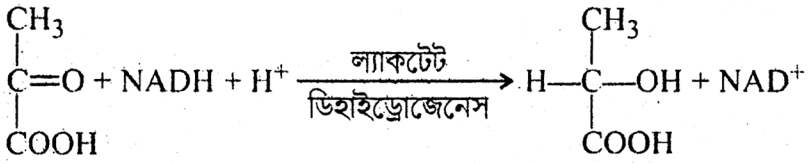
হয়। O_2-এর অনুপস্থিতিতে কোষের সাইটোপ্লাজমে পাইরুভিক অম্ল অবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায় সরাসরি ল্যাকটিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। ল্যাকটেট ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচকটি পাইরুভিক অম্লতে $NADH + H^+$ দিয়ে বিজারিত করে ল্যাকটিক অম্ল উৎপন্ন করে।



পাইরুভিক অম্ল ল্যাকটিক অম্ল

এই ল্যাকটিক অম্ল কোষে বিষক্রিয়ার সৃষ্টি করে যেমন পেশিকোষের অতিরিক্ত ক্রিয়ার ফলে যখন O_2-এর ঘাটতি দেখা যায় তখন এই কোষগুলি অবাত শ্বসনের মাধ্যমে যে ল্যাকটিক অম্ল উৎপন্ন করে তা পেশিকোষে সঞ্চিত হয় এবং এর বিষক্রিয়ায় পেশির ক্লান্তি দেখা যায়। অবাত শ্বসনকারী কোষসমূহ আবার স্বাভাবিক পরিমাণে O_2 পেলে সবাত শ্বসন শুরু করে এবং কোষ থেকে ধীরে ধীরে বিষাক্ত ল্যাকটিক অম্ল অপসারিত হয়।

11.3.2 সন্ধান প্রক্রিয়া (Fermentation)

কিছু ব্যাক্টেরিয়া, ঈস্ট নামক ছত্রাক অবাত পরিবেশে গ্লুকোজ জাতীয় খাদ্যবস্তুকে আংশিকভাবে জারিত করে অ্যালকোহল অথবা বিভিন্ন প্রকৃতির জৈব অম্ল গঠন করে—এই প্রক্রিয়াকে সন্ধান বা ফারমেনটেশন বলে। উৎপাদিত পদার্থের উপর নির্ভর করে সন্ধান প্রক্রিয়াকে বিভিন্ন শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। যেমন—অ্যালকোহল সন্ধান, ল্যাকটিক অম্ল সন্ধান, বিউটিরিক অম্ল সন্ধান প্রভৃতি। ঈস্ট নামক ছত্রাকটি যে অ্যালকোহল সন্ধান ঘটায় উদ্ভিদজগতে সেই প্রক্রিয়াটিই সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। বুকনার (Buchner, 1897) ঈস্টের এই সন্ধান প্রক্রিয়া আবিষ্কার করেন।

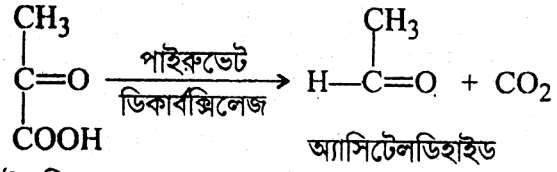
তালিকা 11.1 : বিভিন্ন সন্ধানকারী অণুজীবের নাম ও উৎপাদিত জৈব যৌগ

অণুজীবের নাম	উৎপাদিত জৈব যৌগ
(i) *Saccharomyces cerevisiae*	ইথাইল অ্যালকোহল
(ii) *Bacillus* sp., *Lactobacillus* sp.	ল্যাকটিক অম্ল
(iii) *Propionibacterium* sp.	প্রোপিয়োনিক অম্ল
(iv) *Clostridium* sp	বিউটিরিক অম্ল
(v) *Escherichia coli*	অ্যাসিটিক অম্ল, ল্যাকটিক অম্ল, ফরমিক অম্ল

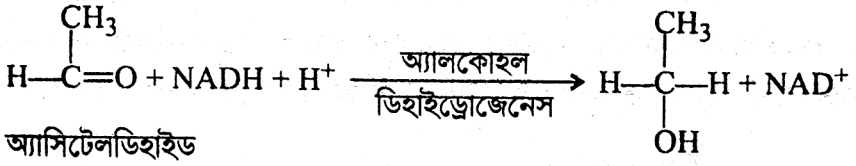
অ্যালকোলহন সন্ধানের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27\ kcal$$

অবাত শ্বসনের মতন সন্ধান প্রক্রিয়াতেও প্রথমে গ্লাইকোলাইসিসের সাধারণ পর্যায়টি সম্পন্ন হয়। উৎপাদিত পাইরুভিক অম্ল নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে ঈস্টে ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন করে :

(i)


পাইরুভিক অম্ল অ্যাসিটেলডিহাইড

(ii)


অ্যাসিটেলডিহাইড ইথাইল অ্যালকোহল

যে সন্ধান প্রক্রিয়ায় কেবলমাত্র ল্যাকটিক অম্ল উৎপন্ন হয় তাকে হোমোল্যাকটিক সন্ধান বলে এবং যে পদ্ধতিতে ল্যাকটি অম্ল ছাড়াও অন্যান্য জৈব অম্ল বা অ্যালকোহল উৎপন্ন হয় তাকে হেটারোল্যাকটিক সন্ধান বলে। *Lactobacillus* এবং *Leuconostoc* ব্যাক্টেরিয়ায় যথাক্রমে হোমোল্যাকটিক ও হেটারোল্যাকটিক সন্ধান প্রক্রিয়া দেখা যায়।

অবাত শ্বসন ও কোহল সন্ধান উভয় প্রক্রিয়াই O_2-এর অনুপস্থিতিতে সম্পাদিত হলেও এদের মধ্যে নিম্নলিখিত পার্থক্যগুলি উল্লেখযোগ্য :

(i) অবাত শ্বসন সচরাচর উন্নত শ্রেণীর জীবে হয় কিন্তু সন্ধান প্রক্রিয়া ছত্রাক, ব্যাক্টেরিয়া প্রভৃতি নিম্নশ্রেণীর জীবে লক্ষ করা যায়।

(ii) O_2-এর উপস্থিতিতে অবাত শ্বসনকারী জীব সবাত শ্বসন শুরু করে নিম্ন সন্ধান প্রক্রিয়াটি O_2 নিরপেক্ষ অর্থাৎ O_2-এর উপস্থিতিতেও সন্ধান প্রক্রিয়া চলতে থাকে।

(iii) অবাত শ্বসনের ফলে উৎপাদিত ল্যাকটিক অম্ল কোষে সঞ্চিত হবার ফলে কোষে বিষক্রিয়া লক্ষ্য করা যায় (যেমন—পেশিতে ল্যাকটিক অম্ল সঞ্চয়ের ফলে পেশির ক্লান্তি বা muscular fatigue) কিন্তু সন্ধান প্রক্রিয়ায় অ্যালকোহল, ল্যাকটিক অম্ল, বিউটারিক অম্ল প্রভৃতি উৎপাদিত যৌগ কোষের বাইরে নির্গত হওয়ায় কোষে কোনো বিষক্রিয়া দেখা যায় না। এছাড়া সন্ধান প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন যৌগগুলিকে আমরা শিল্পজাত পদার্থরূপে ব্যবহার করতে পারি যা অবাত শ্বসনের ক্ষেত্রে সম্ভব নয়।

11.3.3 সবাত শ্বসন

অক্সিজেনের উপস্থিতিতে গ্লুকোজ জাতীয় শর্করা সম্পূর্ণভাবে জারিত হয়ে যে শ্বসন সম্পন্ন করে তাকে সবাত শ্বসন বলে। সবাত শ্বসন প্রক্রিয়াটি গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। গ্লাইকোলাইসিস কোষের সাইটোপ্লাজমে ও ক্রেবস চক্র মাইটোকন্ড্রিয়ায় অনুষ্ঠিত হয়।

সবাত শ্বসনের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

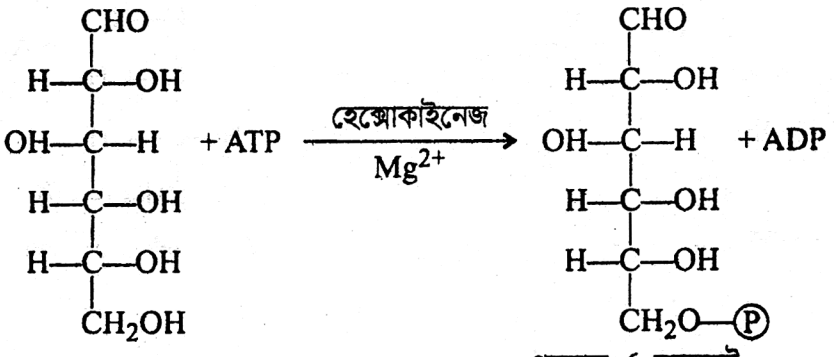
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673\ kcal$$

এই প্রক্রিয়ায় গ্লুকোজ অণু সম্পূর্ণভাবে জারিত হয় বলে অবাত শ্বসন বা সন্ধান প্রক্রিয়ার চেয়ে অনেক বেশি শক্তি নির্গত হয়।

11.4 গ্লাইকোলাইসিস

কোষের সাইটোপ্লাজমে যে উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে গ্লুকোজ বা ফ্রাকটোজ জাতীয় ছয় কার্বনযুক্ত শর্করা অক্সিজেন নিরপেক্ষ প্রক্রিয়ায় বিশ্লিষ্ট হয়ে দুই অণু তিন কার্বনযুক্ত পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে তাকে গ্লাইকোলাইসিস বলে। এই পদ্ধতির আবিষ্কর্তা Embden, Meyerhof ও Parnas-এর নামের আদ্যক্ষর অনুসারে একে EMP পথও বলা হয়। গ্লুকোজ থেকে পাইরুভিক অম্ল উৎপাদনের পর্যায়গুলি নিম্নরূপ :

1. প্রথম পর্যায়ে গ্লুকোজ অণু একটি ATP অণুর সাথে যুক্ত হয়ে গ্লুকোজ-6-ফসফেট ও ADP উৎপন্ন করে। হেক্সোকাইনেজ উৎসেচকটি এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।

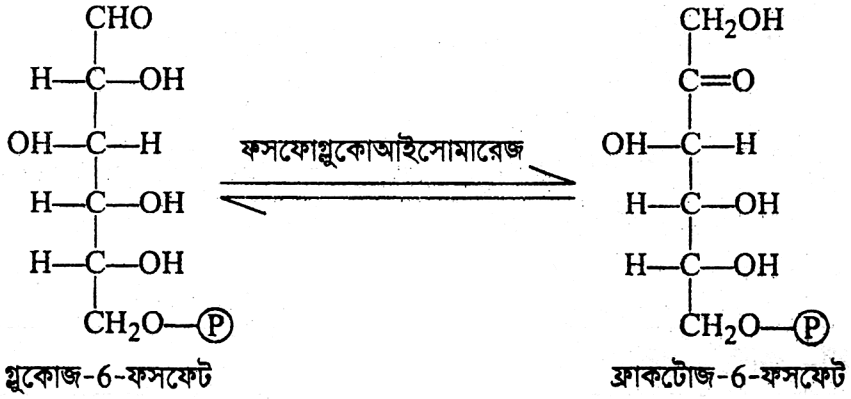


গ্লুকোজ

গ্লুকোজ-6-ফসফেট

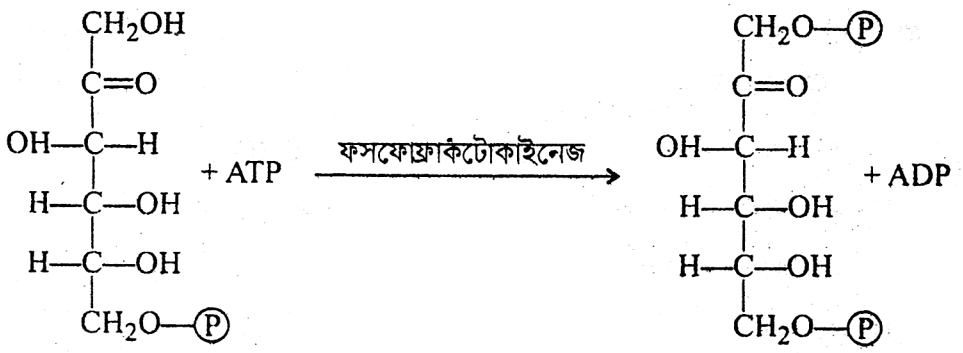
$[P = H_2PO_3]$

2. পরবর্তী পর্যায়ে গ্লুকোজ-6-ফসফেট, ফসফোগ্লুকোআইসে,ামারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে ফ্রাকটোজ-6-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ায় গ্লুকোজের অ্যালডোজ মূলক ফ্রাকটোজের কিটো মূলকে রূপান্তরিত হয়।



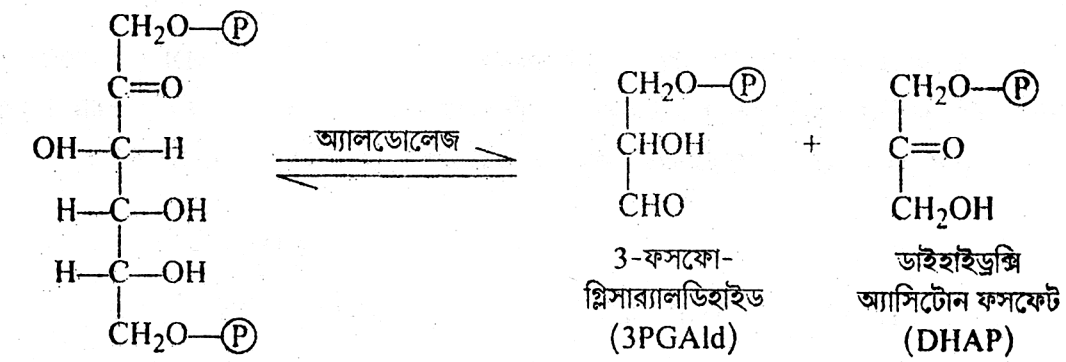
গ্লুকোজ-6-ফসফেট ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট

3. তৃতীয় পর্যায়ে ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট পুনরায় এক অণু ATP-এর সাথে যুক্ত হয়ে ফ্রাকটোজ-1-6-বিসফসফেট গঠন করে। ফসফোফ্রাকটোকাইনেজ এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। এই পর্যায়ে ATP থেকে প্রাপ্ত ফসফেট অণুটি ফ্রাকটোজের প্রথম কার্বনের সাথে যুক্ত হয়।



ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট ফ্রাকটোজ-1-6-বিসফসফেট

4. গ্লাইকোলাইসিসের এই পর্যায়ে ফ্রাকটোজ-1, 6-বিসফসফেট (6C) অ্যালডোলেজ উৎসেচকের মাধ্যমে বিশ্লিষ্ট হয়ে দুটি তিন কার্বনযুক্ত যৌগ তৈরি করে। এই যৌগ দু'টির একটি 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড নামক অ্যালডোজ শর্করা ও অপরটি ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট নামক কিটো শর্করা।



ফ্রাকটোজ-1,6-বিসফসফেট

3-ফসফো-গ্লিসার‍্যালডিহাইড (3PGAld)

ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট (DHAP)

5. এই ধাপটিতে 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট নিজেদের মধ্যে রূপান্তরিত হয়। ফসফোট্রায়োজ আইসোমারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে এই রূপান্তর ঘটে।

$$\text{3PGAld} \underset{\text{আইসোমারেজ}}{\overset{\text{ফসফোট্রায়োজ}}{\rightleftharpoons}} \text{DHAP}$$

গ্লাইকোলাইসিসের পরবর্তী পর্যায়গুলি 3PGAld থেকে সম্পন্ন হয়। একটি বিষয় মনে রাখা দরকার যে এক অণু গ্লুকোজ (6C) থেকে দু'অণু 3PGAld (3C) উৎপন্ন হয়। কাজেই 3PGAld থেকে পরবর্তী পর্যায়ে যে যৌগগুলি উৎপন্ন হবে এক অণু গ্লুকোজ থেকে হিসাব করলে তাদের পরিমাণ সর্বদাই দ্বিগুণ হবে।

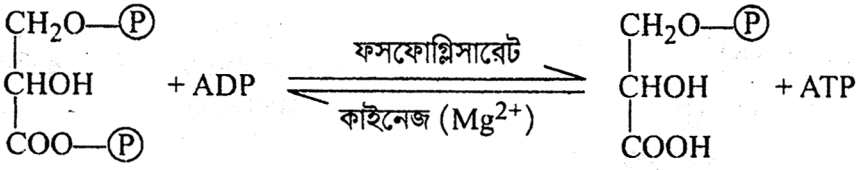
6. গ্লাইকোলাইসিসের এই পর্যায়টি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ কারণ এখানে প্রথম জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হয় এবং একটি উচ্চশক্তিবিশিষ্ট ফসফেট যৌগ উৎপন্ন হয়। গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচকটি NAD^+-র সহায়তায় এই বিক্রিয়া ঘটায়।

3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড + NAD^+ + H_3PO_4

$\rightleftharpoons$ 1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল + NADH + H^+

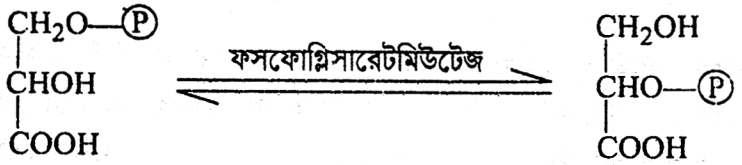
এই বিক্রিয়াটি দুটি পর্বে ঘটে। প্রথমে 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারিত হয়ে 3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল তৈরি করে। এর পরের পর্বে এই জারণ প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত শক্তির কিছুটা অংশের সাহায্যে এক অণু H_3PO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে উচ্চশক্তিসম্পন্ন 1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল প্রস্তুত হয়।

7. গ্লাইকোলাইসিসের পরবর্তী পর্যায়ে, 1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল এক অণু ADP-এর সাথে যুক্ত হয়ে একটি ফসফেট ত্যাগ করে 3-ফসফোগ্লিসারিক অম্লে রূপান্তরিত হয় এবং এই বিক্রিয়ায় 1 অণু ATP উৎপন্ন হয়। ফসফোগ্লিসারেট কাইনেজ উৎসেচকটি এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।



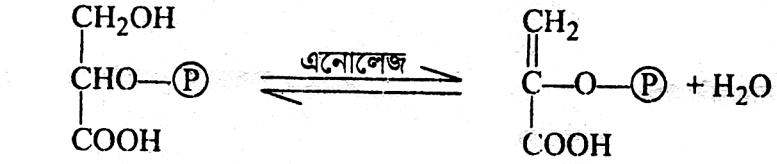
1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল　　3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

8. এই পর্যায়ে 3-ফসফোগ্লিসারিক অম্লে উপস্থিত তৃতীয় কার্বনের ফসফেট অণুটি দ্বিতীয় কার্বনে স্থানান্তরিত হয়ে 2-ফসফোগ্লিসারিক অম্লে পরিণত হয়। ফসফোগ্লিসারোমিউটেজ উৎসেচক এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।



3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল　　2-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

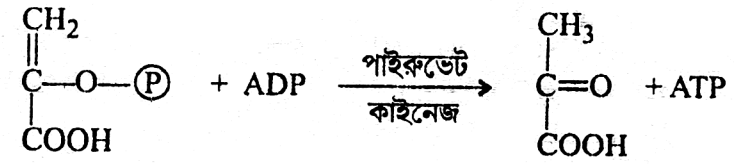
9. এনোলেজ উৎসেচকটি 2-ফসফোগ্লিসারিক অম্লকে নিরুদিত করে ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে।



2-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল

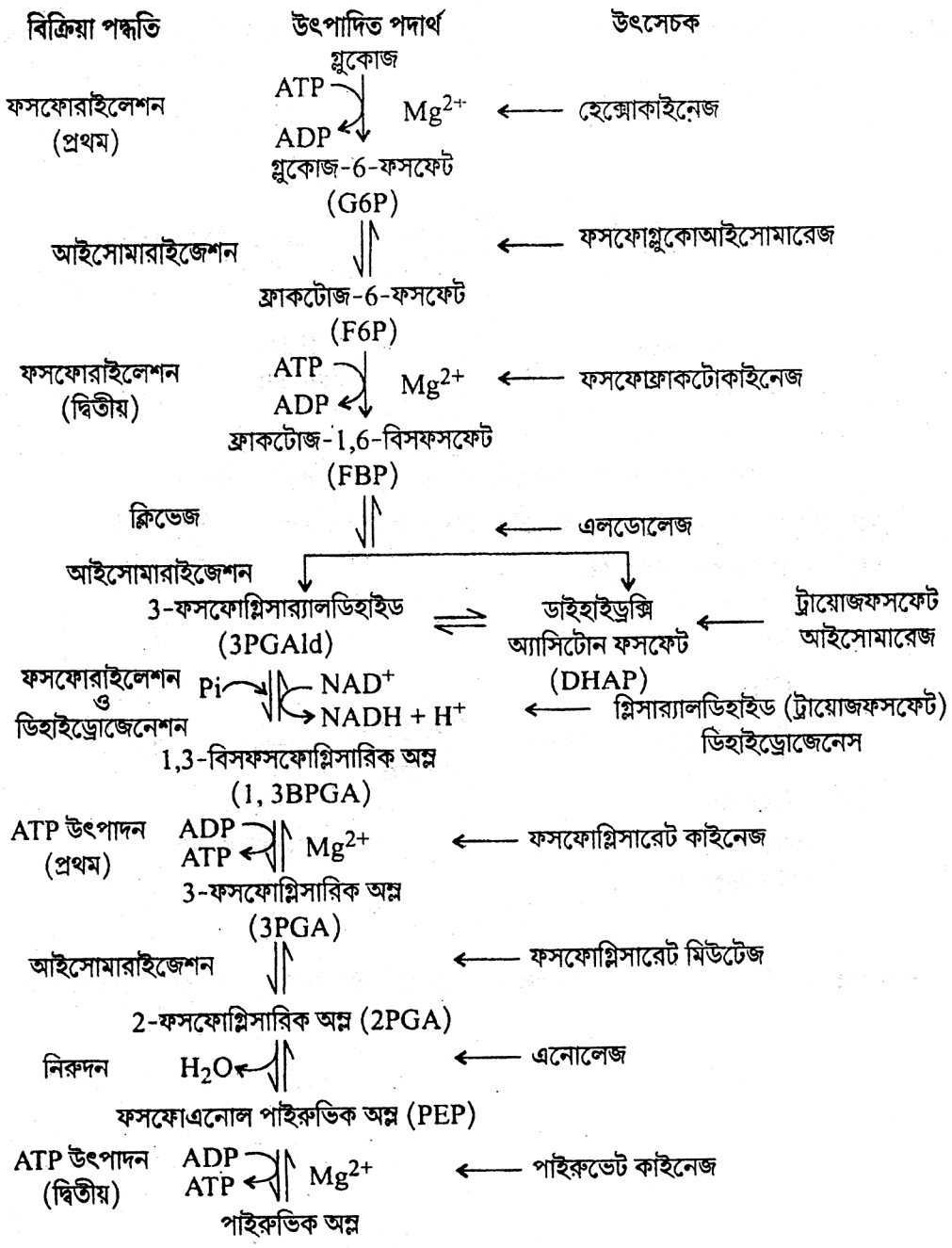
10. গ্লাইকোলাইসিসের চূড়ান্ত পর্যায়ে পাইরুভেট কাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল, এক অণু ADP-কে তার ফসফেসটি প্রদান করে পাইরুভিক অম্লে রূপান্তরিত হয় এবং ADP অণুটি ATP-তে রূপান্তরিত হয়।



ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল

পাইরুভিক অম্ল

এইভাবে গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে এক অণু গ্লুকোজ বিশ্লিষ্ট হয়ে দুই অণু তিন কার্বনযুক্ত পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে।



চিত্র 11.1 : গ্লাইকোলাইসিসের ধারাবাহিক চিত্র

প্রশ্নাবলী :

1. সঠিক উত্তরের নীচে (✓) দাগ দিন :

(ক) হেটারোল্যাকটিক সন্ধানে উৎপন্ন হয়

(i) ইথাইল অ্যালকোহল

(ii) ল্যাকটিক অম্ল

(iii) ল্যাকটিক অম্ল ও অন্যান্য জৈব যৌগ

(খ) সবচেয়ে বেশি শক্তি নির্গত হয়

(i) অবাত শ্বসনে

(ii) কোহল সন্ধানে

(iii) সবাত শ্বসনে

(গ) ইথাইল অ্যালকোহল উৎপাদনকারী ঈস্ট একটি

(i) ছত্রাক

(ii) ভাইরাস

(iii) শৈবাল

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) _____ উৎসেচকটি গ্লাইকোলাইসিসের প্রথম উৎসেচক।

(খ) এক অণু গ্লুকোজ থেকে _____ অণু পাইরুভিক অম্ল সৃষ্টি হয়।

(গ) 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড ও _____ পরস্পর আইসোমার।

3. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(ক) সবাত শ্বসনের দুটি অত্যাবশ্যক পর্যায় কী কী?

(খ) অবাত শ্বসন কেন ক্ষতিকর প্রক্রিয়া?

(গ) গ্লাইকোলাইসিসের চূড়ান্ত পর্যায়ে কোন্ উইৎসেচক কার্যকরী হয়?

11.5 ক্রেবসের অম্ল চক্র

সবাত শ্বসন সম্পাদিত করার জন্য পাইরুভিক অম্লকে মাইটোকন্ড্রিয়ায় আসতে হয়। পাইরুভিক অম্ল কিন্তু সরাসরি মাইটোকন্ড্রিয়ায় এসে ক্রেবস চক্রে প্রবেশ করে না। প্রথমে এই অম্লটি একটি জটিল প্রক্রিয়ায় জারিত হয়ে এসিটাইল-কোএনজাইম A (Acetyl CoA) উৎপন্ন করে। নিম্নলিখিত পর্যায়ে এই বিক্রিয়া সম্পাদিত হয় :

(i) পাইরুভিক অম্ল + থায়ামিন পাইরোফসফেট (TPP) $\xrightarrow[\text{ডিহাইড্রোজেনেস}]{\text{পাইরুভেট}}$ হাইড্রোক্সিইথাইল-TPP + CO_2

(ii) হাইড্রোক্সিইথাইল-TPP + লাইপোএমাইড $\xrightarrow[\text{ট্র্যান্সঅ্যাসিটাইলেজ}]{\text{ডাইহাইড্রোলাইপোইল}}$ অ্যাসিটাইল-ডাইহাইড্রোলাইপোএমাইড + TPP

(iii) অ্যাসিটাইল ডাইহাইড্রোলাইপোএমাইড + CoA—SH $\xrightarrow[\text{ডিহাইড্রোজেনেস}]{\text{লাইপোলেট}}$ $CH_3CO—S—CoA$ (অ্যাসিটাইল-CoA) + বিজারিত লিপোইক অম্ল

এই পদ্ধতিতে যে অ্যাসটাইল CoA উৎপন্ন হয় তা মাইটোকন্ড্রিয়ায় ক্রেবস চক্র সম্পাদনের জন্য প্রবেশ করে। অপরদিকে বিজারিত লিপোইক অম্ল প্রথম পর্যায়ে FAD দ্বারা জারিত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে বিজারিত FAD ($FADH_2$) আবার NADকে বিজারিত করে নিজে পুনর্জারিত হয় এবং NAD বিজারিত হয়ে $NADH + H^+$ উৎপন্ন করে।

(iv) বিজারিত লিপোইক অম্ল + FAD $\longrightarrow$ লিপোইক অম্ল + $FADH_2$

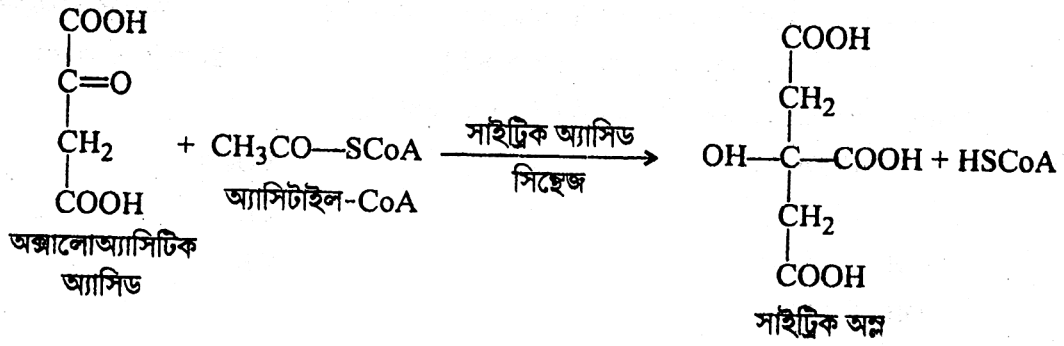
(v) $FADH_2 + NAD^+ \longrightarrow FAD + NADH + H^+$

এই কারণে আমরা বলতে পারি যে এই পর্যায়ে পাইরুভিক অম্ল অ্যাসিটাইল-CoA-তে রূপান্তরিত হবার সময় এক অণু $NADH + H^+$ উৎপন্ন হয়।

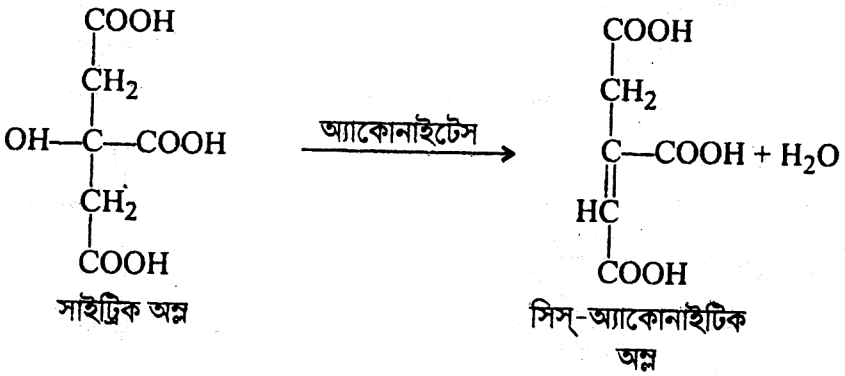
যে প্রক্রিয়ায় পাইরুভিক অম্ল অক্সিজেনের উপস্থিতিতে জারিত হয়ে চক্রাকার পদ্ধতিতে বিভিন্ন জৈব অম্ল সৃষ্টি করে তাকে ক্রেবস চক্র বলে। হ্যানস ক্রেবস (1937) এই চক্রাকার বিক্রিয়া পথটি আবিষ্কার করেন বলে একে ক্রেবস চক্র বলে। এই চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগ সাইট্রিক অম্ল বলে একে সাইট্রিক অম্ল চক্রও বলা হয়। আবার সাইট্রিক অম্ল জাতীয় যৌগগুলিতে তিনটি কার্বক্সিল বর্গ (–COOH) থাকায় একে ট্রাইকার্বক্সিলিক অম্ল চক্রও বলা হয়।

ক্রেবস চক্রের পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

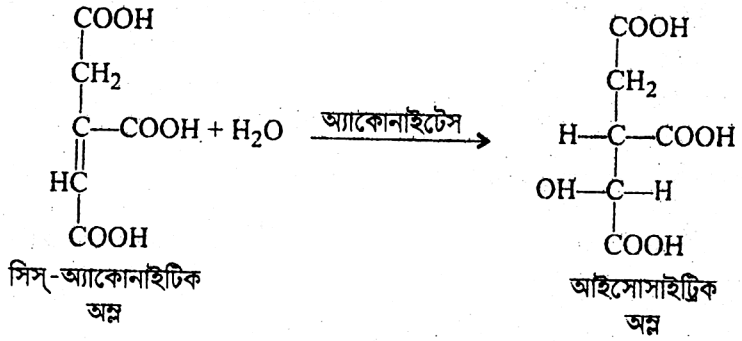
1. সর্বপ্রথম অ্যাসিটাইল-CoA যৌগটি অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্লের সাথে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অম্ল গঠন করে এবং HSCoA কে মুক্ত করে।



2. সাইট্রিক অম্ল এক অণু জল অপসারিত করে সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্লে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়াটি অ্যাকোনাইটেস উৎসেচকের মাধ্যমে হয়।



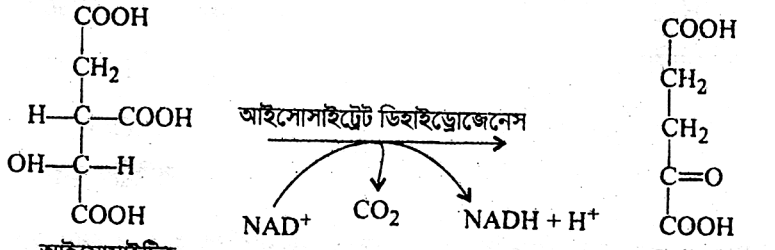
3. পরবর্তী পর্যায়ে সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল পুনরায় জল গ্রহণ করে আইসোসাইট্রিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়াটিও অ্যাকোনাইটেস উৎসেচক নিয়ন্ত্রণ করে।



সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল

আইসোসাইট্রিক অম্ল

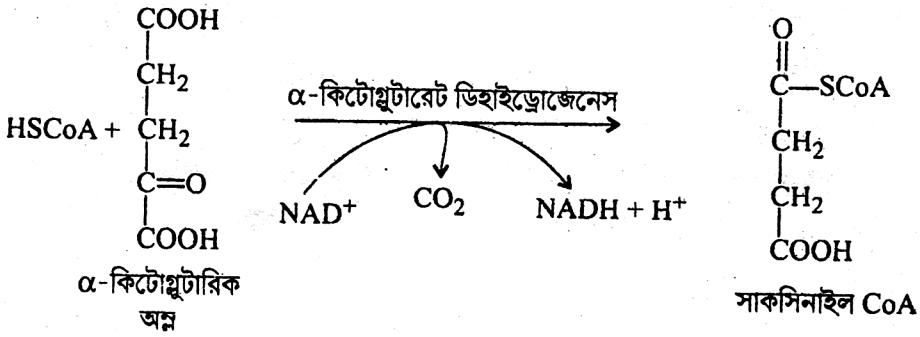
4. ক্রেবস চক্রের চতুর্থ পর্যায়ে আইসোসাইট্রিক অম্ল NAD^+ দ্বারা জারিত হয়। এই পর্যায়ে আইসোসাইট্রিক অম্ল থেকে এক অণু CO_2 নির্গত হয়। আইসোসাইট্রেট ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে এই বিক্রিয়া সম্পাদিত হয় এবং α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল উৎপন্ন হয়।



আইসোসাইট্রিক অম্ল

α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল

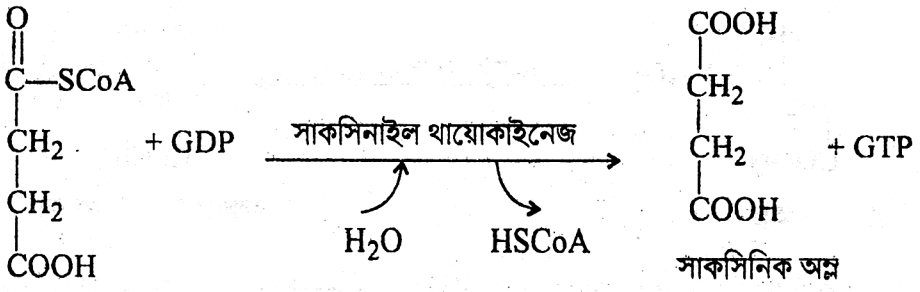
5. α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল পুনরায় NAD^+ দ্বারা জারিত হয়। এই পর্যায়ে ঐ অম্লের সাথে কোএনজাইম A(HSCoA) যুক্ত হয় ও এক অণু CO_2 নির্গত হয়। α-কিটোগ্লুয়ারেট এই বিক্রিয়ার মাধ্যমে সাকসিনাইল CoA-তে রূপান্তরিত হয়। α-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেস এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।



α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল

সাকসিনাইল CoA

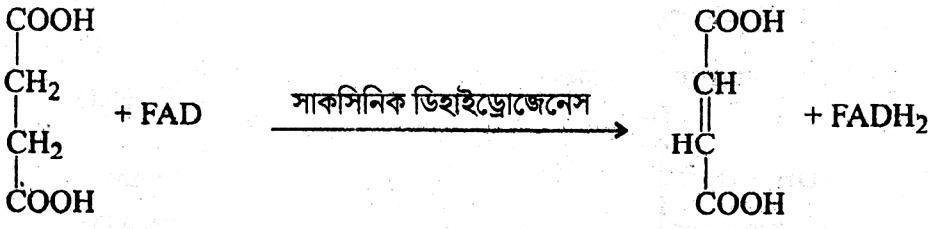
6. পরবর্তী পর্যায়ে সাকসিনাইল-CoA এক অণু GDP-কে GTP-তে রূপান্তরিত করে এবং HSCoA মুক্ত করে সাকসিনিক অম্লে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন GTP আবার ADP অণুর সাথে যুক্ত হয় ATP উৎপন্ন করে। সাকসিনাইল থায়োকাইনেজ এই বিক্রিয়াকে পরিচালিত করে।



সাকসিনাইল CoA

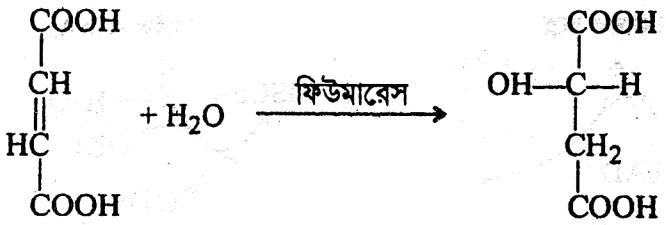
$$GTP + ADP \longrightarrow GDP + ATP$$

7. সাকসিনিক অম্ল FAD দ্বারা জারিত হয়ে ফিউমারিক অম্লে রূপান্তরত হয়। এই বিক্রিয়া সাকসিনাইল ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।



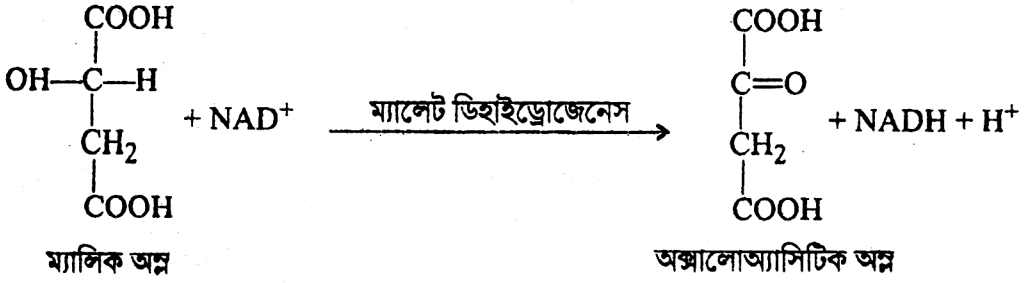
সাকসিনিক অম্ল ফিউমারিক অম্ল

8. ফিউমারিক অম্ল এক অণু জলের সাথে যুক্ত হয়ে ম্যালিক অম্লে পরিণত হয়। ফিউমারেস উৎসেচকের মাধ্যমে এই বিক্রিয়া সম্পাদিত হয়।

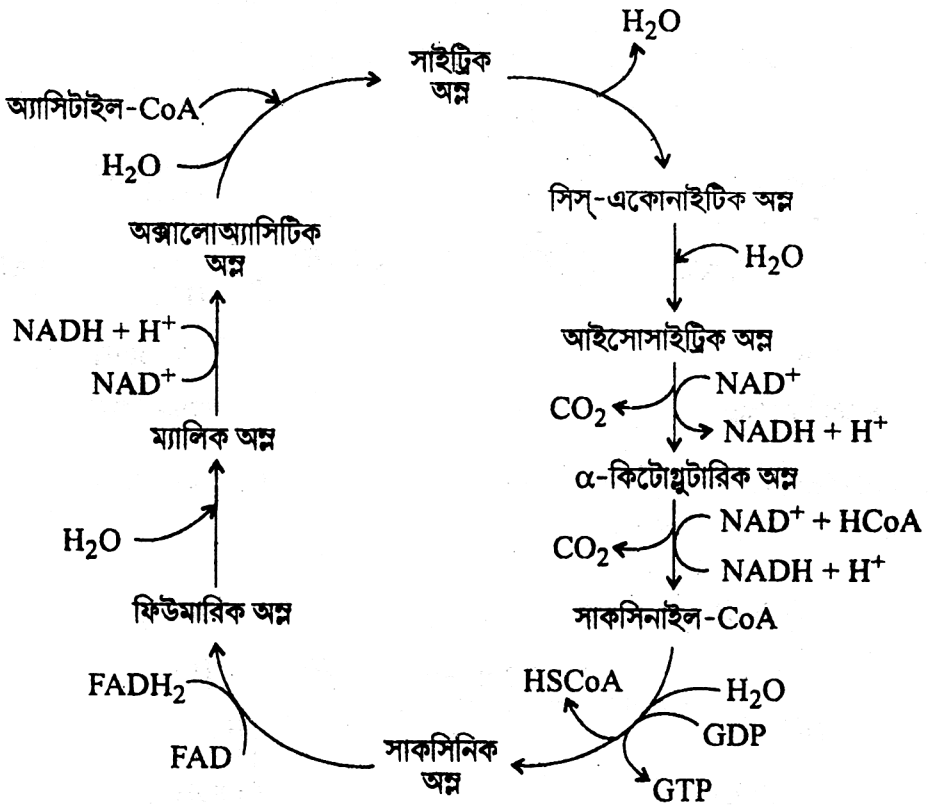


ফিউমারিক অম্ল ম্যালিক অম্ল

9. ক্রেবসের চক্রের পরবর্তী পর্যায়ে ম্যালিক অম্ল NAD^+ দ্বারা জারিত হয়ে অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেস এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।



10. অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্ল পুনরায় অ্যাসিটাইল-CoA এর সাথে যুক্ত হয়ে আবার সাইট্রিক অম্ল গঠন করে। এইভাবে চক্রাকার পথে ক্রেবসের অম্ল চক্র সম্পাদিত হয়।



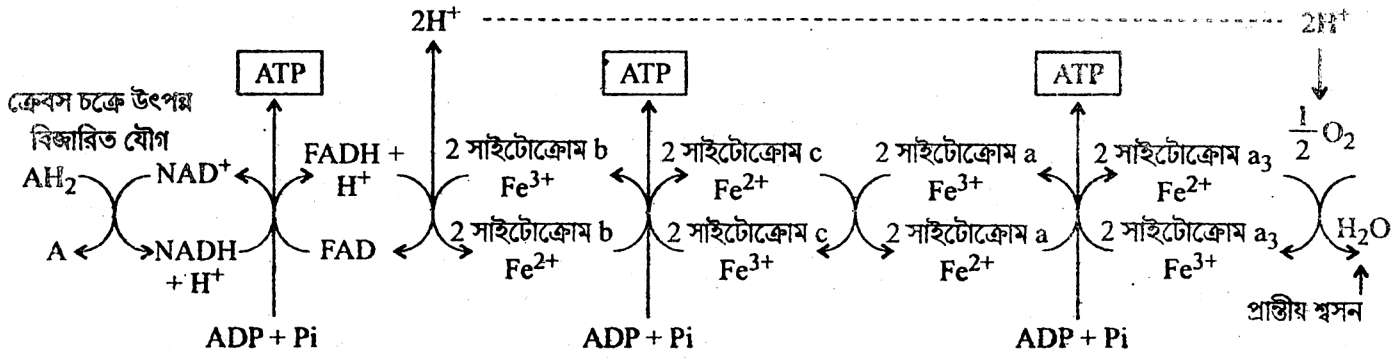
চিত্র 11.2 : ক্রেবসের অম্ল চক্র

11.6 ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্র

গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রকে ভালোভাবে লক্ষ করলে দেখা যাবে যে এই দুটি পর্যায়ে বিভিন্ন যৌগ জারিত হলেও কোনো ক্ষেত্রেই আণবিক O_2-এর প্রয়োজন হয় না। যে কোনো বিজারিত যৌগ (AH_2), NAD^+ বা FAD নামক সহউৎসেচক দিয়ে জারিত হয়। ফলস্বরূপ উক্ত সহউৎসেচকগুলি নিজেরা বিজারিত হয়ে $NADH + H^+$ বা $FADH_2$-তে পরিণত হয়। মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃআবরণীতে যে প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিজারিত সহউৎসেচকগুলি কতগুলি ইলেকট্রন বাহকের সাহায্যে নিজেরা জারিত হয় এবং উচ্চশক্তিসম্পন্ন ATP অণু উৎপাদন করে তাকে ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্র বলে। সাইটোক্রোম নামক কতগুলি লৌহঘটিত ক্রোমোপ্রোটিন ইলেকট্রন বাহকের কাজ করে। ইলেকট্রন পরিহবনতন্ত্রের (ETS) প্রধান বাহকগুলি হল সাইটোক্রোম b (cyt b), সাইটোক্রোম c (cyt c), সাইটোক্রোম a (cyt a) ও সাইটোক্রোম a_3 (cyt a_3)। প্রতিটি সাইটোক্রোমে উপস্থিত আয়রন পরমাণু, জারিত (Fe^{3+}) বা বিজারিত (Fe^{2+}) অবস্থায় থাকতে পারে। ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রে সাইটোক্রোমগুলি পরপর তাদের জারণ-বিজারণ ক্ষমতা (Redox potential) অনুসারে সজ্জিত থাকে। কোনো বিজারিত সহউৎসেচক থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে জারিত সাইটোক্রোম (Fe^{3+}) নিজেই বিজারিত হয় ও উক্ত সহ উৎসেচকটিকে জারিত করে। এই বিজারিত সাইটোক্রোম আবার তার ইলেকট্রন পরবর্তী সাইটোক্রোম অণুকে প্রদান করে নিজে জারিত হয় ও পরবর্তী সাইটোক্রোমকে বিজারিত করে। এইভাবে ETS-এ সজ্জিত সাইটোক্রোমগুলি পর্যায়ক্রমিকভাবে বিজারিত ও জারিত হতে থাকে এবং ইলেকট্রন এই বাহকগুলির মাধ্যমে নির্দিষ্ট পথে পরিবাহিত হয়। ETS-এ উপসিথত সর্বশেষ সাইটোক্রোমটি (cyt a_3 Fe^{2+}) বিজারিত হবার পর ইলেকট্রন ETS-এর প্রান্তভাগে এসে উপস্থিত হয়। $NADH + H^+$ অথবা $FADH_2$ থেকে নির্গত দু'টি H^+ আয়ন এই শেষ পর্যায়ে দুটি ইলেকট্রন (e^-) ও $\frac{1}{2}$ O_2-এর সাথে যুক্ত হয়ে H_2O গঠন করে। (পরের পাতায় চিত্র 11.3 দেখানো হল)।

ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রের সর্বশেষ পর্যায়ে O_2-এর উপস্থিতিতে এই জারণ প্রক্রিয়াকে প্রান্তীয় শ্বসন বলে। আর একটি বিষয় লক্ষণীয় যে ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রের প্রতিটি পর্যায়ে একজোড়া করে ইলেকট্রন পরিবাহিত হয় এবং প্রত্যেক ক্ষেত্রে দুটি করে সাইটোক্রোম অণু বিজারিত হয়।

ইলেকট্রন পরিবহনের মাধ্যমে ATP উৎপাদন একটি উল্লেখযোগ্য ঘটনা। $NADH+H^+$ জারিত হলে মোট তিন অণু ATP এবং $FADH_2$ জারিত হলে দুই অণু ATP উৎপন্ন হয়। মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃআবরণীতে O_2-এর উপস্থিতিতে এই ATP উৎপাদন প্রক্রিয়াকে জারকীয় ফসফোরাইলেশন (Oxidative Phosphorylation) বলে। বৈজ্ঞানিকেরা লক্ষ করেছেন যে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃআবরণীতে উপস্থিত F_0-F_1 নামক কণায় ATPase উৎসেচকের মাধ্যমে এই ফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয়।



চিত্র 11.3 : ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্র

দেখা গেছে যে বিভিন্ন লবণের উপস্থিতিতে শ্বসনের হার বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়। একে লবণ শ্বসন (salt respiration) বলে। উদ্ভিদের শ্বসনের সময় ডাইনাইট্রোফেনল যৌগ প্রয়োগ করলে এই যৌগ, শ্বসনজাত ATPকে ভেঙে দেয় ও ADP এবং Pi উৎপন্ন করে। এই ADS ও Pi আবার ETS-এ ব্যবহৃত হয়ে ATP গঠন করে এবং শ্বসনের হার বাড়িয়ে দেয়। তবে ডাইনাইট্রোফেনলের প্রভাবে ATP অণু বারবার বিশ্লিষ্ট হয় বলে, এর উপস্থিতিতে শ্বসনের হার অর্থাৎ O_2-এর ব্যবহার বাড়লেও ATP অণুর সংশ্লেষের হার বাড়ে না।

অপরদিকে, অলিগোমাইসিন নাম এন্টিবায়োটিক শ্বসন ও ATP উৎপাদন—উভয়েরই হার কমিয়ে দেয়।

এক অণু গ্লুকোজ থেকে যে পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত হয়, তার বেশ কিছু অংশের অপচয় ঘটে ও বাকি অংশ ATP-এর মধ্যে রাসায়নিক শক্তিরূপে আবদ্ধ হয়।

এক অণু গ্লুকোজ সবাত শ্বসনে শক্তি উৎপাদন করে 686 kcal. এক অণু গ্লুকোজ থেকে 36 অণু ATP উৎপন্ন হয়। এক অণু ATP থেকে আর্দ্র বিশ্লেষণের ফলে শক্তি উৎপাদিত হয় 7.3 kcal. সুতরাং 36 অণু ATP থেকে শক্তি উৎপাদিত হয় 262.8 kcal.

$$\therefore \text{শ্বসনের মূল কর্মক্ষমতা} = \frac{262.8}{686} \times 100 = 38\%$$

সবাত শ্বসনে ATP উৎপাদনের হিসাব :

আমরা ইতিমধ্যেই জানতে পেরেছি যে, শ্বসন প্রকিরয়ায় দুভাবে ATP উৎপন্ন হতে পারে।

1. সরাসরি ফসফোরাইলেশনের মাধ্যমে ADP ও Pi যুক্ত হয়ে ATP তৈরি হতে পারে।
2. বিজারিত NADP বা NAD যৌগ ETS-এ প্রবেশ করে তিন অণু ATP ও বিজারিত FAD দুই অণু ATP উৎপন্ন করে।

এবার আমরা দেখব গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রের সমন্বয়ে সবাত শ্বসনে মোট কত অণু ATP তৈরি হয়।

তালিকা 11.2 : গ্লাইকোলাইসিসে ATP আয়-ব্যয়ের হিসাব

বিক্রিয়ার পর্যায়	*ব্যবহৃত ATP*	*উৎপাদিত ATP*
1. গ্লুকোজ → গ্লুকোজ-6-ফসফেট	1	
2. ফ্রাইটোজ-6-ফসফেট → ফ্রাকটোজ-1,6-বিসফসফেট	1	
3. 1, 3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল → ফসফোগ্লিসারিক অম্ল		2
4. ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল → পাইরুভিক অম্ল		2
5. 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড → ফসফোগ্লিসারিক অম্ল (NADH + H^+ ETS-এ জারিত হয়ে)		2×2=4
	2	8

অতএব, গ্লাইকোলাইসিসে উৎপাদিত ATP-র সংখ্যা = 8 অণু

ব্যবহৃত ATP-র সংখ্যা = 2 অণু

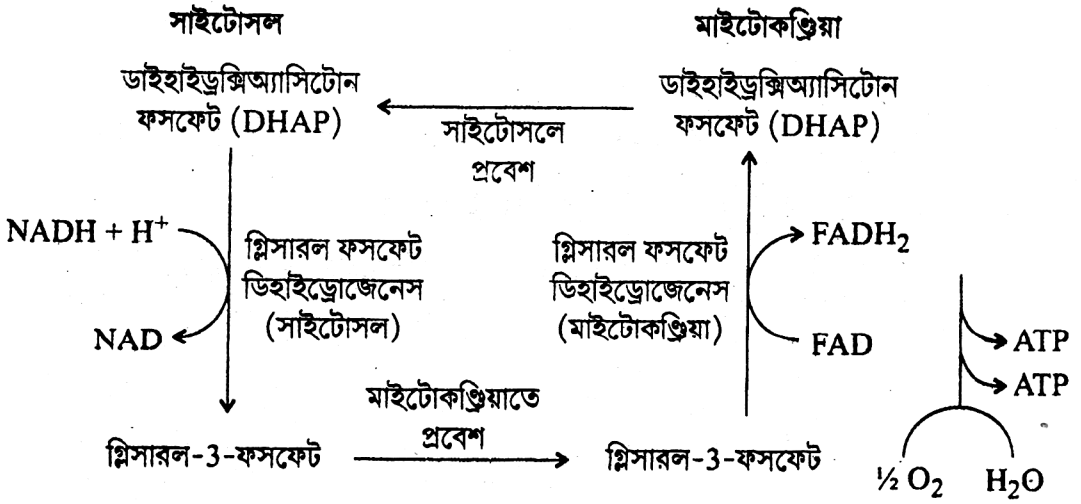
সুতরাং প্রকৃত ATP উৎপাদন (Net gain) = 8 – 2 = 6 অণু

তালিকা 11.3 : ক্রেবসের অম্ল চক্রের ATP উৎপাদনের হিসাব

	পর্যায়	ATP উৎপাদনের প্রক্রিয়া	উৎপাদিত ATP সংখ্যা
1.	পাইরুভিক অম্ল → অ্যাসিটাইল-CoA	$NADH+H^+$ উৎপাদনের মাধ্যমে	3
2.	আইসোসাইট্রিক অম্ল → α-কিটো গ্লুটারিক অম্ল	,,	3
3.	α কিটোগ্লুটারিক অম্ল → সাকসিনাইল-CoA	,,	3
4.	সাকসিনাইল-CoA → সাকসিনিক অম্ল	GTP উৎপাদনের মাধ্যমে	1
5.	সাকসিনিক অম্ল → ফিউমারিক অম্ল	$FADH_2$ উৎপাদনের মাধ্যমে	2
6.	ম্যালিক অম্ল → অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্ল	$NADH + H^+$ উৎপাদনের মাধ্যমে	3
		মোট উৎপাদিত ATP =	15 অণু

যেহেতু গ্লুকোজ থেকে 2 অণু পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন হয় এবং 1 অণু পাইরুভিক অম্ল ক্রেবস চক্রে 15 অণু ATP উৎপন্ন করে তাই গ্লুকোজ ক্রেবস চক্রে 15 × 2 = 30 অণু ATP তৈরি করে। সুতরাং 1 অণু গ্লুকোজ গ্লাইকোলাইসিসে (8 – 2) = 6 অণু ও ক্রেবস চক্রে 30 অণু অর্থাৎ মোট 36 অণু ATP উৎপন্ন করে।

ইলেকট্রন পরিবহনের মাধ্যমে NADH জারিত হয়ে NAD^+ তে পরিণত হওয়ার ফলে যে ATP উৎপন্ন হয়, তার সংখ্যায় একটা অসংগতি লক্ষ করা যায়। যখন NADH মাইটোকন্ড্রিয়ায় উৎপন্ন হয়, তখন এটি জারিত হয়ে তিনটি করে ATP প্রস্তুত করে। পক্ষান্তরে, সাইটোসলে উৎপন্ন NADH জারিত হওয়ার ফলে দুটি মাত্র NADH প্রস্তুত হয়। এর কারণ গ্লাইকোলাইসিসে 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারণের ফলে সাইটোপ্লাজমে উৎপন্ন NADH মাইটোকন্ড্রিয়াতে প্রবেশ করতে পারে না। মাইটোকন্ড্রিয়ার আববণী NADH এবং NAD-এর ক্ষেত্রে অভেদ্য (impermeable) হওয়ার ফলে এই সমস্যা দেখা দেয়। কাজেই এর সমাধানের জন্য NADH নিজে পরিবাহিত না হয়ে গ্লিসারল ফসফেট শাট্‌লের (Shuttle) মাধ্যমে দুটি ইলেকট্রন মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতর প্রবেশ করে এবং $FADH_2$ জারিত হওয়ার ফলে দুটি করে ATP উৎপন্ন হয়। নীচে গ্লিসারল ফসফেট শাট্‌ল দেখানো হল ঃ



প্রশ্নাবলী :

1. সঠিক উত্তরটির পাশে দাগ (✓) চিহ্ন দিন :

(ক) পাইরুভিক অম্ল ক্রেবস চক্রে প্রবেশ করার আগে

(i) সাইট্রিক অম্ল

(ii) অ্যাসিটাইল CoA

(iii) ম্যালিক অম্ল নামক যৌগে রূপান্তরিত হয়

(খ) NADH + H^+ ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রে জারিত হয়ে

(i) দুই অণু

(ii) চার অণু

(iii) তিন অণু ATP উৎপন্ন করে

(গ) ATP উৎপাদনের সাথে জড়িত উৎসেচকটি হল

(i) ডিহাইড্রোজেনেস

(ii) কাইনেজ

(iii) হাইড্রোলেজ

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) ফিউমারিক অম্লের সাথে এক অণু _____ যুক্ত হয়ে ম্যালিক অম্ল গঠিত হয়।

(খ) ক্রেবস চক্রে মোট _____ অণু ATP উৎপন্ন হয়।

(গ) ফসাকসিনিক অম্ল _____ দ্বারা জারিত হয়ে ফিউমারিক অম্লে পরিণত হয়।

3. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(ক) $FADH_2$ জারিত হয়ে কত অণু ATP সৃষ্টি করে?

(খ) এক অণু গ্লুকোজ জারিত হয়ে মোট কত অণু ATP উৎপন্ন করে?

(গ) সাইটোক্রোমের কোন্ পরমাণু জারণ-বিজারণ ক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে?

11.7 পেন্টোজ ফসফেট পথ

গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়া ছাড়াও আরও একটি পদ্ধতিতে গ্লুকোজ অণু বিশ্লিষ্ট হতে পারে। এই পথে গ্লুকোজ অণু গ্লাইকোলাইসিসের প্রথম পর্যায়ের মতনই গ্লুকোজ-6-ফসফেট গঠন করে। এই গ্লুকোজ-6-ফসফেট $NADP^+$ দ্বারা জারিত হয়ে 6-ফসফোগ্লুকোনিক অম্ল তৈরি করে। এই অম্লটি অনেকগুলি জটিল পর্যায়ের মাধ্যমে রাইবোজ-5-ফসফেট, রাইবুলোজ-5-ফসফেট, জাইলুলোজ-5-ফসফেট প্রভৃতি 5 কার্বনযুক্ত পেন্টোজ শর্করা

গঠন করে বলে একে পেন্টোজ ফসফেট পথ বলে। স্বাভাবিক গ্লাইকোলাইসিস থেকে বিচ্যুত এই পথটি হেক্সোজ মনোফসফেট শান্ট (Hexose monophosphate shunt) নামেও পরিচিত কারণ গ্লুকোজ অণু প্রথমে গ্লাইকোলাইসিসের মতন গ্লুকোজ-6-ফসভেট (একপ্রকার হেক্সোজ মনোফসফেট) তৈরি করলেও পরবর্তী পর্যায়গুলি গ্লাইকোলাইসিসের থেকে পৃথক হয়ে যায়। ভারবুর্গ (Warburg, 1935) ও ডিকেন্স (Dickens, 1938) এই পথের উপস্থিতি নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন।

পেন্টোজ ফসফেট পথের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপ :

1. এই পথের বিভিন্ন পর্যায়ে $NADP^+$ দিয়ে শর্করা অণুগুলি প্রত্যক্ষভাবে জারিত হয়।

2. এই ক্ষেত্রে অনেকগুলি পেন্টোজ শর্করা (5C) উৎপন্ন হয়।

3. দেখা গেছে যে 6 অণু গ্লুকোজ এই পথে প্রবেশ করলে 5 অণু গ্লুকোজ পুনরুৎপাদিত হয় এবং 1 অণু গ্লুকোজ জারিত হয়ে জল, CO_2 ও শক্তি নির্গত করে।

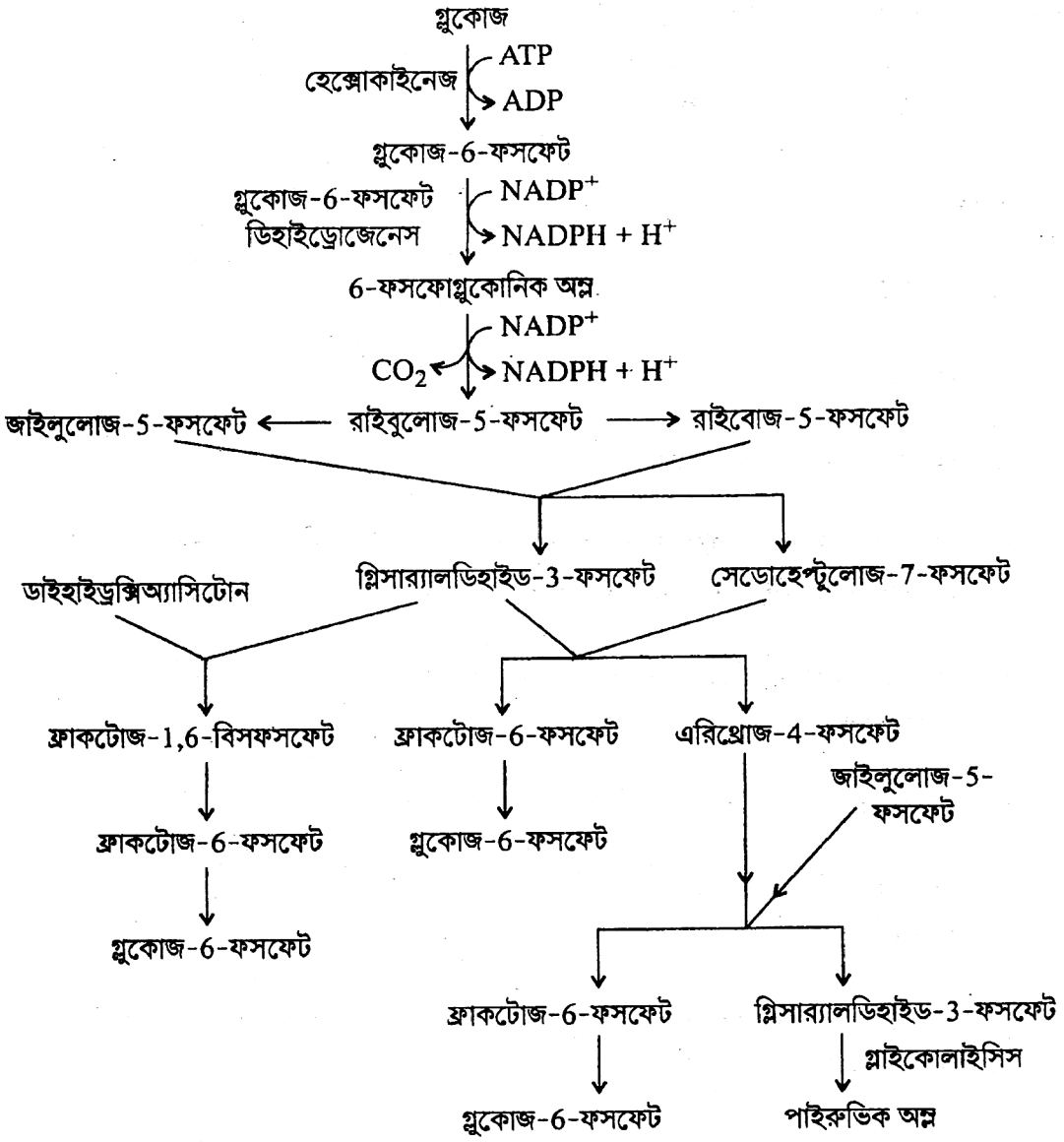
4. এই পথের মাধ্যমে রাইবোজ নামক যে 5C যুক্ত শর্করা উৎপন্ন হয় তা নিউক্লিক অম্ল উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

5. এই প্রক্রিয়ায় সাধারণত শক্তি সঞ্চিত হয়ে ATP উৎপন্ন হয় না।

6. প্রাণীদেহের পরিণত কোষে বিশেষত যকৃৎ ও অ্যাড্রিনাল কর্টেক্সে পেন্টোজ ফসফেট পথ বিশেষভাবে কার্যকরী।

7. এই চক্রের মাধ্যমে গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট উৎপন্ন যা গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে।

8. পেন্টোজ শর্করা ছাড়াও এই পথে 4C যুক্ত এরিথ্রোজ-4-ফসফেট, 7C যুক্ত সেডোহেপ্টুলোজ-7-ফসফেট প্রভৃতি উৎপন্ন হয়।



* বিভিন্ন শর্করাগুলির সংযুক্তি ও বিশ্লেষণ ট্রান্সকিটোলেজ উৎসেচকের মাধ্যমে হয়

চিত্র 11.4 : পেন্টোজ ফসফেট পথের বিভিন্ন পর্যায়

11.8 শ্বাস অনুপাত (Respiratory Quotient)

শ্বসন প্রক্রিয়ায় যে গ্লুকোজজাতীয় হেক্সোজ শর্করাই জারিত হয়, তা নয়, কোষে সঞ্চিত বিভিন্ন অম্ল, স্নেহপদার্থ প্রভৃতি যৌগও জারিত হতে পারে। খাদ্যবস্তুর রাসায়নিক গঠনের উপর ভিত্তি করে শ্বসন প্রক্রিয়ায় গ্রহীত O_2 অণু ও নির্গত CO_2 অণুর সংখ্যাও পরিবর্তিত হয়। কোন বস্তুর শ্বসনের ফলে উৎপাদিত CO_2 এর পরিমাণ ও শ্বসনের জন্য গ্রহীত O_2 এর পরিমাণের অনুপাতকে শ্বাস অনুপাত Respiratory Quotient) বলে।

$$\text{শ্বাস অনুপাত (RQ)} = \frac{\text{শ্বসনের ফলে নির্গত } CO_2 \text{এর পরিমাণ}}{\text{শ্বসনের জন্য গ্রহীত } O_2 \text{ এর পরিমাণ}}$$

এবার আমরা দেখব যে, শ্বসন উপাদানগুলির প্রকারভেদে কীভাবে RQ-এর মান পরিবর্তিত হয়।

1) গ্লুকোজের ক্ষেত্রে : গ্লুকোজজাতীয় শর্করা জারিত হলে RQ-এর মান 1 হবে। সবাত শ্বসনে গ্লুকোজ জারণের বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

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

$$RQ = \frac{6(CO_2)}{6(O_2)} = 1$$

2) কোহল সন্ধানের ক্ষেত্রে : গ্লুকোজজাতীয় খাদ্যবস্তু O_2-এর অনুপস্থিতিতে যখন ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন করে তখন RQ = α হবে।

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow[\text{সন্ধান}]{\text{কোহল}} 2CO_2 + 2C_2H_5OH$$

$$RQ = \frac{2(CO_2)}{0(O_2)} = \alpha$$

3) জৈব অম্লের ক্ষেত্রে : যখন জৈব অম্ল (সাইট্রিক অম্ল, অক্সালিক অম্ল প্রভৃতি) শ্বসনক্রিয়ার মাধ্যমে জারিত হয় তখন RQ > 1 হবে।

$$2(COOH)_2 + O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2H_2O$$

অক্সালিক অম্ল

$$RQ = \frac{4(CO_2)}{1(O_2)} = 4$$

4) স্নেহ পদার্থের ক্ষেত্রে : ফ্যাটি অ্যাসিড বা স্নেহজ অম্ল জারিত হলে RQ < 1 হবে।

$$2C_{91}H_{98}O_6 + 145O_2 \rightarrow 102CO_2 + 98H_2O$$

(ট্রাইপামেটিন)

$$RQ = \frac{104(CO_2)}{135(O_2)} = 0.7$$

5) ক্রাসুলেসিয়ান অম্ল বিপাকে : ক্যাকটাস জাতীয় রসাল উদ্ভিদে ক্রাসুলেসিয়ান অম্ল বিপাক লক্ষ করা যায়। এক্ষেত্রে গ্লুকোজ অণুর অসম্পূর্ণ জারণ ঘটে এবং CO_2 নির্গত হয় না বলে RQ = 0 হবে।

$$2C_6H_{12}O_6 + 3O_2 \rightarrow 3C_4H_6O_5 + 3H_2O$$

ম্যালিক অম্ল

$$RQ = \frac{0(CO_2)}{3(O_2)} = 0$$

RQ-এর গুরুত্ব : কোষে কোন্ ধরনের খাদ্যবস্তু জারিত হচ্ছে তা জানার জন্য শ্বসনকারী উদ্ভিদ অঙ্গের RQ মাপা হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই গ্লুকোজ জারিত হয় বলে RQ = 1 হয়। যদি RQ-এর মান 1 এর বেশি হয়, তাহলে বুঝতে হবে কোষ বা উদ্ভিদঅঙ্গে জৈব অম্ল জারিত হচ্ছে। আমরুল (*Oxalis*) জাতীয় গাছে এই ধরনের শ্বসন দেখা যায়, কারণ সেক্ষেত্রে অক্সালিক অম্ল জারিত হয়। RQ < 1 হলে বুঝতে হবে যে কোষের শ্বসন উপাদান স্নেহ পদার্থ। যেমন রেড়ি বীজ (*Ricinus*) অঙ্কুরিত হবার সময় এই তৈলবীজের স্নেহজ অম্ল পদার্থ জারিত হয় বলে এই শ্বসনকারী বীজের RQ < 1 হয়। এইভাবে কোন শ্বসনরত উদ্ভিদঅঙ্গের শ্বাস অনুপাত পরিমাপ করে আমরা সেই অঙ্গের শ্বসনকারী উপাদানের রাসায়নিক প্রকৃতি সম্বন্ধে ধারণা লাভ করতে পারি।

11.9 সারাংশ

জীবজগতে শ্বসনের গুরুত্ব অপরিসীম। বিভিন্ন খাদ্য উপাদানের মধ্যে স্থৈতিক শক্তি আবদ্ধ থাকে। শ্বসন প্রক্রিয়ায় সেই স্থৈতিক শক্তি তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং শক্তির বেশ কিছু অংশ উচ্চশক্তিসম্পন্ন রাসায়নিক অণু ATP এর মধ্যে আবদ্ধ হয়। উপচিতিমূলক ক্রিয়া, চলন, গমন প্রভৃতি পরিচালনা করার জন্য যখন শক্তির প্রয়োজন হয় তখন ATP অণু বিশ্লিষ্ট হয়ে প্রয়োজনীয় শক্তি নির্গত করে।

সব শ্বসন প্রক্রিয়াতেই গ্লাইকোলাইসিস একটি অত্যাবশ্যক পর্যায়। অবাত শ্বসন বা কোহল সন্ধানে গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন পাইরুভিক অম্ল সংক্ষিপ্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে ল্যাকটিক অম্ল, ইথাইল অ্যালকোহল প্রভৃতি উৎপন্ন করে। এই প্রক্রিয়াগুলিকে অল্প পরিমাণ শক্তি নির্গত হলেও নিম্নশ্রেণীর জীবের বিপাকক্রিয়া পরিচালনা করার জন্য তা যথেষ্ট।

সবাত শ্বসনে পাইরুভিক অম্ল মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ করে অ্যাসিটাইল CoA-তে রূপান্তরিত হয়ে ক্রেবস চক্র সম্পাদন করে। এই প্রক্রিয়ায় অনেকগুলি জৈব অম্লের সংশ্লেষ ঘটে। NAD^+, FAD প্রভৃতি সহউৎসেচকগুলি ক্রেবস চক্রের জারণ প্রক্রিয়াগুলি সম্পন্ন করে এবং নিজেরা বিজারিত হয়। এই বিজারিত যৌগগুলি পরিশেষে ইলেকট্রন সংবহনতন্ত্রে প্রবেশ করে বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকের মাধ্যমে নিয়েরা জারিত হয় ও ATP অণুর সংশ্লেষ ঘটায়।

গ্লাইকোলাইসিসে 6 অণু ও ক্রেবস চক্রে 30 অণু ATP উৎপন্ন হয় অর্থাৎ সবাত শ্বসনে 1 অণু গ্লুকোজ থেকে মোট 36 অণু ATP-র সংশ্লেষ ঘটে।

শুধুমাত্র ATP উৎপাদনই নয়, সন্ধান প্রক্রিয়ায় যে জৈব যৌগগুলি গঠিত হয় (ল্যাকটিক অম্ল, ইথাইল অ্যালকোহল) তাদের যথেষ্ট বাণিজ্যিক মূল্য আছে। এছাড়া শ্বসনের বিকল্প পথ অর্থাৎ পেন্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমে অনেকগুলি প্রয়োজনীয় শর্করার সংশ্লেষ ঘটে।

শ্বাস অনুপাত পরিমাপ করে শ্বসনের সময় কি ধরনের খাদ্যবস্তু জারিত হচ্ছে তার মম্পর্কে আমরা ধারণা লাভ করতে পারি।

11.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(ক) সন্ধান প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন দুটি জৈব পদার্থের নাম উল্লেখ করুন যাদের বাণিজ্যিক মূল্য আছে।

(খ) ক্রেবস চক্রের অপর একটি নাম লিখুন।

(গ) দুটি 5 কার্বনযুক্ত শর্করার নাম উল্লেখ করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) পেন্টোজ ফসফেট পথের অপর নাম _____ ।

(খ) জৈব অম্ল শ্বসনে জারিত হলে RQ _____ হবে।

(গ) গ্লুকোজ-6-ফসফেট _____ উৎসেচকের সাহায্যে ফ্রাকটোজ-6-ফসফেটে পরিণত হয়।

3. সঠিক উত্তরটির পাশে দাগ (✓) চিহ্ন দিন :

(ক) গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত ATP অণুর সংখ্যা

(i) 2

(ii) 4

(iii) 8

(খ) পেন্টোজ ফসফেট পথে উৎপন্ন প্রথম অম্লটি হল

(i) পাইরুভিক অম্ল

(ii) 6 ফসফোগ্লুকোনিক অম্ল

(iii) সাইট্রিক অম্ল

(গ) কোহল সন্ধানে RQ-এর মান

(i) 1

(ii) 0

(iii) α

11.11 উত্তরমালা

প্রথম পর্ব :

1. (ক) ল্যাকটিক অম্ল ও অন্যান্য জৈব যৌগ

(খ) সবাত শ্বসনে

(গ) ছত্রাক

2. (ক) হেক্সোকাইনেজ

(খ) 2

(গ) ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট

3. (ক) গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্র

(খ) বিষাক্ত ল্যাকটিক অম্ল কোষে সঞ্চিত হয় বলে

(গ) পাইরুভেট কাইনেজ

দ্বিতীয় পর্ব :

1. (ক) অ্যাসিটাইল CoA

   (খ) তিন অণু

   (গ) কাইনেজ

2. (ক) H_2O

   (খ) 15

   (গ) FAD

3. (ক) 2 অণু

   (খ) 38 অণু

   (গ) আয়রণ (Fe)

তৃতীয় পর্ব :

1. (ক) ল্যাকটিক অম্ল ও বিউটারিক অম্ল

   (খ) সাইট্রিক অম্ল চক্র

   (গ) রাইবোজ ও রাইবুলোজ

2. (ক) হেক্সোজ মনোফসফেট শান্ট

   (খ) RQ > 1

   (গ) ফসফোহেক্সোআইসোমারেজ

3. (ক) 2

   (খ) 6 ফসফোগ্লুকোনিক অম্ল

   (গ) α

একক 12 ❑ আলোকশ্বসন

গঠন

12.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

12.2 আলোকশ্বসন-সংক্রান্ত প্রাথমিক ধারণা

12.2.1 আলোকশ্বসন কোথায় ঘটে/ আলোকশ্বসনের ক্রিয়াস্থান

12.2.2 আলোকশ্বসনের বিভিন্ন পর্যায় ও রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ

12.2.3 আলোকশ্বসনে আলোকের ভূমিকা

12.3 আলোকশ্বসন ও উদ্ভিদের ফলনশীলতা

12.4 C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন কম হবার কারণ

12.5 আলোকশ্বসন ও শ্বসনের মধ্যে পার্থক্য

12.6 আলোকশ্বসন প্রক্রিয়াটির তাৎপর্য

12.7 সারাংশ

12.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

12.9 উত্তরমালা

12.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

আগের এককে আমরা দেখেছি যে শ্বসন কাকে বলে এবং তার সাথে বিশদভাবে শ্বসন প্রক্রিয়ার জটিল শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া সম্পর্কে ধারণা লাভ করেছি।

একথা আপনারা জানেন যে, জীবদেহের প্রতিটি সজীব কোষে দিবারাত্র শ্বসন প্রক্রিয়াটি সংঘটিত হয় এবং এই শ্বসনের ফলেই জটিল রাসায়নিক যৌগগুলি ভেঙে সরল পদার্থে পরিণত হয় ও শক্তি নির্গত হয়। তবে এই নিয়মিত শ্বসন ছাড়াও সবুজ উদ্ভিদের কিছু কোষে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে এক বিশেষ ধরনের শ্বসন লক্ষ্য করা যায়। এর ফলে ঐসব কোষে দিনের বেলায় বেশি পরিমাণে কার্বন-ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয়ে থাকে। এই বিশেষ ধরনের শ্বসন, যা কিনা সবুজ উদ্ভিদের পাতায় বা সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে শুধুমাত্র সূর্যালোকের উপস্থিতিতে সংঘটিত হয়, তাকে আলোকশ্বসন বা ফটোরেস্পিরেশন (photorespiration) বলা হয়। এই এককে আমরা এই বিশেষ পদ্ধতিটি সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করব।

এছাড়াও আমাদের জানতে হবে যে এই আলোকশ্বসন প্রক্রিয়াটি কীভাবে সালোকসংশ্লেষের কেলভিন চক্রের সঙ্গে জড়িত এবং কীভাবে এটি সাধারণ শ্বসন প্রক্রিয়া থেকে ভিন্ন।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- আলোকশ্বসন কী এবং কীভাবে ঘটে তা জানতে পারবেন।
- প্রক্রিয়াটি কেন শুধু দিনের বেলায় ঘটে তা বলতে পারবেন।
- আলোকশ্বসনকে কেন C_2 চক্র বলা হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- প্রক্রিয়াটিকে কেন 'শ্বসন' বলা হচ্ছে তার কারণ বলতে পারবেন।
- শ্বসন ও আলোকশ্বসনের তফাত কী কী তা নির্দেশ করতে পারবেন।
- অধিক ফলনশীল উদ্ভিদে আলেকশ্বসনের হার উল্লেখযোগ্যভাবে কম হয় কেন তা বুঝিয়ে দিতে পারবেন।
- প্রক্রিয়াটি উদ্ভিদের পক্ষে সম্পূর্ণই অপ্রয়োজনীয়, নাকি এর কোন গুরুত্বপূর্ণ দিক আছে তা জানতে পারবেন।

12.2 আলোকশ্বসন-সংক্রান্ত প্রাথমিক ধারণা

1950 সনের পূর্বে আমাদের ধারণা ছিল যে, সবুজ উদ্ভিদে শ্বসনের হার দিনে ও রাত্রে একই থাকে। কিন্তু পরে পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয় যে, কয়েকটি একবীজপত্রী উদ্ভিদ ছাড়া উন্নতমানের বেশ কিছু উদ্ভিদের ক্লোরোফিলযুক্ত সবুজ অংশে শ্বসনের হার দিনের বেলায় উল্লেখযোগ্যভাবে বেড়ে যায়। ঘটনাটি বিজ্ঞানীদের দৃষ্টি আকর্ষণ করে এবং 1955 সনে বিজ্ঞানী ডেকার (Deeker) উপরোক্ত ঘটনাটিকে আলোকশ্বসন বা ফটোরেস্পিরেশন নামকরণ করেন এবং এই বিষয়টি বর্ণনা করেন।

আলোকশ্বসন বলতে প্রাথমিকভাবে আমরা বুঝি একটি বিশেষ ধরনের শ্বসন প্রক্রিয়া যা শুধুমাত্র উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে ঘটে এবং এর ফলে উক্ত কোষগুলি থেকে প্রভূত পরিমাণে কার্বন-ডাই-অক্সাইড নির্গত হয়। একথা মনে রাখতে হবে যে, এই প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ক্লোরোফিলযুক্ত কোষে অক্সিজেন গৃহীত ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড বর্জিত হয় বলে এটিকে শ্বসন আখ্যা দেওয়া হয়, যদিও স্বাভাবিক শ্বসনের সঙ্গে আলোকশ্বসনের বিক্রিয়াগত অন্য কোন মিলই নেই এবং এক্ষেত্রে কোন শক্তি বা ATP উৎপন্ন হয় না।

আগের 7.10 এককে আমরা দেখেছি যে, সালোকসংশ্লেষের যে প্রচলিত প্রথায় কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন (fixation) ও বিজারণ (reduction) সম্পন্ন হয়, তাকে কেলভিন চক্র বা C_3 বা সালোকসংশ্লেষীয়

কার্বন-বিজারণ চক্র বা Photosynthetic Carbon Reduction Cycle বলা হয়। আলোকশ্বসন প্রক্রিয়াটি এই কেলভিন চক্রের সঙ্গে জড়িত এবং এই প্রক্রিয়ায় সূর্যালোকের উপস্থিতিতে অক্সিজেন দ্বারা শর্করা জারিত হয়ে কার্বন-ডাই-অক্সাইড উদ্ভূত হয় বলে একে সালোকসংশ্লেষীয় কার্বন-জারণ চক্র বা Photosynthetic Carbon Oxidation Cycle বলা হয়।

এই কার্বন-জারণ ও কার্বন-বিজারণ দুই পৃথক চক্রের মধ্যে যোগসূত্র রক্ষা করে একটিমাত্র উৎসেচক। এই উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট যৌগটির সঙ্গে কার্বন-ডাই-অক্সাইড এবং অক্সিজেন উভয়কেই সংবন্ধন করাতে পারে এবং এই দ্বৈত ভূমিকা থাকায় উৎসেচকটিকে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বক্সিলেজ অক্সিজিনেজ বা সংক্ষেপে রুবিস্কো (Rubisco) বলা হয়। এই রুবিস্কো উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বাই-ফসফেটের সঙ্গে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন ঘটালে C_3 কেলভিন চক্রের মাধ্যমে সরাসরি শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়। অপরদিকে রুবিস্কো উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বিস্-ফসফেটের সঙ্গে অক্সিজেনকে যুক্ত করলে দিবালোকে প্রভূত পরিমাণে কার্বন-ডাই-অক্সাইড নির্গত হয় এবং 2 কার্বন অণুবিশিষ্ট (C_2) প্রাথমিক স্থায়ী যৌগ গ্লাইকোলেট (ফসফোগ্লাইকোলেট রূপে) প্রস্তুত হয়। এই প্রক্রিয়াটিকেই আলোকশ্বসন বলে এবং যে চক্রের মাধ্যমে আলোকশ্বসনের বিভিন্ন ধাপগুলি সম্পন্ন হয়, তাকে সালোকসংশ্লেষীয় কার্বন-জারণ চক্র বা সংক্ষেপে C_2 চক্র বলে।

12.2.1 আলোকশ্বসন কোথায় ঘটে /আলোকশ্বসনের ক্রিয়াস্থান

1968 সনে হিউ এবং ক্রুট্‌কভ্ (Hew and Krotkov) প্রথম পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন যে আলোকশ্বসনে ক্লোরোপ্লাস্ট অপরিহার্য। 1966 সনে মুলেনহুয়ের ও তাঁর সঙ্গীরা (Mollenhauer *et al.*) পারঅক্সিজোম আবিষ্কার করেন এবং 1968-তে টলবার্ট ও তাঁর সঙ্গীরা (Tolbert *et al.*) পারঅক্সিজোমে গ্লাইকোলেট বিপাকীয় উৎসেচকের উপস্থিতি লক্ষ্য করে আলোকশ্বসনের সঙ্গে পারঅক্সিজোমের মধ্যে যে একটা সহজ যোগসূত্র রয়েছে তা বার করেন এবং পারঅক্সিজোমকে আলোকশ্বসনের কার্যস্থল রূপে চিহ্নিত করেন। এর পরে 1971 সনে টলবার্ট (Tolbert) প্রমাণ করে দেখান যে, আলোকশ্বসনে উদ্ভূত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের উৎপত্তিস্থল হল মাইটোকন্ড্রিয়া। সব ঘটনাগুলি একত্রিত করলে দেখা য়ায় যে, আলোকশ্বসনে ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম এবং মাইটোকন্ড্রিয়া এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণুই অপরিহার্য। অনেক পরীক্ষানিরীক্ষার পরে বর্তমানে বিজ্ঞানীরা এই সিদ্ধান্তে এসেছেন যে, কোন একটি উদ্ভিদকোষে এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণুর সহাবস্থান ঘটলেই কোষটি আলোকশ্বসন সম্পন্ন করতে পারে। কাজেই আলোকশ্বসনে ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম এবং মাইটোকন্ড্রিয়া এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণুই গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে থাকে।

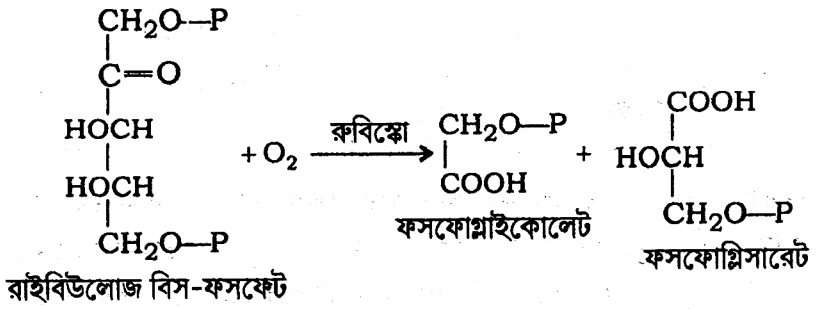
বিশেষ প্রধান খাদ্য উৎপাদনকারী শস্য যেমন ধান, গম, মুগ, মটর, সয়াবীন, তামাক, সূর্যমুখী ইত্যাদি বেশ কিছু C_3 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন হয়। অপরদিকে বাজরা, আখ ও ভুট্টাসহ অধিক ফলনশীল ঘাসজাতীয় কিছু C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন প্রায় অনুপস্থিত বললেই চলে।

পারঅক্সিজোম : এটি একটি ক্ষুদ্র উদ্ভিদ কোষ-অঙ্গাণু যা সাধারণত ক্লোরোপ্লাস্টের নিকটবর্তী স্থানে অবস্থান করে এবং C_3 উদ্ভিদের মেসোফিল কোষে এই অঙ্গাণু প্রচুর পরিমাণে পরিলক্ষিত হয়। এটি ডিম্বাকার, ব্যাস 0.6 – 0.7 μm। উদ্ভিদকোষে ক্লোরোফিল ও পারঅক্সিজোম অঙ্গাণু দু'টি কাছাকাছি থাকায় উৎসেচক, খনিজ লবণ ও বিক্রিয়াজাত যৌগগুলি সহজেই অঙ্গাণু দু'টির মধ্যে আদান-প্রদান করতে পারে। পারঅক্সিডেজ, ক্যাটালেজসহ গ্লাইকোলেট বিপাকের কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচক থাকায় আলোকশ্বসন প্রক্রিয়া পারঅক্সিজোম ছাড়া সম্পন্ন হতে পারে না।

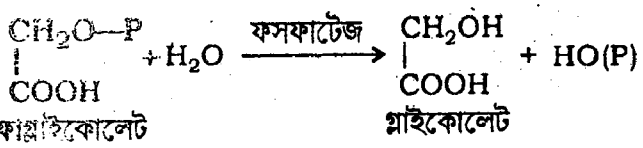
12.2.2 আলোকশ্বসনের বিভিন্ন পর্যায় ও রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ

আলোকশ্বসনের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি একাধিক বিজ্ঞানী পর্যালোচনা করেছেন। এঁদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলেন বিজ্ঞানী টলবার্ট (Tolbert, 1980), লরিমার ও অ্যান্ড্রুজ (Lorimer and Andresws, 1981) এবং বিড্ওয়েল (Bidwel, 1983)। এঁরা দেখেছেন যে, আলোকশ্বসনের C_2 চক্রটি সম্পন্ন করতে একটি উদ্ভিদকোষে ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া—এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণুর সহাবস্থান অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। আলোকশ্বসনের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি ক্রমপর্যায়ে দেখান হল—

(a) আলোকশ্বসনে প্রথম এবং প্রধান বিক্রিয়াস্থান হল ক্লোরোপ্লাস্ট, যেখানে রাইবিউলোজ 1,5 বিস-ফসফেট যৌগটি অক্সিজেনকে সংবন্ধন করে এবং উক্ত যৌগটি জারিত হয়ে প্রাথমিক স্থায়ী C_2 যৌগ গ্লাইকোলেট (ফসফোগ্লাইকোলেট হিসাবে) প্রস্তুত করে। এখানে মনে রাখা দরকার যে, বাতাসে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব 1% এর কম থাকলেই রুবিস্কো উৎসেচকটি এই বিক্রিয়াটি ঘটাতে সক্ষম হয় এবং এর ফলে 2 অণু ফসফোগ্লাইকোলেট ও 1 অণু ফসফোগ্লিসারেট উৎপন্ন হয়।

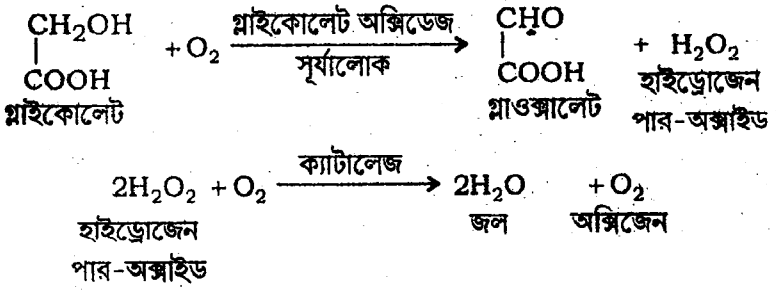


(b) ক্লোরোপ্লাস্টে প্রস্তুত ফসফোগ্লাইকোলেট থেকে ফসফেট বর্জিত হয়ে গ্লাইকোলেট উৎপন্ন হয়। ফসফেটেজ উৎসেচক এই বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে।

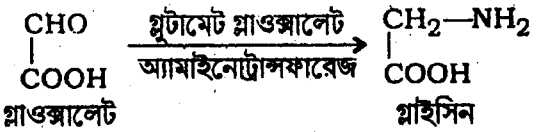


ক্লোরোপ্লাস্টে প্রস্তুত এই গ্লাইকোলেটই হল আলোকশ্বসনের প্রথম স্থায়ী যৌগ (C_2 যৌগ)। গ্লাইকোলেট উৎপাদনের হার পরিবেশে উপস্থিত অক্সিজেনের ঘনত্বের সাথে সমানুপাতিক।

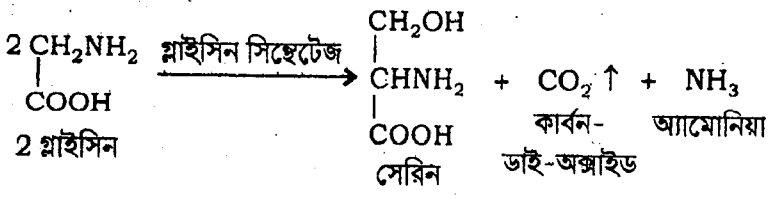
(c) এরপর গ্লাইকোলেট ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে এবং সেখানে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে গ্লাইকোলেট অক্সিডেজ উৎসেচক দ্বারা জারিত হয়ে গ্লাওক্সালেটে রূপান্তরিত হয়। এরই সঙ্গে এক অণু হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড তৈরি হয়, যা ক্যাটালেজ উৎসেচকের সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে জল ও অক্সিজেন উৎপাদন করে।



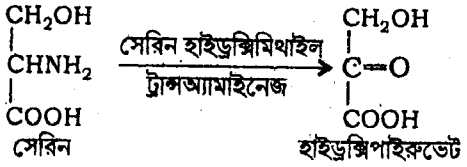
(d) গ্লাওক্সালেট পারঅক্সিজোমস্থিত গ্লুটামেট গ্লাওক্সালেট অ্যামাইনোট্রান্সফরেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে গ্লাইসিনে পরিণত হয়।

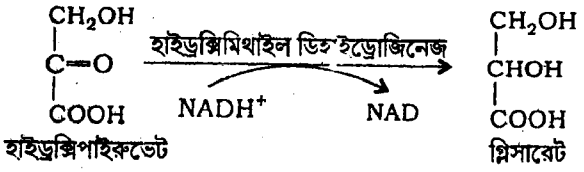


(e) পরবর্তী পর্যায়ে গ্লাইসিন, পারঅক্সিজোম থেকে মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ করে এবং গ্লাইসিন সিন্থেটেজ উৎসেচক দ্বারা 2 অণু গ্লাইসিন, 1 অণু সেরিনে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে অ্যামোনিয়া ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয়। বলা বাহুল্য উদ্ভূত এই কার্বন-ডাই-অক্সাইডই আলোকশ্বসনের সময়ে বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়। অ্যামোনিয়া কোষের পক্ষে ক্ষতিকর এবং কোষে অ্যামোনিয়ার পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে তা অচিরেই কোষটিকে বিনষ্ট করে ফেলে। ফলে ক্লোরোপ্লাস্টে উপস্থিত গ্লুটামেট সিন্থেজ উৎসেচক দ্বারা উদ্ভূত এই অ্যামোনিয়ার আত্তীকরণ (assimilation) ঘটে।

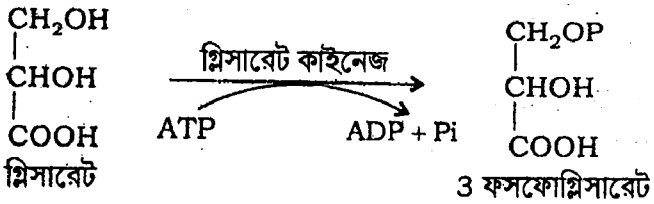


(f) মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রস্তুত সেরিন পুনরায় পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে এবং সেখানে এটি সেরিন হাইড্রক্সিমিথাইল ট্রান্সফারেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে হাইড্রক্সিপাইরুভেটে পরিণত হয় এবং এটি থেকে পরে গ্লিসারেট উৎপন্ন হয়।



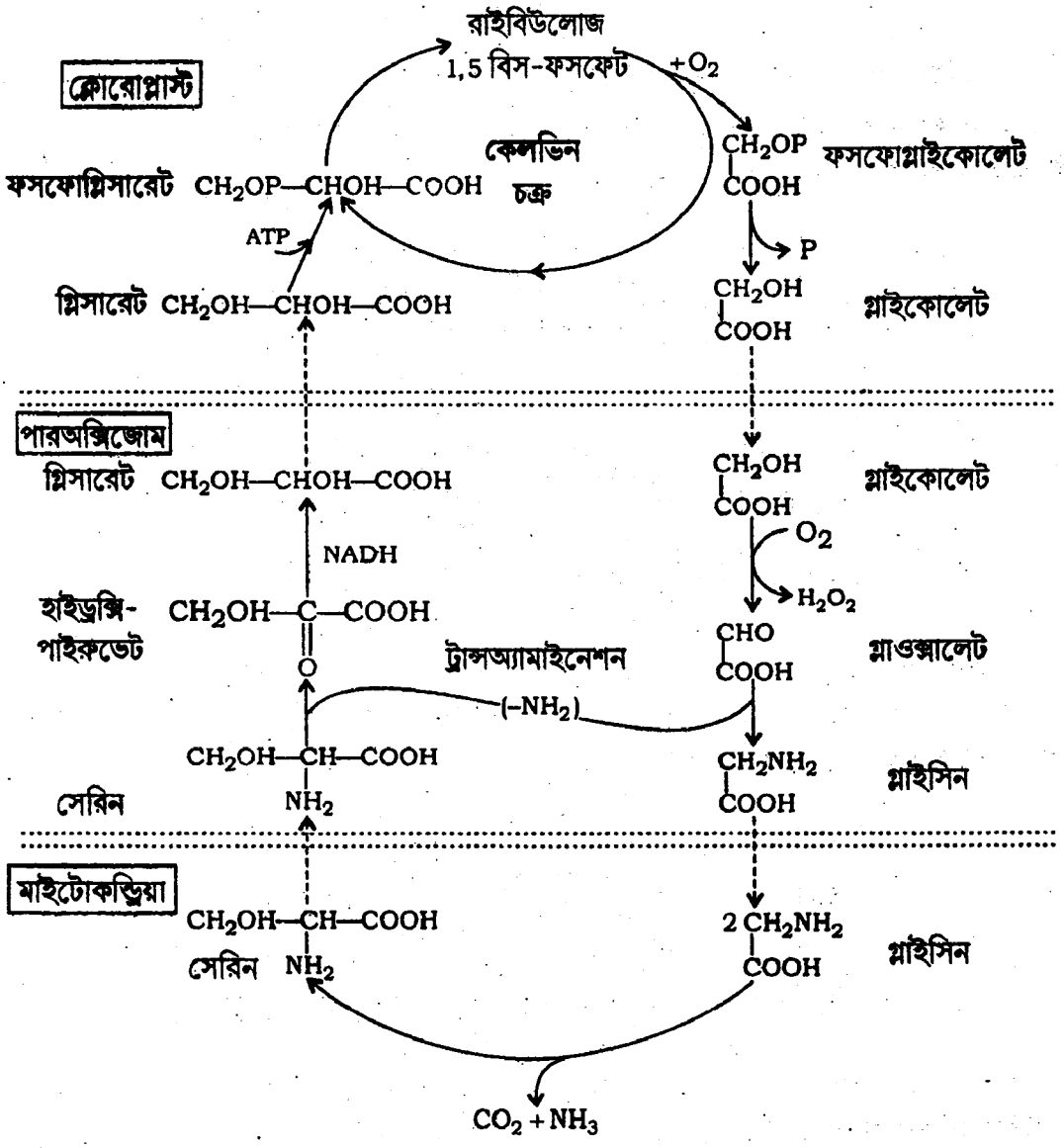


(g) গ্লিসারেট প্রস্তুত হবার পর সেটি ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং গ্লিসারেট কাইনজের উপস্থিতিতে ATP ব্যবহার করে ফসফোগ্লিসারেট উৎপাদন করে। এই ফসফোগ্লিসারেট সরাসরি কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে এবং শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত করতে শুরু করে।



আলোকশ্বসনের সম্পূর্ণ পদ্ধতিটি পর্যায়ক্রমে নিরীক্ষণ করলে দেখা যচ্ছে যে, এই C_2 চক্রের মাধ্যমে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট জারিত হয়ে যে 2 অণু ফসফোগ্লাইকোলেট ($2 \times 2C = 4C$) উৎপন্ন হয়, তা 1 অণু ফসফোগ্লিসারেট (3C) ও 1 অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইডে (1C) রূপান্তরিত হয়। সুতরাং আলোকশ্বসনের একটি চক্র সম্পন্ন করতে 1টি কার্বন অণুর মধ্যে শুধুমাত্র 4টি কার্বন অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে নির্গত

হয়ে যায়, কিন্তু বাকি 3টি কার্বন অণু পুনরায় ক্লোরোপ্লাস্টে ফিরে আসে ও কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে। অর্থাৎ 4টি কার্বন অণুর 3টি অর্থাৎ 75% বা শতকরা 75 ভাগ কার্বন অণু আলোকশ্বসনের গ্লাইকোলেট পথের মাধ্যমে পুনরুৎপাদিত হয়ে থাকে।



আলোকশ্বসন এবং C_2 চক্র

চিত্র নং 12.2

12.2.3 আলোকশ্বসনে আলোকের ভূমিকা

আলোকশ্বসনের প্রধান উৎসেচক, রুবিস্কো অর্থাৎ রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বক্সিলেজ-অক্সিজিনেজ, শুধুমাত্র আলোকের উপস্থিতিতেই সক্রিয় হয় এবং সূর্যালোকের অনুপস্থিতিতে এটি অক্সিজেন বা কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে সংবন্ধন (fix) করতে সম্পূর্ণ অক্ষম হওয়ায় আলোকশ্বসনকালে আলোক অপরিহার্য।

এছাড়াও সূর্যালোকের প্রভাবে ক্লোরোপ্লাস্টে সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় হিল বিক্রিয়ায় জল বিয়োজিত হয়ে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় (7.10 এককে দ্রষ্টব্য)। যার ফলে দিনের বেলায় ক্লোরোপ্লাস্টে অক্সিজেনের মাত্রা তুলনামূলকভাবে বেশি হয় এবং ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে অক্সিজেন আলোকশ্বসন চলা কালে পাতার ত্বকের অভ্যন্তরে সহজেই প্রবেশ করতে পারে।

অনুশীলনী : 1

উপরের অংশগুলি যদি ঠিকমতন পড়ে থাকেন, তাহলে নীচের প্রশ্নগুলির উত্তর দিতে আপনার অসুবিধা হবার কথা নয়।

1. সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :

(a) আলোকশ্বসনে প্রথম স্থায়ী C_2 যৌগটি হল—গ্লাওক্সাইলেট /গ্লাইকোলেট / গ্লিসারেট।

(b) আলোকশ্বসনে নির্গত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের উৎসস্থল হল—ক্লোরোপ্লাস্ট/পারঅক্সিজোম/ মাইটোকন্ড্রিয়া।

(c) আলোকশ্বসন প্রক্রিয়ায়—ATP উদ্ভূত হয়/ATP ব্যবহৃতক হয়/ ATP উদ্ভূত বা ব্যবহৃত কোনটাই হয় না।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) আলোকশ্বসন সম্পন্ন করতে একটি উদ্ভিদ কোষে যে বিশেষ তিনটি কোষ-অঙ্গাণুর প্রয়োজন, সেগুলি হল _____, _____ ও _____।

(b) _____ উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বিস-ফসফেটের সঙ্গে অক্সিজেন এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড উভয়কেই সংবন্ধন করতে সক্ষম।

(c) আলোকশ্বসনে ব্যবহৃত কার্বন অণুর শতকরা _____ ভাগ পুনরায় উৎপাদিত হয় ও কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে।

3. বাক্যটি সঠিক বিবেচিত হলে ✓ ও ভুল হলে × লিখুন :

(a) C_3 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে উদ্ভূত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের মাত্রা দিনে ও রাত্রে একই থাকে।

(b) রুবিস্কো উৎসেচকটি সূর্যালোক ছাড়া সক্রিয় হয় না।

(c) কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেলে আলোকশ্বসনের হারও বৃদ্ধি পায়।

(d) আলোকশ্বসনে গ্লাইসিন সেরিনে রূপান্তরিত হবার সময় কার্বন-ডাই-অক্সাইড উদ্ভূত হয়।

12.3 আলোকশ্বসন ও উদ্ভিদের ফলনশীলতা

উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে দিনের বেলায় আলোকশ্বসন সম্পন্ন হয়। এর ফলে ক্লোরোপ্লাস্টে উপস্থিত রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট যৌগটির সঙ্গে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন না ঘটে এটি অক্সিজেনকে সংবন্ধন করে ও জারিত হয়ে গ্লাইকোলেট প্রস্তুত করে। এর ফলে যতটা কার্বন-ডাই-অক্সাইড সালোকসংশ্লেষীয় কেলভিন চক্রের মাধ্যমে সরাসরি শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হত, তার কিছুটা অংশ কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে বায়ুমণ্ডলে নির্গত হয়ে যায়।

একথা আমরা সকলেই জানি যে, উদ্ভিদের ফলনশীলতা নির্ভর করে পাতার প্রতি বর্গ এককে কতটা শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হচ্ছে তার ওপর। আলোকশ্বসনের ফলে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের পরিবর্তে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেটের সঙ্গে অক্সিজেনের সংবন্ধন ঘটে ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে কিছুটা কার্বন বিনষ্ট হওয়ায় স্বভাবতই প্রতি বর্গ এককে শ্বেতসার উৎপাদনের মাত্রা হ্রাস পায়। এর ফলে আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদের ফলনশীলতা বহুলাংশে কম হয়। ঠিক একই কারণে অধিক ফলনশীল খাদ্যরূপে চিহ্নিত ভুট্টা (maize), বাজরা (sorghum) বা আখ (sugarcane) সহ বেশ কয়েকটি C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন অনুপস্থিত থাকে এবং অনেক ক্ষেত্রে আলোকশ্বসনের হার এত কম হয় যে, তা শনাক্ত করা দুরূহ হয়। অপরদিকে ধান (rice), গম (wheat), মুগ (mung), মটর (pea), সয়াবীন (soyabean), সূর্যমুখী (sunflower) প্রভৃতি বেশ কিছু গুরুত্বপূর্ণ খাদ্য উৎপাদনকারী C_3 উদ্ভিদে আলোকশ্বসনের হার উল্লেখযোগ্যভাবে বেশি হয় এবং স্বভাবতই ঐসব উদ্ভিদে ফলনশীলতা কম হয়।

12.4 C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন কম হবার কারণ

C_4 উদ্ভিদে কেলভিন চক্রের উৎসেচকগুলি বাণ্ডিল-আবরণী কোষে (bundle-sheath cell) উপস্থিত থাকে। এই কোষগুলিতে দিনের বেলায় বা সূর্যালোকের উপস্থিতিতে ম্যালেট, অ্যাসপারটেট ইত্যাদি থেকে কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিশ্লিষ্ট হয় (dicarboxylation) এবং এর ফলে উক্ত কোষে উদ্ভূত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব এত বেশি হয়ে যায় যে অক্সিজেন কখনই কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে প্রতিযোগ (compete) করে উঠতে পারে না। এই কারণে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট সহজেই কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে যুক্ত হয়ে কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে। কোষে অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব তুলনামূলকভাবে কম থাকে বলে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট অক্সিজেনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে গ্লাইকোলেট প্রস্তুত করতে অক্ষম হয় এবং C_2 চক্র বা আলোকশ্বসনের

প্রবণতা খুবই কমে যায়। এই কারণেই আখ, ভুট্টা, বাজরা জাতীয় পরিচিত C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসনের হার নগণ্য হয়ে থাকে।

পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয়েছে যে, C_4 উদ্ভিদে বাণ্ডিল-আবরণী কোষটিকে মেসোফিল কোষ থেকে পৃথক করে ফেললে এবং C_4 অ্যাসিড যেমন ম্যালেট, অ্যাসপারটেট ইত্যাদি কোষ থেকে অপসারণ করলে C_4 উদ্ভিদে পুনরায় আলোকশ্বসন পরিলক্ষিত হয়।

12.5 আলোকশ্বসন ও শ্বসনের মধ্যে পার্থক্য

আলোকশ্বসন	শ্বসন
1. প্রক্রিয়াটি C_3 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে শুধুমাত্র দিনের বেলায় ঘটে।	1. প্রক্রিয়াটি প্রতিটি জীবিত কোষে দিবারাত্র ঘটে।
2. প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হতে ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণু আবশ্যক।	2. প্রক্রিয়াটির জন্য শুধুমাত্র সাইটোপ্লাজম ও মাইটোকন্ড্রিয়া আবশ্যক।
3. যৌগিক (substrate) সর্বদাই সদ্যপ্রস্তুত গ্লাইকোলেট।	3. যৌগিক (substrate) শ্বেতসার, প্রোটিন বা স্নেহপদার্থ যা সদ্যপ্রস্তুত অথবা সঞ্চিত হতে পারে।
4. অক্সিজেন গ্রহণ ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড নির্গমন আলোকের উপস্থিতি ভিন্ন সম্ভব নয়।	4. অক্সিজেন গ্রহণ ও কার্বন-ডাই-অক্সাই নির্গমন আলোকের ওপর নির্ভরশীল নয়।
5. কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেলে আলোকশ্বসনের হার হ্রাস পায়।	5. কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধিতে শ্বসনের হারও বৃদ্ধি পায়, তবে বেশি বৃদ্ধি পেলে পত্ররন্ধ্র (stomata) বন্ধ হয়ে যায়।
6. অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব বৃদ্ধি পেলে (0 –100% পর্যন্ত) আলোকশ্বসনের হার বেড়ে যায়।	6. অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব 2–3% হলে প্রক্রিয়াটি সম্পৃক্ত (saturated) হয়ে যায়, তাই এর অধিকতর O_2 ঘনত্বে শ্বসনের পরিবর্তন হয় না।
7. NADH জারিত হয়ে NAD হয়।	7. NAD^+ বিজারিত হয়ে NADH হয়।
8. কোন ATP অণু উৎপাদন হয় না, উপরন্তু প্রতিবার C_2 চক্র আবর্তনের জন্য 1 অণু করে ATP ব্যবহৃত হয়।	8. বেশ কিছু ATP অণু প্রস্তুত হয় এবং উৎপাদিত শক্তির প্রায় 40% ATP রূপে সঞ্চিত থাকে।

আলোকশ্বসন	শ্বসন
9. একটিমাত্র ধাপে, গ্লাইসিন থেকে সেরিন প্রস্তুতকালে কার্বন-ডাই-অক্সাইড নির্গত হয়।	9. শ্বসনের সময় বিভিন্ন ধাপে CO_2 নির্গত হয়ে থাকে।
10. CO_2 উৎপাদনের হার শ্বসনের হারের প্রায় দ্বিগুণ।	10. CO_2 উৎপাদনের হার আলোকশ্বসনের হারের প্রায় অর্ধেক।
11. হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড (H_2O_2) নির্গত হয়।	11. H_2O_2 নির্গত হয় না।
12 অ্যামোনিয়া উদ্ভূত হয়।	12. অ্যামোনিয়া উদ্ভূত হয় না।

12.6 আলোকশ্বসন প্রক্রিয়াটির তাৎপর্য

বেশ কিছু উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের দক্ষতা তাদের আলোকশ্বসনের ওপর নির্ভরশীল। সাধারণভাবে দেখা গেছে যে, উষ্ণ অঞ্চলের (tropical) উদ্ভিদে আলোকশ্বসনের হার নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের (temperate) উদ্ভিদের থেকে প্রায় চারগুণ বেশি হয়। কাজেই নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলে কৃষিজাত শস্যে আলোকশ্বসনের উপস্থিতি এর ফলন বাড়াতে অক্ষম হয়। আলোকশ্বসনের ফলে যে শুধুই কার্বন অণু সংবন্ধন হয় না তাই-ই নয়, ATP অণুর বিচারেও প্রক্রিয়াটি উদ্ভিদের পক্ষে হানিকর। কারণ সেক্ষেত্রে আলোকশ্বসনের প্রতিটি চক্র সম্পন্ন করতে 1 অণু করে ATP ব্যবহৃত হয়।

দেখা গেছে যে, একটি C_3 শস্যের জমিতে দারুণ গ্রীষ্মে বাতাসবিহীন দিনে সালোকসংশ্লেষের হার বেশি হয় এবং বেশি কার্বন-ডাই-অক্সাইড ব্যবহৃত হওয়ার ফলে পাতার নিকটবর্তী অঞ্চলে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের গাঢ়ত্ব 0.05% থেকে কমে একসময় প্রায় 0.03%-এ চলে আসে। এইভাবে কার্বন-ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেনের অনুপাত কমে যাওয়ায় অক্সিজেন খুব সহজেই রাইবিউলোজ বিস-ফসফেটের সঙ্গে যুক্ত হয় ও গ্লাইকোলেট উৎপন্ন করে। এতে স্বাভাবিকভাবেই কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধন হ্রাসপ্রাপ্ত হয়। এভাবে আলোকশ্বসন প্রায় 50% পর্যন্ত ফলনশীলতা কমিয়ে দিতে পারে। কাজেই একথা সরাসরিভাবে বলা যায় যে, আলোকশ্বসনকে নিয়ন্ত্রণ করতে পারলে C_3 উদ্ভিদে ফলন বাড়ানো সম্ভব।

আপাতদৃষ্টিতে একথা মনে হওয়া খুবই স্বাভাবিক যে, আলোকশ্বসন এবং C_2 চক্রটি উদ্ভিদের পক্ষে শুধু হানিকারক। তবে বিশদভাবে লক্ষ করলে আলোকশ্বসনের যে বিশেষ কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ দিক নজরে পড়বে সেগুলি হল—

1. আলোকশ্বসনে কার্বন অণু সংবন্ধন না হয়ে অতিরিক্ত কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে নির্গত হয়ে গেলেও একটি C_2 চক্রের শেষে দেখা গেছে যে নির্গত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের শতকরা 75 ভাগ কার্বন অণু কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে শ্বেতসার প্রস্তুত করতে পারছে। কাজেই প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হানিকর বলা ঠিক নয়।

2. গ্লাইসিন, সেরিনসহ আলোকশ্বসনের C_2 চক্রের বেশ কয়েকটি অন্তর্বর্তী যৌগ (intermediate compound) উদ্ভিদের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়।

3. আধুনিক বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে, আলোকশ্বসন প্রয়োজনে 'সুরক্ষা কপাট' (safety valve) এর মতো কাজ করে থাকে। 1972 সনে অসমান্ড (Osmond) ও জোরক্ম্যান (Bjorkman) দেখেন যে, কার্বন-ডাই-অক্সাইডের অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষের হার উল্লেখযোগ্যভাবে হ্রাস পায় এবং পাতার কোষগুলি আলোক-জারণঘটিত ক্রিয়ায় ক্ষতিগ্রস্ত হয়। আলোকশ্বসনে উদ্ভূত কার্বন-ডাই-অক্সাইড উদ্ভিদটিকে আলোক-জারণসংক্রান্ত ক্ষতির (photooxidative damage) হাত থেকে রক্ষা করে এবং কেলভিন চক্রটিকে সক্রিয় রাখতে সক্ষম হয়।

উষ্ণপ্রধান অঞ্চলে অধিক আলোক, সীমিত কার্বন-ডাই-অক্সাইড এবং জলীয় বাষ্পের অভাবে পত্ররন্ধ্র অনেকসময় বন্ধ হয়ে যায়। এই অবস্থায় C_3 উদ্ভিদেরা C_2 চক্রের মাধ্যমে গাছটিকে বাঁচিয়ে রেখে সেফ্‌টি ভাল্‌ব-এর কাজ করে। কাজেই বাস্তুব্যবিদ্যার বিচারে (ecologically) আলোকশ্বসনের গুরুত্ব অপরিসীম।

ওয়ারবার্গের আরোপিত প্রভাব (Warburg Effect) : 1920 সনে বিখ্যাত জার্মান জৈব-রসায়নবিদ অটো ওয়ারবার্গ (Otto Warburg) প্রথম দেখেন যে, অক্সিজেনের প্রভাবে সালোকসংশ্লেষ ব্যাহত হয় এবং তাঁর এই পর্যবেক্ষণ সকল C_3 উদ্ভিদের ক্ষেত্রেই প্রযোজ্য। এরই কারণ অনুসন্ধান করতে গিয়ে বিজ্ঞানীরা দেখেন যে, C_3 উদ্ভিদে এই ঘটনাটির মূলে রয়েছে সালোকসংশ্লেষের মুখ্য উৎসেচক রুবিস্কোর সাথে অক্সিজেন ও কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন হবার এক প্রতিযোগিতা। একথা অজানা নয় যে, বায়ুমণ্ডলে বা পাতার নিকটবর্তী অঞ্চলে কার্বন-ডাই-অক্সাইড অপেক্ষা অক্সিজেনের গাঢ়ত্ব বেশি হলে রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট যৌগটি অক্সিজেন সংবন্ধন করে গ্লাইকোলেট প্রস্তুত করে, থা আলোকশ্বসনের মুখ্য যৌগিক (substrate)। আলোকশ্বসন অক্সিজেনের প্রভাবে ত্বরান্বিত ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড-এর প্রবাবে স্তিমিত হয়ে যায়। পক্ষান্তরে সালোকসংশ্লেষের হার কার্বন-ডাই-অক্সাইডের প্রভাবে বৃদ্ধি ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে হ্রাস পায়। অক্সিজেন কর্তৃক সালোকসংশ্লেষের এই পরোক্ষ হ্রাস পাওয়ার ঘটনাকেই প্রকৃতপক্ষে ওয়ারবার্গ এফেক্ট বা ওয়ারবার্গের আরোপিত প্রভাব বলা হয়।

12.7 সারাংশ

সূর্যালোকর উপস্থিতিতে উদ্ভিদের স্যালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গে শ্বসনের হার বৃদ্ধি পায় ও অধিক পরিমাণে কার্বন-ডাই-অক্সাইড নির্গত হবার ঘটনাকে আলোকশ্বসন বলে। একটি উদ্ভিদ কোষে আলোকশ্বসন সম্পন্ন করতে ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম ও মাইটোকন্ড্রিয়া এই তিনটি কোষ-অঙ্গাণুর সহাবস্থান অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। যে সমস্ত উন্নত উদ্ভিদেরা কেলভিন চক্রের মাধ্যমে কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধন করে থাকে, সেইসব C_3 উদ্ভিদের মধ্যেই আলোকশ্বসন পরিলক্ষিত হয়।

2 কার্বন অণুবিশিষ্ট গ্লাইকোলেটই হল আলোকশ্বসনে প্রথম স্থায়ী যৌগ। কাজেই যে চক্রের মাধ্যমে আলোকশ্বসন সম্পন্ন হয়, তাকে C_2 চক্র বলা হয়। উদ্ভিদে এই C_2 চক্র নিয়ন্ত্রিত হয় বায়ুমণ্ডলে উপস্থিত কার্বন-ডাই-অক্সাইড ও অক্সিজেন গ্যাসের অনুপাতের ওপর। এক্ষেত্রে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিষয়টি হল এই যে, রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট যৌগটি অক্সিজেন ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড উভয়কেই সংবন্ধন (fix) করতে সক্ষম এবং একই উৎসেচক এই দ্বৈত ভূমিকা পালন করে। এই বিশেষ উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বোক্সিলেজ-অক্সিজিনেজ বা সংক্ষেপে রুবিস্কো (Rubisco) নামে পরিচিত। বাতাসে বা পাতার নিকটবর্তী অঞ্চলে কার্বন-ডাই-অক্সাইড অপেক্ষা অক্সিজেনের তুলনামূলক ঘনত্ব বেশি থাকলে রুবিস্কো উৎসেচকটি রাইবিউলোজ বিস-ফসফেটের সঙ্গে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন না করে অক্সিজেনের সংবন্ধন ঘটায় এবং রাইবিউলোজ বিস-ফসফেটকে জারিত করে ক্লোরোপ্লাস্টের অভ্যন্তরে গ্লাইকোলেট (ফসফোগ্লাইকোলেট হিসেবে) প্রস্তুত করে। এই কারণে C_2 চক্রকে সালোকসংশ্লেষীয় কার্বন-জারণ চক্র বা Photosynthetic Carbon Oxidation Cycle বা PCO চক্রও বলা হয়।

আলোকশ্বসনকে আপাতদৃষ্টিতে উদ্ভিদের ক্ষেত্রে একটি হানিকারক প্রক্রিয়ারূপে চিহ্নিত করা হয়। কারণ আলোকশ্বসন হবার ফলে কার্বন সংবন্ধন না হয়ে তা বায়ুমণ্ডলে কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্যাসরূপে নির্গত হয়ে যায়। দেখা গেছে যে, C_2 চক্রের মাধ্যমে প্রায় 75% কার্বন পুনরুদ্ধার করা সম্ভব হলেও C_2 চক্রের প্রতিটি আবর্তনে প্রায় 25% কার্বন বিনষ্ট হয়। এছাড়াও আলোকশ্বসনের সময় ATP উদ্ভূত না হয়ে ব্যবহৃত হবার ফলে ATP অণুর বিচারেও প্রক্রিয়াটি উদ্ভিদের পক্ষে ক্ষতিকারক বলা হয়। এই কারণে অধিক ফলনশীলরূপে চিহ্নিত ভুট্টা, তামাক, আখ, বাজরা ইত্যাদি বেশ কয়েকটি C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসনের অস্তিত্ব প্রায় নেই বললেই চলে। আধুনিক বিজ্ঞানীরা অবশ্য আলোকশ্বসন এবং C_2 চক্রকে মোটেই অপ্রয়োজনীয় মনে করতে রাজি নন। তাঁদের মতে C_2 চক্রের মাধ্যমে উদ্ভূত গ্লাইসিন, সেরিনসহ কয়েকটি অন্তর্বর্তী যৌগ বিভিন্ন জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়ায় উদ্ভিদ ব্যবহার করে থাকে। এছাড়াও বিজ্ঞানীরা দেখেছেন যে, উষ্ণপ্রধান অঞ্চলে (tropical) বহু

উদ্ভিদে আলোকশ্বসন একটি 'সুরক্ষা কপাটি' (safety valve)-এর মতো কাজ করে এবং বাতাসে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ হ্রাস পেলে অথবা কম আর্দ্রতার দরুণ বা অন্য কোন কারণে পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকলে আলোকশ্বসনে উদ্ভূত কার্বন-ডাই-অক্সাইডের মাধ্যমে উদ্ভিদটি আলোক-জারণসংক্রান্ত ক্ষতির (photooxidative damage) হাত থেকে রক্ষা পায় এবং কেলভিন চক্রটিকে সচল রাখে। কাজেই এইসব দিকগুলি বিবেচনা করলে আলোকশ্বসন যে উদ্ভিদের পক্ষে শুধুই ক্ষতিকারক তা সমর্থন করা যায় না।

12.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. আলোকশ্বসন কী? সম্পূর্ণ প্রক্রিয়াটি বিক্রিয়া সহযোগে বিশদভাবে আলোচনা করুন।
2. আলোকশ্বসনে কার্বন অণুর পুনরুৎপাদন কীভাবে ঘটে তা একটি ছক-অঙ্কনের মাধ্যমে বিবৃত করুন।
3. আলোকশ্বসন ও শ্বসনের মধ্যে মূল পার্থক্যগুলি বিস্তারিতভাবে বর্ণনা করুন।
4. টীকা লিখুন :
   (a) আলোকশ্বসনের তাৎপর্য
   (b) পারঅক্সিজোম
   (c) আলোকশ্বসনে আলোকের ভূমিকা
   (d) ওয়ারবার্গ এফেক্ট বা ওয়ারবার্গের আরোপিত প্রভাব।
5. অধিক ফলনশীল C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন কম হয় কেন?
6. আলোকশ্বসন কি উদ্ভিদের পক্ষে শুধুই হারিকারক? যুক্তিসহ আলোচনা করুন।

12.9 উত্তরমালা

অনুশীলনী : 1

1. (a) গ্লাইকোলেট
   (b) মাইটোকন্ড্রিয়া
   (c) ATP ব্যবহৃত হয়
2. (a) ক্লোরোপ্লাস্ট, পারঅক্সিজোম, মাইটোকন্ড্রিয়া
   (b) রুবিস্কো (Rubisco)
   (c) 75

3. (a) ✓

(b) ✓

(c) ×

(d) ✓

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

1. প্রথম অংশটি 12.2 অংশাঙ্কিত আলোচনায় প্রথম দুই পঙ্‌ক্তিতে পাওয়া যাবে। দ্বিতীয় অংশটির জন্য 12.2.2 দেখুন।

2. চিত্র নং 12.2 দ্রষ্টব্য।

3. 12.5 অংশে আলোচিত।

4. (a) 12.6 অংশাঙ্কিত আলোচনায় পাওয়া যাবে।

(b) 12.2 অংশের টীকা দেখুন।

(c) 12.2.3 অংশটিতে আলোচিত হয়েছে।

(d) 12.6 অংশের টীকা দেখুন।

5. 12.4 অংশাঙ্কিত আলোচনা দ্রষ্টব্য।

6. 12.6 অংশের শেষভাগ অর্থাৎ আধুনিক বিজ্ঞানীরা কেন আলোকশ্বসনকে অপ্রয়োজনীয় বলতে রাজি নন এবং তাঁদের মত অনুযায়ী আলোকশ্বসনের C_2 চক্রের গুরুত্বপূর্ণ দিকগুলি নিয়ে বিস্তারিত আলোচনা করতে হবে।

একক 13 ❑ নাইট্রোজেন সংবন্ধন

গঠন

13.1 প্রস্তাবনা

13.2 উদ্দেশ্য

13.3 উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের গুরুত্ব

13.4 নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণ

13.4.1 ভৌত নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণ প্রক্রিয়া

13.4.2 নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীবসম্প্রদায়

13.5 *Rhizobium*-এর নাইট্রোজেন সংবন্ধন

13.5.1 শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া

13.5.2 জৈব রাসায়নিক উপাদান

13.5.3 নাইট্রোজেন সংবন্ধন—জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়া

13.6 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের পরবর্তী পর্যায়

13.7 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের গুরুত্ব

13.8 সারাংশ

13.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

13.10 উত্তরমালা

13.1 প্রস্তাবনা

প্রোটোপ্লাজমের এক অত্যাবশ্যক উপাদান হল নাইট্রোজেন। বাতাসে নাইট্রোজেনের পরিমাণ সর্বাধিক (শতকরা প্রায় 78%) হলেও এই গ্যাসটি সহজে বিক্রিয়াশীল হয় না বলে সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে উদ্ভিদকোষ বাতাসের নাইট্রোজেনকে প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত করতে পারে না। যে বিশেষ পদ্ধতিতে উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের আত্তীকরণ ঘটে তাকে নাইট্রোজেন সংবন্ধন বলে। ভূজৈব রাসায়নিক চক্রে ভৌত ও জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় নাইট্রোজেন বিজারিত হয়ে অ্যামোনিয়া (NH_3) ও বিভিন্ন নাইট্রোজেনঘটিত যৌগে পরিণত হয়। শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ ও *Rhizobium* ব্যাক্টেরিয়ারমিথোজীবী ক্রিয়ার মাধ্যমে নাইট্রোজেন আত্তীকরণ

প্রক্রিয়াটি সবচেয়ে আকর্ষণীয়। এই এককে আমরা উদ্ভিদের নাইট্রোজেন আত্তীকরণের বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি সম্পর্কে আলোচনা করব।

13.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের প্রয়োজনীয়তা সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী বিভিন্ন জীবের উদাহরণ দিতে পারবেন।
- শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ ও *Rhizobium*-এর মিথোজীবত্ব সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- নাইট্রোজেন সংবন্ধনের শারীরবৃত্তীয় ও জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করতে পারবেন।
- নাইট্রোজেন সংবন্ধনের গুরুত্ব উপলব্ধি করতে পারবেন।

13.3 উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের গুরুত্ব

জীবদেহে নাইট্রোজেনের গুরুত্ব অপরিসীম। প্রোটোপ্লাজমে উপস্থিত বিভিন্ন মৌলগুলির প্রায় 12% হল নাইট্রোজেন। বিভিন্ন উৎসেচক, প্রোটিন, নিউক্লিক অম্ল, ক্লোরোফিল অণু, উপক্ষার, ভিটামিন ও কিছু উদ্ভিদ হরমোনের (অক্সিন, সাইটোকাইনিন) প্রধান উপাদান হল নাইট্রোজেন। নাইট্রোজেন উদ্ভিদের বিপাক, বৃদ্ধি ও জনন—এই তিনটি অত্যাবশ্যক ক্রিয়াকেই প্রভাবিত করে।

13.4 নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণ

ভূজৈব রাসায়নিক চক্র লক্ষ করলে আমরা দেখতে পাব যে পরিবেশে ভৌত ও জৈবিক উভয় প্রক্রিয়াতেই বাতাসের নাইট্রোজেন উদ্ভিদদেহে আবদ্ধ হতে পারে। একটি বিষয় লক্ষণীয় যে নাইট্রোজেন গ্যাস ($N \equiv N$) স্বাভাবিকভাবে বিক্রিয়াশীল না হওয়ায় অন্য কেবল উচ্চ তাপ ও চাপে অথবা বিশেষ উৎসেচকের ক্রিয়াশীলতার মাধ্যমেই উদ্ভিদের গ্রহণযোগ্য নাইট্রোজেনঘটিত যৌগে রূপান্তরিত হয়। ভৌত বা রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় প্রাকৃতিক বা কৃত্রিমভাবে প্রথমে নাইট্রোজেনঘটিত বিভিন্ন যৌগ তৈরি হয় এবং পরে উদ্ভিদেহে সেই যৌগগুলির আত্তীকরণ ঘটে। অপরদিকে, জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদ নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে বাতাসের নাইট্রোজেনকে সরাসরি অ্যামোনিয়াতে (NH_3) রূপান্তরিত করে প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত করে যা পর্যায়ক্রমে অন্যান্য প্রয়োজনীয় নাইট্রোজেনঘটিত যৌগে রূপান্তরিত হয়।

13.4.1 ভৌত নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণ প্রক্রিয়া

যে ভৌত বা রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় বাতাসের নাইট্রোজেন বিভিন্ন যৌগে আবদ্ধ হয় তাতে উদ্ভিদের কোনো ভূমিকা নেই। এই প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণ প্রাকৃতিক বা কৃত্রিম পদ্ধতিতে সম্পন্ন হতে পারে।

বজ্রবিদ্যুৎসহ বৃষ্টিপাতের সময় উচ্চ তাপ ও চাপে N_2 গ্যাস O_2-এর উপস্থিতিতে প্রথমে নাইট্রাস অক্সাইড (NO) ও পরে নাইট্রোজেন ডাইঅক্সাইড (NO_2) উৎপন্ন করে।

$$N_2 + O_2 \xrightarrow{\text{উচ্চ তাপ ও চাপ}} 2NO$$

$$2N + O_2 \xrightarrow{\text{উচ্চ তাপ ও চাপ}} 2NO_2$$

এই NO_2 বৃষ্টিপাতের সময় জলের সাথে যুক্ত হয়ে নাইট্রাস অম্ল (HNO_2) ও নাইট্রিক অম্ল (HNO_3) গঠন করে। এই দুটি অম্ল মাটিতে এসে বিভিন্ন লবণের সাথে বিক্রিয়া করে নাইট্রাইট ও নাইট্রেট লবণ তৈরি করে। এইভাবে বাতাসের N_2 বিভিন্ন নাইট্রোজেনযুক্ত লবণে পরিণত হয় এবং উদ্ভিদ মৃত্তিকাস্থিত সেই লবণগুলি মূল দিয়ে শোষম করে দেহে নাইট্রোজেনের ঘাটতি পূরণ করে।

$$2NO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{বৃষ্টিপাত}} HNO_2 + HNO_3$$

$$CaSO_4 + 2HNO_3 \rightarrow Ca(NO_3)_2 + H_2SO_4$$

(মৃত্তিকাস্থিত)

এই প্রাকৃতিক পদ্ধতি ছাড়াও কৃত্রিম উপায়ে নাইট্রোজেন গ্যাসকে আবদ্ধকরণ সম্ভব। হেবার-এর পদ্ধতিতে (Haber's process) N_2 ও H_2 গ্যাসের সংমিশ্রণ ঘটিয়ে (200 বায়ুমণ্ডলীয় চাপে, 550°C তাপ মাত্রায় লৌহ অনুঘটকের উপস্থিতিতে) অ্যামোনিয়া (NH_3) উৎপন্ন করা হয়। এই NH_3 থেকেই বিভিন্ন রাসায়নিক কারখানায় অ্যামোনিয়াম সালফেট $[(NH_4)_2SO_4]$, অ্যামোনিয়াম নাইট্রেট (NH_4NO_3), অ্যামোনিয়াম ফসফেট $[(NH_4)_3PO_4]$ প্রভৃতি অজৈব সার ও ইউরিয়ার $[CO(NH_2)_2]$ মতো জৈব সার উৎপন্ন করা হয়।

13.4.2 নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীবসম্প্রদায়

একটি বিষয় লক্ষণীয় যে নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী জীবেরা প্রধানত ব্যাক্টেরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল। এরা নাইট্রোজেনেস নামক উৎসেচকের মাধ্যমে সরাসরি N_2-কে NH_3 তে রূপান্তরিত করে এবং এই প্রক্রিয়াটি কোষের অভ্যন্তরে সম্পাদিত হয়। পুষ্টিগত দিক দিয়ে এই আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত জীবগুলি আবার স্বাধীনজীবী বা মিথোজীবী হতে পারে।

(ক) **স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া** : উইনোগ্রাডস্কি (Winogradsky) 1893 সালে সর্বপ্রথম লক্ষ করেন যে *Clostridium pasteurianum* নামক স্বাধীনজীবী অবাত (anaerobic) ব্যাক্টেরিয়া বাতাসের N_2 সংবন্ধনে সক্ষম। 1901 সালে বেউজারিনক্ (Beijerinck) উল্লেখ করেন যে *Azotobacter* নামক বায়ুজীবী (aeribic) ব্যাক্টেরিয়াও অনুরূপ পদ্ধতিতে N_2 সংবন্ধন করে। *Azotobacter chroococcum, A, agilis* ও *A. vinelandii* এই তিনটি প্রজাতি উল্লেখযোগ্যভাবে N_2 সংবন্ধনে সক্ষম।

Chlorobium, Chromatium, Rhodospirillum প্রভৃতি সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টেরিয়াও N_2 সংবন্ধন করতে পারে।

(খ) **মিথোজীবী ব্যাক্টেরিয়া** : এই ধরনের ব্যাক্টেরিয়া স্বতন্ত্রভাবে N_2 সংবন্ধনে অক্ষম। এরা যখন কোনো উদ্ভিদের সাথে মিথোজীবীরূপে অবস্থান করে তখনই তাদের মধ্যে N_2 আবদ্ধীকরণের ক্ষমতা লক্ষ করা যায়। সমস্ত মিথোজীবী ব্যাক্টেরিয়ার মধ্যে *Rhizobium* সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ। এরা বাতাসের N_2 কে NH_3 তে রূপান্তরিত করে শিম্বজাতীয় (Fabaceae) উদ্ভিদে সরবরাহ করে। অপরদিকে শিম্বজাতীয় উদ্ভিদমূলের অর্বুদে বসবাসকারী এই ব্যাক্টেরিয়াম আশ্রয়দাতা উদ্ভিদ থেকে শর্করা জাতীয় খাদ্য সংগ্রহ করে। উদ্ভিদ বা *Rhizobium* কেউই পৃথক বা স্বতন্ত্রভাবে N_2 সংবন্ধন করতে পারে না। তাই এদের সহাবস্থান মিথোজীবিত্বের এক আদর্শ উদাহরণ। ম্যাককম (McComb) ও তাঁর সহকর্মীরা (1975) অবশ্য *Rhizobium*-এর এক বিশেষ স্টেন (strain) আবিষ্কার করেছেন যা পেন্টোজ শর্করার উপস্থিতিতে স্বাধীন বা স্বাতন্ত্রভাবে N_2 সংবন্ধনে সক্ষম।

(গ) **অ্যাকটিনোমাইসেটিস** : *Frankia* নামক অ্যাকটিনোমাইসেটিস (Actinomycetes), *Myrica, Casuarina* প্রভৃতি বহুবর্ষজীবী, গুপ্তজীবী কাষ্ঠল উদ্ভিদের মূলে অর্বুদ সৃষ্টি করতে পারে

(ঘ) **নীলাভ সবুজ শৈবাল** : নীলাভ সবুজ শৈবাল (Cyanophyceae) প্রধানত স্বাধীনজীবী N_2 সংবন্ধনকারী উদ্ভিদ। তেজস্ক্রিয় N^{15} ব্যবহার করে দেখা গেছে যে এই শৈবাল অনুসূত্রের হেটারোসিস্ট (heterocyst) নামক বিশেষ কোষে N_2 সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পাদিত হয়। N_2 সংবন্ধনকারী নীলাভ সবুজ শৈবালের মধ্যে *Nostoc, Anabaena, Gloeocapsa* প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। পশ্চিমবঙ্গ ও বাংলাদেশের ধানক্ষেতে *Anabaena gelatinosa, Aulosira fertilisima* প্রভৃতি শৈবাল প্রচুর পরিমাণে N_2 আবদ্ধ করে। এর ফলে মাটিতে অ্যামোনিয়া ও অন্যান্য নাইট্রোজেনঘটিত লবণের পরিমাণ বেড়ে গিয়ে মাটিতে উর্বর করে। বর্তমানে স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া ও এই ধরনের শৈবালদের জীবজ সাররূপে (Biofertilizer) ব্যবহার করা হচ্ছে।

নীলাভ সবুজ শৈবাল শুধু স্বাধীনজীবী হিসাবেই নয়, মিথোজীবী প্রক্রিয়াতেও N_2 সংবন্ধন করতে পারে। *Azolla* নামক ছোট কচুরিপানায় *Anabaena,* বিভিন্ন লাইকেন ও *Anthoceros* নামক ব্রায়োফাইটে *Nostoc*

অন্তঃবাসীরূপে (Endophyte) থাকে এবং N_2 সংবন্ধন করে আশ্রয়দাতা উদ্ভিদকে সরবরাহ করে। *Cycas* নামক ব্যক্তজীবী উদ্ভিদের মূলে *Anabaena* অন্তঃবাসীরূপে N_2 সংবন্ধন করে। ভন বিউলো ও দোবেরাইনার (Von Bulow and Dobereiner) 1975 সালে ভুট্টা মূলে *Spirillum* নামক শৈবালের মাধ্যমে N_2 সংবন্ধনের কথা উল্লেখ করেন। শীল্ডস ও ডুরেল (Shields and Durrel) 1964 সালে মন্তব্য করেছেন যে নীলাভ সবুজ শৈবাল মরুভূমি অঞ্চলের জমিতেও উর্বর করতে সমান তৎপর।

(ঙ) **ছত্রাক** : অনেক বৈজ্ঞানিকের মতে ঈস্ট কোষ স্বল্প পরিমাণ N_2 সংবন্ধনে সক্ষম। *Pinus* জাতীয় গাছের মূলে মাইকোরাইজা গঠনকারী *Rhizopogon roseolus* ছত্রাকটিও অল্পবিস্তর N_2 আবদ্ধ করতে পারে।

অনুশীলনী : 1

1. সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :

(ক) *Azotobacter* একটি

(i) মিথোজীবী ব্যাক্টেরিয়া

(ii) নীলাভ সবুজ শৈবাল

(iii) স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া

(খ) নাইট্রোজেন সংবন্ধনের মাধ্যমে

(i) ইউরিয়া উৎপন্ন হয়

(ii) অ্যামোনিয়া সৃষ্টি হয়

(iii) অ্যামাইনো অম্ল গঠিত হয়

(গ) *Frankia* একটি

(i) ছত্রাক

(ii) অ্যাকটিনোমাইসেটিস

(iii) ব্যাক্টেরিয়াম

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) _____ একটি মিথোজীবী ব্যাক্টেরিয়া যা _____ জাতীয় উদ্ভিদের মূলে _____ সৃষ্টি করে।

(খ) _____ সর্বপ্রথম _____ সালে _____ _____ নামক ব্যাক্টেরিয়ামে N_2 সংবন্ধন প্রক্রিয়া লক্ষ করেন।

(গ) _____ একটি N_2 ঘটিত রেচন পদার্থ এবং _____ একটি নাইট্রোজেনযুক্ত উদ্ভিদ হরমোন।

13.5 *Rhizobium*-এর নাইট্রোজেন সংবন্ধন

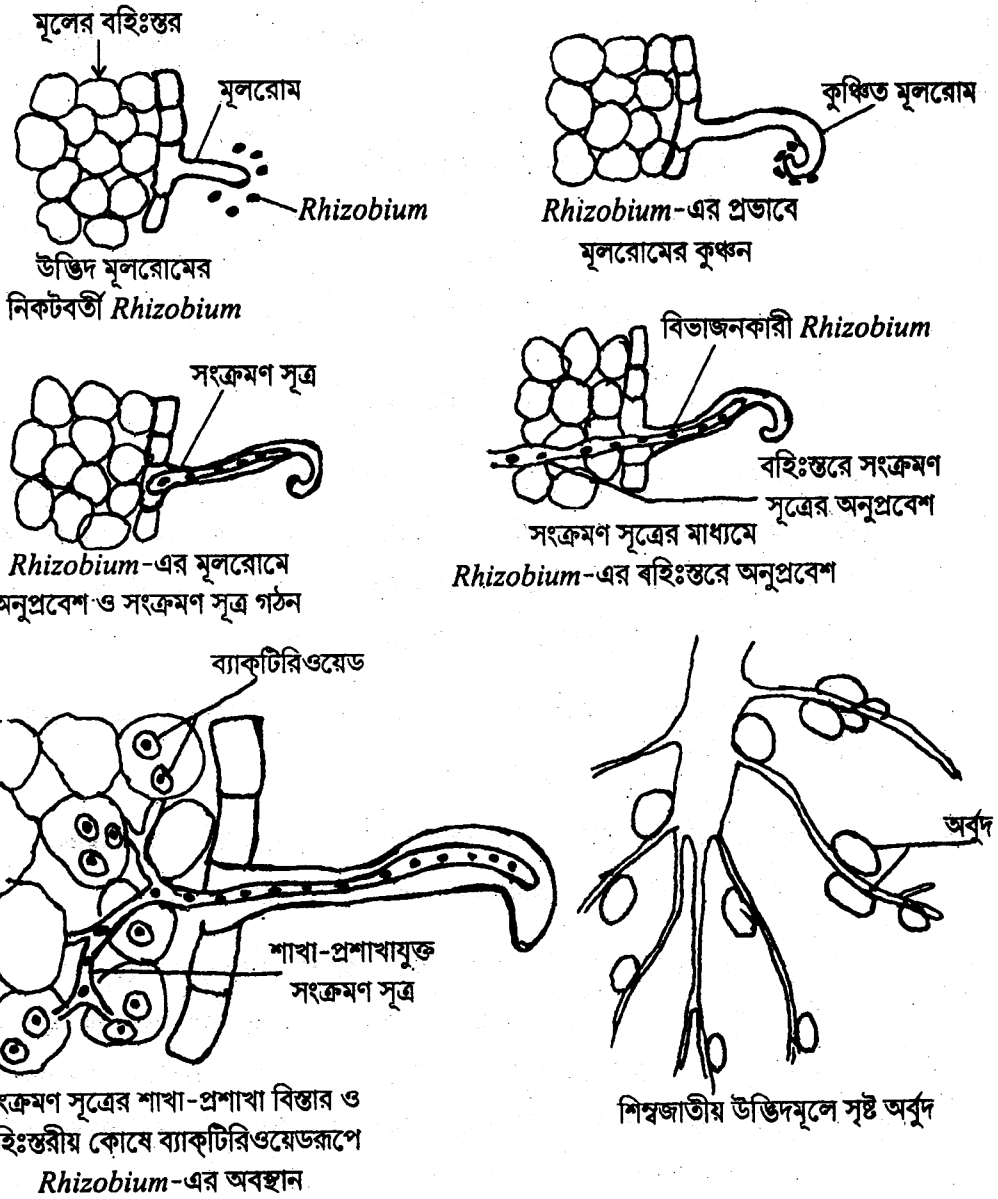
আমরা ইতিপূর্বেই জানতে পেরেছি যে শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ *Rhizobium* নামক ব্যাক্টেরিয়া মিথোজীবী প্রক্রিয়ায় N_2 সংবন্ধন করে। এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে কিভাবে এই প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বায়ুর N_2 বিজারিত হয়ে NH_3 তে রূপান্তরিত হয়।

Rhizobium হল মৃত্তিকাস্থিত গ্রাম নেগেটিভ (Gram –ve) বায়ুজীবী, দণ্ডাকার ব্যাক্টেরিয়াম। এই ব্যাক্টেরিয়াম বিভিন্ন শিম্বজাতীয় উদ্ভিদমূলে প্রবেশ করে এবং মূলে অর্বুদ সৃষ্টি করে তার মধ্যে বসবাস করে। প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে *Bradyrhizobium* সোয়াবীন, কাউ-পি (Cowpea) প্রভৃতি উদ্ভিদে এবং *Rhizobium* মটর, আলফালফা (Alfalfa) উদ্ভিদে N_2 সংবন্ধন করে। সোয়াবীনে N_2 সংবন্ধনকারী ব্যাক্টেরিয়ামটি হল *Bradyrhizobium Japonicum* এবং মটরগাছের মূলে প্রাপ্ত ব্যাক্টেরিয়ামের নাম *Rhizobium Leguminosarum*।

13.5.1 শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া

Rhizobium প্রথমে মাটিতে মৃতজীবী ব্যাক্টেরিয়ামরূপে অবস্থান করে। উদ্ভিদমূল থেকে নিঃসৃত লেকটিনজাতীয় গ্রাহক (receptor) পদার্থ নির্দিষ্ট প্রজাতির *Rhizobium*-কে আকৃষ্ট করে। এর ফলে উদ্ভিদের মূলরোমের সাথে *Rhizobium* ব্যাক্টেরিয়ামের সংযোগ স্থাপিত হয়। মূলরোমে অনুপ্রবেশ করার পর মূলে। IAA জাতীয় অক্সিনের নিঃসরণ বেড়ে যায় এবং এর ফলে উদ্ভিদ মূলরোমটি কুঞ্চিত হয়। এরপর *Rhizobium* মূলরোম থেকে বহিঃস্তরের দিকে যেতে থাকে। এই সময় ব্যাক্টেরিয়া আক্রান্ত বহিঃস্তরের কোষগুলিতে গলগি বস্তুর ভেলিক্লগুলি (vesicles) যুক্ত হয়ে কোষপর্দায় নলাকার উপবৃদ্ধি সৃষ্টি করে যাকে মূলের প্রস্থচ্ছেদে সূত্রাকার মনে হয়। বহিঃস্তরের যে পথ দিয়ে *Rhizobium* মূলের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে সেই জায়গায় উপস্থিত সূত্রাকার অঞ্চলকে সংক্রামণ সূত্র (*Infection thread*) বলে। সংক্রমণ সূত্রে আবদ্ধ ব্যাক্টেরিয়া অত্যন্ত দ্রুত বিভাজিত হয়ে বংশবৃদ্ধি করে। মূলের বহিঃস্তরে সংক্রমণ সূত্র শাখান্বিত হয়ে *Rhizobium*-কে

বিভিন্ন স্থানে ছড়িয়ে দেয়। দ্রুত বিভাজনকারী ব্যাক্টেরিয়া এরপর কোষবিভাজন ক্ষমতা হারিয়ে ফেলে এবং পেরিব্যাক্টিরয়েড আবরণীর মধ্যে আবৃত থাকে। এই অবস্থায় ব্যাক্টেরিয়া আকৃতিতে বড়, নিশ্চল ও বিভাজনে অক্ষম হয় এবং এদের ব্যাক্টিরিওয়েড (Bacteroid) বলে।



চিত্র 13.1 : শিম্বজাতীয় উদ্ভিদে *Rhizobium* কর্তৃক অর্বুদ গঠনের বিভিন্ন উপায়

এই সময়ে মূলে IAA হরমোনের মাত্রা বেড়ে যাওয়ায় মূলের স্থানে স্থানে অর্বুদ (nodule) সৃষ্টি হয়। এই অর্বুদের মধ্যেই পরিণত *Rhizobium* ব্যাক্টেরিয়া N_2 সংবন্ধন শুরু করে। এই সময়ে অর্বুদে হালকা লাল রঙের একটি বিশেষ রঞ্জক উৎপন্ন হয়। প্রাণীদেহে উপস্থিত হিমোগ্লোবিনের মতন শিম্বজাতীয় উদ্ভিদমূলে প্রাপ্ত রঞ্জক কণাটিও লাল এবং O_2 পরিবহনে সক্ষম বলে একে লেগ্‌হিমোগ্লোবিন (Leghaemoglobin) বলা হয়। লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখযোগ্য :

(i) এই রঞ্জকের আলোকশোষণ ক্ষমতা হিমোগ্লোবিনের অনুরূপ।

(ii) সক্রিয় অর্বুদে লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের পরিমাণ বা ঘনত্ব $1–5 \times 10^{-4} M$ (মোলার)।

(iii) হিমোগ্লোবিনের মতন লেগ্‌হিমোগ্লোবিনে শতকরা 0.34% Fe থাকে।

(iv) লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের আণবিক ওজন 34,000 অর্থাৎ হিমোগ্লোবিনের অর্ধেক।

(v) কেবলমাত্র শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ ও *Rhizobium*-এর মিথোজীবিত্বের ফলেই লেগ্‌হিমোগ্লোবিন সৃষ্টি হয় অর্থাৎ পৃথক পৃথকভাবে উদ্ভিদ বা ব্যাক্টেরিয়া কেউই এই রঞ্জক কণা উৎপন্ন করতে পারে না। আরও লক্ষ করা গেছে যে এই রঞ্জক কণার হিম অংশটি *Rhizobium* DNA এবং গ্লোবিন অংশটি উদ্ভিদের DNA দ্বারা সংশ্লিষ্ট হয়।

(vi) *Rhizobium* কোষপর্দা অঞ্চলে ও পোষক উদ্ভিদমূলের সাইটোপ্লাজমে এই রঞ্জক কণার উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়।

(vii) ভিন্ন ভিন্ন ব্যাক্টেরিয়ার প্রজাতির দ্বারা সৃষ্ট অর্বুদে লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের অ্যামাইনো অম্লের ধারাবাহিকতা (Amino acid sequence) পৃথক পৃথক হয়।

(viii) *Rhizobium* একটি বায়ুজীবী ব্যাক্টেরিয়াম অর্থাৎ এর শ্বসনকার্যের জন্য O_2-এর প্রয়োজন। অপরদিকে, N_2 সংবন্ধন একটি বিজারণধর্মী ক্রিয়া যা O_2-এর সংস্পর্শে বন্ধ হয়ে যায়। লেগ্‌হিমোগ্লোবিন বাতাসের O_2কে আবদ্ধ করে সুনির্দিষ্টভাবে *Rhizobium* শ্বসনস্থানে নিয়ে যায় এবং এর ফলে ঐ ব্যাক্টেরিয়ার N_2 সংবন্ধনকারী অঞ্চলটি O_2 মুক্ত থাকে।

13.5.2 জৈব রাসায়নিক উপাদান

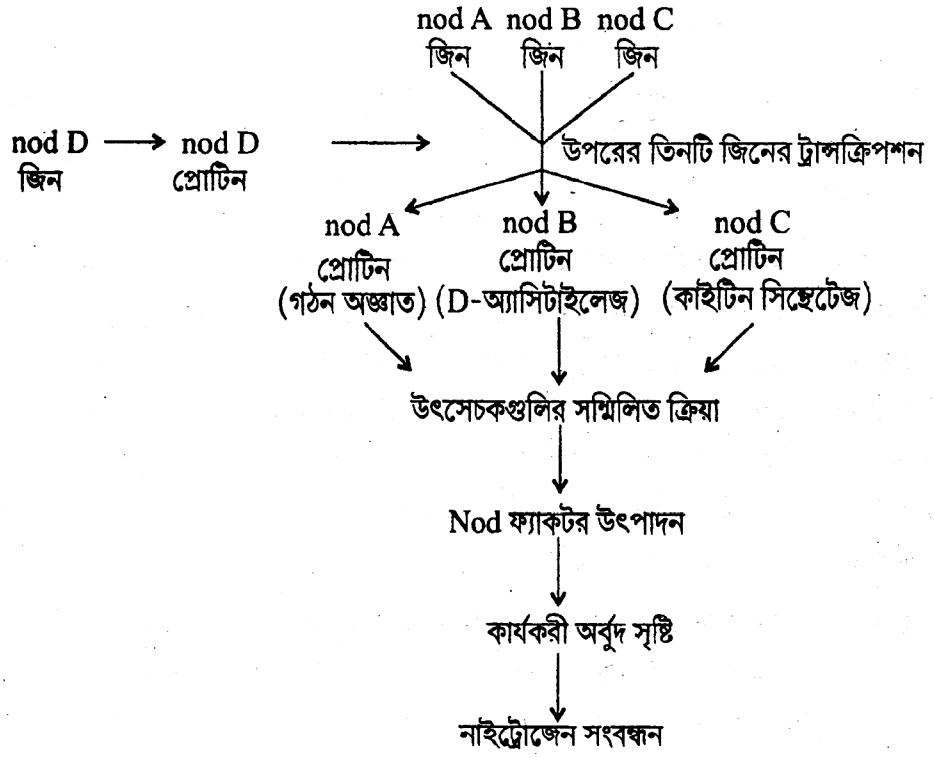
এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে কীভাবে বাতাসের N_2 গ্যাস *Rhizobium*-এর সক্রিয়তার ফলে NH_3তে রূপান্তরিত হয়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা N, সংবন্ধনের বিভিন্ন পর্যায়গুলিকে বিস্তারিতভাবে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হয়েছেন।

(ক) **ব্যাকটেরিয়া আকর্ষণকারী রাসায়নিক উপাদান :** মৃত্তিকাস্থিত *Rhizobium*-এর বিভিন্ন প্রজাতিগুলি কিভাবে তাদের সুনির্দিষ্ট পোষক উদ্ভিদের মূলকে আক্রমণ করে সে বিষয়ে বিস্তারিত গবেষণা হয়েছে। জানা গেছে যে উদ্ভিদমূলের কিছু সুনির্দিষ্ট রাসায়নিক পদার্থের ক্ষরণই এই আকর্ষণের মূল কারণ। বিভিন্ন অ্যামাইনো অম্ল, ডাইকার্বক্সিলিক অম্ল ও ফ্ল্যাভোনয়েড যৌগগুলি *Rhizobium*-কে আকৃষ্ট করে। রাসায়নিক পদার্থ ক্ষরণের মাধ্যমে ব্যাক্টেরিয়াকে আকর্ষণ করার প্রক্রিয়াকে কেমোট্যাক্টিস (Chemotaxis) বলা হয়। অপরদিকে, *Rhizobium*-এর কোষপ্রাচীর থেকেও রাইকাডেসিন (Rhicadhesin) নামে এক বিশেষ Ca সংযুক্তকারী প্রোটিনের নিঃসরণ হয় যা ব্যাক্টেরিয়াকে উদ্ভিদমূলে আবদ্ধ করতে সাহায্য করে (স্মিথ, 1989)।

(খ) **নড্ ফ্যাকটর (Nod factor) :** উদ্ভিদমূলের নিকটবর্তী হওয়ার সাথে সাথে *Rhizobium* যে বিশেষ অর্বুদ উৎপাদনকারী উপাদানগুলি সৃষ্টি করে তাদের নডুইলেশন ফ্যাকটরস্ বা নড্ ফ্যাকটরস্ (Nodulation factors or non factors) বলে। এগুলি রাসায়নিকভাবে লাইপো-কাইটোঅলিগো-স্যাকারাইড অর্থাৎ কাইটিনের একটি উপজাত পদার্থ। কাইটিনে N-অ্যাসিটাইল-D-গ্লুকোজ্যামাইন এককগুলি $\beta - 1 \rightarrow 4$ গ্লাইকোসাইডক বন্ধনীর মাধ্যমে পলিমার গঠন করে। নড্ ফ্যাকটরগুলির গঠনও অনুরূপ কিন্তু এই অণুগুলির একপ্রান্তে স্নেহজ অম্ল (Fatty acid) প্রতিস্থাপিত হয়ে অ্যাসিটাইল গ্রুপের সংযোজন হয়। *Rhizobium* নিঃসৃত নড্ ফ্যাকটরস্ মাটিতে এসে উদ্ভিদমূলের মূলরোমের সংখ্যা বৃদ্ধি করে, মূলরোমে বক্রতা ঘটায় ও লেকটিন উৎপাদন করে *Rhizobium* কে মূলের সাথে আবদ্ধ করতে সহায়তা করে।

(গ) **নড্ জিন (Nod gene) :** নড্ ফ্যাকটরস্ বা নড্ উপাদানগুলির সংশ্লেষ যে জিনগুলির মাধ্যমে নিয়ন্ত্রিত হয় তাদের একত্রে নডুইলেশন জিন বা সংক্ষেপে নড্ জিন বলে।

সাম্প্রতিককালে, *Rhizobium* থেকে 24টি নড্ জিন (Nod gene) আবিষ্কৃত হয়েছে। এদের মধ্যে Nod A, Nod B, nod C জিন তিনটি *Rhizobium, Azorhizobium, Brady rhizobium* -এর সমস্ত প্রজাতিতেই পাওয়া য়ায়। তাই এই তিনটি জিনকে সাধারণ নড্ জিন বলে। Nod D নামক আরেকটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ জিন আবিষ্কৃত হয়েছে। Nod D জিন থেকে উৎপাদিত প্রোটিন সাধারণ নড্ জিনগুলির ট্রান্সক্রিপশন (Transcription) প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে বিভিন্ন নড্ ফ্যাকটরগুলি উৎপন্ন করে। বিভিন্ন নড্ জিনগুলির কার্যকারিতা নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করা যায় :



(ঘ) **নাইট্রোজেনেস** : কার্যকরী অর্বুদ সৃষ্টি হওয়ার পর অর্বুদের *Rhizobium* N_2 সংবন্ধন শুরু করে। যে উৎসেচক বাতাসের N_2 কে বিজারিত করে অ্যামোনিয়া (NH_3) উৎপন্ন করে তাকে নাইট্রোজেনেস বলে। এই উৎসেচক 32–40°C তাপমাত্রায় এবং 6.8 – 7.4 pH-এ সর্বাধিক কার্যকরী হয়।

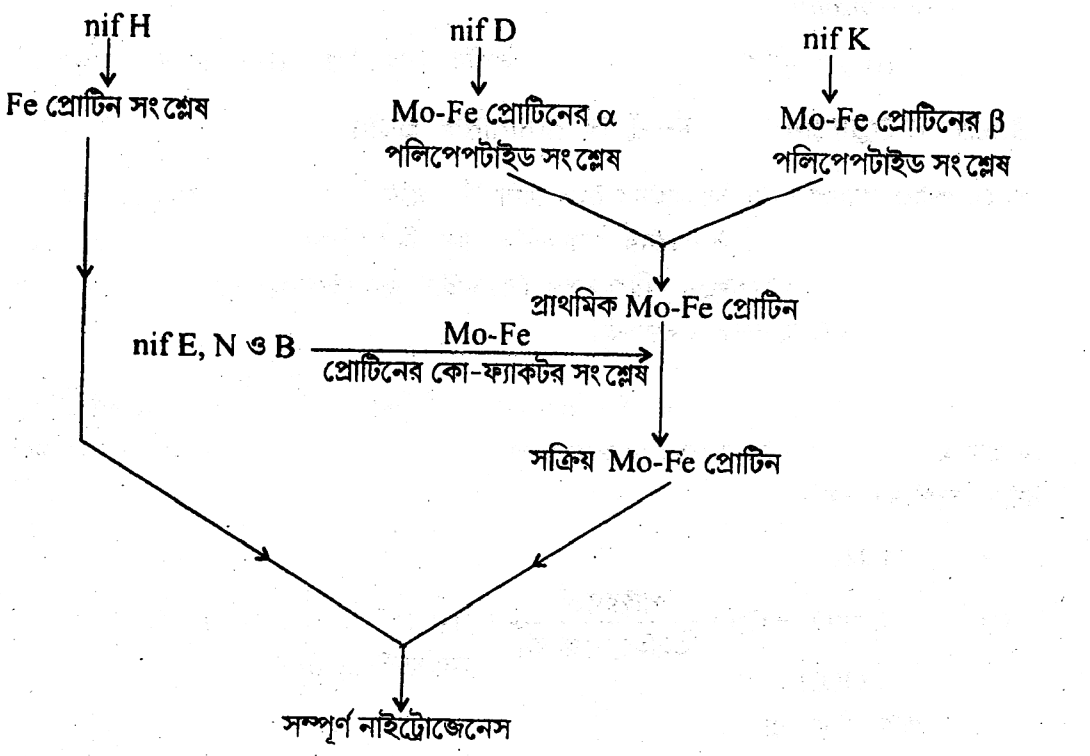
নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের গঠন অত্যন্ত জটিল। এই উৎসেচক দুটি অধঃএককে বিভক্ত। একটি অধঃএকক লৌহযুক্ত বলে তাকে Fe প্রোটিন এবং অপর অধঃএককটি মলিবডিনাম ও লৌহযুক্ত বলে তাকে Mo-Fe প্রোটিন বলে।

Fe প্রোটিনটি তুলনামূলকভাবে ক্ষুদ্র। এর আণবিক ওজন 57,674 (*Clostridium pasteurianum*) থেকে 73,000 (*Corynebacterium* sp.) অবধি হয়। Fe প্রোটিনে 4টি Fe পরমাণু ও 4টি S^{2-} লক্ষ করা যায়। প্রতিটি Fe প্রোটিন আবার দুটি সমধর্মী পলিপেপটাইড নিয়ে গঠিত ও প্রতিটি পলিপেপটাইডে 273টি অ্যামাইনো অম্ল থাকে। Fe প্রোটিন অত্যন্ত O_2 সংবেদনশীল। মনে রাখতে হবে যে N_2 থেকে NH_3-এর রূপান্তর একটি বিজারণমূলক ক্রিয়া এবং O_2-এর উপস্থিতি এই বিজারণ ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণকারী উৎসেচক অর্থাৎ নাইট্রোজেনেসের কর্মক্ষমতা নষ্ট করে দেয়। O_2-এর প্রভাবে Fe প্রোটিনের অর্ধক্ষয়কাল (Half-decay life) মাত্র 30–45 সেকেন্ড।

অপরদিকে, Mo-Fe প্রোটিনটি তুলনামূলকভাবে বড় এবং প্রজাতিভেদে এর আণবিক ওজন 180–235 kDa (কিলোডালটন) হয়। Mo-Fe-প্রোটিনের সাথে দুটি Mo (মলিবডেনাম), 28 থেকে 32টি Fe পরমাণু এবং Fe-র সমসংখ্যক S পরমাণু থেকে। Mo-Fe প্রোটিন একটি টেট্রামার অর্থাৎ 4টি পলিপেপটাইডের সমন্বয়ে গঠিত। 4টি পলিপেপটাইডের দুটি α শৃঙ্খল ও দুটি β শৃঙ্খল অর্থাৎ সমগ্র Mo-Fe প্রোটিনকে $\alpha_2\beta_2$ রূপে চিহ্নিত করা যায়। Fe প্রোটিনের তুলনায় এই প্রোটিন কম O_2 সংবেদী, কারণ O_2-এর উপস্থিতিতে এর অর্ধক্ষয়কাল প্রায় 10 মিনিট।

(ঙ) **নিফ জিন (Nif gene) :** যে বিশেষ জিন নাইট্রোজেন সংবন্ধন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে তাকে nif জিন বলে। এই nif জিন প্রধানত নাইট্রোজেনেস উৎসেচকটি সংশ্লেষ করে। *Klebsiella pheumoniae* নামক ব্যাক্টেরিয়াতে অন্ততঃপক্ষে 17টি nif জিনের অস্তিত্ব পাওয়া গেছে যারা 7টি ওপেরনে সজ্জিত থাকে। নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী ব্যাক্টেরিয়ায় nif জিনগুলি দলবদ্ধ অবস্থায় তাকে এবং সবক্ষেত্রেই এই nif জিনগুচ্ছ his ওপেরনটির (Histidine Operon) সংলগ্নবর্তী হয়। ব্যাক্টেরিয়ার DNA-এর nif জিন অঞ্চলটি 24 kb (কিলোবেস) দৈর্ঘ্যসম্পন্ন হয়।

প্রথম nif জিনগুলি নিম্নলিখিত প্রক্রিয়ায় সম্মিলিতভাবে নাইট্রোজেনেস উৎসেচকটির সংশ্লেষ করে :



অনুশীলনী : 2

1. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) শিম্বজাতীয় উদ্ভিদমূলের অর্বুদে _____ নামক রঞ্জক কণা পাওয়া যায়।

(খ) লেগ্‌হিমোগ্লোবিনের আণবিক ওজন _____ এবং এই অণুতে শতকরা _____ ভাগ Fe থাকে।

(গ) _____ জীন Fe প্রোটিন ও _____ জীন Mo-Fe প্রোটিন সংশ্লেষ করে।

2. সঠিক উত্তরটির পাশে '✓' চিহ্ন দিন :

(ক) Nod ফ্যাকটর একটি

(i) কাইটিনজাতীয় পদার্থ; (ii) প্রোটিনজাতীয় পদার্থ; (iii) শর্করা।

(খ) *Bradyrhizobium*

(i) সোয়াবীন; (ii) মটর; (iii) আলফালফা গাছে N_2 সংবন্ধন করে।

(গ) *Rhizobium* একটি

(i) অবায়ুজীবী ব্যাক্টেরিয়া; (ii) মৃতজীবী ব্যাক্টেরিয়া; (iii) বায়ুজীবী ব্যাক্টেরিয়া।

13.5.3 নাইট্রোজেন সংবন্ধন—জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়া

এই পর্যায়ে আমরা দেখব কী ধরনের জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বাতাসের N_2 গ্যাস NH_3 তে রূপান্তরিত হয়। নাইট্রোজেন সংবন্ধনের প্রয়োজনীয় রাসায়নিক উপকরণগুলি হল— (ক) হাইড্রোজেন, (খ) ইলেকট্রন দাতা, (গ) ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্র, (ঘ) নাইট্রোজেন (ইলেকট্রন গ্রাহক), (ঙ) ATP ও Mg^{2+} এবং (চ) সক্রিয় নাইট্রোজেনেস উৎসেচক।

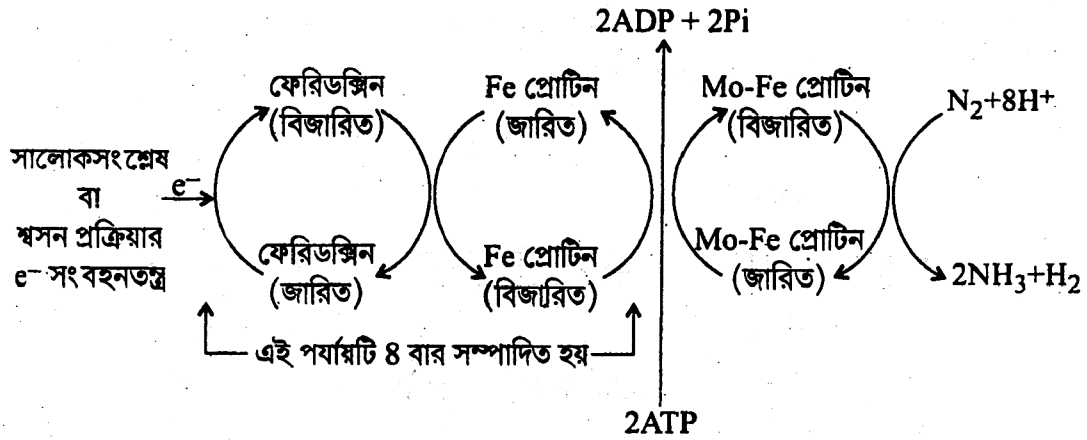
বৈজ্ঞানিকেরা প্রমাণ করেছেন যে পাইরুভিক অম্ল যে বিক্রিয়া পদ্ধতির মাধ্যমে অ্যাসিটেটে রূপান্তরিত হয় তার মাধ্যমেই নাইট্রোজেন সংবন্ধনের জন্য প্রয়োজনীয় H_2 ও ATP উৎপাদিত হয়। এই বিক্রিয়া তিনটি পর্যায়ে সম্পাদিত হয়—

(i) $$\underset{\text{পাইরুভিক অম্ল}}{\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{COOH}{\underset{|}{C{=}O}}}} + CoA \xrightarrow[\text{ডিহাইড্রোজেনেস}]{\text{পাইরুভেট}} \underset{\text{অ্যাসিটাইল CoA}}{CH_3CO{-}SCoA} + CO_2 + H_2O$$

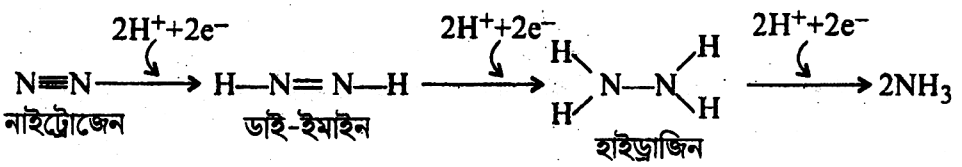
(ii) $CH_3CO—SCoA + H_3PO_4 \xrightarrow{\text{ফসফোট্রান্সঅ্যাসিটাইলেজ}}$ অ্যাসিটাইল ফসফেট + CoA

(iii) অ্যাসিটাইল ফসফেট + ADP $\xrightarrow{\text{অ্যাসিটিক কাইনেজ}}$ অ্যাসিটেট + ATP

সালোকসংশ্লেষ বা শ্বসনের ইলেকট্রন সংবহনতন্ত্রের মাধ্যমে নির্গত ইলেকট্রন (e^-) নাইট্রোজেন সংবন্ধন প্রক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয়। এই ইলেকট্রন প্রথমে ফেরিডক্সিনকে বিজারিত করে। এরপর বিজারিত ফেরিডক্সিন (Fd) নাইট্রোজেনেসের Fe প্রোটিনকে বিজারিত করে। এই বিজারণ ক্রিয়া 8 বার সম্পন্ন হয় এবং প্রতিবার 2টি করে ATP অণু ব্যবহৃত হয়। এর ফলে, এই পর্যায়ে $2 \times 8 = 16$ অণু ATP ব্যবহৃত হয় ও 8টি e^- গৃহীত হয়। পরবর্তী পর্যায়ে বিজারিত Fe প্রোটিন Mo-Fe প্রোটিনকে বিজারিত করে নিজে জারিত হয়। এই বিক্রিয়ার শেষ পর্যায়ে বিজারিত Mo-Fe প্রোটিন থেকে নির্গত ইলেকট্রন নাইট্রোজেন ও H^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে NH_3 ও H_2 উৎপন্ন করে। একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় হল যে বাতাসের N_2 পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে প্রথমে ডাই-ইমাইন (HN = NH), হাইড্রাজিন ($H_2N - NH_2$) উৎপন্ন করে পরিশেষে NH_3 সৃষ্টি করে।



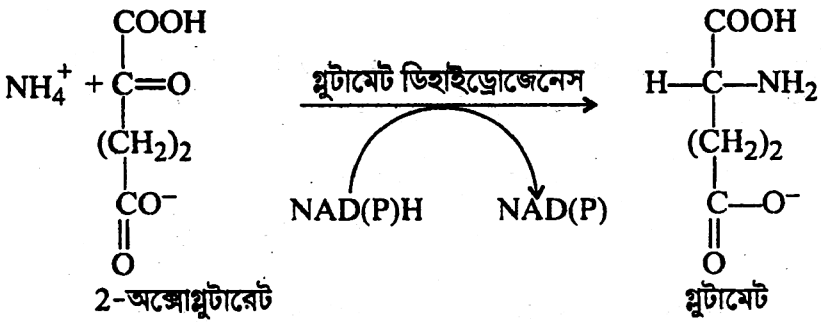
নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে N_2-এর বিজারণ প্রক্রিয়া ও NH_3 উৎপাদন :



সমগ্র প্রক্রিয়াটি পর্যালোচনা করলে দেখা যাবে প্রতি অণু N_2 কে NH_3 তে পরিণত করতে 6টি e^- ও 16 অণু ATP লাগে। তাই বলা যায় যে নাইট্রোজেন আত্তীকরণ পদ্ধতিটি একটি ব্যয়বহুল প্রক্রিয়া। এই বিক্রিয়া প্রচুর তাপশক্তিও গ্রহণ করে ($\Delta G^{o\prime} = -27$ kJ mol^{-1}) । বৈজ্ঞানিকেরা আরও লক্ষ করেছেন যে এই বিক্রিয়ায় ব্যবহৃত শক্তির 30–60% উপজাত পদার্থ H_2 উৎপন্ন করতেই ব্যবহৃত হয়। তবে *Rhizobium*-এর কয়েকটি প্রজাতি আপটেক হাইড্রোজেনেস (uptake hydrogenase) উৎসেচকরে মাধ্যমে H_2 কে ভেঙে ATP উৎপন্ন করে এবং e^- মুক্ত করে যা N_2 সংবন্ধন প্রক্রিয়ায় পুনরায় ব্যবহৃত হয় (Marschner, 1995)।

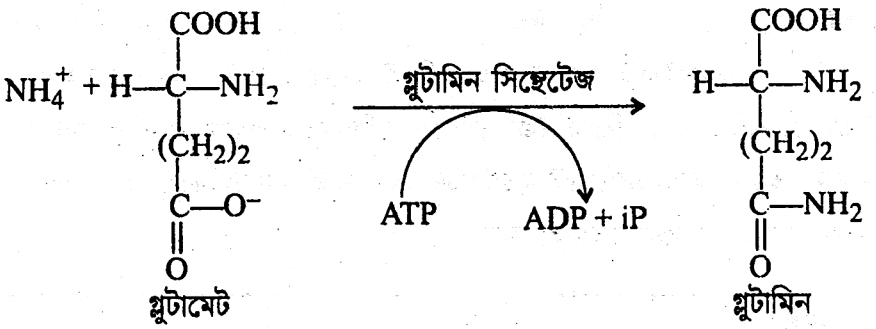
13.6 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের পরবর্তী পর্যায়

বাতাসের N_2, নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে NH_3-তে রূপান্তরিত হলেই প্রকৃত নাইট্রোজেন আত্তীকরণ প্রক্রিয়াটি সম্পাদিত হয়। কিন্তু আমরা জানি যে NH_3 (যা উদ্ভিদকোষে NH_4^+ আয়নরূপে থাকে) একটি তীব্র বিষাক্ত পদার্থ। উদ্ভিদকোষ তাই এই NH_4^+-কে দ্রুত বিভিন্ন অ্যামাইনো অম্লে রূপান্তরিত করে। উদ্ভিদকোষে 2-অক্সোগ্লুটারেট যৌগ NH_4^+ আয়নের সাথে যুক্ত হয়ে গ্লুটামেট অম্ল তৈরি করে। এই প্রক্রিয়াটি গ্লুটামেট ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচকের নিয়ন্ত্রণাধীন। কোষের মাইটোকন্ড্রিয়া NADH-এর সাহায্যে এবং ক্লোরোপ্লাস্ট NADPH-এর মাধ্যমে 2-অক্সোগ্লুটারেটকে বিজারিত করে।



এই গ্লুটামেট আবার NH_4^+ গ্রহণ করে গ্লুটামিন অ্যামাইড সৃষ্টি করে। গ্লুটামিন সিন্থেটেজ উৎসেচকটি এই

ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। এই বিক্রিয়া শক্তিনির্ভর এবং Mg^{2+}, Mn^{2+} প্রভৃতি ক্যাটায়ন উৎসেচকটির কো-ফ্যাকটর বা সহউপাদান রূপে কাজ করে।



N_2 সংবন্ধনকারী উদ্ভিদের জাইলেম রস বিশ্লেষণ করে দেখা গেছে যে নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের উদ্ভিদেরা (*Pisum, Vicia, Lens* প্রভৃতি) জাইলেমের মাধ্যমে গ্লুটামিন বা অ্যাসপারাজিন জাতীয় অ্যামাইড সরবরাহ করে কিন্তু গ্রীষ্মমণ্ডলের উদ্ভিদেরা (*Glycine, Arachis, Phaseolus* ইত্যাদি) NH_4^+ কে ইউরাইড যৌগে রূপান্তরিত করে জাইলেমের মাধ্যমে পরিবহন করে। এইভাবেই বাতাসের N_2 প্রথমে NH_3 ও পরবর্তী পর্যায়ে বিভিন্ন অ্যামাইনো অম্ল ও অন্যান্য নাইট্রোজেনযুক্ত যৌগে রূপান্তরিত হয়ে উদ্ভিদের পুষ্টিসাধন করে।

13.7 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের গুরুত্ব

বাতাসে পর্যাপ্ত পরিমাণে N_2 থাকলেও এই গ্যাস সহজে বিক্রিয়াশীল না হওয়ার জন্য উদ্ভিদ N_2 কে সাধারণভাবে কোনো জৈব অণুতে রূপান্তরিত করতে পারে না। N_2 সংবন্ধন হল এক বিশেষ প্রক্রিয়া যার মাধ্যমে N_2 অণু NH_3-তে রূপান্তরিত হয়। স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল এই পদ্ধতিতে N_2 আবদ্ধ করে মাটির উর্বরাশক্তি বাড়িয়ে দেয়। *Anabaena, Aulosira* প্রভৃতি নীলাভ সবুজ শৈবাল পৃথিবীর ক্রান্তিমণ্ডলীয় অঞ্চলের ধানক্ষেতগুলিতে পর্যাপ্ত পরিমাণে N_2 আবদ্ধ করে। এমনকি মরুভূমি অঞ্চলের জমিতে উর্বর করতেও এই শ্রেণীর শৈবাল বিশেষভাবে কার্যকরী। এই কারণে বিভিন্ন স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবালকে বর্তমানে জৈবসার (Biofertilizer) হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

Rhizobium জাতীয় মিথোজীবী ব্যাক্টেরিয়া শিম্বজাতীয় উদ্ভিদে সরাসরি NH_3 সরবরাহ করে। এই মিথোজীবিত্বের মাধ্যমেই সার পৃথিবীতে বছরে প্রায় 5.46×10^6 টন আণবিক N_2-এর বন্ধন ঘটে।

প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে N_2 সংবন্ধনের মাধ্যমে প্রাথমিক পর্যায়ে যে NH_3 উৎপন্ন হয় তা বিষাক্ত বা ক্ষতিকর। তাই জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে NH_3, গ্লুটামিন অম্ল ও গ্লুটামিনরূপে প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত হয়। C_3 উদ্ভিদেরা NH_3 থেকে অ্যাসপারটিক অম্ল, অ্যালানিন প্রভৃতি অ্যামাইনো অম্ল সংশ্লেষ করে। আলোকশ্বসনকারী উদ্ভিদে NH_3, গ্লাইঅক্সাইলিক অম্লের সাথে যুক্ত হয়ে গ্লাইসিন ও সেরিন নামক অ্যামাইনো অম্ল গঠন করে। স্বাভাবিকভাবেই এই অ্যামাইনো অম্লগুলি উদ্ভিদদেহে প্রোটিন উৎপাদনের হার বাড়িয়ে দেয়। এছাড়া প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত N_2, বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে নিউক্লিক অম্ল, অক্সিন জাতীয় হরমোন উৎপাদনে সহায়তা করে। এইভাবেই নাইট্রোজেন সংবন্ধন প্রক্রিয়া উদ্ভিদদেহে প্রয়োজনীয় N_2 সরবরাহ করে অত্যাবশ্যক জৈব অণু সংশ্লেষ সহায়তা করে।

13.8 সারাংশ

N_2 সংবন্ধন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বাতাসের N_2 অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত হয়। কেবলমাত্র ব্যাক্টেরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল এই প্রক্রিয়া সম্পাদন করে যদিও ব্যতিক্রম হিসাবে কয়েকটি অ্যাক্টিনোমাইসেটিস গোত্রের উদ্ভিদ ও ঈস্ট জাতীয় ছত্রাকের নাম করা যায়।

উদ্ভিদজগতে *Rhizobium* শিম্বগোত্রীয় উদ্ভিদের মিথোজীবিত্বের মাধ্যমে N_2 সংবন্ধন প্রক্রিয়া সবচেয়ে আকর্ষণীয়। *Rhizobium* বিভিন্ন nod জিনের মাধ্যমে কতকগুলি Nod factor উৎপন্ন করে যারা উদ্ভিদমূলে অর্বুদ গঠনে সহায়তা করে। অর্বুদে লেগ্‌হিমোগ্লোবিন নামে একটি লালচে গোলাপী বর্ণের রঞ্জক কণা উৎপন্ন হয়। লেগ্‌হিমোগ্লোবিন বাতাসের O_2 কে আবদ্ধ করে বায়ুজীবী *Rhizobium*-এর শ্বসনস্থলে সুনির্দিষ্টভাবে পৌঁছে দেয় যাতে বিজারণধর্মী NH_3 উৎপাদন প্রক্রিয়াটি ব্যাহত না হয়। নাইট্রোজেনেস উৎসেচক N_2 কে NH_3 তে রূপান্তরিত করে। এই উৎসেচকটি Fe প্রোটিন ও M-Fe প্রোটিনের সমন্বয়ে গঠিত।

প্রাথমিকভাবে সংবন্ধন প্রক্রিয়ায় যে NH_3 উৎপন্ন হয় তা বিভিন্ন অ্যামাইনো অম্লে রূপান্তরিত হয়। এছাড়া প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত N_2 প্রোটিন, অক্সিন জাতীয় হরমোন, নিউক্লিক অম্ল প্রভৃতি অত্যাবশ্যক N_2-ঘটিত জৈব অণু সংশ্লেষে প্রত্যক্ষভাবে সহায়তা করে। এই কারণেই উদ্ভিদপুষ্টিতে N_2 সংবন্ধনের গুরুত্ব অপরিসীম।

13.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. এক কথায় উত্তর দিন :

(ক) একটি অজৈব প্রক্রিয়ার নাম লিখুন যার সাহায্যে NH_3 উৎপন্ন হয়।

(খ) একটি স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়ার নাম লিখুন।

(গ) একটি নীলাভ সবুজ শৈবালের নাম উল্লেখ করুন যা ধানক্ষেতে N_2 সংবন্ধন করে।

(ঘ) O_2-এর প্রভাবে Fe প্রোটিনের অর্ধক্ষয়কাল কত?

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) nif জিন সর্বদাই _____ ওপেরনের নিকটবর্তী অবস্থায় থাকে।

(খ) এক অণু NH_3 উৎপাদন করতে _____ অণু ATP লাগে।

(গ) N_2 প্রথমে _____, পরে _____ উৎপন্ন করে পরিশেষে NH_3 সৃষ্টি করে।

(ঘ) _____ উৎসেচকটি গ্লুটামেট থেকে গ্লুটামিন তৈরি করে।

3. সঠিক উত্তরের পাশে '✓' চিহ্ন দিন :

(ক) *Rhizobium* মূলের সাথে আবদ্ধ করার জন্য নিম্নলিখিত যৌগটি দায়ি

(i) লেকটিন

(ii) প্রোটিন

(iii) লেগ্‌হিমোগ্লোবিন

(খ) সংক্রমণ সূত্র দেখা যায়

(i) গাছের পাতায়

(ii) মূলের বহিঃস্তরে

(iii) জাইলেমে

(গ) N_2 সংবন্ধনের জন্য প্রয়োজনী ATP ও H_2 পাওয়া যায়

(i) গ্লুটামেট থেকে গ্লুটামিন উৎপাদনের সময়ে

(ii) NH_4^+ থেকে ইউরাইড যৌগ গঠনের সময়ে

(iii) পাইরুভিক অম্ল থেকে অ্যাসিটেট উৎপাদনের সময়ে।

13.10 উত্তরমালা

অনুশীলনী—1

1. (ক) স্বাধীনজীবী ব্যাক্টেরিয়া
   (খ) অ্যামোনিয়া সৃষ্টি হয়
   (গ) অ্যাকটিনোমাইসেটিস
2. (ক) *Rhizobium,* শিম্বজাতীয়, অর্বুদ
   (খ) উইনোগ্রাডস্কি, 1983, *Clostridium Pasteurianum*
   (গ) উপক্ষার, অক্সিন।

অনুশীলনী—2

1. (ক) লেগ্‌হিমোগ্লোবিন
   (খ) 34,000, 0.34
   (গ) nif H, nif K
2. (ক) কাইটিনজাতীয় পদার্থ
   (খ) সোয়াবীন
   (গ) বায়ুজীবী ব্যাক্টেরিয়া

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

1. (ক) হেবার-এর পদ্ধতি
   (খ) *Azotobacter agilis*
   (গ) *Aulosira fertilisima*
   (ঘ) 30–45 সেকেন্ড
2. (ক) হিস্টিডিন
   (খ) 16
   (গ) ডাই-ইমাইন, হাইড্রাজিন
   (ঘ) গ্লুটামিন সিন্থেটেজ
3. (ক) লেকটিন
   (খ) মূলের বহিঃস্তরে
   (গ) পাইরুভিক অম্ল থেকে অ্যাসিটেট উৎপাদনের সময়ে

একক 14 ❑ উদ্ভিদ চলন

গঠন

14.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

14.2 উদ্ভিদের চলন

14.3 সামগ্রিক চলন

14.4 বক্রচলন

14.5 দিগনির্ণীত চলন বা ট্রপিক চলন

14.6 প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট বক্রচলন অথবা ন্যাস্টিক চলন

14.7 নুটেশন

14.8 রসস্ফীতিজনিত চলন

14.9 সারাংশ

14.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

14.11 উত্তরমালা

14.1 প্রস্তাবনা

জীবনীশক্তির অন্যতম বহিঃপ্রকাশ হল চলন। শারীরবৃত্তীয় প্রয়োজনে উদ্ভিদ এক স্থানে স্থির থেকে যে প্রক্রিয়ায় দেহাংশের সঞ্চালন ঘটায় তাকে চলন বলে। কিছু নিম্ন শ্রেণীর উদ্ভিদ অবশ্য এক স্থান তেকে অন্য স্থানে গমন করতে পারে। আলো, জল প্রভৃতি অত্যাবশ্যক উপাদনের সন্ধানে এবং প্রজননের প্রয়োজনে উদ্ভিদে চলন ও গমন ক্রিয়া পরিলক্ষিত হয়। এই এককে আমরা উদ্ভিদের বিভিন্ন প্রকার চলন ও গমন সম্পর্কে আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- উদ্ভিদ চলন কত রকমের হয় সে সম্বন্ধে জানতে পারবেন
- বিভিন্ন প্রকার উদ্ভিদ চলন কীভাবে হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

- প্রধান উদ্ভিদ চলন প্রক্রিয়াগুলি কীভাবে হরমোন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তা বোঝাতে পারবেন।
- বিভিন্ন প্রকার উদ্ভিদ চলনের মধ্যে কী পার্থক্য তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

14.2 উদ্ভিদের চলন

চলন উদ্ভিদের একটি বিশেষ বৈশিষ্ট্য। শৈবাল, ছত্রাক প্রভৃতি নিম্নশ্রেণীর উদ্ভিদে সাধারণত সমগ্র দেহের চলন দেখা যায়। উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের ক্ষেত্রে উদ্ভিদের চলন বিশেষ কতকগুলি অঙ্গে সীমাবদ্ধ থাকে। এক স্থানে স্থির থেকে উদ্ভিদ যখন তার দেহাংগ ইচ্ছামতো সঞ্চালিত বা আন্দোলিত করে তাকে চলন বলে।

বিভিন্ন প্রকার উদ্ভিদ চলন

উদ্ভিদের চলনকে দুটি প্রধান ভাগে ভাগ করা যায়—

1. সামগ্রিক চলন (Movement of locomotion)
2. বক্র চলন (Movement of curvature)

উদ্ভিদের বিভিন্ন প্রকার চলন প্রক্রিয়াগুলিকে নীচের ছকে প্রকাশ করা হল :

পরের পাতায় আছে।

14.3 সামগ্রিক চলন (Movement of locomotion)

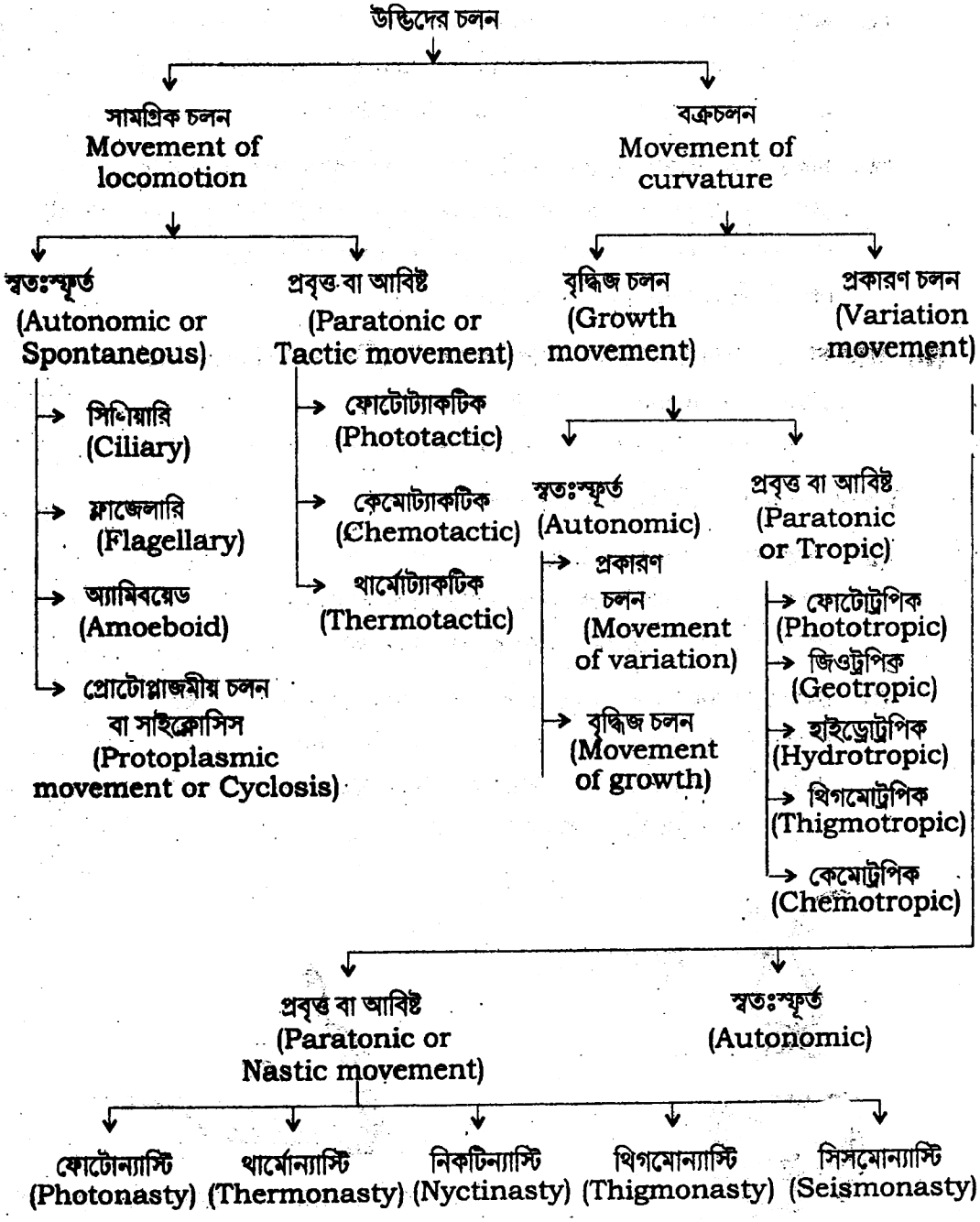
সংজ্ঞা : যখন কোন উদ্ভিদ বা উদ্ভিদাংগ সামগ্রিকভাবে স্থান পরিবর্তন করে তাকে সামগ্রিক চলন বলে।

সামগ্রিক চলন দু'প্রকার—

(A) স্বতঃস্ফূর্ত চলন— কোন কোন এককোষী উদ্ভিদ যখন বাইরের উদ্দীপকের প্রভাব ছাড়াই স্বেচ্ছায় স্থান পরিবর্তন করে তাকে স্বতঃস্ফূর্ত সামগ্রিক চলন বা গমন বলে। (চিত্র 7.14.1)। এই চলন নিম্নলিখিত প্রকৃতির হয়।

(a) সিলিয়ারি গমন : কিছু এককোষী শেওলা ও তার চলরেণু অথবা শুক্রাণুজাতীয় জননকোষ সিলিয়ারি সাহয্যে স্বতঃস্ফূর্তভাবে স্থানান্তরে গমনাগমন করতে পারে।

(b) ফ্লাজেলারি গমন : ক্ল্যামাইডোমোনাস (*Chlamydomonas*), ভলভক্স (*Volvox*) প্রভৃতি শেওলার দেহে ফ্লাজেলা নামক চাবুকের মতন দীর্ঘ উপাঙ্গ থাকে। ফ্লাজেলা বিক্ষেপের দ্বারা এরা স্থান থেকে স্থানান্তরে গমন করে। (চিত্র—14.1)


উদ্ভিদের চলন
সামগ্রিক চলন
Movement of locomotion
বক্রচলন
Movement of curvature
স্বতঃস্ফূর্ত
(Autonomic or Spontaneous)
প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট
(Paratonic or Tactic movement)
বৃদ্ধিজ চলন
(Growth movement)
প্রকারণ চলন
(Variation movement)
সিলিয়ারি
(Ciliary)
ফ্লাজেলারি
(Flagellary)
অ্যামিবয়েড
(Amoeboid)
প্রোটোপ্লাজমীয় চলন বা সাইক্লোসিস
(Protoplasmic movement or Cyclosis)
ফোটোট্যাকটিক
(Phototactic)
কেমোট্যাকটিক
(Chemotactic)
থার্মোট্যাকটিক
(Thermotactic)
স্বতঃস্ফূর্ত
(Autonomic)
প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট
(Paratonic or Tropic)
প্রকারণ চলন
(Movement of variation)
বৃদ্ধিজ চলন
(Movement of growth)
ফোটোট্রপিক
(Phototropic)
জিওট্রপিক
(Geotropic)
হাইড্রোট্রপিক
(Hydrotropic)
থিগমোট্রপিক
(Thigmotropic)
কেমোট্রপিক
(Chemotropic)
প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট
(Paratonic or Nastic movement)
স্বতঃস্ফূর্ত
(Autonomic)
ফোটোন্যাস্টি
(Photonasty)
থার্মোন্যাস্টি
(Thermonasty)
নিকটিন্যাস্টি
(Nyctinasty)
থিগমোন্যাস্টি
(Thigmonasty)
সিসমোন্যাস্টি
(Seismonasty)

(c) **অ্যামিবয়েড গমন :** মিক্সোমাইসিটিস নামক একপ্রকার কোষপ্রাকারবিহীন উদ্ভিদে অ্যামিবার মতন যে গমন লক্ষ্য করা যায় তাকে অ্যামিবয়েড গমন বলে। কোষাবরণহীন এই উদ্ভিদ ক্ষণপদের মতো উপাঙ্গ তৈরি করে প্রোজোপ্লাজমকে নির্দিষ্ট দিকে সঞ্চালিত করে। (চিত্র 14.2)

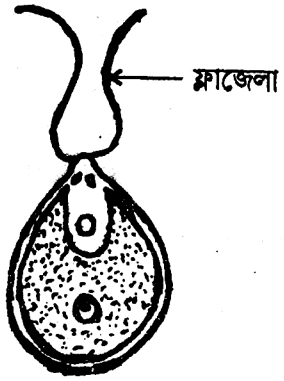
(d) **সাইক্লোসিস :** অনেক উদ্ভিদের জীবিত কোষের প্রাকারবদ্ধ প্রোটোপ্লাজমে বিশেষ এক ধরনের চলন দেখা যায়। এই পদ্ধতিকে সাইক্লোসিস বলে। প্রোটোপ্লাজমের চলন একটি বড় কোষ গহ্বরকে ঘিরে একই দিকে হতে পারে (ঘূর্ণগতি) অথবা বিভিন্ন বৃত্তে অনির্দিষ্ট পথে হতে পারে (আবর্তগতি)। (চিত্র 14.3 A ও B)

(B) প্রবৃত্ত সামগ্রিক চলন বা আবিষ্ট সামগ্রিক চলন বা ট্যাকটিক চলন (Paratonic movement of locomotion of Tactic movement) : উদ্ভিদের সামগ্রিক চলন যখন বাইরের উদ্দীপকের দ্বারা প্রভাবিত হয়ে থাকে তখন তাকে প্রবৃত্ত সামগ্রিক চলন বা আবিষ্ট সামগ্রিক চলন বা ট্যাকটিক চলন বলে।

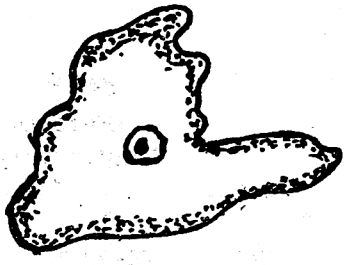
এই প্রকার চলনকে নিম্নলিখিত কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়—

(a) **ফোটোট্যাকটিক চলন :** উদ্ভিদের সমগ্র দেহটি আলোক উদ্দীপকের প্রভাবে যখন এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যায় তাকে ফোটোট্যাকটিক চলন বলে। উদাহরণ—কিছু শেওলা তীব্র আলো থেকে দূরে সরে গিয়ে ক্ষীণ আলোর দিকে গমন করে।

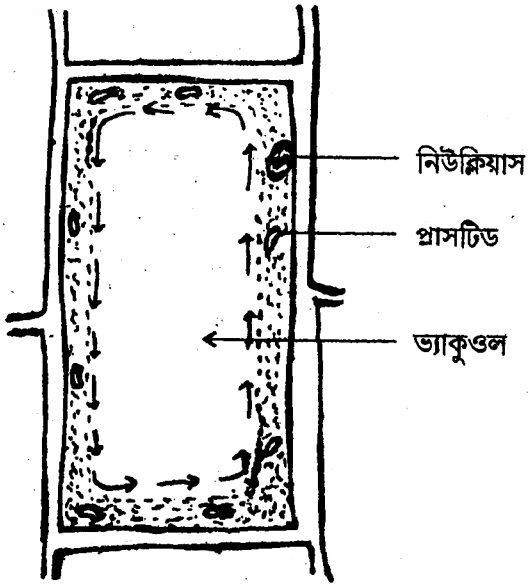
(b) **কেমোট্যাকটিক চলন :** সমগ্র উদ্ভিদ দেহটি যখন রাসায়নিক পদার্থের আকর্ষণে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যায় তখন তাকে কেমোট্যাকটিক চলন বলে। উদাহরণ—ফার্ণের স্ত্রীধানী থেকে ম্যালিক অ্যাসিড নামক রাসায়নিক পদার্থ নিঃসৃত হয় এবং ফার্ণের শুক্রাণু এই রাসায়নিক পদার্থ দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে স্ত্রীধানীর দিকে যায়।



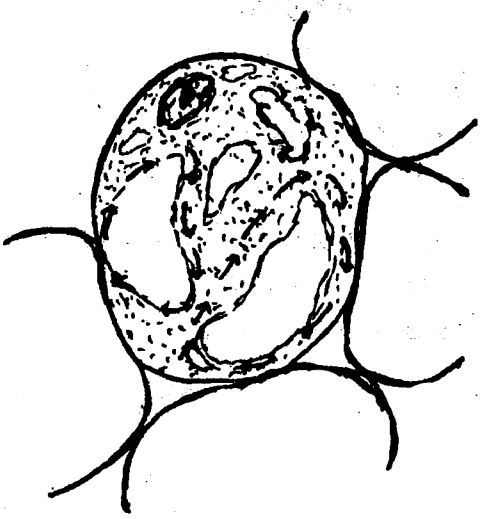
চিত্র 14.1: ক্ল্যামাইডোমোনাসের ফ্লাজেলারি গমন



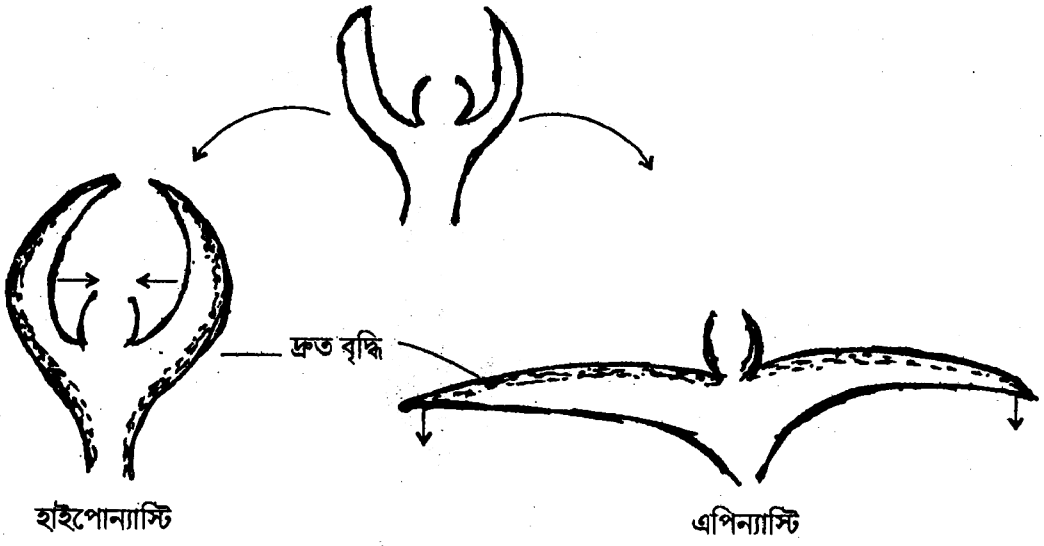
চিত্র 14.2 : মিক্সোমাইসিটিসের অ্যামিবয়েড গমন



চিত্র 14.3.A : সাইক্লোসিস (ঘূর্ণগতি)



চিত্র 14.3.B : সাইক্লোসিস (আবর্তগতি)



চিত্র 14.4 : বৃদ্ধিজ চলন

(c) **থার্মোট্যাকটিক চলন :** যখন উষ্ণতা উদ্দীপকের কাজ করে এবং যার ফলে সমগ্র উদ্ভিদটি এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যায় তখন তাকে থার্মোট্যাকটিক চলন বলে। উদাহরণ—ক্ল্যামাইডোমোনাস (*Chlamydomonas*) শৈবালটি শীতল জল থেকে স্বল্প গরম জলের অভিমুখে গমন করে।

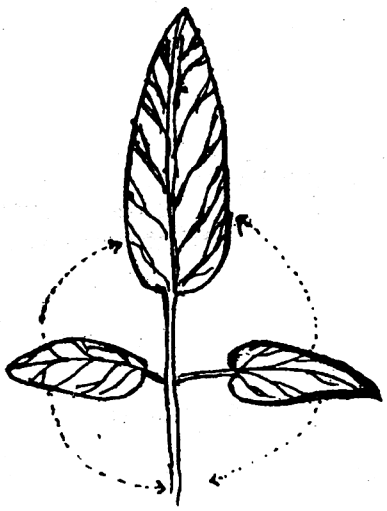
14.4 বক্রচলন (Movement of curvature)

উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদেরা মাটিতে আবদ্ধ থাকায় এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যেতে পারে না। কিন্তু নানা কারণে তারা তাদের অঙ্গপ্রত্যঙ্গকে চালনা করতে পারে এবং এর পলে তাদের অঙ্গ-প্রত্যঙ্গগুলিতে যে বিশেষ চলন লক্ষ করা য়ায় তাকে বক্রচলন বলে।

(A) স্বতঃস্ফূর্ত বক্রচলন (Autonomic movement of curvature) : উদ্ভিদের কোন কোন অঙ্গের চলন স্বেচ্ছায় অর্থাৎ উদ্দীপক দ্বারা প্রভাবিত না হয়েই সম্পাদিত হয়, তাকে স্বতঃস্ফূর্ত বক্রচলন বলে। এই প্রকার চলন দু'রকমের হয়—

(a) বৃদ্ধিজ চলন (Movement of growth) : উদ্ভিদের যে সব অঙ্গ বর্ধনশীল সেখানে অসমান বৃদ্ধির ফলে বৃদ্ধিজ চলন দেখা যায়। উদাহরণ—ফার্ণ গাছের পাতার নীচের পিঠের কোষগুলির চেয়ে উপরের পিঠের কোষগুলি তাড়াতাড়ি বাড়ার ফলে কচি অবস্থায় পাতাগুলি গুটিয়ে থাকে, এই প্রকার অসমান বৃদ্ধিকে হাইপোন্যাস্টি (Hyponasty) বলে। পরে বিপরীত চলনের ফলে পাতাগুলি খুলে যায়, একে এপিন্যাস্টি বলে। (চিত্র—14.4)

(b) প্রকারণ চলন (Movement of variation) : কোষের রসস্ফীতির হ্রাস-বৃদ্ধির ফলে উদ্ভিদ অঙ্গের যে চলন দেখা য়ায় তাকে প্রকারণ চলন বলে। উদাহরণ—দিনের বেলায় বনচাঁড়াল (*Desmodium gyrans*) উদ্ভিদের ত্রি-ফলক পাতার পাশের ফলক দুটি কোষের রসস্ফীতির তারতম্যের ফলে ওঠানামা করে। (চিত্র - 14.5)



চিত্র 14.5 : বনচাঁড়াল (টেলিগ্রাফ) পাতার প্রকারণ চলন

(B) আবিষ্ট বা প্রবৃত্ত বক্রচলন (Paratonic movement) : উদ্ভিদ অঙ্গের চলন যখন বাইরের উদ্দীপকের দ্বারা প্রভাবিত হয় তখন তাকে প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট বক্রচলন বলে। এই চলন দু'প্রকারের হয়—

(a) দিগনির্ণীত চলন বা ট্রপিক চলন (Tropic movement of Tropism)

(b) ব্যাপ্তি চলন বা ন্যাস্টিক চলন (Nastic movement)

অনুশীলনী 1

1. সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :

(a) বাইরের উদ্দীপনার দ্বারা প্রভাবিত চলনকে স্বতঃস্ফূর্ত চলন / আবিষ্ট চলন বলে।

(b) ফার্ণের শুক্রাণুর স্ত্রীধানীর দিকে এগিয়ে যাওয়া ফোটোট্যাকটিক / কেমোট্যাকটিক / থার্মোট্যাকটিক চলনের উদাহরণ।

(c) বনচাঁড়ালের ত্রি-ফলক পত্রের পাশে পাতা দুটির ওঠানামা বৃদ্ধিজ চলন /প্রকারণ চলন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) মিক্সোমাইসিটিস নামক একপ্রকার কোষপ্রাকারবিহীন উদ্ভিদে _____ গমন দেখা যায়।

(b) সামগ্রিক চলন যখন বাইরের উদ্দীপকের দ্বারা প্রভাবিত হয় তখন তাকে _____ বলে।

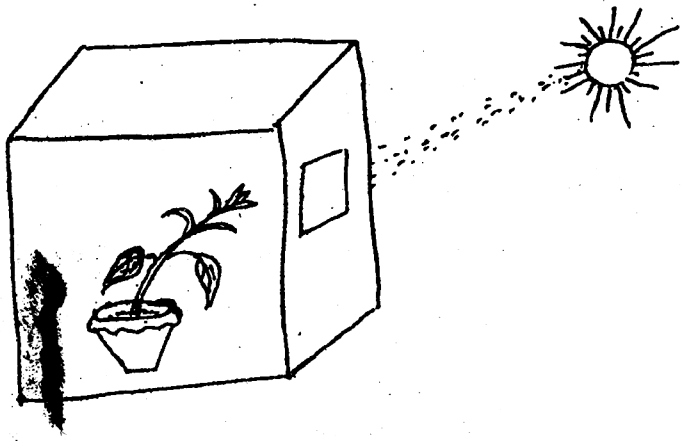
(c) ফার্ণের কচি পাতা দুই পিঠের কোষগুলির অসমান বৃদ্ধির ফলে গুটিয়ে থাকে, একে _____ বলে।

14.5 দিগনির্ণীত চলন বা ট্রপিক চলন (Tropic movement of Tropism)

সংজ্ঞা : উদ্ভিদ অঙ্গের চলন যখন উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তখন তাকে দিগনির্ণীত চলন বা ট্রপিক চলন বলে। এই ধরনের চলনকে নিম্নলিখিত ভাগে ভাগ করা যায়—

(a) আলোকবৃত্তি চলন বা ফোটোট্রপিজম (Phototropism) : আমাদের সকলেরই সাধারণ অভিজ্ঞতা আছে যে, একটি বন্ধ ঘরে একটি টবশুদ্ধ গাছ রেখে একটি মাত্র জানলা খুলে রাখলে গাছটি খোলা জানলার দিকে বেঁকে যায়, একে আলোক অনুকূলবর্তী (Positive phototropic) চলন বলা হয়। আবার উদ্ভিদের মূল

আলোর উৎসের বিপরীত দিকে যায় বলে এই চলনকে আলোক প্রতিকূলবর্তী (Negative phototropic) চলন চলে। উদ্ভিদের পাতা বেশি আলো পাবার জন্য আলোক রশ্মির সঙ্গে সমকোণে বাড়ে বলে একে তির্যক আলোকবর্তী বা প্লাজিওট্রপিক (Plagiotropic) চলন বলে।

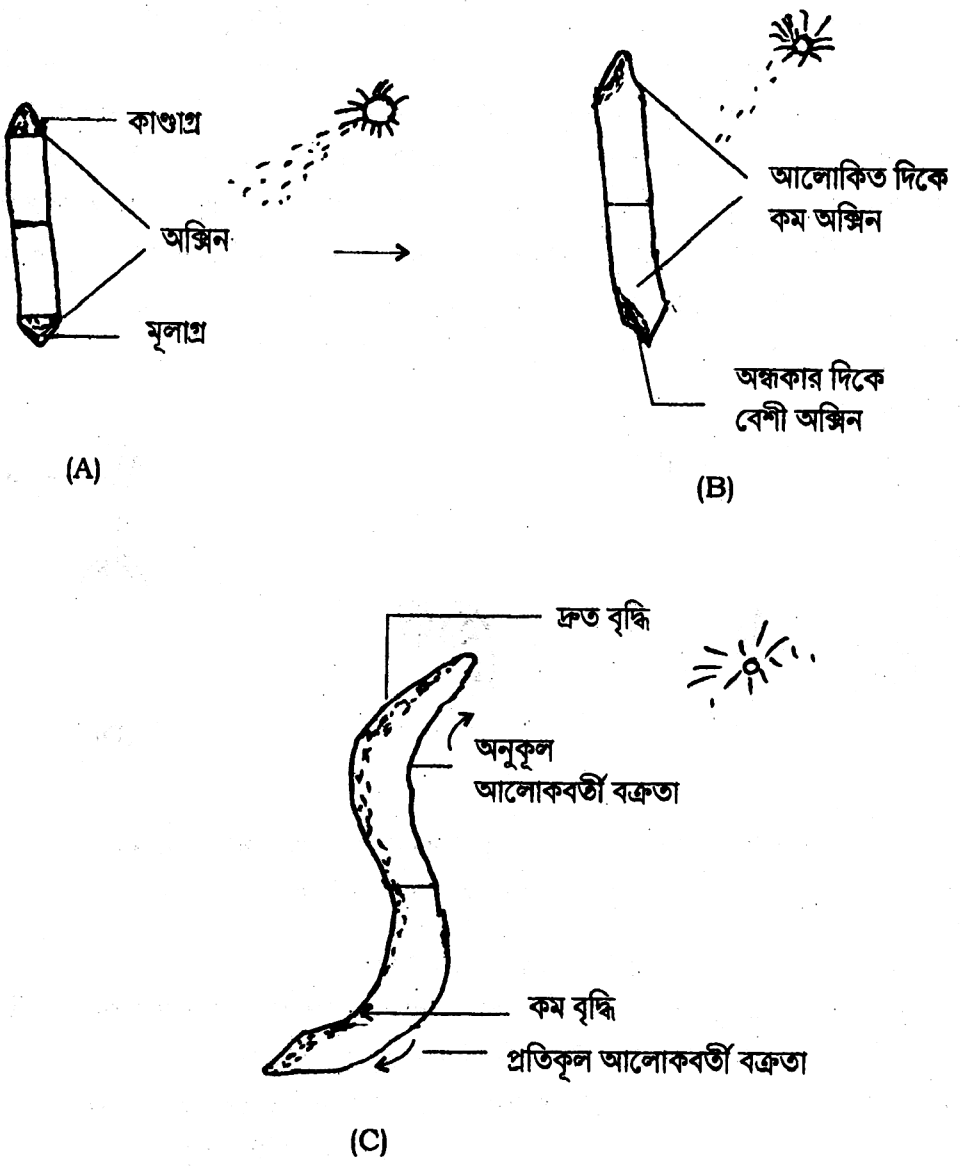


চিত্র 14.6 : উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের পরীক্ষা

উদ্ভিদ অঙ্গের এই আলোর দিকে অথবা বিপরীত দিকে বেঁকে যাওয়ার কারণ অসমান বৃদ্ধি। এই অসমান বৃদ্ধি অক্সিন নামক হরমোনের অসম বণ্টনের জন্য হয়ে থাকে। আলোকিত দিকের উল্টোদিকে অর্থাৎ অন্ধকার দিকে অক্সিন বেশি পরিমাণে সঞ্চিত হয়। 7.8 এককে আমরা দেখেছি যে, অক্সিন বেশি পরিমাণে সঞ্চিত হলে তা কাণ্ডের কোষকে বিভাজিত ও দীর্ঘায়িত হতে সাহায্য করে কিন্তু মূলের কোষ বিভাজন ও দীর্ঘকরণকে বাধা দেয়। সুতরাং কাণ্ডের অন্ধকার অংশ বেশি বৃদ্ধি পায় ও মূলের অন্ধকার অংশ কম বৃদ্ধি পায় ফলে কাণ্ড আলোর দিকে এবং মূল আলোর বিপরীত দিকে বেঁকে যায়।

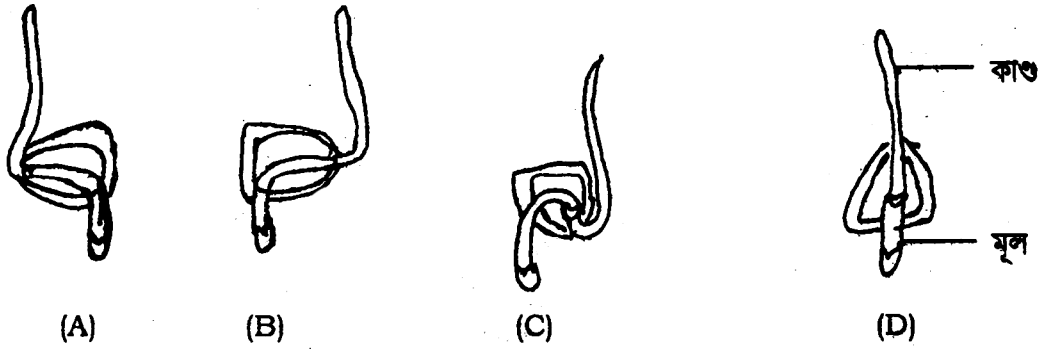
আলোকের তীব্রতা (intensity) এবং সময় (time) অর্থাৎ আলোকের পরিমাণের উপর আলোকবৃত্তি প্রতিক্রিয়া অত্যন্ত নির্ভরশীল। আলোকবৃত্তি চলনে বিভিন্ন আলোকের কার্যবর্ণালী (Action spectrum) পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, লাল আলোয় আলোকবৃত্তি চলনের কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না। থিম্যান ও কুরি (Thimann and Curry) 1961 খ্রিস্টাব্দে প্রমাণ করেন যে জই (oat) ভ্রূণ-মুকুলাবরণীর বক্রতা আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্যের নীল অংশে অধিক কার্যকরী। ঘাসের ভ্রূণ মুকুলাবরণীতে যে রঞ্জকপদার্থ থাকে তার শোষণ বর্ণালী (Absorption spectrum) ও কার্য বর্ণালী (Action spectrum) তুলনা করে দেখা গেছে যে, ক্যারোটিনয়েড (Carotenoid) অথবা ফ্লাভিন রঞ্জকপদার্থই আলোকবৃত্তি চলনে আলোক গ্রাহকরূপে কাজ

করে। তবে যে সব উদ্ভিদে ক্যারোটিন থাকে না তাদের উপর পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, আলোকবৃত্তি চলনে কোষ পর্দায় অবস্থিত ফ্লাভো প্রোটিনই আলোক গ্রাহকরূপে কাজ করে। (চিত্র—14.6 ও চিত্র 14.7)



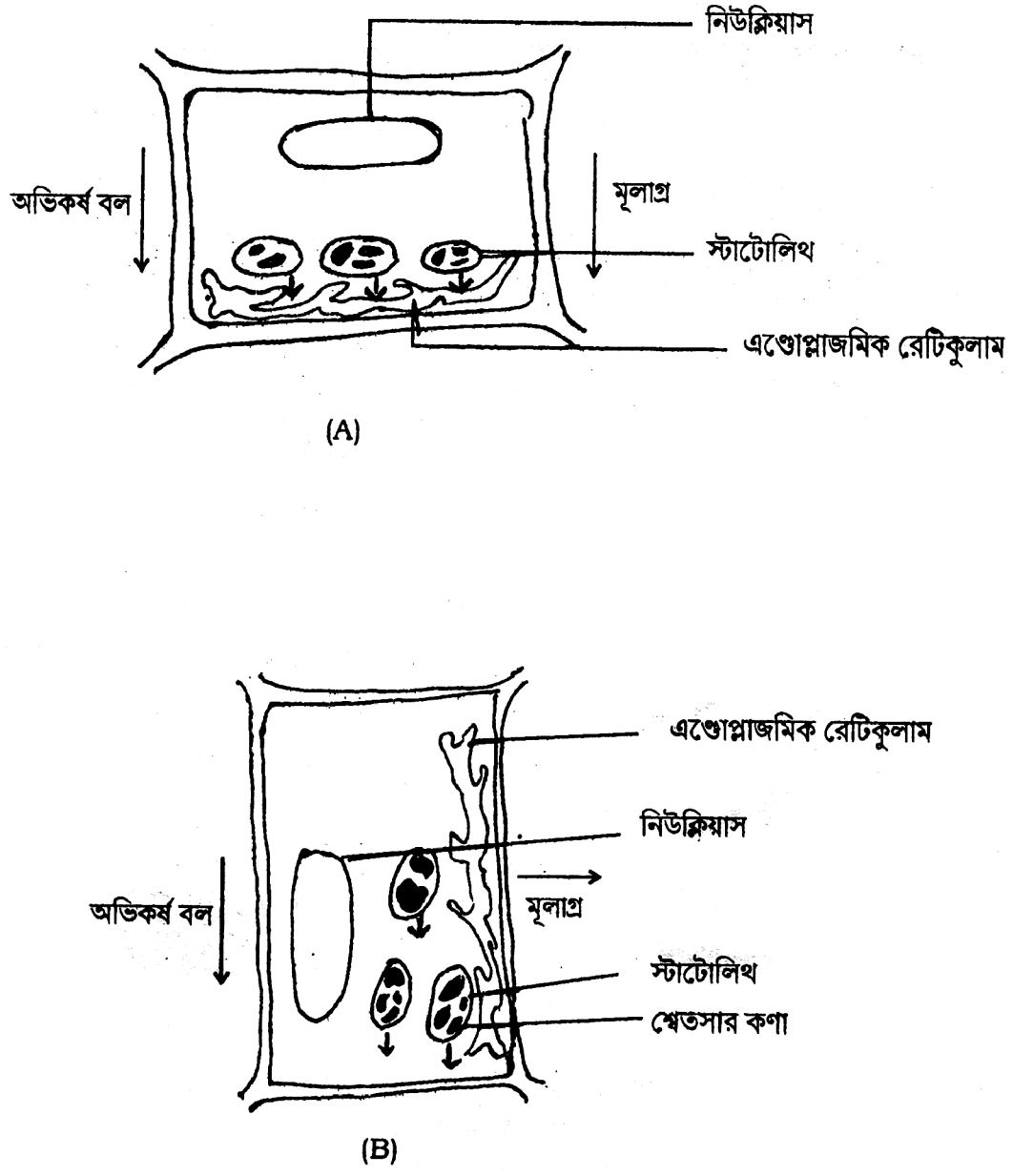
চিত্র 14.7 : আলোকবৃত্তিতে আলো ও অক্সিনের পারস্পরিক যুগ্মক্রিয়া

(b) অভিকর্ষবৃত্তি বা জিওট্রপিজম (Geotropism) : অভিকর্ষ বল দ্বারা নিয়ন্ত্রিত উদ্ভিদ অঙ্গের বক্রচলনকে অভিকর্ষবৃত্তি বা জিওট্রপিজম বলে। মূল অভিকর্ষ বলের অনুকূলে এবং কাণ্ড অভিকর্ষ বলের প্রতিকূলে বৃদ্ধি পায়। সেজন্য উদ্ভিদের মূল অনুকূল অভিকর্ষী (Positively geotropic), কাণ্ড প্রতিকূল অভিকর্ষী (Negativeiy geotropic), স্টোলন, রাইজোম প্রভৃতি উদ্ভিদ অঙ্গ ও পার্শ্বীয় শাখাপ্রশাখা অভিকর্ষ বলের সমকোণে বৃদ্ধি পায়, এদের ডায়াগ্রাভিট্রপিক (Diagravitropic) অঙ্গ বলা হয়। উদ্ভিদের যে সব অঙ্গের চলন অভিকর্ষ বল দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় না তাদের আগ্রাভিট্রপিক (Agravitropic) বলে। অভিকর্ষজনিত চলনও অক্সিন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। অভিকর্ষ বলের টানে কাণ্ডাগ্রের নীচের দিকে বেশি অক্সিন জমা হয় ফলে ঐ কাণ্ডাগ্রের নীচের দিকের কোষগুলি দ্রুত বিভাজিত হতে থাকে এবং কাণ্ডের অগ্রভাগ ঊর্ধ্বমুখী হয়। অক্সিনের ঘনত্ব বেশি থাকায় মূলাগ্রের নীচের দিকের কোষগুলির বিভাজন ক্ষমতা হ্রাস পায় কিন্তু মূলের অগ্রভাগের উপরের দিকের কোষগুলি দ্রুত বিভাজিত হতে থাকে, যার ফলে মূল নীচের দিকে বেঁকে যায়।



চিত্র 14.8 : অভিকর্ষ বৃত্তি ঃ বিভিন্নভাবে পোঁতা ভুট্টা দানার অঙ্কুরোদ্‌গমের ফলে মূল মাটির দিকে এবং কাণ্ড উপরের দিকে বৃদ্ধি পেয়েছে।

উদ্ভিদ মূলের অগ্রভাগ অভিকর্ষজ চলনকে নিয়ন্ত্রণ করে। দেখা গেছে উদ্ভিদ মূলের অগ্রভাগ কেটে দিলে মূলটি অভিকর্ষের প্রভাবে প্রভাবিত হয় না। বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকের মতে শ্বেতসার, মাইটোকন্ড্রিয়া, গলগি বডি প্রভৃতি উপাদানগুলো মূলাগ্রের কোষগুলোর নীচের দিকে সঞ্চিত হয়। অভিকর্ষ প্রতিক্রিয়াশীল কোষস্থ এই উপাদানগুলোকে স্টাটোলিথ বলে এবং স্টাটোলিথ সমন্বিত যে কোষগুলি অভিকর্ষজ চলনকে নিয়ন্ত্রণ করে তাদের স্টাটোসাইট বলে। সম্ভবত স্টার্চ দানা, অ্যামাইলোপ্লাস্ট জাতীয় স্টাটোলিথ কোষের নীচের দিকে সঞ্চিত হয়ে পার্শ্বীয় কোষপ্রাচীরে বিশেষ নিম্নাভিমুখী চাপ সৃষ্টি করে মূলের অভিকর্ষজ চলনকে নিয়ন্ত্রণ করে। (চিত্র-14.8 ও 14.9)



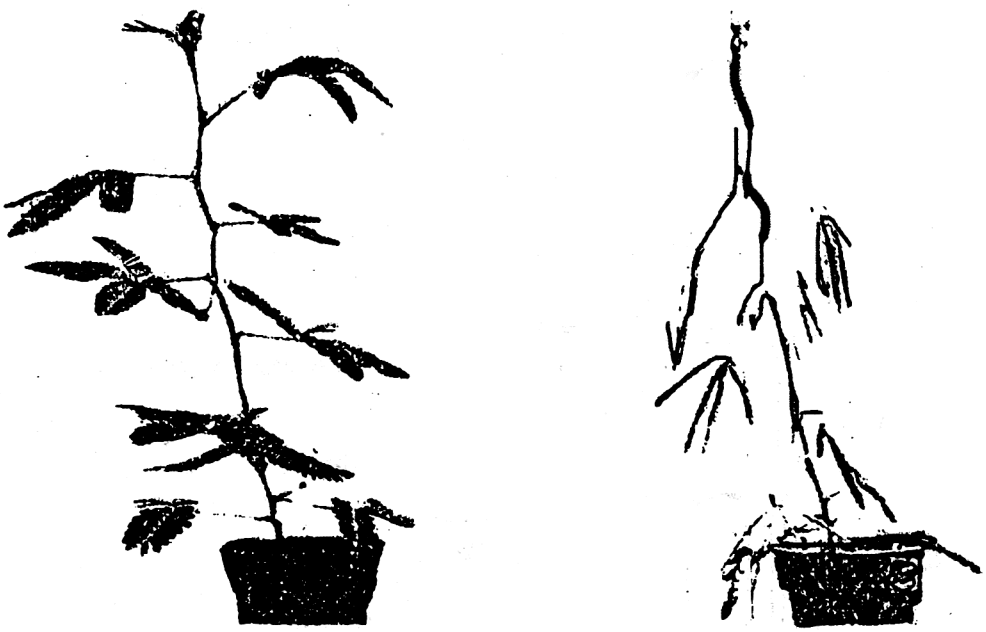
চিত্র 14.9 : অভিকর্ষ বৃত্তি—অভিকর্ষের প্রভাবে স্টাটোলিথ কোষের নীচের দিকে সঞ্চিত হচ্ছে।

14.6 প্রবৃত্ত বা আবিষ্ট বক্রচলন অথবা ন্যাস্টিক চলন (Paratonic movement of curvature of Nastic movement)

যে বক্রচলন উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত না হয়ে তার তীব্রতার দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তাকে ন্যাস্টিক চলন বলে। উদ্দীপকের প্রকৃতি অনুযায়ী ন্যাস্টিক চলন বিভিন্ন প্রকারের হয়।

A—মূল লম্বাভাবে রয়েছে।

B—মূল অনুভূমিকভাবে রয়েছে।



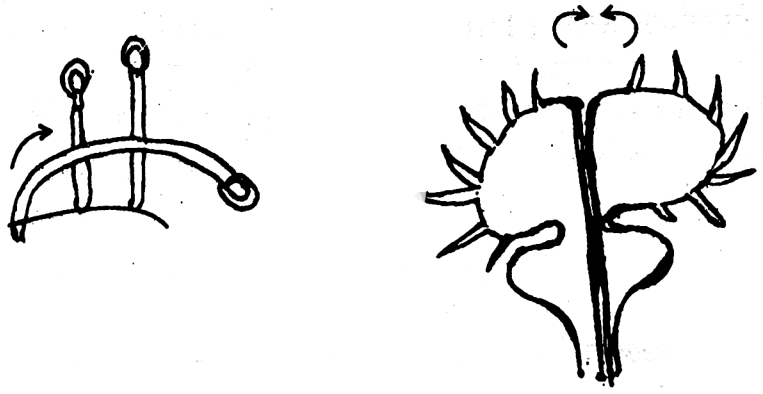
চিত্র 14.10 : লজ্জাবতী উদ্ভিদের সিসমোন্যাস্টিক প্রকৃতির চলন
A—উদ্ভিদের সাধারণ অবস্থা (পাতা খোলা)
B—উদ্দীপকের প্রভাবে পাতা মুড়ে

(a) সিসমোন্যাস্টি : স্পর্শ, আঘাত প্রভৃতি উদ্দীপকের তীব্রতার দ্বারা নিয়ন্ত্রিত ন্যাস্টিক চলনকে সিসমোন্যাস্টি বলে। উদাহরণ—আপনারা লক্ষ্য করে থাকবেন যে লজ্জাবতী (*Mimosa pudica*) গাছের পাতায় হাত দিলে

পাতাগুলো মুড়ে যায়। স্পর্শ এখানে উদ্দীপক এবং স্পর্স জোলারো হতে পুরো পাতাটি ঝুলে পড়ে। লজ্জাবতী গাছের পাতার গোড়াটি স্ফীত থাকে, এবং একে পালভিনস (Pulvinus) বলে। গাছের পাতাটি যখন ছোঁয়া হয় তখন পালভিনসের নীচের দিকের কোষ থেকে জল পার্শ্ববর্তী কোষগুলোতে চলে যায় এবং এর ফলে পালভিনস অঞ্চলের কোষগুলোর রসস্ফীতি চাপ (Turgor pressure) কমে যায় এবং কোষগুলো নেতিয়ে যায়। নীচের কোষগুলো চুপসানো এবং উপরের কোষগুলো রসস্ফীত হওয়ায় পাতা ঝুলে পড়ে। (চিত্র— 14.10)

(b) নিকটিন্যাস্টি (Nyctinasty) : আলোকের তীব্রতা ও উষ্ণতার হ্রাস-বৃদ্ধি অর্থাৎ উভয়ের মিলিত প্রভাবে উদ্দীপ্ত চলনকে নিকটিন্যাস্টি বলে। উদাহরণ— বাবলা, রাধাচূড়া প্রভৃতি উদ্ভিদের পাতাগুলো দিনের বেলায় উপযুক্ত তাপমাত্রায় ও আলোক তীব্রতায় খুলে থাকে কিন্তু রাত্রে মুড়ে যায়।

(c) ফোটোন্যাস্টি (Photonasty) : আলোকের তীব্রতার হ্রাস-বৃদ্ধি উদ্ভিদ অঙ্গের সঞ্চালনকে প্রভাবিত করলে তাকে ফোটোন্যাস্টি বলে। উদাহরণ—সূর্যমুখী ফুল দিনের বেলায় ফোটে কিন্তু সূর্যাস্তের সাথে সাথে বুজে যায়। সন্ধ্যামালতী, হাসনুহানা প্রভৃতি ফুল সূর্যাস্তের পর ফোটে কিন্তু প্রখর সূর্যালোকে বন্ধ হয়ে যায়। আমরুল, তেঁতুল প্রভৃতির যৌগিক পাতা দিনের বেলায় খোলা থাকে কিন্তু সন্ধ্যার পর মুড়ে যায়।



চিত্র 14.11 : থিগমোন্যাস্টি—পতঙ্গভুক উদ্ভিদের কর্ষিকার চলন।
A—সূর্যশিশির উদ্ভিদের কর্ষিকার চলন।
B—ডায়োনিয়া উদ্ভিদের কর্ষিকার চলন।

(d) থার্মোন্যাস্টি (Thermonasty) : উষ্ণতার দ্বারা প্রভাবিত সঞ্চালনকে থার্মোন্যাস্টি বলে। টিউলিপ ফুল স্বাভাবিক ফুল স্বাভাবিক উষ্ণতায় ফোটে কিন্তু ঠাংগা আবহাওয়ায় ফুলের পাপড়িগুলো বন্ধ হয়ে যায়।

(e) থিগমোন্যাস্টি (Thigmonasty) : উদ্ভিদ অঙ্গের চলন যখন অন্য কোনো বস্তুর সংস্পর্শজনিত উদ্দীপনার দ্বারা প্রভাবিত হয় তখন তাকে থিগমোন্যাস্টি বলে। সূর্যশিশির (Drosera), ডায়োনিয়া (Dionea) প্রভৃতি পতঙ্গভুক উদ্ভিদের পাতার কিনারায় সজ্জিত কর্ষিকাগুলো পতঙ্গের সংস্পর্শে এলে তাদের মধ্যে বিশেষ ধরনের চলন দেখা যায়। পতঙ্গের স্পর্শজনিত উদ্দীপনা ক্রমশ পাতায় ছড়িয়ে পড়ে এবং সবকটি কর্ষিকা পতঙ্গকে চেপে ধরে। (চিত্র—14.11)

14.7 নুটেশন

ইহা একপ্রকারের বিশেষ ধরনের চলন যা কাণ্ডের আগায় তাদের লম্বায় বাড়ার সময় দেখতে পাওয়া যায়। এই চলনকে নুটেশন বা সর্পিল চলন বলে। কিছু কিছু আভ্যন্তরীণ কারণে উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধি প্রভাবিত হয় এবং তার ফলে এই প্রকার চলন দেখা যায়। উদাহরণ—বল্লীজাতীয় উদ্ভিদে এই প্রকার চলন দেখা যায়। এদের কাণ্ডের আগা লম্বা হয় এবং তাতে কোন পাতা থাকে না। কাণ্ডের দ্রুত বৃদ্ধির সময় কাণ্ডের আগায় দোদুল্যমান চলন দেখা যায়।

14.8 রসস্ফীতিজনিত চলন (Turgopr movement)

কোষের রসস্ফীতির তারতম্যের ফলে কোষের আকৃতির পরিবর্তনজনিত চলনকে রসস্ফীতিজনিত চলন বলে। উদাহরণ—জলের অভাবে ঘসের (*Poa protensis*) পাতার গুটিয়ে যাওয়া এই ধরনের চলনের উদাহরণ।

অনুশীলনী 1

1. নিম্নের উদ্ভিদ অঙ্গগুলোতে কি প্রকারের চলন দেখা যায়, বলুন :

(a) বনচাঁড়ালের যৌগিক পত্রের চলন।

(b) টিউলিপ ফুলের উন্মোচন।

(c) লজ্জাবতীর যৌগিক পত্রের চলন।

(d) সূর্যশিশির উদ্ভিদের পাতার কর্ষিকার চলন।

2. **সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :**

(a) উদ্ভিদের মূল আলোর অনুকূলবর্তী / প্রতিকূলবর্তী।

(b) আবিষ্ট বক্রচলন বা ন্যাস্টিক চলন উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়/ হয় না।

(c) নিকটিন্যাস্টি চলনে উদ্দীপক হল আলো / তাপ / আলো ও তাপ।

14.9 সারাংশ

চলন ও গমন প্রাণীর বৈশিষ্ট্য, কিন্তু উদ্ভিদে প্রধনাত চলন দেখতে পাওয়া যায়। উদ্ভিদের মূল অভিকর্ষ অনুকূলবর্তী চলন দেখায় যার ফলে মূল মাটির ভিতরে প্রবেশ করে প্রয়োজনীয় জল ও জলে দ্রবীভূত খনিজ পদার্থ সংগ্রহ করতে পারে। উদ্ভিদের কাণ্ডে অভিকর্ষের প্রতিকূলবর্তী এবং আলোর অনুকূলবর্তী চলন দেখা যায় এবং এর ফলে কাণ্ড মাটির উপরে থেকে আলোর দিকে বেঁকে যায় ও সালোকসংশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় আলো সংগ্রহ করতে পারে।

উদ্ভিদে বিভিন্ন প্রকার চলন দেখা যায়। বৃদ্ধিজ চলন কোষ বিভাজন ও দীর্ঘায়নের ফলে হয়ে থাকে, এই প্রকার চলন অপরিবর্তনীয়। রসস্ফীতিজনিত চলন পরিবর্তনযোগ্য এবং এই চলন কোষের রসস্ফীতির ফলে হয়ে থাকে। ট্রপিক চলন উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় কিন্তু ন্যাস্টিক চলন উদ্দীপকের গতিপথের উপর নির্ভরশীল না হয়ে উদ্দীপকের তীব্রতার উপর নির্ভরশীল হয়। কাণ্ডের অগ্রভাগের বিশেষ সর্পিল চলনকে নুটেশন বলে।

14.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. উদ্ভিদের স্বতঃস্ফূর্ত ও আবিষ্ট চলনের পার্থক্য কী? সামগ্রিক চলন সম্বন্ধে আলোচনা করুন।
2. অভিকর্ষজনিত চলন বলতে কী বোঝেন? অভিকর্ষবৃত্তি চলনে অক্সিনের ভূমিকা সম্বন্ধে সংক্ষেপে আলোচনা করুন।
3. **সংক্ষিপ্ত টীকা লিখুন :**

(a) ট্যাকটিক চলন

(b) সিসমোন্যাস্টিক চলন

(c) রসস্ফীতিজনিত চলন

(d) নুটেশন

4. **পার্থক্য নির্দেশ করুন :**

   (a) ট্রপিক ও ন্যাস্টিক চলন

   (b) এপিন্যাস্টি ও হাইপোন্যাস্টি

   (c) সিলিয়ারি ও ফ্লাজেলারি গমন

14.11 উত্তরমালা

অনুশীলনী 1

1. (a) আবিষ্ট চলন

   (b) কেমোট্যাকটিক

   (c) প্রকারণ

2. (a) অ্যামিবয়েড

   (b) ট্যাকটিক চলন

   (c) হাইপোন্যাস্টি

অনুশীলনী 2

1. (a) প্রকারণ চলন

   (b) থার্মোন্যাস্টি

   (c) সিসমোন্যাস্টি

   (d) থিগমোন্যাস্টি

2. (a) প্রতিকূলবর্তী

   (b) হয় না

   (c) আলো ও তাপ

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

1. স্বতঃস্ফূর্ত চলন কোন উদ্দীপকের দ্বারা প্রভাবিত হয় না কিন্তু আবিষ্ট চলন উদ্দীপকের দ্বারা প্রভাবিত হয়। সামগ্রিক চলন 14.3 এবং (A) ও (B) অংশে আলোচিত।
2. 14.5 এর (b) অংশে আলোচিত।

3. (a) 14.3 এর (B) অংশে আলোচিত।

(b) 14.6 এর (a) অংশে আলোচিত।

(c) 14.8 অংশে আলোচিত।

(d) 14.7 অংশে আলোচিত।

4. (a)

ট্রপিক চলন	ন্যাস্টিক চলন
উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।	উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত না হয়ে উদ্দীপকের তীব্রতা দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

(b)

এপিন্যাস্টি	হাইপোন্যাস্টি
পাতার উপরের পৃষ্ঠের কোষ দ্রুত বৃদ্ধি পাওয়ায় গুটানো পাতা খুলে যায়।	পাতার নিম্ন পৃষ্ঠের কোষ দ্রুত বৃদ্ধি পাওয়ায় কচি পাতা গুটিয়ে থাকে।

(c)

সিলিয়ারি গমন	ফ্লাজেলারি গমন
শৈবালের চলরেণু, শুক্রাণু প্রভৃতি জননকোষের সিলিয়ার সাহায্যে গমনকে সিলিয়ারি গমন বলে।	এককোষী শৈবালের ফ্লাজেলার সাহায্যে গমনকে ফ্লাজেলারি গমন বলে।

একক 15 ❑ পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া

গঠন

15.1 প্রস্তাবনা

15.2 উদ্দেশ্য

15.3 আলোক পর্যাবৃত্তি

15.4 ফাইটোক্রোম

15.5 ফ্লোরিজেন

15.6 বাসন্তীকরণ

15.7 সারাংশ

15.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

15.9 উত্তরমালা

15.1 প্রস্তাবনা

বিভিন্ন উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন বিভিন্ন ঋতুতে সম্পন্ন হয়। আম, জাম প্রভৃতি উদ্ভিদের ফুল গ্রীষ্মকালে, গাঁদা, চন্দ্রমল্লিকা ইত্যাদি গাছের ফুল শীতকালে ফোটে। আবার টম্যাটো, শশা—এই ধরনের গাছে যে কোনো ঋতুতেই ফুল ফুটতে পারে। পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াটি আলোর সময়কালের উপর নির্ভরশীল এবং পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর দিবা দৈর্ঘ্যের প্রভাবকে আলোক পর্যাবৃত্তি বলে। পাতার যে বিশেষ রঞ্জকটি আলোক পর্যাবৃত্তি প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রণ করে তা ফাইটোক্রোম নামে পরিচিত। ফাইটোক্রোম একটি নির্দিষ্ট মাত্রায় সঞ্চিত হলে তা জটিল শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় ফ্লোরিজেন নামক একটি হরমোন সংশ্লেষে সহায়তা করে। এই হরমোনটি অঙ্গজ মুকুলকে প্রারম্ভিক অবস্থাতেই পুষ্পমুকুলে রূপান্তরিত করে। নিম্ন তাপমাত্রার (5°C) প্রভাবে পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করার প্রক্রিয়াকে বাসন্তীকরণ বলে।

15.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর আলোর প্রভাব সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- বিভিন্ন উদ্ভিদে ফাইটোক্রোমের মাধ্যমে কীভাবে পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রিত হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

- ফ্লোরিজেন কীভাবে পুষ্পমুকুল উৎপাদন করে তা বোঝাতে পারবেন।
- নিম্ন তাপমাত্রার প্রভাবে কীভাবে দ্রুত পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে সে বিষয়ে জানতে পারবেন।

15.3 আলোক পর্যাবৃত্তি

বিজ্ঞানী গার্নার ও অ্যালার্ড (Garner and Allard, 1920) সর্বপ্রথম লক্ষ করেন যে কোনো উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন দিবা দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল। গ্রীষ্মকালে যে ফুলগুলি ফোটে তাদের দিবা দৈর্ঘ্য বেশি থাকার প্রয়োজন কিন্তু শীতকালে পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য দিবা দৈর্ঘ্য কম হওয়া উচিত। পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর দিবা দৈর্ঘ্য বা আলোর সময়কালীন প্রভাবকেই আলোক পর্যাবৃত্তি বা Photo-periodism বলে।

প্রতিটি প্রজাতির পুষ্প প্রস্ফুটন একটি নির্দিষ্ট দিবা দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল যাকে সংকট আলোককাল বা Critical photoperiod বলে। সংকট আলোককালের উপর নির্ভর করে সমগ্র উদ্ভিদকুলকে পাঁচ ভাগে ভাগ করা হয় :

1. দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ (Long Day Plant)—যে উদ্ভিদকে সঙ্কট আলোককালের চেয়ে বেশি সময় ধরে আলো দিলে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয় তাকে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ বলে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে হেনবেন (*Hyoscyamus*) গাছের সঙ্কট আলোককাল 11 ঘণ্টা—তাই এই গাছের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য 11 ঘণ্টার বেশি সময় দরে আলো দিতে হবে। গ্রীষ্মকালে গাছ দীর্ঘ সময় ধরে আলো পায় বলে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদগুলির ফুল সচরাচর এই ঋতুতেই ফোটে।

2. হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ (Short Day Plant)—যে সব উদ্ভিদে সঙ্কট আলোককালের চেয়ে কম সময় আলো পেলে ফুল ফোটে তাদের হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ বলে। জ্যান্থিয়াম (*Xanthium*) গাছটির সঙ্কট আলোককাল 15.5 ঘণ্টা। তাই এই সময়ের চেয়ে কম আলো পেলেই এই গাছের ফুল ফুটবে। সচরাচর শীতকালে যে গাছগুলিতে ফুল ফোটে তাদের অধিকাংশই হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ।

একটি বিষয় লক্ষ্য করতে হবে যে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদগুলি সচরাচর সেই সময়েই ফেটে যখন রাত্রিকালীন সময়কাল ছোট হয়। তাই এদের হ্রস্ব রাত্রি উদ্ভিদও (Short Night Plant) বলা হয়। একই কারণে হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদকে দীর্ঘ রাত্রি উদ্ভিদও (Long Night Plant). বলা চলে।

3. দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ (Day Neutral Plant) — যে সব উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন সংকট আলোককালের উপর নির্ভরশীল নয় তাদের দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ বলে। এই উদ্ভিদগুলির ফুল যে কোনো ঋতুতেই ফুটতে পারে। শশা, টম্যাটো প্রভৃতি দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ।

4. হ্রস্বদীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ (Short Long Day Plant)—যে উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য প্রথমে হ্রস্ব দিবা ও পরবর্তীকালে দীর্ঘ দিবার প্রয়োজন তাকে হ্রস্ব-দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ বলে।

5. দীর্ঘ-হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ (Long Short Day Plant) — যে উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য প্রথমে দীর্ঘ দিবা ও পরে হ্রস্ব দিবার প্রয়োজন তাকে দীর্ঘ-হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ বলে।

সারণী-1. আলোক পর্যায়বৃত্তির ভিত্তিতে বিভিন্ন উদ্ভিদের উদাহরণ

উদ্ভিদের প্রকৃতি	*উদ্ভিদের উদাহরণ*
1. দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ	হেনবেন (*Hyoscyamus niger*), জই (*Avena sativa*), স্পিনাচ (*Spinacia oleracea*)
2. হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ	আলু (*Solanum tuberosum*), তামাক (*Nicotiana tabacum*), জ্যান্থিয়াম (*Xanthium pensylvanicum*)
3. দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ	শশা (*Cucumis sativus*), টম্যাটো (*Lycopersicum esculentum*)।
4. হ্রস্ব-দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ	ট্রাইফোলিয়াম (*Trifolium repens*)
5. দীর্ঘ-হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ	হাসনুহানা (*Cestrum nocturnum*)

আলোক পর্যায়বৃত্তির ক্ষেত্রে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি মনে রাখবেন—

(i) প্রতিটি প্রজাতির সংকট আলোককাল নির্দিষ্ট।

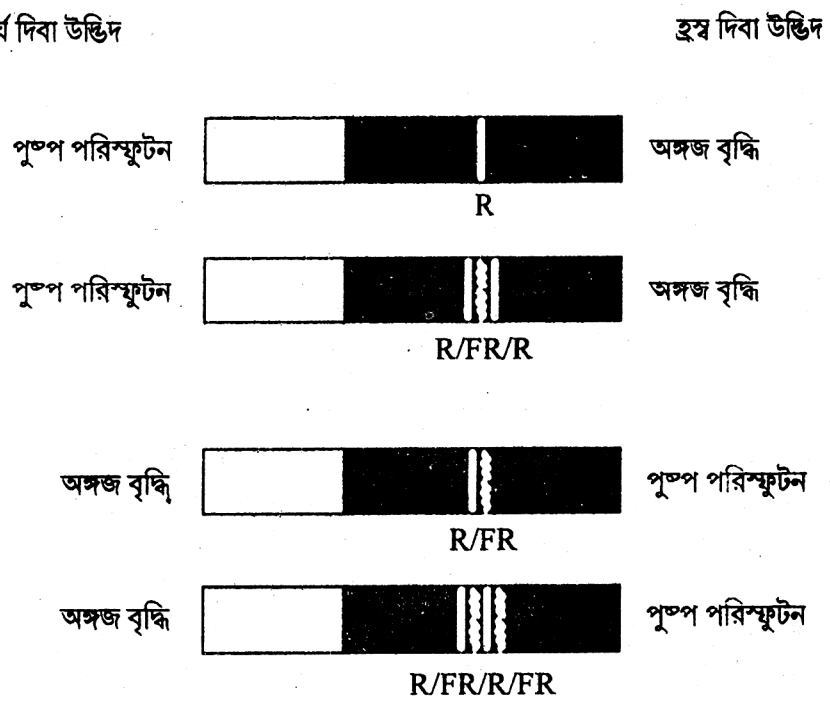
(ii) একটি হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের সংকট আলোককাল দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের সংকট আলোককালের চেয়ে বেশি হতে পারে। যেমন *Hyoscyamus* নামক দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদটির সংকট আলোককাল 11 ঘণ্টা কিন্তু *Xanthium* নামক হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদটির সংকট আলোককাল 15.5 ঘণ্টা। এই দুটি উদ্ভিদই 13 ঘণ্টা আলোককালে প্রস্ফুটিত হতে পারে। এগার ঘণ্টার কম সময় আলোককালে *Xanthium* ফুল প্রস্ফুটিত করতে পারবে কিন্তু *Hyoscyamus* পারবে না। একইভাবে *Xanthium* 15.5 ঘণ্টার বেশি আলোককালে ফুল ফোটাতে সক্ষম হবে না কিন্তু *Hyoscyamus* সক্ষম হবে।

(iii) হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন সংকট আলোককালের চেয়ে কম সময় আলো দিলে সম্পন্ন হয় কিন্তু আলোককাল অতিরিক্ত কম হলে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া ব্যাহত হয় ও ফলে পুষ্প প্রস্ফুটনও বাধাপ্রাপ্ত হয়।

(iv) দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে সব ঋতুতেই ফুল ফুটতে পারে, কিন্তু যে সব উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন তাপমাত্রার উপর নির্ভর করে তাদের ক্ষেত্রে সুনির্দিষ্ট ঋতুতেই ফুল ফুটবে।

বিজ্ঞানীরা আরো লক্ষ্য করেছেন যে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রদত্ত আলোককালের মধ্যে যদি অল্প কিছুক্ষণ সময় অন্ধকারাচ্ছন্ন রাখা হয় তাহলে পুষ্প প্রস্ফুটনও ব্যাহত হয়। একইভাবে হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে অন্ধকারকালীন অবস্থায় কিছুক্ষণ আলোকপাত করলে ঐ উদ্ভিদগুলোর কেবল অঙ্গজ বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়।

পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর লাল (660 nm) ও সুদূর লাল আলোর (730 nm) উল্লেখযোগ্য ভূমিকা লক্ষ করা গেছে। হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদে অন্ধকারকালীন সময়ে লাল আলো প্রদান (R) করলে পুষ্প প্রস্ফুটন ব্যাহত হয় কিন্তু সুদূর লাল আলোর প্রভাবে (FR) এই প্রক্রিয়াটি ত্বরান্বিত হয়। অপরদিকে, লাল আলো দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রস্ফুটনের সহায়ক কিন্তু সুদূর লাল আলোর প্রভাবে পুষ্প প্রস্ফুটন বাধাপ্রাপ্ত হয়। আরও একটি বিষয় লক্ষ করা গেছে যে স্বল্প সময়ের জন্য যদি পর্যায়ক্রমে লাল ও সুদূর লাল আলো প্রয়োগ করা হয় তবে সবশেষে প্রদত্ত আলোর বর্ণই পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। এই কারণে সবশেষে প্রদত্ত আলোর বর্ণ সুদূর লাল হলে হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদে এবং লাল হলে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদে ফুল ফোটে (চিত্র 1)।



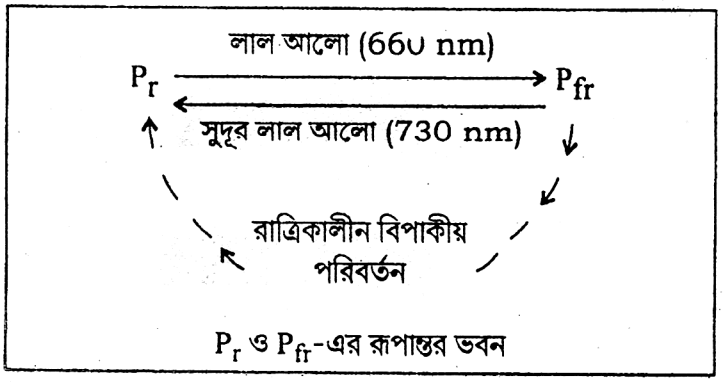
চিত্র 1 : R ও FR আলোর প্রভাবে উদ্ভিদের পুষ্প পরিস্ফুটন

15.4 ফাইটোক্রোম—পুষ্প প্রস্ফুটন নিয়ন্ত্রণকারী রঞ্জক

বিজ্ঞানী বর্থউইক ও হেনড্রিক্স (Borthwick and Hendricks, 1956) সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে গাছের পাতায় লাল (R) ও সুদূর লাল আলো (FR) গ্রহণকারী একটি বিশেষ রঞ্জক পদার্থ আছে যাকে ফাইটোক্রোম নামে শনাক্ত করা হয়। পুষ্প প্রস্ফুটন নিয়ন্ত্রণকারী ফাইটোক্রোমের বৈশিষ্ট্যগুলি হল :

(1) উদ্ভিদের পাতায় ফাইটোক্রোম রঞ্জকটি একটি আলোকগ্রাহী পদার্থরূপে কাজ করে। লাল আলো শোষণকারী ফাইটোক্রোমকে Phytochrome$_r$ বা P_r এবং সুদূর লাল আলো শোষণকারী ফাইটোক্রোমকে Phytochrome$_{fr}$ বা P_{fr} বলা হয়।

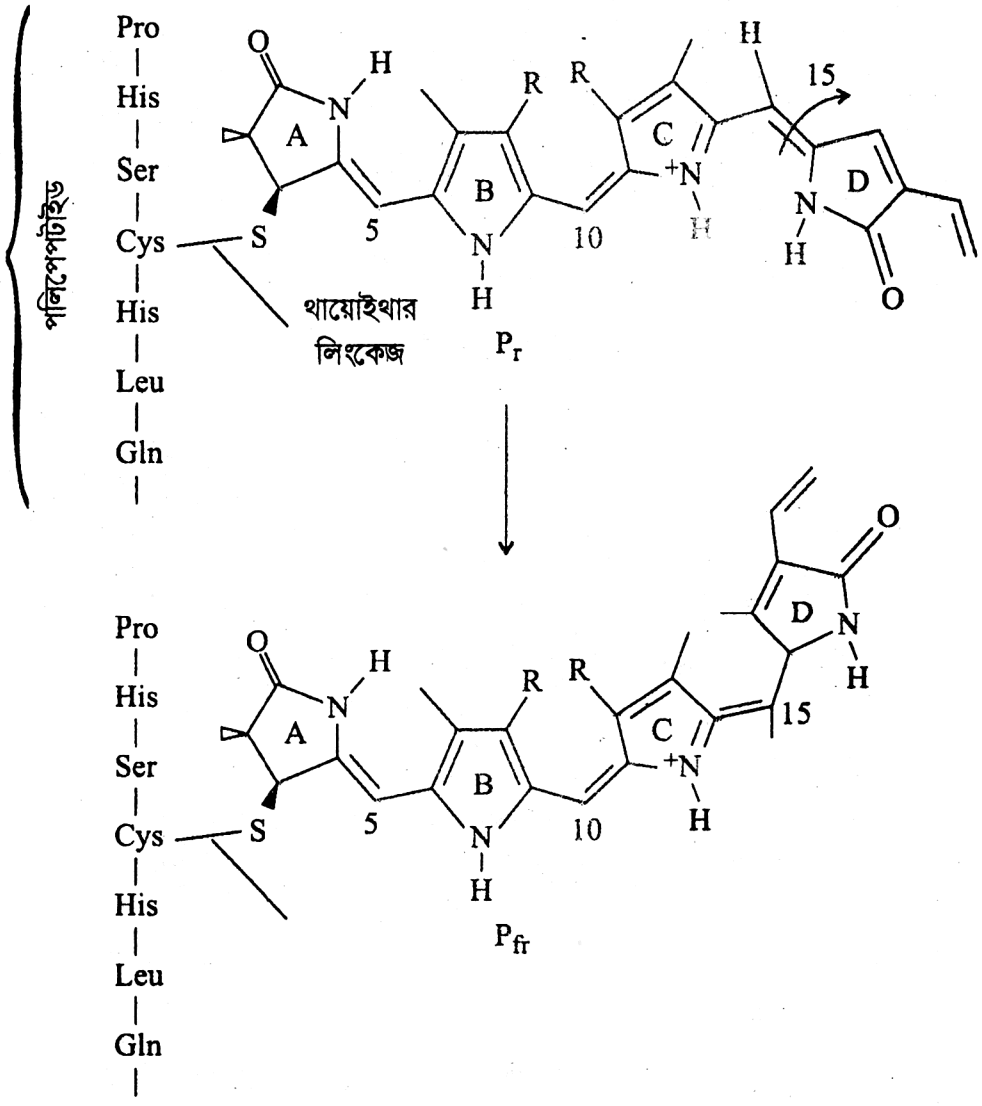
(2) P_r ফাইটোক্রোমটি লাল আলো শোষণ করার সাথে সাথে P_{fr} এ রূপান্তরিত হয়। পক্ষান্তরে, P_{fr} সুদূর লাল আলো শোষণ করে P_r এ রূপান্তরিত হয়। এছাড়া রাত্রিকালে আলোর অনুপস্থিতিতে সঞ্চিত P_{fr} ধীরে ধীরে P_r এ রূপান্তরিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে রাত্রিকালীন বিপাকীয় পরিবর্তন (Metabolic dark conversion) বলে। এই কারণে রাত্রিকাল দীর্ঘ হলে উদভিদে P_r এর সঞ্চয় বেশি হয়।



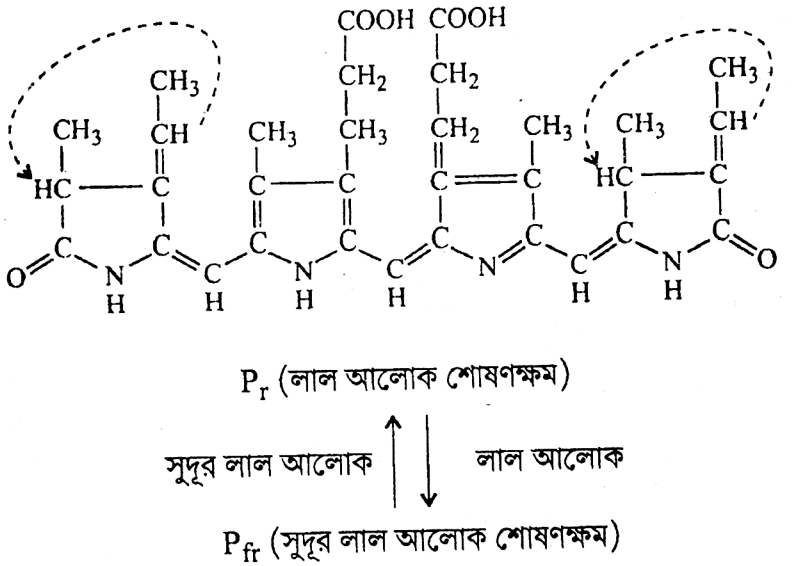
(3) $P_r \leftrightharpoons P_{fr}$-এর রূপান্তর একটি উভমুখী প্রক্রিয়া এবং কয়েক মিলিসেকেন্ডের মাধ্যমেই এই রূপান্তর ঘটে। এই রূপান্তরের সময় ফাইটোক্রোমের টেট্রাপাইরোল যৌথটির একটি H পরমাণুর স্থানান্তর ঘটে। P_r ও P_{fr} যেহেতু পরস্পর আইসোমার তাই এই রূপান্তরকে আইসোমেরাইজেশন বলা যায়। আর একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় হল দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে P_{fr}-এর অধিক সঞ্চয় প্রয়োজন এবং এই কারণেই লাল আলো দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটনের সহায়ক। অপরদিকে হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য P_r-এর সঞ্চয় একটি পূর্ব শর্ত (Pre-condition) এবং সুদূর লাল আলোর প্রভাবে বা রাত্রিকাল দীর্ঘ হলেই উদ্ভিদে P_r-এর সঞ্চয় বেড়ে যায়।

(4) রাসায়নিকভাবে ফাইটোক্রোম একটি নীলাভ ক্রোমোপ্রোটিন। এই যৌগের ক্রোমোফোর বা বর্ণময় অঞ্চলটি একটি টেট্রাপাইরোল যেখানে চারটি পাইরোল বর্গ সরল বা রৈখিক শৃঙ্খলে (Linear tetrapyrrole) সজ্জিত থাকে। এই অংশটি ফাইটোক্রোমোবিলিন নামেও পরিচিত।

এই ক্রোমোফোর অংশটি আবার একটি অ্যাপোপ্রোটিনের সাথে যুক্ত থাকে। অ্যাপোপ্রোটিন অংশটি মূলত একটি পলিপেপটাইড। জই (Oat) ফাইটোক্রোমের এই পলিপেপটাইডটি 1128টি অ্যামাইনো অম্লের সমন্বয়ে গঠিত ও এর আণবিক ওজন 124 kDa (কিলোডালটন)। *Avena* উদ্ভিদে এই পলিপেপটাইড সংশ্লেষকারী DNA-এর সিকুয়েন্সও আবিষ্কৃত হয়েছে (Voerstra *et al.* 1986)। (চিত্র 2 ও চিত্র 3)।



চিত্র 2 : ফাইটোক্রোমের রাসায়নিক গঠন ও রূপান্তর

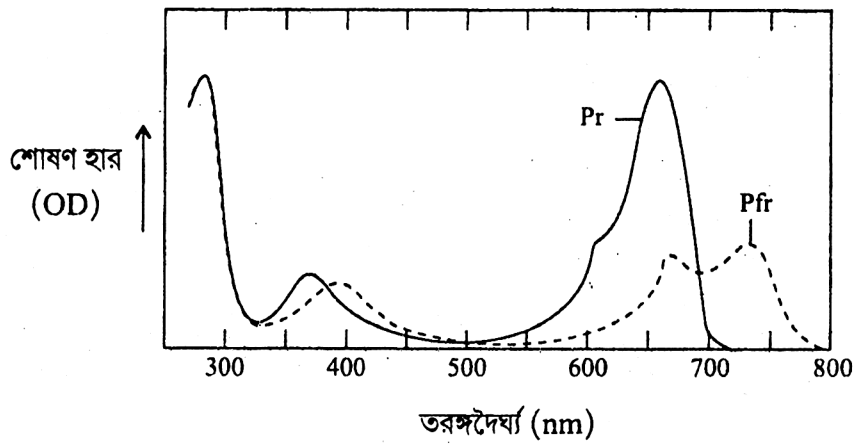


চিত্র 3 · ফাইটোক্রোমের রাসায়নিক গঠন → তীর চিহ্নিত স্থানে হাইড্রোজেন স্থানান্তরের ফলে P_r এবং P_{fr} রঞ্জক পদার্থের অবস্থা।

বিজ্ঞানীরা আরও একটি গুরুত্বপূর্ণ বিষয় লক্ষ করেছেন যে ক্রোমোফোর অঞ্চলটি অ্যাপোপ্রোটিনের 321 নম্বর সিসস্টিন অ্যামাইনো অম্লের সাথে থায়োইথার বন্ধনীর মাধ্যমে যুক্ত থাকে (Riidiger, 1986)।

(5) আলোকশোষণ বর্ণালী (Absorbtion spectrum) লক্ষ করলে দেখা যায় যে P_r 660 nm তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যযুক্ত আলো ও P_{fr} 730 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে। এক্ষেত্রে P_r-এর আলোক

শোষণের হার তুলনামূলকভাবে বেশি। এছাড়া দু'ধরনের ফাইটোক্রোমই সবুজ বর্ণের আলোও (500–550 nm) সামান্য পরিমাণে শোষণ করে (চিত্র 4)



চিত্র 4 : P_r ও P_{fr} এর শোষণ বর্ণালী

(6) একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় লক্ষ করা গেছে যে অন্ধকারে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত জই-এর অঙ্কুরে PHYA জিনটি কার্যকরী হয় যা PHYmRNA-এর মাধ্যমে প্রথমে P_r-এর অ্যাপোপ্রোটিন গঠন করে যা পরবর্তী পর্যায়ে লাল আলোর প্রভাবে P_{fr}-এ রূপান্তরিত হয়। PHYA জিন, এমনকি PHYmRNA ও আলোর প্রভাবে নিষ্ক্রিয় হয়ে যায় (Coupland, 1997)। নিউক্লিয়াস ও প্লাস্টিড—উভয় অঙ্গাণুর যুগপৎ ক্রিয়ার মাধ্যমে ফাইটোক্রোমের সংশ্লেষ ঘটে। নিউক্লিয়াসের PHYA জিনটি অ্যাপোপ্রোটিন গঠন করে এবং প্লাস্টিডে টেট্রাপাইরোল ক্রোমোবিলিন রঞ্জকটির সংশ্লেষ ঘটে। এই দুটি যৌগ সাইটোপ্লাজমে এসে মিলিত হয়ে সম্পূর্ণ ফাইটোক্রোম বা ফাইটোক্রোম হলোপ্রোটিন গঠন করে।

অনুশীলনী

1. সংক্ষেপে উত্তর দিন :

(ক) আলোক পর্যাবৃত্তি কাকে বলে?

(খ) একটি দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদের নাম লিখুন।

(গ) কোন্ বিজ্ঞানীরা উদ্ভিদে প্রথম ফাইটোক্রোম শনাক্ত করেন?

(ঘ) ফাইটোক্রোমোবিলিন কী?

(ঙ) P_r ও P_{fr} কোন্ কোন্ তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে?

2. **সঠিক উত্তরটির নীচে দাগ দিন :**

A. *Hyoscyamus* একটি (ক) হ্রস্ব দিবা (খ) দীর্ঘ দিবা (গ) দিবা নিরপেক্ষ উদ্ভিদ।

B. হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য (ক) P_{fr} (খ) Px (গ) P_r সঞ্চয়ের প্রয়োজন।

C. রাত্রিকাল দীর্ঘ হলে উদ্ভিদে (ক) P_r (খ) P_{fr} (গ) উভয়ই অধিক পরিমাণে সঞ্চিত হয়।

D. ফাইটোক্রোমের পলিপেপটাইডটির আণবিক ওজন (ক) 50 kDa (খ) 124 kDa (গ) 248 kDa

3. **সংক্ষেপে উত্তর দিন :**

(ক) ফাইটোক্রোম যৌগটির রাসায়নিক গঠন আলোচনা করুন।

(খ) আলোক পর্যাবৃত্তির উপর নির্ভর করে উদ্ভিদকে ক'টি শ্রেণীতে ভাগ করা যায়? প্রতিটি শ্রেণীর অন্তর্ভুক্ত একটি করে উদ্ভিদের নাম লিখুন।

15.3 ফ্লোরিজেন

রাশিয়ান বিজ্ঞানী চাইলাখান (Chailakhyan. 1936) সর্বপ্রথম উল্লেখ করেন যে উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য একটি সার্বজনীন হরমোন ক্রিয়া করে। এই হরমোনটিকে তিনি ফ্লোরিজেন নামে অভিহিত করেন। উদ্ভিদ সঠিক মাত্রায় আলোকপর্যাবৃত্তি জনিত উদ্দীপনা গ্রহণ করার পর ফ্লোরিজেন হরমোনটির সংশ্লেষ ঘটে। এই হরমোন সংশ্লেষের জন্য উদ্ভিদকে পর্যাপ্ত পরিমাণে CO_2 আত্তীকরণ করতে হয় এবং সুক্রোজ জাতীয় শর্করাও এই হরমোনের সংশ্লেষকে প্রভাবিত করে। অধিকাংশ বিজ্ঞানীরাই মনে করেন যে দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদে GA নামক হরমোনটিই ফ্লোরিজেন সংশ্লেষকে প্রভাবিত করে। দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদকে সংকটকালের চেয়ে কম আলো দিয়েও GA প্রয়োগ করলে পুষ্প প্রস্ফুটন লক্ষ্য করা যায় যা নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে যে এই হরমোনটিই ফ্লোরিজেন সংশ্লেষের জন্য দায়ী।

চাইলাখান একটি *Xanthium* গাছকে হ্রস্ব দিবাকালে রেখে তার সাথে দীর্ঘ দিবাকালে রাখা অনেকগুলি *Xanthium* গাছকে কলমের মাধ্যমে সংযুক্ত করলেন। *Xanthium* হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদ বলে প্রথম গাছটিতে যে ফ্লোরিজেন উৎপন্ন হয়েছিল তা দীর্ঘ দিবাকালে রাখা উদ্ভিদগুলিতে প্রবাহিত হয়ে পরবর্তী গাছগুলিতেও ফুল ফোটাতে সাহায্য করে। এছাড়া, একটি প্রজাতির গাছকে সঠিক আলোককাল প্রদান করে তার সাথে অন্য প্রজাতির গাছগুলিকে কলমের মাধ্যমে সংযুক্ত করলে পরবর্তী গাছগুলিকে সঠিক আলোককাল প্রদান না করলেও তাদের পুষ্প প্রস্ফুটন ঘটে। এই পরীক্ষা দুটির মাধ্যমে প্রমাণিত হয় যে ফ্লোরিজেন হরমোনটির একটি নির্দিষ্ট সত্তা আছে যা উদ্ভিদ অঙ্গের মাধ্যমে পরিবহনযোগ্য এবং প্রজাতি নির্বিশেষে একই হরমোন (ফ্লোরিজেন) পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে।

ফ্লোরিজেন সম্পর্কিত তথ্যের প্রধান দুর্বলতা হল যে অন্যান্য হরমোনের ন্যায় এর বিশুদ্ধীকরণ (Purification) সম্ভব হয়নি বলে ফ্লোরিজেন রাসায়নিক গঠন সম্পর্কে এখনও কিছুটা জানা সম্ভব হয়নি। এই বিষয়ে বিজ্ঞানীরা দ্বিমত পোষণ করেন। অনেকের মতে উদ্ভিদে ফ্লোরিজেন নামটি হরমোনের অস্তিত্বই নেই এবং GA, সুক্রোজ জাতীয় শর্করা এবং উদ্ভিদে কার্বনে ও নাইট্রোজেনের সঠিক অনুপাতই (C/N ratio) পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। আবার অনেক বিজ্ঞানীদের মতে ফ্লোরিজেন অত্যন্ত সংবেদনশীল ও ভঙ্গুর হওয়ায় উদ্ভিদ থেকে নিষ্কাশিত করার সময় এটি বিনষ্ট হয়ে যায়। উদ্ভিদ নির্যাসের আম্লিক অংশের (Acid fraction) মধ্যে পুষ্প প্রস্ফুটনকারী প্রভাবকটি উপস্থিত বলে অনেকে ফ্লোরিজেনকে ফ্লোরিজেনিক অম্লরূপে চিহ্নিত করেছেন। এছাড়া অনেক বিজ্ঞানীর ধারণা ফ্লোরিজেন একটি স্টেরল অথবা টোকোফেরল জাতীয় যৌগ। এককথায় বলা যায় ফ্লোরিজেনের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া সম্পর্কে বিজ্ঞানীদের ধারণা থাকলেও তার রাসায়নিক সত্তা এখনও অজ্ঞাত (Florigen is a physiological concept rather than chemical reality)।

সাম্প্রতিককালে ফ্লোরিজেন কীভাবে বিভিন্ন জিনকে প্রভাবিত করে পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে সে বিষয়ে আলোকপাত করা হয়েছে। উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনে বাধাদানকারী একটি জিন আছে যাকে FLOWERING LOCUS C বা FLC বলা হয়। এই জিনটি আবার পুষ্প গঠনকারী ভাজক কলায় উপস্থিত AGAMOUS LIKE 20 (AGL 20) জিনকে নিষ্ক্রিয় করে রাখে। সঠিক আলোক পর্যাবৃত্তির প্রবাবে ফ্লোরিজেন হরমোনের সংশ্লেষ ঘটলে তা ফ্লোয়েম মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে মুলুকসৃষ্টিকারী ভাজককলা স্তরে এসে পৌঁছায় এবং FLC জিনকে নিষ্ক্রিয় করে দেয় (Michaels ও Amasino, 2000)। এর ফলে AGL 20 জিনটি সক্রিয় হয়। এই জিনটি আবার পুষ্পস্তবক গঠনকারী একগুচ্ছ জিনকে সক্রিয় করে পুষ্প সৃষ্টি করে। পুষ্পস্তবক গঠনকারী জিনগুলি হল APETALA 1 (বৃষ্টি সৃষ্টি করে), APETALA 2 বা AP 2 (বৃতি বা দলমণ্ডল গঠন করে), AP 3 (পুংকেশর উৎপাদন করে) ও AGAMOUS বা AG (গর্ভকেশর সৃষ্টি করে)।

15.6 বাসন্তীকরণ (Vernalization)

1928 সালে রাশিয়ান বিজ্ঞানী লাইসেনকো (Lysenko) নিম্ন উষ্ণতার প্রভাবে উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করার প্রক্রিয়াকে বাসন্তীকরণ নামে অভিহিত করেন। শীতকালীন গমজাতীয় শস্য উচ্চফলনশীল হলেও প্রবল শৈত্যের প্রভাবে তাদের অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়া ব্যাহত হয়। এই ধরনের বীজকে সিক্ত অবস্থান নিম্ন তাপমাত্রা (5°C) প্রয়োগ করে ঐ বীজকে বসন্তকালে রোপণ করলেও উদ্ভিদের স্বাভাবিক ফলন লক্ষ করা যায়। শীতকালীন বীজকে নিম্নতাপমাত্রা প্রয়োগ করে বসন্তকালে রোপণ করলে পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত হয় বললেই এই প্রক্রিয়াকে বাসন্তীকরণ বলে। Vernalization এই ইংরাজি শব্দটি অবশ্য রাশিয়ান শব্দ 'yarovizatsya থেকে এসেছে।

দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদের ক্ষেত্রেও ভার্নালাইজেশন বা বাসন্তীকরণর প্রভাব বিশেষবাবে পরিলক্ষিত হয়। বিট, গাজর প্রভৃতি দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রথম বছর কেবলমাত্র অঙ্গজ বৃদ্ধি লক্ষ করা যায়। প্রথম বছর শীতকালীন নিম্নতাপমাত্রা গ্রহণ করার ফলেই এরা পরের বছর পুষ্প প্রস্ফুটনে সক্ষম হয়। লক্ষ্য করা গেছে এই উদ্ভিদগুলিকে শীতকালীন পরিবেশ না থাকতে দিলে পরবর্তী বছরেও এরা শুধু অঙ্গজ বৃদ্ধিলাভ করে। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে, পুষ্প প্রস্ফুটনের ক্ষেত্রে নিম্ন তাপমাত্রা বা শৈত্যের একটি সুনির্দিষ্ট প্রভাব আছে। এই ধরনের দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদের বীজকে নিম্ন তাপমাত্রায় কিছুদিন রাখার পর অঙ্কুরিত হতে দিতে প্রথম বছরেই তাদের পুষ্প প্রস্ফুটন বা ফলন উৎপাদন হতে পারে।

বাসন্তীকরণের শর্ত—বাসন্তীকরণ প্রক্রিয়াটি কয়েকটি শর্তের উপর নির্ভরশীল।

(1) যে বীজকে বাসন্তীকরণ করতে হবে তাকে অবশ্যই সিক্ত অবস্থায় রাখতে হবে।

(2) বীজ ছাড়াও কাণ্ডের বর্ধনশীল অঞ্চলও অনেক ক্ষেত্রে বাসন্তীকরণের প্রভাবে সাড়া দেয়।

(3) বাসন্তীকরণের ক্ষেত্রে 5°C তাপমাত্রাকেই সবচেয়ে আদর্শ তাপমাত্রা বলা হয়। 0°C তাপমাত্রা বা তার চেয়ে নিম্নতাপমাত্রায় বাসন্তীকরণের প্রভাব লক্ষ করা যায় না।

(4) *Secale cerale* ও অন্যান্য অনেক উদ্ভিদে দেখা গেছে বাসন্তীকরণের সময়কাল যত বাড়ানো হয় পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াটি ততই ত্বরান্বিত হয়।

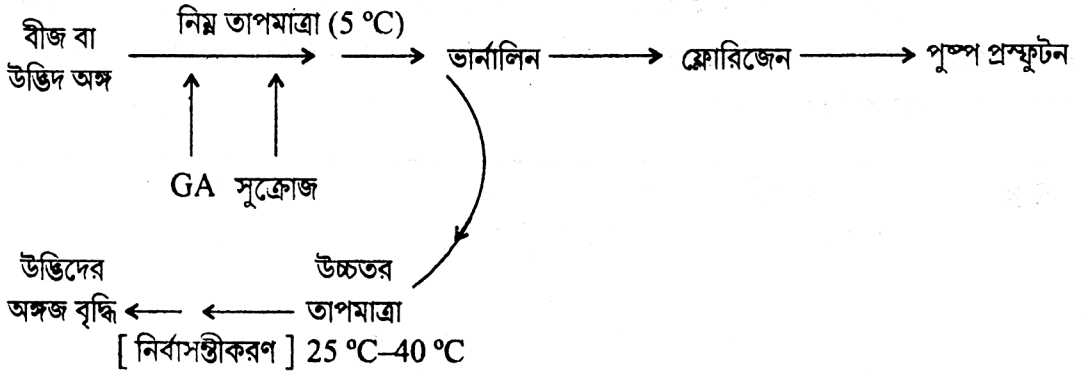
(5) বাসন্তীকরণ প্রক্রিয়াটি একটি O_2 নির্ভর পদ্ধতি। তাই O_2-এর অভাবে এই প্রক্রিয়াটি কার্যকরী হয় না।

(6) বাসন্তীকরণ সম্পন্ন হবার পর বীজ বা উদ্ভিদকে যদি উচ্চতর (25° – 40°C) তাপমাত্রায় রাখা হয় তাহলে বাসন্তীকরণেনর প্রভাবটি নষ্ট হয়ে যায়। এই বিপরীত প্রতিক্রিয়াকে নির্বাসন্তীকরণ (Devernalization) বলে।

(7) উদ্ভিদ অঙ্গে সুক্রোজ জাতীয় শর্করার অভাব ঘটলে বাসন্তীকরণ সম্পূর্ণভাবে কার্যকরী হয় না।

বাসন্তীকরণের শারীরবৃত্তীয় পদ্ধতি—বিজ্ঞানী মেলচার (Melcher, 1936) বাসন্তীকৃত হেনবেন (*Hyoscyamus*) উদ্ভিদের সাথে অবাসন্তীকৃত (Non-vernalized) উদ্ভিদের জোড়কলম করে লক্ষ করেন যে নিম্ন উষ্ণতা প্রয়োগ না করলেও অবাসন্তীকৃত উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটিত হয়। পরবর্তীকালে মেলচার এবং ল্যাং (Melcher and Lang, 1966) এই সিদ্ধান্তে আসেন যে শৈত্য প্রয়োগ বা ভার্নালাইজেশনের ফলে উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনের সহায়ক একটি হরমোন উৎপন্ন হয় যাকে তারা ভার্নালিন নামে অভিহিত করেন। GA ও ভার্নালিনের কার্যকারিতা পৃথক হলেও GA সম্ভবত ভার্নালিন উৎপাদন বা তার ক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে। *Sinapsis alba* নামক উদ্ভিদে বাসন্তীকরণের ফলে পিউট্রাসিন নামে একটি ডাইঅ্যামাইন তৈরি হয় যা পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে। বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে ভার্নালিন হরমোনটি ফ্লোরিজেন উৎপাদনে সাহায্য করে এবং পরবর্তী পর্যায়ে

ফ্লোরিজেনই পুষ্প উৎপাদনকারী জিনগুলি সক্রিয় করে ফুল ফোটাতে সাহায্য করে। একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে ভার্নালিনেরও রাসায়নিক অস্তিত্ব এখন অবধি আবিষ্কৃত হয়নি তাই ভার্নালিনকেও প্রকল্পিত হরমোন (Hypothetical hormone) বলা হয়। সাধারণভাবে বাসন্তীকরণর পদ্ধতিকে নিম্নলিখিত প্রবাহচিত্রের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা যায়।



বাসন্তীকরণের গুরুত্ব :

(1) বাসন্তীকরণর মাধ্যমে শীতকালীন উদ্ভিদকে বসন্তকালে অঙ্কুরিত করে পুষ্প প্রস্ফুটনকে ত্বরান্বিত করা যায়।

(2) এই প্রক্রিয়ার ফলে দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদকে একবর্ষজীবী উদ্ভিদে রূপান্তরিত করা সম্ভব।

(3) বাসন্তীকরণ পদ্ধতির ফলে উদ্ভিদের শৈত্য সহনশীলতা (Cold tolerance) বেড়ে যায়।

(4) অনেক বিজ্ঞানীরা মনে করেন বাসন্তীকরণের ফলে উদ্ভিদের ছত্রাকঘটিত রোগের প্রতিরোধ ক্ষমতা বেড়ে যায়।

(5) গ্রীষ্মপ্রধান দেশে শীতকালে অঙ্কুরোদ্‌গমের তেমন ব্যাঘ্যাত ঘটে না বলে বাসন্তীকরণেরও বিশেষ গুরুত্ব নেই। কর (Kar, 1943) পাট বীজে বাসন্তীকরণ ঘটিয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ত্বরান্বিত করতে পেরেছেন যদিও সেক্ষেত্রে পুষ্প প্রস্ফুটনের সময়কালের কোন পরিবর্তন লক্ষ করা যায়নি।

15.7 সারাংশ

উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াটি আলোর সময়কালের উপর নির্ভরশীল। প্রতিটি প্রজাতির একটি নির্দিষ্ট আলোককাল আছে যাকে সংকট আলোককাল বলে। দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে সংকট আলোককালের চেয়ে বেশি এবং হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে তার চেয়ে কম সময় আলো দিলে তবেই পুষ্প প্রস্ফুটন লক্ষ করা যায়।

ফাইটোক্রোম নামক একটি ক্রোমোপ্রোটিন আলোকসুবেদী রঞ্জকরূপে কাজ করে। ফাইটোক্রোম P_r ও P_{fr} এই দুটি আইসোমাররূপে অবস্থান করে। P_r লাল আলো শোষণ করে P_{fr} এ এবং P_{fr} সুদূর লাল আলো শোষণ করে P_r-এ রূপান্তরিত হয়। এছাড়া অন্ধকারে P_{fr} যৌগটি P_r-এ পরিবর্তিত হয়। দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে P_{fr}-এর এবং হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে P_r-এর সঞ্চয় পুষ্প প্রস্ফুটনের অত্যাবশ্যক পূর্ব শর্ত। উদ্ভিদে সঠিক আলোক পর্যাবৃত্তির ফলে ফ্লোরিজেন নামে একটি হরমোনের সংশ্লেষ ঘটে যা পাতা থেকে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে পুষ্পমুকুলকে বিকশিত করে। নিম্ন তাপমাত্রায় (5°C) প্রভাবেও উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া ত্বরান্বিত হয় যাকে বাসন্তীকরণ বলে।

15.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(ক) ফাইটোক্রোমে একটি _____ যৌগ ক্রোমোফোর গটন করে।

(খ) নিউক্রিয়াস ও _____ অঙ্গাণু একত্রে ফাইটোক্রোম গঠন করে।

(গ) _____ জিনটি ফাইটোক্রোম সৃষ্টিতে বাধা দান করে।

(ঘ) ফ্লোরিজেন ও ভার্নালিনকে _____ হরমোন বলে।

2. সঠিক উত্তরটির পাশে '✓' (টিক) চিহ্ন দিন :

(ক) ফ্লোরিজেন হরমোনের কথা সর্বপ্রথম উল্লেখ করেন বিজ্ঞানী (i) গ্রেগর (ii) চাইলাখন (iii) গ্রিফিথ

(খ) ফ্লোরিজেনের আনবিক ওজন (i) 240 (ii) 124 kDa (iii) অজ্ঞাত।

(গ) যে হরমোনটি আলোকপর্যাবৃত্তি ও বাসন্তীকরণ উভয় প্রক্রিয়াকেই প্রভাবিত করে সেটি হল (i) IAA (ii) GA (iii) CK।

3. সংক্ষেপে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে আলোচনা করুন :

(ক) দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদ

(খ) P_{fr}

(গ) ফ্লোরিজেন

(ঘ) বাসন্তীকরণ শর্তাবলী

15.9 উত্তরমালা

অনুশীলনী

1. (ক) পুষ্প প্রস্ফুটনের উপর দিবা দৈর্ঘ্য বা আলোর সময়কালীন প্রভাবকে আলোক পর্যাবৃত্তি বলে।

(খ) শশা (*Cucumis sativus*)

(গ) বর্থউইক ও হেনড্রিক্স (1956)

(ঘ) টেট্রাপাইরোল দ্বারা গঠিত ফাইটোক্রোমের অ-প্রোটিন অংশটিকে ফাইটোক্রোমোবিলিন বলে।

(ঙ) P_r 660 nm ও P_{fr} 730 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে।

2. A. (খ)

B. (গ)

C. (ক)

D. (খ)

3. (ক) 15.4 অনুচ্ছেদ দ্রষ্টব্য

(খ) 15.3 দেখুন

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. (ক) টেট্রাপাইরোল

(খ) ক্লোরোপ্লাস্টিড

(গ) PHYB

(ঘ) প্রকল্পিত

2. (ক) (ii)

(খ) (ii)

(গ) (ii)

3. (ক) 15.3 দেখুন

(খ) 15.4 দেখুন

(গ) 15.5 দেখুন

(ঘ) 15.6 দ্রষ্টব্য

একক 16 ❑ বীজের সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সি

গঠন

16.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

16.2 সুপ্তাবস্থা ও তার প্রকারভেদ

16.3 সুপ্তাবস্থার কারণসমূহ

16.4 সুপ্তাবস্থা ভঙ্গের পদ্ধতিসমূহ

16.5 সুপ্তাবস্থার গুরুত্ব

16.6 অঙ্কুরোদ্‌গমের শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া

16.7 অঙ্কুরোদ্‌গমে হরমোনের ভূমিকা

16.8 সারাংশ

16.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

16.10 উত্তরমালা

16.1 প্রস্তাবনা

কোন উদ্ভিদ অঙ্গের বৃদ্ধি সাময়িকভাবে স্থগিত হলে তাকে সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সি (dormancy) বলা হয়। উদ্ভিদে বীজ এবং মুকুলে এই ধরনের সুপ্তাবস্থা লক্ষ করা যায়। সাধারণত প্রতিকূল পরিবেশ থেকে রক্ষা পাওয়ার জন্য বীজে বা মুকুলে সুপ্তাবস্থার সৃষ্টি হয় এবং এই ধরনের বিরুদ্ধ পরিবেশ অতিক্রম করার পরই সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয় এবং অঙ্গগুলিতে স্বাভাবিক বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। পরিপক্ক বীজ মাটিতে পড়ার সাথে সাথে বা সংগ্রহ করার পরই অঙ্কুরিত হয় না। একে প্রাথমিক সুপ্তাবস্থা (primacy dormancy বা post-harvest dormancy) বলে। অপরদিকে বীজের মধ্যে অঙ্কুরোদ্‌গমের অভ্যন্তরীণ উপাদানগুলি সঠিক মাত্রায় উপস্থিত থাকলেও পরিবেশজনিত কারণে অঙ্কুরোদ্‌গম বাধাপ্রাপ্ত হলে তাকে গৌণ সুপ্তাবস্থা (secondary dormancy) বলে। কৃষিবিজ্ঞানীরা বিভিন্ন পদ্ধতি অবলম্বন করে বীজের সুপ্তাবস্থাকে কৃত্রিম উপায়ে ভঙ্গ করতে সক্ষম হয়েছেন—এই পদ্ধতিগুলির মধ্যে স্ক্যারিফিকেশন (scarification), নিম্ন তাপমাত্রা প্রয়োগ, লাল আলোকরশ্মির ব্যবহার, জিব্বারেলিক অম্ল বা সাইটোকাইনিন জাতীয় হরমোন প্রয়োগ প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি কতকগুলি ধারাবাহিক পর্যায়ের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। যেমন—জল বিশোষণ, আর্দ্রবিশ্লেষক উৎসেচকগুলি

সক্রিয়তা, শ্বসনের হার বৃদ্ধি, জটিল সঞ্চিত খাদ্যদ্রব্যের সরলীকরণ, DNA সংশ্লেষ, দ্রুত কোষবিভাজন ও পরিশেষে বীজ থেকে ভ্রূণমূল ও ভ্রূণমুকুলের নির্গমনের মাধ্যমে অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণ হয়। GA প্রধানত α-অ্যামালেজ সংশ্লেষের মাধ্যমে শস্যবীজের-অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। সাইটোকাইনিন হরমোনটিও অঙ্কুরোদ্‌গমের সহায়ক এবং অ্যাবসিসিক অম্লকে প্রধান অঙ্কুরোদ্‌গম প্রতিরোধক হরমোন বলে।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- বীজের সুপ্তাবস্থার শারীরবৃত্তীয় কারণগুলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি ত্বরান্বিত করার জন্য অর্থাৎ সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করার জন্য প্রয়োজনীয় ব্যবস্থাগুলির সম্পর্কে ধারণা লাভ করতে পারবেন।
- অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় বীজের শারীরবৃত্তীয় ও জৈব রাসায়নিক পরিবর্তনগুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- অঙ্কুরোদ্‌গমের নিয়ন্ত্রণকারী হরমোনগুলির কার্যকারিতা বুঝিয়ে দিতে পারবেন।

16.2 সুপ্তাবস্থা ও তার প্রকারভেদ

নিষিক্ত ও পরিপক্ক ডিম্বাণুকে বীজ বলে। জল, বাতাস ও তাপমাত্রা অর্থাৎ উপযুক্ত পরিবেশ পেলে বীজ অঙ্কুরিত হয়ে চারাগাছের সৃষ্টি হয়। অনেকক্ষেত্রে দেখা যায় যে উপযুক্ত পরিবেশ পেলেও বীজের অভ্যন্তরে শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াগুলি নিষ্ক্রিয় থাকার ফলে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম হয় না। উপযুক্ত বা অনুকূল পরিবেশ পাওয়া সত্ত্বেও সাময়িকভাবে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি স্থগিত থাকার ঘটনাকে বীজের সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সি (dormancy) বলে। বীজ ছাড়াও উদ্ভিদের জীবনচক্রে বিভিন্ন অঙ্গের সুপ্তাবস্থা লক্ষ করা যায়। নিম্নশ্রেণীর উদ্ভিদে রেণুর সুপ্তাবস্থা, বহুবর্ষজীবী উদ্ভিদে কন্দ, স্ফীতকন্দ, গুঁড়িকন্দ প্রভৃতি অঙ্গের বিশেষ ঋতুতে বৃদ্ধিবিলোপ, শীতপ্রধান দেশে প্রবল শৈত্যের প্রভাবে অঙ্গজ মুকুলের স্থিতাবস্থা—এ সবই সুপ্তাবস্থার রূপভেদ মাত্র। তবে বীজের সুপ্তাবস্থাই বিজ্ঞানী মহলে সবচেয়ে বেশি গুরুত্ব পেয়েছে।

সুপ্তাবস্থার প্রকারভেদ (Type of dormancy)—বীজের বিভিন্ন ধরনের সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সিকে নানাবিধ পারিভাষিক শব্দের (terminology) মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা হয়েছে।

1. **সহজাত সুপ্তাবস্থা** (Innate Dormancy)—যখন বীজের নিজস্ব কিছু ত্রুটির ফলে সুপ্তাবস্থার সৃষ্টি হয় তখন তাকে সহজাত সুপ্তাবস্থা বলে। বাতাস বা জলের অনুপ্রবেশে বাধাদানকারী স্থূল বীজত্বক, অ্যাবসিসিক অম্লজাতীয় বৃদ্ধি প্রতিরোধকারী হরমোনের মাত্রাতিরিক্ত সঞ্চয় প্রভৃতি এই ধরনের সুপ্তাবস্থার প্রধান কারণ। বাহ্যিক পরিবেশ অনুকূল হলেও নির্দিষ্ট সময় অতিক্রম না করা পর্যন্ত সহজাত সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করা যায় না।

2. **আরোপিত সুপ্তাবস্থা** (Imposed dormancy)—যখন অঙ্কুরোদ্‌গমে সক্ষম বীজ প্রতিকূল বাহ্যিক পরিবেশের প্রভাবে অঙ্কুরিত হতে পারে না তখন তাকে আরোপিত সুপ্তাবস্থা বলে। খরাপ্রবণ স্থানে জলের অভাবে, শীতপ্রধান দেশে উপযুক্ত উষ্ণতার অভাবে এই ধরনের সুপ্তাবস্থা লক্ষ করা যায়। এইক্ষেত্রে পরিবেশের প্রতিকূল অবস্থাকে দূরীভূত করলেই বীজকে অঙ্কুরিত হতে দেখা যায়।

3. **স্থায়ী সুপ্তাবস্থা** (Innate Dormancy)—দীর্ঘদিন বীজকে সংরক্ষিত করলে বীজের সজীব কোষগুলির বয়ঃপ্রাপ্তি (Aging) ঘটে এবং তাদের জীবনীশক্তি নষ্ট হয়ে যায়। এই ধরনের বীজ কোন অবস্থাতেই অর্থাৎ সর্বাধিক অনুকূল পরিবেশেও অঙ্কুরিত হতে পারে না। বীজের এই সুপ্তাবস্থাকেই স্থায়ী সুপ্তাবস্থা বলা হয় এবং এই ধরনের বীজকে নির্জীব (Non-viable) বীজ বলা হয়।

4. **শস্য সংগ্রহকালের পরবর্তী সুপ্তাবস্থা** (Post-harvest dormancy)—মাতৃদেহে থাকাকালীন বীজ পরিপুষ্ট হলেও অধিকাংশ ক্ষেত্রে বীজটি সুপ্ত অবস্থায় থাকে। এই কারণে ফসল তোলার পর বা বীজ সংগ্রহ করার পরও কিছুদিন বীজের সুপ্তাবস্থা লক্ষ করা যায়, যাকে শস্য সংগ্রহকালের পরবর্তী সুপ্তাবস্থা বা Post-harvest Dormancy বলে। পরিপক্ক বীজের মধ্যে প্রচুর পরিমাণে অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধাদান অ্যাবসিসিক অম্ল (ABA) সঞ্চিত থাকে। বীজ সংগ্রহের পর এই ABA অপচিতিমূলক ক্রিয়ার ফলে ধীরে ধীরে বীজ থেকে অপসৃত হয় ও তারপর বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটে। সুন্দরী জাতীয় লবণাম্বু উদ্ভিদের বীজে ABA সঞ্চিত হয় না বলে এদের জরায়ুজ অঙ্কুরোদ্‌গম লক্ষ করা যায়।

5. **কুইসেন্স** (Quiscence)—সাম্প্রতিককালে উদ্ভিদবিদেরা কুইসেন্স নামক একটি শব্দকে ব্যবহার করেন। প্রতিকূল পরিবেশের জন্য যখন বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম বাধাপ্রাপ্ত হয় অর্থাৎ বীজটি সুপ্তাবস্থায় থাকে তখন তাকে কুইসেন্স বলে। অপরদিকে, বীজের আভ্যন্তরীণ কারণের জন্য যদি অঙ্কুরোদ্‌গম না ঘটে তাকে বীজের ডরম্যান্সি (dormancy) বলা হয়।

16.3 সুপ্তাবস্থার কারণসমূহ

এক বা একাধিক আভ্যন্তরীণ কাররে জন্য বীজের ডরম্যান্সি দেখা যায়। কারণগুলি হল—

A. স্থূল বীজত্বক— বীজত্বক অতিরিক্ত স্থূল হলে বীজ সুপ্তাবস্থা ভোগ করে। এই ধরেনর বীজত্বক নিম্নলিখিত কারণে বীজকে অঙ্কুরিত হতে দেখা দেয় না।

(i) লিগুমিনোসি, ম্যালভেসি প্রভৃতি গোত্রের অধিকাংশ বীজের স্থূল ত্বকের মাধ্যমে জল প্রবেশ করতে না পারায় অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটে না।

(ii) *Xanthium* উদ্ভিদের ফলে যে দুটি বীজ থাকে তার উপরের বীজটির স্থূল বীজত্বকের মধ্য দিয়ে অক্সিজেন প্রবেশ করতে না পারায় অঙ্কুরোদ্‌গম সম্ভবপর হয় না। নীচের পাতলা ত্বকবিশিষ্ট

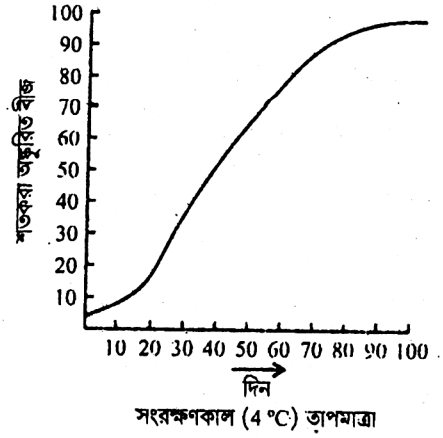
বীজটির মধ্যে অক্সিজেন প্রবেশ করায় বীজটির স্বাভাবিক অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটে। উপরের বীজটির ত্বক ছিন্ন করলে বা বীজকে উচ্চ ঘনত্বযুক্ত অক্সিজেনের মাধ্যমে রাখলে বীজটির অঙ্কুর গঠিত হয়।

(iii) *Alisma plantago, Amaranthus retroflexus* প্রভৃতি গাছের বীজত্বকটি স্থূল হওয়ায় ভ্রূণটি তা ভেদ করে বেরিয়ে আসতে পারে না। ফলে অঙ্কুরোদ্‌গম সম্ভব হয় না।

B. অপরিণত ভ্রূণ—অর্কিডেসি (Orchidaceae), অরোব্যাঙ্কাসি (Orobanchaceae) প্রভৃতি গোত্রের গুপ্তবীজী উদ্ভিদে এবং *Ginkgo biloba* নামক ব্যক্তবীজী উদ্ভিদের বীজগুলি যখন মাটিতে পড়ে তখন বীজের অভ্যন্তরে উপস্থিত ভ্রূণটি অপরিণত অবস্থায় তাকে। স্বাভাবিক কারণেই ভ্রূণটি পরিণত অবস্থায় না আসা পর্যন্ত বীজটি সুপ্তাবস্থায় থাকে।

C. অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধাদানকারী উপাদানের উপস্থিতি—বীজের মধ্যে কয়েকটি রাসায়নিক পদার্থের সন্ধান পাওয়া গেছে যেগুলি সক্রিয়ভাবে অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধাদান করে। কৌমারিন, প্যারাসরবিক অম্ল, থ্যালিডস, ফেরুলিক অম্ল, প্রোটোঅ্যানিমোনিন প্রভৃতি যৌগগুলি অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধা দেয় তবে যে যৌগটি বীজের সুপ্তাবস্থার জন্য সর্বাধিক দায়ী সেটি হল অ্যাবসিসিক অম্ল নামে একটি বৃদ্ধি প্রতিরোধক হরমোন (Walton, 1977)।

D. শৈত্যের প্রয়োজনীয়তা—আপেল, পিচ প্রভৃতি গাছের বীজ হেমন্তকালে পরিপক্বতা লাভ করলেও সুপ্তাবস্থায় থাকে। শীতকালে নিম্ন তাপমাত্রার প্রভাবে (chilling effect) বীজের এই সুপ্তাবস্থা ধীরে ধীরে কেটে যায় ও পরবর্তী বসন্তে বীজগুলি অঙ্কুরিত হয়। (চিত্র 16.1)



চিত্র 16.1 : আপেল বীজের নিম্ন তাপমাত্রায় সংরক্ষণকালের উপর অঙ্কুরোদ্‌গমের হার।

E. আলোক নির্ভরতা—লেটুস (*Lactuca sativa*), তামাক (*Nicotiana 'abacum*) প্রভৃতি গাছের বীজগুলির অঙ্কুরোদ্‌গম পদ্ধতিটি আলোকনির্ভর বলে বীজগুলি যতক্ষণ না পর্যাপ্ত আলোর সন্ধান পায় ততক্ষণ সুপ্তাবস্থায় থাকে। এই ধরনের বীজকে ধনাত্মক ফোটোব্লাস্টিক (positively photoblastic) বীজ বলে।

অপরদিকে *Nigella damascena, Helleborus niger* প্রভৃতি গাছের বীজ আলোর উপস্থিতিতে অঙ্কুরিত হয় না এবং অন্ধকারের উপস্থিতিতেই এদের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয়। এদের ঋণাত্মক ফোটোব্লাস্টিক (negatively photoblastic) বীজ বলে।

16.4 সুপ্তাবস্থা ভঙ্গের পদ্ধতিসমূহ

কৃষিবিদ্‌দের কাছে বীজের সুপ্তাবস্থা একটি গুরুত্বপূর্ণ সমস্যা, কারণ বীজ অঙ্কুরিত না হলে চারাগাছ উৎপাদন হয় না। সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করার জন্য প্রধান যে পদ্ধতিগুলি আরোপ করা হয় সেগুলি হল—

A. স্ক্যারিফিকেশন— যে পদ্ধতিতে কঠিন বীজত্বককে বিদারিত বা দ্রবীভূত করে অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করা হয় তাকে স্ক্যারিফিকেশন বলে। এই পদ্ধতিটি আবার দু'ধরনের হতে পারে—

(a) **যান্ত্রিক স্ক্যারিফিকেশন**—যন্ত্রের সাহায্যে অথবা স্ক্যালপেল বা ছুরি দিয়ে স্থূল বীজত্বককে কেটে দিলে অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি দ্রুত সম্পন্ন হয়। এছাড়া হাতুড়ি দিয়ে সামান্য ঠুকে বীজত্বক ফাটিয়ে (Hammering) বা শিরিষ কাগজ দিয়ে বীজত্বককে ঘষে পাতলা করে স্ক্যারিফিকেশন করা সম্ভব।

(b) **রাসায়নিক স্ক্যারিফিকেশন**—স্থূল ত্বকযুক্ত বীজকে স্বল্প সময়ের জন্য ঘন অম্ল বা জৈব দ্রাবকে রেখে ত্বককে দ্রবীভূত করা যায়।

B. নিম্ন তাপমাত্রা প্রয়োগ— 5–10°C তাপমাত্রায় বীজকে কিছুক্ষণ রাখলে সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হতে পারে (Crocker and Barton, 1957)। অনেক বিজ্ঞানীরা এই পদ্ধতিকে স্ট্র্যাটিফিকেশন (Stratification) নামে অভিহিত করেছেন। নিম্ন তাপমাত্রা কিভাবে অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তা করে তা সঠিকভাবে জানা যায়নি এবং এই বিষয়ে বিভিন্ন ধারণার সৃষ্টি হয়েছে।

(ক) অনেকের মতে নিম্ন তাপমাত্রার প্রভাবে বীজের শ্বসন প্রক্রিয়াটি উদ্দীপ্ত হয়।

(খ) চেরি বীজ নিম্ন তাপমাত্রায় ফসফোরাস পিবাকের হার বাড়িয়ে দেয়।

(গ) ফাইন ও বারটনের মতে (Fine and Barton, 1958) শৈত্যের প্রভাবে পিয়োনী (Peony) বীজের শস্য থেকে ভ্রূণে দ্রুত অ্যামাইনো অম্লের সরবরাহ ঘটে।

C. পর্যায়ক্রমিক তাপমাত্রা প্রয়োগ—ক্রুকার ও বারটন লক্ষ করেছেন যে পর্যায়ক্রমে নিম্ন ও উচ্চ তাপমাত্রা (15°C ও 25°C) প্রয়োগ করলে অনেক বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ত্বরান্বিত হয়। এইক্ষেত্রে উচ্চ তাপমাত্রা বীজের অভ্যন্তরে গ্যাসীয় পদার্থের আদান-প্রদান বাড়িয়ে দেয়।

D. আলোর প্রভাব—আপনারা পূর্বের অনুচ্ছেদ থেকে পেরেছেন যে লেটুস প্রভৃতি ধনাত্মক ফোটোব্লাস্টিক বীজগুলিতে আলোর প্রভাবে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম হয়। বিজ্ঞানী ফ্লিন্ট ও ম্যাকএলিস্টার (Flint and McAlister, 1937) আরও লক্ষ করেছেন এই ধরনের ফোটোব্লাস্টিক বীজগুলিতে লাল আলো প্রয়োগ করলে দ্রুত সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয়। লাল বীজে ফাইটোক্রোম$_{fr}$ (P_{fr})এর সঞ্চয় বাড়িয়ে দেয় যা অঙ্কুরোদ্‌গমের সহায়ক। বিজ্ঞানী কেনড্রিন ও (Kendrik and Frankland, 1983) প্রমাণ করেছেন অঙ্কুরিত মটর বীজের বীজপত্রাবকাণ্ডে ফাইটোক্রোম সর্বাধিক পরিমাণে সঞ্চিত হয়ে ভ্রূণমুকুলের কোষ বিভাজনের হার বাড়িয়ে দেয়।

E. অক্সিজেন ঘনত্বের প্রভাব—*Xanthium* গাছের স্থূল বীজত্বকসম্পন্ন বীজটিতে O_2 প্রবেশ না করার পলে শ্বসন প্রক্রিয়া স্থগিত থাকে। উচ্চ অক্সিজেন চাপে বীজগুলিকে রাখলে সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয়।

F. হরমোনের প্রভাব—জিব্বারেলিক অম্ল ও সাইটোকাইনিনের প্রভাবে বীজ দ্রুত সুপ্তাবস্তা কাটিয়ে অঙ্কুরিত হয়। ধান, গম প্রভৃতি দানাশস্যে আভ্যন্তরীণ GA-এর পরিমাণ কমে গেলে বীজ ধীরে ধীরে অঙ্কুরোদ্‌গমের ক্ষমতা হারিয়ে ফেলে। এই অবস্থায় বাহ্যিকভাবে GA প্রয়োগ করলে বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয়। এছাড়া সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলেও সুপ্ত বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম হতে দেখা যায়।

G. অন্যান্য রাসায়নিক পদার্তের প্রয়োগ—তুলা বীজে AMP (অ্যাডিনোসিন মনোফসফেট) প্রয়োগ করলে বীজ দ্রুত অঙ্কুরিত হয়। এছাড়া অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়ক যৌগগুলি হল KNO_3, H_2O_2 প্রভৃতি অজৈব যৌগ এবং থায়োইউরিয়া, পলিঅ্যামাইন প্রভৃতি জৈব যৌগ। অনেক বীজেই এই যৌগগুলি নির্দিষ্ট মাত্রায় প্রয়োগ করলে অঙ্কুরোদ্‌গম ত্বরান্বিত হয়।

16.5 সুপ্তাবস্থার গুরুত্ব (Importance of Dormancy)

সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সির ফলে বীজ অঙ্কুরিত হয় না ও এর ফলে ফসল উৎপাদনও ব্যাহত হয়। তা সত্ত্বেও সুপ্তাবস্থার কয়েকটি শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা আছে।

1. শীতপ্রধান দেশে শীতকালে যে বীজ পরিপক্কতা লাভ করে তা দ্রুত অঙ্কুরিত হলে নিম্ন তাপমাত্রায় বিনষ্ট হয়ে যায়। এই বীজগুলি সুপ্তাবস্থার মাধ্যমে শীতকালীন প্রতিকূল পরিবেশকে উপেক্ষা করতে পারে। একইভাবে খরাপ্রবণ অঞ্চলে গ্রীষ্মকালে উৎপন্ন বীজগুলি সুপ্তাবস্থার সাহায্যে গ্রীষ্মকালকে অতিক্রম করে বর্ষাকালে অঙ্কুরিত হয়।

2. সুপ্তাবস্থা না থাকলে বীজ গাছে বা ফলসংলগ্ন থাকাকালীন অঙ্কুরিত হতে পারে। এই ধরনের জরায়ুজ অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটলে লবণাম্বু উদ্ভিদ ছাড়া ভ্রূণ থেকে উৎপন্ন চারাগাছ পরিণতি লাভ করতে পারে না।

অনুশীলনী

1. **সঠিক উত্তরটির পাশে '✓' চিহ্ন দিন :**
   (ক) ABA একটি প্রাকৃতিক হরমোন যা অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধা দান করে।
   (খ) বীজের আভ্যন্তরীণ কারণের জন্য যদি অঙ্কুরোদ্‌গম না ঘটে তখন তাকে কুইসেন্স বলে।
   (গ) O_2 প্রবেশ করতে না পারায় *Xanthium* ফলের উপরের বীজটি সুপ্তাবস্থায় থাকে।
   (ঘ) লেটুস একটি ধনাত্মক ফোটোব্লাস্টিক বীজ।
2. **শূন্যস্থান পূরণ করুন :**
   (ক) শিরিষ কাগজ দিয়ে ঘষে বীজত্বককে পাতলা করে বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করার পদ্ধতিকে ___ বলে।
   (খ) ____ একটি অজৈব যৌগ এবং ____ একটি জৈব যৌগ যা অঙ্কুরোদ্‌গমে সাহায্য করে।
   (গ) ____ হরমোনটি প্রয়োগ করলে ধান-বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ত্বরান্বিত হয়।
   (ঘ) চেরি-বীজ নিম্ন তাপমাত্রায় ____ বিপাকের হার বাড়িয়ে দেয়।
3. **সংজ্ঞা লিখুন :**
   (ক) কুইসেন্স
   (খ) পোস্ট-হার্ভেস্ট ডরম্যান্সি,
   (গ) সহজাত সুপ্তাবস্থা বা ইনেট ডরম্যান্সি
   (ঘ) রাসায়নিক স্ক্যারিফিকেশন।

16.6 অঙ্কুরোদ্‌গমের শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া (Physiological Process of Germination)

বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি জীবনচক্রের অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ দশা। বীজ থেকে ভ্রূণমূল ও ভ্রূণমুকুল নির্গত হবার প্রক্রিয়াকে অঙ্কুরোদ্‌গম বলে। অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি নিম্নলিখিত পর্যায়ে বিভক্ত :

A. **জলশোষণ**—বীজত্বক ও বীজরন্ধ্রের (micropyle) মাধ্যমে জল বীজের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে। জলশোষণ অঙ্কুরোদ্‌গমে প্রথম ও ভৌত প্রক্রিয়া। অধিকাংশ বীজেই প্রথম 4–6 ঘণ্টা সর্বাধিক পরিমাণে জল শোষিত হলেও এই প্রক্রিয়াটি প্রায় 72 ঘণ্টা পর্যন্ত সক্রিয় থাকে। অঙ্কুরোদ্‌গম পদ্ধতিতে জলের প্রয়োজনীয়তাগুলি হল—

1. জলের উপস্থিতিতে বীজকোষগুলি রসস্ফীত হয়ে বীজত্বকের বিদারণ ঘটায়। জলশোষণের ফলে বীজের আয়তন 30–40% বেড়ে যায়।
2. বীজের মধ্যে ABA জাতীয় বৃদ্ধি প্রতিরোধক পদার্থ প্রচুর পরিমাণে সঞ্চিত থাকে। জলীয় মাধ্যমে সিক্ত বীজ থেকে এই যৌগগুলি লিচিং (Leaching) প্রক্রিয়ায় নির্গত হয়।
3. বীজে শতকরা 16–18% জল প্রবেশ করার পর মাইটোকন্ড্রিয়া ও ফাইটোক্রোম সক্রিয় হয়ে থাকে।
4. জলশোষণ শুরু হবার 10 মিনিট পর থেকে বীজের সবাত শ্বসন প্রক্রিয়ার হার বাড়তে থাকে।
5. জলের উপস্থিতিতে অ্যামাইলেজ, প্রোটিয়েজ প্রভৃতি আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকগুলি সক্রিয় হয়। এই উৎসেচকগুলি বীজের সঞ্চিত জটিল খাদ্যবস্তুগুলিতে সরলীকৃত করে (যেমন, স্টার্চ শর্করায় রূপান্তরিত হয়ে) ভ্রূণে সঞ্চালিত করে। এই সরল খাদ্য গ্রহণ করেই ভ্রূণ বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়ে অঙ্কুরে পরিণত হয়।
6. জলশোষণের ফলে রসস্ফীত কোষগুলি শুধু যে আয়তনেই বৃদ্ধি পায় তা নয়, এই ধরনের কোষপ্রাচীর সংশ্লেষে সহায়তা করে।

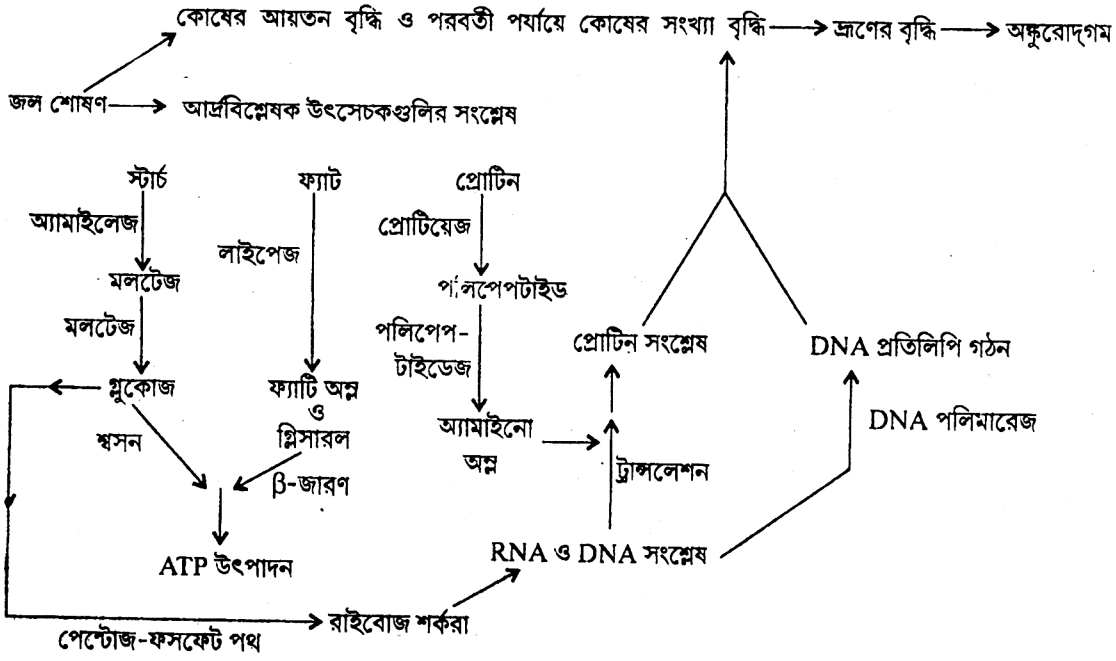
B. **উৎসেচকের ক্রিয়াশীলতা**—পর্যাপ্ত পরিমাণে জলশোষণের পর বীজে উপস্থিত mRNA অণুগুলি সক্রিয় হয় এবং বীজে সঞ্চিত অ্যামাইনো অম্লের সাহায্যে উৎসেচকের সংশ্লেষ ঘটে। অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় প্রধানত আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকগুলি সক্রিয় হয়। প্রোটিয়েজ বীজের সঞ্চিত প্রোটিনকে বিশ্লেষিত করে সরল পলিপেপটাইড গঠন করে। এই পলিপেপটাইডগুলি আবার পেপটাইডেজ উৎসেচকের মাধ্যমে ভেঙে গিয়ে অ্যামাইনো অম্ল গঠন করে। তৈল বীজের গ্লাইঅক্সিজোমে স্নেহপদার্থ সঞ্চিত থাকে যা লাইপেজ উৎসেচকের মাধ্যমে বিশ্লিষ্ট হয়ে ফ্যাটি অম্ল ও গ্লিসারলে পরিণত হয়। দানাশস্যে যে অ্যালুউরোন স্তর থাকে সেখানে GA নামক হরমোনের প্রভাবে α- এবং β- অ্যামাইলেজ উৎপন্ন হয়, যারা স্টার্চকে বিশ্লিষ্ট করে মলটোজ গঠন করে। (চিত্র 16.2) মলটেজ উৎসেচক মলটোজকে বিশ্লিষ্ট করে দু'অণু গ্লুকোজে রূপান্তরিত করে। এই উৎসেচকগুলি ছাড়াও ফসফাটেজ, β-গ্লুকানেজ, RNase প্রভৃতি উৎসেচকগুলি অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় সক্রিয় হয়। জাইলোপাইরানোসাইডেজ এবং অ্যারাবিনোসাইডেজ নামক দুটি উৎসেচক কোষপ্রাচীরকে দ্রবীভূত করে (Taiz and Honnigman, 1976)।

C. **উপচিতিমূলক ক্রিয়া**—এই পর্যায়ে বীজে উৎপন্ন অ্যামাইনো অম্ল, ফ্যাটি অ্যাসিড ও শর্করাকে ব্যবহার করে নতুন প্রোটিন, স্নেহপদার্থ এবং পলিস্যাকারাইড উৎপন্ন হয়। এই উপাদানগুলি ভ্রূণের বৃদ্ধি এবং কোষপ্রাচীর গঠনে সহায়তা করে।

D. **শ্বসনকার্য**—আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচককের প্রভাবে যে গ্লুকোজ জাতীয় শর্করার সৃষ্টি হয় তা গ্লাইকোলাইসিসের মাধ্যমে শ্বসনজাত শক্তির সৃষ্টি করে। এছাড়া গ্লুকোজ অণু পেন্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমে যে রাইবোজ জাতীয় শর্করা উৎপন্ন করে তা নিউক্লিক অম্ল সংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়। ফ্যাটি অম্ল ও β জারণের মাধ্যমে যে অ্যাসিটাইল CoA উৎপন্ন করে তা TCA চক্রে প্রবেশ করে শ্বসনের হারকে ত্বরান্বিত করে। এছাড়া স্নেহপদার্থ থেকে নিওগ্লুকোজেনেসিস পদ্ধতিতে বীজে শর্করা সৃষ্টি হয় যা শ্বসন উপাদানরূপে ব্যবহৃত হয়।

E. **কোষ বিভাজন**—সুপ্ত বীজ জল শোষণের কয়েক ঘণ্টা পরেই নিষ্ক্রিয় জিনগুলি সক্রিয় হয়। এই সময়ে কোষে DNA সংশ্লেষের হার ক্রমাগত বাড়তে থাকে এবং ট্রান্সক্রিপশন ও ট্রান্সলেশন প্রক্রিয়ায় RNA ও প্রোটিনের সংশ্লেষ ঘটে। এই প্রক্রিয়াগুলি ভ্রূণের কোষ বিভাজন পদ্ধতিকে সক্রিয় করে।

F. **ভ্রূণমূল ও ভ্রূণমুকুল নির্গমন**—ক্রমাগত কোষ বিভাজনের ফলে ভ্রূণটি বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় এবং ভ্রূণমূল ও ভ্রূণমুকুলে বিভেদিত হয়। নরম বীজত্বক ভেদ করে ভ্রূণমূল ও ভ্রূণমুকুল বীজ থেকে বেরিয়ে এসে অঙ্কুরোদ্‌গমের সূচনা করে (চিত্র 16.2)।



চিত্র 16.2 : ক্যাসকেড মডেল—যার সাহায্যে অঙ্কুরোদ্‌গমের পর্যায়ক্রমিক জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি দেখানো হয়েছে

16.7 অঙ্কুরোদ্‌গমে হরমোনের ভূমিকা

তিনটি উদ্ভিদ হরমোন—GA, ABA ও CK অঙ্কুরোদ্‌গমে প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে।

A. **জিব্বারেলিক অম্ল** (GA)—একবীজপত্রী বীজে বিশেষত দানাশস্যে α-অ্যামাইলেজ উৎসেচকটি অঙ্কুরোদ্‌গমে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। শস্যকে আবৃত করে 1-3 স্তরযুক্ত অ্যালিউরোন স্তরে এই উৎসেচকের সংশ্লেষ ঘটে। ক্রিসপেলস ও ভার্নার (Chrispeels and Varner, 1967) প্রমাণ করেন যে GA নামক হরমোনটি বার্লিন অ্যালিউরোন স্তরে α-অ্যামাইলেজের সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। হিগিনস (Higgins, 1982) জুল ইলেকট্রোফোরেসিস পদ্ধতির মাধ্যমে প্রমাণ করেন যে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়ার প্রথম 24 ঘণ্টায় যে পরিমাণ প্রোটিন সংশ্লিষ্ট হয় তার 60 শতাংশই হল α-অ্যামাইলেজ।

বিজ্ঞানী লাভগ্রুভ ও হোলি (Lovegrove and Hooley, 2000) জ্যাকোবসেন প্রমুখ বিজ্ঞানীরা (Jacobsen *et al.*, 1995) GA হরমোনটি কীভাবে α-অ্যামাইলেজ জিনকে উদ্দীপ্ত করে অ্যালিউরোন স্তরে α-অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ নিয়ন্ত্রণ করে তার সর্বাধুনিক ব্যাখ্যা দেন। GA-নিয়ন্ত্রিত α-অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ নিম্নলিখিত পর্যায়ের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়—

1. প্রথম পর্যায়ে অ্যালিউরোন কোষপর্দায় উপস্থিত নির্দিষ্ট গ্রাহকের (Receptor) মাধ্যমে (GA) অ্যালিউরোন কোষে প্রবেশ করে।

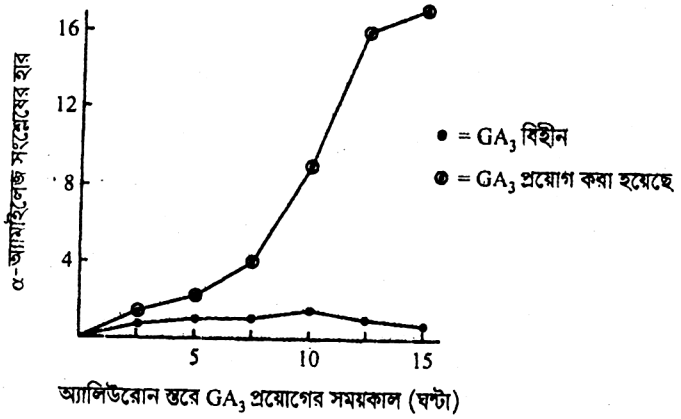
2. MYB ওপেরনের অপারেটর জিনটিতে সাধারণ অবস্থায় DELLA রিপ্রেসর যুক্ত থাকে।

3. GA অ্যালিউরোন কোষের নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে এই রিপ্রেসরটিকে অপসারিত করে এবং GA-MYB নামক একটি জিনকে সক্রিয় করে। এর ফলে GA-MYB mRNA উৎপন্ন হয় যা নিউক্লিয়াসের বাইরে এসে রাইবোজোমে GA-MYB ট্রান্সক্রিপশন ফ্যাক্টর নামক একটি প্রোটিনের সংশ্লেষ ঘটায়।

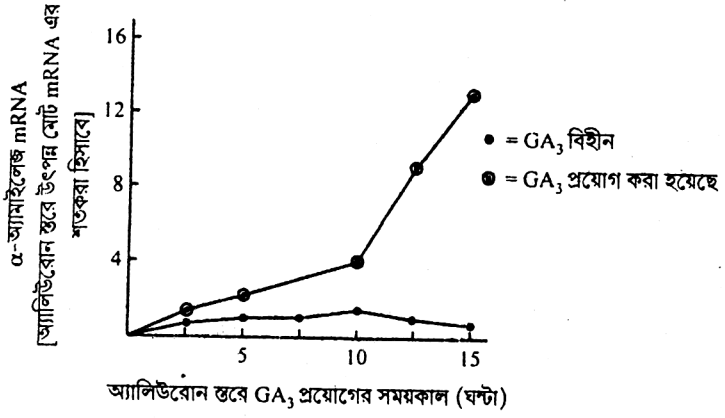
4. এই প্রোটিন ফ্যাক্টরটি আবার নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে α-অ্যামাইলেজ ওপেরনের প্রোমোটার জিনের সাথে যুক্ত হয় এবং α-অ্যামাইলেজ জিনকে উদ্বুদ্ধ করে α-অ্যামাইলেজ mRNA উৎপন্ন করে।

5. α-অ্যামাইলেজ mRNA অ্যালিউরোন কোষের রাইবোজোমে α-অ্যামাইলেজের সংশ্লেষ ঘটায়। এই উৎসেচক গল্‌গি বস্তুর ভেসিকেলের মাধ্যমে আবদ্ধ হয়। অ্যালিউরোন কোষ থেকে α-অ্যামাইলেজ শস্য স্তরে এসে পৌঁছাবার পর শস্যের স্টার্চ অণু এই উৎসেচকের সক্রিয়তায় গ্লুকোজ রূপান্তরিত হয়।

6. ভ্রূণ গ্লুকোজ শোষণ করে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত ও অঙ্কুরিত হয়। [চিত্র 16.3, চিত্র 16.4 এবং চিত্র 16.5]

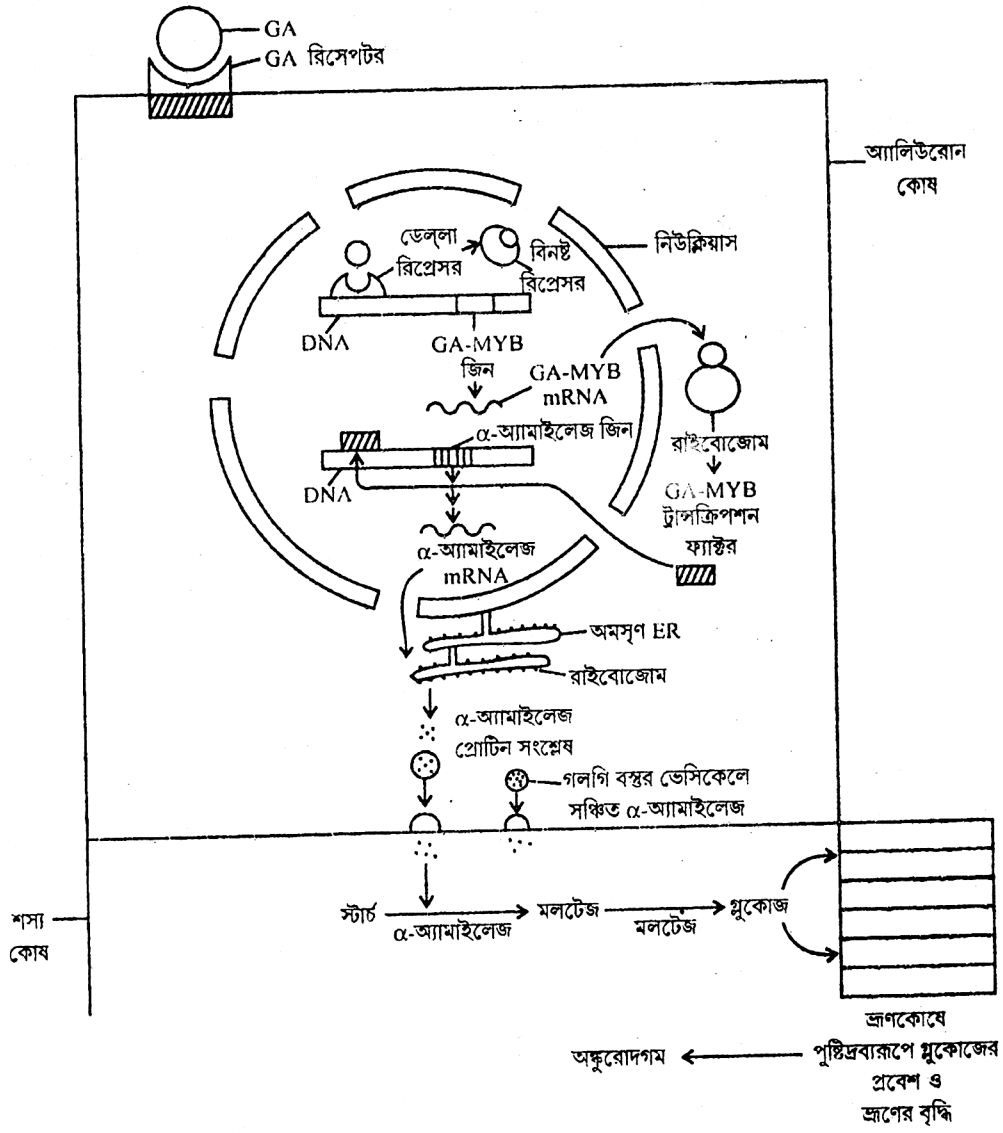


B. **অ্যাবসিসিক অম্ল** (ABA)—ABA হরমোনটি অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াকে বাধাদান করে এবং বীজে সুপ্তাবস্থা আনয়ন করে। বার্লি, ধান প্রভৃতি বীজে GA প্রভাবিত α-অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ ABA-এর উপস্থিতিতে উল্লেখযোগ্যভাবে হ্রাস পায়। রেড়ি বীজে ABA ফ্যাটি অম্লের সংশ্লেষ এবং মটর বীজে ফসফাটেজ উৎসেচকের ক্রিয়া ব্যাহত করে।



বিজ্ঞানী টাও ও খান (Tao and Khan, 1974) লক্ষ করেছেন যে এই হরমোনটি অ্যামাইনো অ্যাসাইল tRNA-সিন্থেটেজ উৎসেচকের ক্রিয়াকে মন্দীভূত করে মটর বীজে অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় প্রোটিন সংশ্লেষের হার উল্লেখযোগ্যবাবে কমিয়ে দেয়। বিভিন্ন বীজে ABA, DNA এবং RNA উভয়েরই সংশ্লেষের হারকে মন্দীভূত করে এবং DNA নির্ভর RNA পলিমারেজ (DNA dependent RNA polumerase) উৎসেচকের ক্রিয়াও

এই হরমোনের প্রভাবে ব্যাহত হয়। মিলবরো ও তাঁর সহকারীরা (Milborrow *et al.*, 1970) প্রমাণ করেছেন যে মেভালনিক অম্ল থেকে ABA-এর সংশ্লেষ ক্লোরোপ্লাস্টে সম্পন্ন হয় এবং ব্রিনার প্রমুখ বিজ্ঞানীরা লক্ষ্য করেছেন যে সয়াবীনে মেসোফিল কলায় উৎপন্ন ABA বীজে সঞ্চিত হয়।



চিত্র 16.5 : বার্লি অ্যালিউরোন স্তরে GA-নির্ভর α-অ্যামাইলেজ সংশ্লেষের মাধ্যমে অঙ্কুরোদ্‌গম।

এক কথায় বলা যায়, বীজের অঙ্কুরোদ্‌গমের জন্য অত্যাবশ্যক উৎসেচকগুলির ক্রিয়া কম-বেশি ABA দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত হয়। জাইগোট যখন এমব্রাওজেনেসিস (embryogenesis) প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ভ্রূণ গঠন করে তখনই সর্বাধিক পরিমাণ ABA বীজে এসে সঞ্চিত হয়।

বীজ-শারীরবিদেরা (Seed physiologists) বলেন যে ABA হরমোনটি বীজে কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে যেগুলি হল— 1. ABA বীজে প্রোটিনের সঞ্চয় বাড়িয়ে দেয়। 2. ABA-এর প্রভাবেই বীজ জলাভাবজনিত পীড়ন (desiccation stress) সহ্য করতে পারে। ABA-এর প্রবাবে ভ্রূণগঠনের শেষ পর্যায়ে কতকগুলি বিশেষ প্রোটিনের (late embryogenesis abundant protein) সংশ্লেষ ঘটে, যাদের প্রভাবেই বীজ দীর্ঘদিন শুষ্ক অবস্থাতেও সজীব থাকে। 3. বীজ মাতৃঅঙ্গে থাকাকালীন অঙ্কুরিত হলে বীজগুলি উপযুক্ত পরিবেশের অভাবে সবল চারাগাছে পরিণত হতে পারে। ABA বীজের এই ধরনের জরায়ুজ অঙ্কুরোদ্‌গম প্রতিরোধ করে। ভুট্টার একটি মিউট্যান্ট (v_p) ভায়োলাজ্যান্থিন থেকে ABA-এর সংশ্লেষ বন্ধ করে দেয়। এই মিউট্যান্টে ABA-এর অভাবজনিত কারণে ফলের মধ্যে থাকাকালীনই বীজগুলিকে অঙ্কুরিত হতে দেখা যায়। একই কারণে *Arabidopsis* এর aba মিউট্যান্টটিতে ABA সংশ্লেষ না হওয়ার জন্য এদের বীজের কোন সুপ্তাবস্থা থাকে না।

পরিপক্বতা লাভের সময় বীজে প্রচুর পরিমাণে ABA সঞ্চিত হয়। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই সদ্য পরিপক্ব বীজ অঙ্কুরিত হয় না, কারণ সেই বীজে উপস্থিত অধিক ঘনত্বযুক্ত ABA, অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়ক GA হরমোনকে নিষ্ক্রিয় করে দেয়। এই ঘটনাকে প্রাথমিক সুপ্তাবস্থা (primary dormancy)। বলে এই ধরনের বীজকে কিছুদিন সংরক্ষিত করলেই বীজ আবার অঙ্কুরোদ্‌গমের ক্ষমতা লাভ করে। এই সময়কালে ABA-এর অপচিতি লক্ষ করা যায় এবং ABA পর্যায়ক্রমে ফেসিক অম্ল (phaseic acid) ও ডাইহাইড্রোফেসিক অম্লে (dihydrophaseic acid) রূপান্তরিত হয়। ABA-এর এই বিপাকজাত অম্লগুলি কিন্তু অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধাদান করে না, ফলে ABA-এর অপচিতি ঘটার ফলে বীজ ধীরে ধীরে অঙ্কুরোদ্‌গমের ক্ষমতা লাভ করে। এছাড়া বীজ সিক্ত অবস্থায় থাকলে প্রচুর পরিমাণে ABA বীজত্বকের মাধ্যমে পরিবেশে নির্গত হয়। এই লিচিং (leaching) পদ্ধতিও অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তা করে।

সাইটোকাইনিন—সাইটোকাইনিন মূলত কোষবিভাজন প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে বীজের ভ্রূণজ বৃদ্ধির হার বাড়িয়ে দেয়। বিজ্ঞানী খান ও হেইট (Khan and Heit, 1969) লক্ষ করেছিলেন যে বীজে ABA-এর মাত্রা বৃদ্ধি পেলে তা GA-এর কার্যক্ষমতা নষ্ট করে দেয় কিন্তু এই অবস্থায় CK প্রয়োগ করলে তা আবার ABA-এর বৃদ্ধিবিরোধী কর্মক্ষমতাকে নষ্ট করে অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তা করে। বিজ্ঞানী খান এই কারণে অঙ্কুরোদ্‌গমের পরিপ্রেক্ষিতে GA কে প্রাথমিক উপাদান (primary factory), ABA কে বাধাদানকারী উপাদান (Preventing factor) এবং সাইটোকাইনিনকে উন্নয়নকারী উপাদান (Promoting factor) রূপে চিহ্নিত করেছেন।

16.9 সারাংশ

বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি সাময়িকভাবে বন্ধ থাকলে সেই বিশেষ অবস্থাকে বীজের সুপ্তাবস্থা বলে। স্থূল বীজত্বক, ABA জাতীয় বৃদ্ধি প্রতিরোধক হরমোন সঞ্চয়, ভ্রূণের অপরিণত অবস্থা প্রভৃতি সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সির মুখ্য কারণ। বীজ-শারীরবিদেরা (Seed Physiologists) স্ক্যারিফিকেশনের মাধ্যমে বীজত্বককে পাতলা বা নরম করে, নিম্ন তাপমাত্রা প্রয়োগ করে, GA জাতীয় বৃদ্ধি উদ্দীপক হরমোন ব্যবহার করে এই সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ করে অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করতে সক্ষম হয়েছেন। অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় বীজ ভৌত প্রক্রিয়ার মাধ্যমে জল শোষণ করে। বীজে প্রবিষ্ট জল বীজত্বকের বিদারণ ঘটাতে সাহায্য করে। জলের উপস্থিতিতে আর্দ্রবিশ্লেষক উৎসেচকগুলি সক্রিয় হয়ে বীজত্বক বা শস্যে সঞ্চিত খাদ্যবস্তুকে সরলীকৃত করে ভ্রূণকে সরবরাহ করে। অঙ্কুরোদ্‌গমের ক্ষেত্রে GA নামক হরমোনটি প্রাথমিক ভূমিকা গ্রহণ করে কিন্তু বীজে এই হরমোনের তুলনায় বৃদ্ধি প্রতিরোধক ABA হরমোনটির পরিমাণ বেড়ে গেলে এই হরমোনটি GA-এর কার্যক্ষমতা নষ্ট করে সুপ্তাবস্তা আনয়ন করে। ABA-এর প্রভাবে বীজে যে সুপ্তাবস্থার সৃষ্টি হয় তা আবার CK (সাইটোকাইনিন) হরমোনটির উপস্থিতিতে অপসারিত হয়।

16.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. (ক) সুপ্তাবস্থা কাকে বলে? সুপ্তাবস্থার প্রকারভেদ সম্পর্কে আলোচনা করুন।

(খ) কৃত্রিম পদ্ধতিতে বীজের সুপ্তাবস্তা ভঙ্গ করার পদ্ধতিগুলি লিখুন।

(গ) অঙ্কুরোদ্‌গমের সময়ে বীজে কী কী পরিবর্তন লক্ষ করা যায়? ক্যাসকেড মডেলের মাধ্যমে অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াটি বুঝিয়ে দিন।

(ঘ) GA-প্রভাবিত α-অ্যামাইলেজের সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি আলোচনা করুন।

(ঙ) সুপ্তাবস্থা আনয়নে ABA হরমোনটির ভূমিকা উল্লেখ করুন।

2. ক—স্তম্ভের সাথে খ—স্তম্ভের বাক্যাংশ যুক্ত করে অর্থপূর্ণ বাক্য গঠন করুন :

ক—স্তম্ভ	খ—স্তম্ভ
(ক) GA হরমোনটির প্রভাবে	(ক) লিচিং বলে
(খ) জলীয় মাধ্যমে বীজের অভ্যন্তরস্থ পদার্থের নির্গমনকে	(খ) বীজের কোষপ্রাচীর দ্রবীভূত হয়।
(গ) জাইলোপাইরানোসাইডেজের প্রভাবে	(গ) ফেসিক অম্ল ও ডাইহাইড্রোফেসিক অম্ল বলে।
(ঘ) সদ্য উৎপন্ন বীজের সুপ্তাবস্থাকে	(ঘ) অ্যালিউরোন স্তরে α-অ্যামাইলেজ উৎপন্ন হয়।
(ঙ) ABA-এর অপরিচিত ফলে উৎপন্ন যৌগ দুটিকে	(ঙ) পাস্ট-হারফেস্ট ডরম্যান্সি বলে।

3. সংক্ষেপে উত্তর দিন :

(ক) সুপ্তাবস্থার গুরুত্ব কী?

(খ) কোন্ জিনটি α-অ্যামাইলেজ জিনকে সক্রিয় করে?

(গ) কোন্ হরমোনকে অঙ্কুরোদ্‌গমের প্রাথমিক উপাদান বলে?

(ঘ) ABA ছাড়া দুটি অঙ্কুরোদ্‌গম প্রতিরোধকারী যৌগের নাম লিখুন।

16.10 উত্তরমালা

অনুশীলনী

1. (ক); (গ); (ঘ)।

2. (ক) যান্ত্রিক স্ক্যারিফিকেশন

(খ) KNO_3 ও পলিঅ্যামাইন

(গ) GA

(ঘ) ফসফোরাস

3. (ক) 16.2 দেখুন

(খ) 16.2 দেখুন

(গ) 16.2 দেখুন

(ঘ) 16.4 দেখুন

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. (ক) 16.2 দেখুন

(খ) 16.4 দেখুন

(গ) 16.6 দেখুন

(ঘ) 16.7 দেখুন

(ঙ) 16.7 দেখুন

2. (ক) GA হরমোনটির প্রভাবে অ্যালুউরোন স্তরে α-অ্যামাইলেজ উৎপন্ন হয়।

(খ) জলীয় মাধ্যমে বীজের অভ্যন্তরস্থ পদার্থের নির্গমনকে লিচিং বলে।

(গ) জাইলোপাইরানোসাইডেজের প্রবাবে বীজের কোষপ্রাচীর দ্রবীভূত হয়।

(ঘ) সদ্য উৎপন্ন বীজের সুপ্তাবস্থাকে পোস্ট-হারভেস্ট ডরম্যান্সি বলে।

(ঙ) ABA-এর অপরিচির ফলে উৎপন্ন যৌগ দুটিকে ফ্যাসিক অম্ল ও ডাইহাইড্রোফেসিক অম্ল বলে।

3. (ক) 16.5 দেখুন; (খ) MYB জিন; (গ) GA হরমোন; (ঘ) প্যারাসরবিক অম্ল ও ফেরুলিক অম্ল।