর্ণ হয়ে গেল।

চিত্র-৯.২৫: অবাত শ্বসন পর্যবেক্ষণ

সিদ্ধান্ত: কস্টিক পটাশ যেহেতু CO_2 গ্যাস শোষণ করে এ জন্য টেস্টটিউবের ভেতরে উৎপন্ন গ্যাসটি CO_2। এ CO_2 অঙ্কুরিত ছোলা বীজের শ্বসন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়েছে। টেস্টটিউবটি যেহেতু প্রথমে পারদপূর্ণ ছিল এবং সেখানে কোনো বাতাস বা অক্সিজেন ছিল না। এ অবস্থায় অঙ্কুরিত ছোলা বীজের অবাত শ্বসন ঘটেছে।

অতএব, অঙ্কুরিত ছোলা বীজে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে অবাত শ্বসনে CO_2 গ্যাস নির্গত হয়েছে।

সতর্কতা :

১. টেস্টটিউবে যেন বাতাস থাকতে না পারে এ জন্য সম্পূর্ণভাবে পারদ পূর্ণ করতে হবে।
২. টেস্টটিউবের মুখ যেন বিকারের তলে না লেগে থাকে সেদিকে সতর্ক থাকতে হবে।
৩. টেস্টটিউবের মুখ যেন পারদের মধ্যে থাকে সে দিকে লক্ষ রাখতে হবে।
৪. ছোলা বীজ সতেজ ও সামান্য অঙ্কুরিত হতে হবে।

CamScanner