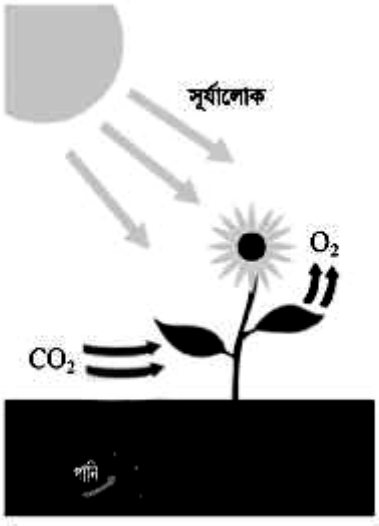
ইউনিট ১১

উদ্ভিদ শারীরতত্ত্ব
(PLANT PHYSIOLOGY)

ভূমিকা

উদ্ভিদ দেহে নানারকম শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া ঘটে। উদ্ভিদের উল্লেখযোগ্য শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়াগুলো হলো- পানি ও খনিজ লবণ শোষণ, প্রস্বেদন, সালোকসংশ্লেষণ, শ্বসন, ফুল, ফল ও বীজ উৎপাদন ইত্যাদি। একাধিক ক্রিয়া-বিক্রিয়া মিলিতভাবে এক একটি শারীরতাত্ত্বিক প্রক্রিয়া সম্পন্ন করে। Stephen Hales নামক একজন ব্রিটিশ বিজ্ঞানী ১৭২৭ খ্রিস্টাব্দে বলেছিলেন যে, উদ্ভিদ বায়ু হতে কিছু খাদ্য গ্রহণ করে এবং সূর্যালোক হয়তো এতে অংশগ্রহণ করে। এ কারণে তাঁকে উদ্ভিদ শারীরতত্ত্বের জনক বলে। এ ইউনিটে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ শারীরতাত্ত্বিক প্রক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করা হবে।



ইউনিট সমাপ্তির সময়	ইউনিট সমাপ্তির সর্বোচ্চ সময় ০৪ সপ্তাহ

এ ইউনিটের পাঠসমূহ

পাঠ ১১.১ : উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া
পাঠ ১১.২ : আধুনিক মতবাদসহ সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় পরিশোষণ প্রক্রিয়া
পাঠ ১১.৩ : সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়ার মধ্যে তুলনা
পাঠ ১১.৪ : পত্ররন্ধ্র
পাঠ ১১.৫ : পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত ও বন্ধ হওয়ার কৌশল
পাঠ ১১.৬ : পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া
পাঠ ১১.৭ : ব্যবহারিক- পত্ররন্ধ্র চিহ্নিতকরণ
পাঠ ১১.৮ : সালোকসংশ্লষণ
পাঠ ১১.৯ : সালোকসংশ্লেষণের ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র
পাঠ ১১.১০ : ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে তুলনা
পাঠ ১১.১১ : ব্যবহারিক- সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতা পরীক্ষণ
পাঠ ১১.১২ : শ্বসন
পাঠ ১১.১৩ : অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া এবং শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার
পাঠ ১১.১৪ : শ্বসনের প্রভাবকসমূহ
পাঠ ১১.১৫ : ব্যবহারিক- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি পরীক্ষণ

পাঠ-১১.১ উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণের অঙ্গ এবং প্রকারভেদ উল্লেখ করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	খনিজ লবণ পরিশোষণ, নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ, সক্রিয় লবণ পরিশোষণ

উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া : বহুকাল পূর্ব হতেই প্রচলিত আছে যে, উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও গঠনের জন্য বেশ কিছু মৌলিক পদার্থ প্রয়োজন। উদ্ভিদ নিজের জন্য প্রয়োজনীয় মৌলিক পদার্থের বেশিরভাগ মাটিস্থ খনিজ লবণ থেকে আয়নাকারে শোষণ করে। তবে C, H, O প্রভৃতি মৌলিক উপাদানগুলো উদ্ভিদ বায়ু ও পানি হতে সংগ্রহ করে। খনিজ লবণগুলো N, P, Ca, K, Mg, Fe, S, Zn, Mn, B, Cu, Mo, Cl, Na প্রভৃতির লবণ। লবণগুলো মাটিস্থ পানিতে দ্রবীভূত হয়ে ক্যাটায়ন (+) অথবা অ্যানায়ন (-) হিসেবে অবস্থান করে। সাধারণ ক্যাটায়নগুলো যেমন K^+, Mg^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+} এবং সাধারণ অ্যানায়নগুলো যথা- N, P, B, S এবং Cl (যথাক্রমে NO_3^-, PO_4^{3-}, BO_4^{3-}, SO_4^{2-},Cl^- হিসেবে) মাটিস্থ পানিতে অবস্থান করে।

উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণের অঙ্গ : মূলের অগ্রভাগের কোষ বিভাজন অঞ্চলের নতুন সৃষ্ট কোষগুলোই লবণ পরিশোষণে অধিক সক্রিয়। মূলরোম দিয়েও কিছু লবণ পরিশোষিত হয়।

১১.১ : উদ্ভিদের খনিজ লবণ পরিশোষণ অঙ্গ

প্রকারভেদ : লবণ পরিশোষণ একটি জটিল প্রক্রিয়া। উদ্ভিদে খনিজ লবণ পরিশোষণকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়। যথা- নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ এবং সক্রিয় লবণ পরিশোষণ।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে মাটিতে অবস্থিত ক্যাটায়ন এবং অ্যানায়নগুলোর নাম লিখুন
ক্যাটায়ন	
অ্যানায়ন	

সারসংক্ষেপ

উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় মৌলিক পদার্থের কতগুলো মাটিস্থ খনিজ লবণ থেকে আয়নাকারে শোষণ করে। এদের কিছু হলো ক্যাটায়ন (K^+, Mg^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Zn^{2+}) এবং কিছু অ্যানায়ন (NO_3^-, PO_4^{3-}, BO_4^{3-}, SO_4^{2-}, Cl^-)। উদ্ভিদে খনিজ লবণ পরিশোষণকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়। যথা- নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ এবং সক্রিয় লবণ পরিশোষণ।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। অ্যানায়ন হলো-

i. NO_3^- ii. PO_4^{3-} iii. Mn^{2+}

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২। উদ্ভিদে খনিজ লবণ পরিশোষণকে কত ভাগে ভাগ করা হয়েছে ?

(ক) ২ (খ) ৩ (গ) ৪ (ঘ) ৫

পাঠ-১১.২ আধুনিক মতবাদসহ সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় পরিশোষণ প্রক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- নিষ্ক্রিয় ও সক্রিয় লবণ পরিশোষণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিষ্ক্রিয় ও সক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলো উল্লেখ করতে পারবেন।
- সক্রিয় লবণ পরিশোষণের আধুনিক মতবাদগুলো বর্ণনা করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	বিপাকীয় শক্তি, ATP, আয়ন বাহক মতবাদ, আয়ন অভেদ্য তল, বাহক-আয়ন-যৌগ, বহিঃস্থ দ্রবণ

নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ : এ শোষণ প্রক্রিয়ায় কোন বিপাকীয় শক্তি বা ATP এর প্রয়োজন হয় না বলে একে নিষ্ক্রিয় পরিশোষণ বলা হয়। এ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ ব্যাপন প্রক্রিয়ায় ঘটে। এক্ষেত্রে মাটির দ্রবণে আয়নের ঘনত্ব মূলরোমের কোষের দ্রবণে আয়নের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি থাকে। মাটির দ্রবণ এবং মূলরোমের কোষের দ্রবণের ঘনত্বের এ অসমতাকে কাজে লাগিয়ে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় খনিজ লবণ উদ্ভিদ কোষে প্রবেশ করে। দ্রবণ দুটির ঘনত্ব যতক্ষণ পর্যন্তসমান না হয় ততক্ষণ এ প্রক্রিয়া চলতে থাকে। এতে শ্বসনের হার স্বাভাবিক থাকে।

নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলো হলো- (ক) ব্যাপন মতবাদ, (খ) আয়ন বিনিময় মতবাদ, (গ) মাস ফ্লো মতবাদ এবং (ঘ) ডোন্যান ইকুইলিব্রিয়াম মতবাদ।

সক্রিয় লবণ পরিশোষণ : বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে যে, মাটিস্থ দ্রবণে কোন আয়নের ঘনত্ব মূলের শোষণ অঞ্চলের কোষরসে সে আয়নের ঘনত্ব অপেক্ষা কম হলেও মাটির দ্রবণ হতে ঐ আয়ন কোষের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে। ঘনত্বক্রমের (Concentration gradient) বিপরীতে এ পরিশোষণ বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োগে ঘটে থাকে। এ কারণে এ জাতীয় শোষণকে **সক্রিয় শোষণ** বলে। অধিকাংশ খনিজ লবণ সক্রিয় পরিশোষণ পদ্ধতিতে মূল কর্তৃক পরিশোষিত হয়ে থাকে। সক্রিয় পরিশোষণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন একই সাথে পরিশোষিত হয়। সাইটোক্রোম এবং ফসফরাসযুক্ত নাইট্রোজেন যৌগসমূহ আয়নের বাহক হিসেবে কাজ করে। আধানযুক্ত এসব বাহক কেবল বিপরীত আধানযুক্ত আয়নই বহন করতে পারে। পর্যায়ক্রমে একাধিক বাহক আয়নগুলোকে মাটির দ্রবণ থেকে কোষ গহ্বরের দ্রবণে পৌঁছে দেয়।

সক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলো হলো- (ক) আয়ন বাহক মতবাদ, (খ) সাইটোক্রোম-পাম্প বা অ্যানায়ন শ্বসন মতবাদ এবং (গ) প্রোটন-অ্যানায়ন কো-ট্রান্সপোর্ট মতবাদ।

সক্রিয় লবণ পরিশোষণের আধুনিক মতবাদ : লবণ শোষণ প্রক্রিয়ার আধুনিক মতবাদগুলোর মধ্যে আয়ন বাহক মতবাদটি ব্যাপকভাবে গ্রহণযোগ্য হয়েছে। এ মতবাদটি Van dan Honert (১৯৩৭) সর্বপ্রথম প্রস্তাব করেন।

আয়ন পরিবহন ক্ষমতার ভিত্তিতে কোষ ঝিল্লীকে (প্লাজমামেমব্রেন) তিনটি অঞ্চলে বা স্তরে বিভক্ত করা হয়েছে। যথা–

১। বাইরের তল (Outer space)- কোষ পর্দার এ তলটি বহিঃস্থ দ্রবণের দিকের অংশ। এ তলে আয়ন মুক্তভাবে ব্যাপিত হতে পারে।

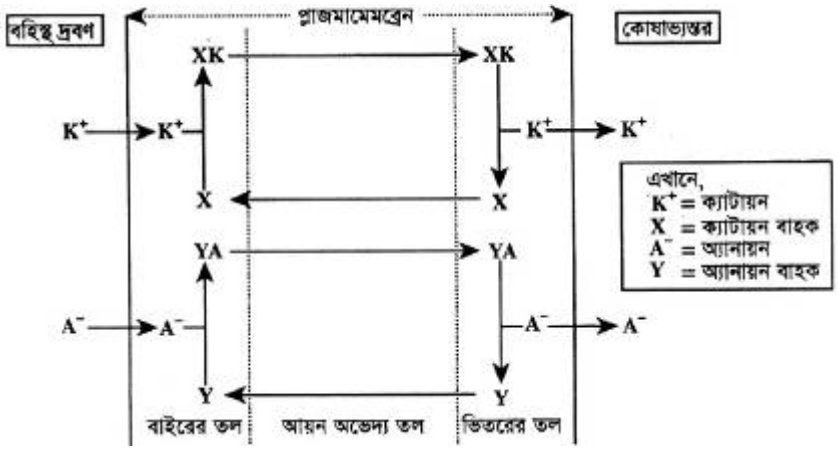
২। ভেতরের তল (Inner space)- কোষ পর্দার এ তলটি কোষস্থ দ্রবণ তথা সাইটোপ্লাজমের দিকের অংশ। এ তলেও আয়ন মুক্তভাবে ব্যাপিত হতে পারে। কোষের কোথায় বাইরের তল শেষ এবং কোথায় ভেতরের তল শুরু তা সঠিকভাবে নিরূপন করা কঠিন।

৩। আয়ন অভেদ্য তল- এ তলটি বাইরের তল এবং ভেতরের তলের মাঝে অবস্থিত এবং আয়ন চলাচলের জন্য অভেদ্য (অর্থাৎ মুক্তভাবে আয়ন ব্যাপন অযোগ্য)।

বাইরের তল থেকে আয়ন অভেদ্য তল ভেদ করে ভেতরের তলে প্রবেশের জন্য বিপাকীয় শক্তি প্রয়োগের প্রয়োজন হয়। আয়ন বাহক মতবাদ অনুসারে আয়নের চলাচল জৈব বাহকের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। কোষ পর্দার বাইরের তলে আয়ন জৈব বাহকের সাথে যুক্ত হয়ে বাহক-আয়ন-যৌগ উৎপন্ন করে। এ বাহক-আয়ন-যৌগ কোষ পর্দার অভেদ্য তল অতিক্রম করে ভেতরের তলে প্রবেশ করে এবং ভেতরের তলে আয়নকে মুক্ত করে দেয়। বাহক পৃথক হয়ে পুনরায় কোষ পর্দার ভেতরের

তল থেকে বাইরের তলে ফিরে আসে এবং একইভাবে আয়নকে বাইরের তল থেকে ভেতরে তলে নিয়ে যায়। ভেতরের তলে মুক্ত আয়ন ব্যাপন প্রক্রিয়ায় কোষের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে।

বাহক যৌগ সৃষ্টি, বাহক যৌগের চলাচল, আয়ন মুক্তকরণ এবং পুনরায় বাহকের ভেতরের তল থেকে বাইরের তলে গমন ইত্যাদি কাজ সম্পন্ন করার জন্য বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ প্রয়োজন হয়। নির্দিষ্ট প্রকার আয়নের জন্য নির্দিষ্ট বাহক থাকে। বাহক সুনির্দিষ্ট থাকায় সব কোষ সব ধরনের আয়ন শোষণ করতে পারে না।



চিত্র ১১.২ : আয়ন বাহক মতবাদ অনুযায়ী ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন পরিবহনের রূপরেখা

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে সক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলোর নাম লিখুন	

সারসংক্ষেপ

লবণ পরিশোষণের যে প্রক্রিয়ায় কোন বিপাকীয় শক্তি বা ATP এর প্রয়োজন হয় না তাকে নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ বলা হয়। এ প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদের খনিজ লবণ শোষণ ব্যাপন প্রক্রিয়ায় ঘটে। নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলো হলো- (১) ব্যাপন মতবাদ, (২) আয়ন বিনিময় মতবাদ, (৩) মাস ফ্লো মতবাদ এবং (৪) ডোন্যান ইকুইলিব্রিয়াম মতবাদ। লবণ পরিশোষণের যে প্রক্রিয়ায় বিপাকীয় শক্তি বা ATP এর প্রয়োজন হয় তাকে সক্রিয় লবণ পরিশোষণ বলা হয়। সক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদগুলো হলো- (১) আয়ন বাহক মতবাদ, (২) সাইটোক্রোম-পাম্প বা অ্যানায়ন শ্বসন মতবাদ এবং (৩) প্রোটন-অ্যানায়ন কো-ট্রান্সপোর্ট মতবাদ।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। নিচের কোনটি নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মতবাদ ?

(ক) ব্যাপন মতবাদ (খ) আয়ন বাহক মতবাদ (গ) অভিস্রবণ মতবাদ (ঘ) শ্বসন মতবাদ

২. সক্রিয় লবণ পরিশোষণের ক্ষেত্রে-

i. আয়ন বাহক মতবাদ হলো আধুনিক মতবাদ

ii. মতবাদটি সর্বপ্রথম Van dan Honert (১৯৩৭) প্রস্তাব করেন

iii. সক্রিয় পরিশোষণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন একই সাথে পরিশোষিত হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-১১.৩ সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়ার মধ্যে তুলনা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে সাদৃশ্য উল্লেখ করতে পারবেন।
- সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে বৈসাদৃশ্য তুলে ধরতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ, সক্রিয় লবণ পরিশোষণ, আয়নের দ্রবণ, বিপাকীয় শক্তি, শ্বসন হার

নিম্নে সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে সাদৃশ্য এবং বৈসাদৃশ্য তুলে ধরা হলো-

ছক ১১.৩.১ : সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে সাদৃশ্য

সাদৃশ্যের বিষয়	সক্রিয় লবণ পরিশোষণ	নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ
১। লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া	এ প্রক্রিয়ায় লবণ আয়ন হিসেবে পরিশোষিত হয়।	এ প্রক্রিয়াতেও লবণ আয়ন হিসেবে পরিশোষিত হয়।
২। আয়নের দ্রবণ	এ প্রক্রিয়ায় আয়নের দ্রবণ অংশ গ্রহণ করে।	এ প্রক্রিয়াতেও আয়নের দ্রবণ অংশ গ্রহণ করে।

ছক ১১.৩.২ : সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে বৈসাদৃশ্য

বৈসাদৃশ্যের বিষয়	সক্রিয় লবণ পরিশোষণ	নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ
১। বিপাকীয় শক্তি	প্রত্যক্ষ প্রয়োগের দরকার হয়।	প্রত্যক্ষ প্রয়োগের দরকার হয় না।
২। শ্বসন হার	শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়।	শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায় না।
৩। ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শোষণ	একই সাথে সংঘটিত হয়।	একই সাথে সংঘটিত হয় না।
৪। আয়ন বাহক	বাহক আয়ন বা অণু দ্বারা সম্পন্ন হয়।	কোন বাহক আয়ন বা অণুর দরকার হয় না।
৫। এনজাইম	এনজাইম গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা রাখে।	এনজাইম কোন ভূমিকা রাখে না।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে দুটি বৈসাদৃশ্য তুলে ধরুন	
সক্রিয় লবণ পরিশোষণ		
নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণ		

সারসংক্ষেপ

সক্রিয় এবং নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণের মধ্যে লবণ পরিশোষণ প্রক্রিয়া এবং আয়নের দ্রবণের ক্ষেত্রে সাদৃশ্য দেখা যায়। অপরদিকে বিপাকীয় শক্তি, শ্বসন হার, ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শোষণ, আয়ন বাহক এবং এনজাইমের ক্ষেত্রে বৈসাদৃশ্য পরিলক্ষিত হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৩

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। নিচের কোনটি সত্য ?

(ক) সক্রিয় লবণ পরিশোষণে বিপাকীয় শক্তির প্রত্যক্ষ দরকার হয় না ।

(খ) সক্রিয় লবণ পরিশোষণে ক্যাটায়ন ও অ্যানায়ন শোষণ একই সাথে সংঘটিত হয়।

(গ) সক্রিয় লবণ পরিশোষণে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায় না।

(ঘ) নিষ্ক্রিয় লবণ পরিশোষণে এনজাইমের ভূমিকা থাকে।

পাঠ-১১.৪ পত্ররন্ধ্র

উদ্দেশ্য

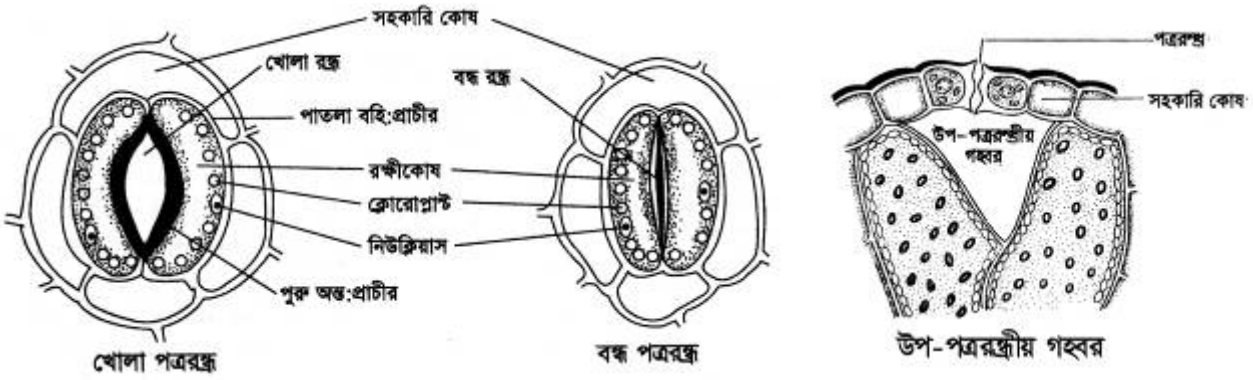
এ পাঠ শেষে আপনি-

- পত্ররন্ধ্র সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- একটি পত্ররন্ধ্রের চিহ্নিত চিত্র অঙ্কন করতে পারবেন।
- একটি পত্ররন্ধ্রের গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	পত্ররন্ধ্র, রক্ষীকোষ, বায়ুকুঠুরী

পত্ররন্ধ্র (Stomata) : পত্ররন্ধ্র উদ্ভিদের এক প্রকার গ্যাসীয় বিনিময় অঙ্গ। উদ্ভিদের কচি কান্ড এবং পাতার ঊর্ধ্ব ও নিম্নতলের বহিঃত্বকে অবস্থিত দুটি রক্ষীকোষ দিয়ে পরিবেষ্টিত সূক্ষ্ম রন্ধ্রকে পত্ররন্ধ্র বলে। বিষমপৃষ্ঠ পাতার নিম্ন ত্বকে, ভাসমান জলজ উদ্ভিদের উর্ধ্ব ত্বকে, সমদ্বিপৃষ্ঠ পাতার উভয় ত্বকে পত্ররন্ধ্র থাকে। নিমজ্জিত জলজ উদ্ভিদের পাতায় পত্ররন্ধ্র থাকে না বা থাকলেও নিষ্ক্রিয়। মরুজ ও লবণাক্ত মাটির উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র সাধারণত পাতার ত্বকীয় অঞ্চল থেকে বেশ ভেতরের দিকে লুকিয়ে অবস্থান করে, এ জাতীয় পত্ররন্ধ্রকে বলে লুক্কায়িত পত্ররন্ধ্র। প্রজাতির উপর নির্ভর করে পাতার প্রতি এক বর্গ সেন্টিমিটার এলাকায় ১,০০০ হতে ৬০,০০০ পত্ররন্ধ্র থাকে। এর মাধ্যমে কয়েকটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া। যেমন- প্রস্বেদন, সালোকসংশ্লেষণ ও শ্বসন পরিচালিত হয়।

পত্ররন্ধ্রের গঠন (Structure of stomata) : পত্ররন্ধ্র দুটি অর্ধচন্দ্রাকৃতির রক্ষীকোষ দিয়ে পরিবেষ্টিত একটি রন্ধ্র নিয়ে গঠিত। প্রতিটি রক্ষীকোষে একটি সুস্পষ্ট নিউক্লিয়াস, বহু ক্লোরোপ্লাস্ট ও ঘন সাইটোপ্লাজম থাকে। রক্ষীকোষদ্বয়ের রন্ধ্র সংলগ্ন প্রাচীর অত্যন্তস্থুল ও অস্থিতিস্থাপক, কিন্তু বাইরের দিকের প্রাচীর পাতলা, স্থিতিস্থাপক ও অর্ধভেদ্য। রক্ষীকোষের চারদিকে অবস্থিত সাধারণ ত্বকীয় কোষ থেকে একটু ভিন্ন আকার আকৃতির ত্বকীয় সহকারি কোষ থাকে। পত্ররন্ধ্রের নিচে একটি বায়ুপূর্ণ স্থান থাকে। একে উপ-পত্ররন্ধ্রীয় গহ্বর বলে। অধিকাংশ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র সকাল ১০-১১টা এবং বিকাল ২-৩টায় পূর্ণ খোলা থাকে। অন্যান্য সময় আংশিক খোলা থাকে এবং রাত্রে সাধারণত বন্ধ থাকে।



চিত্র ১১.৪ : পত্ররন্ধ্রের গঠন

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে একটি পত্ররন্ধ্রের বৈশিষ্ট্য লিখুন

সারসংক্ষেপ

পত্ররন্ধ্র উদ্ভিদের এক প্রকার গ্যাসীয় বিনিময় অঙ্গ। উদ্ভিদের কচি কান্ড এবং পাতার ঊর্ধ্ব ও নিম্নতলের বহিঃত্বকে অবস্থিত দুটি রক্ষীকোষ দিয়ে পরিবেষ্টিত সূক্ষ্ম রন্ধ্রকে পত্ররন্ধ্র বলে। প্রজাতির উপর নির্ভর করে পাতার প্রতি এক বর্গ সেন্টিমিটার এলাকায় ১,০০০ হতে ৬০,০০০ পত্ররন্ধ্র থাকে। অধিকাংশ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র সকাল ১০-১১টা এবং বিকাল ২-৩টায় পূর্ণ খোলা থাকে। অন্যান্য সময় আংশিক খোলা থাকে এবং রাত্রে সাধারণত বন্ধ থাকে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৪

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। প্রজাতির উপর নির্ভর করে প্রতি এক বর্গ সেন্টিমিটার এলাকায় কতটি পত্ররন্ধ্র থাকে ?

(ক) ১,০০০ হতে ৬০,০০০ (খ) ১,০০০ হতে ৫০,০০০

(গ) ১,০০০ হতে ৪০,০০০ (ঘ) ১,০০০ হতে ৩০,০০০

২। অধিকাংশ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র পূর্ণ খোলা থাকে-

i. সকাল ১০-১১টায় ii. বিকাল ২-৩টায় iii. রাতে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-১১.৫ পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত ও বন্ধ হওয়ার কৌশল

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার মতবাদগুলো উল্লেখ করতে পারবেন।
- পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার আধুনিক মতবাদ বর্ণনা করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	পত্ররন্ধ্র, রক্ষীকোষ, অন্তঃঅভিস্রবণ, বহিঃঅভিস্রবণ

পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল : রক্ষীকোষদ্বয়ের স্ফীতি অথবা শিথিল অবস্থা পত্ররন্ধ্রের খোলা বা বন্ধ হতে সহায়তা করে। আমরা জানি, পত্ররন্ধ্রের রক্ষীকোষদ্বয়ের রন্ধ্র সংলগ্ন প্রাচীর বেশ পুরু কিন্তু বহির্ভাগের অর্থাৎ বহিঃত্বক কোষ সংলগ্ন প্রাচীর বেশ পাতলা হয়। পারিপার্শ্বিক অবস্থার প্রেক্ষিতে বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কারণে রক্ষী কোষে অন্তঃঅভিস্রবণ ও বহিঃঅভিস্রবণ ঘটে। রক্ষীকোষদ্বয় পার্শ্বস্থ বহিঃত্বক কোষ থেকে অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় পানি শোষণ করে স্ফীত হয়। স্ফীতি হওয়ার ফলে রক্ষী কোষের বাইরের পাতলা প্রাচীরের দিকে অতিরিক্ত চাপের টানে ভেতরের পুরু প্রাচীরটি কিছুটা বেঁকে যায় এবং রন্ধ্র খুলে যায়। অপরপক্ষে বহিঃঅভিস্রবণের ফলে রক্ষীকোষদ্বয় স্ফীতি হারিয়ে শিথিল হয়, ফলে রন্ধ্র বন্ধ হয়। কাজেই পত্ররন্ধ্রের খোলা ও বন্ধ হওয়া রক্ষীকোষদ্বয়ের গঠন ও স্ফীতির উপর নির্ভরশীল।

পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার মতবাদ : আলো, তাপ, বায়ুমন্ডলের আর্দ্রতা প্রভৃতি কারণ রক্ষীকোষদ্বয়ের স্ফীতি ও শিথিল হওয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে কিন্তু কীভাবে ঘটনাদ্বয় নিয়ন্ত্রিত হয় তার ব্যাপারে মতদ্বৈততা রয়েছে। কী কী কারণে পত্ররন্ধ্র খোলে ও বন্ধ হয় তার কিছু মতবাদ উল্লেখ করা হলো- (ক) অভিস্রবণীয় মতবাদ, (খ) স্টার্চ-গ্লুকোজ পরস্পর রূপান্তর মতবাদ এবং (গ) প্রোটন প্রবাহ মতবাদ বা আয়ন প্রবাহ মতবাদ ইত্যাদি। এর মধ্যে প্রোটন প্রবাহ মতবাদ সবচেয়ে গ্রহণযোগ্য মতবাদ। তাই একে আধুনিক মতবাদও বলা হয়।

চিত্র ১১.৫ : পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধে আয়ন প্রবাহ মতবাদ

পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার আধুনিক মতবাদ : পত্ররন্ধ্র উদ্ভিদের প্রধান গ্যাসীয় বিনিময় অঙ্গ যার মাধ্যমে উদ্ভিদ O_2, CO_2, জলীয় বাষ্প ইত্যাদি গ্যাসীয় উপাদান বিনিময় করে থাকে। উদ্ভিদের বহুবিধ গুরুত্বপূর্ণ জৈবিক কার্যাবলী (যেমন- শ্বসন, সালোকসংশ্লেষণ, প্রস্বেদন ইত্যাদি) সম্পাদনের জন্য গ্যাস বিনিময় আবশ্যক। এ বিনিময় কার্যক্রম পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার মাধ্যমে নিয়ন্ত্রিত হয়ে থাকে। এ মতবাদ অনুসারে পত্ররন্ধ্র বন্ধ এবং খোলা রাখার বিষয়ে পটাসিয়াম আয়ন (K^+) কে দায়ী করা হয়। দিনের বেলায় রক্ষীকোষ প্রচুর পরিমাণে পটাসিয়াম আয়ন (K^+) ও ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) শোষণ করে। ফলে রক্ষীকোষে অভিস্রবণিক চাপ বাড়ে এবং তখন পার্শ্ববর্তী মেসোফিল টিস্যু থেকে রক্ষীকোষে পানির ব্যাপন ঘটে। এ সময় রক্ষীকোষে টারগার প্রেসার (TP) বেড়ে যাবার ফলে তা স্ফীত হয়ে ধনুকের ন্যায় বেঁকে যায় ও পত্ররন্ধ্র খুলে যায়। রাতের বেলায় পটাসিয়াম আয়ন (K^+) ও কেদ্বারাইড

আয়ন (Cl^-) রক্ষীকোষ হতে বের হয়ে আসে। ফলে রক্ষীকোষের অভিস্রবণিক চাপ কমে। এর ফলে পানি রক্ষী কোষ থেকে বের হয়ে আসে এবং পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়ার মতবাদগুলো উল্লেখ করুন		

সারসংক্ষেপ

পত্ররন্ধ্রের খোলা ও বন্ধ হওয়া রক্ষীকোষদ্বয়ের গঠন ও স্ফীতির উপর নির্ভরশীল। পত্ররন্ধ্রের খোলা ও বন্ধ হওয়ার মতবাদগুলো হলো- অভিস্রবণীয় মতবাদ, স্টার্চ-গ্লুকোজ পরস্পর রূপান্তর মতবাদ, প্রোটন প্রবাহ মতবাদ বা আয়ন প্রবাহ মতবাদ ইত্যাদি। এর মধ্যে প্রোটন প্রবাহ মতবাদ সবচেয়ে গ্রহণযোগ্য মতবাদ। তাই একে আধুনিক মতবাদও বলা হয়। পত্ররন্ধ্র বন্ধ এবং খোলা রাখার বিষয়ে পটাসিয়াম আয়ন (K^+) কে দায়ী করা হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৫

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। পত্ররন্ধ্র খোলা এবং বন্ধ হওয়া কোনটির উপর নির্ভরশীল ?

(ক) রক্ষীকোষদ্বয়ের অবস্থানের উপর

(খ) রক্ষীকোষদ্বয়ের গঠন ও স্ফীতির উপর

(গ) রক্ষীকোষদ্বয়ের ক্লোরোপ্লাস্টের সংখ্যা ও গঠনের উপর

(ঘ) রক্ষীকোষদ্বয়ের নিউক্লিয়াসের অবস্থান ও গঠনের উপর

২। পত্ররন্ধ্র খোলা ও বন্ধ হওয়া সংক্রান্ততথ্য হলো-

i. প্রোটন প্রবাহ মতবাদ অনুসারে খোলা ও বন্ধ নিয়ন্ত্রিত হয়

ii. K^+ পত্ররন্ধ্র খুলতে ও বন্ধ করতে সাহায্য করে

iii. রক্ষীকোষের অভিস্রবনিক চাপ কমলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

পাঠ-১১.৬ পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

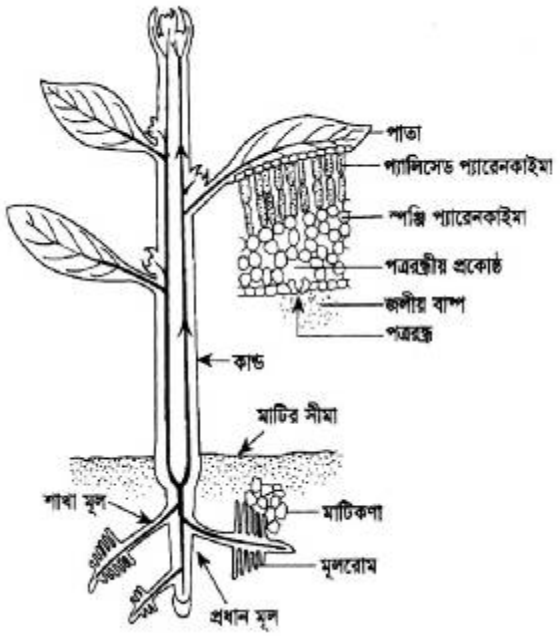
- প্রস্বেদন সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- প্রস্বেদনের প্রকারভেদ উল্লেখ করতে পারবেন।
- পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া বর্ণনা করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন, কিউটিকুলার প্রস্বেদন, লেন্টিকুলার প্রস্বেদন

প্রস্বেদন : উদ্ভিদ মাটি থেকে যে পরিমাণ পানি শোষণ করে তার সামান্য অংশই বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় ব্যয় করে। অধিকাংশ পানি উদ্ভিদদেহ থেকে বাষ্পাকারে বের হয়ে যায়। যে শারীরতাত্ত্বিক প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদদেহ থেকে পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে যায় তাকে প্রস্বেদন বলে। প্রস্বেদনের প্রধান অঙ্গ উদ্ভিদের পাতা। এছাড়া প্রক্রিয়াটি কান্ড এবং তার শাখা প্রশাখার মাধ্যমেও হয়ে থাকে।

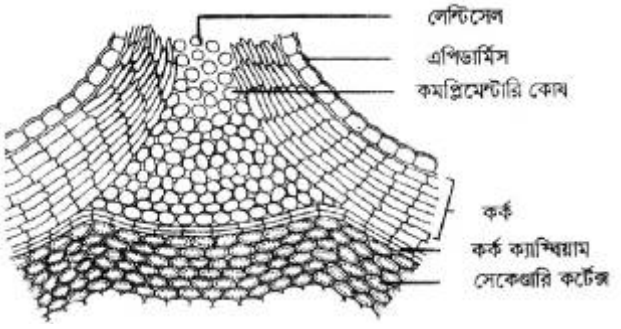
প্রস্বেদনের প্রকারভেদ : উদ্ভিদে তিন ধরনের প্রস্বেদন দেখা যায়। যথা- (ক) পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন, (খ) ত্বকীয় প্রস্বেদন এবং (গ) লেন্টিকুলার প্রস্বেদন।

পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন (Stomatal transpiration) : পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে যে প্রস্বেদন হয় তাকে পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন বলে। পাতা এবং কচি কান্ডে অসংখ্য পত্ররন্ধ্র থাকে। পত্ররন্ধ্র প্রধানত পাতার নিচের পৃষ্ঠদেশে দেখা যায়। এছাড়া ফুলের বৃতি ও পাপড়িতে পত্ররন্ধ্র থাকে। পত্ররন্ধ্রের মধ্য দিয়েই প্রধানত বেশির ভাগ প্রস্বেদন ঘটে। পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদনের পরিমাণ মোট প্রস্বেদনের ৯০-৯৫%।



চিত্র ১১.৬.১ : উদ্ভিদের মূল কর্তৃক পানি পরিশোষণ এবং পাতা কর্তৃক প্রস্বেদন প্রক্রিয়ায় নির্গমন

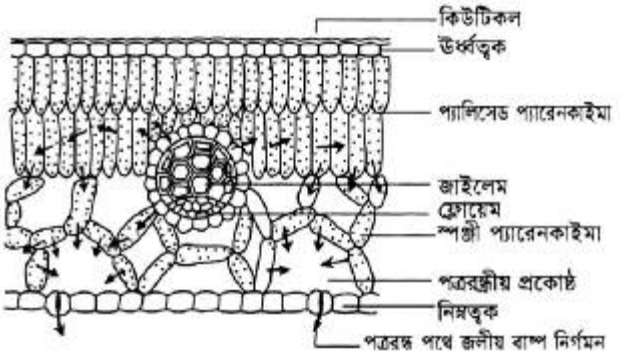
মাটি থেকে মূলরোম দ্বারা শোষণকৃত পানি কান্ড ও তার শাখা প্রশাখা হয়ে পাতায় পৌছায় এবং পাতার শিরা উপশিরার মাধ্যমে পাতাস্থ প্যালিসেড প্যারেনকাইমা ও স্পঞ্জী প্যারেনকাইমা কোষে পৌছায়। উক্ত পানি শোষণ করে পাতার প্যারেনকাইমা কোষগুলো সম্পৃক্ত হয় এবং ঐ পানির অধিকাংশই পাতার অভ্যন্তরস্থ ও বহিঃস্থ তাপ, চাপ ও অন্যান্য পারিপার্শ্বিক অবস্থায় বাষ্পে পরিণত হয়। ঐ বাষ্প তখন পাতার টিস্যুর আন্তঃকোষীয় ফাঁকে এবং পত্ররন্ধ্রসমূহের নিচে অবস্থিত পত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠে জমা হয়। রক্ষীকোষের স্ফীতির কারণে পত্ররন্ধ্র খুলে গেলে সঞ্চিত বাষ্প ঐ রন্ধ্রপথে ব্যাপন প্রক্রিয়ায় বের হয়ে



চিত্র ১১.৬.২ : পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন প্রক্রিয়া

বায়ুমন্ডলে ছড়িয়ে পড়ে।

ত্বকীয় (Cuticular transpiration) : যে প্রস্বেদন কিউটিকলের মধ্য দিয়ে ঘটে তাকে কিউটিকুলার প্রস্বেদন বলে। উদ্ভিদের কান্ড এবং পাতার বহিঃত্বকের উপর কিউটিনের আবরণকে কিউটিকল বলে। উদ্ভিদকে শুষ্কতার হাত থেকে রক্ষা করা কিউটিকলের প্রধান কাজ। কিউটিকল পাতলা হলে উহা ভেদ করে কিছু পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে আসে। এটাই কিউটিকুলার প্রস্বেদন।



চিত্র ১১.৬.৩ : একটি লেন্টিসেলের গঠন

লেন্টিকুলার প্রস্বেদন (Lenticular transpiration) : উদ্ভিদের সেকেন্ডারি বৃদ্ধির ফলে অনেক সময় কান্ডের বাইরের আবরণ (বহিঃত্বক অথবা কর্ক) কোন কোন জায়গায় ফেঁটে যায়। এতে কান্ডের ভেতরের কোষ বাইরের পরিবেশে উন্মুক্ত হয়। এ উন্মুক্ত জায়গাগুলোকে লেন্টিসেল বলে। লেন্টিসেলের মধ্য দিয়ে ভেতরের টিস্যু থেকে পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে আসে। এটাই লেন্টিকুলার প্রস্বেদন।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে তিন প্রকার প্রস্বেদনের মধ্যকার দুটি পার্থক্য লিখুন	
পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন	ত্বকীয় প্রস্বেদন	লেন্টিকুলার প্রস্বেদন

সারসংক্ষেপ

উদ্ভিদের দেহ থেকে পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে যাওয়াকে প্রস্বেদন বলে। উদ্ভিদে তিন ধরনের প্রস্বেদন দেখা যায়। যথা- (ক) পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন, (খ) ত্বকীয় প্রস্বেদন এবং (গ) লেন্টিকুলার প্রস্বেদন। পত্ররন্ধ্রের মধ্য দিয়ে সংঘটিত প্রস্বেদনকে পত্ররন্ধ্রীয় প্রস্বেদন বলা হয়। উদ্ভিদের কান্ড এবং পাতার বহিঃত্বকের উপর কিউটিন (কিউটিকল বলে) এর ভেতর দিয়ে সংঘটিত প্রস্বেদন হলো ত্বকীয় প্রস্বেদন। লেন্টিসেলের মধ্য দিয়ে ভেতরের টিস্যু থেকে পানি বাষ্পাকারে বের হয়ে যাওয়াকে লেন্টিকুলার প্রস্বেদন বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৬

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। প্রস্বেদনের প্রধান অঙ্গ কোনটি ?

(ক) ফুল (খ) পাতা (গ) কান্ড (ঘ) মূল

২। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে শতকরা কতভাগ প্রস্বেদন হয় ?

(ক) ৪০%-৫০% (খ) ৫৫%-৬৫% (গ) ৮০%-৮৫% (ঘ) ৯০%-৯৫%

পাঠ-১১.৭ ব্যবহারিক- পত্ররন্ধ্র চিহ্নিতকরণ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

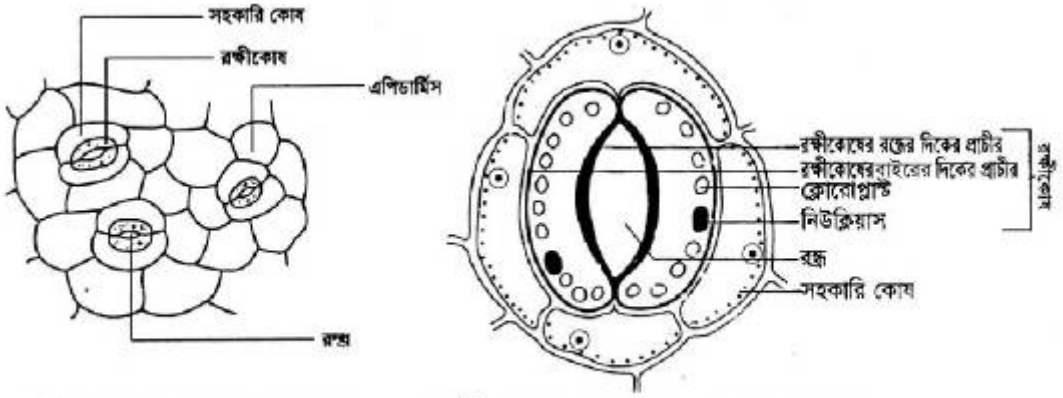
একটি পত্ররন্ধ্রের চিত্র এঁকে এর বিভিন্ন অংশ চিহ্নিত করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	পত্ররন্ধ্র

পরীক্ষার নাম : পত্ররন্ধ্র চিহ্নিতকরণ ।

প্রয়োজনীয় উপকরণ : গাছ হতে আনা একটি পাতা (পাতা মসৃণ হলে ভাল কারণ রোমশ হলে পিল নিতে অসুবিধা হয়), চিমটা, কাঁচের বাটি, পানি, আলোক অণুবীক্ষণযন্ত্র, গ্লিসারিন, স্লাইড এবং কভার স্লিপ।

কার্যপদ্ধতি : চিমটার সাহায্যে পাতার নিচের পৃষ্ঠ থেকে পিলের ন্যায় করে ত্বকের আস্তর উঠিয়ে কাঁচের বাটিতে রাখা পানিতে রাখুন। পরে একটি কাঁচের স্লাইডে এক ফোঁটা পানি নিয়ে তাতে ঐ পিলটা রাখুন। এবার পিলের উপর এক ফোঁটা গ্লিসারিন যোগ করে একটি কভার স্লিপ দিয়ে আলোক অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে পর্যবেক্ষণ করুন।



পাতার ত্বকে পত্ররন্ধ্রের অবস্থান একটি পত্ররন্ধ্র বড় করে দেখানো হয়েছে

চিত্র ১১.৭ : পত্ররন্ধ্র পর্যবেক্ষণ

পর্যবেক্ষণ : পত্ররন্ধ্রের গঠন সুন্দরভাবে দেখা যাবে এবং দেখে দেখে পত্ররন্ধ্রের একটি চিত্র অঙ্কন করুন। চিত্রটির বিভিন্ন কোষ এবং রন্ধ্রপথ চিহ্নিত করুন।

শিক্ষার্থীর কাজ		নিচের ছকে একটি পত্ররন্ধ্রের বিভিন্ন অংশের নাম লিখুন			

সারসংক্ষেপ

একটি পত্ররন্ধ্র পর্যবেক্ষণ করলে রন্ধ্র, ক্লোরোপ্লাস্ট, রক্ষী কোষ ইত্যাদি অংশ দেখা যাবে। এছাড়াও পাতার ত্বকে রক্ষীকোষের পাশে সহকারি কোষ দেখা যায়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৭

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১. রন্ধ্রের দু'পাশের কোষের নাম কি ?

(ক) রক্ষী কোষ খ) সহকারি কোষ (গ) পত্র কোষ (ঘ) রন্ধ্র কোষ

পাঠ-১১.৮ সালোকসংশ্লেষণ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- সালোকসংশ্লেষণ সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষণের প্রকারভেদ উল্লেখ করতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষণের আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়া সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- ফটোফসফোরাইলেশন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন বর্ণনা করতে পারবেন।
- চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	ফটোফসফোরাইলেশন, ফটোসিস্টেম, কার্বন আত্তীকরণ

সালোকসংশ্লেষণ (Photosynthesis) : আমরা জানি, জীবের বেঁচে থাকার জন্য খাদ্যের প্রয়োজন। এ খাদ্যের জন্য জীবকূল সালোকসংশ্লেষণ নামক একটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ার উপর প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে নির্ভরশীল। প্রধানত সবুজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়া সম্পাদন করলেও ক্লোরোফিল বা প্লাস্টিড আছে এ রকম সব জীবই এ প্রক্রিয়াটি সম্পাদন করতে পারে। এ প্রক্রিয়ায় কার্বোহাইড্রেট জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়। এরজন্য সবুজ উদ্ভিদ বায়ুমন্ডলস্থ কার্বন ডাইঅক্সাইড, মাটিস্থ পানি, সূর্যের আলোকশক্তি ও নিজস্ব ক্লোরোফিল ব্যবহার করে।

যে প্রক্রিয়ায় সবুজ উদ্ভিদ নিজস্ব ক্লোরোফিলের সাহায্যে সূর্যের আলোক শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং ঐ রাসায়নিক শক্তি দিয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে শর্করা জাতীয় খাদ্য তৈরি করে তাকে সালোকসংশ্লেষণ বলে। বার্নেস সর্বপ্রথম (১৮৯৮) ফটোসিনথেসিস শব্দটি ব্যবহার করেন। সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার রাসায়নিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

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

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটি উদ্ভিদের সবুজ অঙ্গ যেমন- পাতা, কচিকান্ড, ফুলের বৃত্যংশ, বৃন্তপ্রভৃতিতে সংঘটিত হয়। তবে পাতাকে উদ্ভিদের প্রধান সালোকসংশ্লেষণ অঙ্গ বলা হয়। ক্লেরোপ্লাস্টকে বলা হয় সালোকসংশ্লেষণকারী অঙ্গাণু।

এ প্রক্রিয়াটির প্রধান উপাদান হলো- কার্বন ডাইঅক্সাইড, পানি, ক্লোরোফিল ও আলো।

স্থলজ উদ্ভিদ বায়ুমন্ডলস্থ গ্যাসীয় কার্বন ডাইঅক্সাইড ব্যবহার করলেও জলজ উদ্ভিদ পানিতে দ্রবীভূত কার্বন ডাইঅক্সাইড ব্যবহার করে থাকে। পানিতে (০.৩%) সব সময় কার্বন ডাইঅক্সাইডের পরিমাণ বেশি থাকে। বায়ুমন্ডলে প্রায় ০.০৩৫% কার্বন ডাইঅক্সাইড থাকে। উদ্ভিদ প্রধানত পত্ররন্ধ্রের সাহায্যে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্রহণ করলেও লেন্টিসেল ও পাতলা কিউটিকল দিয়েও কিছু গ্যাস গ্রহণ করে। শ্বসনে উৎপন্ন কার্বন ডাইঅক্সাইডও সালোকসংশ্লেষণে ব্যবহৃত হয়। গ্যাসটি ব্যাপনের মাধ্যমে মেসোফিল টিস্যুর কোষে প্রবেশ করে এবং সেখান থেকে ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে তারপর শর্করা তৈরি প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

উদ্ভিদ মূল দিয়ে মাটি থেকে পানি সংগ্রহ করে। মাটির কণার ফাঁকে ফাঁকে অবস্থিত কৈশিক পানিই উদ্ভিদের জন্য সহজলভ্য। তবে জলজ উদ্ভিদ দেহের সহাবস্থান দিয়েই পানি শোষণ করতে পারে। উদ্ভিদের শোষণকৃত পানির মাত্র ০.০১% সালোকসংশ্লেষণের কাজে ব্যবহৃত হয়।

সবুজ উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে ক্লোরোফিল অবস্থান করে। এরা প্রধানত দু'প্রকার। যথা- ক্লোরোফিল-এ ও ক্লোরোফিল-বি। ক্লোরোফিল-এ এর বর্ণ হলদে সবুজ। এর শোষিত আলোকশক্তিই মূলত সালোকসংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে। অপরদিকে ক্লোরোফিল-বি হলো নীলাভ-সবুজ রংয়ের। এটি আলোকশক্তি সংগ্রহ করে ক্লোরোফিল-এ কে প্রদান করে।
সালোকসংশ্লেষণের সময় সবুজ উদ্ভিদ আলোর ফোটন কণা শোষণ করে আলোকশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে। আলো হলো এক প্রকার তড়িৎ-চুম্বকীয় বিকিরণ। এর উৎস হচ্ছে সূর্য। আলোর সাতটি রঙের মধ্যে লাল, নীল, কমলা ও বেগুনী আলোতে সালোকসংশ্লেষণ ভাল হয়। সবুজ ও হলুদ আলোতে সালোকসংশ্লেষণ ভাল হয় না। একক আলো হিসেবে লাল আলোতে সালোকসংশ্লেষণ বেশি হয়।
ইহা ছাড়া অন্যান্য উপাদানও সালোকসংশ্লেষণে অংশগ্রহণ করে। বিভিন্ন ধরনের পিগমেন্ট (যেমন- হলুদ রঙের জ্যান্থোফিল, কমলা রঙের ক্যারোটিন, নীল রঙের ফাইকোসায়ানিন, লাল রঙের ফাইকোইরেথ্রিন ইত্যাদি), বিভিন্ন প্রকারের এনজাইম এবং আয়নসমূহ এ প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে। প্রক্রিয়াটি সম্পর্কে অনেক কিছু আজও অজানা রয়ে গেছে।

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ার কৌশল (Mechanism of photosynthesis) : সালোকসংশ্লেষণ একটি জটিল ও দীর্ঘ পর্যায়। ইংরেজ শারীরতত্ত্ববিদ ব□াকম্যান (১৯০৫) সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াকে দু'টি পর্যায়ে ভাগ করেন। যথা-
(ক) আলোক নির্ভর পর্যায় এবং (খ) আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়।

(ক) আলোক নির্ভর পর্যায় (Light dependant Phase) : সালোকসংশ্লেষণের আলোক পর্যায়ে আলো অপরিহার্য। এ পর্যায়ের সমস্ত বিক্রিয়া আলোর উপস্থিতিতে সংঘটিত হয় বলে একে আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়াও বলে। আলোক নির্ভর পর্যায়ের বিক্রিয়াসমূহ ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেমব্রেনে সংঘটিত হয়। এ দশায় সূর্য হতে আগত আলোক রশ্মি উদ্ভিদের সবুজ অঙ্গে পতিত হলে ঐ সব অঙ্গে অবস্থিত ক্লোরোফিল পতিত আলোক রশ্মির খানিকটা শোষণ করে উত্তেজিত হয়ে ইলেকট্রন মুক্ত করে। ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হওয়ার সময় কিছু শক্তি হারায়। ঐ হারানো শক্তি দ্বারা ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) মিলিত হয়ে ATP উৎপন্ন করে। একে **ফটোফসফোরাইলেশন** বলে।
এ ছাড়া এ পর্যায় পানি ভেঙে ইলেকট্রন, প্রোটন ($2H^+$) ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। প্রোটন NADP-কে বিজারিত করে $NADPH+H^+$ উৎপন্ন করে। CO_2 আত্তীকরণের মাধ্যমে শর্করা প্রস্তুত করতে ATP ও $NADPH+H^+$ এর শক্তি ব্যবহৃত হয় বলে ATP ও $NADPH+H^+$ কে আত্তীকরণ শক্তি বলে। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

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

ফটোফসফোরাইলেশন : সালোকসংশ্লেষণের সময় সূর্যালোকের শক্তি ব্যবহার করে ADP এর সাথে অজৈব ফসফেট (Pi) যুক্ত হয়ে ATP তৈরির প্রক্রিয়াকে ফটোফসফোরাইলেশন বলে।

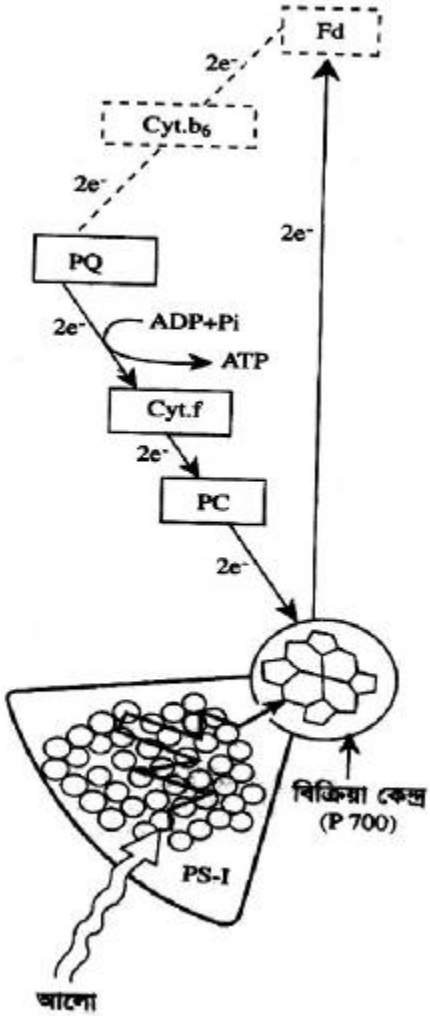
ফটোফসফোরাইলেশনের প্রকারভেদ : সালোকসংশ্লেষণের সময় যে ফটোফসফোরাইলেশন হয় তা দু'প্রকারের। যথা- চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন এবং অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন। এ দু'প্রকার ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ার সাথে ফটোসিস্টেমের সম্পর্ক থাকায় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়া দু'টি বর্ণনার পূর্বে ফটোসিস্টেম সম্পর্কে সংক্ষিপ্ত আলোচনা করা হলো।

ফটোসিস্টেম (Photosystem) : উচ্চতর উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেমব্রেনে অবস্থিত ক্লোরোফিল অণু এবং তার সাথে ইলেকট্রন গ্রহিতাসমূহ একসাথে একটি ইউনিট হিসেবে কাজ করে, এ ইউনিটকে **ফটোসিস্টেম** বলে। থাইলাকয়েড পর্দায় ফটোসিস্টেম দু'প্রকার। যথা- ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) ও ফটোসিস্টেম-২ (PS-II)। প্রতিটি ফটোসিস্টেম তিনটি অংশ নিয়ে গঠিত। যথা- (১) আলোক শোষণ অঙ্গ, (২) বিক্রিয়া কেন্দ্র ও (৩) ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম। আবার ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম কতগুলো ইলেকট্রন বাহক (যথা- ফিওফাইটিন, প্লাস্টোকুইনিন, সাইটোক্রোম, প্লাস্টোসায়ানিন ও ফেরিডক্সিন) নিয়ে গঠিত।
ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) **:** ক্লোরোফিল-এ (৬৮৩), ক্যারোটিন, জ্যান্থোফিল এবং একটি বিশেষ ক্লোরোফিল-এ অণু আছে যা ৬৮৩ nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলোক কণা শোষণ না করে ৭০০nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলো শোষণ করে যা ক্লোরোফিল-এ

৭০০ বা P-৭০০ নামে পরিচিত। এদেরকে নিয়ে গঠিত কোয়ান্টোসোমকে (সালোকসংশ্লেষণের একক) ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) বলে।

ফটোসিস্টেম-২ (PS-II) : ক্লোরোফিল-এ (৬৭৩), ক্লোরোফিল-বি ও আরেকটি বিশেষ ধরনের ক্লোরোফিল-এ অণু আছে যা ৬৮০ nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যবিশিষ্ট আলোক কণা শোষণ করে যা ক্লোরোফিল-এ ৬৮০ বা P-৬৮০ নামে পরিচিত । এদেরকে নিয়ে গঠিত কোয়ান্টোসোমকে ফটোসিস্টেম-২ (PS-II) বলে।

চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন (Cyclic photophosphorylation) : যে ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় আলোকশক্তি শোষণের পর ক্লোরোফিল অণু (P700) হতে উৎক্ষিপ্ত উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন বিভিন্ন ইলেকট্রন গ্রহীতার মাধ্যমে পুনরায় ঐ ক্লোরোফিল অণুতে (প্রতিটি গ্রহীতাতে কিছু কিছু শক্তি হারিয়ে) শক্তিহীন অবস্থায় ফিরে আসে এবং একবার পরিভ্রমণ শেষে ১টি ATP তৈরি করে তাকে **চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন** বলে। চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় শুধু PS-I অংশগ্রহণ করে।
প্রক্রিয়াটি নিম্নের ধাপসমূহের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়-



১। ফটোসিস্টেম-১ (PS-I) -এর ক্লোরোফিল অণু ৬৮০ nm এর অধিক তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোকরশ্মি শোষণ করে শক্তি প্রাপ্ত হয়।
২। উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ক্লোরোফিল অণু তাদের আলোকশক্তি P700 নামক ক্লোরোফিল অণুতে স্থানান্তরিত করে।
৩। উত্তেজিত P700 হতে দুটি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন ($2e^-$) উৎক্ষিপ্ত হয়ে ফেরিডক্সিন (Fd-ইলেকট্রন গ্রহীতা) -এ গমন করে।
৪। ফেরিডক্সিনে (Fd) কিছু শক্তি হারিয়ে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন দ্বিতীয় গ্রাহক সাইটোক্রোম বি-৬ (Cyt. b_6) -এর মাধ্যমে প্লাস্টোকুইনোন (PQ) -এ স্থানান্তরিত হয়।
৫। প্লাস্টোকুইনোন (PQ) হতে ইলেকট্রন সাইটোক্রোম-এফ (Cyt. f)-এ আসে। এ সময় ইলেকট্রনদ্বয় হতে শক্তি নির্গত হয় এবং নির্গত শক্তি ব্যবহার করে ADP ও Pi সহযোগে একটি ATP উৎপন্ন হয়।
৬। এভাবে ATP তৈরি করতে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রনদ্বয়ের প্রায় সব শক্তি ব্যয় হয়ে যায় এবং প্লাস্টোসায়ানিন (PC) নামক গ্রাহক কর্তৃক গৃহীত হয়ে পুনরায় P700 এ ফিরে যায়।

ব্যাকটেরিয়াতে কেবল চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে। সায়ানোব্যাকটেরিয়া, শৈবাল ও সবুজ উদ্ভিদে সাধারণত - NADP এর সরবরাহ বন্ধ হয়ে গেলে চক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে থাকে। আবার পানির সরবরাহ বন্ধ হলে অচক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে না, চক্রীয় প্রক্রিয়া ঘটে। প্রয়োজন হলে উভয় প্রক্রিয়া একই সাথে চলতে থাকে।

চিত্র ১১.৮.১ : চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন

অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন (Non-cyclic photophosphorylation) : যে ফটোফসফোরাইলেশন প্রক্রিয়ায় ক্লোরোফিল অণু (P680) হতে উৎক্ষিপ্ত উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন বিভিন্ন গ্রহীতার মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার পর NADP এর সাথে যুক্ত হয়ে $NADPH+H^+$ উৎপাদনের মাধ্যমে হারিয়ে যায়, ফলে ইলেকট্রন যে ক্লোরোফিল থেকে নির্গত হয়েছিল

সে ক্লোরোফিলে পুনরায় ফিরে যায় না তাকে **অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন** বলে। অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের সময় PS-I এবং PS-II উভয়ই অংশগ্রহণ করে।

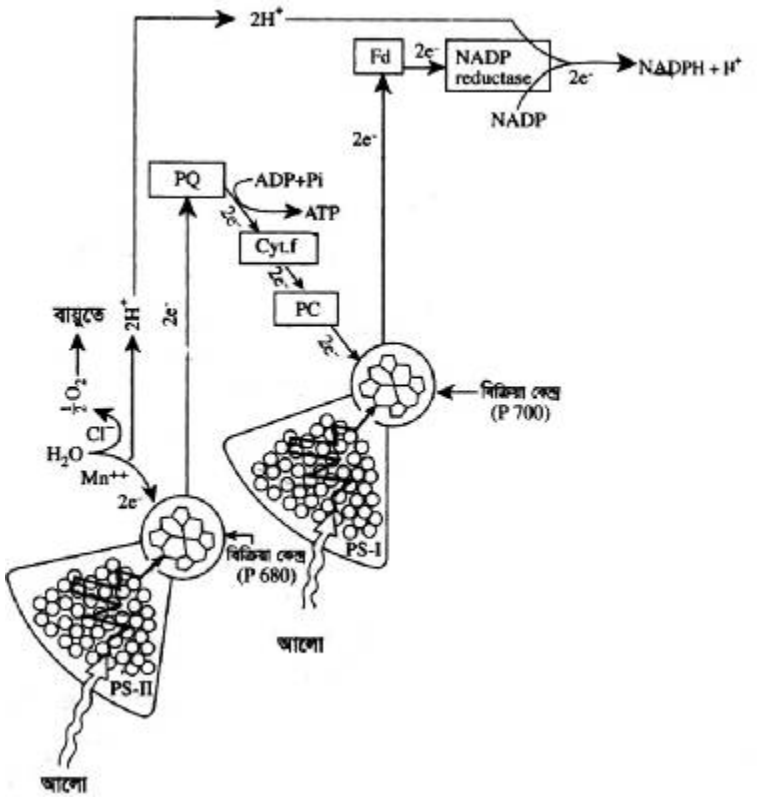
বিস্তারিত প্রক্রিয়াটি নিম্নের ধাপসমূহে ব্যাখ্যা করা যায়।

১। PS-II এর ক্লোরোফিল অণু ৬৭৩ nm তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোকশক্তি শোষণ করে এক অণু হতে অন্য অণুতে স্থানান্তরিত হয়ে শেষ পর্যন্তP680 বিক্রিয়া কেন্দ্রে পৌঁছায়।

২। P680 এর বিক্রিয়া কেন্দ্র হতে ২টি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ইলেকট্রন প্লাস্টোকুইনোন (PQ)-এ প্রবাহিত হয়।

৩। PQ হতে ইলেকট্রনদ্বয় পরবর্তীতে Cyt.f কর্তৃক গৃহীত হবার পথে কিছু শক্তি নির্গত করে এবং ঐ শক্তি ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) কে যুক্ত করে ATP উৎপন্ন করে।

৪। Cyt.f হতে ইলেকট্রনদ্বয় প্লাস্টোসায়ানিন (PC) কর্তৃক গৃহীত হয় এবং সেখান হতে PS-I এর P700 কে প্রদান করে।



৫। P700 হতে উৎক্ষিপ্ত ২টি ইলেকট্রন ফেরিডক্সিন (Fd) কর্তৃক গৃহীত হয়।

৬। Fd হতে ইলেকট্রন গ্রহণ করে NADP রিডাকটেজ। NADP রিডাকটেজ ২টি ইলেকট্রন (বিক্রিয়ার কেন্দ্র থেকে উৎক্ষিপ্ত) এবং দুটি প্রোটন (পানির ভাঙ্গন থেকে) সহযোগে NADP কে বিজারিত করে $NADPH+H^+$ তৈরি করে।

PS-II হতে উৎক্ষিপ্ত ইলেকট্রন পুনরায় সেখানে ফিরে না গিয়ে PS-I এ চলে আসে।

চিত্র ১১.৮.২ : অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন

পানির সালোকবিভাজন (Photolysis of water) : PS-II এর ক্লোরোফিলের উপর আলোক রশ্মি পতিত হলে ম্যাঙ্গানিজ (Mn^{++}) ও ক্লোরাইড আয়ন (Cl^-) এর উপস্থিতিতে তথায় কোষে অবস্থিত পানি ভেঙে দুটি ইলেকট্রন, প্রোটন ও অক্সিজেন উৎপন্ন হয়। অক্সিজেন বায়ুতে চলে যায়, প্রোটন ($2H^+$) NADP-কে বিজারিত করে $NADPH+H^+$ উৎপন্ন করে এবং ইলেকট্রন ($2e^-$) PS-II কর্তৃক গৃহীত হয়। কাজেই সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় যে অক্সিজেন নির্গত হয় তা অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন পর্যায়ে পানির ভাঙ্গনের ফলে সৃষ্টি হয়। পানির এরূপ ভাঙ্গনকে পানির সালোকবিভাজন বা ফটোলাইসিস (Photolysis) বলে।

চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের মধ্যে পার্থক্য : চক্রীয় ও অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশনের মধ্যে পার্থক্য ছকের মাধ্যমে দেখান হলো-

চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন	অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন
১। P700 হতে উৎক্ষিপ্ত দুটি ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মাধ্যমে বাহিত হয়ে পুনরায় P700 তে ফিরে যায় এবং প্রক্রিয়াটি চক্রাকারে চলতে থাকে।	১। P680 হতে উৎক্ষিপ্ত দুটি ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মাধ্যমে বাহিত হয়ে P700 এ এসে থেমে যায়। কখনও P680 তে ফিরে যায় না।
২। শুধুমাত্র PS-I প্রক্রিয়াটির সাথে জড়িত।	২। PS-I এবং PS-II উভয়ই প্রক্রিয়াটির সাথে জড়িত।

৩। পানির প্রয়োজন হয় না।	৩। পানির প্রয়োজন হয়।
৪। অক্সিজেন উৎপন্ন হয় না, কারণ পানি ব্যবহৃত হয় না।	৪। PS-II তে পানির সালোক বিভাজনের ফলে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।
৫। কোন $NADPH+H^+$ সৃষ্টি হয় না।	৫। একটি $NADPH+H^+$ সৃষ্টি হয়।
৬। সাধারণত ব্যাকটেরিয়াতে সংঘটিত হয়।	৬। সবুজ উদ্ভিদে সংঘটিত হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ নিচের ছকে সালোকসংশ্লেষণের রাসায়নিক বিক্রিয়াটি লিখুন

সারসংক্ষেপ

যে প্রক্রিয়ায় সবুজ উদ্ভিদ নিজস্ব ক্লোরোফিলের সাহায্যে সূর্যের আলোক শক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে এবং ঐ রাসায়নিক শক্তি দিয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইডকে বিজারিত করে শর্করা জাতীয় খাদ্য তৈরি করে তাকে সালোকসংশ্লেষণ বলে। বার্নেস সর্বপ্রথম (১৮৯৮) ফটোসিনথেসিস শব্দটি ব্যবহার করেন। সালোকসংশ্লেষণ একটি জটিল ও দীর্ঘ পর্যায়। ১৯০৫ সালে ইংরেজ শারীরতত্ত্ববিদ ব্লাকম্যান সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াকে দু'টি পর্যায়ে ভাগ করেন। যথা- (ক) আলোক নির্ভর পর্যায় এবং (খ) আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়। সালোকসংশ্লেষণের সময় সূর্যালোকের শক্তি ব্যবহার করে ADP এর সাথে অজৈব ফসফেট (Pi) যুক্ত হয়ে ATP তৈরির প্রক্রিয়াকে ফটোফসফোরাইলেশন বলে। সালোকসংশ্লেষণের সময় যে ফটোফসফোরাইলেশন হয় তা দু'প্রকারের। যথা- চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন এবং অচক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৮

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। ফটোসিস্টেমের অংশ-

i. আলোক শোষণ অঙ্গ ii. বিক্রিয়া কেন্দ্র iii. ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২। চক্রীয় ফটোফসফোরাইলেশন এর জন্য কোনটি সত্য নয় ?

(ক) পানির প্রয়োজন হয় (খ) অক্সিজেন উৎপন্ন হয় না

(গ) এ প্রক্রিয়ায় ফটোসিস্টেম-১ অংশগ্রহণ করে (ঘ) সাধারণত ব্যাকটেরিয়াতে সংঘটিত হয়

৩। PS-I ও PS-II পৃথক। কারণ প্রথমটিতে আছে-

(ক) Ch-a ৬৮৩ (খ) Ch-a ৬৭৩ (গ) P-৬৮০ (ঘ) Ch-b

পাঠ-১১.৯ সালোকসংশ্লেষণের ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- ক্যালভিন চক্র ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র বর্ণনা করতে পারবেন।
- ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের পার্থক্যগুলো উল্লেখ করতে পারবেন।
- সালোসংশ্লেষণে উৎপন্ন অক্সিজেনের উৎস সম্পর্কে ধারণা করতে পারবেন।

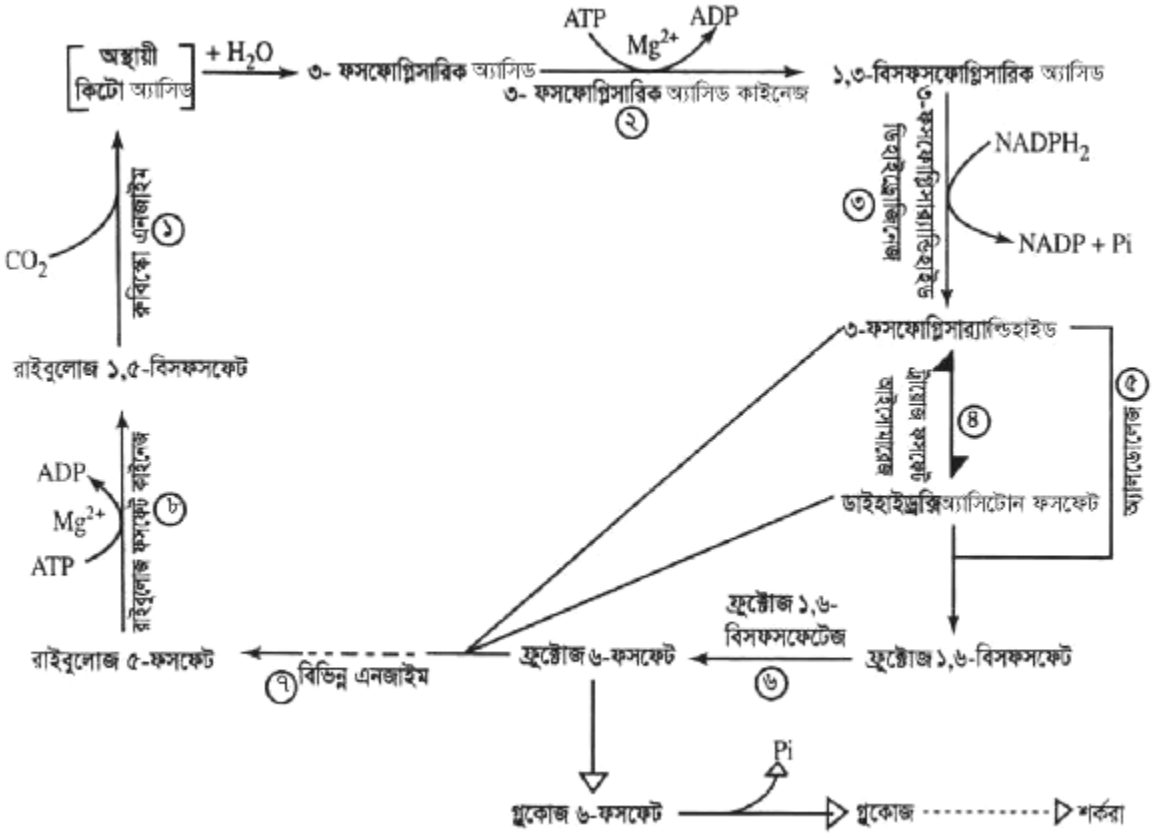
	প্রধান শব্দ	আলোক নিরপেক্ষ পর্যায়, C_3 উদ্ভিদ, ক্যালভিন চক্র, C_4 উদ্ভিদ, হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র, CAM চক্র, Kranz anatomy, হিল বিক্রিয়া, ভ্যান নিল এর পরীক্ষা, কার্বন আত্তীকরণ

আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় : সালোকসংশ্লেষণের আলোক নির্ভর পর্যায়ে সৃষ্ট ATP ও $NADPH_2$ দ্বারা CO_2 বিজারিত হয়ে কার্বোহাইড্রেট বা শর্করা জাতীয় খাদ্য তৈরি হয়। কার্বন বিজারণ প্রক্রিয়া প্রত্যক্ষভাবে আলোর উপর নির্ভরশীল নয় বলে একে আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় বলা হয়। এ পর্যায়ের বিক্রিয়াগুলো ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমাতে সংঘটিত হয়। কার্বন ডাইঅক্সাইড হতে বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে কার্বোহাইড্রেট সৃষ্টির তিনটি স্বীকৃত গতিপথ আবিষ্কৃত হয়েছে। যথা- (ক) ক্যালভিন চক্র (Calvin cycle), (খ) হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র (Hatch and Slack cycle) এবং (গ) CAM পথ (Crassulacean Acid Metabolism pathway)।

ক্যালভিন চক্র (Calvin cycle) : যুক্তরাষ্ট্রের ক্যালিফোর্নিয়া বিশ্ববিদ্যালয়ের বিজ্ঞানী মেলভিন ক্যালভিন ও তার সহকর্মীরা (১৯৪৭-১৯৪৯) তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C-কার্বনের আইসোটোপ) ব্যবহার করে সন্ধানী পদ্ধতিতে *Chlorella* নামক এককোষী শৈবালে কার্বন বিজারণের যে চক্রাকার গতিপথ আবিষ্কার করেন তাকে **ক্যালভিন চক্র** বলা হয়। কার্বন বিজারণ চক্র আবিষ্কারের জন্য ক্যালভিন (১৯৬১) নোবেল পুরস্কার লাভ করেন। ক্যালভিন চক্রের প্রথম স্থায়ী পদার্থ ৩-কার্বনবিশিষ্ট তাই এ চক্রকে C_3 চক্রও বলা হয়। যে সব উদ্ভিদে C_3 চক্র বর্তমান তাদেরকে C_3 উদ্ভিদ বলা হয়। পৃথিবীর অধিকাংশ উদ্ভিদই C_3 উদ্ভিদ। যেমন- ধান, গম, পাট, বেগুন, টমেটো ইত্যাদি। ক্যালভিন চক্রকে পাঁচটি পর্যায়ে (৮টি বিক্রিয়া)-র মাধ্যমে বর্ণনা করা যায়। যথা-

কার্বক্সিলেশন পর্যায়

১। বায়ুস্থ CO_2 ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমাতে প্রবেশ করে এবং রুবিস্কো এনজাইমের কার্যকারিতায় CO_2 ৫-কার্বনবিশিষ্ট রাইবুলোজ ১,৫-বিসফসফেটের সাথে মিলিত হয়ে ৬-কার্বনবিশিষ্ট অস্থায়ী কিটো অ্যাসিড উৎপন্ন করে। উৎপাদিত ৬-কার্বনবিশিষ্ট কিটো অ্যাসিড সঙ্গে সঙ্গে ভেঙ্গে গিয়ে দু'অণু ৩-কার্বনবিশিষ্ট ৩ ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড নামক একটি স্থায়ী যৌগ তৈরি করে।



চিত্র ১১.৯.১ : ক্যালভিন চক্র

ফসফোরাইলেশন পর্যায়

২। ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড কাইনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ATP এর সাথে বিক্রিয়া করে ১,৩-বিসফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড তৈরি করে।

রিডাকশন বা বিজারণ পর্যায়

৩। ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ১, ৩-বিসফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড $NADH_2$ দ্বারা বিজারিত হয়ে ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড উৎপন্ন করে।

প্রোডাকশন বা উৎপাদন পর্যায়

৪। ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ট্রায়োজ ফসফেট আইসোমারেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট উৎপন্ন করে।

৫। অ্যালডোলেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট মিলিত হয়ে ফ্রুক্টোজ ১, ৬-বিসফসফেট তৈরি করে।

৬। ফ্রুক্টোজ ১, ৬-বিসফসফেট ফ্রুক্টোজ ১, ৬-বিসফসফেটেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেটে পরিণত হয়। পরে ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেট হতে কয়েকটি রাসায়নিক ধাপের মাধ্যমে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন হয়।

রিজেনারেশন বা রাইবুলোজ ১,৫-বিসফসফেট পুনঃউৎপাদন পর্যায়

ক্যালভিন চক্র চালু রাখতে হলে নিয়মিত রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট উৎপাদন ও সরবরাহ থাকতে হবে, ক্যালভিন চক্রের একমাত্র CO_2 গ্রাহক রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট।

৭। ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড, ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট ও ফ্রুক্টোজ ৬-ফসফেট কতগুলো রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে রাইবুলোজ ৫-ফসফেট উৎপন্ন করে।

৮। রাইবুলোজ ফসফেট কাইনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় রাইবুলোজ ৫-ফসফেট ATP এর সাথে বিক্রিয়া করে রাইবুলোজ ১, ৫-বিস ফসফেট উৎপন্ন করে যা পুনরায় CO_2 গ্রহণ করে ক্যালভিন চক্র চালু রাখে।

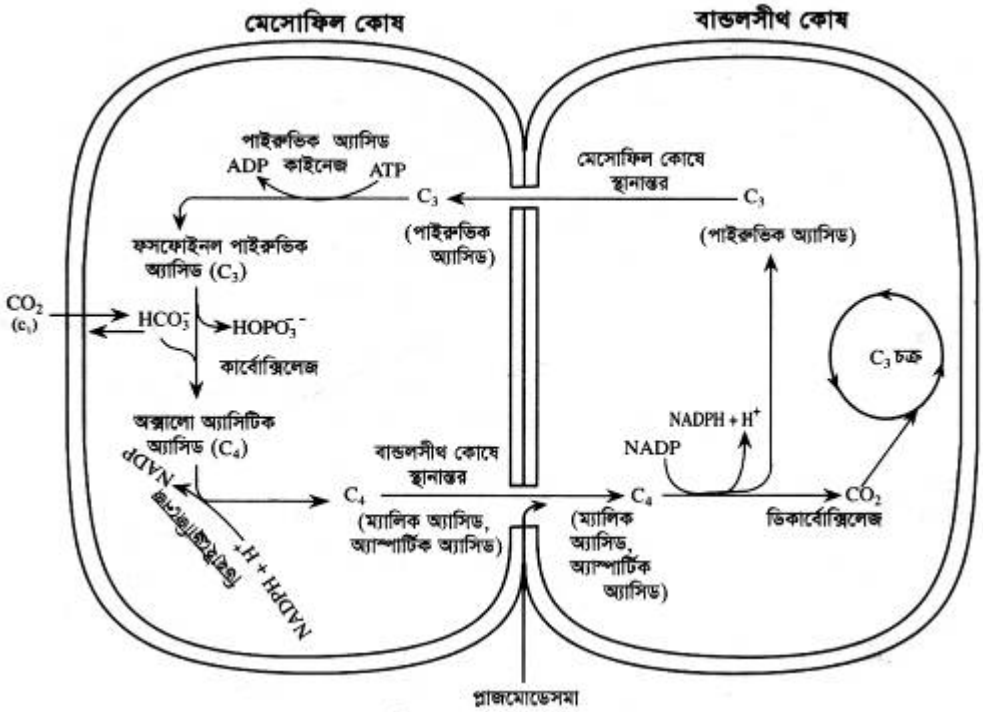
হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র (Hatch and Slack cycle) : দু'জন অস্ট্রেলীয় বিজ্ঞানী M. D. Hatch এবং C. R. Slack (১৯৬৬) ইক্ষু উদ্ভিদ নিয়ে গবেষণার সময় দেখান যে, সালোকসংশ্লেষণের সময় এদের প্রথম স্থায়ী পদার্থ চার-কার্বনবিশিষ্ট। এ চার কার্বনবিশিষ্ট পদার্থসমূহের মধ্যে সবচেয়ে বেশি অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড। তাদের নাম অনুযায়ী সালোকসংশ্লেষণের এ চক্রকে হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র বলা হয়। যেহেতু এ উদ্ভিদে প্রথম স্থায়ী পদার্থ চার কার্বনবিশিষ্ট সেহেতু হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রকে C_4 চক্রও বলা হয় এবং যে সব উদ্ভিদে এ চক্র চলে তাদেরকে C_4 উদ্ভিদ বলা হয়। ইক্ষু, ভুট্টা, মুথা ঘাস, কাটানটে, ডাটাশাক ইত্যাদি C_4 উদ্ভিদ।

হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের পর্যায়ক্রমিক বর্ণনা নিম্নে দেয়া হলো

১। বায়ুমন্ডলের CO_2 পত্ররন্ধ্রের মধ্য দিয়ে মেসোফিল কোষে প্রবেশ করলে ৩ কার্বনবিশিষ্ট ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড এর সাথে বিক্রিয়া করে ৪-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড তৈরি করে এবং এ বিক্রিয়ায় কার্বোক্সিলেজ এনজাইম অংশ গ্রহণ করে।

২। ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড পরবর্তীতে ম্যালিক অ্যাসিড অথবা অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিডে রূপান্তরিত হয়। এ পর্যন্তরাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ মেসোফিল কোষে সংঘটিত হয়।

৩। পরবর্তীতে ম্যালিক অ্যাসিড বা অ্যাস্পার্টিক অ্যাসিড মেসোফিল টিস্যু হতে প্লাজমোডেজমাটা দিয়ে বান্ডল সীথ কোষসমূহে প্রবেশ করে। C_4 উদ্ভিদের পরিবহন টিস্যুর চারপাশে যে বিশেষ ধরনের প্যারেনকাইমা কোষ থাকে তাদেরকে বান্ডলশীথ কোষ বলে। এরা ভাস্কুলার বান্ডলের চারপাশ ঘিরে মালার ন্যায় সীথ তৈরি করে এবং ঐ সীথকে বান্ডল সীথ বলে। বান্ডল সীথ কোষে যে ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে তাকে বান্ডল সীথ ক্লোরোপ্লাস্ট বলে। C_4 উদ্ভিদের পাতায় ক্লোরোপ্লাস্ট যুক্ত বান্ডল সীথকে Kranz anatomy বলে (জার্মান ভাষায় Kranz মানে মালা)।



চিত্র ১১.৯.২ : হ্যাচ ও স্ল্যাক চক্র

৪। বান্ডল সীথে- ম্যালিক অ্যাসিড হতে কার্বন ডাইঅক্সাইড, পাইরুভিক অ্যাসিড ও $NADPH_2$ উৎপন্ন হয়। CO_2 বান্ডল সীথে অবস্থিত ৫-কার্বনবিশিষ্ট রাইবুলোজ বিসফসফেটের সাথে ক্যালভিন চক্রের ন্যায় ক্রিয়া বিক্রিয়ার মাধ্যমে স্যুগার বা চিনি (শর্করা) প্রস্তুত করে। পাইরুভিক অ্যাসিড বান্ডল সীথ হতে মেসোফিল কোষে যায় এবং সেখানে কাইনেজ এনজাইমের ক্রিয়ার মাধ্যমে ফসফোইনল পাইরুভেট, ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) তৈরি করে। এ ফসফোইনল পাইরুভেট মেসোফিল কোষে পুনরায় কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্রাহক হিসেবে কাজ করে।

C_4 উদ্ভিদসমূহ উচ্চ তাপমাত্রা, স্বল্প পানি ও তীব্র আলো (সূর্যরশ্মি) তে C_3 উদ্ভিদ হতে তুলনামূলক ভালভাবে জন্মায় ও বেঁচে থাকে।

CAM (Crassulacean Acid Metabolism**) চক্র :** এ চক্র C_3 ও C_4 চক্র হতে ভিন্নতর। এটি প্রথমে Crassulaceae গোত্রের উদ্ভিদসমূহে পরিলক্ষিত হয়, তাই একে CAM চক্র বলে। যে সব উদ্ভিদে CAM চক্র চলে তাদের CAM উদ্ভিদ বলে। CAM উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র দিনে বন্ধ এবং রাত্রিতে খোলা থাকে। পত্ররন্ধ্র খোলা থাকলে বায়ুস্থ CO_2 উদ্ভিদের পাতা বা দেহে প্রবেশ করলে ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে ৪ কার্বনবিশিষ্ট ম্যালিক অ্যাসিড তৈরি করে এবং ম্যালিক অ্যাসিড কোষের গহ্বরে জমা হয়। সকাল হলে এবং সূর্য উঠলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়, সূর্যালোকের শক্তি রাসায়নিক শক্তিসমূহে (ATP, $NADPH_2$) রূপান্তরিত হয় এবং ম্যালিক অ্যাসিড কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে যেয়ে CO_2 ছেড়ে দেয় এবং উহা রাইবুলোজ বিসফসফেটের সাথে ক্রিয়া বিক্রিয়ার মাধ্যমে C_3 উদ্ভিদের পথ অনুসরণ করে শর্করা তৈরি করে। কিছু পরিমাণ শর্করা হতে আবার ফসফোইনল পাইরুভেট তৈরি করে যা আবার CO_2 গ্রহীতা হিসেবে ব্যবহৃত হয়ে চক্রটিকে চলমান রাখে।

অধিকাংশ মরুজ উদ্ভিদ CAM জাতীয় উদ্ভিদ। দেহে পানি সংরক্ষণের জন্য এদের পত্ররন্ধ্র দিনে বন্ধ থাকে এবং রাত্রে খোলা থাকে। শুষ্ক পরিবেশে আনারস গাছে C_4 চক্র চলে কিন্তু পর্যাপ্ত পানি পেলে C_3 চত্র চলে।

সালোকসংশ্লেষণে সৃষ্ট অক্সিজেনের উৎস : সালোকসংশ্লেষণের রাসায়নিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

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

উপরের সমীকরণ হতে দেখা যায় যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় এক অণু গ্লুকোজ তৈরি হওয়ার সময় ৬ অণু O_2 তৈরি হয়। বিক্রিয়াটিতে অংশগ্রহণ করে CO_2 ও H_2O অর্থাৎ বিক্রিয়ার কাঁচামাল CO_2 ও H_2O দুটি কাঁচামালে O_2 অণু উপস্থিত। অতএব সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় নির্গত অক্সিজেনের উৎস হতে পারে দু'টি, একটি হলো CO_2 এবং অপরটি হলো H_2O। নিম্নবর্ণিত পরীক্ষার মাধ্যমে এটি নিঃসন্দেহে প্রমাণিত হয়েছে যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় উপজাত দ্রব্য হিসেবে যে অক্সিজেন নির্গত হয় তা পানি (H_2O) হতে আসে, কার্বন ডাইঅক্সাইড (CO_2) হতে নয়। পরীক্ষাগুলো নিম্নরূপ :

হিল বিক্রিয়া (Hill Reaction) : ১৯৩৭ খ্রিস্টাব্দে রবিন হিল (Robin Hill) নামক ইংরেজ প্রাণরসায়নবিদ পৃথকীকৃত ক্লোরোপ্লাস্ট, পানি ও কিছু হাইড্রোজেন গ্রাহক একত্রে আলোতে রাখেন, এখানে কোন কার্বন ডাইঅক্সাইড ছিল না। তিনি দেখেন যে, এ অবস্থায় কোন শর্করা উৎপন্ন হয় না কিন্তু O_2 নির্গত হয়। এ থেকে নিশ্চিত হন যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় O_2 এর উৎস হচ্ছে পানি। বিক্রিয়াটি হিল বিক্রিয়া নামে পরিচিত।

$$\text{হাইড্রোজেন গ্রাহক (A)} + H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলো}} AH_2 + \frac{1}{2}O_2$$

এখানে ক্লোরোপ্লাস্ট ও আলোর উপস্থিতিতে পানি ভেঙে যায় এবং পানির হাইড্রোজেন অংশ হাইড্রোজেন গ্রাহককে বিজারিত করে এবং O_2 নির্গত হয়।

ভ্যান নিল এর পরীক্ষা (Experiment of Van Neil) **:** ১৯৪১ খ্রিস্টাব্দে সি.বি.ভ্যান নিল C.B.Van Niel সালোকসংশ্লেষণের সময় সালফার ব্যাকটেরিয়া, CO_2 ও H_2S (পানির পরিবর্তে) ব্যবহার করেন। এ বিক্রিয়ায়

কার্বোহাইড্রেট, সালফার ও পানি উৎপন্ন হয়। যেহেতু পানি ব্যবহৃত হয়নি তাই অক্সিজেন নির্গত হয়নি। এ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয় যে, সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় যে O_2 নির্গত হয় তা পানি হতে আসে।

$$2H_2S+CO_2 \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{আলো}} (CH_2O)+2S+H_2O$$

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে ৩টি করে C_3 ও C_4 উদ্ভিদের নাম লিখুন		
C_3 উদ্ভিদ			
C_4 উদ্ভিদ			

সারসংক্ষেপ

সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়াটির আলোক নিরপেক্ষ পর্যায় বিভিন্ন উদ্ভিদে বিভিন্ন প্রকার গতিপথ অনুসরণ করে। **C_3** উদ্ভিদে ক্যালভিন চক্র চলে যার প্রথম স্থায়ী পদার্থ হলো ৩-কার্বনবিশিষ্ট যৌগ যার নাম ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড। আবার **C_4** উদ্ভিদে হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র চলে যার প্রথম স্থায়ী পদার্থ চার কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড। অপরদিকে CAM চক্রটি মরুজ উদ্ভিদে দেখা দেয়। এদের দিনের বেলায় পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকে। সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের উৎস হলো পানি। এটি আমরা হিল বিক্রিয়া ও ভ্যান নিলের পরীক্ষা হতে জানতে পারি।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.৯

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) দিন।

১। ক্যালভিন চক্রের প্রথম স্থায়ী পদার্থ হলো-

(ক) ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড (খ) অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড

(গ) কিটো অ্যাসিড (ঘ) রাইবুলোজ-৫-ফসফেট

২। C_4 উদ্ভিদ হলো–

i. ভুট্টা, আখ ii. মুথা ঘাস, ডাটা শাক iii. আম, জাম

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

নিচের উদ্দীপকটি পড়ুন এবং ৩ ও ৪ নং প্রশ্নের উত্তর দিন-

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

৩। উদ্দীপকের প্রক্রিয়াটির নাম কী ?

(ক) প্রস্বেদন (খ) অভিস্রবণ (গ) সালোকসংশ্লেষণ (ঘ) শ্বসন

৪। উদ্দীপকের প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের উৎস কোনটি ?

(ক) H_2O (খ) CO_2 (গ) আলো (ঘ) ক্লোরোফিল

পাঠ-১১.১০ ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে তুলনা

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের পার্থক্যগুলো উল্লেখ করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	ক্যালভিন চক্র, হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র, রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট, ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড, ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড, অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড

ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে প্রধান পার্থক্যসমূহ : ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে প্রধান পার্থক্যসমূহ নিম্নে দেয়া হলো-

ক্যালভিন চক্র/ C_3 চক্র	হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র/ C_4 চক্র
১। রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট CO_2 এর প্রথম গ্রাহক।	১। ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড CO_2 এর প্রথম গ্রাহক।
২। ৬ কার্বনবিশিষ্ট অস্থায়ী যৌগ উৎপন্ন হয়।	২। কোন অস্থায়ী যৌগ উৎপন্ন হয় না।
৩। প্রথম স্থায়ী পদার্থ ৩-কার্বনবিশিষ্ট ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড।	৩। প্রথম স্থায়ী পদার্থ ৪-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড।
৪। গঠনগতভাবে ক্লোরোপ্লাস্ট একই ধরনের, যথা- শুধু গ্রানাযুক্ত মেসোফিল ক্লোরোপ্লাস্ট।	৪। গঠনগতভাবে ক্লোরোপ্লাস্ট দু'রকম। যথা- (ক) গ্রানাযুক্ত মেসোফিল ক্লোরোপ্লাস্ট এবং (খ) গ্রানাবিহীন বান্ডল সীথ ক্লোরোপ্লাস্ট।
৫। সবচেয়ে অনুকূল তাপমাত্রা ১০°- ২৫° সেলসিয়াস।	৫। সবচেয়ে অনুকূল তাপমাত্রা ৩০°- ৪৫° সেলসিয়াস।
৬। আলোর প্রখরতা খুব বেশি হলে ক্ষতিকর।	৬। আলোর প্রখরতা খুব বেশি হলে ক্ষতি নাই।
৭। উদাহরণ- ধান, গম, পাট, বেগুন, টমেটো ইত্যাদি।	৭। উদাহরণ- ইক্ষু, ভুট্টা, কাওন, মুথাঘাস, নটেশাক, ডাটাশাক ইত্যাদি।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে দুটি সাদৃশ্য তুলে ধরুন
ক্যালভিন চক্র	
হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্র	

সারসংক্ষেপ

ক্যালভিন চক্র ও হ্যাচ এন্ড স্ল্যাক চক্রের মধ্যে CO_2 এর প্রথম গ্রাহক, উৎপন্ন অস্থায়ী যৌগ, প্রথম স্থায়ী পদার্থ, ক্লোরোপ্লাস্ট এর গঠন, অনুকূল তাপমাত্রা, আলোর প্রখরতা ইত্যাদি বিষয়ে পার্থক্য পরিলক্ষিত হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১০

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। CO_2 এর গ্রাহক হতে পারে–

i. রাইবুলোজ ১, ৫-বিসফসফেট

ii. ফসফোইনোল পাইরুভিক অ্যাসিড

iii. অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii

(গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২। সালোকসংশ্লেষণের অনুকূল তাপমাত্রা কোনটি ?

(ক) ১০°C - ২৫°C (খ) ৩০°C - ৪৫°C

(গ) ২০°C - ২৫°C (ঘ) ২০°C - ৩৫°C

পাঠ-১১.১১ ব্যবহারিক-সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতা পরীক্ষণ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষায় প্রয়োজনীয় উপকরণের নাম উল্লেখ করতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষার কর্মপদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষায় পর্যবেক্ষণ শেষে সিদ্ধান্তবিশ্লেষণ করতে পারবেন।

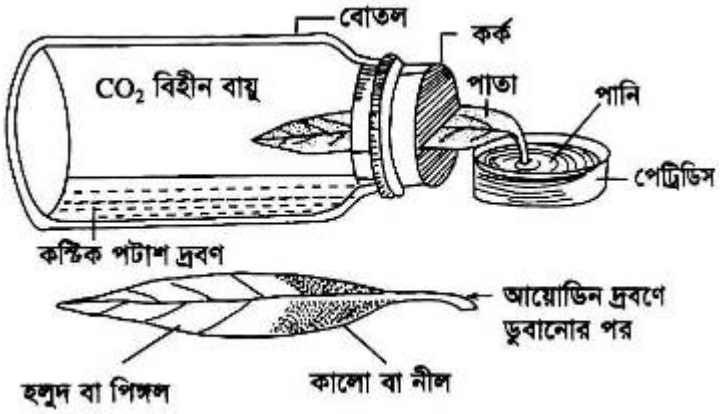
	প্রধান শব্দ	পেট্রিডিস, অ্যালকোহল, ভেসিলিন, কষ্টিক পটাশ (KOH), ১% আয়োডিন দ্রবণ, শ্বেতসার

পরীক্ষার নাম : সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতা পরীক্ষা।

প্রয়োজনীয় উপকরণ : টবে লাগানো একটি সতেজ উদ্ভিদ, একটি চওড়া মুখবিশিষ্ট বোতল, দু'ভাগে বিভক্ত বোতলের ছিপি, একটি পেট্রিডিস, অ্যালকোহল, ভেসিলিন, কষ্টিক পটাশ (KOH) দ্রবণ, ১% আয়োডিন দ্রবণ ।

কার্যপদ্ধতি : কাজের শুরুতে টবে লাগানো একটি সতেজ উদ্ভিদকে ৪৮ ঘণ্টা অন্ধকারে রেখে পাতাগুলোকে শ্বেতসার মুক্ত করতে হবে। এরপর চওড়া মুখবিশিষ্ট বোতলে কিছু পরিমাণ কষ্টিক পটাশ দ্রবণ ঢেলে একটি টেবিলে শায়িত অবস্থায় রাখতে হবে। এরপর অন্ধকারে রাখা টবে লাগানো উদ্ভিদটির শ্বেতসার মুক্ত একটি পাতা বোতলের ছিপির মধ্য দিয়ে এমনভাবে প্রবেশ করাতে হবে যেন পাতার বোঁটাসহ অর্ধেক অংশ ছিপির বাইরে এবং বাকী অর্ধেকটা ছিপির ভেতরে থাকে। পাতা ও কর্কের সংযোগস্থল ভেসিলিনের প্রলেপ দিয়ে এমনভাবে বন্ধ করতে হবে যেন কোনভাবেই ভেতরে বায়ু প্রবেশ করতে না পারে। এ অবস্থায় উদ্ভিদটিকে সূর্যালোকে ২৪ ঘণ্টা রেখে দিতে হবে। ২৪ ঘণ্টা পর বোতলে আংশিকভাবে প্রবেশ করান পাতাটিকে উদ্ভিদ হতে ছিড়ে ৯৫% অ্যালকোহলে রেখে উত্তপ্ত করতে হবে। অতঃপর পাতাটিকে পানি দ্বারা ধুয়ে ১% আয়োডিন দ্রবণে কিছু সময় ডুবিয়ে রাখতে হবে।

পর্যবেক্ষণ : আয়োডিন দ্রবণ থেকে পাতাটিকে তুলে পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যাবে পাতার যে অংশ বোতলের বাইরে ছিল সে অংশটি নীলবর্ণ ধারণ করেছে কিন্তু যে অংশ বোতলের ভেতরে ছিল সে অংশ ঈষৎ হলুদ বা পিঙ্গল বর্ণ ধারণ করেছে।



চিত্র ১১.১১ : সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসের অপরিহার্যতার পরীক্ষা

সিদ্ধান্ত: আমরা জানি, কষ্টিক পটাশ কার্বন ডাইঅক্সাইড শোষণ করে, অ্যালকোহলে পাতার সবুজ ক্লোরোফিল দ্রবীভূত হয় এবং আয়োডিন দ্রবণে স্টার্চ ডুবালে তা নীলবর্ণ ধারণ করে। বোতলের ভেতর কষ্টিক পটাশ দ্রবণ থাকায় পূর্বে কার্বন

ডাইঅক্সাইড শোষিত হয়েছে। বোতলটি বায়ুরোধী থাকায় ভেতরে কোন কার্বন ডাইঅক্সাইড প্রবেশ করতে পারেনি। তাই বোতলের ভেতরে অবস্থিত পাতার অংশটিতে কার্বন ডাইঅক্সাইডের অভাবে সালোকসংশ্লেষণ প্রক্রিয়ায় শ্বেতসার তৈরি হয়নি। তাই আয়োডিন দ্রবণে ডুবানোর পর ঈষৎ হলুদ বা পিঙ্গল বর্ণ ধারণ করেছে। আবার পাতার যে অংশটুকু বোতলের বাইরে ছিল, সে অংশে আলো ও কার্বন ডাইঅক্সাইডের সহায়তায় শ্বেতসার তৈরি হওয়ায় আয়োডিন প্রয়োগে নীল বর্ণ ধারণ করেছে।

সুতরাং পরীক্ষা থেকে প্রতীয়মান হয় যে, সালোকসংশ্লেষণের জন্য কার্বন ডাইঅক্সাইড অপরিহার্য।

শিক্ষার্থীর কাজ	সালোকসংশ্লেষণের জন্য কার্বন ডাইঅক্সাইডের অপরিহার্যতার পরীক্ষার জন্য প্রয়োজনীয় উপকরণগুলোর নাম লিখুন
প্রয়োজনীয়উপকরণ	

সারসংক্ষেপ

সালোকসংশ্লেষণে কার্বন ডাইঅক্সাইড গ্যাসটির প্রয়োজন হয়। এটি পরীক্ষণের জন্য উদ্ভিদের পাতাকে এমনভাবে ব্যবহার করতে হবে যাতে এর একাংশে কার্বন ডাইঅক্সাইড না পৌঁছাতে পারে এবং অপর অংশে সহজেই গ্যাসটি পৌঁছায়। দেখা যাবে যে অংশে কার্বন ডাইঅক্সাইডযুক্ত বায়ু আছে সেখানে এ প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়েছে।

পাঠ-১১.১২ শ্বসন

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- শ্বসন সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- শ্বসনের প্রকারভেদ উল্লেখ করতে পারবেন।
- সবাত শ্বসনের ধাপগুলো বর্ণনা করতে পারবেন।
- সবাত শ্বসনে উৎপাদিত শক্তির পরিমাণ হিসাব করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	সবাত শ্বসন, অবাত শ্বসন, গ□াইকোলাইসিস, অ্যাসিটাইল কো-এ, ক্রেবস চক্র, ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম

শ্বসন (Respiration) : প্রতিটি জীবের জীবন ধারণের জন্য বিভিন্ন ধরনের জৈবিক কাজ, যথা- চলন, বৃদ্ধি, জনন প্রভৃতি সুষ্ঠুভাবে সম্পন্ন করার জন্য শক্তির প্রয়োজন হয়। এ শক্তির প্রধান উৎস হলো সূর্যালোক। সালোকসংশ্লেষণের সময় উদ্ভিদ আলোক শক্তিকে শর্করা জাতীয় খাদ্যের মধ্যে স্থিতিশক্তিরূপে মজুত করে রাখে। খাদ্যের মধ্যে সঞ্চিত শক্তি জীব সরাসরি ব্যবহার করতে পারে না। কতিপয় পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে জীবকোষে সঞ্চিত স্থিতিশক্তি রাসায়নিক শক্তিরূপে (ATP) মুক্ত হয় এবং জীবের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কাজে প্রয়োজনীয় শক্তি জোগায়। এটি শ্বসন নামে অভিহিত। জীবদেহের প্রতিটি সজীব কোষে ২৪ ঘণ্টা শ্বসনক্রিয়া সংঘটিত হয়। শ্বসনের বিভিন্ন বিক্রিয়াগুলো কোষের সাইটোপ্লাজমে এবং মাইটোকন্ড্রিয়াতে সংঘটিত হয়। শ্বসন প্রক্রিয়ায় যে সব বস্তু জারিত হয়ে কার্বন ডাইঅক্সাইড ও শক্তি উৎপাদন করে সে সব বস্তুকে **শ্বসনিক বস্তু** বলে। প্রধানত কার্বোহাইড্রেট জাতীয় খাদ্য শ্বসনিক বস্তু হিসেবে ব্যবহৃত হয়। তবে আমিষ, চর্বি ও বিভিন্ন জৈব অ্যাসিড শ্বসনিক বস্তু হিসেবে ব্যবহৃত হতে পারে।

যে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় জীবদেহের কোষে অবস্থিত জটিল খাদ্যদ্রব্য জারিত হয়ে সরল দ্রব্যে পরিণত হয় এবং সঞ্চিত স্থিতিশক্তি গতিশক্তিতে রূপান্তরিত হয় তাকে **শ্বসন** বলে। এ প্রক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইড, পানি ও শক্তি উৎপন্ন হয়। গ্লুকোজকে শ্বসনিক বস্তু ধরলে শ্বসনের সামগ্রিক সমীকরণটি নিম্নরূপ-

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{বিভিন্ন এনজাইম}} 6CO_2 + 12H_2O + ATP\ (\text{শক্তি})$$

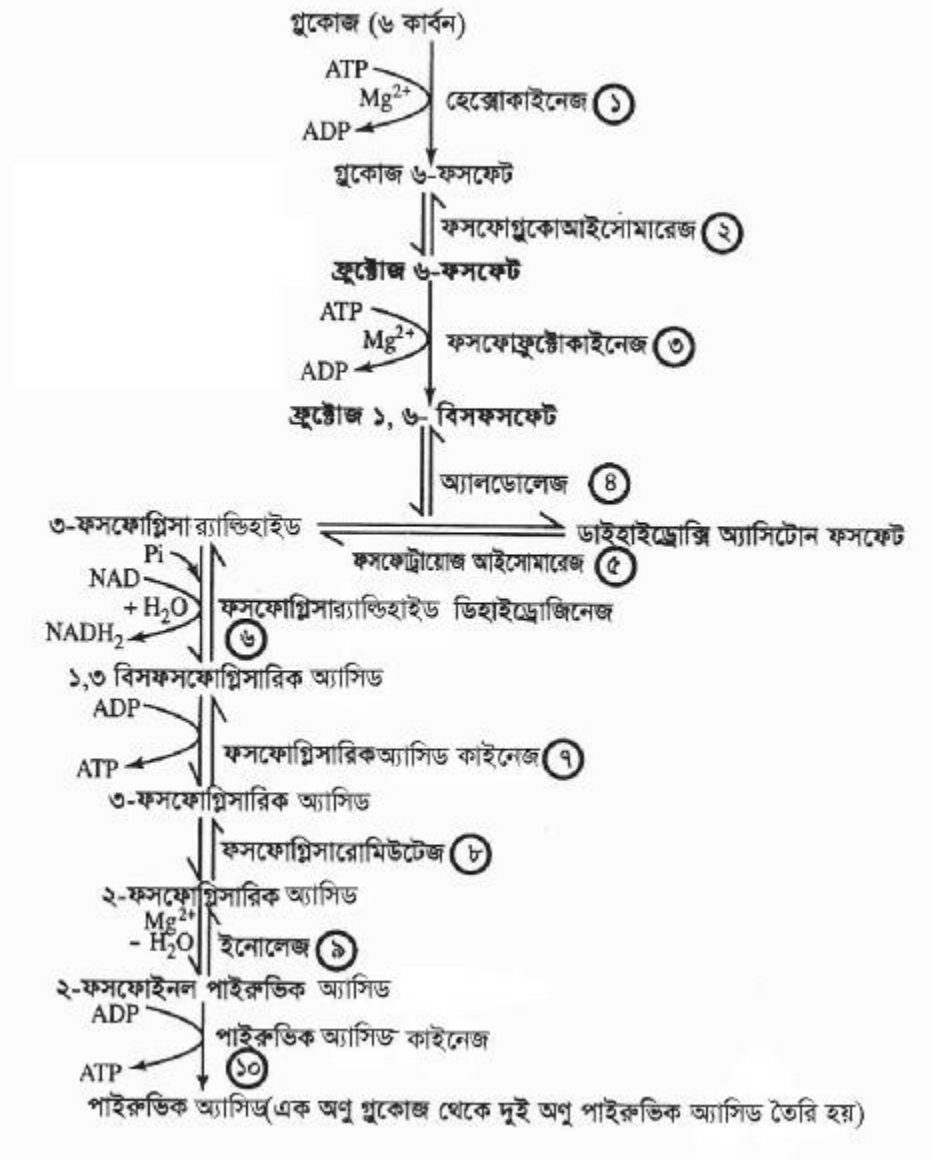
শ্বসনের প্রকারভেদ : অক্সিজেনের প্রয়োজনীয়তার উপর নির্ভর করে শ্বসন প্রক্রিয়াকে দু'ভাগে ভাগ করা হয়। যথা-
(ক) সবাত শ্বসন (Aerobic respiration) ও
(খ) অবাত শ্বসন (Anaerobic respiration)।

সবাত শ্বসন (Aerobic respiration) : যে শ্বসন প্রক্রিয়ায় অক্সিজেনের প্রয়োজন হয় এবং শ্বসনিক বস্তু সম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে CO_2, H_2O এবং বিপুল পরিমাণে শক্তি উৎপন্ন করে তাকে **সবাত শ্বসন** বলে। সবাত শ্বসন উদ্ভিদ ও প্রাণীর স্বাভাবিক শ্বসন প্রক্রিয়া। যদি গ্লুকোজ শ্বসনিক বস্তু হয় তাহলে সবাত শ্বসনের বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ–

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 + 6H_2O \xrightarrow{\text{বিভিন্ন এনজাইম}} 6CO_2 + 12H_2O + ATP\ (\text{শক্তি})$$

সবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি ৪টি পর্যায়ক্রমিক ধাপে সম্পন্ন হয়। যথা- গ্লাইকোলাইসিস, অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি, ক্রেবস চক্র এবং ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম।

গ্লাইকোলাইসিস (Glycolysis) : শ্বসনের যে পর্যায়ে এক অণু গ্লুকোজ বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে জারিত হয়ে দু'অণু পাইরুভিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাকে গ্লাইকোলাইসিস বলে। গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়াটি কোষের সাইটোপ্লাজমে সংঘটিত হয়। এ প্রক্রিয়ার জন্য কোন অক্সিজেনের প্রয়োজন হয় না, তাই গ্লাইকোলাইসিস সবাত এবং অবাত উভয় প্রকার শ্বসনের প্রথম ধাপ। গ্লুকোজকে শ্বসনিক বস্তু হিসেবে গণ্য করলে গ্লাইকোলাইসিসের ধারাবাহিক ধাপগুলো নিম্নরূপ–



চিত্র ১১.১২.১ : গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার ধাপসমূহ

নিচে গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ের বিক্রিয়াগুলো সংক্ষেপে বর্ণনা করা হলো-

১। হেক্সোকাইনেজ এনজাইমের সাহায্যে শ্বসনিক বস্তু গ্লুকোজ ATP হতে একটি ফসফেট গ্রহণ করে গ্লুকোজ ৬- ফসফেটে পরিণত হয়।

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

২। গ্লুকোজ-৬-ফসফেট ফসফোগ্লুকো আইসোমারেজ এনজাইমের সাহায্যে ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেটে পরিণত হয়।

ফসফোগ্লুকো

গ্লুকোজ-৬-ফসফেট ⇌ আইসোমারেজ ⇌ ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেট

৩। ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেট ফসফোফ্রুক্টোকাইনেজ এনজাইমের ক্রিয়ায় ATP হতে এক অণু ফসফেট গ্রহণ করে ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেটে পরিণত হয়।

ফসফোফ্রুক্টো কাইনেজ

ফ্রুক্টোজ-৬-ফসফেট + ATP ⟶ (Mg^{++}) ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট

৪। অ্যালডোলেজ এনজাইমের সাহায্যে ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট ভেঙ্গে এক অণু ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড এবং এক অণু ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেটে পরিণত হয়।

অ্যালডোলেজ

ফ্রুক্টোজ ১,৬-বিসফসফেট ⇌ ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড + ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট

৫। আইসোমারেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট একটি অন্যটিতে পরিবর্তীত হতে পারে।

৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ⇌ আইসোমারেজ ⇌ ডাই হাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট

৬। ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফো গ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড, NAD এবং অজৈব ফসফেট (Pi) এর উপস্থিতিতে ১,৩-ডাইফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ও $NADH_2$-এ পরিণত হয়।

ফসফোগি্লসার‍্যাল্ডিহাইড

৩-ফসফোগ্লিসার‍্যাল্ডিহাইড + (Pi) ⇌ ডিহাইড্রোজিনেজ ⇌ ১,৩-বিসফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড

NAD → $NADH_2$

৭। ১,৩-বিসফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড কাইনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিডে পরিণত হয়। এ বিক্রিয়ায় ADP একটি অজৈব ফসফেট (Pi) গ্রহণ করে ATP তে পরিণত হয়।

ফসফোগ্লিসেরোকাইনেজ

১,৩-বিসফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ⇌ ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড

Mg++

ADP → ATP

৮। ৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ফসফোগ্লিসারোমিউটেজ এনজাইমের ক্রিয়ার ফলে ২-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিডে পরিণত হয়।

ফসফোগ্লিসারোমিউটেজ

৩-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ⇌ ২-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড

৯। ২-ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড ইনোলেজ এনজাইমের ক্রিয়ার ফলে এক অণু পানি ত্যাগ করে ২-ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড তৈরি করে।

২- ফসফোগ্লিসারিকঅ্যাসিড $\xrightleftharpoons[H_2O]{\text{ইনোলেজ}}$ ২-ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড + H_2O

১০। এটি গ্লাইকোলাইসিসের শেষ ধাপ। এ ধাপে ২-ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ এজাইমের ক্রিয়ায় পাইরুভিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ সময় কোষস্থ ADP রূপান্তরিত হয়ে ATP তে পরিণত হয়।

২-ফসফোইনল পাইরুভিক অ্যাসিড + ADP $\xrightarrow{\text{পাইরুভিক অ্যাসিড কাইনেজ}}$ পাইরুভিক অ্যাসিড + ATP

গ্লাইকোলাইসিসে এক অণু গ্লুকোজ থেকে দু'অণু পাইরুভিক অ্যাসিড সৃষ্টির সময় দু'অণু $NADH_2$, চার অণু ATP (দু'অণু ATP খরচ হয়ে যায়) উৎপন্ন হয়।

অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি (Formation of Acetyl Co-A) : গ্লাইকোলাইসিস পর্যায়ে সৃষ্ট প্রতি অণু পাইরুভিক অ্যাসিড পর্যায়ক্রমিক বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়া শেষে এক অণু অ্যাসিটাইল কো-এ, এক অণু CO_2 ও এক অণু $NADH_2$ উৎপন্ন করে। সুতরাং এক অণু গ্লুকোজ হতে সৃষ্ট দু' অণু পাইরুভিক অ্যাসিড হতে দু'অণু CO_2, দু' অণু $NADH_2$ এবং দুই অণু অ্যাসিটাইল কো-এ উৎপন্ন হয়।

পাইরুভিক অ্যাসিড + কো-এ + NAD $\xrightarrow{\text{বিভিন্ন এনজাইম}}$ অ্যাসিটাইল কো-এ + CO_2 + $NADH_2$

ক্রেবস চক্র (Kreb's cycle) : অ্যাসিটাইল কো-এ বিভিন্ন এনজাইমের উপস্থিতিতে একটি জটিল চক্রের মাধ্যমে জারিত হয়ে CO_2 ও পানি উৎপন্ন করে। ইংল্যান্ডের প্রাণরসায়নবিদ স্যার হ্যান্স ক্রেবস্ (১৯৩৭) সর্ব প্রথম এ পদ্ধতি আবিষ্কার করেন বলে এ চক্রের নাম হয়েছে ক্রেবস্ চক্র। এ চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগটি সাইট্রিক অ্যাসিড হওয়ায় একে **সাইট্রিক অ্যাসিড চক্রও** বলা হয়। সাইট্রিক অ্যাসিডে তিনটি কার্বক্সিল (-COOH) গ্রুপ থাকায় একে **ট্রাইকার্বক্সিলিক অ্যাসিড চক্রও** বলা হয়। ক্রেবস্ চক্রের সকল বিক্রিয়াই কোষের মাইটোকন্ড্রিয়াতে ঘটে। ক্রেবস্ চক্রের বিক্রিয়াগুলো নিম্নরূপ-

১। অ্যাসিটাইল কো-এ ক্রেবস্ চক্রে প্রবেশের পর কনডেনসিং এনজাইমের কার্যকারিতায় ৪-কার্বনবিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিডের সাথে বিক্রিয়া করে ৬-কার্বনবিশিষ্ট সাইট্রিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

অ্যাসিটাইল কো-এ + অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড $\xrightarrow{\text{কনডেনসিং এনজাইম}}$ সাইট্রিক অ্যাসিড

২। অ্যাকোনিটেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় সাইট্রিক অ্যাসিড হতে এক অণু পানি অপসারিত হয়ে সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

সাইট্রিক অ্যাসিড $\xrightleftharpoons[NADH+H^+]{\text{অ্যাকোনিটেজ}}$ সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড + H_2O

৩। অ্যাকোনিটেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড এক অণু পানির সঙ্গে যুক্ত হয়ে ৬-কার্বনবিশিষ্ট আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড তৈরি করে।

সিস-অ্যাকোনাইটিক অ্যাসিড + H_2O $\xrightleftharpoons{\text{অ্যাকোনিটেজ}}$ আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড

৪। আইসোসাইট্রিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড দু'টি হাইড্রোজেন পরমাণু হারিয়ে অক্সালো সাকসিনিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। এ বিক্রিয়ায় NAD বিজারিত হয়ে $NADH+H^+$ তে পরিণত হয়।

আইসোসাইট্রিক ডিহাইড্রোজিনেজ

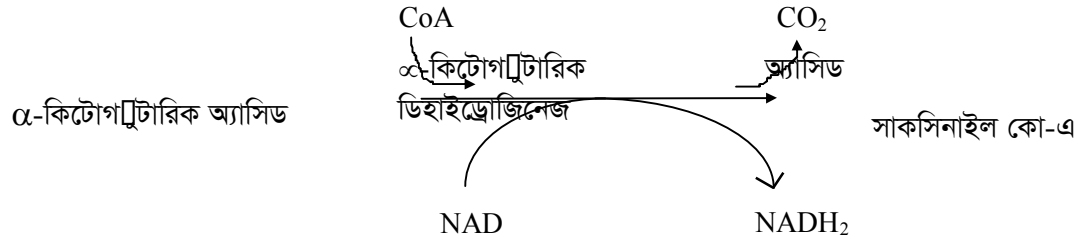
আইসোসাইট্রিক অ্যাসিড + NAD ⟷ অক্সালো সাকসিনিক অ্যাসিড + $NADH_2$

৫। কার্বোক্সিলেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় অক্সালোসাকসিনিক অ্যাসিড এক অণু CO_2 হারিয়ে ৫ কার্বন বিশিষ্ট α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড তৈরি করে।

কার্বোক্সিলেজ

অক্সালোসাকসিনিক অ্যাসিড ⟷ α -কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড

৬। α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় α-কিটোগ্লুটারিক অ্যাসিডের সাথে কো-এ মিলিত হয়ে ৪-কার্বনবিশিষ্ট সাকসিনাইল কো-এ তৈরি করে। এ বিক্রিয়ায় এক অণু CO_2 উপজাত দ্রব্য হিসেবে নির্গত হয় এবং NAD বিজারিত করে $NADH_2$ উৎপন্ন করে।



৭। সাকসিনিক থায়োকাইনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় সাকসিনাইল কো-এ ADP ও অজৈব ফসফেট (Pi) এর সাথে বিক্রিয়া করে সাকসিনিক অ্যাসিড ও ATP তৈরি হয়।

সাকসিনাইল কো-এ + ADP + (Pi) —সাকসিনিক থায়োকাইনেজ→ সাকসিনিক অ্যাসিড + ATP

৮। সাকসিনিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় সাকসিনিক অ্যাসিড দু'অণু হাইড্রোজেন হারিয়ে ৪-কার্বন বিশিষ্ট ফিউমারিক অ্যাসিড তৈরি করে। এ বিক্রিয়ায় FAD বিজারিত হয়ে $FADH_2$ তে পরিণত হয়।

সাকসিনিক

সাকসিনিক অ্যাসিড + FAD ⟷ ডিহাইড্রোজিনেজ ফিউমারিক অ্যাসিড + $FADH_2$

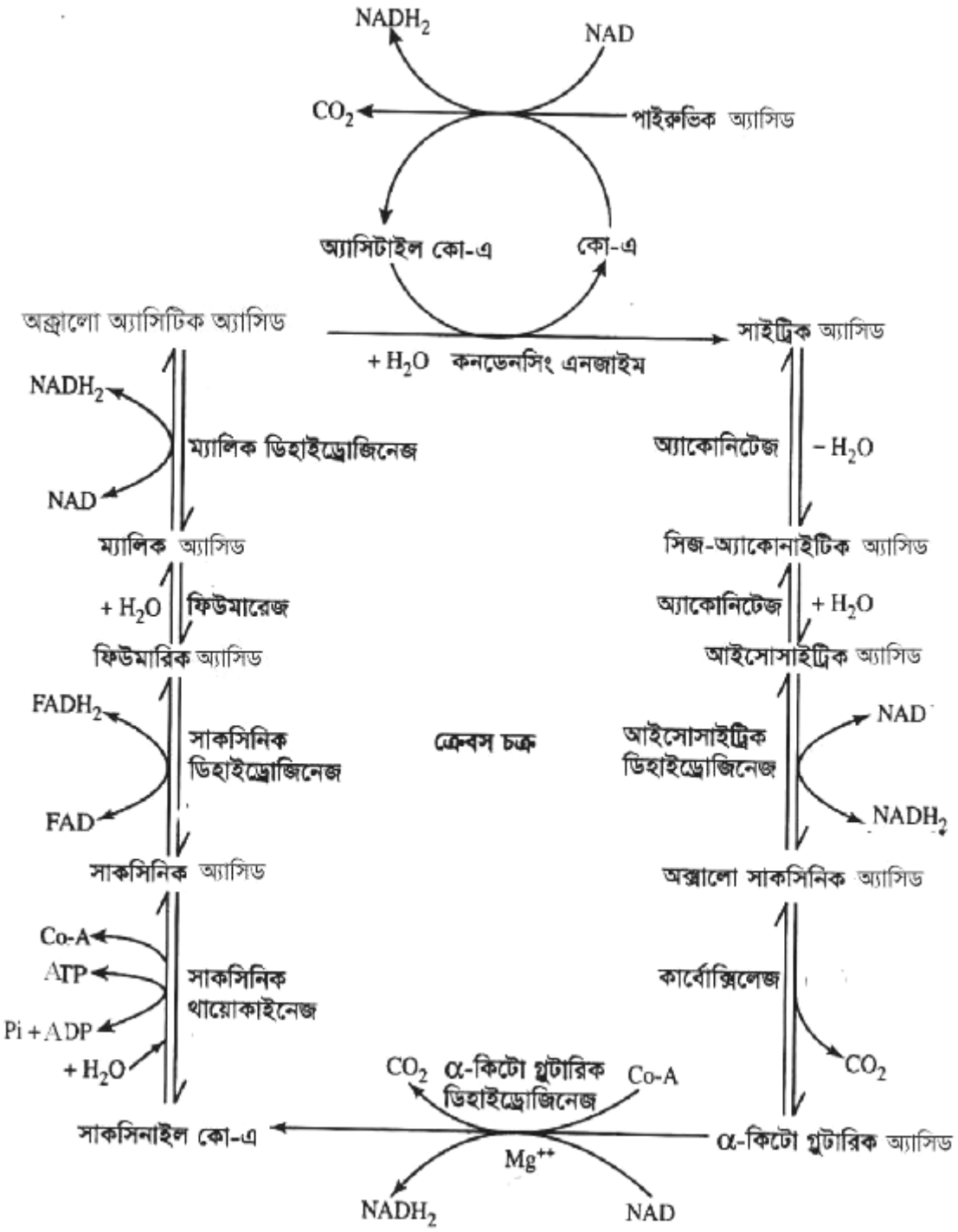
৯। ফিউমারেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ফিউমারিক অ্যাসিড এক অণু পানির সাথে মিলিত হয়ে ৪-কার্বনবিশিষ্ট ম্যালিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে।

ফিউমারিক অ্যাসিড + H_2O ⟷ ফিউমারেজ ম্যালিক অ্যাসিড

১০। ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় ম্যালিক অ্যাসিড NAD এর সাথে বিক্রিয়া করে ৪-কার্বন বিশিষ্ট অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে। বিক্রিয়ায় NAD বিজারিত হয়ে $NADH_2$ উৎপন্ন করে।

ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ

ম্যালিক অ্যাসিড + NAD ⟷ অক্সালো অ্যাসিটিক অ্যাসিড + $NADH_2$



চিত্র ১১.১২.২ : ক্রেবস চক্রের ধাপসমূহ

এ অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড, অ্যাসিটাইল কো-এ এর সাথে বিক্রিয়া করে পুনরায় সাইট্রিক অ্যাসিড তৈরি করে এবং চক্রটি চলতে থাকে। এ চক্রের মাধ্যমে এক অণু অ্যাসিটাইল কো-এ হতে জারণের সময় দু'অণু CO_2, তিন অণু $NADH_2$, এক অণু $FADH_2$ ও এক অণু ATP উৎপন্ন হয়। কাজেই দু'অণু অ্যাসিটাইল কো-এ হতে চার অণু CO_2, ছয় অণু $NADH_2$, দু'অণু $FADH_2$ এবং দু'অণু ATP তৈরি হয়।

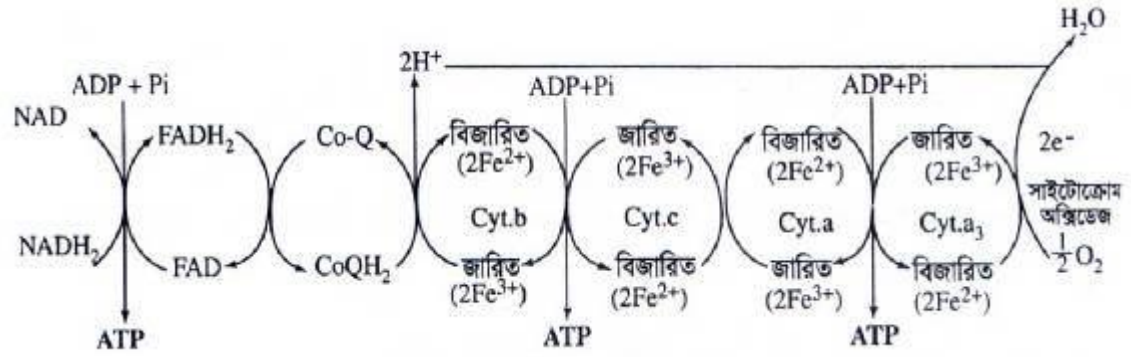
ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম (Electron transport system) : ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম সবাত শ্বসনের সর্বশেষ পর্যায়। এ পর্যায়ে O_2 এর উপস্থিতিতে ADP এর সাথে অজৈব ফসফেট (Pi) যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন করে । তাই এ প্রক্রিয়াকে অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন (Oxidative Phosphorylation) ও বলে।

$$ADP + Pi \xrightarrow{\text{অক্সিজেন}} ATP$$

মাইটোকন্ড্রিয়ার ভেতরের মেমব্রেনে অবস্থিত NAD, FAD এবং সাইটোক্রোম এনজাইমসমূহ যেমন- Cyt.b, Cyt.c, Cyt.a, Cyt.a_3 যারা ইলেকট্রন বাহক হিসেবে কাজ করে তাদের নিয়ে ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম গঠিত। প্রত্যেকটি বাহক ইলেকট্রন ছেড়ে দিয়ে জারিত হয় এবং ইলেকট্রন গ্রহণ করে বিজারিত হয়।

গ্লাইকোলাইসিস, অ্যাসিটাইল কো-এ উৎপাদনের সময় এবং ক্রেবস চক্রে যে সকল $NADH_2$ ও $FADH_2$ তৈরি হয় তা ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেমে জারিত হয়ে যথাক্রমে NAD ও FAD তে পরিণত হয় এবং $2H^+$ ও $2e^-$ উৎপন্ন করে। $2e^-$ বাহকের মধ্য দিয়ে স্থানান্তরের সময় নির্গত শক্তি দিয়ে ADP এর সাথে Pi যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন হয়। এ সময় এক অণু $NADH_2$ জারিত হয়ে ৩ অণু ATP এবং এক অণু $FADH_2$ হয়ে ২ অণু ATP উৎপন্ন হয়। নিম্ন শক্তিসম্পন্ন বাহক Cyt.a_3 থেকে ইলেকট্রন সাইটোক্রোম অক্সিডেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় অক্সিজেনে স্থানান্তরিত হয়।

অপরদিকে O_2 প্রোটন ($2H^+$) গ্রহণ করে H_2O উৎপন্ন করে। কাজেই ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেমে অক্সিজেন হলো সর্বশেষ ইলেকট্রন গ্রহীতা। সবাত শ্বসনে যে O_2 ব্যবহৃত হয় এবং যে পানি উৎপন্ন হয় তা এ পর্যায়ে সৃষ্টি হয়।



চিত্র ১১.১২.৩ : ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেমে

সবাত শ্বসনে শক্তি উৎপাদন : সবাত শ্বসনে এক অণু গ্লুকোজ সম্পূর্ণ জারিত হয়ে CO_2 ও পানি উৎপাদনের সময় নিম্নলিখিত শক্তি উৎপাদন করে।

শ্বসনের পর্যায়	উৎপাদিত বস্তু	ব্যয়িত বস্তু	নীট উৎপাদন
১। গ্লাইকোলাইসিস	২ অণু পাইরুভিক অ্যাসিড ২ অণু $NADH+H^+$ ৪ অণু ATP	২ অণু ATP	৬ ATP ২ ATP
২। অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি	২ অণু অ্যাসিটাইল কো-এ ২ অণু $NADH+H^+$	২ অণু পাইরুভিক অ্যাসিড	৬ ATP
৩। ক্রেবস চক্র	৬ অণু $NADH+H^+$ ২ অণু $FADH_2$ ২ অণু ATP	২ অণু অ্যাসিটাইল কো-এ	১৮ ATP ৪ ATP ২ ATP
			= ৩৮ ATP

এখানে

১ অণু $NADH+H^+$ বা $NADH_2$ = ৩ অণু ATP

১ অণু $FADH_2$ = ২ অণু ATP

১ অণু GTP = ১ অণু ATP

উল্লেখ্য যে, ১ মোল গ্লুকোজে ৬৮৬ কিলোক্যালরি শক্তি থাকে। কিন্তু কোষে ১ মোল গ্লুকোজ সম্পূর্ণ জারণের ফলে ৩৮ টি ATP তৈরি হয়। বিভিন্ন বিজ্ঞানীদের মতে একটি ATP ৭-১২ কিলোক্যালরি শক্তি উৎপন্ন করে। হিসাবের সুবিধার্থে যদি আমরা মনে করি, ১ ATP = ১০ কিলোক্যালরি, তাহলে ৩৮ ATP = ৩৮×১০ = ৩৮০ কিলোক্যালরি।

সুতরাং জীবজ দক্ষতা বা Biological efficiency হলো $\frac{৩৮০\times১০০}{৬৮৬} = ৫৪.৩৯\%$।

অর্থাৎ ৬৮৬-৩৮০=৩০৬ কিলোক্যালরি শক্তি তাপ শক্তি হিসাবে নিঃশেষ হয়ে যায়।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকের মাধ্যমে সবাত শ্বসনের ধাপগুলো কোষের যে যে অঙ্গাণুতে সংঘটিত হয় তা উল্লেখ করুন		
ধাপের নাম			
অঙ্গাণুর নাম			

সারসংক্ষেপ

যে জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় জীবদেহের কোষে অবস্থিত জটিল খাদ্যদ্রব্য জারিত হয়ে সরল দ্রব্যে পরিণত হয় এবং সঞ্চিত স্থিতিশক্তি রূপান্তরিত হয়ে গতিশক্তিতে পরিণত হয় তাকে **শ্বসন** বলে। এ প্রক্রিয়ায় কার্বন ডাইঅক্সাইড, পানি ও শক্তি উৎপন্ন হয়। একে দুটি ভাগে ভাগ করা হয়েছে, যথা- সবাত শ্বসন এবং অবাত শ্বসন। সবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি ৪টি পর্যায়ক্রমিক ধাপে সম্পন্ন হয়। যথা- গ্লাইকোলাইসিস, অ্যাসিটাইল কো-এ সৃষ্টি, ক্রেবস চক্র এবং ইলেকট্রন ট্রান্সপোর্ট সিস্টেম। সবাত শ্বসনে মোট ৩৮টি ATP উৎপন্ন হয়।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১২

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

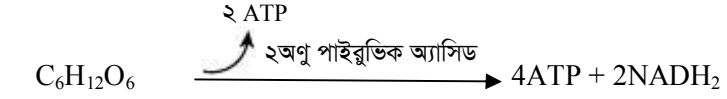
১। গ্লাইকোলাইসিসে উৎপন্ন হয়–

i. পাইরুভিক অ্যাসিড ii. ATP iii. $NADH+H^+$

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

নিচের উদ্দীপকটি পড়ুন এবং ২ ও ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন



২। উপরের বিক্রিয়াতে ১ অণু গ্লুকোজের স্থলে ২ অণু গ্লুকোজ নিলে মোট কতটি ATP উৎপন্ন হবে ?

(ক) ৬ (খ) ৮ (গ) ১২ (ঘ) ১৬

৩। উপরের বিক্রিয়াটির ক্ষেত্রে প্রযোজ্য-

i. সবাত শ্বসনের দ্বিতীয় পর্যায় ii. অবাত শ্বসনের প্রথম পর্যায় iii. কোষের সাইটোপ্লাজমে সংঘটিত হয়

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৪। স্যার হ্যান্স ক্রেবস কে ছিলেন ?

(ক) পদার্থবিদ (খ) রসায়নবিদ (গ) প্রাণরসায়নবিদ (ঘ) জীববিদ

পাঠ-১১.১৩ অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া এবং শিল্পে অবাত শ্বসনের ব্যবহার

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- অবাত শ্বসন সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- অবাত শ্বসনের ধাপগুলো বর্ণনা করতে পারবেন।
- শিল্পে অবাত শ্বসন তথা ফার্মেন্টেশনের ব্যবহার উল্লেখ করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	পাইরুভিক অ্যাসিড, অ্যাসিট্যাল্ডিহাইড

অবাত শ্বসন (Anaerobic respiration) : যে শ্বসন অক্সিজেনের অনুপস্থিতে ঘটে তাকে **অবাত শ্বসন** বলে। অর্থাৎ যে শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোন শ্বসনিক বস্তু অক্সিজেনের সাহায্য ছাড়াই কোষ মধ্যস্থ এনজাইমের সাহায্যে আংশিকভাবে জারিত হয়ে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড অথবা শুধু ল্যাকটিক অ্যাসিড ও সামান্য পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন করে তাকে অবাত শ্বসন বলে। এ শ্বসন প্রক্রিয়া আদিকোষীয় জীব দেহে (যেমন- ব্যাকটেরিয়া, ঈস্ট ইত্যাদি) সংঘটিত হয়। জীবন্তউদ্ভিদ ও প্রাণীকোষে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে স্বল্প সময়ের জন্য এ শ্বসন প্রক্রিয়া চলতে পারে। অবাত শ্বসন কোষের সাইটোপ্লাজমে সংঘটিত হয়। অবাত শ্বসনকে দু'টি পর্যায়ে ভাগ করা যায়। যথা- (ক) গ□াইকোলাইসিস ও (খ) পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ।

গ□াইকোলাইসিস : অবাত শ্বসনের এ পর্যায়টি সবাত শ্বসনের গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার সম্পূর্ণ অনুরূপ। গ□াইকোলাইসিস সবাত ও অবাত উভয় প্রকার শ্বসনের প্রথম ধাপ।

পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ : এ প্রক্রিয়ায় পাইরুভিক অ্যাসিড অসম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে ইথানল, CO_2 অথবা শুধু ল্যাকটিক অ্যাসিড তৈরি করে।

(ক) পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে ইথানল সৃষ্টি : এটি দুটি ধাপে সম্পন্ন হয়। প্রথম ধাপে কার্বোক্সিলেজ এনজাইমের সহায়তায় পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে এক অণু CO_2 বের হয়ে অ্যাসিট্যাল্ডিহাইড উৎপন্ন করে এবং দ্বিতীয় ধাপে ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের কার্যকারিতায় অ্যাসিট্যাল্ডিহাইড, $NADH+H^+$ হতে দুটি হাইড্রোজেন গ্রহণ করে ইথানল উৎপন্ন করে এবং NAD মুক্ত হয় এবং অল্প পরিমাণ শক্তি উৎপন্ন হয়। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

$$\text{(I) } CH_3-CO-COOH \xrightarrow{CO_2} CH_3-CHO$$

পাইরুভিক অ্যাসিড — কার্বোক্সিলেজ — অ্যাসিটেল্ডিহাউড

$$\text{(II) } CH_3-CHO \xrightarrow{NADH+H^+ \;\; NAD} CH_3-CH_2OH + \text{শক্তি}$$

অ্যাসিটেল্ডিহাউড — ডিহাইড্রোজিনেজ — ইথানল

(খ) পাইরুভিক অ্যাসিড থেকে ল্যাকটিক অ্যাসিড সৃষ্টি : ল্যাকটিক অ্যাসিড ডিহাইড্রোজিনেজ এনজাইমের সহায়তায় পাইরুভিক অ্যাসিড $NADH+H^+$ হতে হাইড্রোজেন গ্রহণ করে ল্যাকটিক অ্যাসিডে পরিণত হয় এবং অল্প পরিমাণ শক্তি

$$CO-COOH \xrightarrow{NADH+H^+ \;\; NAD} CH_3-CHOH-COOH + \text{শক্তি}$$

শভিক অ্যাসিড — ডিহাইড্রোজিনেজ — ল্যাকটিক অ্যাসিড

উৎপন্ন করে। ল্যাকটিক অ্যাসিড সৃষ্টির সময় কোন CO_2 উৎপন্ন হয় না। উচ্চশ্রেণির উদ্ভিদে ল্যাকটিক অ্যাসিড সৃষ্টি হয় না। কতিপয় ব্যাকটেরিয়া এবং প্রাণীতে বিশেষ করে পেশিতে এটি অধিক হয়। বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ-

ফার্মেন্টেশন (Fermentation) **:** যে প্রক্রিয়ায় কিছু সংখ্যক ছত্রাক এবং অবায়বীয় ব্যাকটেরিয়া তাদের দেহ থেকে নিঃসৃত এনজাইমের সাহায্যে হেক্সোজ জাতীয় শর্করাকে অসম্পূর্ণভাবে জারিত করে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড অথবা শুধু ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাকে ফার্মেন্টেশন বা গাঁজন বলে।

বিভিন্ন শিল্পক্ষেত্রে অবাত শ্বসন তথা ফার্মেন্টেশন সম্পর্কিত জীবের ব্যবহার নিচে আলোচনা করা হলো-

১। পাউরুটি শিল্পে : ঈস্টের ফার্মেন্টেশন প্রক্রিয়াকে এ শিল্পে কাজে লাগানো হয়। ময়দা ও চিনির সাথে ঈস্ট যোগ করে প্রয়োজনীয় তাপমাত্রায় রেখে দিলে অবাত শ্বসনের ফলে সৃষ্টি হয় CO_2 এবং ইথাইল অ্যালকোহল। CO_2 গ্যাস এর চাপে পাউরুটি ফুলে ফাঁপা হয়। আর অ্যালকোহল তাপে বাষ্প হয়ে উড়ে যায়।

২। মদ্য শিল্পে : ঈস্টের অবাত শ্বসন তথা ফার্মেন্টেশনকে কাজে লাগিয়ে মদ তৈরি করা হয়। এ প্রক্রিয়ায় আঙ্গুরের রস থেকে ওয়াইন এবং আপেলের রস থেকে সিডার প্রস্তুত করা হয়। তালের রস, খেজুরের রস, চিটাগুড় থেকেও অ্যালকোহল ও দেশী মদ তৈরি করা হয়।

৩। অ্যালকোহল প্রস্তুতিতে : শর্করার সাথে ঈস্টের ফার্মেন্টেশনে ইথাইল অ্যালকোহল তৈরি হয়। দর্শনা চিনিকলে চিটাগুড় থেকে এ প্রক্রিয়ায় অ্যালকোহল তৈরি করা হয়। একই প্রক্রিয়ায় বিউটানল, প্রপানল ইত্যাদিও প্রস্তুত করা হয়।

৪। দুগ্ধ শিল্পে : দই হচ্ছে ফার্মেন্টকৃত দুগ্ধজাত পদার্থ। দুধের সাথে *Lactobacillus helveticus, Streptococcus lactis* ইত্যাদি ব্যাকটেরিয়া মিশিয়ে ৩৭-৩৮° সেলসিয়াস তাপমাত্রায় ৩-৫ ঘণ্টা রেখে দিলে দই তৈরি হয়। এছাড়া বিভিন্ন ধরনের ব্যাকটেরিয়ার অংশগ্রহণে এক জটিল প্রক্রিয়ার মাধ্যমে পনির উৎপাদিত হয়।

৫। ওষুধ শিল্পে : ফার্মেন্টেশন প্রক্রিয়ার সাহায্যে বিভিন্ন প্রকার অ্যান্টিবায়োটিক উৎপাদন করা হয়। পেনিসিলিন, স্ট্রেপটোমাইসিন, টেট্রাসাইক্লিন ইত্যাদি অ্যান্টিবায়োটিক বিভিন্ন ছত্রাক ও অ্যাকটিনোমাইসিটিস এর ফার্মেন্টেশন প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন করা হয়।

৬। চা ও তামাক শিল্পে : *Bacillus megatherium* নামক ব্যাকটেরিয়া ব্যবহার করে চা ও তামাক গাছের পাতাকে সুগন্ধ ও রুচিকর করা হয়।

৭। পাটের তন্তু নিষ্কাশনে : *Clostridium butyricum* নামক ব্যাকটেরিয়ার ফার্মেন্টেশন ক্রিয়ায় পাটের তন্তু নিষ্কাশন করা হয়।

৮। চামড়া শিল্পে : চামড়া থেকে চর্বি ও অন্যান্য টিস্যু আলাদা করার জন্য বিশেষ ধরনের ব্যাকটেরিয়া ব্যবহার করা হয়। এ সব ব্যাকটেরিয়া ফার্মেন্টেশনের ফলে চামড়া থেকে লোম, মেদটিস্যু ইত্যাদির অপসারণ ঘটে। যথা- *Bacillus subtilis*।

৯। এনজাইম উৎপাদনে : *Bacillus subtilis, Aspergillus niger, Aspergillus oryzae* প্রভৃতি অণুজীব ব্যবহার করে অ্যামাইলেজ, প্রোটিয়েজ, সেলুলেজ, পেকটিনেজ ইত্যাদি এনজাইম উৎপাদন করা যায়।

১০। ভিটামিন তৈরিতে : থিয়ামিন ও রিবোফ্লাবিন নামক ভিটামিন B_1 ও B_2 এ প্রক্রিয়ায় ঈস্টের সাহায্যে তৈরি করা হয়।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে অবাত শ্বসন ব্যবহারের ক্ষেত্রগুলো উল্লেখ করুন

সারসংক্ষেপ

যে শ্বসন অক্সিজেনের অনুপস্থিতে ঘটে তাকে **অবাত শ্বসন** বলে। এ শ্বসন প্রক্রিয়া আদিকোষীয় জীবদেহে সংঘটিত হয়। জীবন্তউদ্ভিদ ও প্রাণীকোষে অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে স্বল্প সময়ের জন্য এ শ্বসন প্রক্রিয়া চলতে পারে। অবাত শ্বসন

কোষের সাইটোপ্লাজমে সংঘটিত হয়। অবাত শ্বসনকে দু'টি পর্যায়ে ভাগ করা যায়। যথা- (ক) গ□াইকোলাইসিস ও (খ) পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ। যে প্রক্রিয়ায় কিছু সংখ্যক ছত্রাক এবং অবায়বীয় ব্যাকটেরিয়া তাদের দেহ থেকে নিঃসৃত এনজাইমের সাহায্যে হেক্সোজ জাতীয় শর্করাকে অসম্পূর্ণ জারিত করে ইথাইল অ্যালকোহল ও কার্বন ডাইঅক্সাইড অথবা শুধু ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে তাকে ফার্মেন্টেশন বা গাঁজন বলে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১৩

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। অবাত শ্বসন ঘটে-

i. শৈবালে ii. ব্যাকটেরিয়ায় iii. ঈস্টে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

২। পাইরুভিক অ্যাসিডের অসম্পূর্ণ জারণ-

i. এনজাইমের কার্যকারিতায় ঘটে ii. ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন করে

iii. ল্যাকটিক অ্যাসিড উৎপন্ন করে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

নিচের সমীকরণটি দেখুন এবং ৩ নং প্রশ্নের উত্তর দিন :

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + \text{শক্তি}$$

৩। উদ্দীপকের বিক্রিয়াটি সম্পন্ন হবে-

i. কতিপয় অণুজীবের কোষে ii. দই ও পনির তৈরিতে

iii. ইথাইল অ্যালকোহল তৈরিতে

নিচের কোনটি সঠিক ?

(ক) i ও ii (খ) i ও iii (গ) ii ও iii (ঘ) i, ii ও iii

৪। পাটের তন্তু নিষ্কাশনে কোন অণুজীবটি ব্যবহৃত হয় ?

(ক) *Clostridium butyricum* (খ) *Bacillus subtilis*

(গ) *Bacillus megatherium* (ঘ) *Lactobacillus helveticus*

পাঠ-১১.১৪ শ্বসনের প্রভাবকসমূহ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- শ্বসনের বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- শ্বসনের অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ বর্ণনা করতে পারবেন।

	প্রধান শব্দ	অক্সিজেনের ঘনত্ব, অজৈব লবণ

শ্বসনের প্রভাবকসমূহ : বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কার্যের ন্যায় শ্বসন প্রক্রিয়াও বিভিন্ন প্রকার প্রভাবকের উপর নির্ভরশীল। এ প্রভাবকগুলো দু'প্রকার। যথা- (ক) বাহ্যিক প্রভাবক এবং (খ) অভ্যন্তরীণ প্রভাবক।

(ক) বাহ্যিক প্রভাবক : বাহ্যিক প্রভাবকসমূহের বর্ণনা নিচে দেয়া হলো-

১। তাপমাত্রা- শ্বসনের জন্য সাধারণত উত্তম তাপমাত্রা ২০°- ৪৫° সেলসিয়াস। ১০° সেলসিয়াসের নিচে এবং ৪৫° সেলসিয়াসের উপরের তাপমাত্রায় শ্বসনের হার কমে যায়।

২। অক্সিজেন- সবাত শ্বসনে বায়ুমন্ডলে অক্সিজেনের ঘনত্ব একটি নির্দিষ্ট সীমারেখা পর্যন্তবাড়লে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়। সুতরাং সবাত শ্বসনের হার অক্সিজেনের ঘনত্বের সাথে প্রত্যক্ষভাবে সম্পর্কিত।

৩। আলো- শ্বসনে আলোর কোন প্রত্যক্ষ প্রভাব নেই। তবে উদ্ভিদের ক্ষেত্রে আলো পরোক্ষভাবে শ্বসনে প্রভাব বিস্তার করে। যেমন- নির্দিষ্ট আলোতে পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত থাকে। আলোর প্রভাবে উদ্ভিদের খাদ্য তৈরি হয় যা শ্বসনকালে ব্যবহৃত হয়।

৪। কার্বন ডাইঅক্সাইড- বায়ুমন্ডলে CO_2 এর পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায় ফলে শ্বসনের হার কমে যায়। বেশির ভাগ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র আলোর উপস্থিতিতে খোলা থাকে এবং তার ফলে পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে বাতাস হতে O_2 পত্রের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে এবং শ্বসনের উপজাত CO_2 পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে নির্গত হয়।

৫। পানি- এনজাইমের সক্রিয় কার্যকারিতার জন্য পানি অত্যন্তপ্রয়োজন। কাজেই নির্দিষ্ট পরিমাণ পানির উপস্থিতিতে শ্বসনের হার বাড়ে। কিন্তু খুব কম কিংবা অতিরিক্ত পানির উপস্থিতিতে শ্বসন প্রক্রিয়া ব্যাহত হয়।

৬। অজৈব লবণ- উদ্ভিদ মূল দ্বারা অজৈব লবণ শোষণ করার সময় শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়। শ্বসনের হার বৃদ্ধির কারণ লবণ শোষণের জন্য শক্তির প্রয়োজন এবং শ্বসনেই শক্তি নির্গত হয়।

(খ) অভ্যন্তরীণ প্রভাবক : অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহের বর্ণনা নিম্নে দেয়া হলো-

১। শ্বসনিক বস্তু- একটি নির্দিষ্ট সীমারেখা পর্যন্তশ্বসনিক বস্তু অর্থাৎ গ্লুকোজের পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়। কিন্তু অধিক মাত্রায় শ্বসনিক বস্তু কোষে সঞ্চিত হলে শ্বসনের হার কমে।

২। এনজাইম- শ্বসনের সব রাসায়নিক বিক্রিয়া এনজাইমের পরিমাণ ও কার্যকারিতার উপর নির্ভরশীল। একটি নির্দিষ্ট সীমারেখা পর্যন্তএনজাইমের পরিমাণ ও কার্যকারিতা বৃদ্ধি ঘটলে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়।

৩। কোষের বয়স- অল্প বয়স্ক কোষে প্রোটোপ্লাজম বেশি থাকে বলে বয়স্ক কোষ অপেক্ষা নবীন কোষে শ্বসনের হার বেশি হয়।

৪। কোষমধ্যস্থ পানি- শ্বসনিক বস্তুকে দ্রবীভূত করতে ও এনজাইমের কার্যকারিতা বৃদ্ধি করতে যথেষ্ট পরিমাণ পানির দরকার। তাই পানি পরোক্ষভাবে শ্বসনের হারকে প্রভাবিত করে। কোষে পানি কম থাকলে শ্বসনের হার কমে।

৫। টিস্যুর ক্ষতস্থান- আঘাতপ্রাপ্ত টিস্যুতে আঘাত নিরাময়ের জন্য কোষ বিভাজন দ্রুত হয়, ফলে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায়।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে শ্বসনের বাহ্যিক এবং অভ্যন্তরীণ প্রভাবকগুলোর নাম লিখুন				
বাহ্যিক প্রভাবক					
অভ্যন্তরীণ প্রভাবক					

সারসংক্ষেপ

বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় কার্যের ন্যায় শ্বসন প্রক্রিয়াও বিভিন্ন প্রকার প্রভাবকের উপর নির্ভরশীল। এ প্রভাবকগুলো দু'প্রকার। যথা- (ক) বাহ্যিক প্রভাবকসমূহ এবং (খ) অভ্যন্তরীণ প্রভাবকসমূহ। বাহ্যিক প্রভাবকগুলো হলো- তাপমাত্রা, অক্সিজেন, আলো, কার্বন ডাইঅক্সাইড, পানি এবং অজৈব লবণ। অভ্যন্তরীণ প্রভাবকগুলোর মধ্যে রয়েছে-শ্বসনিক বস্তু, এনজাইম, কোষের বয়স, কোষ মধ্যস্থ পানি এবং টিস্যুর ক্ষতস্থান।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১৪

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। শ্বসনের জন্য উত্তম তাপমাত্রা কত-

(ক) ২০°-৪৫° সেলসিয়াস
(খ) ৩২°-৪৬° সেলসিয়াস
(গ) ২০°-৪৭° সেলসিয়াস
(ঘ) ২০°-৪৮° সেলসিয়াস

২। শ্বসনের অভ্যন্তরীণ প্রভাবক নয় কোনটি ?

(ক) শ্বসনিক বস্তু
(খ) এনজাইম
(গ) অক্সিজেন
(ঘ) কোষ মধ্যস্থ পানি

পাঠ-১১.১৫ ব্যবহারিক- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি পরীক্ষণ

উদ্দেশ্য

এ পাঠ শেষে আপনি-

- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি পরীক্ষণের প্রয়োজনীয় উপকরণের নাম উল্লেখ করতে পারবেন।
- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি পরীক্ষণের কর্মপদ্ধতি বর্ণনা করতে পারবেন।
- অবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি পর্যবেক্ষণ শেষে সিদ্ধান্তবিশ্লেষণ করতে পারবেন।

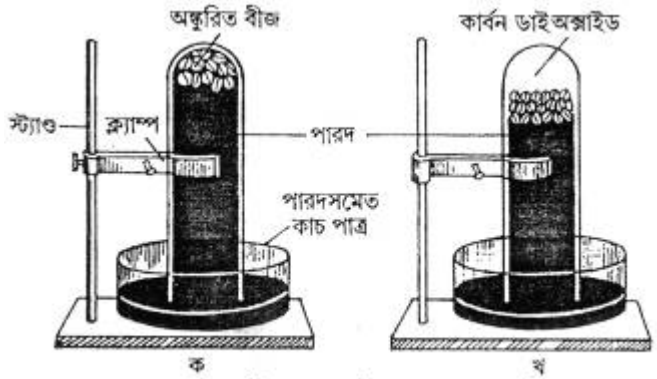
	প্রধান শব্দ	টেস্টটিউব, পারদ, সিক্ত ছোলাবীজ, কস্টিক পটাশ

পরীক্ষণের নাম : অবাত শ্বসনের পরীক্ষা।

প্রয়োজনীয় উপকরণ : একটি টেস্টটিউব, একটি ছোট বিকার, ক্ল্যাম্পসহ একটি স্ট্যান্ড, পারদ, কিছু সিক্ত ছোলাবীজ, কস্টিক পটাশ টুকরা, চিমটা ইত্যাদি।

কর্ম পদ্ধতি : কাজের শুরুতে বিকারের অর্ধেক পরিমাণ পারদ পূর্ণ করে নিন। পরে টেস্টটিউবটি সম্পূর্ণভাবে পারদ পূর্ণ করে এর মুখ হাতের বুড়ো আঙ্গুল দিয়ে চেপে ধরে বিকারে উপুড় করে রাখুন। এরপর টেস্টটিউবটি স্ট্যান্ডের সাথে ক্ল্যাম্প দিয়ে এমনভাবে আটকাতে হবে যেন টেস্টটিউবের মুখ বিকারের তল স্পর্শ না করে অথচ পারদের মধ্যে ডুবানো থাকে। এরপর কিছু খোসা ছড়ানো অঙ্কুরিত ছোলাবীজ চিমটা দিয়ে ধরে খুব সাবধানতার সহিত একটি একটি করে পারদের ভেতর প্রবেশ করাতে হবে। এর ফলে টেস্টটিউবে বীজগুলো পারদের উপরে চলে আসবে।

পর্যবেক্ষণ : কিছুক্ষণ পরে দেখা যাবে টেস্টটিউবে পারদের উপরিতল ধীরে ধীরে নিচে নেমে আসছে।



অবাত শ্বসনের পরীক্ষা ক. প্রাথমিক অবস্থা খ. পরবর্তি অবস্থা

চিত্র ১১.১৫ : অবায়বীয় শ্বসনে CO_2 গ্যাস নির্গত হওয়ার পরীক্ষা

বিশ্লেষণ : টেস্টটিউবে পারদের উপরিতল নিচে নেমে আসছে কেন ? কারণ উক্ত সময়ে কোন একটি গ্যাস সৃষ্টি হয়ে টেস্টটিউবে জমা হয়েছে এবং ঐ গ্যাসের চাপে পারদের তল নিচে নেমে আসছে। গ্যাসটি কি তা জানার জন্য এবার এক

টুকরা কস্টিক পটাশ টেস্টটিউবে ঢুকিয়ে দিতে হবে। দেখা গেল টেস্টটিউবটি পুনরায় পারদ পূর্ণ হয়েছে। কারণ কস্টিক পটাশ টুকরা গ্যাসটি শোষণ করে নিয়েছে।

সিদ্ধান্তঃ আমরা জানি, কস্টিক পটাশ CO_2 শোষণ করে। কাজেই ছোলা বীজে শ্বসন ক্রিয়া অব্যাহত থাকায় CO_2 উৎপন্ন হয়েছিল। পারদের ভেতর বাতাস থাকতে পারে না। তাই শ্বসন ক্রিয়া বাতাসমুক্ত অবস্থায় চলছিল । অর্থাৎ এটি ছিল অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া।

শিক্ষার্থীর কাজ	নিচের ছকে অবাত শ্বসনের পরীক্ষার প্রয়োজনীয় উপকরণগুলোর নাম লিখুন				

সারসংক্ষেপ

অবাত শ্বসন প্রক্রিয়া বায়ু বা অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে ঘটে এবং কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন হয়। এটি জানার জন্য ছোলা বীজগুলোকে এমনভাবে ব্যবহার করতে হবে যাতে এটি বায়ুহীন অবস্থায় থাকে। এ পরীক্ষায় ছোলাবীজের মধ্যে পারদ ব্যবহার করা হয়েছে যা বায়ু অপসারণ করে। তারপরও দেখা গেছে ছোলা বীজগুলো কার্বন ডাইঅক্সাইড উৎপন্ন করে। সুতরাং অবায়বীয় প্রক্রিয়ায় বীজগুলো উক্ত গ্যাসটি উৎপন্ন করেছে।

পাঠোত্তর মূল্যায়ন-১১.১৫

সঠিক উত্তরের পাশে টিক (√) চিহ্ন দিন।

১। অবাত শ্বসনের পরীক্ষায় বিকারে কোন তরল ব্যবহার করা হয়েছে?

(ক) পানি (খ) পারদ (গ) মাছের তেল (ঘ) কেরোসিন

২। কস্টিক পটাশ কোন গ্যাস শ্বসন করে?

(ক) অক্সিজেন (খ) কার্বন ডাইঅক্সাইড (গ) হিলিয়াম (ঘ) নাইট্রোজেন

চূড়ান্তমূল্যায়ন

সৃজনশীল প্রশ্ন-১

নিচের চিত্রটি লক্ষ করুন এবং প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন

(ক) লেন্টিসেল কী ?

(খ) সক্রিয় পরিশোষণ বলতে কী বোঝেন ?

(গ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত X অংশের গঠন বর্ণনা করুন।

(ঘ) উদ্দীপকে প্রদর্শিত X অংশের খোলা ও বন্ধ হওয়ার কৌশল বর্ণনা করুন।

সৃজনশীল প্রশ্ন-২

নিচের সমীকরণটি লক্ষ করুন এবং নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন-

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

(ক) ফটোফসফোরাইলেশন কী ?

(খ) C_3 এবং C_4 চক্রের মধ্যে পার্থক্য লিখুন।

(গ) উদ্দীপকের প্রক্রিয়ার আলোক পর্যায়ে যেটিতে $NADPH^+ + H^+$ তৈরি হয় তা চিত্রের মাধ্যমে উপস্থাপন করুন।

(ঘ) উদ্দীপকের প্রক্রিয়াটিতে O_2 এর উৎস পানি বিশ্লেষণ করুন।

সৃজনশীল প্রশ্ন-৩

নিচের উদ্দীপকটি লক্ষ করুন এবং নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলোর উত্তর দিন

শিক্ষক একদিন ক্লাসে পাঠদানকালে বললেন অবাত শ্বসনে ইথানল উৎপাদিত হতে পারে যা শিল্পক্ষেত্রে অত্যন্তগুরুত্বপূর্ণ।

(ক) পানির ফটোলাইসিস কী ?

(খ) গ্লাইকোলাইসিসকে সবাত ও অবাত উভয় প্রকার শ্বসনের প্রথম ধাপ বলা হয় কেন ?

(গ) উদ্দীপকের প্রক্রিয়াটির বিক্রিয়া লিখে ব্যাখ্যা করুন।

(ঘ) শিক্ষকের বক্তব্য অনুযায়ী প্রক্রিয়াটির গুরুত্ব আলোচনা করুন।

উত্তরমালা

পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১ : ১। খ ২। গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.২ : ১। ক ২। ঘ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৩ : ১। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৪ : ১। ক ২। ঘ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৫ : ১। ক ২। ঘ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৬ : ১। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৭ : ১। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৮ : ১। খ ২। ক ৩। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.৯ : ১। ক ২। ঘ ৩। গ ৪। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১০ : ১। খ ২। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১২ : ১। খ ২। ক ৩। ক ৪। গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১৩ : ১। খ ২। ক ৩। ক ৪। গ
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১৪ : ১। খ ২। ক
পাঠোত্তর মূল্যায়ন- ১১.১৫ : ১। খ ২। খ