প্রাক্‌কথন

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতক শ্রেণির জন্য যে পাঠ্যক্রম প্রবর্তিত হয়েছে, তার লক্ষণীয় বৈশিষ্ট্য হ'ল প্রতিটি শিক্ষার্থীকে তাঁর পছন্দমতো কোন বিষয়ে সাম্মানিক (Honours) স্তরে শিক্ষাগ্রহণের সুযোগ করে দেওয়া। এ-ক্ষেত্রে ব্যক্তিগতভাবে তাঁদের গ্রহণক্ষমতা আগে থেকেই অনুমান করে না নিয়ে নিয়ত মূল্যায়নের মধ্য দিয়ে সেটা স্থির করাই যুক্তিযুক্ত। সেই অনুযায়ী একাধিক বিষয়ে সাম্মানিক মানের পাঠ-উপকরণ রচিত হয়েছে ও হচ্ছে—যার মূল কাঠামো স্থিরীকৃত হয়েছে একটি সুচিন্তিত পাঠক্রমের ভিত্তিতে। কেন্দ্র ও রাজ্যের অগ্রগণ্য বিশ্ববিদ্যালয় সমূহের পাঠক্রম অনুসরণ করে তার আদর্শ উপকরণগুলির সমন্বয়ে রচিত হয়েছে এই পাঠক্রম। সেইসঙ্গে যুক্ত হয়েছে অধ্যেতব্য বিষয়ে নতুন তথ্য, মনন ও বিশ্লেষণের সমাবেশ।

দূর-সঞ্চারী শিক্ষাদানের স্বীকৃত পদ্ধতি অনুসরণ করেই এইসব পাঠ-উপকরণ লেখার কাজ চলছে। বিভিন্ন বিষয়ের অভিজ্ঞ পণ্ডিতমণ্ডলীর সাহায্য এ কাজে অপরিহার্য এবং যাঁদের নিরলস পরিশ্রমে লেখা, সম্পাদনা তথা বিন্যাসকর্ম সুসম্পন্ন হচ্ছে তাঁরা সকলেই ধন্যবাদের পাত্র। আসলে, এঁরা সকলেই অলক্ষ্যে থেকে দূরসঞ্চারী শিক্ষাদানের কার্যক্রমে অংশ নিচ্ছেন ; যখনই কোন শিক্ষার্থীও এই পাঠ্যবস্তুনিচয়ের সাহায্য নেবেন, তখনই তিনি কার্যত একাধিক শিক্ষকমণ্ডলীর পরোক্ষ অধ্যাপনার তাবৎ সুবিধা পেয়ে যাচ্ছেন।

এইসব পাঠ-উপকরণের চর্চা ও অনুশীলনে যতটা মনোনিবেশ করবেন কোনও শিক্ষার্থী, বিষয়ের গভীরে যাওয়া তাঁর পক্ষে ততই সহজ হবে। বিষয়বস্তু যাতে নিজের চেষ্টায় অধিগত হয়, পাঠ-উপকরণের ভাষা ও উপস্থাপনা তার উপযোগী করার দিকে সর্বস্তরে নজর রাখা হয়েছে। এরপর যেখানে যতটুকু অস্পষ্টতা দেখা দেবে, বিশ্ববিদ্যালয়ের বিভিন্ন পাঠকেন্দ্রে নিযুক্ত শিক্ষা-সহায়কগণের পরামর্শে তার নিরসন অবশ্যই হ'তে পারবে। তার ওপর প্রতি পর্যায়ের শেষে প্রদত্ত অনুশীলনী ও অতিরিক্ত জ্ঞান অর্জনের জন্য গ্রন্থ-নির্দেশ শিক্ষার্থীর গ্রহণ-ক্ষমতা ও চিন্তাশীলতা বৃদ্ধির সহায়ক হবে।

এই অভিনব আয়োজনের বেশকিছু প্রয়াসই এখনও পরীক্ষামূলক—অনেক ক্ষেত্রে একেবারে প্রথম পদক্ষেপ। স্বভাবতই ত্রুটি-বিচ্যুতি কিছু কিছু থাকতে পারে, যা অবশ্যই সংশোধন ও পরিমার্জনার অপেক্ষা রাখে। সাধারণভাবে আশা করা যায়, ব্যাপকতর ব্যবহারের মধ্য দিয়ে পাঠ-উপকরণগুলি সর্বত্র সমাদৃত হবে।

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

১৬তম পুনর্মুদ্রণ : মে, 2018

বিশ্ববিদ্যালয় মঞ্জুরি কমিশনের দূরশিক্ষা ব্যুরোর বিধি অনুযায়ী মুদ্রিত।
Printed in accordance with the regulations of the Distance Education Bureau
of the University Grants Commission.

পরিচিতি

বিষয় : উদ্ভিদবিদ্যা **সাম্মানিক স্তর**

পাঠক্রম : পর্যায় : EBT 07 : 01 & 02

EBT 07 : 01

	রচনা	সম্পাদনা
একক 1, 5-6, 8	ড. কুনাল সেন	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 2-3, 7	ড. স্বপন কুমার ভট্টাচার্য	ড. শুভেন্দু মুখার্জী
একক 4	ড. সুচিতা সিংহ	ড. কুনাল সেন

EBT 07 : 02

	রচনা	সম্পাদনা
একক 9, 15-16	ড. কুনাল সেন	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 10	ড. ভারতী মুখার্জী	ড. শুভেন্দু মুখার্জী
একক 11, 13	ড. কুনাল সেন	ড. শুভেন্দু মুখার্জী
একক 12	ড. ভারতী মুখার্জী	ড. কুনাল সেন
একক 14	ড. সুচিতা সিংহ	ড. কুনাল সেন

প্রজ্ঞাপন

এই পাঠ-সংকলনের সমুদয় স্বত্ব নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের দ্বারা সংরক্ষিত। বিশ্ববিদ্যালয় কর্তৃপক্ষের লিখিত অনুমতি ছাড়া এর কোনোও অংশের পুনর্মুদ্রণ বা কোনোভাবে উদ্ধৃতি সম্পূর্ণ নিষিদ্ধ।

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

EBT - 07 : 1 & 2

(স্নাতক পাঠক্রম)

পর্যায়

1

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা – I

একক 1	❑ কোষ শারীরবিদ্যা	7-23
একক 2	❑ উদ্ভিদের জল শোষণ	24-37
একক 3	❑ রসের উৎস্রোত	38-50
একক 4	❑ বাষ্পমোচন বা প্রস্বেদন	51-61
একক 5	❑ খনিজ পুষ্টি	67-80
একক 6	❑ দ্রাবের পরিবহন	81-94
একক 7	❑ বৃদ্ধি	95-106
একক 8	❑ উদ্ভিদ হরমোন	107-128

পর্যায়

2

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা – II

একক 9	❑	উদ্ভিদ রঞ্জক	131-150
একক 10	❑	সালোকসংশ্লেষ	151-208
একক 11	❑	শ্বসন	209-237
একক 12	❑	আলোকশ্বসন	238-252
একক 13	❑	নাইট্রোজেন সংবন্ধন	253-270
একক 14	❑	উদ্ভিদ চলন	171-287
একক 15	❑	পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া	288-301
একক 16	❑	বীজের সুপ্তাবস্থা বা ডরম্যান্সি	302-316

একক 1 ❑ কোষ শারীরবিদ্যা

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা

1.2 উদ্দেশ্য

1.3.1 কোষ পর্দার পরাণু গঠন

1.3.2 কোষ পর্দার রাসায়নিক উপাদান

1.3.3 কোষ পর্দার কার্য

1.4 ব্যাপন

1.4.1 ব্যাপনের বৈশিষ্ট্য

1.4.2 উদ্ভিদদেহে ব্যাপনের ভূমিকা

1.5 অভিস্রবণ

1.5.1 অভিস্রবণের গুরুত্ব

1.6 আত্মভূতি

1.7 প্লাজমোলাইসিস

1.8 জলবিভব

1.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1.10 উত্তরসংকেত

1.1 প্রস্তাবনা

জীবদেহের গঠনগত ও কার্যগত একককে কোষ বলে। একটি বাড়ি যেমন অনেকগুলি ইট দিয়ে গাঁথা হয় তেমনি অধিকাংশ জীবই অসংখ্য কোষ নিয়ে গঠিত। জীবদেহের আবরণবেষ্টিত, প্রোটোপ্লাজম নির্মিত, স্বপ্রজননশীল গঠনমূলক ও জৈবনিক ক্রিয়ামূলক একককে কোষ বলা হয়। প্রতিটি কোষের মধ্যে অসংখ্য জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়া সুনিয়ন্ত্রিত ভাবে সম্পন্ন হয় যা জীবকে বেঁচে থাকতে ও বিবর্তিত হতে সাহায্য করে। শরীরবৃত্তীয় দৃষ্টিকোণ থেকে কোষকে 'জৈব রাসায়নিক কারখানা' বলা যায়।

প্রোটোপ্লাজমের বাইরে উপস্থিত কোষপর্দা, পরিবেশ ও কোষের মধ্যে বিভিন্ন অণুর গমনাগমনকে নিয়ন্ত্রণ

করে। এই এককের প্রথমে আমরা কোষ পর্দার গঠন ও পরে কোষ পর্দার বিভিন্ন কার্যকারিতা সম্পর্কে আলোচনা করব।

1.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- কোষ পর্দার গঠন সম্পর্কিত বিভিন্ন মডেলগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- কোষ পর্দার রাসায়নিক উপাদানগুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- কোষ পর্দার বিভিন্ন কাজগুলির বিষয়ে আলোচনা করতে পারবেন।
- ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে কীভাবে অণুর গমনাগমন ঘটে তা বুঝিয়ে দিতে পারবেন।
- কোষ পর্দার মাধ্যমে কীভাবে অভিস্রাবণ ও প্লাজমোলাইসিস প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রিত হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।

1.3.1 কোষ পর্দার পরাণু গঠন

একটি সজীব কোষের অত্যাবশ্যক উপাদান দুটি হল কোষ পর্দা ও প্রোটোপ্লাজম। প্রোটোপ্লাজমকে আবৃত করে যে অতি সূক্ষ্ম (5-8mm স্থূল) প্রভেদক ভেদ্য পর্দাটি উপস্থিত থাকে তাকে কোষ পর্দা বলে। কোষ পর্দা সজীব কারণ এর ক্রিয়াশীলতা বাহ্যিক পরিবেশের উপর নির্ভরশীল। একে অভেদক ভেদ্য পর্দা (Selectively Permeable) বলে কারণ কোষের চাহিদা অনুসারে এবং কোষ পর্দার রাসায়নিক উপাদানের প্রকৃতি অনুযায়ী কোষ পর্দার মাধ্যমে অণুর চলাচল নিয়ন্ত্রণ হয়।

ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্র আবিষ্কারের পর থেকেই আমরা কোষ পর্দার পরাণু গঠন সম্পর্কে ধীরে ধীরে ধারণা লাভ করছি। কোষ পর্দার গঠন সম্পর্কিত প্রধান মডেল (Model) বা নকসাগুলি নীচে আলোচনা করা হল।

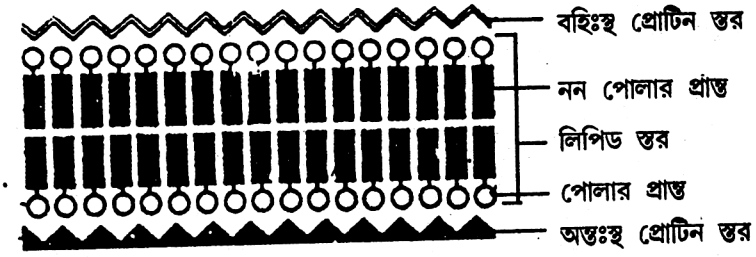
1) **ডেভসন ও ড্যানেলির নকসা** (Davson and Danielli's model)

1935 সালে ডেভসন ও ড্যানেলি কোষপর্দার দ্বিস্তরী (Bilayer) বা স্যান্ডউইচ (Sandwich) নকসাটির বর্ণনা করেন। তাঁদের মতে কোষপর্দা দুটি প্রোটিন স্তর নিয়ে গঠিত এবং প্রোটিন স্তর দুটির অন্তর্বর্তী স্থানে একটি লিপিড স্তর থাকে। কোষপর্দার লিপিড অঞ্চলটি প্রধানত ফসফোলিপিড নিয়ে গঠিত। এই অণুটি অ্যাম্ফিপ্যাথিক অর্থাৎ এক প্রান্ত জলাকর্ষী বা পোলার এবং অন্য প্রান্তটি জলবিকর্ষী বা নন্ পোলার (Non-polar)। প্রোটিন স্তরদ্বয়ের মধ্যবর্তী ফসফোলিপিডও দ্বিস্তরী। প্রতিটি ফসফোলিপিড স্তরের পোলার প্রান্তগুলি বাইরের ও ভিতরের প্রোটিন স্তরের অভিমুখে থাকে এবং নন-পোলার প্রান্তগুলি কোষপর্দার মধ্যভাগে অবস্থান

করে। কোষপর্দাকে অসমিয়াম টেট্রাকসাইড দিয়ে রঞ্জিত করে ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় যে কোষপর্দার গঠন প্রকৃতপক্ষে ত্রিস্তরী — যার ভিতর ও বাইরের স্তর দুটি ইলেকট্রন অস্বচ্ছ, কিন্তু মধ্যস্তরটি ইলেকট্রন স্বচ্ছ। বৈজ্ঞানিকদ্বয় আরও লক্ষ করেছিলেন যে পোলার প্রান্তের সাথে গ্লোবিউলার প্রোটিনগুলি আয়নীয় ক্রিয়া প্রতিক্রিয়ার মাধ্যমে সংযুক্ত থাকে। লিপিড অণুগুলি কতকগুলি সূক্ষ্ম ও সমান্তরাল সারিতে সজ্জিত থাকে এবং প্রতিটি সারি $7\overset{0}{\Lambda}$ ব্যবধানে সজ্জিত থাকে।

2) **রবার্টসনের একক পর্দা নকশা (Robertson's unit membrane model)**

রবার্টসন (1953) ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রে কোষ পর্দার পরাণু গঠনের বর্ণনা দেন। ডেভসন ও ড্যানেলির মডেলটি ছিল জ্যামিতিক তলবিশিষ্ট (Symmetric) কিন্তু রবার্টসনের মতে কোষপর্দার গঠন অ্যাসিমেট্রিক (Asymmetric)। তাঁর মতেও কোষ পর্দা ত্রিস্তরযুক্ত — অর্থাৎ প্রোটিন - লিপিড - প্রোটিন (PLP) এই বিন্যাসে সজ্জিত। তিনি আরও লক্ষ করেন যে কোষ পর্দার পুরুত্ব (10mm) কোষীয় অঙ্গাণুতে উপস্থিত পর্দার (5-7mm) চেয়ে বেশি হয়। (চিত্র 1)



চিত্র । রবার্টসনের (Robertson) একক মেমব্রেন মডেল

3) **সিঙ্গার ও নিকলসনের তরল মোজাইক নকসা** (Singer and Nicolson's Fluid Mosaic Model)

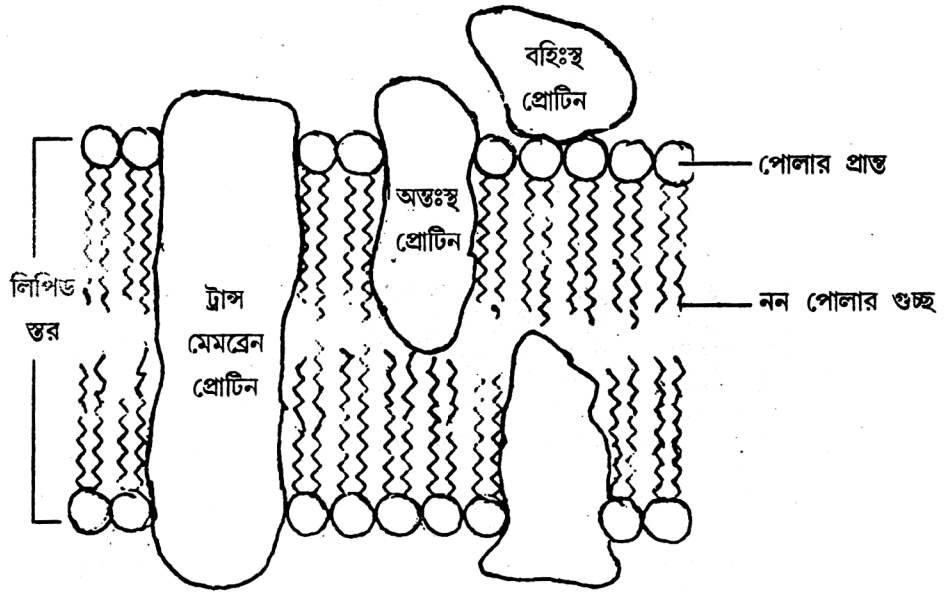
সিঙ্গার ও নিকলসন (1972) কোষপর্দার আধুনিক মডেলটির বর্ণনা দেন। তাঁদের মতে কোষপর্দার দ্বিস্তরী ফসফোলিপিড স্তরটি অর্ধতরল ও অবিচ্ছিন্ন। লিপিড স্তরের মধ্যে গ্লোবিউলার প্রোটিনগুলি নিমজ্জিত বা ভাসমান অবস্থায় থাকে যাদের সমুদ্রে ভাসমান আইসবার্গের (Iceberg) সাথে তুলনা করা চলে। কোষ পর্দায় তিন ধরনের প্রোটিনের উপস্থিতি লক্ষ করা যায়।

A) **ইনট্রিনসিক প্রোটিন** — এই প্রোটিন অণুগুলি লিপিড স্তরের মধ্যে প্রেথিত থাকে এবং লিপিড অণুর সাথে রাসায়নিকভাবে সংযুক্ত থাকায় এই প্রোটিনগুলিকে কোষ পর্দা থেকে সহজে বিচ্ছিন্ন করা যায় না।

B) **একসট্রিনসিক প্রোটিন** — এই প্রোটিনগুলি লিপিড স্তরের বাইরের দিকে ভাসমান অবস্থায় থাকে এবং এরা সহজেই কোষ পর্দা থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়।

C) **ট্রান্সমেমব্রেন প্রোটিন** — এই প্রোটিনগুলি কোষ পর্দার বহিঃস্থ অঞ্চল থেকে লিপিড ধাত্রের মধ্য দিয়ে প্রলম্বিত হয়ে কোষপর্দার অন্তস্তর পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে।

সিঙ্গার ও নিকলসনের মডেল অনুসারে প্রোটিন অণুগুলিই যে শুধুমাত্র ভাসমান তাই নয় কোষপর্দার ফসফোলিপিড অণুগুলির মধ্যেও পার্শ্বীয় চলল ($s\mu m$ সেকেন্ডে$^{-1}$) লক্ষ করা যায়। কোন কোন সময়ে এই অণুগুলি ভিতর থেকে বাইরের দিকে প্রবাহিত হয় যাকে ফ্লিপ-ফ্লপ চলন (Flip flop movement) বলা হয়। বর্তমানে সিঙ্গার ও নিকলসনের মডেলটিই (চিত্র I-B) বিজ্ঞানীমহলে সর্বাধিক স্বীকৃতি লাভ করেছে।



চিত্র I B সিঙ্গার ও নিকলসনের ফ্লুইড মোজাইক মডেল

1.3.2 রাসায়নিক উপাদান

কোষ পর্দা রাসায়নিকভাবে বিশেষ প্রকৃতির লাইপোপ্রোটিন। শুষ্ক ওজনের ভিত্তিতে সচরাচর কোষ পর্দায় 60% প্রোটিন, 40% লিপিড এবং সামান্য পরিমাণ শর্করা থাকে।

প্রোটিন — কোষপর্দার শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ার উপর প্রোটিনের পরিমাণ নির্ভরশীল। মায়ালিন আবরণীতে (যা স্নায়ুকোষের অ্যাকসনের আবরকরূপে কাজ করে) মাত্র 25% প্রোটিন থাকে আবার মাইটোকনড্রিয়া বা ক্লোরোপ্লাস্টের পর্দা যা শক্তি প্রবাহে সহায়তা করে তাতে 75% প্রোটিন থাকে।

কাজের ভিত্তিতে কোষ পর্দার প্রোটিনকে প্রধানত তিন ভাগে ভাগ করা হয়।

a) **গঠনগত প্রোটিন** — এর প্রধানত ইনট্রিনসিক (Intrinsic protein) প্রোটিন যারা লিপিড অণুর সাথে দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত থেকে কোষ পর্দার কাঠামোটি তৈরি করে। গ্লাইকোফোরিন, স্পেকট্রিন, অ্যাকটিন প্রভৃতি কোষ পর্দার গঠনগত প্রোটিন।

b) **উৎসেচক** — কোষ পর্দায় আনুমানিক 30টি প্রোটিন পাওয়া গেছে (Sheeber and Binaichi 1987) যারা উৎসেচকরূপে কাজ করে কোষের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। এস্টারেজ, Na^+K^+ATPase, ফসফাটেজ প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য উৎসেচক।

c) **গ্রাহক প্রোটিন** — এই প্রোটিনগুলি হর্মোন জাতীয়, গুরুত্বপূর্ণ যৌগের সাথে যুক্ত হয়ে তাদের কোষ পর্দা থেকে সাইটোপ্লাজমে পরিবাহিত হতে সাহায্য করে।

এছাড়া কোষ পর্দায় বিভিন্ন বাহক প্রোটিন ও অ্যান্টিজেন লক্ষ করা যায়।

লিপিড —

a) **ফসফোলিপিড** — কোষপর্দার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ লিপিড হল ফসফোলিপিড। উদ্ভিদকোষের পর্দায় ফসফোলিপিড কোলিন বা ইথানল অ্যামিনযুক্ত হয়ে ফসফাটাইডিল কোলিন বা ফসফাটাইডিল ইথানল অ্যামাইন গঠন করে। অনুরূপে প্রাণী কোষে ফসফাটাইডিল সেরিন, স্ফিংগোমাইলিন, কারডিওলিপিড প্রভৃতি ফসফোলিপিড দেখা যায়।

b) **স্টেরল** — E.coli ছাড়া সমস্ত জীবকোষের পর্দায় বিভিন্ন প্রকার স্টেরল লক্ষ করা যায়। কোষপর্দার উল্লেখযোগ্য স্টেরলগুলি হল আরগোস্টেরল, স্টিগমাস্টেরল ও কোলেস্টেরল যারা যথাক্রমে ছত্রাক, উদ্ভিদ ও প্রাণীর কোষপর্দায় বর্তমান।

কার্বোহাইড্রেট —

কোষপর্দায় অতি অল্প পরিমাণে কার্বোহাইড্রেট থাকে যা প্রধানত ক্ষুদ্র অলিগোস্যাকারাইড (শাখাযুক্ত বা শাখাবিহীন) অণুরূপে অবস্থান করে। কোষ পর্দায় কার্বোহাইড্রেটের পরিমাণ পরিবর্তনশীল যেমন মাইটোকনড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় কার্বোহাইড্রেট সম্পূর্ণ অনুপস্থিত (Darnell et al, 1986) কিন্তু লোহিত রক্তকণিকার পর্দায় 8% কার্বোহাইড্রেট থাকে। অলিগোস্যাকারাইড শৃঙ্খলগুলি প্রধানত D-গ্লুকোজ, D-ম্যানোস, L-ফুকোজ, N- অ্যাসিটাইল মিউরামিক অম্ল, N-অ্যাসিটাইল, D-গ্লুকোস্যামাইন ও N-অ্যাসিটাইল D-গ্যালাক্টোস্যামাইন দিয়ে গঠিত।

1.3.3 কার্য

i) কোষপর্দা কোষমধ্যস্থ প্রোটোপ্লাজমকে আবৃত করে রাখে এবং বাইরের আঘাত থেকে কোষকে রক্ষা করে।

ii) কোষ পর্দা কোষকে একটি নির্দিষ্ট আকৃতি প্রদান করে ও কোষকে সামান্য পরিমাণ দৃঢ়তা দেয়।

iii) কোষ পর্দার মাধ্যমে নিষ্ক্রিয় ও সক্রিয় পরিবহন সম্পন্ন হয়। কোনো অণু বা আয়ন বাইরের পরিবেশ থেকে ততক্ষণ পর্যন্ত প্রোটোপ্লাজমে অনুপ্রবেশ করে যতক্ষণ না ওই পদার্থটির ঘনত্ব পরিবেশ ও প্রোটোপ্লাজমে সমান হয়। এই প্রক্রিয়াকে নিষ্ক্রিয় পরিবহন বলে। নিষ্ক্রিয় পরিবহন একটি ভৌত প্রক্রিয়া যাতে কোনো শক্তির প্রয়োজন হয় না। সক্রিয় পরিবহনের ক্ষেত্রে পরিবহন ক্রিয়া ঘনত্বের বিপরীত দিকে (Against the concentration gradient) পরিচালিত হয়। কোষ পর্দায় উপস্থিত Na^+K^+ATPase উৎসেচকটি ATP অণুকে বিশ্লিষ্ট করে যে শক্তি নির্গত করে তা সক্রিয় পরিবহনে ব্যবহৃত হয়।

iv) কোষ পর্দায় উপস্থিত গ্লাইকোপ্রোটিন, গ্লাইকোলিপিড, সিয়ালোগ্লাইকোপ্রোটিন অণুগুলি অ্যান্টিজেনিক ধর্ম বহন করে।

v) কোষ পর্দায় কতকগুলি গ্রাহক অণু থাকে যারা হরমোনকে কোষের মধ্যে প্রবেশ করতে সাহায্য করে। গ্রাহক অণুগুলি (Receptor molecule) অ্যাডিনাইলেট সাইক্লেজ উৎসেচকের সাহায্যে হরমোন অণুর সাথে যুক্ত হয়।

vi) অ্যামিবা জাতীয় প্রাণীর ক্ষেত্রে কোষ পর্দা, খাদ্যগ্রহণ বা ফ্যাগোসাইটোসিস, তরল গ্রহণ বা পিনোসাইটোসিস এবং কোষীয় পদার্থের বহিষ্করণ বা একেসাসাইটোসিস প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।

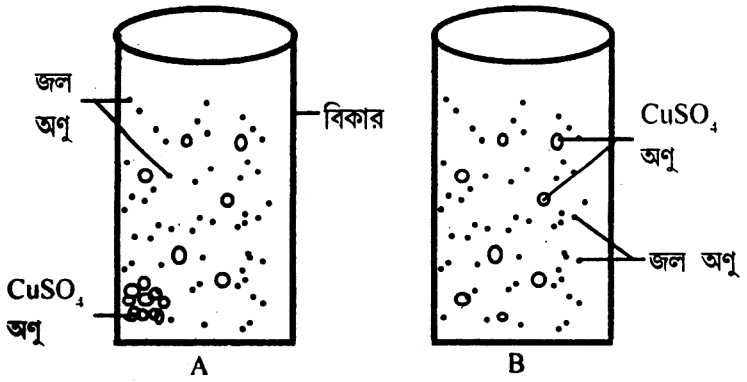
vii) অন্ত্রের কোষ পর্দা প্রলম্বিত ও আঙুলের মতো ভাঁজ যুক্ত হয়ে ভিল্লি (Villi) গঠন করে যা খাদ্যরস শোষণের হার বাড়িয়ে দেয়।

1.4 ব্যাপন

তাপগতিবিদ্যার নীতি অনুসারে চরম তাপমাত্রার (-273^oC) উর্ধ্বে পদার্থের অণু, পরমাণু বা আয়নগুলির মধ্যে একধরনের স্বতঃস্ফূর্ত চলন দেখা যায়। এই চলনের ফলে উক্ত কণাগুলি সমদূরত্বে ছড়িয়ে যেতে চেষ্টা করে। এই চলন ততক্ষণই কার্যকরী হয় যতক্ষণ না অণুগুলি একটি নির্দিষ্ট বা সীমাবদ্ধ অঞ্চলে সমভাবে বন্টিত হয়ে সাম্যাবস্থায় পৌঁছায়।

অণু, পরমাণু বা আয়নের যে স্বতঃস্ফূর্ত চলনের ফলে তারা বেশি ঘনত্বযুক্ত অঞ্চল থেকে নিম্ন ঘনত্বযুক্ত অঞ্চলে ছড়িয়ে পড়ে ও পরিশেষে সাম্যাবস্থায় পৌঁছায় তাকে ব্যাপন বলে।

কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় যে কোন মাধ্যমেই ব্যাপন প্রক্রিয়া কার্যকরী হতে পারে। একটি তুঁতের টুকরো জলে ফেলে দিলে কিছুক্ষণের মধ্যেই তুঁতের অণুগুলি জলে মিশ্রিত হয়ে একটি সমসত্ত্ব দ্রবণে পরিণত হয় (চিত্র নং I C)। ইথারের বোতল খুলে দিলে সমস্ত ঘরই দ্রুত ইথারের বাষ্পে পরিপূর্ণ হয়। এ সবই ব্যাপনের উদাহরণ।



(চিত্র নং ১ C)

চিত্র 1C – A বিকারে **যখন** $CuSO_4$ (কপার সালফেট) দানাগুলি ফেলা হল। তখন ওই অঞ্চলে উচ্চ ব্যাপন চাপের সৃষ্টি হয়েছে। ব্যাপন প্রক্রিয়ার ফলে $CuSO_4$ অণুগুলি সমদূরত্বে ছড়িয়ে গিয়ে সমসত্ত্ব দ্রবণ তৈরি করেছে।

1.4.1 ব্যাপনের বৈশিষ্ট্য

ব্যাপনের নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য ঃ

i) ব্যাপন একটি ভৌত প্রক্রিয়া।

ii) কোনো নির্দিষ্ট স্থানে অনুগুলি সমঘনত্বে পৌঁছে গেলে ব্যাপনক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়।

iii) ব্যাপনের ফলে যে স্বতঃস্ফূর্ত চাপের সৃষ্টি হয় তাকে ব্যাপন চাপ বলে। বেলুনের মধ্যে গ্যাস বা বাতাস পুরলে ব্যাপন চাপের ফলেই বেলুনটি ফুলে ওঠে।

iv) ব্যাপনের হার পদার্থের গতিশক্তি, মাধ্যমের ঘনত্ব ও উষ্ণতার সাথে সমানুপাতিক কিন্তু পদার্থের আণবিক ওজনের সাথে ব্যাস্তানুপাতিক। HCl এর আণবিক ওজন NH_3 এর থেকে বেশি হওয়ায় HCl এর ব্যাপন হার NH_3 এর থেকে কম।

1.4.2 উদ্ভিদদেহে ব্যাপনের ভূমিকা

i) ব্যাপনের সাহায্যে জল ও খনিজ লবণ মাটি থেকে উদ্ভিদ মূল দ্বারা শোষিত হয়।

ii) পরিবেশ ও উদ্ভিদের মধ্যে জলীয় বাষ্প, Co_2 ও O_2 গ্যাসের আদানপ্রদান ব্যাপনের ফলেই সম্ভব হয়।

iii) উদ্ভিদ দেহের এক স্থান থেকে অন্যস্থানে (Source to sink) খনিজ লবণ, শর্করা, হর্মোন প্রভৃতির পরিবহনও ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে নিয়ন্ত্রিত হয়।

অনুশীলনী 1

1. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :**

   a) কোষ পর্দাকে কেন প্রভেদক ভেদ্য পর্দা বলে?

   b) কোষ পর্দার প্রধান লিপিড অণুটির নাম কী?

   c) ইনট্রিনসিক প্রোটিন কাকে বলে?

   d) ব্যাপনের হার কী কী প্রভাবকের উপর নির্ভর করে?

2. **সঠিক উত্তরটির পাশে '✓' দিন :**

   a) ব্যাপন নতিমাত্রার বিরুদ্ধে ঘটে।

   b) ব্যাপন পদার্থের স্বতঃস্ফূর্ত চলনের মাধ্যমে হয়।

   c) উদ্ভিদ কোষ পর্দার প্রধান স্টেরলটি হল স্টিগমাস্টেরল।

   d) কোষ পর্দা গঠনগত ভাবে ত্রিস্তর যুক্ত।

1.5 অভিস্রবণ

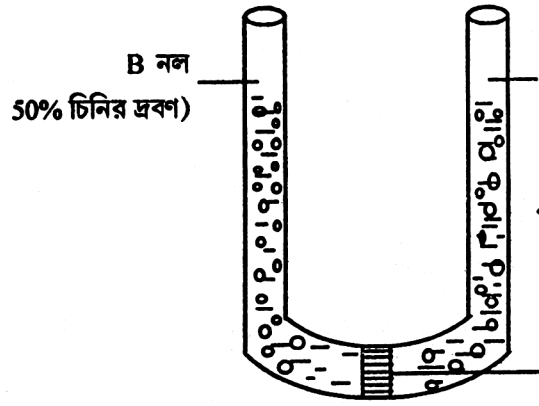
দুটি ভিন্ন ঘনত্বের দ্রবণকে একটি অর্ধভেদ্য পর্দা দ্বারা বিভেজিত করলে কম ঘনত্বের দ্রবণ থেকে দ্রাবক অণু অধিক ঘনত্বের দ্রবণে প্রবেশ করবে এবং যতক্ষণ পর্যন্ত দু'টি দ্রবণের ঘনত্ব সমান না হয় ততক্ষণ এই প্রক্রিয়া কার্যকরী থাকবে। এই বিশেষ ভৌত পদ্ধতিকে অভিস্রবণ বলা হয়।

অর্ধভেদ্য পর্দা বলতে একটি বিশেষ পর্দাকে বোঝায় যার মধ্যে দিয়ে কেবলমাত্র দ্রাবকের পরিবহন ঘটে কিন্তু দ্রাব পরিবাহিত হতে পারে না। প্রকৃতপক্ষে যে কোনো পর্দার মধ্যে দিয়েই সামান্য পরিমাণে দ্রাব পরিবাহিত হয়, তাই বলা হয় যে আদর্শ অর্ধভেদ্য পর্দা প্রকৃতিতে পাওয়া যায় না। সেলোফেন কাগজ, পার্চমেন্ট পর্দা প্রভৃতি কৃত্রিমভাবে উৎপন্ন অর্ধভেদ্য পর্দাগুলিও সেই হিসাবে আদর্শ অর্ধভেদ্য পর্দা নয়।

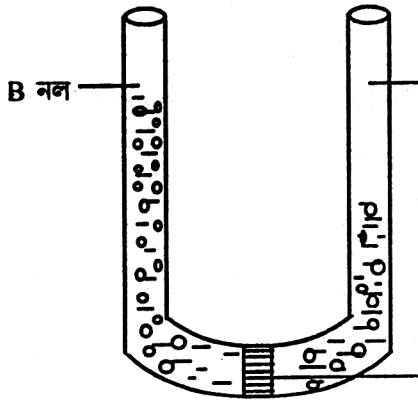
ব্যাপন ও অভিস্রবণের মধ্যে মূল পার্থক্য হল যে অভিস্রবণ প্রক্রিয়া সর্বদাই একটি অর্ধভেদ্য পর্দার মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। ব্যাপন প্রক্রিয়ায় অণুগুলি অধিক ঘনত্বযুক্ত স্থান থেকে কম ঘনত্বযুক্ত স্থানে প্রবাহিত হয় কিন্তু অভিস্রবণে কম ঘনত্বের দ্রবণ থেকে দ্রাবক অধিক ঘনত্বের দ্রবণের দিকে প্রবাহিত হয়। তাই আপাতদৃষ্টিতে অভিস্রবণকে ব্যাপনের বিপরীতমুখী প্রক্রিয়া বলে মনে হয়। কিন্তু একটু ভালোভাবে লক্ষ করলে বোঝা যায় যে অভিস্রবণে প্রধানত দ্রাবকের পরিবহন ঘটে। দ্রবণে দ্রাবের ঘনত্ব যত বাড়ে, দ্রাবকের আপেক্ষিক ঘনত্ব তত কমতে থাকে। তাই লঘুসারক দ্রবণে দ্রাবকের ঘনত্ব অতিসারক দ্রবণের দ্রাবকের ঘনত্বের চেয়ে বেশি।

তাই অভিস্রবণেও ব্যাপনের মতোই দ্রাবক অধিক ঘনত্ব থেকে কম ঘনত্বের দিকে পরিবাহিত হয়। আধুনিক মতবাদ অনুসারে নিম্ন ঘনত্বের দ্রবণে যেহেতু কম পরিমানণ দ্রাব দ্রবীভূত থাকে তাই সেক্ষেত্রে দ্রবণ মধ্যস্থ জলের বাষ্পচাপ বা মুক্তশক্তি অতিসারক দ্রবণের জলের চেয়ে বেশি হয়। এই ফলেই জল লঘুসারক দ্রবণ থেকে অতিসারক দ্রবণের দিকে ধাবিত হয়। অন্যভাবে বলা যায় যে বিশুদ্ধ জলের ব্যাপন চাপ অপেক্ষা কোন দ্রবণে উপস্থিত জলের ব্যাপন চাপের চেয়ে কম হয়।

অভিস্রাবণ প্রক্রিয়াটি একটি সহজ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করা যায়। একটি U নলের মধ্যবর্তী স্থানে একটি অর্ধভেদ্য পর্দা স্থাপন করা হল। A নলটিতে 10% চিনির দ্রবণ ও B নলটিতে 50% চিনির দ্রবণ ঢালা হল (চিত্র I D ও F)। কিছুক্ষণ পর দেখা যাবে যে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় A নল থেকে লঘুসারক দ্রবণের দ্রাবক অর্থাৎ জল B নলে প্রবেশ করতে থাকবে ও এর ফলে B নলে দ্রবণের উচ্চতা বাড়বে। A ও B নলে দ্রবণের ঘনত্ব যতক্ষণ সমান না হচ্ছে ততক্ষণ অভিস্রবণ প্রক্রিয়াটি চলতে থাকবে।



চিত্র I D : A নলে 10% চিনির দ্রবণ ও B নলে 50% চিনির দ্রবণ চালা হয়েছে। দু'টি নলকে অর্ধবেদ্য পর্দার দ্বারা পৃথক করা হয়েছে।



চিত্র I E : A নল থেকে অর্ধভেদ্য পর্দার মাধ্যমে জল (দ্রবক) অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় B নলে প্রবেশ করেছে। ফলে B নলে দ্রবণের উচ্চতা বেড়ে গেছে।

এখন U টিউবের A নলে বিশুদ্ধ জল ও B নলে ঘন চিনির দ্রবণ রাখলেও অনুরূপভাবে B নলে অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল প্রবেশ করার চেষ্টা করবে। এখন যদি আমরা B দ্রবণের উপর পিস্টন স্থাপন করে এমন ওজন চাপাই যার ফলে B নলে দ্রবণের উচ্চতা বাড়বে না অর্থাৎ যে সর্বনিম্ন চাপ প্রয়োগ করে দ্রবণ ও বিশুদ্ধ জলের তলকে সমান রাখা হল গাণিতিকভাবে সেই চাপকেই অভিস্রবণ চাপ বা অভিস্রবণ বিভব (Osmotic Pressure or Osmotic Potential) বলে।

অভিস্রবণের সময় কোনো দ্রবণের উপর সর্বনিম্ন যে চাপ প্রয়োগ সেই দ্রবণে বিশুদ্ধ জলের প্রবেশ রোধ করা হয় সেই চাপকে দ্রবণের অভিস্রবণ চাপ বা অভিস্রবণ বিভব বলে।

এক্ষেত্রে, একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে বহিস্থ চাপ প্রয়োগ করে আমরা কৃত্রিমভাবে অভিস্রবণ চাপ নির্ণয় করি তার মান ধনাত্মক হয়। কিন্তু বিশুদ্ধ জলের তুলনায় দ্রবণের জলের ব্যাপন চাপ সর্বদাই কম হওয়ায় প্রকৃতপক্ষে দ্রবণের অভিস্রবণ চাপও ঋণাত্মক হবে। দ্রবণের ঘনত্ব যত বাড়বে, অভিস্রবণ চাপ বা বিভবও তত ঋণাত্মক হবে।

অভিস্রবণ বিভবকে ψn দ্বারা চিহ্নিত করা হয় এবং নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা এই বিভব পরিমাপ করা হয় :

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

যেখানে n = দ্রাবের গ্রাম অণুর সংখ্যা V = দ্রবণের পরিমাণ।

R = গ্যাস ধ্রুবক (0.082), T = চরম উষ্ণতা (273°C + কক্ষ উষ্ণতা) বিশুদ্ধ জলে দ্রাবের পরিমাণ বা n এর মান O বলে অভিস্রবণ বিভবের মানও O হবে।

বর্তমানে অভিস্রবণ বিভবকে (ψs) দিয়ে চিহ্নিত করা হয় এবং এর মান বার (Bar) বা মেগাপাস্কালে (MPa) প্রকাশ করা হয়।

কোনো কোষের প্রোটোপ্লাজমীয় ঘনত্বকে মোলার ঘনত্বে প্রকাশ করেও নিম্নোক্ত সমীকরণের মাধ্যমে সেই কোষের অভিস্রবণ চাপ নির্ণয় করা যায় :

$\psi n = - CRT$ বার

C = প্রোটোপ্লাজমীয় ঘনত্ব (মোলারে প্রকাশিত), R = গ্যাস ধ্রুবক (0.082) ও T চরম তাপমাত্রা।

এছাড়াও, কোনো কোষের অভিস্রবণ চাপ ভ্যান্ট হফের সূত্র অবলম্বনে, বাষ্প চাপ পদ্ধতিতে বা ক্রায়োস্কোপিক পদ্ধতিতে নির্ণয় করা হয়।

1.5.1 অভিস্রবণের গুরুত্ব

i) মূলরোম অভিস্রবণ পদ্ধতিতে মাটি থেকে জল শোষণ করে।

ii) মূলরোম দিয়ে শোষিত জল কোষান্তর অভিস্রবণের মাধ্যমে মূলের ভিতরে প্রবেশ করে।

iii) অভিস্রবণের মাধ্যমে এক কোষ থেকে অন্য কোষে খাদ্যবস্তু পরিবাহিত হয়।

iv) অভিস্রবণের ফলে কোষের রসস্ফীতি ঘটে, যা কোষের বৃদ্ধিতে, জলজ উদ্ভিদের প্লবতা রক্ষার্থে এবং বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদকে দৃঢ়তা প্রদানে সহায়তা করে।

v) পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও নিমীলন রক্ষীকোষের অভিস্রবণ চাপের মাধ্যমে নিয়ন্ত্রিত হয়। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমেই Co_2 - O_2 বিনিময় ও বাষ্পমোচন সম্পন্ন হয়।

vi) জলজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে পারিপার্শ্বিক তরলের অভিস্রবণ চাপ উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকে বিশেষভাবে প্রভাবিত করে। জলে দ্রবীভূত লবণের ঘনত্ব বাড়ার সাথে সাথে অভিস্রবণ চাপও সমানুপাতিক হারে বেড়ে যায়। সমুদ্রের জলের অভিস্রবণ বিভব 20°C তাপমাত্রায় — 2.8 MPa যার মাত্রা IM লবণের অভিস্রবণ বিভবের চেয়েও বেশি। স্বাভাবিকভাবেই উচ্চ অভিস্রবণ বিভবকে প্রতিহত করার জন্য সামুদ্রিক উদ্ভিদের প্রোটোপ্লাজমকেও বিশেষভাবে অভিযোজিত হতে হয়।

একই উদ্ভিদে অভিস্রবণ চাপ ঋতুর তারতম্যে পরিবর্তিত হয়। পাইন জাতীয় উদ্ভিদের ক্ষেত্রে মার্চ মাসে এই চাপ সর্বাধিক (24.9 বার) এবং অক্টোবর মাসে সর্বনিম্ন (17.1 বার) হয়। বিজ্ঞানী হেরিকের (Herrick) মতে অভিস্রবনীয় চাপের আহ্নিক ব্যতিক্রমও লক্ষ করা যায় যেমন সকাল ও সন্ধ্যায় অভিস্রবণ চাপ সবচেয়ে কম থাকে, কিন্তু অতিরিক্ত বাষ্পমোচনের ফলে দ্বিপ্রহরে উদ্ভিদকোষে সর্বাধিক অভিস্রবণ চাপ লক্ষ করা যায়।

পরিবেশের সাথে অভিযোজিত হবার জন্য উদ্ভিদকোষের অভিস্রবণ চাপ পরিবর্তিত হয়। শালুক জাতীয় ভাসমান উদ্ভিদের অভিস্রবণ চাপ 18-21 বার হয় কিন্তু সুন্দরী জাতীয় লবণাম্বু উদ্ভিদের ক্ষেত্রে লবণের অবাঞ্ছিত অনুপ্রবেশ বন্ধ করার জন্য অভিস্রবণ চাপ 100 বারেরও বেশি হতে দেখা যায়।

1.6 আত্মভূতি (Imbibition)

প্রোটোপ্লাজমের কোলয়ডীয় পদার্থের প্রোটোপ্লাজম থেকে জল বা তরল শোষণের ক্ষমতা আছে। জৈব পদার্থগুলির মধ্যে প্রোটিন, স্টার্চ, গাম (Gum), অ্যাগার প্রভৃতি যৌগগুলি তীব্র জলাকর্ষী। জল শোষণের ফলে যৌগগুলি স্ফীত হয় ও ওজন বেড়ে যায়। জল ছাড়াও অন্যান্য তরলও অনুরূপভাব শোষিত হতে পারে — যেমন রাবার জল শোষণ করে না কিন্তু ইথার বা অ্যালকোহল শোষণ করতে পারে। তবে উদ্ভিদ শারীরবিদ্যায় আমরা কেবলমাত্র জল শোষণের বিষয়টিই আলোচনা করব।

যে পদ্ধতিতে বীজ বা উদ্ভিদের শুষ্ক অঙ্গ পরিবেশ থেকে জল শোষণ করার ফলে স্ফীত হয় ও ওজনে বেড়ে যায় তাকে আত্মভূতি (Imbibition) বলে। শুকনো কাঠ বর্ষাকালে ভিজে ফুলে বা বেঁকে যাওয়ার ঘটনাকেও আত্মভূতি বলা যায়।

বীজের অঙ্কুরোদগমের জন্য জল শোষণ বা আত্মভূতি সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিষয়। এই ক্ষেত্রে অবশ্য কোনও অর্ধভেদ্য পর্দার প্রয়োজন হয় না তবে আত্মভূতির সময়েও জল নতিমাত্রার দিকে পরিবাহিত হয় অর্থাৎ উচ্চ জলবিভব অঞ্চল থেকে জল, শুষ্ক উদ্ভিদ অঙ্গে অর্থাৎ নিম্নজলবিভবসম্পন্ন অঞ্চলের দিকে প্রবাহিত হয়। আত্মভূতির ক্ষেত্রে উদ্ভিদকোষের পৃষ্ঠতলের বিশেষ বল কার্যকরী হয় যাকে ম্যাট্রিক বল (Matric force) বলে। কোষপ্রাচীর ও প্রোটোপ্লাজমের জলাকর্ষী যৌগগুলির সাথে জলের রাসায়নিক ও ইলেকট্রোস্ট্যাটিক আকর্ষণই আত্মভূতির মূল কারণ।

আত্মভূতির ফলে বীজের আয়তন উল্লেখযোগ্য ভাবে বেড়ে যায়। শুষ্ক বীজ । থেকে 6 ঘণ্টা সর্বাধিক জল শোষণ করে। ধান, ভুট্টা প্রভৃতি কার্বোহাইড্রেট সমৃদ্ধ বীজগুলির চেয়ে মটর, বিন ইত্যাদি প্রোটিন সমৃদ্ধ বীজগুলি অনেক বেশি জল শোষণ করে। আবার তৈলবীজে আত্মভূতির পরিমাণ সর্বাপেক্ষা কম। জলশোষণ করার ফলে প্রোটোপ্লাজমীয় উপাদানগুলি অনেক স্ফীত হয় কিন্তু বীজত্বকে সেলুলোজ থাকায় তা খুব কম জল শোষণ করে অর্থাৎ সবচেয়ে কম স্ফীত হয়। এই অসম স্ফীতির ফলেই বীজত্বকটি ফেটে গিয়ে অঙ্কুরোদগমে সহায়তা করে।

আত্মভূতিজনিত আয়তনবৃদ্ধি ম্যাক-ডোগালের (Mac Dougal) অক্সোগ্রাফের মাধ্যমে পরিমাপ করা যায়। আত্মভূতির ফলে বীজের অন্তর্বর্তী তাপমাত্রাও বৃদ্ধি পায়। শুষ্ক বীজকে থার্মোফ্লাস্কে আবদ্ধ। শুষ্ক বীজকে থার্মোফ্লাস্কে আবদ্ধ রেখে থার্মোমিটারের সাহায্যে এই নির্গত তাপকে পরিমাপ করা যায়। বিজ্ঞানী মিলারের (Miller, 1953) মতে শোষিত জলের গতিশক্তিই এই তাপমাত্রা বৃদ্ধির কারণ।

কিছু শুষ্ক বীজকে জলের মধ্যে রেখে বোতলের মুখটি আবদ্ধ করলে কিছুক্ষণ পর দেখা যায় যে বোতলটি ফেটে গেছে। আত্মভূতিজনিত চাপের ফলেই এই ঘটনাটি ঘটে।

অনুশীলনী 1

1. **হ্যাঁ বা না লিখুন :**

   a) অভিস্রবণে প্রধানত দ্রাবক পরিবাহিত হয়।

   b) অভিস্রবণ নতিমাত্রার বিপরীত দিকে ঘটে।

   c) ক্রায়োস্কোপিক পদ্ধতি অভিস্রবণ বিভব মাপা সম্ভব।

   d) আত্মভূতির ফলে তাপ ও চাপ উভয়ই সৃষ্টি হয়।

2. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :**

a) আত্মভূতি প্রক্রিয়াটি কীভাবে বীজের অঙ্কুরোদ্গমে সাহায্য করে?

b) গ্যাস ধ্রুবকের মান কত?

c) অভিস্রবণের দুটি শারীরবৃত্তীয় গুরুত্ব উল্লেখ করুন।

d) প্রোটোপ্লাজমের দু'টি জলকর্ষী যৌগের নাম করুন।

1.7 প্লাজমোলাইসিস্ (Plasmolysis)

কোনো কোষকে দ্রবণে নিমজ্জিত করলে, প্রোটোপ্লাজমের ঘনত্বের তুলনায় দ্রবণটি তিন প্রকারের হতে পারে।

i) **হাইপারটনিক দ্রবণ :** এই দ্রবণের ঘনত্ব প্রোটোপ্লাজমের ঘনত্বের চেয়ে বেশি হয় এবং কোষ থেকে বহিঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল নির্গত হলে কোষটির প্রোটোপ্লাজমে বিশেষ সঙ্কোচন দেখা যায়।

ii) **হাইপোটনিক দ্রবণ :** এক্ষেত্রে প্রোটোপ্লাজমের তুলনায় দ্রবণের ঘনত্ব কম হওয়ায় অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল কোষে প্রবেশ করে ও ফলস্বরূপ কোষটি স্ফীত হয়ে যায়।

iii) **আইসোটনিক দ্রবণ :** কোষীয় প্রোটোপ্লাজমে ও দ্রবণের ঘনত্ব সমান হওযায় এক্ষেত্রে কোনোপ্রকার অভিস্রবণই ঘটে না এবং কোষটির আকৃতিরও কোনো পরিবর্তন হয় না।

কোষকে হাইপারটনিক বা অতিসার দ্রবণে রাখলে কোষ থেকে বহিঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল নির্গত হবার ফলে প্রোটোপ্লাজমের বিশেষ সঙ্কোচন দেখা যায় এবং কোষপর্দা সহ প্রোটোপ্লাজম কোষপ্রাচীর থেকে সরে আসে। এই ঘটনাকে প্লাজমোলাইসিস বলে।

প্লাজমোলাইসিসের পর্যায়গুলি নিম্নরূপ :

i) বহিঃঅভিস্রবণের ফলে কোষ থেকে জল নির্গত হয় ও এর ফলে কোষের রসস্ফীত চাপ (Turgor pressure) কমে যায়।

ii) প্লাজমা আবরণী বা কোষ পর্দা সহ প্রোটোপ্লাজম কোষ প্রাচীর থেকে সরে আসে।

iii) প্রোটোপ্লাজমের কুঞ্চন লক্ষ করা যায়।

iv) চূড়ান্ত অবস্থায় প্রোটোপ্লাজম কোষের কেন্দ্রে বা একপাশে সরে আসে।

অতিসার দ্রবণে (Hypertonic Solution) রাখার পরে ঠিক যে সময়ে প্লাজমোলাইসিস শুরু হয় তখন প্রোটোপ্লাজম কোষটির আয়তনের ঠিক সমান থাকে এবং প্রোটোপ্লাজম কোষপ্রাচীরে কোনো চাপও প্রদান করে

না আবার কোষপ্রাচীর থেকে পৃথক হয়েও আসে না। এই অবস্থাকে প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিস (Incipient plasmolysis) বলে। (চিত্র 1. F)।

(A) প্লাজমোলাইসিড কোষ (B) পূর্ণ রসস্ফীত কোষ

চিত্র । F ঃ স্বাভাবিক কোষকে অতিসার দ্রবণে নিমজ্জিত করলে কোষের প্লাসমোলাইসিস হয়। প্লাজমোলাইসিসের ফলে প্রোটোপ্লাজম কুঞ্চিত হয়েছে। এই ধরনের কোষকে লঘুসার দ্রবণে নিমজ্জিত করলে কোষটি পূর্ণ রসস্ফীত হয়েছে।

প্লাজমোলাইসিস হবার পর কোনো কোষকে লঘুসার দ্রবণে নিমজ্জিত করলে কোষটি অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল শোষণ করে পুনরায় স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে আসে। এই প্রক্রিয়াকে ডিপ্লাসমোলাইসিস বলে।

কোষের রসস্ফীত চাপকে ψp, জলবিভবকে ψ cell এবং অভিস্রবণ বিভবকে ψs দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। প্রারম্ভিক প্লাসমোলাইসিসের সময় রসস্ফীত চাপ অর্থাৎ $\psi p = o$ হয়। এই সময়ে কোষের জলবিভব (ψCell) ও অভিস্রবণ বিভবের (ψs) মান সমান থাকে। এই অবস্থায় কোষটিকে বিশুদ্ধ জলে নিমজ্জিত করলে কোষটি অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল শোষণ করবে এবং কোষের অভিস্রবণ বিভব বাড়তে থাকবে। এক্ষেত্রে মনে রাখা দরকার যে কোষের অভিস্রবণ বিভবের মান (ψs) সর্বদাই ঋণাত্মক এবং জল শোষণের সাথে সাথে এই মান বাড়তে বাড়তে '0' এর দিকে যাবে। জল প্রবেশের ফলে রসস্ফীত চাপও (ψp) বাড়তে থাকবে। ψp এর মান সর্বদাই ধনাত্মক। যেই সময়ে ψs ও ψp এর যোগফল অর্থাৎ একটি ঋণাত্মক ও ধনাত্মক রাশির যোগফল '0' হবে তখন কোষের জলবিভবের মান (ψcell) 0 হবে কারণ গাণিতিক ভাবে ঃ-

$$\psi Cell = \psi s + \psi p$$

জলবিভবের মান 0 হলেই কোষটি পূর্ণরসস্ফীত হবে অর্থাৎ কোষটিতে আর জল প্রবেশ করবে না।

গুরুত্ব ঃ

প্লাসমোলাইসিস প্রক্রিয়ার অনেক ব্যবহারিক গুরুত্ব লক্ষ করা যায়।

i) মাটিতে অতিরিক্ত পরিমাণে সার প্রয়োগ করলে মৃত্তিকার সারমিশ্রিত জলীয় দ্রবণ মূলের প্রোটোপ্লাজমের তুলনায় অধিক ঘনত্বসম্পন্ন হয়। এই অতিসার দ্রবণের প্রভাবে উদ্ভিদমূলের কোষগুলির প্লাজমোলাইসিস ঘটে। এর প্রভাবে উদ্ভিদটি নেতিয়ে পড়ে (Witting) এমনকি মারাও যেতে পারে।

ii) মাছ, মাংস প্রভৃতি লবণ মাখিয়ে রাখলে লবনসিক্ত স্তর একটি অভিসার দ্রবণ রূপে কাজ করে যার প্রভাবে ক্ষতিকারক ব্যাকটেরিয়া, ছত্রাক প্রভৃতি জন্মাতে পারে না কারণ লবণ জলের প্রভাবে এই জীবগুলির প্লাসমোলাইসিস ঘটে। একই কারণে, জ্যাম, জেলি প্রভৃতিতে যে অতিরিক্ত শর্করা মিশ্রিত করা হয় তার প্রভাবে ছত্রাক, ব্যাকটেরিয়া প্রভৃতি সহজে আক্রমণ করতে পারে না।

iii) দেওয়ালের ফাটলে বা মাটির টেনিস কোর্টে (Clay Tennis Court) লবণ ছিটিয়ে দিলে আগাছা জন্মায় না।

1.8 জলবিভব

প্লাসমোলাইসিস আলোচনা করার সময় আমরা জলবিভব শব্দটি সম্পর্কে পরিচিত হয়েছি। এই অধ্যায়ের শেষ পর্যায়ে আমরা জলবিভব সম্পর্কে ধারণা লাভ করবার চেষ্টা করব।

বিজ্ঞানী স্লেইটার ও টেলার (Slayter and Taylor, 1960) উদ্ভিদ শারীরবিদ্যায় প্রথম জলবিভব (Water potential) শব্দটি ব্যবহার করেন। স্থির তাপ ও চাপে কোনো নির্দিষ্ট মাধ্যমে উপস্থিত জলের মধ্যে যে মুক্ত শক্তি বর্তমান থাকে তাকে জলবিভব বলে। জলবিভবকে বিভিন্ন বৈজ্ঞানিকেরা বার, ডাইন সেমি $^{-2}$, মেগাপ্যাস্কালCm^{-2} প্রভৃতি এককে প্রকাশ করেছেন। জলবিভকে ψ (সাই) দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

জলবিভব বলতে জলের রাসায়নিক বিভবকে বোঝায়। জল অণুর মধ্যে উপস্থিত যে মুক্ত শক্তির সাহায্যে জল রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটায় বা এক স্থান থেকে অন্য স্থানে পরিবাহিত হয় তাকেই জলবিভব বলা যায়। বিশুদ্ধ জলের ক্ষেত্রে জলবিভবের মান 0 ধরা হয় যদিও সেক্ষেত্রে মুক্ত শক্তির মান সর্বাধিক। যখনই বিশুদ্ধ জলে কোনো দ্রাব দ্রবীভূত করা হয় তখনই সেই দ্রবণের জলবিভব কমে যায় অর্থাৎ মান ঋণাত্মক হয়। জলের পরিবহন সর্বদাই নতিমাত্রার দিকে ঘটে অর্থাৎ জল, উচ্চ জলবিভব থেকে (লঘুতর দ্রবণ) নিম্ন জলবিভবের দিকে (ঘনতর দ্রবণ) ধাবিত হয়। এইভাবে জলবিভবের সাহায্যে অভিস্রবণের সঠিক ব্যাখ্যা করা সম্ভব কারণ দ্রাবের ঘনত্বের সাথে সাথে জলবিভবের মান কমতে থাকে।

জলবিভবকে নিম্নোক্ত গাণিতিক সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা যায় ঃ

$$\psi = \frac{(\mu w - \mu w^*)}{Vw}$$

যেখানে ψ জলবিভব, μw = দ্রবণে উপস্থিত জলের রাসায়নিক বিভব, μw^* = বিশুদ্ধ জলের রাসায়ণিক বিভব এবং Vw = জলের আংশিক মোলার আয়তন ($18cm^3\ mol^{-1}$)

যেহেতু $\mu w^* > \mu w$ তাই কোনো দ্রবণে জলবিভবের মানও সর্বদাই ঋণাত্মক।

1.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. টীকা লিখুন
   a) অভিস্রবণ চাপ
   b) প্লাজমোলাইসিসের ব্যবহারিক প্রয়োগ
   c) জলবিভব

2. **হ্যাঁ বা না লিখুন।**

a) কোন দ্রবণের জলবিভব সর্বদাই ঋণাত্মক।

b) গ্যাসীয় পদার্থের মধ্যেও ব্যাপন সম্ভব।

c) সমুদ্রের জল অপেক্ষা নদীর জলের জলবিভব কম।

d) পূর্ণ রসস্ফীত অবস্থায় কোষের জলবিভব O ।

3. **শূন্যস্থান পূরণ করুন।**

a) সিঙ্গার ও নিকলসনের কোষ পর্দার মডেলটিকে ——— বলে।

b) ব্যাপনের হার উষ্ণতার সাথে ———।

c) 24 ঘন্টার মধ্যে ——— অভিস্রবণ চাপ সর্বনিম্ন হয়।

d) জলবিভবকে ——— দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

4. গাণিতিক সমীকরণের মাধ্যমে প্রমাণ করুন যে কোন দ্রবণের জলবিভবের মান সর্বদাই ঋণাত্মক।

1.10 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

1. a) 1.3.1 এ আলোচিত

b) ফসফোলিপিড

c) কোষ পর্দার যে প্রোটিনগুলি লিপিড অণুর সাথে দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত থাকে তাদের ইনট্রিনসিক প্রোটিন বলে।

d) পদার্থের গতিশক্তি, মাধ্যমের ঘনত্ব, পদার্থের আণবিক ওজন এবং উষ্ণতা।

2. a) (X)

b) (✓)

c) (✓)

d) (X)

অনুশীলনী - 2

1. a) হ্যাঁ

   b) না

   c) হ্যাঁ

   d) হ্যাঁ

2. a) 1.6 এ আলোচিত

   b) 0.082

   c) 1.5.1 এ আলোচিত

   d) স্টার্চ ও গম

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. a) 1.5 এ আলোচিত

   b) 1.5 এ আলোচিত

   c) 1.8 দ্রষ্টব্য

2. a) হ্যাঁ

   b) হ্যাঁ

   c) না

   d) হ্যাঁ

3. a) ফ্লুইড মোজাইক মডেল

   b) সমানুপাতিক

   c) সকাল ও সন্ধ্যায়

   d) ψ (সাই)

4. 1.8 দ্রষ্টব্য

একক 2 ❑ উদ্ভিদের জল শোষণ

গঠন

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

2.2 জলের আণবিক গঠন

2.3 জলের ভৌত-রাসায়নিক ধর্ম

2.4 উদ্ভিদ দেহে জলের ভূমিকা

2.5 মাটিতে উপস্থিত জল

2.6 মৃত্তিকার জলধারণ ক্ষমতা

2.7 জল শোষণ পদ্ধতি

2.7.1 নিষ্ক্রিয় শোষণ

2.7.2 সক্রিয় শোষণ

i) অভিস্রবণীয় তত্ত্ব

ii) অ-অভিস্রবণীয় তত্ত্ব

2.8 সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণের তুলনামূলক গুরুত্ব

2.9 সারাংশ

2.10 অন্তিম প্রশ্নমালা

2.11 উত্তরমালা

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

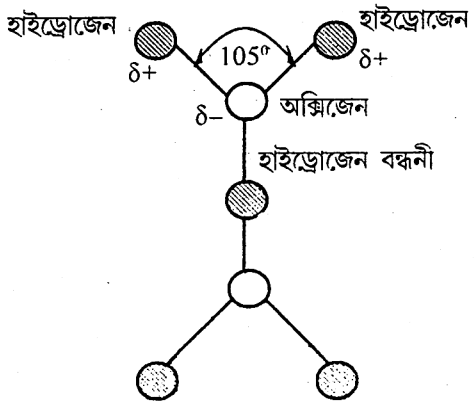
উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে ও বিকাশে যে সমস্ত পদার্থ অতি প্রয়োজনীয় বলে বিবেচিত হয় তাদের মধ্যে জলের নাম সর্বাগ্রে আসে। কেন না জল হল প্রোটোপ্লাজমের একটি আবশ্যকীয় উপাদান। সমস্ত উদ্ভিদদেহ জুড়েই রয়েছে জল। একটি তাজা উদ্ভিদের ওজনের 70 শতাংশই জলের ওজন এবং সক্রিয় বৃদ্ধির কোষের 90% ওজন কেবল তার মধ্যেকার জলের ওজন হওয়া বিচিত্র নয়। সুতরাং জল ও উদ্ভিদের আন্তসম্পর্ক উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় পঠন-পাঠনের একটি অন্যতম প্রধান বিবেচ্য বিষয়।

এই অধ্যায়টি পাঠ করে আপনি জানতে পারবেন

- জলের ভৌত ও রাসায়নিক সেই সমস্ত বৈশিষ্টসমূহ যা এটিকে জীবনের পক্ষে আবশ্যক উপাদান করে তুলেছে।
- মাটিতে উপস্থিত জলের বিভিন্ন রূপভেদ।
- উদ্ভিদের শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়াগুলিতে জলের প্রয়োজনীয়তা কী?
- উদ্ভিদ কর্তৃক জল শোষণের পদ্ধতি ও প্রভাবকসমূহ কী কী?

2.2 জলের আণবিক গঠন

জলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মগুলি এটিকে জীবনের পক্ষে একটি অপরিহার্য উপাদান করে গড়ে তুলেছে। এই ধর্মগুলির অনেকটাই জলের আণবিক গঠনের উপর নির্ভরশীল। একটি জলের অণুতে আছে একটি অক্সিজেন পরমাণু এবং দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু। হাইড্রোজেন পরমাণুদ্বয় অক্সিজেনের সাথে সমযোজী বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। চিত্র 2.1 এ প্রদর্শিত বিন্যাসে দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যেকার কৌণিক দূরত্ব 105°। হাইড্রোজেন পরমাণুবাহী প্রান্তদ্বয় ধনাত্বক তড়িৎ বিভব যুক্ত এবং অক্সিজেন পরমাণুবাহী প্রান্তটি ঋণাত্বক তড়িৎ বিভব যুক্ত। এই কারণে জলকে বলা হয় পোলার (Polar) বা মেরুধর্মী অণু। এই মেরুধর্মীতা জলকে একাধিক জৈব সুবিধা দান করেছে। যেমন, তড়িৎ-ঋণাত্বক অক্সিজেন পরমাণু অপর একটি তড়িৎ-ধনাত্বক হাইড্রোজেন পরমাণুবাহী অণুর সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনী তৈরি করতে পারে। ঠিক একটি সাধারণ হাইড্রোজেন পরমাণুর মাধ্যমে দুটি জলের অণু পরস্পরের সাথে যুক্ত হতে পারে (চিত্র 2.1 দ্রষ্টব্য)। এভাবে সাধারণ হাইড্রোজেন ভাগাভাগি করে বহুসংখ্যক জলের অণু জলের তরলধর্মীতা বজায় রাখে। জলের বায়বীয় দশায় অর্থাৎ জলীয় বাষ্পে এই অণুগুলি পরস্পরের থেকে অনেক দূরে সরে যায় বলেই এটির তরল দশা অবলুপ্ত হয়। জলের তরল দশা যা তার আণবিক বৈশিষ্ট্যের প্রকাশ, এটিকে জীবকোষের পক্ষে সবচেয়ে উপযোগী মাধ্যম বা medium রূপে গড়ে তুলেছে।



চিত্র 2.1 : জলের অণুর গঠন এবং তাদের মধ্যে গড়ে ওঠা হাইড্রজেন বন্ধনী

2.3 জলের ভৌত-রাসায়নিক ধর্ম

তরল দশায় জল বর্ণ, গন্ধ ও স্বাদবিহীন। কঠিনীভবনের ফলে এটি আয়তনে বৃদ্ধি পায় এবং কঠিন রূপে অর্থাৎ বরফরূপে জলের ঘনত্ব তরল জলের থেকে কমে যাবার ফলে বরফ জলে ভাসে। জলের অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ দৃঢ় হবার দরুন জলের স্ফুটনাঙ্ক যথেষ্ট বেশি (100°C) জলের আর একটি ধর্ম হল এই যে উষ্ণতার খুব বেশি হেরফের না ঘটিয়েও জল প্রচুর পরিমাণে তাপ শোষণ করতে পারে। জলের পৃষ্ঠটান অত্যন্ত বেশি এবং অন্য প্রায় যে কোনো অজৈব তরলের তুলনায় জল অনেক বেশি সংখ্যক পদার্থের দ্রাবকরূপে কাজ করতে পারে। অতিবেগুনি রশ্মি (uv ray), দৃশ্য রশ্মি বা অতি লাল রশ্মির প্রভাব জলের উপর ক্ষীণ। জলের অণু যেমন নিজে ভেঙে গিয়ে H^+ ও OH^- আয়নে পরিণত হতে পারে ঠিক তেমনভাবেই জল বহুসংখ্যক যৌগকে জল-বিভাজন বা (hydrolysis) এর মাধ্যমে ভেঙে দিতে পারে। জলের আণবিক বিভাজনজাত পদার্থ H^+ এর জৈবগুরুত্ব অপরিসীম। এটি কোষের হাইড্রোজেন আয়ন ঘনত্ব বা P^H নিয়ন্ত্রণের জন্য দায়ী। কোষের একাধিক গুরুত্বপূর্ণ বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করা হল H^+ আয়নের অপর গুরুত্ব।

সুনির্দিষ্ট মেরুত্ববাহী অণু বলে জল একটি অত্যন্ত চমৎকার দ্রাবক। দ্রাব্য (Solute) অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক তড়িৎ-বিভব জাত আকর্ষণ সেগুলি সাধারণত দ্রবণে পরিণত হতে বাধা দেয়। জলের অণুর দুই প্রান্ত দুটি বিপরীত তড়িৎ বিভব বহন করে বলে জল দ্রাব্য অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ সহজেই প্রশমিত করতে পারে। বস্তুতপক্ষে দ্রাব্য অণুগুলিকে কেন্দ্র করে জলের অণু এক-একটি খোলক (Shell) তৈরি করে ফেলে বলেই দ্রাব্য অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ থাকে না, ফলে তারা সহজেই দ্রবণে পরিণত হয়।

আগেই বলা হয়েছে জলের পৃষ্ঠটান অত্যন্ত বেশি। এর কারণ হল — হাইড্রোজেন বন্ধনী সৃষ্টি হবার দরুন জলের অণুগুলি পরস্পরকে দৃঢ়ভাবে আকর্ষণ করে। জলের এই ধর্মটি সমসংযোগী বল (Cohesion) নামে পরিচিত। এই কারণেই জলবিন্দু গোলাকার। জলের অণুর অপর একটি ধর্ম হল কঠিনের প্রতি এর আকর্ষণ। কঠিন তলের প্রতি জলের এই আকর্ষণ জলের অপর একটি ধর্ম যাকে বলে অসমসংযোগী বল (adhesion)। এই কারণে জলপূর্ণ পাত্র থেকে জল ফেলে দিলেও পাত্রের গা ভিজে থাকে। উদ্ভিদদেহে মাটি থেকে উপরিভাগে স্থিত শীর্ষমুকুল পর্যন্ত জলের যে অবিচ্ছিন্ন স্তম্ভ তা অবিচ্ছিন্ন থাকে জলের এই দুটি ধর্মের কারণে।

2.4 উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা

উদ্ভিদদেহে জল একাধিক উল্লেখযোগ্য ভূমিকা পালন করে। এরূপ কয়েকটি ভূমিকা হল :

A) জল হল একটি আদর্শ দ্রাবক। উপরে এ বিষয়ে আলোচিত হয়েছে। আমরা জেনেছি ক্ষুদ্র অণু যেমন গ্লুকোজ, অ্যামাইনো অ্যাসিড থেকে শুরু করে তড়িৎ আধান যুক্ত বৃহৎ অণু সহজেই জলে দ্রবীভূত হয়। এই কারণেই কোষের সমস্ত জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া জল-মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। সম্ভবত এই কারণেই জীবনের উদ্ভব ঘটেছিল সমুদ্রের জলীয় আধারে।

B) **জল হল একটি আদর্শ জৈব বিকারক।** উদ্ভিদ কোষের বহু উল্লেখযোগ্য বিক্রিয়ায় জলের ভূমিকা কেবল দ্রাবকের নয়—বিকারকেরও। সালোকসংশ্লেষের সময় জলের আলোক জারণের ফলে অক্সিজেনের সৃষ্টি হয় এবং হাইড্রোজেন পরমাণু কার্বন ডাই-অক্সাইডের সঙ্গে বিক্রিয়া করে শর্করা গঠন করে। আবার অপচিতি জাতীয় বিক্রিয়ার সময় কার্বহাইড্রেট, প্রোটিন বা স্নেহ পদার্থ জল-বিভাজনের মাধ্যমে সরলীকৃত হয়।

C) **জলের উপস্থিতি কোষের রসস্ফীতির জন্য দায়ী।** উদ্ভিদের সুনির্দিষ্ট গঠন হল তার কোষের রসস্ফীত অবস্থার বহিঃপ্রকাশ। খুব তাপদগ্ধ দিনে উদ্ভিদের নুয়ে পড়া অবস্থা অথবা স্পর্শের দরুন লজ্জাবতীর নুয়ে পড়া আমরা সবাই দেখেছি। এর কারণ কোষ থেকে জল অপসারিত হলে কোষ রসশূন্য (flaccid) হয়ে পড়ে। সুতরাং উদ্ভিদ কোষ তথা উদ্ভিদের সুনির্দিষ্ট আকার তার কোষস্থিত জলের দরুন। শুধু তাই নয় কোষ প্রাচীরের উপর জলের রসস্ফীতির চাপ কোষের বৃদ্ধি তথা উদ্ভিদের বৃদ্ধির জন্য দায়ী।

এছাড়া তাপগ্রাহীরূপে উদ্ভিদদেহের উত্তাপ সাম্য বজায় রাখতে, পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন তথা প্রস্বেদনে, সংশ্লেষিত খাদ্য পরিবহনের মাধ্যমরূপে, পুষ্পের প্রস্ফুটনে, ফলের পূর্ণতাপ্রাপ্তিতে এবং ইত্যকার নানা কাজে জল উদ্ভিদের দেহের অত্যন্ত প্রয়োজনীয় এবং আবশ্যক উপাদান।

2.5 মাটিতে উপস্থিত জল

মাটিতে জল একাধিক উপায়ে সঞ্চিত হতে পারে। মাটিতে জলের মুখ্য উৎস অবশ্যই বৃষ্টিপাত। বৃষ্টিপাতের দরুণ যে জল মাটিতে এসে মেশে তার অধিকাংশই জলের অন্য উৎসগুলি অর্থাৎ নদী, জলধারা বা সমুদ্রে ধাবিত হয়। একে বলে ধাবমান জল (Run-off)। অবশিষ্ট জল মৃত্তিকায় আন্তকণিকা শূন্য স্থান (interparticle free space) দিয়ে মাটিতে সঞ্চিত জলের ভাণ্ডারটি সৃষ্টি করে। মাটিতে সঞ্চিত জল কয়েক প্রকার :

A) **অভিকর্ষজ জল ঃ** অভিকর্ষজ টানের ফলে আন্তকণিকা শূন্য স্থান বরাবর অধিকাংশ জল ভূকেন্দ্রের দিকে ধাবিত হয়। এই জল উদ্ভিদের মূলতন্ত্রের নাগালের বাইরে থাকার দরুন উদ্ভিদ পরিপোষণে কোনো কাজে আসে না।

B) **কৈশিক জল (Capillary water) ঃ** ভূকেন্দ্রের দিকে ধাবমান জলের কিছুটা পৃষ্ঠটান জনিত কারণে মৃত্তিকার কণিকার চারপাশে লেগে থাকে। জলের নিজস্ব ধর্মের কারণেই এটা হয়ে থাকে। এই জলকে বলে কৈশিক জল এবং উদ্ভিদের শোষণযোগ্য জলের এটাই প্রধান উৎস।

C) **জলাকর্ষী জল (Hygroscopic water) ঃ** মৃত্তিকাস্থিত কলোয়েডীয় কণিকাগুলিকে ঘিরে জলের একটি অত্যন্ত পাতলা আস্তরণ বর্তমান থাকে যা সহজে কণিকাগুলি থেকে পৃথক করা যায় না। একটি উদাহরণ দি ঘটনাটি বোঝা সহজ : ম্যাগনেসিয়াম সালফেট এর প্রতি অণুর সাথে 7 অণু জলাকর্ষী জল সংযুক্ত থাকার কারণে যৌগটির সংকেত হল $MgSo_4, 7H_2O$ । এই জল উদ্ভিদের পক্ষে শোষণ করা সম্ভব নয়।

D) **জলীয় বাষ্প (Water vapour)** ঃ মৃত্তিকার আন্তকণিকা শূন্য স্থানে ও মৃত্তিকা সংলগ্ন উপরিস্তরে যে **জলীয় বাষ্প** থাকে তা অধিকাংশ ক্ষেত্রেই কাজে লাগে না। কেবলমাত্র অল্প কিছু উদ্ভিদ এই বাষ্প শোষণে সক্ষম।

2.6 মৃত্তিকার জলধারণ ক্ষমতা

মৃত্তিকার জলধারণ ক্ষমতাকে ক্ষেত্রক্ষমতা (Field Capacity) রূপে অভিহিত করা হয়। কোনো মৃত্তিকাকে সম্পূর্ণভাবে জল দ্বারা বিধৌত করার পর সেটি থেকে স্বাধীনভাবে জল অপসারিত হতে দিলে কৈশিক জল মৃত্তিকার আন্তকণিকা শূন্যস্থানে আবদ্ধ হবার পূর্ব পর্যন্ত কোনো জলই মৃত্তিকায় আবদ্ধ থাকে না। সুতরাং সেই বিশেষ মৃত্তিকার **জলধারণ ক্ষমতা** নির্ভর করে কতটা কৈশিক জল ধারণ করার ক্ষমতা এটির আছে তার উপর। অন্যভাবে বলতে গেলে মৃত্তিকা থেকে মহাকর্ষীয় জল অপসারিত হবার পরে যে জল মৃত্তিকায় আবদ্ধ থাকে তাকে বলে মৃত্তিকার জল ধারণ ক্ষমতা বা Field Capacity। এই ক্ষমতা মৃত্তিকার গঠনের উপর নির্ভরশীল। বেলেমাটির জলধারণ ক্ষমতা এঁটেল মাটির তুলনায় কম। পাথর ও নুড়ি প্রধান মাটির জলধারণ ক্ষমতা অত্যন্ত কম। তার কারণ এ জাতীয় মাটিতে আন্তকণিকা শূন্য স্থান অত্যন্ত বেশি, ফলে পৃষ্ঠটান জনিত আকর্ষণ অপেক্ষাকৃত কম।

মৃত্তিকা থেকে কৈশিক জল উদ্ভিদ কর্তৃক শোষিত হবার ফলে মৃত্তিকাস্থিত জলের পরিমাণ ক্রমশ হ্রাস পায়। এই কারণে মৃত্তিকার কণার সাথে জলের পৃষ্ঠটান সমহারে বাড়তে থাকে। এই টান এতটাই দৃঢ় যে আর কোনো জল উদ্ভিদ মূলের পক্ষে শোষণ করা সম্ভব হয় না। এর ফলে উদ্ভিদ শুকিয়ে যায় বা অবনত হয়ে পড়ে। একে বলে Wilting। এই দশা যদি স্থায়ী হয় তখন তাকে বলে স্থায়ী শুষ্কতা (Permanent Wilt)। মৃত্তিকায় যে পরিমাণ ন্যূনতম জল উপস্থিত থাকলে উদ্ভিদ স্থায়ী শুষ্কতার দশায় উপনীত হয় তাকে **স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হার** (Permanent wilting Percentage) রূপে প্রকাশ করা হয়।

$$\text{স্থায়ী শুষ্কতার হার (\%)} = \frac{\text{মৃত্তিকার হ্রাস প্রাপ্ত ওজন}}{\text{মৃত্তিকার শুষ্ক ওজন}} \times 100$$

হ্রাসপ্রাপ্ত ওজন = (স্বাভাবিক মৃত্তিকার ওজন — ওই মৃত্তিকার স্থায়ী শুষ্কতার দশায় ওজন)

শুষ্ক ওজন = স্থায়ী শুষ্কতার দশায় মৃত্তিকার ওজন।

অনুশীলনী - 1

1) সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন

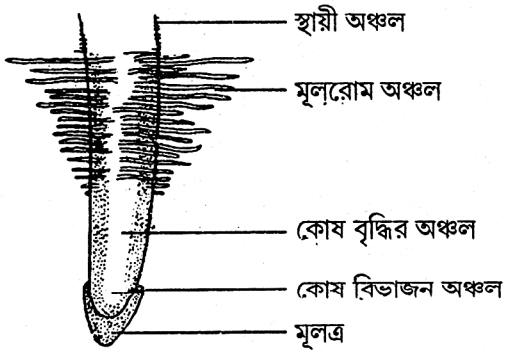
1. জলের তিনটি প্রধান ভৌত ধর্মের উল্লেখ করুন।
2. জলের আণবিক গঠনের সঙ্গে দ্রাবকরূপে জলের ভূমিকার সম্পর্ক কী?
3. জলকে একটি আদর্শ বিকারক বলা হয় কেন?
4. উদ্ভিদের সুনির্দিষ্ট আকৃতির সাথে জলের সম্পর্ক কী?
5. সমসংযোগী বল কাকে বলে?

2. **নিম্নলিখিতগুলির সংজ্ঞা প্রদান করুন**

কৈশিক জল, জলধারণ ক্ষমতা, স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হার

2.7 জল-শোষণ পদ্ধতি

উচ্চতর উদ্ভিদ জল শোষণ করে মূলরোম দ্বারা। মূলরোম হল মূলাগ্রের সামান্য পশ্চাতে অবস্থিত **অতি ক্ষুদ্র** এককোষী বহির্বৃদ্ধি বা মৃত্তিকার আন্তকণিকা স্থান থেকে জল সংগ্রহ করতে পারে। উদ্ভিদ মূলের গঠনগত **বৈশিষ্ট্যগুলি স্মরণে** আনুন (চিত্র 2 দ্রষ্ট ব্য)। স্থায়ী অঞ্চলের ঠিক পরেই রয়েছে এই মূলরোম অঞ্চল যেখানে বহুসংখ্যক **এককোষী** মূলরোম দেখা যায়। মূলরোম, আগেই বলা হয়েছে, এককোষী এবং এর কোষ প্রাচীর সম্পূর্ণভাবে ভেদ্য। **কোষ** প্রাচীর, আপনারা জানেন, সেলুলোজ ও পেকটিক পদার্থ দ্বারা গঠিত হবার দরুণ তীব্রভাবে জলাকর্ষী (hydrophilic)। তবে মূলরোম কিন্তু সজীব কোষ, কোষপর্দার অন্তর্ভাগে সাইটোপ্লাজম, নিউক্লীয়াস ও বেশ বড়ো সড়ো **ভ্যাকুওল** দেখতে পাওয়া যায়। মূলের বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে পুরানো মূলরোমগুলি নিষ্ক্রিয় হয়ে মরে যায় এবং **নতুন মূলরোমের** সৃষ্টি হয়।



চিত্র 2 ঃ মূলের গঠন

প্রতিটি মূলরোমকে এক একটি অভিস্রবণ-তন্ত্র (osmotic system) বলা যায়। মূলরোমের কোষরসের **অভিস্রবণীয়** চাপ (2–5) বায়ুচাপ (= বার) হওয়া সম্ভব। মাটি থেকে শোষিত **জলে 0.2%** এর কাছাকাছি খনিজলবণ **মিশ্রিত** থাকে। অভিস্রবণ পদ্ধতিতে এই জল কোষাভ্যন্তরে প্রবেশ করে। এই প্রবেশের পথে কিছু বাধা আছে। **যেমন জলের** পৃষ্ঠটান ইত্যাদি। কিন্তু মূলরোমের শোষণ বল এই বাধা অতিক্রম করতে পারে। তবে কলোয়ডীয় জল বা **জলাকর্ষী** জল শোষণের পক্ষে এই বল যথেষ্ট নয়।

দুভাবে উদ্ভিদ দ্বারা জল-শোষণ পদ্ধতি পরিচালিত হয়।

2.7.1 নিষ্ক্রিয় শোষণ

প্রস্বেদনের হার যখন খুব বেশি তখন এই পদ্ধতিতে উদ্ভিদ জল-শোষণ করে থাকে। **প্রস্বেদনের ফলে** পাতার মেসোফিল কলা থেকে বাষ্পাকারে জল অপসারিত হতে থাকে। এই কারণে মেসোফিল **কোষে ব্যাপন চাপ**

~~ঘাটতির~~ (Diffusion Pressure Deficit) সৃষ্টি হয়। এই DPD জনিত টান পাতার জাইলেম বাহিকায় এবং ক্রমশ কাণ্ড ও মূলের সংবাহী নালিকায় সঞ্চারিত হয়। ফলে যে টান সৃষ্টি হয় তার দরুন জল মূলরোম দ্বারা মাটি থেকে শোষিত হয় এবং ঊর্ধ্বগতি লাভ করে। এই পদ্ধতিকে নিষ্ক্রিয় শোষণ বলার কারণ এই যে এই পদ্ধতিতে জল শোষণের জন্য মূলরোমকে বিপাকীয় শক্তি খরচ করতে হয় না।

নিষ্ক্রিয় শোষণের সপক্ষে প্রমাণ : (i) মূলতন্ত্রের উপস্থিতি ব্যতিরেকেও উদ্ভিদ জল শোষণ করতে পারে এবং সত্যি কথা বলতে কি সেক্ষেত্রে শোষিত জলের মাত্রা অনেক বেশি। (ii) উচ্চ হারে প্রস্বেদনের সময় কাণ্ডের জাইলেম বাহিকায় ঋণাত্মক চাপ সৃষ্ট হতে দেখা যায়। (iii) উদ্ভিদের দ্বারা প্রস্বেদনের মাধ্যমে অপসারিত জল ও মূলরোম দ্বারা শোষিত জলের পরিমাণ পরস্পরের সাথে সম্পর্কযুক্ত-এ তথ্য পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়। (প্রান্তলিপি - 1)

নিষ্ক্রিয় শোষণের প্রভাবকসমূহ :

(i) উদ্ভিদের মূলতন্ত্র বিশেষত মূলরোমের দৈর্ঘ্য ও শোষণতলের ঘনমান শোষণের হারকে প্রভাবিত করে।

(ii) ভূমির ঊর্ধ্বাংশের মূলরোমগুলি ভূমির গভীরে প্রোথিত মূলরোম অপেক্ষা জলশোষণে অধিক সক্ষমতা দেখায়।

(iii) মূলরোম স্বল্পায়ু। ফলে নতুন মূলরোম সৃষ্টির হার পদ্ধতিটিকে প্রভাবিত করে।

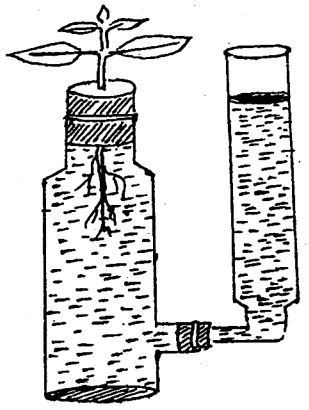
(iv) মাটির জলের পরিমাণ শোষণ হারের সঙ্গে সরাসরি সম্পর্কিত।

(v) মাটিতে জলের দ্রবীভূত লবণের পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে শোষণের মাত্রা কমে যায়। অভিস্রবণ চাপ দুই বার বা তার বেশি হলে মূলরোম দ্বারা সেই জল শোষণ করা সম্ভব নয়। এই মাটি **শারীরবৃত্তীয় শুষ্ক মৃত্তিকা নামে পরিচিত।**

(vi) মাটিতে বায়ুর পরিমাণ কম হলে শোষণ হার হ্রাস পায়। মৃত্তিকা সম্পূর্ণ জলমগ্ন

প্রান্তলিপি - 1

প্রস্বেদন ও জণ-শোষণের হারের মধ্যে সম্পর্ক সহজ পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যায়। একটি দুই মুখ বিশিষ্ট কাচপাত্রের এক মুখে কর্কের মধ্য দিয়ে একটি মূলসহ সতেজ চারা প্রবেশ করিয়ে মুখটিকে ভেসলিন দ্বারা বায়ুনিরুদ্ধ করে দেওয়া হল। অপর মুখের জলতল চিহ্নিত করা হল। এই জলতলের উপর সামান্য তেল রেখে বাষ্পীভবনের সম্ভাবনা রুদ্ধ করা হল। এভাবে সম্পূর্ণ যন্ত্রটিকে ওজন করা হল। একঘণ্টা পরে আবার ওজন নিলে



দেখা যাবে ওজন কমে গেছে। এটাও দেখা যাবে পাশের জলটিতে জলতল নেমে গেছে। অপসারিত জল এবং হ্রাসপ্রাপ্ত ওজন যথাক্রমে শোষিত জল এবং প্রস্বেদিত জলের পরিমাপ। পরীক্ষা করলে দেখা যাবে যে অপসারিত জলের ওজন এবং যন্ত্রের হ্রাসপ্রাপ্ত ওজন এক।

অবস্থায় উদ্ভিদের জল শোষণের হার নামমাত্র, কারণ মৃত্তিকায় O_2 ঘনত্ব কম থাকায় শোষণ বাধাপ্রাপ্ত হয়।

(vii) প্রস্বেদনের হার নিষ্ক্রিয় শোষণ পদ্ধতিকে সরাসরি নিয়ন্ত্রিত করে এ আমরা আগেই জেনেছি। প্রস্বেদনের হার বাড়লে শোষণের হারও বৃদ্ধি পায়।

(viii) মৃত্তিকার উষ্ণতা যখন 15–25°C এর মধ্যে থাকে তখন শোষণ হার সর্বোচ্চ। অপরপক্ষে শীতল তাপমাত্রার মাটি শারীর বৃত্তীয়ভাবে শুষ্ক কেন না এতে মূলরোমের ভেদ্যতা বাধাপ্রাপ্ত হয়।

অনুশীলনী - 2

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

   a) মূলরোমের কোষরসের অভিস্রবনীয় চাপের মান কত?

   b) জল কোন পদ্ধতিতে কোষ থেকে কোষান্তরে প্রবেশ করে?

   c) প্রস্বেদনের হার ও জল শোষণের মধ্যে কোনো সম্পর্ক আছে কি?

   d) কোন ধরনের মাটিকে শারীরবৃত্তীয় শুষ্ক মৃত্তিকা বলে?

   e) জলমগ্ন মাটিতে জল শোষণের হার কম হয় কেন?

2. নিম্নলিখিত প্রভাবকগুলির নিষ্ক্রিয় শোষণের উপর কী প্রভাব আছে?

   a) মাটিতে লবণের পরিমাণ

   b) মাটির উষ্ণতা

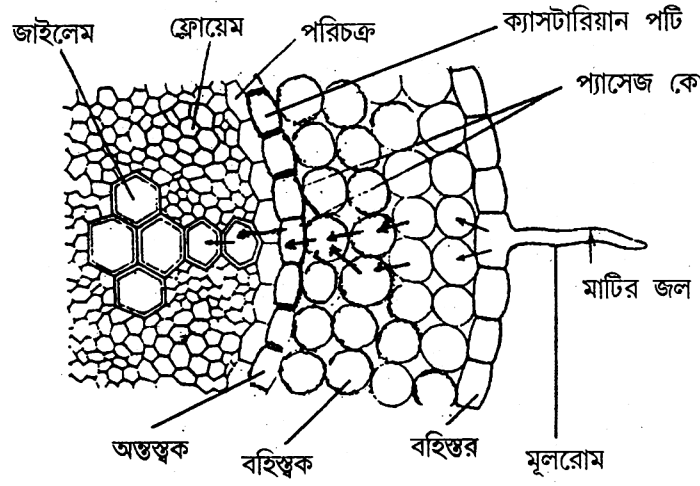
   c) মূলরোমের গঠন ও বিন্যাস

2.2 সক্রিয় শোষণ পদ্ধতি

বিপাকীয় শক্তির দ্বারা পরিচালিত জল শোষণ পদ্ধতিকে বলে সক্রিয় শোষণ। দুভাবে সক্রিয় শোষণ পদ্ধতিটি ব্যাখ্যা করা সম্ভব :

(i) **অভিস্রবণীয় তত্ত্ব (Osmotic absorption theory)** : মূলরোমের কোষরসের অভিস্রবণীয় চাপ (O.P) মৃত্তিকাস্থিত জলের O. P. অপেক্ষা অধিক। লাল মূলরোমের শোষণ চাপ অপেক্ষাকৃত অধিক। এর প্রভাবে জল মাটি থেকে মূলরোমে প্রবেশ করে (চিত্র 3)। জল মূলরোমে প্রবেশের ফলে কোষরসের ঘনত্ব ক্রমশ কমে আসতে থাকে ফলে এটির O. P. কমে যায়, অপরপক্ষে রসস্ফীতির চাপ (Turgor Pressure) বাড়ে। এখন মূলের বহিস্ত্বকের কোষ বা মূলরোমের ঠিক অন্তর্ভাগেই আছে, সেটির কোষরসের ঘনত্ব মূলরোমের তুলনায় অধিক। স্বাভাবিকভাবেই এবার মূলরোম থেকে জল বহিস্ত্বকের কোষে প্রবেশ করে। এইভাবেই চিত্রে প্রদর্শিত (→) চিহ্নিত পথে জল ক্রমশ অন্তস্তকে

পৌঁছায়। অন্তঃস্তক একস্তরী এবং বিশেষ ধরনের গঠন বিশিষ্ট কোষ প্রাচীর দ্বারা গঠিত। এই গঠন যা ক্যাসপারিয়ান পটি নামে পরিচিত তা শোষণের পক্ষে বাধা স্বরূপ। তবে অন্তস্তকে কিছু ব্যতিক্রমী কোষ আছে যারা পারন কোষ (Passage cells) নামে পরিচিত। জল অন্ত অভিস্রবণ পদ্ধতিতে পারণ কোষে প্রবেশ করে। পারন কোষ থেকে একই নিয়মে জল পরিচক্রে ঢোকে এবং শেষ পর্যন্ত জল জাইলেম কোষে প্রবেশ করে।



চিত্র 3 ঃ শোষিত জলের পথ। দ্বিবীজপত্রী মূলের মধ্য দিয়ে শোষিত জলের পথ (←) চিহ্ন দ্বারা প্রদর্শিত

প্রক্রিয়াটিকে নিরবিচ্ছিন্ন রাখতে গেলে শোষণ পদ্ধতিটিও নিরবিচ্ছিন্ন হওয়া দরকার। এটা সম্ভব এই কারণেই যে একটি রসস্ফীত কোষ থেকে যেই মুহূর্তে জল পার্শ্ববর্তী কোষে প্রবেশ করে সেই মুহূর্তেই কোষটির অভিস্রবণীয় চাপ (O.P.) আবার বেড়ে যায় এবং আবার সেটি কম ঘনত্বের দ্রবণ থেকে জল শোষণ করতে পারে। এই ক্রমান্বয়ে রসস্ফীত এবং শ্লথ হবার ফলে যে চাপ সৃষ্টি হয় তাকে বলে মূলজ চাপ। জাইলেম বাহিকার কোষগুলি, আপনারা জানেন, মৃত। এখানে কোষরস নেই। তাই অন্তঅভিস্রবণের ফলে রসস্ফীতি জাইলেমে ঘটে না বরং মূলজ চাপের ফলে জল জাইলেম বাহিকায় প্রবেশ করে। এই চাপ কিছুটা উচ্চতা পর্যন্ত জলকে ঊর্ধ্বমুখে চালিত করতে পারে। কিন্তু উচ্চতা সম্পন্ন দীর্ঘ উদ্ভিদে মাটি থেকে পাতা পর্যন্ত জলের অবিচ্ছিন্ন স্তম্ভ প্রস্বেদন জনিত টান ও মূলজ চাপের যৌথ ফসল।

প্রান্তলিপি - 2

মূলজ চাপ একটি অত্যন্ত সহজ পরীক্ষার মধ্য দিয়ে প্রমাণ করা যায়। একটি সতেজ উদ্ভিদসহ টব নিয়ে উদ্ভিদটির গোড়া থেকে কিছুটা উপরে কেটে ফেলা হল। কর্তিত অংশের সঙ্গে একটি রবারের পটির সাহায্যে একটি ম্যানেমিটার যুক্ত করা হল।

এভাবে সমগ্র ব্যবস্থাটিকে কয়েকটা রেখে দেওয়ার পর দেখা যাবে যে কান্ডের কর্তিত অংশ থেকে জল চুঁইয়ে ম্যানোমিটার সংযুক্ত নলে জমা হচ্ছে এবং এর প্রথাকে ম্যানোমিটারের পারদস্তম্ভের উচ্চতা বেড়ে গেছে।

(ii) **অ-অভিস্রবণীয় সক্রিয় শোষণ** : কখনও কখনও মৃত্তিকাস্থ জলের অভিস্রবনীয় চাপ কোষরসের অভিস্রবনীয় চাপ অপেক্ষা অধিকতর হলেও জল মূলরোম দ্বারা শোষিত হতে পারে। স্বাভাবিকভাবেই অভিস্রবণ পদ্ধতিতে এ ঘটনা ঘটা সম্ভব নয়। বরং **অভিস্রবণীয় ক্রমাবর্তের** (osmotic gradient) বিপরীতে বিপাকজাত শক্তি ব্যয় করে এই জল শোষিত হয়। থিম্যান (Thimann) (1951) এর মতে শ্বসনজাত শক্তিই এই প্রকার শোষণে ক্রিয়াশীল।

সক্রিয় শোষণের পক্ষে প্রমাণ :

(i) তুলা গাছের ঊর্ধ্বাংশ কেটে ফেলে দেখা যায় যে জাইলেম বাহিকা থেকে চুঁইয়ে পড়া রসের ঘনত্ব মৃত্তিকার জলের ঘনত্ব অপেক্ষা বেশি যা অভিস্রবনীয় তত্ত্বকে প্রমাণিত করে।

(ii) ওই পরীক্ষায় রস চুঁইয়ে পড়ার হার এবং কোষরস এবং মৃত্তিকাস্থ জলের (O. P.) এর তফাতের হার সর্বদাই সমানুপাতিক। এটিও অভিস্রবণীয় তত্ত্বকে প্রমাণিত করে।

(iii) পটাসিয়াম সায়ানাইড (KCN) শ্বসন প্রতিরোধক এবং এটির প্রয়োগে রস চুঁইয়ে পড়ার হার কমে যায়। এটি অ-অভিস্রবনীয় তত্ত্বকে প্রমাণিত করে।

(iv) অ-বাতান্বিত মৃত্তিকায় মূলের শ্বসন হার কম এবং সেই কারণেই শোষণের হার অনেক কম। এই ঘটনা শোষণে শ্বসনজাত শক্তির প্রয়োজনীয়তা প্রমাণ করে।

(v) অক্সিন নামক বৃদ্ধি-প্রভাবক যা উপচিতির হার বাড়িয়ে দেয় তার উপস্থিতিতে জল শোষণের হার বৃদ্ধি পায়।

(vi) নির্জীব কোষ যেমন জাইলেম এর মাধ্যমে জল পরিবহন হওয়া সম্ভব কিন্তু জল শোষণের জন্য মূলরোমের মতো সজীব কোষই দরকার। এটি পুনরায় বিপাকীয় শক্তির প্রয়োজনীয়তা প্রমাণ করে।

সক্রিয় শোষণের প্রভাবকসমূহ : নিষ্ক্রিয় শোষণ প্রসঙ্গে প্রভাবকগুলির ব্যাপারে আপনারা জেনেছেন। সক্রিয় শোষণের ক্ষেত্রেও এগুলি মোটামুটি একইভাবে পদ্ধতিটিকে প্রভাবিত করে। তবে বিশেষ করে নিম্নলিখিতগুলির উল্লেখ করা যায় :

(i) ক্ষারীয় মাটিতে জলের অভিস্রবনীয় চাপ কোষরসের তুলনায় অধিক হওয়ার দরুন এই মাটিতে জল শোষণের হার কম, তবে সক্রিয় শোষণ এই মাটিতেও হওয়া সম্ভব। কারণ এই মাটি থেকে জল অভিস্রবনীয় চাপের বিপরীতে বিপাকীয় শক্তি ব্যয় করে শোষিত হয়।

(ii) সক্রিয় শোষণের জন্য বিশেষভাবে উল্লেখনীয় প্রভাবক হল মাটিতে বায়ু-পরিমাণ। শোষণের শক্তি যেহেতু শ্বসন থেকে আসে সেহেতু মাটির O_2 এর পরিমাণটি গুরুত্বপূর্ণ।

(iii) মাটির উষ্ণতা 30°C এর বেশি হলে নিষ্ক্রিয় শোষণ হার কমে যায়। এমন অবস্থায় সক্রিয় শোষণের হার

বৃদ্ধি পায়। তবে তাপমাত্রা অত্যধিক কম হলে প্রোটোপ্লাজম জেলিসদৃশ হয়ে যায় (Gelling of protoplast) ফলে মূলরোমের বিপাক ক্রিয়ার হার হ্রাস পায়। তাই সক্রিয় শোষণ হয় না বললেই চলে।

(iv) মূলরোমের বিপাকীয় কার্যকারিতা নির্ভর করে উৎসেচকগুলির কার্যকারিতার উপর। সুতরাং উৎসেচক সংশ্লেষণের হার পদ্ধতিটিকে প্রভাবিত করে।

2.8 সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণের তুলনামূলক গুরুত্ব

পূর্বে বহু উদ্ভিদ-বিজ্ঞানী মনে করতেন যে সক্রিয় শোষণই হল জল শোষণের প্রধান পদ্ধতি। কিন্তু বিজ্ঞানী ক্র্যামার (Kramer) 1969 খ্রিস্টাব্দে মত প্রকাশ করেন যে উদ্ভিদের দ্বারা শোষিত জলের মধ্যে সক্রিয় শোষণ দ্বারা গৃহীত জলের পরিমাণ ন্যূনতম। মূলজ চাপকে তিনি জাইলেমে সঞ্চিত খনিজ লবণের পরিমাণের উপর নির্ভরশীল একটি শারীরবৃত্তীয় লক্ষণ বলে চিহ্নিত করলেন যা শোষণের কারণ নয়, ফলাফল মাত্র। সক্রিয় শোষণকে গুরুত্বহীন মনে করার তিনটি কারণ হল ঃ

a) প্রস্বেদনের ফলে যে পরিমাণ জল উদ্ভিদের পাতা থেকে অপসারিত হয় তার পরিমাণ কর্তিত গাছের গুঁড়ির জাইলেম থেকে চুঁইয়ে পড়া জলের তুলনায় অনেক বেশি।

b) সক্রিয়ভাবে প্রস্বেদনকারী উদ্ভিদ অনেক সহজে এবং অনেক বেশি পরিমাণে জল শুষ্ক মৃত্তিকা থেকে সংগ্রহ করতে পারে যা কাটা গাছের গুঁড়ি পারে না।

c) সক্রিয়ভাবে প্রস্বেদনকারী উদ্ভিদে কোনো মূলজ চাপ দেখা যায় না। বরং কাটা গাছের গুঁড়িতে জল ছেটালে সেই জল জাইলেম দ্বারা শোষিত হতে দেখা যায় — অর্থাৎ ঋণাত্মক চাপের সম্ভাবনাও থাকে যা মূলজ চাপের ধারণার সম্পূর্ণ বিপরীত। তাছাড়া ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে মূলজ চাপ দেখা যায় না বললেই চলে।

সুতরাং উদ্ভিদের ক্ষেত্রে মাটি থেকে জল শোষণের মুখ্য পদ্ধতিটি দেখা যাচ্ছে নিষ্ক্রিয় শোষণ যা পাতা থেকে প্রস্বেদনের ফলে সৃষ্ট টানের দরুন হয়ে থাকে। তবে আদর্শ অবস্থা নয় এমন দশায় অর্থাৎ শারীর মৃত্তিকায়, উষ্ণ মৃত্তিকায় বা প্রস্বেদন সহায়ক নয় এমন অবস্থায় জাইলেমে খনিজ লবণের ঘনত্ব বাড়ে এবং অভিস্রবনীয় পদ্ধতিতে সক্রিয় শোষণ ঘটে থাকে।

2.9 সারাংশ

জলের ভৌত রাসায়নিক ধর্মই জলকে জীবনের পক্ষে অপরিহার্য উপাদান করে তুলেছে। উদ্ভিদদেহে জলের পরিমাণ তার ওজনের মুখ্য অংশ এবং জল একটি আদর্শ দ্রাবক ও বিকারক রূপে কাজ করে। মাটিতে উপস্থিত বিভিন্ন রকম জলের মধ্যে উদ্ভিদ কেবলমাত্র কৈশিকজল শোষণ করতে পারে। উদ্ভিদদের নুয়ে পড়া দশা মৃত্তিকার জলধারণ ক্ষমতার উপর নির্ভর করে। উদ্ভিদ দ্বারা জল শোষণ মুখ্যত দুইভাগে হয়ে থাকে। সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণ, নিষ্ক্রিয় শোষণ কোষ কোষীয় শক্তি ব্যয় না করে ভৌত ধর্মের প্রভাবে হয়ে থাকে। উদ্ভিদ মুখ্যত এই পদ্ধতিতে জল শোষণ

করে। সক্রিয় শোষণ কোষীয় শক্তি ব্যয় করে সম্পন্ন হয় এবং এটি অভিস্রবণীয় ও অ-অভিস্রবণীয় এই দুইভাগে সাধিত হয়। জল শোষণ পদ্ধতির প্রভাবকগুলি বহিস্থ যথা জল, মাটি, উষ্ণতা ইত্যাদি এবং অন্তপ্রভাবকগুলি হল মূলরোমের গঠন, উৎসেচকতন্ত্র ইত্যাদি।

2.10 সর্বশেষ প্রশ্নমালা

1. জলের যে সমস্ত ধর্মগুলি এটিকে জীবকোষের পক্ষে সহায়ক করে তুলেছে সেগুলির সম্পর্কে যা জানেন বলুন। উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা কী?

2. সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণের মধ্যে পার্থক্য কী? এই দুইপ্রকার শোষণ পদ্ধতির জৈব প্রমাণ কী? এই দুইপ্রকার শোষণের মধ্যে কোনটি তুলনামূলক ভাবে গুরুত্বপূর্ণ এবং কেন?

3. উদ্ভিদের জল শোষণ পদ্ধতিটি উপযুক্ত চিত্রের সাহায্যে বর্ণনা করুন।

4. **পার্থক্য নির্ণয় করুন :**

   a) কৈশিক জল ও জলাকর্ষী জল,

   b) অভিস্রবণীয় ও অ-অভিস্রবণীয় শোষণ,

   c) জলধারণক্ষমতা এবং স্থায়ী শুষ্কতার হার,

5. জলশোষণের প্রভাবকগুলি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

2.11 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

a) 1. 2.3 অংশাঙ্কিত বিষয়ের প্রথম পরিচ্ছেদে ভৌত ধর্মগুলির কথা বলা হয়েছে।

   2. সুনির্দিষ্ট মেরুবাহী বলে জলের অনুগুলি দ্রাব্য অনুগুলির পারস্পরিক আকর্ষণকে প্রশমিত করে প্রতিটি দ্রাব্য অণুকে ঘিরে একটি খোলক তৈরি করে ফেলে। ফলে দ্রাব্য অণুগুলির পরস্পরের প্রতি আকর্ষণ থাকে না ও তারা সহজেই জলে মেশে।

   3. 2.4 অংশের B চিহ্নিত বিষয়টি দেখুন।

   4. ওই অংশের C-চিহ্নিত বিষয়টি দেখুন।

   5. 2.3 অংশাঙ্কিত বিষয়ের তৃতীয় পরিচ্ছেদে সমসংযোগী বলের বিষয়টি উল্লেখিত আছে।

b) সংজ্ঞাগুলির আলোচনার সামান্য ব্যাখ্য দেওয়া বাঞ্ছনীয় —

যেমন, কৈশিক জলের সংজ্ঞা দান করে বলুন যে এটিই কেবলমাত্র উদ্ভিদ কর্তৃক শোষণযোগ্য জল।

জলধারণক্ষমতা সংজ্ঞা 2.6 অংশে দেওয়া আছে। এটিকে যে ক্ষেত্রক্ষমতাও বলা হয় তা বলুন।

স্থায়ী শুষ্কতার শতকরা হার সংজ্ঞা দান প্রসঙ্গে এটির মান নির্ণয়ের সমীকরণটি উল্লেখ করুন।

অনুশীলনী 2

1. a) 2 — 5 বার

   b) অন্ত অভিস্রবণ

   c) হ্যাঁ, এগুলি পরস্পরের সমানুপাতিক

   d) যে মাটিতে দ্রবীভূত খনিজ লবণের পরিমাণ অত্যন্ত বেশি সেই মাটি থেকে উদ্ভিদের মূলরোম জল শোষণ করতে পারে না।

   e) মাটিতে বায়ুর হ্রাসপ্রাপ্ত পরিমাণের জন্য।

2. 2.7 অংশে আলোচিত হয়েছে।

2.10 সর্বশেষ প্রশ্নমালা

উত্তর ঃ

1. 2.3 অংশে আলোচিত, মূলত জল অণুর সুনির্দিষ্ট মেরুত্ব এবং তার প্রভাব, জল বিভাগের ফলে H ও OH আয়ন গঠিত হবার জৈব গুরুত্ব, সমসংযোগ ও পৃষ্টটান, তাপশোষণ ক্ষমতা, বিকিরণ শোষণ ক্ষমতা, উচ্চতর স্ফুটনাঙ্ক এগুলির কথা আলোচনা করুন।

   উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা 2.4 অংশে আলোচিত হয়েছে।

2. সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণের মধ্যে পার্থক্য :

নিষ্ক্রিয় শোষণ	সক্রিয় শোষণ
(i) বিপাকীয় শক্তি ব্যয় হয় না।	(i) বিপাকীয় শক্তি ব্যয় করে উদ্ভিদ জল শোষণ করে।
(ii) মূলত ভৌত পদ্ধতি।	(ii) মূলত জৈবিক পদ্ধতি।
(iii) উদ্ভিদের জল শোষণের মুখ্য পদ্ধতি।	(iii) জলশোষণে এই পদ্ধতির কেবল সহযোগী ভূমিকা আছে।

প্রমাণগুলি 2.7 অংশে আলোচিত হয়েছে আলাদা আলাদা ভাবে। এদের তুলনামূলক গুরুত্ব 2.4 অংশে আলোচিত হয়েছে।

3. জল শোষণ পদ্ধতি আলোচনা করতে গেলে প্রথমেই বলতে হয় দুই প্রকার ভিন্ন ভিন্ন পদ্ধতি অর্থাৎ নিষ্ক্রিয় ও সক্রিয় শোষণের কথা। এই দুই পদ্ধতির মূল তফাত কি সংক্ষেপে বলুন। এরপর নিষ্ক্রিয় ও সক্রিয় শোষণ পদ্ধতিগুলি গুছিয়ে বলুন। অ-অভিস্রবননীয় পদ্ধতির ছবিটি আঁকুন। এই আলোচনা প্রভাবক বা প্রমাণের কথা উল্লেখের দরকার নেই। উভয় পদ্ধতির তুলনামূলক গুরুত্বের উল্লেখ থাকলে ভালো হয়।

4. পার্থক্য নির্ণয় করতে হলে যথাক্রমে সংজ্ঞা, গুরুত্ব এবং অন্য কোনো পার্থক্য যদি থেকে সেটির উল্লেখ করুন।

5. প্রভাবকগুলির কথা মূলত নিষ্ক্রিয় শোষণ প্রসঙ্গে আলোচিত হয়েছে। এগুলির কথা (2.7) বলেই আলোচনা সীমাবদ্ধ রাখা যায় তবে অধিক অভিস্রবণীয় চাপ বা আর্দ্রতাপূর্ণ মৃত্তিকা যে সক্রিয় শোষণকে বিশেষভাবে প্রভাবিত করে সেটি বলুন।

একক 3 ❑ রসের উৎস্রোত

গঠন

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

3.2 সংজ্ঞা

3.3 উত্থিত রসের পরিমাণ

3.4 রসের পরিবহন-পথ

3.5 রসের পরিবহন পদ্ধতি

3.6 অধিপ্রাণবাদ

3.7 মূলজ চাপ তত্ত্ব

3.8 ভৌত বল তত্ত্বাবলি

a) কৈশিক তত্ত্ব

b) বায়বীয় চাপ তত্ত্ব

c) ইমবাইবিশন তত্ত্ব

d) সমসংযোগজনিত বল

3.9 সারাংশ

3.10 সর্বশেষ প্রশ্নমালা

3.11 উত্তরসংকেত

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

পূর্ববর্তী অধ্যায়ে আমরা জানতে পেরেছি কী কী পদ্ধতিতে উদ্ভিদ জল শোষণ করে। আমরা জানি জল ও খনিজ লবণের উপস্থিতিতে উদ্ভিদের পাতায় সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় খাদ্য সংশ্লেষিত হয়। সুতরাং খনিজলবণ মিশ্রিত রস পাতায় পৌঁছানোই হল শোষণের প্রধান উদ্দেশ্য। রসের এই ঊর্ধ্বগতির ব্যাখ্যা-দানে বহুপূর্ব থেকেই বিজ্ঞানীরা সচেষ্ট ছিলেন। আমরা এই পর্যায়ে জানতে পারব :

- রসের উৎস্রোত উদ্ভিদ দেহে কোন পথে হয়ে থাকে?
- রসের উৎস্রোত সংক্রান্ত মতবাদগুলি কী কী?
- মতবাদগুলির প্রতিটিকে গ্রহণ বা বর্জনের কারণ কী?

3.1 সংজ্ঞা

উদ্ভিদ দ্বারা শোষিত জল অভিকর্ষের বিপরীতে জাইলেম বাহিকার মাধ্যমে তরল রূপে পরিবাহিত হয়ে বিটপের অগ্রভাগে পৌঁছায়। এই ঘটনাকে বলে রসের উৎস্রোত।

জাইলেমের জল বিশুদ্ধ জল নয়। নানা রকম খনিজ লবণের সঙ্গে মিশ্রিত অবস্থায় এই তরলকে রস রূপে অভিহিত করা হয়। পরিবহন পথ জাইলেমে সীমাবদ্ধ—তাই একে জাইলেম রস নামেও চিহ্নিত করা যায়।

3.3 উত্থিত রসের পরিমাণ

বিজ্ঞানী স্যাকস (Sachs) উদ্ভিদের মূলরোম দ্বারা শোষিত লিথিয়াম লবণের উত্থানের হার লক্ষ করতে গিয়ে দেখেছেন রসের উৎস্রোতের হারে দিনের বিভিন্ন সময়ে ব্যাপক তারতম্য ঘটে। এর হার 25–1230 cm প্রতি ঘণ্টায় হওয়া সম্ভব অর্থাৎ ভূতল থেকে জলস্তম্ভ এই উচ্চতা প্রতি ঘণ্টায় অর্জন করতে পারে। বিজ্ঞানী হুপার (Huper) উদ্ভিদের স্থান বিশেষে উষ্ণতা প্রয়োগ করে তাপ-তড়িৎ (thermoelectric) পরিবহন হার মাপতে গিয়ে দেখেছেন রিং-পোরাস (ring-porus) কাষ্ঠ অপেক্ষা বিক্ষিপ্ত ছিদ্রবিশিষ্ট (diffused porus) কাষ্ঠে উত্থিত রসের পরিমাণ কম। (প্রান্তলিপি - 1 দ্রষ্টব্য)

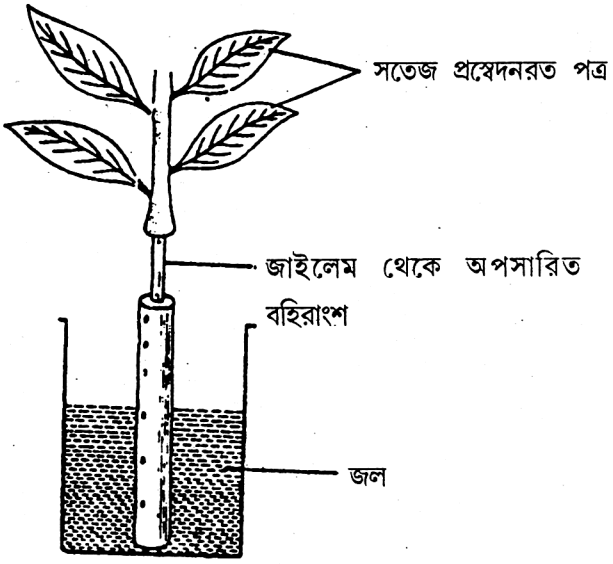
প্রথম ক্ষেত্রে জল প্রতি মিনিটে 75cm পথ ঊর্ধ্বমুখে ধাবিত হতে পারে এবং দ্বিতীয় ক্ষেত্রে 500cm প্রতি ঘণ্টায়। সাধারণভাবে এই পরিমাপ প্রস্বেদনের হারের সাথে সম্পর্কযুক্ত।

3.4 রসের পরিবহন পথ

পূর্বেই বলা হয়েছে রস জাইলেমের মাধ্যমে ঊর্ধ্বমুখে পরিবাহিত হয়। কিন্তু উদ্ভিদের অপর কলাগুলির যে এক্ষেত্রে ভূমিকা নেই তা কি বলা যায়? নিম্নের দুটি পরীক্ষার ফলাফল আমরা লক্ষ করতে পারি।

(i) একটি দোপাটির চারাকে ইডসিন নামক লোহিত রঞ্জক বিশিষ্ট জলের মধ্যে কাটা হলে কিছুক্ষণ পরে দোপাটির অর্ধস্বচ্ছ কাণ্ডের ভিতরে লোহিত বর্ণের কয়েকটি দাব্যকে ঊর্ধ্বমুখে উঠতে দেখা যাবে। এই কাণ্ডের একটি প্রস্থচ্ছেদ করলে কেবলমাত্র জাইলেম অংশ লাল বর্ণের পরিলক্ষিত হবে।

(ii) **কাণ্ডের বলয় পরীক্ষা** : একটি সতেজ পাতাবিশিষ্ট শাখাকে বিকারে ভর্তি জলের মধ্যে রেখে গোড়া থেকে কিছুটা কাটা হল। এবার কাণ্ডের জাইলেম ব্যতীত অপর অংশগুলি বলয়ের আকারে অপসারিত করে ফেলা হল। কিছু সময় পরে দেখা যাবে পাতাগুলি সতেজ আছে এবং সক্রিয়ভাবে প্রস্বেদন করছে।



চিত্র 3.1 ঃ কাণ্ডের বলয় পরীক্ষা

এ দুটি পরীক্ষার দ্বারা রসের উৎস্রোতের পথ জাইলেম প্রমাণিত হলেও উদ্ভিদের শীর্ষভাগের তুলনায় নিম্নভাগে অভিস্রবণীয় চাপ বেশি হলে জলের নিম্নমুখী পরিবহনও হওয়া সম্ভব। প্রচুর বৃষ্টিপাতের সময়, বিশেষত উচ্চহারে প্রস্বেদনের পর, পাতা দ্বারা শোষিত জলের নিম্নমুখী পরিবহন দেখা যায়। আবার টাউট ও হোগল্যাণ্ড (Stout and Hoagland) 1939 খ্রিস্টাব্দে তেজস্ক্রিয় পটাশিয়াম দ্বারা প্রমাণিত করেছেন যে জাইলেম থেকে ফ্লোয়েমে খনিজ লবণের পার্শ্বীয় চলন দেখতে পাওয়া যায়।

অনুশীলনী - 1

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

   a) রসের উৎস্রোতের পথ কোনটি?

   b) ঊর্ধ্বমুখে পরিবাহিত পদার্থটিকে 'রস' বলা হয় কেন?

   c) কোন্ ধরনের কাষ্ঠে রসের পরিবহনের হার অধিক?

   d) বলয় পরীক্ষা বলতে কী বোঝায়?

   e) বলয় পরীক্ষায় পাতাসহ ঊর্ধ্বাংশ অপসারিত করলে কী ফলাফল আশা করা যায় এবং কেন?

   f) কোন ক্ষেত্রে বিপরীতমুখী জল পরিবহন হওয়া সম্ভব এবং কেন?

3.5 রস পরিবহন পদ্ধতি

উদ্ভিদের ক্ষেত্রে খনিজলবণ মিশ্রিত জল পরিবহনের প্রক্রিয়াটি দীর্ঘকাল যাবত উদ্ভিদবিদদের গভীর মনোযোগ আকর্ষণ করেছে। তাঁরা মূলত দুটি সম্ভাবনাকে সামনে রেখে বিষয়টিকে বুঝতে চেয়েছেন। a) হয় জল মূল দ্বারা সৃষ্ট চাপের ফলে নীচ থেকে উপরে ওঠে নতুবা b) জল উদ্ভিদের ঊর্ধ্বাংশে সৃষ্ট বল দ্বারা নীচ থেকে ঊর্ধ্বমুখে উত্থিত হয়। পদ্ধতি যাই হোক না কেন দীর্ঘ অর্থাৎ উচ্চতাসম্পন্ন উদ্ভিদের ক্ষেত্রে বিটপের শীর্ষে জল পৌঁছানো সাধারণভাবে সম্ভব হয় কেন না সাধারণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপে (1atm) জলস্তম্ভের উচ্চতা 10 মিটারের বেশি হয় না অথচ 70 মিটার উচ্চতাসম্পন্ন (যথা (যথা Sequoia sp.) উদ্ভিদে অবলীলায় জল শীর্ষতম অংশে পৌঁছায়।

এই ঘটনাকে ব্যাখ্যা করে বহু মতবাদ প্রযুক্ত হয়েছে। মতবাদগুলিকে তিনভাগে ভাগ করা যায়।

প্রান্তলিপি - 1

চারশো বছর বা তারও আগে থেকে উদ্ভিদবিদদের জানা ছিল যে উদ্ভিদের কেন্দ্রস্থ জাইলেম বাহিকাই হল জল পরিবহনের পথ এবং ফ্লোয়েমের এতে কোনো ভূমিকা নেই। মার্সেলো ম্যালফিজি 1679 খ্রিস্টাব্দে কাণ্ড থেকে ফ্লোয়েম অপসারিত করে দেখলেন যে জল পরিবহন অপরিবর্তিত হারেই হচ্ছে। 1883 খ্রিস্টাব্দে ষ্ট্রাস বার্জার ওক গাছের চারাকে যথাক্রমে পিকরিক অ্যাসিড এবং $CuSo_4$ এর দ্রবণে রেখে দেখলেন যে রাসায়নিক পদার্থগুলি বল্কল, বহিস্ত্বক এবং কেন্দ্রীয় অংশের সজীব কোষগুলিকে নষ্ট করে দিলেও জল পরিবহনে কোনো বাধা উপস্থিত হয় না, 1883 খ্রিস্টাব্দে জোসেফ বম তাঁর বিখ্যাত "সছিদ্র পাত্র" পরীক্ষার সাহায্যে জলকে (চিত্র 3.2) কাচনল বরাবর বেশ খানিকটা তুলতে সক্ষম হন। 1895 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানীদ্বয় ডিক্সন ও জলি একই পরীক্ষা প্রস্বেদনরত পাইন শাখার সাহায্যে করে দেখান এবং তাঁদের বিখ্যাত "সমসংযোজনিত বল "তত্ত্ব প্রবর্তন করেন।

3.6 অধিপ্রাণবাদ

এই মতবাদগুলির প্রবক্তরা মনে করেন যে যদিও পরিবহনের পথটি জাইলেমের মৃত কোষ ট্র্যাকীড ও ট্র্যাকীয়া কিন্তু সেগুলি জাইলেমের সজীব কোষ যেমন জাইলেম প্যারেনকাইমা ও জাইলেম রে (Ray) কোষের ঘনিষ্ঠ সান্নিধ্যে আছে এবং জল পরিবহন পদ্ধতিটি এই সজীব কোষগুলি দ্বারা পরিচালিত হয়। এই মতবাদগুলির মধ্যে কয়েকটি নিম্নে আলোচিত হল :

(i) **গডালউস্কি** (Godlewski) [1884] মনে করতেন যে জাইলেম প্যারেনকাইমার ভূমিকাই এক্ষেত্রে মুখ্য। তাঁর রিলে পাম্প তত্ত্ব (Relay Pump Theory) অনুযায়ী জাইলেম প্যারেনকাইমা ও মজ্জাংশুর কোষগুলি রসস্ফীতির ফলে তাদের অভিস্রবণীয় চাপ ট্র্যাকাইডের তুলনায় হ্রাস পায় ফলে জল ট্র্যাকাইডে প্রবেশ করে এবং সজীব কোষগুলি পুনর্বার শিথিল (placeid) হয়ে পড়ে। অতঃপর এগুলি আবার অন্তঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল শোষণ করে একইভাবে ট্র্যাকীয়ায় প্রেরণ করে। এইভাবে পর্যায়ক্রমিক বা রিলে পদ্ধতিতে সজীব কোষই জলকে ঊর্ধ্বমুখে প্রেরণ করে।

এই তত্ত্বের সমর্থনে বিশেষ যুক্তি নেই কেন সম্পূর্ণভাবে মৃত জাইলেম কলার মধ্য দিয়ে জল পরিবহন সম্ভব। দ্বিতীয়ত এই পদ্ধতিতে জলের ঊর্ধ্বমুখী পরিবহন হতে হলে জাইলেম প্যারেনকাইমার অবস্থান দুটি ট্র্যাকিড এর অন্তর্বর্তী স্থানে হওয়া উচিত কিন্তু কার্যত তারা পাশাপাশি অবস্থিত।

(ii) স্যার জগদীশচন্দ্র বসু 1923 খ্রিস্টাব্দে এই মত প্রকাশ করেন যে কাণ্ডের অন্তস্ত্বকের ঠিক বাইরে বহিস্ত্বক (Cortex) এর যে স্তর আছে সেই স্তরের কোষগুলি স্পন্দনশীলতা (pulsatory movement) রসের উৎস্রোতের জন্য দায়ী। এক্ষেত্রেও এই কোষগুলির পর্যায়ক্রমিক অভিস্রবনীয় চাপের হ্রাস ও বৃদ্ধি জলকে জাইলেমের সংবাহী নালিকায় প্রেরণ করে।

পরবর্তীকালে মলিশ (Molisch) [1928-29] স্ন্যাপড্রাগন নামক উদ্ভিদে একই রকম পরীক্ষা চালিয়ে স্যার বোসের তত্ত্বটিকে সমর্থন জানান।

অধিপ্রাণবাদ পরবর্তীকালে বিজ্ঞানীদের কাছে গ্রহণযোগ্য বলে বিবেচিত হয় নি। বহু পূর্বেই বিজ্ঞানী স্ট্রাসবার্জার (Strasburger) [1883] তাঁর পরীক্ষায় দেখিয়েছিলেন যে উদ্ভিদের সজীব কাণ্ডকে যদি পিকরিকি অ্যাসিডের দ্রবণে নিম্নাংশ নিমজ্জিত করে রেখে দেওয়া যায় তাহলে সব সজীব কোষ নষ্ট হয়ে যাবার পরও রসের উৎস্রোত জারি থাকে। উইলসন (1947) জলজ উদ্ভিদের উপর একাধিক পরীক্ষায় দেখান যে সজীব কোষ সক্রিয়ভাবে জল পরিবহন করে না ঠিকই তবে সজীব কোষগুলি বিনষ্ট হলে ট্র্যাকীয়ায় বায়ু অনুপ্রবেশ করে এবং জলস্তম্ভের অবিচ্ছিন্নতা নষ্ট হয়। সুতরাং সজীব কোষের প্রভাব থেকে থাকলেও তা পরোক্ষ।

3.7 মূলজ চাপ তত্ত্ব

বিজ্ঞানী স্টিফেন হেলস (Stephen Hales) 1727 খ্রিস্টাব্দে তাঁর কর্তিত কাণ্ডের পরীক্ষায় দেখান যে একটি সুস্থ উদ্ভিদের কাণ্ডকে মাটি থেকে কিছুটা উপরে কর্তিত করলে কাণ্ডের জাইলেম অংশ থেকে রস নিসৃত হয়। একে তিনি মূলজ চাপ নামে অভিহিত করেন। কর্তিত কাণ্ডের সঙ্গে একটি ম্যানোমিটার যুক্ত করে দেখা যায় যে মূলজ চাপের মান 2–3 বার হওয়া সম্ভব।

এটি একটি সক্রিয় পদ্ধতি। পটাসিয়াম সায়ানাইড (KCN) জাতীয় শ্বসন প্রতিরোধ পদার্থের উপস্থিতিতে মূলজ চাপের মাত্রা কমে যায়। এই তত্ত্বটির গ্রহণযোগ্যতার বিপক্ষে নিম্নলিখিত যুক্তিগুলি প্রণিধানযোগ্য:

i) 2 – 3 বার পরিমাপের মূলজ চাপ সর্বাধিক 20–30 মিটার পর্যন্ত জলস্তম্ভকে ধরে রাখতে পারে। কিন্তু বহুসংখ্যক উদ্ভিদের উচ্চতা 30 মিটারের অধিক।

ii) পাইন জাতীয় ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে মূলজ চাপ দেখা যায় না। এক্ষেত্রে কর্তিত কাণ্ডের পরীক্ষা ব্যর্থ প্রমাণিত হয়েছে।

iii) জলভর্তি বিকারে একটি চারাগাছের মূল অংশকে কর্তিত করলেও সেটিতে দীর্ঘক্ষণ রসের উৎস্রোত দেখা যায়।

iv) গ্রীষ্মকালে নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের উদ্ভিদে প্রস্বেদনের হার বাড়ে। এই সময় মূলজ চাপের লক্ষণ পরিলক্ষিত হয় না।

অনুশীলনী - 2

2. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন

a) সাধারণ বায়ুচাপের সাহায্যে রসের উৎস্রোত ঘটা সম্ভব নয় কেন?

b) অধিপ্রাণবাদ তত্ত্ব অনুযায়ী কোন ধরনের কোষ রসের উৎস্রোতের জন্য দায়ী?

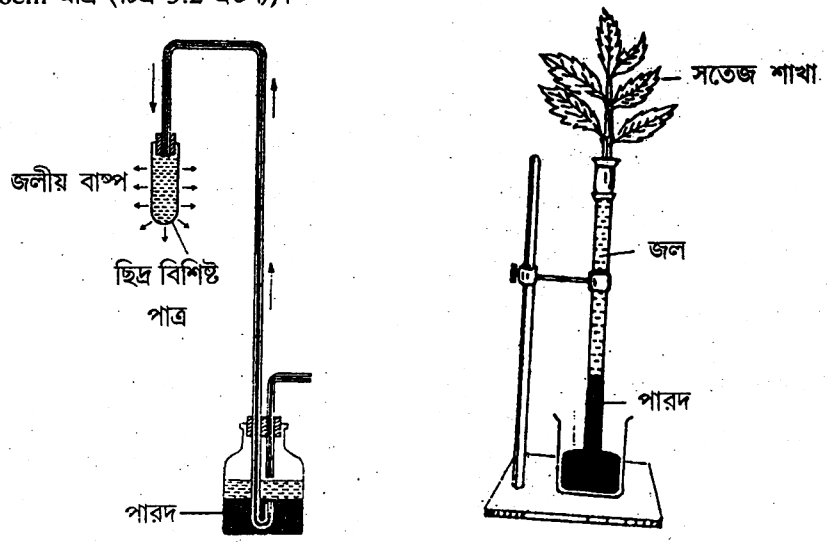
c) স্পন্দনশীলতার ব্যাখ্যা কোন ধরনের কোষের কার্যকারিতার উপর নির্ভরশীল?

d) মূলজ চাপের মান কত?

e) কোন ধরনের উদ্ভিদে মূলজ চাপ দেখা যায় না?

3.8 ভৌত বল তত্ত্বাবলি

ইতিপূর্বে আলোচিত তত্ত্বগুলির প্রধান দুর্বলতা ছিল এই যে সেগুলির কোনোটি দ্বারাই উচ্চতম বৃক্ষে জলের ঊর্ধ্বমুখী পরিবহন ব্যাখ্যা করা সম্ভব নয়। একজন আইরিশ উদ্ভিদবিজ্ঞানী জোসেফ বর্ম (Joshef Bohm) 1883 খ্রিস্টাব্দে একটি অতি সাধারণ পরীক্ষার সাহায্যে দেখান যে একটি বদ্ধ জলতন্ত্রের শীর্ষভাগ থেকে জল বাষ্পমোচন পদ্ধতিতে অপসারিত হলে নিম্নপ্রান্ত থেকে পারদ স্তম্ভের আকারে 100cm এর অনেক উপরে উঠতে পারে যা স্বাভাবিক বায়ুচাপে 76cm মাত্র (চিত্র 3.2 দ্রষ্টব্য)।



চিত্র 3.2 ঃ a) জোসেফ বমের পরীক্ষা b) ডিক্সন ও জলির পরীক্ষা

পরবর্তীকালে আয়ার্ল্যান্ডের অপর দুই বিজ্ঞানী ডিক্সন ও জলি (1884) ওই একই পরীক্ষায় বাষ্পমোচনরত জলপাত্রের বদলে প্রস্বেদনরত পাইন গাছের শাখা প্রয়োগ করে একই ফলাফল দেখতে পান। এই পরীক্ষার ব্যাখ্যায় একাধিক উদ্ভিদবিজ্ঞানী একাধিক তত্ত্ব প্রকাশ করেন। এই তত্ত্বগুলির সব কয়টিরই মূলকথা হল রসের উৎস্রোত একান্তভাবেই ভৌত প্রক্রিয়া এবং এতে সজীব কোষের কোনো ভূমিকা নেই। তত্ত্বগুলি নিম্নে আলোচিত হল :

I. কৈশিক তত্ত্ব (Capillary theory) :

অতিসূক্ষ ব্যাসের কাচনলকে জলতলের সংস্পর্শে রাখলে জলের পৃষ্ঠটান ধর্মের প্রভাবে কাচনল দ্বারা জল উপরে ওঠে। 0.01mm ব্যাসের কাচনলে এই জলস্তম্ভের উচ্চতা 3 মিটার পর্যন্ত হওয়া সম্ভব। জাইলেম কলার সংবাহী নালিকাগুলি যথা ট্র্যাকিড ও ট্র্যাকিয়া দৈর্ঘ্য বরাবর সজ্জিত হয়ে অবিচ্ছিন্ন নালিতন্ত্র গঠন করে যা কৈশিক নলের সঙ্গে তুলনীয়। কৈশিক বলের প্রভাবে ভৌত পদ্ধতিতেই জল জাইলেম বাহিকার মাধ্যমে উপরে ওঠে।

এই তত্ত্ব সমর্থনযোগ্য নয়, কারণ :

i) কৈশিক বল মুক্ত জলতল ছাড়া অসম্ভব, মাটি থেকে উদ্ভিদ যখন জল সংগ্রহ করে তখন মুক্ত জলতল থাকার প্রশ্নই নেই।

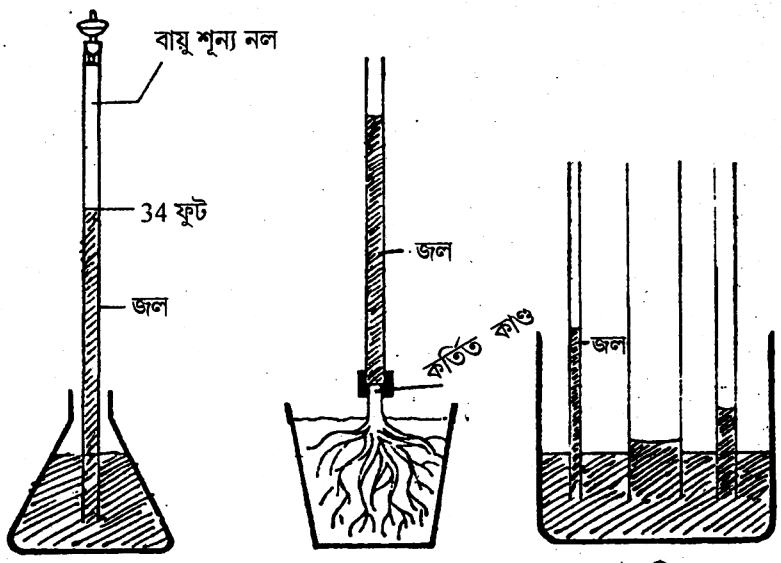
ii) জাইলেমের সংবাহী নালিকার গড় ব্যাস 0.03mm যা কৈশিকনল হিসাবে কাজ করার পক্ষে বিশেষ উপযোগী নয় কেননা জল এরূপ নালিকায় কৈশিক বলের প্রভাবে । মিটারের উপরে ওঠা সম্ভব নয়।

iii) ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে সাধারণভাবে ট্র্যাকিয়া থাকে না। আর ট্র্যাকিয়া ভিন্ন অপর জাইলেম বাহিকা ট্র্যাকীড কৈশিক নল রূপে কাজ করার পক্ষে আদর্শ নয়।

iv) জলের কৈশিক নলের মাধ্যমে উত্তোলিত উচ্চতা নলের ব্যাসের উপর নির্ভরশীল। ব্যাস যত কম জল তত বেশি উচ্চতায় উঠতে পারে। সুতরাং তত্ত্বগতভাবে উচ্চতম উদ্ভিদের জাইলেম বাহিকা সূক্ষতম ব্যাস বিশিষ্ট হওয়া দরকার। কার্যত এটি দেখা যায় না।

v) কৈশিক নল আর জলতলের সরাসরি সংযোগ না ঘটলে জলস্তম্ভ উপরে ওঠার সুযোগ নেই। উদ্ভিদের জাইলেম ও মাটির জলের মধ্যে এরকম সরাসরি সংযোগ ঘটে না।

vi) বসন্তকালে সৃষ্ট জাইলেম বাহিকাগুলির ব্যাস গ্রীষ্মে সৃষ্ট বাহিকাগুলির ব্যাস অপেক্ষা অধিক। অথচ বসন্তকালেই জল পরিবহনের হার সর্বাধিক যা কৈশিক তত্ত্ব দ্বারা সমর্থনযোগ্য নয়।



চিত্র 3.3 ঃ বায়ুচাপ, মূলজ চাপ ও কৈশিক বলের জল উত্তোলন ক্ষমতার তুলনা

II. বায়বীয় চাপ তত্ত্ব (Atmospheric Pressure Theory)

আমরা জানি ব্যারোমিটারের পারদস্তম্ভ বায়বীয় চাপের ফলে ব্যারোমিটারের নলটি বরাবর উত্তোলিত হয়। কিছু উদ্ভিদবিজ্ঞানীর মতে জাইলেম বাহিকা দ্বারা জল উত্তোলনের পদ্ধতিটিও অনুরূপ। পাতার তল থেকে প্রস্বেদনের ফলে বাষ্পাকারে জল অপসারিত হলে বায়ুচাপ হ্রাস পায় এবং সেই কারণেই জাইলেম বাহিকা বরাবর জল উপরে ওঠে। এই তত্ত্বও সমর্থনযোগ্য নয়, কেননা

i) সাধারণ অবস্থায় এক বায়ুমণ্ডলীয় চাপ (1 বার) জলস্তম্ভকে 34 ফুট এর অধিক উত্তোলন সক্ষম নয় অথচ বহু সংখ্যক বৃক্ষের উচ্চতা 34 ফুট এর অনেক বেশি।

ii) ব্যারোমিটারের পারদ-আধারটির তল মুক্ত তাই বায়ুচাপ এক্ষেত্রে কার্যকরী। মৃত্তিকাস্থ জলের কোনো মুক্ত তলবিশিষ্ট আধার নেই।

III. ইমবাইবিশন তত্ত্ব

বিজ্ঞানী স্যাকস (Sachs) এর মতে (1878) জাইলেমের বাহিকা কোষগুলির প্রাচীরের মধ্য দিয়ে ইমবাইবিশন (Imbibition) পদ্ধতিতে জল ক্রমে উপরে ওঠে। একথা ঠিক যে ইমবাইবিশন জনিত কারণে সৃষ্ট বলের পরিমাপ 100 থেকে 1000 বার পর্যন্ত হতে পারে কিন্তু এই পদ্ধতি এত ধীর যে, রসের উৎস্রোতের গতির হারের সঙ্গে তা সামঞ্জস্যপূর্ণ নয়। তাছাড়া এই তত্ত্বের বিপক্ষে সব চাইতে বড়ো যুক্তিটি হল, জল বাহিকাগুলির গহ্বরের মধ্য দিয়ে ঊর্ধ্বে ধাবিত হয়, প্রাচীর অতিক্রম করে নয়।

IV. প্রস্বেদন টান অথবা সমসংযোগ জনিত বল (Transpiration Pull or Cohesion – Tension Theory)

বিজ্ঞানী ডিক্সন ও জলি (Dixon and Joley, 1894) দ্বারা উপস্থাপিত এই তত্ত্বের মূল কথাগুলি হল :

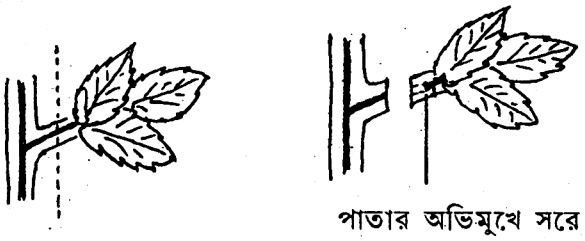
a) উদ্ভিদের মূল থেকে পাতার প্যারেনকাইমা পর্যন্ত বিস্তৃত জলের একটি অবিচ্ছিন্ন স্তম্ভ বর্তমান।

b) পাতার উপরিতল থেকে প্রস্বেদনের ফলে পাতার প্যারেনকাইমা কোষগুলির জলবিভব (ψ) বাড়ে, ফলে তারা জাইলেম থেকে জল শোষণ করে। এর ফলে জাইলেম বাহিকায় একটি প্রস্বেদনজনিত টান সৃষ্টি হয়।

c) প্রস্বেদন টান থাকা সত্ত্বেও জলস্তম্ভ অবিচ্ছিন্ন থাকে কেননা জলের অণুগুলির ধর্ম হল পরস্পর সংবদ্ধ থাকা (Cohesion) তাছাড়া জলের অপর ধর্ম পৃষ্ঠটানের দরুন জলস্তম্ভ জাইলেমের অন্তর্গাত্র থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে যায় না (Adhesion)। জলের অণুগুলির মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধনী সৃষ্ট হবার ফলে যে সমসংযোগ বল জাইলেমের জলস্তম্ভ সৃষ্ট হয় তার পরিমাপ 45–207 বার হতে পারে। একক হাইড্রোজেন বন্ধনীর শক্তি অবশ্য নগণ্য (5kCal মাত্র) কিন্তু বিপুল সংখ্যক জলের অণুর এবং তাদের মধ্যে গড়ে ওঠা পারস্পরিক বন্ধনীবল জলস্তম্ভকে দৃঢ় টান সহতা (Tensile Strength) প্রদান করে। উপরন্তু জলের আধার গাত্রে সংশ্লিষ্ট হয়ে থাকার ধর্ম একে জাইলেম বাহিকার অভ্যন্তরে একটি স্তম্ভের আকারে ধরে রাখতে ও উত্তোলিত হতে সাহায্য করে।

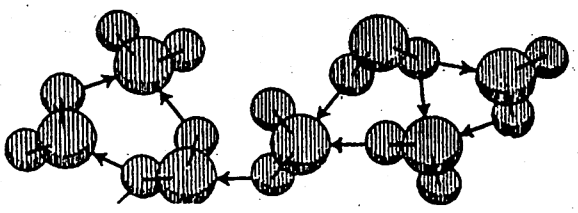
সুতরাং দেখা যাচ্ছে যে এই তত্ত্ব অনুযায়ী রসের উৎস্রোত সম্ভব হতে হলে যা যা প্রয়োজন তা হল;

প্রান্তলিপি - 2



উপরের চিত্রে জাইলেম সৃষ্ট টান 'এর ব্যাপারটি প্রদর্শিত হয়েছে। একটি প্রস্বেদনরত কাণ্ডের শাখা ছেদন করা হলে শাখার কর্তিত অংশ থেকে রস চুঁইয়ে না পরে কেমনভাবে পাতার অভিমুখেই সরে আসে লক্ষ করুন।

প্রান্তলিপি - 3



উপরে জলের অণুসমষ্টির চিত্রিত রূপটি লক্ষ করুন। জলের অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে তড়িৎচালক বল (electrostatic force) দ্বারা যুক্ত থাকে। অক্সিজেন আংশিক ঋণাত্মক আধান এবং হাইড্রোজেনের আংশিক ধনাত্মক আধান জলের অণুসমষ্টির মধ্যে এই বল সঞ্চারিত করে।

- পাতার প্যারেনকাইনা কোষের জলবিভব (ψ) এতটা হওয়া উচিত যা উচ্চতম বৃক্ষশীর্ষে জল তুলতে পারে।
- জলের সমসংযোগ বলের পরিমাপ এতটা হওয়া দরকার যা প্রস্বেদনজনিত টানের বাধাকে অতিক্রম করে জলস্তম্ভকে অবিচ্ছিন্ন রাখতে পারে।
- জলস্তম্ভের বাহিকা নালিগুলি (অর্থাৎ ট্রাকিড ও ট্র্যাকিয়া) সংশয়াতীতভাবে দৃঢ় হওয়া দরকার যাতে তারা প্রস্বেদন টানের প্রভাবে কুঁকড়ে না যায়।

ডিক্সন ও জলির তত্ত্ব এই সব কটি শর্তই পূরণ করতে পারে।

i) পাতা থেকে প্রস্বেদনরত তলের কোষগুলির দ্রাব বিভব (Solute potential) ψs = 10–20 বার। আমরা জানি 130 মিটার উচ্চতা সম্পন্ন বৃক্ষশীর্ষে জল উত্তোলনের জন্য 13 বার টানই যথেষ্ট।

ii) উচ্চতম বৃক্ষ যা প্রায় 300 মিটার উচ্চ তার শীর্ষে অবিচ্ছিন্ন স্তম্ভের আকারে জল পৌঁছাতে গেলে 30 বার চাপ প্রয়োজন। জলস্তম্ভের জাইলেমের অভ্যন্তরে বল সহতার পরিমাপ, আগেই বলা হয়েছে, 30 বার এর অধিক।

iii) জাইলেম কলা বাহিকা কোষগুলির প্রাচীর দৃঢ় কিন্তু নমনীয়। বিজ্ঞানী ক্র্যামার ও কজলুইসকি (Kramer and Kozlowski, 1960) সক্রিয় উৎস্রোতের সময় বাহিকার ব্যাসের পরিবর্তন লক্ষ করেন। এতে স্তম্ভের অবিচ্ছিন্নতা অটুট থাকে এবং পরোক্ষে এই তত্ত্বকেই প্রমাণ করে।

iv) সবশেষে প্রস্বেদনরত সজীব শাখাকে কাচনলের সাহায্যে পারদস্তম্ভের সাথে যুক্ত করে পারদস্তম্ভকে কাচনল বরাবর উত্তোলিত করা যায়।

প্রান্তলিপি - 4

জলের সমসংযোগ বলের পরিমাপ কতটা? আগেই বলা হয়েছে জাইলেম বাহিকায় এর মান 45–207 বার হওয়া সম্ভব। তত্ত্বগতভাবে বা অঙ্কের হিসাবে বাষ্পীভবনের ফলে সৃষ্ট চাপ অবশ্য সাধারণ বায়ুমণ্ডলীয় চাপের তুলনায় কয়েক হাজার গুণ অধিক। একটি পরীক্ষায় ব্রিটিশ বিজ্ঞানী বাজেট (H. M. Budget) দেখিয়েছেন যে দুটি চকচকে স্টিল পাতের মাঝখানে একটি জলের পাতলা আস্তরণ দিয়ে যদি তাদের জুড়ে দেওয়া যায় তাহলে তাদের বিচ্ছিন্ন করতে 60kg/cm^2 টান দরকার। বাষ্পমোচনের ফলে সৃষ্ট টান কখনোই এতটা বেশি নয়। তাই জলস্তম্ভের অবিচ্ছিন্নতা বজায় থাকে। বাষ্পীভবনকে এক্ষেত্রে আলাদাভাবেই দেখতে হবে। পত্রতল থেকে অবিরত বাষ্পীভবন হতে থাকলে জলস্তম্ভ সম্ভবত অবিচ্ছিন্ন থাকতো না কেন না সেক্ষেত্রে সৃষ্ট চাপ, আগেই বলা হয়েছে। কয়েক হাজার বায়ুমণ্ডলীয় চাপের সমান।

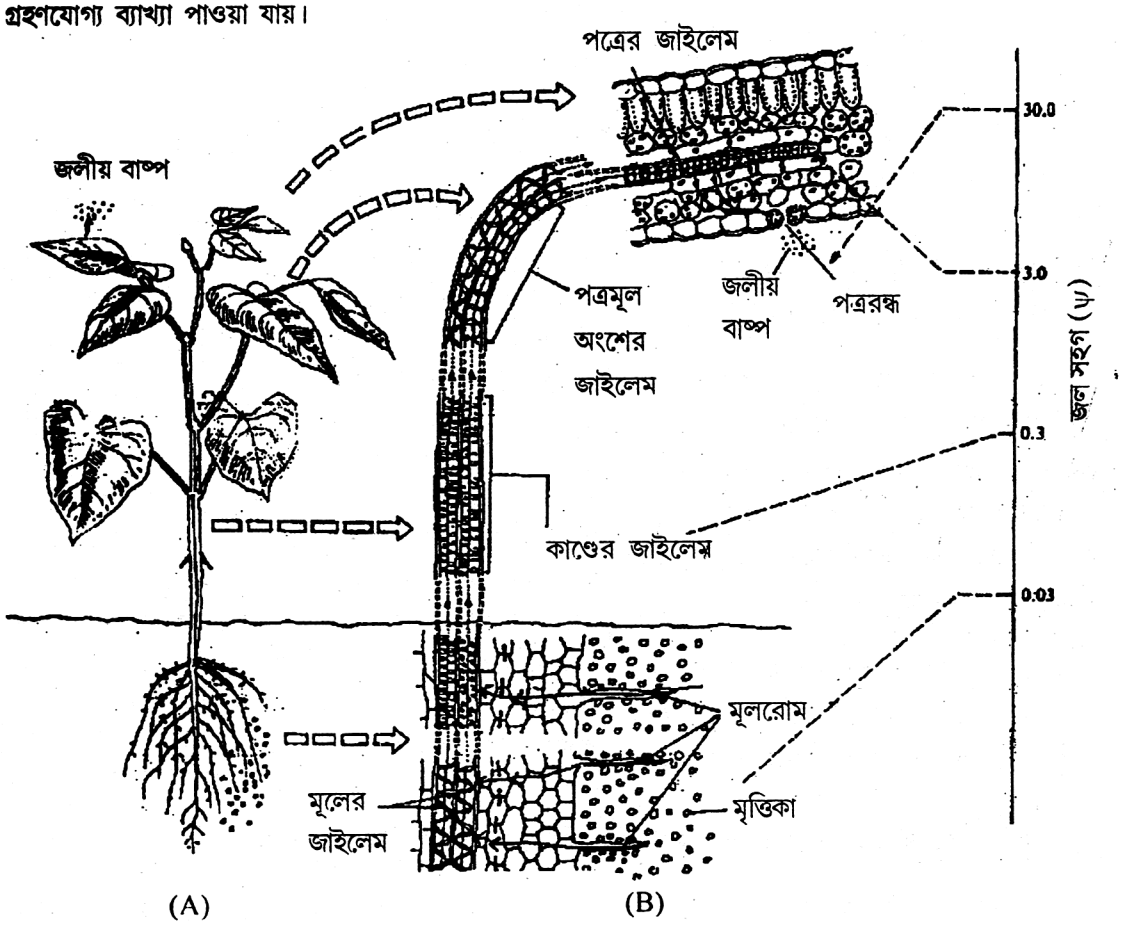
একাধিক বিজ্ঞানী এই তত্ত্বের বিরুদ্ধে মত প্রকাশ করেছেন। তাঁদের সমালোচনাগুলি হল :

i) জাইলেম বাহিকায় জলস্তম্ভ সর্বদা অবিচ্ছিন্ন থাকে না, বায়ু বুদবুদ প্রবেশের ফলে জলের অবিচ্ছিন্নতা বিনষ্ট হলে রসের উৎস্রোত কীভাবে সম্ভব? ডিক্সন বলেছিলেন যে জাইলেম বাহিকার সংখ্যা এই সমস্যার সমাধান করে। একটি বাহিকায় বায়ু প্রবেশ করলেও অপর বাহিকাগুলি কার্যকরী ভূমিকা নিয়ে রসের উৎস্রোত জারি রাখে। পরবর্তীকালে পোস্টলথয়েট ও রজার্স (Postlethwalt and Rogers, 1958) ফসফরাসের তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ

32p দ্বারা দেখিয়েছেন যে বায়ু দ্বারা কোনো জাইলেম বাহিকার জলস্তম্ভকে বিচ্ছিন্ন করা হলেও জল উপরে ওঠে, অর্থাৎ একাধিক অবিচ্ছিন্ন জলস্তম্ভের আকারে জল উপরে ওঠে।

ii) সমসংযোগবল তত্ত্ব মেনে নিলে মেনে নিতে হয় যে ট্রাকিডগুলি প্রস্থপ্রাচীরের উপস্থিতির দরুন ট্র্যাকিয়া অপেক্ষা সংবাহীরূপে অধিকতর কার্যকরী। তার কারণ প্রস্বেদন টানের ফলে তাদের কুঁকড়ে (Collapse) যাওয়ার সম্ভাবনা অপেক্ষাকৃত কম। অথচ গুপ্তবীজী উদ্ভিদে ট্র্যাকিয়া হল প্রধান সংবাহী নালিকা, ট্র্যাকিড নয়।

বর্তমানকালে তাপগতির সূত্র (Law of Thermodynamics) দ্বারাও ডিক্সন ও জলির তত্ত্বের ব্যাখ্যা করা কঠিন। কিন্তু কিছু বিপরীত অভিমত থাকা সত্ত্বেও এখনও পর্যন্ত এই তত্ত্ব দ্বারাই রসের উৎস্রোতের সর্বাপেক্ষা গ্রহণযোগ্য ব্যাখ্যা পাওয়া যায়।



চিত্র 3.4 ঃ রসের উৎস্রোতের চিত্ররূপ। জাইলেম বাহিকায় সৃষ্ট টান জল সহগরূপে প্রদর্শিত হয়েছে। দেখা যাচ্ছে জলের উৎস থেকে জাইলেম যত দূরে জলসহগ তত বেশি এবং বাষ্পমোচনরত পত্রে সর্বোচ্চ। A) প্রস্বেদনরত উদ্ভিদ, B) ওই উদ্ভিদের অন্তর্গমনে প্রদর্শিত জল উত্তোলনের পথ।

3.9 সারাংশ

জাইলেম বাহিকার মাধ্যমে জলের উপরে ওঠার ঘটনাকে বলে রসের উৎস্রোত। এভাবে ওপরে ওঠা জলের পরিমাণ তথা উচ্চতা 25–1230cm প্রতি ঘণ্টায় হওয়া সম্ভব। ফ্লোয়েম বা বাকল কর্তিত করে পরীক্ষায় দেখা গেছে যে জাইলেমই হল রসের উৎস্রোতের পথ। তিন ধরনের তত্ত্ব দ্বারা এই ঘটনার ব্যাখ্যা দেওয়া হয়েছে। অধিপ্রাণবাদ তত্ত্ব অনুযায়ী এ ঘটনার জন্য দায়ী সজীব কোষ। প্রমাণযোগ্যতার অভাবে এই তত্ত্ব মানা যায় নি। মূলজ চাপ তত্ত্ব অনুযায়ী মূলজ চাপই হল এর জন্য দায়ী কিন্তু কেবল মাত্র 2–3 বার মূলজ চাপ 300 ফুট উচ্চতার গাছের শীর্ষে জল পৌছাতে নিশ্চয়ই পারে না। ভৌত বল তত্ত্ব অনুযায়ী রসের উৎস্রোত হল কেবলমাত্র ভৌত ঘটনা যা জাইলেম কৈশিক বলরূপে কাজ করার ফলে অথবা ইমবাইবিশনের ফলে ঘটে থাকে। এই তত্ত্বের ব্যাখ্যায় বিজ্ঞানী ডিক্সন ও জলি সমসংযোগ তত্ত্ব প্রকাশ করেন যা এখনও পর্যন্ত রসের উৎস্রোতের সবচেয়ে গ্রহণযোগ্য ব্যাখ্যা। প্রস্বেদনজনিত টানের প্রভাবে জাইলেম বাহিকা দিয়ে জল উপরে ওঠে এবং জলের সমসংযোগ বলের প্রভাবে জলস্তম্ভ উপরে ওঠে।

3.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. রসের উৎস্রোত কাকে বলে? রসের উৎস্রোত কীভাবে ঘটে তা বুঝিয়ে বলুন।
2. সমসংযোগ বল কাকে বলে? এই বলের সাহায্যে কীভাবে রসের উৎস্রোত ব্যাখ্যা করা যায়।
3. অধিপ্রাণবাদ ও ভৌত তত্ত্বের মধ্যে পার্থক্য কী ? এই তত্ত্বগুলির সংক্ষিপ্ত আলোচনা করুন এবং এগুলির গ্রহণযোগ্যতার সপক্ষে যুক্তি দিন।

3.11 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

a) জাইলেম

b) জলের সঙ্গে খনিজ লবণ মিশ্রিত থাকে বলে একে বলে "রস"।

c) বসন্তকালে সৃষ্ট কাষ্ঠে।

d) পাতা অপসারিত করলে প্রস্বেদনের অভাবে রসের উৎস্রোত হবে না।

e) উদ্ভিদের শীর্ষভাগের তুলনায় নিম্নভাগে অভিস্রবনীয় চাপ বেশি হলে এ ঘটনা ঘটতে পারে।

অনুশীলনী - 2

1. a) সাধারণ বায়ুচাপের অর্থাৎ । বার চাপের ফলে জলস্তম্ভ 34' এর বেশি ওঠে না অথচ বহু উদ্ভিদের উচ্চতা এর অনেক বেশি।

b) সজীব কোষ যথা জাইলেম মজ্জা রশ্মি বা পরিচক্রের কোষ।

c) অন্তস্ত্বকের বহিঃস্থ বহিস্ত্বকের কোষ।

d) 2–3 বার।

e) ব্যক্তবীজী উদ্ভিদে।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. এই প্রশ্নের উত্তরে রস উৎস্রোতের সংজ্ঞা দিয়ে একে একে নিম্নলিখিত বিষয়গুলির আলোচনা করতে হবে—

   i) উৎস্রোতের পথ

   ii) উৎস্রোতের হার

   iii) উৎস্রোতের ব্যাখ্যা - এই প্রসঙ্গে সংক্ষেপে অধিপ্রাণবাদ, মূলজ চাপ তত্ত্ব এবং ভৌত বল তত্ত্ব সব কয়টিই আলোচনা করতে হবে এবং কেন সমসংযোগ তত্ত্ব সবচেয়ে গ্রহণযোগ্য তা বলতে হবে।

2. জলের ভৌত ধর্মের উল্লেখ করে সমসংযোগ বলের সংজ্ঞা দান করুন। সমসংযোগ তত্ত্বের ভিত্তিতে কীভাবে কাচনল বেয়ে পারদস্তম্ভ উপরে উঠতে পারে তা বলুন। তারপর উদ্ভিদে প্রস্বেদনের প্রভাবে কীভাবে জল উত্তোলিত হয় তা বলুন। ডিক্সন ও জলির তত্ত্বের সপক্ষে ও বিপক্ষে প্রামাণিক যুক্তি দিন।

3. অধিপ্রাণবাদ সজীব কোষের ভূমিকাকেই মুখ্য মনে করে কিন্তু ভৌত তত্ত্ব অনুযায়ী ভৌতবলের প্রভাবে এ ঘটনা ঘটে — সজীব কোষের কোনো ভূমিকা নেই। এই হল দুয়ের মধ্যে প্রধান পার্থক্য। অধিপ্রাণবাদে জাইলেম হল পরিবহনের পথ কিন্তু পরিচক্র বা মজ্জারশ্মির কোষ হল চালিকাশক্তি। অপরপক্ষে ভৌত বল অনুযায়ী জাইলেম পরিবহনের পথ বটে কিন্তু কৈশিক বল বা সমসংযোগ বল হল চালিকা শক্তি।

   এবার অধিপ্রাণবাদ তত্ত্বগুলি সংক্ষেপে বর্ণনা করে এগুলির গ্রহণযোগ্যতার অভাব কোথায় তা বলুন। ভৌতবল তত্ত্বগুলি সংক্ষেপে বর্ণনা করুন এবং প্রতিটির সপক্ষে ও বিপক্ষে কী প্রমাণ আছে তা বলুন।

একক 4 ❑ বাষ্পমোচন বা প্রস্বেদন

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

4.2 সংজ্ঞা

4.3 বাষ্পমোচনের প্রকারভেদ

4.3.1 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন

4.3.2 ত্বকীয় বাষ্পমোচন

4.3.3 লেন্টিকিউলার বাষ্পমোচন

4.4 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন পদ্ধতি

4.5 বাষ্পমোচন নিয়ন্ত্রণকারী শর্তসমূহ

4.5.1 বহি শর্তসমূহ

4.5.2 অন্তর্নিহিত শর্তসমূহ

4.6 বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থসমূহ

4.7 নিঃস্রাবণ

4.8 সারাংশ

4.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

4.10 উত্তরসংকেত

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

আগের এককগুলিতে আমরা দেখেছি যে উদ্ভিদ মাটি থেকে মূলের সাহায্যে জল ও জলে দ্রবীভূত খনিজ লবণ শোষণ করে। উদ্ভিদের নানা শারীর বৃত্তীয় কাজে এই শোষিত জল ব্যবহৃত হয়। কিন্তু সমস্ত জল উদ্ভিদের কাজে লাগে না। প্রয়োজনের অতিরিক্ত জল উদ্ভিদ নিজ দেহ থেকে বার করে দেয়। এই এককে আমরা উদ্ভিদের এই জল নির্গমনের পদ্ধতি বা বাষ্পমোচন নিয়ে আলোচনা করব।

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- বাষ্পমোচন কাকে বলে জানতে পারবেন।
- বাষ্পমোচন কত প্রকারের হয় তার সম্বন্ধে ধারণা লাভ করতে পারবেন।
- বাষ্পমোচন প্রক্রিয়া বিশদভাবে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- পত্ররন্ধ্রের বন্ধ ও উন্মোচন প্রক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করতে পারবেন।

- বাষ্পমোচনের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- নিষ্স্রাবণ প্রক্রিয়াটি বোঝাতে পারবেন।

বাষ্পমোচন কেন?

অন্যান্য জীবের মতো উদ্ভিদেরও জলের প্রয়োজনীয়তা প্রশ্নাতীত। তবু বাষ্পমোচনের মাধ্যমে স্থলজ উদ্ভিদের দেহ থেকে এত বেশি পরিমাণে জল বেরিয়ে যায় যে বহু উদ্ভিদ শরীরতত্ত্ববিদ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে বাষ্পমোচনের আদৌ প্রয়োজনীয়তা আছে কিনা সে বিষয়ে সন্দেহ পোষণ করেছেন। মাটিতে জলের পরিমাণ কম থাকা সত্ত্বেও বেশি তাপমাত্রায় ও কম আর্দ্রতায় বাষ্পমোচনের হার বেড়ে যায় এবং এর ফলে উদ্ভিদের প্রভূত ক্ষতি হয়।

এখন প্রশ্ন হল যে, তাহলে বাষ্পমোচন কেন হয়? দেখা গেছে যে বাষ্পমোচন উদ্ভিদের জল ও জলে দ্রবীভূত খনিজ লবণ পরিবহনে সাহায্য করে ও উদ্ভিদের দেহ শীতল রাখতে সাহায্য করে। এছাড়া অতিরিক্ত জল এই প্রক্রিয়াতেই উদ্ভিদ দেহের বাইরে নির্গত হয়।

সুতরাং বাষ্পমোচন হল একটি প্রয়োজনীয় ক্ষতিকর প্রক্রিয়া।

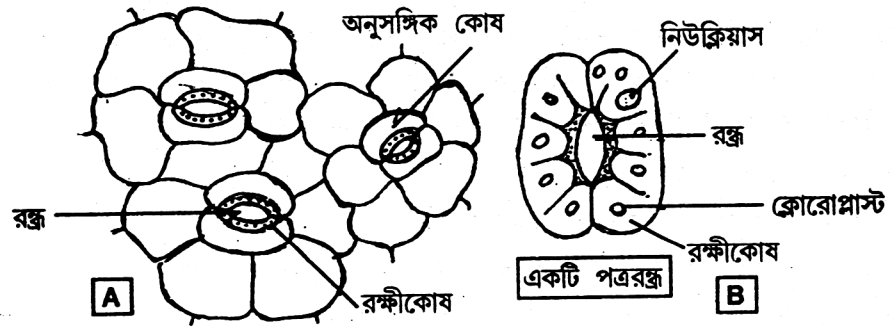
4.2 বাষ্পমোচনের সংজ্ঞা

যে শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় সজীব উদ্ভিদ প্রয়োজনের অতিরিক্ত জল বায়বীয় অংশের মাধ্যমে বাষ্পাকারে পরিত্যাগ করে, তাকে বাষ্পমোচন বা প্রস্বেদন বলে।

4.3 বাষ্পমোচনের প্রকারভেদ

4.3.1 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন

পাতার ত্বকে উপস্থিত সূক্ষ্ম ছিদ্রগুলিকে পত্ররন্ধ্র বলে। উদ্ভিদের শোষিত জলের সবটা কাজে লাগে না। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে অতিরিক্ত জল বাষ্পাকারে নির্গত হলে তাকে পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন বলে। পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে শতকরা 80-90% বাষ্পমোচন হয়। (চিত্র 4.1)



চিত্র 4.1 A — পাতায় ছড়িয়ে থাকা পত্ররন্ধ্র; B — একটি বিবর্ধিত পত্ররন্ধ্র

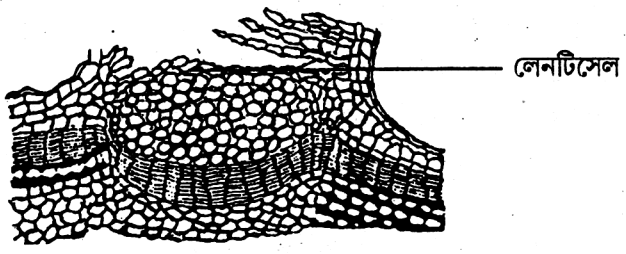
পত্ররন্ধ্র সংলগ্ন রক্ষীকোষের প্রোটোপ্লাজমের সক্রিয়তায় এই বাষ্পমোচন সম্পন্ন হয়।

4.3.2 ত্বকীয় বাষ্পমোচন

পাতার ত্বকে উপস্থিত কোষগুলির বহিঃপ্রাচীরে কিউটিন নামক স্নেহ পদার্থের যে আবরণ থাকে তাকে কিউটিকল বলে। এই কিউটিকলের স্তর খুব পাতলা হওয়ায় এবং এর স্থানে স্থানে ফাটল থাকায় এই স্তরের মধ্য দিয়েও বাষ্পমোচন ঘটে। এই বাষ্পমোচনকে ত্বকীয় বাষ্পমোচন বলে। সমগ্র বাষ্পমোচনের 10-15% ত্বকের মাধ্যমে হয়।

4.3.3 লেন্টিসেলীয় বাষ্পমোচন

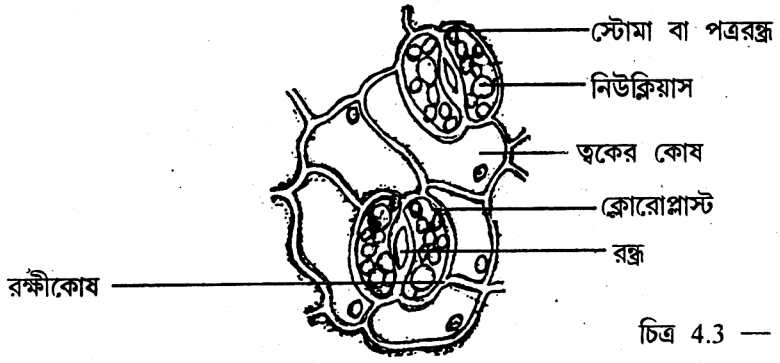
অনেক উদ্ভিদের কাণ্ডে লেন্টিসেল নামক ক্ষুদ্র রন্ধ্র থাকে। এই লেন্টিসেল বা কাণ্ডরন্ধ্রের মাধ্যমে যে বাষ্পমোচন সম্পন্ন হয় তাকে লেন্টিসেলীয় বাষ্পমোচন বলে। সমগ্র বাষ্পমোচনের মাত্র 0.1% লেন্টিসেলের মাধ্যমে হয়। (চিত্র 4.2)



চিত্র 4.2 — একটি লেনটিসেল

4.4 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন পদ্ধতি

বাষ্পমোচন পদ্ধতি অতিমাত্রায় পাতার গঠনের উপর নির্ভরশীল। আদর্শ পাতার ত্বকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র রন্ধ্র বর্তমান। এই রন্ধ্রগুলিকে পত্ররন্ধ্র (Stomata) বলা হয়। প্রতিটি রন্ধ্র একজোড়া বিশেষ ধরনের বৃত্তাকৃতির কোষ দ্বারা ঘেরা থাকে। এদের বলা হয় রক্ষী কোষ। (চিত্র 4.3)



চিত্র 4.3 — পত্ররন্ধ্রের গঠন

এই রক্ষীকোষদ্বয় ভালভের মতো কাজ করে রন্ধ্রের আকৃতি নিয়ন্ত্রণ করে। পাতার অভ্যন্তর সালোক-সংশ্লেষে সক্ষম মেসোফিল কোষ দিয়ে গঠিত। অধিকাংশ পাতাতে মেসোফিল কোষগুলি আলগা ভাবে বিন্যস্ত থাকায় কোষ মধ্যবর্তী বায়ুগহ্বরগুলির মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হয়। পাতায় পত্ররন্ধ্র এমন ভাবে অবস্থিত থাকে যে যখন পত্ররন্ধ্র খুলে যায় তখন ভেতরের বায়ুগহ্বর এবং বাইরের বাতাসের মধ্যে গ্যাস (মূলত কার্বন ডাই-অক্সাইড, অক্সিজেন ও জলীয় বাষ্প) বিনিময়ের রাস্তা তৈরি হয়। বাষ্পমোচন বা প্রস্বেদন প্রক্রিয়াটি দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়।

1) আর্দ্র মেসোফিল কোষ থেকে জলীয় বাষ্প বাষ্পীভবনের মাধ্যমে পত্ররন্ধ্রের নিজে অবস্থিত বায়ু প্রকোষ্ঠে জমা হয়।

2) বায়ু প্রকোষ্ঠে জমা জলীয় বাষ্প পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে বাতাসে পরিত্যক্ত হয়।

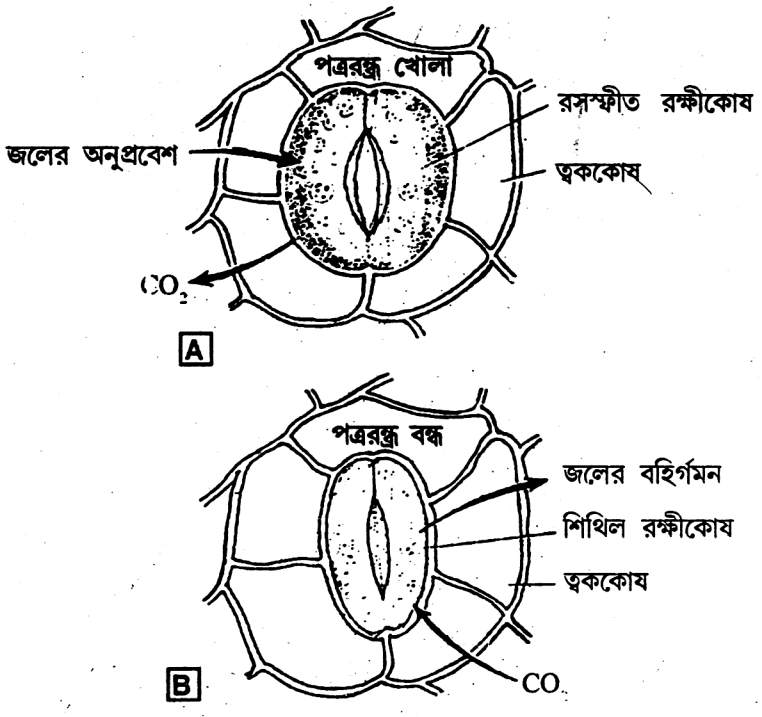
পত্ররন্ধ্রের বন্ধ ও উন্মোচন প্রক্রিয়া জানতে গেলে এই অঙ্গের তিনটি গঠন বৈশিষ্ট্য মনে রাখা দরকার—

i) প্রতিটি পত্ররন্ধ্র দুটি রক্ষীকোষ দিয়ে আবৃত থাকে।

ii) প্রতিটি রক্ষীকোষের বাইরের দিকের কোষপ্রাচীরটি পাতলা এবং ভিতরের দিকের অর্থাৎ পত্ররন্ধ্র সংলগ্ন কোষপ্রাচীর তুলনামূলক ভাবে পুরু হয়।

iii) রক্ষীকোষের অভ্যন্তরে কোরোপাস্ট দেখা যায় অর্থাৎ রক্ষীকোষও সালোকসংশ্লেষে সক্ষম।

পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও নিমীলন সম্পর্কে দু'টি মতবাদ বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।



A) **স্টার্চ-শর্করা মতবাদ**

সাইরি (Sayre, 1926), স্কার্থ (Scarth, 1932) প্রমুখ বৈজ্ঞানিকেরা এই মতবাদের সমর্থক। এরা মনে করেন যে রক্ষীকোষে স্টার্চ ও শর্করার রূপান্তরের মাধ্যমেই পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও বন্ধ হওয়ার প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রিত হয়। এই শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া নিম্নলিখিত পর্যায়ে সম্পন্ন হয়।

i) দিনের বেলায় আলোর উপস্থিতিতে রক্ষীকোষের ক্লোরোপ্লাসটিডে সালোকসংশ্লেষ সম্পাদিত হয়।

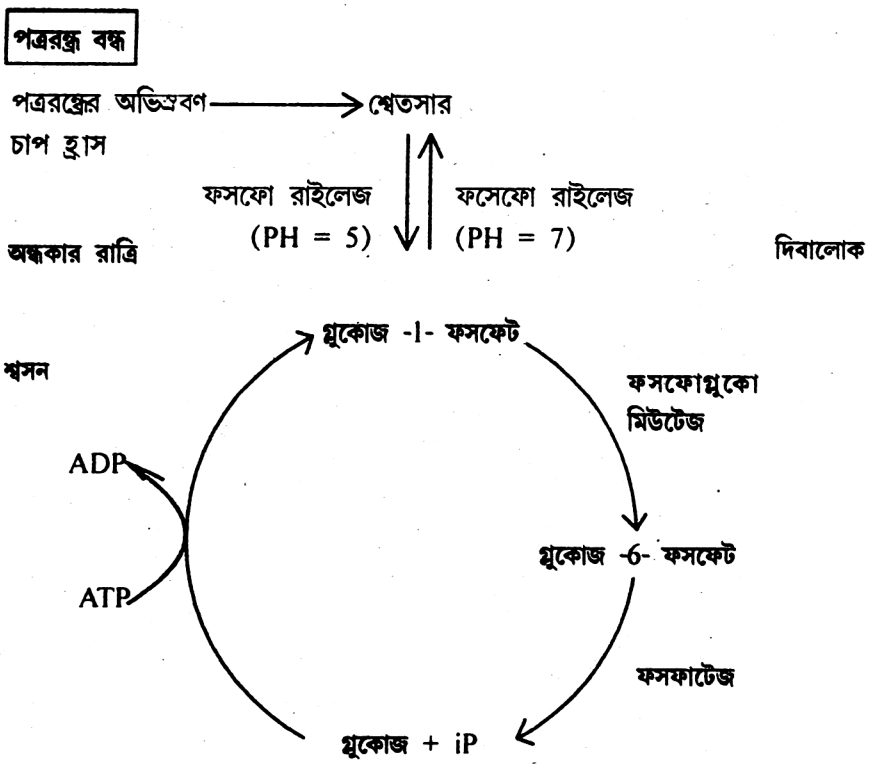
ii) রক্ষীকোষে CO_2 জলে দ্রবীভূত অবস্থায় কার্বলিক অম্ল (H_2CO_3) রূপে থাকে। সালোক সংশ্লেষের সময় কার্বনিক অম্ল থেকে CO_2 নির্গত হবার ফলে রক্ষীকোষের pH বেড়ে গিয়ে প্রায় 7 এর কাছাকাছি হয়।

iii) এই প্রশমিত অবস্থায় (pH = 7) শ্বেতসার ফসফোরাইলেজ উৎসেচকের মাধ্যমে গ্লুকোজ -1- ফসফেটে পরিণত হয়। গ্লুকোজ -1- ফসফেট, ফসফোগ্লুকোমিউটেজ ও ফসফাটেজ উৎসেচকের মাধ্যমে পর্যায় ক্রমে গ্লুকোজ -6- ফসফেট ও গ্লুকোজে রূপান্তরিত হয়।

iv) রক্ষীকোষে অবস্থিত স্টার্চ দানাগুলি এইভাবে গ্লুকোজে পরিণত হয়। স্টার্চ জলে অদ্রবনীয় কিন্তু গ্লুকোজ জলে দ্রবণীয় হওয়ায় রক্ষীকোষের অভিস্রবণ চাপ বেড়ে যায়, এর ফলে পার্শ্ববর্তী কোষগুলি থেকে জল শোষণ করে রক্ষীকোষ রসস্ফীত হয় অর্থাৎ রক্ষীকোষের প্রাচীরের উপর চাপ বাড়তে থাকে।

v) রক্ষীকোষের ভেতরের চেয়ে বাইরের দিকের কোষপ্রাচীর তুলনামূলক ভাবে পাতলা হওয়ায় রক্ষীকোষের বাইরের দিকের প্রাচীর রসস্ফীত চাপের ফলে বেশী প্রসারিত হয়। রক্ষীকোষ প্রাচীরের এই অসম প্রসারণের ফলে পত্ররন্ধ্র উন্মোচিত হয়।

vi) আবার রাত্রে, সালোক সংশ্লেষ বন্ধ হওয়ায় ফলে রক্ষীকোষ থেকে CO_2 অপসারিত হয় না বরং শ্বসন চলার ফলে রক্ষীকোষে CO_2 এবং H_2CO_3 র পরিমাণ বেড়ে যায়। এর ফলে রক্ষীকোষের প্রোটোপ্লাজম আম্লিক (pH = 5) হয়ে পড়ে। এই আম্লিক pH এ গ্লুকোজ অণু হেক্সোকাইনেজ ও ফসফোরাইলেজ উৎসেচকের মাধ্যমে পর্যায়ক্রমে গ্লুকোজ-1-ফসফেট ও শ্বেতসারে রূপান্তরিত হয়। শ্বেতসার জলে অদ্রাব্য বলে রক্ষীকোষের অভিস্রবণ চাপ কমিয়ে দেয়। ফলস্বরূপ রক্ষীকোষটি শ্লথ হয়ে ও বন্ধ হয়ে যায়। এই কারণে আমরা বলতে পারি, যে পর্যায় ক্রমিক পদ্ধতির মাধ্যমে রক্ষীকোষটি খুলে যায়, এবং তার ঠিক বিপরীত প্রক্রিয়ার মাধ্যমেই রক্ষীকোষ বন্ধ হয়।



পত্ররন্ধ্রের অভিস্রবণ চাপ বৃদ্ধি ও পত্ররন্ধ্রের কোষপ্রাচীরের অসম প্রসারণ

পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত

স্টার্চ শর্করা মতবাদ অনুসারে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও বন্ধের প্রক্রিয়া

সমালোচনা — স্টার্চ-শর্করা মতবাদটি পরবর্তীকালে নানা ধরনের সমালোচনার সম্মুখীন হয়। এই মতবাদের প্রধান দুর্বলতাগুলি হল—

i) অনেক পাতার রক্ষীকোষে স্টার্চ অনুপস্থিত কিন্তু তাদের ক্ষেত্রেও পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে বাষ্পমোচন হয়।

ii) স্টার্চ ⇆ গ্লুকোজ রূপান্তর অনেক মন্থর প্রক্রিয়া; দেখা গেছে যে এই রূপান্তরের চেয়ে দ্রুত পত্ররন্ধ্র খুলতে বা বন্ধ হতে পারে।

iii) রক্ষীকোষে সামান্য পরিমাণ CO_2 সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত হয় এবং এর ফলে pH এর এতটা পরিবর্তন সম্ভব নয়।

B) **ম্যালিক অম্ল মতবাদ—**

এই গুরুত্বপূর্ণ মতবাদটির প্রবক্তা লেভিট (Levitt, 1974)। তার মতে পত্ররন্ধ্র খোলা বা বন্ধ হওয়াতে পটাশিয়াম আয়নের (K^+) সক্রিয় ভূমিকা আছে। তিনি বলেন যে আলোর প্রভাবে রক্ষীকোষে ধনাত্মক (+) পটাশিয়াম আয়ন ও ঋণাত্মক (–) ম্যালিক আয়ণের সংখ্যা বৃদ্ধি পায়। এর ফলে রক্ষীকোষের অভিস্রবণ ক্ষমতা বাড়ে এবং কোষ রসস্ফীত হয়। রসস্ফীত রক্ষীকোষ দুটি বাইরের দিকে বেঁকে গেলে পত্ররন্ধ্র খুলে যায়। প্রক্রিয়াটি নিম্নলিখিত পর্যায়ে সম্পন্ন হয় :

i) রক্ষীকোষের শ্বেতসার আলোর দ্বারা প্রভাবিত হয়ে ম্যালিক অ্যাসিডে পরিণত হয়।

ii) ম্যালিক অ্যাসিড বিযুক্ত হয়ে ধনাত্মক (+) হইড্রোজেন আয়ন ও ঋণাত্মক (–) ম্যালেট আয়নে পরিণত হয়।

iii) হাইড্রোজেন আয়ন (H^+) রক্ষীকোষের পর্দায় অবিস্থত হাইড্রোজেন পটাশিয়াম পাম্পের সাহায্যে কোষের বাইরে চলে যায়। পরিবর্তে আণুষঙ্গিক কোষ থেকে ধনাত্মক (+) পটাশিয়াম আয়ন রক্ষীকোষে ঢুকে যায়।

iv) রক্ষীকোষে পটাশিয়াম আয়ন (K^+) ও ম্যালেট আয়নে মিলিত হয়ে পটাশিয়াম ম্যালেট তৈরি হয়। এই যৌগটি রক্ষীকোষ গহ্বরে প্রবেশ করে কোষের অভিস্রবণ ক্ষমতা বাড়িয়ে দেয়।

v) রক্ষীকোষের অভিস্রবণ ক্ষমতা বাড়ার ফলে অন্তঅভিস্রবণ পদ্ধতিতে রক্ষীকোষে জল ঢোকে।

vi) রক্ষীকোষ দুটি রসস্ফীত হয়ে ধনুকের মতো বাইরের দিকে বেঁকে যায় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায়।

অনুশীলনী - 1

1. **সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :**

   a) বাষ্পমোচন উদ্ভিদের (কাণ্ড/মূল/পাতা) - য় হয়।

   b) পাতার পত্ররন্ধ্রকে বেষ্টন করে থাকে (একটি/দুটি/তিনটি) রক্ষীকোষ।

   c) রক্ষীকোষ দুটি রসস্ফীত হলে পত্ররন্ধ্র (খুলে যায়/বন্ধ হয়ে যায়)।

2. **শূন্যস্থান পূরণ করুন :**

   a) পত্ররন্ধ্র একজোড়া _____ কোষ দ্বারা আবৃত থাকে, এদের বলা হয় _____

   b) রাত্রিবেলায় রক্ষীকোষে _____ জমা হয় ও পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়।

4.6 বাষ্পমোচনের শর্তসমূহ

বাষ্পমোচন নিয়ন্ত্রক কারণগুলিকে বাষ্পমোচনের শর্ত বলা হয়। শর্তগুলি প্রধানত দুইভাগে বিভক্ত।

A) **বহিঃ শর্তসমূহ (External Factors)**

B) **অন্তঃ শর্তসমূহ (Internal Factors)**

নীচে বাষ্পমোচনের শর্তগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করা হল।

A) **বহিঃ শর্তসমূহ ঃ** পরিবেশগত যেসব প্রভাবকগুলি বাষ্পমোচন নিয়ন্ত্রণ করে তাদের বহিঃ শর্তসমূহ বলা হয়। বহিঃশর্তের মধ্যে অন্যতম হল আলো, আদ্রতা, উষ্ণতা, কার্বন ডাই-অক্সাইডের ঘনত্ব এবং বায়ুর বেগ।

আলো (Light) — বাষ্পমোচন পদ্ধতি আলোচনা করার সময়ই আমরা দেখেছি যে আলোর প্রভাবে পত্ররন্ধ্র খোলে বা বন্ধ হয়। প্রখর সূর্যালোকে পত্ররন্ধ্র পুরোপুরি খোলা থাকে এবং বাষ্পমোচনের হার বাড়ে। কিন্তু রাতের বেলায় বেশির ভাগ উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র আলোক অভাবে বন্ধ হয়ে যাওয়ার ফলে বাষ্পমোচন একেবারেই হয় না।

আর্দ্রতা (Humidity) — আর্দ্রতা হল বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ যাকে আমরা জলীয় বাষ্পের ঘনত্ব (gm^{-3}) অথবা জলীয় বাষ্পের চাপ (K pa) দ্বারা প্রকাশ করে থাকি। কিন্তু ব্যবহারিক কাজে আমরা বাতাসের জলীয় বাষ্পের পরিমাণকে আপেক্ষিক আর্দ্রতা (Relative Humidity) আকারে প্রকাশ করে থাকি।

আবহমণ্ডলে জলীয় বাষ্পের চাপ (Vapour Pressure) বৃদ্ধি পেলে বাষ্পমোচনের হার কমে যায়। বিপরীত ভাবে জলীয় বাষ্পের চাপ কমলে বাষ্পমোচনের হার বাড়ে। এই কারণে সূর্যকিরণোজ্জ্বল দিনে বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ কম থাকায় বাষ্পমোচনের হার বেশি হয় এবং মেঘলা দিনে বাতাসে জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশি থাকায় বাষ্পমোচনের হার কম হয়।

উষ্ণতা (Temperature) — আলোর সঙ্গে উষ্ণতা অঙ্গাঙ্গীভাবে জড়িত। আলোর তীব্রতা বৃদ্ধির সঙ্গে উষ্ণতার বৃদ্ধি স্বাভাবিক। সাধারণত 30°C পর্যন্ত উষ্ণতায় পত্ররন্ধ্র প্রসারিত হয় এবং যথারীতি বাষ্পমোচন ঘটে। বেশি উষ্ণতায় ব্যাপন হার (diffusion rate) বৃদ্ধি পায় এবং বাষ্পমোচন বেশি হয়।

কার্বন ডাই-অক্সাইড (Co_2) — বায়ুমণ্ডলের কার্বন ডাই-অক্সাইডের স্বাভাবিক মাত্রা 0.03%। পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা গেছে যে বাতাসে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ স্বাভাবিক মাত্রার বেশি হলে বাষ্পমোচন হার কমে যায় এবং স্বাভাবিক মাত্রার নীচে নেমে গেলে বাষ্পমোচন হার বেড়ে যায়। দিনের বেলায় পাতায় সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া চালু থাকে। তখন কার্বন ডাই-অক্সাইড বিজারিত হয়ে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন হয়। স্বভাবতই তখন রক্ষীকোষে কার্বন ডাই-অক্সাইডের পরিমাণ কমে যায় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায় ও বাষ্পমোচনের হার বাড়ে। কিন্তু রাতের বেলায় সালোকসংশ্লেষ বন্ধ থাকায় এবং স্বাভাবিক শ্বসন প্রক্রিয়া বজায় থাকায় কোষে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের মাত্রা বাড়ে। এর ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায় ও বাষ্পমোচন হয় না।

বায়ুপ্রবাহ (Wind Flow) — স্বাভাবিকের চেয়ে বেশি বায়ুপ্রবাহে বাষ্পমোচন বৃদ্ধি পায়। কারণ এতে পাতার উপরিভাগের জলীয় বাষ্প অপসারিত হয়। তবে বায়ুপ্রবাহ অত্যধিক বেড়ে গেলে পাতার পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে গিয়ে বাষ্পমোচনের হার কমে যায় যাতে পাতা শুকিয়ে না যায়।

B) **অন্তঃ শর্তসমূহ ঃ**

পাতার অন্তর্গঠন — পাতার অন্তর্গঠনের উপরে বাষ্পমোচনের হার নির্ভর করে। পাতায় মেসোফিল কোষের সজ্জারীতি, কোষান্তর রন্ধ্রের পরিমাণ, পত্ররন্ধ্রের আকার প্রভৃতি বাষ্পমোচনের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে। এছাড়া পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, অবস্থান এবং কিউটিকল স্তরের পুরুত্ব প্রভৃতি প্রভাবকগুলির উপরও বাষ্পমোচনের হার নির্ভরশীল। কিছু কিছু জাঙ্গল উদ্ভিদের (xerophytes) পাতায় নিমজ্জিত পত্ররন্ধ্র থাকায় (উদাহরণ করবী, (Verium odorum) বাষ্পমোচনের হার অত্যন্ত কম হয়।

ফলকপৃষ্ঠে রোমের উপস্থিতি — ফলকপৃষ্ঠে রোম বেশি মাত্রায় থাকলে তা, ফলকের উপর দিয়ে প্রবাহিত বায়ুর গতিবেগকে প্রতিহত করে এবং তার ফলে বাষ্পমোচন কম হয়। অপরদিকে ফলকপৃষ্ঠ মসৃণ থাকলে বাষ্পমোচন হার বেড়ে যায়।

হরমোন — বহু উদ্ভিদে অ্যাবসিসিক অম্ল (Abscissic acid) নামক উদ্ভিদ হরমোন পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনকে প্রতিহত করে বাষ্পমোচনের হার নিয়ন্ত্রণ করে। সাধারণ অবস্থায় উদ্ভিদ কোষে অ্যাবসিসিক অম্লের পরিমাণ খুব অল্প থাকে, কিন্তু দেখা গেছে যে যদি বাইরে থেকে 10^{-3}—10^{-4}M অ্যাবসিসিক অম্ল প্রয়োগ করা হয় তখন পত্ররন্ধ্র সম্পূর্ণ রূপে বন্ধ হয়ে যায়। অ্যারসিসিক অ্যাসিড খুব অল্প পরিমাণে মেসোফিল কোষে উৎপন্ন হয় এবং কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে জমা থাকে। কিন্তু যখন উদ্ভিদে জলের অভাব দেখা যায়, তখন অ্যাবসিসিক অম্ল রক্ষীকোষে জমা হয়ে রক্ষীকোষের K^+ আয়ণের গাঢ়ত্বকে কমিয়ে দেয়। এর ফলে রক্ষীকোষ থেকে জল অপসারণের ফলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়।

4.6 বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থসমূহ (Antitrans Pirants)

সংজ্ঞা — বাষ্পমোচন হার হ্রাসকারী যেকোনো পদার্থকে বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থ (Antitrans Pirants) বলা হয়।

উদ্ভিদ মূল দিয়ে শোষিত জলের অধিকাংশই বাষ্পমোচনের মাধ্যমে উদ্ভিদদেহের বাইরে নির্গত হয়। যে মাটিতে জলের পরিমাণ কম সেইসব এলাকার উদ্ভিদকে স্বাভাবিক বাষ্পমোচনের ফলে একাধিক বিপাকীয় সমস্যার ও জল সংকটের সম্মুখীন হতে হয়। কৃত্রিম উপায়ে বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থ প্রয়োগ করে উদ্ভিদের সাধারণ বৃদ্ধি ও অন্যান্য বিপাকীয় ক্রিয়াকে অব্যাহত রেখে বাষ্পমোচন হার কমানো যায়। বর্ণহীন প্লাস্টিক, সিলিকন তৈল, অল্প সান্দ্রতা (Viscosity) বিশিষ্ট মোম উদ্ভিদের পাতায় প্রলেপরূপে প্রয়োগ করে বাষ্পমোচন প্রতিরোধ করা যায়। বর্তমানে বাষ্পমোচন প্রতিরোধীরূপে ফিনাইল মারকিউরিক অ্যাসিটেটের

(Phenyl mercuric acetate) ব্যবহার বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এর লঘু দ্রবণ (10^{-4}M) ব্যাবহার করলে পত্ররন্ধ্র আংশিক ভাবে বন্ধ হয় যার ফলে বাষ্পমোচন হার কমে যায়।

কোনো কোনো ক্ষেত্রে, অ্যাবসিসিক অম্ল নামক হরমোন প্রয়োগ করলেও বাষ্পমোচন হার কমে যায়।

4.7 নিঃস্রাবণ বা গাটেশন

নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলে শীতল রাত্রি ও উষ্ণ দিবার পর্যায় ক্রমিতার ফলে বসন্ত কালের শেষে উদ্ভিদের পত্র কিনারা থেকে ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র জলবিন্দু ক্ষরিত হয়। উদ্ভিদের জলীয় পদার্থের এই ক্ষরণকে নিঃস্রাবন বা গাটেশন (Guttation) বলে। নিঃস্রাবন শুধু বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদেই দেখা যায়। গাটেশনের ফলে পত্রাগ্র বা পত্রকিনারা দিয়ে নির্গত জলকে শিশির বিন্দু বলে ভুল হয়। কিন্তু এই জলের সাথে শর্করা, বিভিন্ন অ্যামাইনো অম্ল, খনিজ লবণ দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

যে সব উদ্ভিদে নিঃস্রাবণ ঘটে তাদের পাতার কিনারায় হাইজথোড নামক এক বিশেষ রন্ধ্র থাকে। হাইজথোডের নীচে পাতলা কোষ প্রাচীর বিশিষ্ট ও কোষান্তর রন্ধ্র সম্পন্ন একটা কোষ স্তর থাকে যা এপিথেম নামে পরিচিত। মূলজ চাপের ফলে উত্থিত লবণ মিশ্রিত জলের কিছু অংশ হাইজথোড বা জল পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে তরলাকারে নির্গত হয়।

অনুশীলনী - 2

1. **শূন্যস্থান পূরণ করুন।**
   a) বাষ্পমোচনের বাহ্যিক শর্ত হল _____ ও _____।
   b) কিছু কিছু জাঙ্গল উদ্ভিদের পাতায় _____ থাকায় বাষ্পমোচনের হার কম হয়।
   c) একটি বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থ হল _____।
2. **সঠিক উত্তরটি চিহ্নিত করুন।**
   a) আবহ মণ্ডলে জলীয় বাষ্পের চাপ বেড়ে গেলে বাষ্পমোচনের হার (কমে যায়/বেড়ে যায়)।
   b) বাষ্পমোচনের হার (বৃদ্ধিকারী/হ্রাসকারী) যে কোনো পদার্থকে বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থ বলে।
   c) নিঃস্রাবণ (গুল্ম জাতীয়/বীরুৎ জাতীয়/বৃক্ষ জাতীয়) উদ্ভিদে দেখা যায়।

4.9 সারাংশ

যে শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ার মাধ্যমে উদ্ভিদ দেহের অতিরিক্ত জল বাষ্পাকারে নির্গত হয় তাকে বাষ্পমোচন বলে। উদ্ভিদ পত্ররন্ধ্র, কিউটিকল বা লেন্টিসেলের মাধ্যমে বাষ্পমোচন সম্পন্ন করে। বাষ্পমোচন প্রধানত পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে হয়ে থাকে। পত্ররন্ধ্র সংলগ্ন দুইটি রক্ষীকোষের সক্রিয়তার ফলেই বাষ্পমোচন নিয়ন্ত্রিত হয়। পত্ররন্ধ্রের বন্ধ ও উন্মোচন প্রক্রিয়া প্রধানত স্টার্চ শর্করা মতবাদ ও ম্যালিক অম্ল মতবাদের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা হয়। অ্যাবসিসিক অম্ল, ফিনাইল, মারকিউরিক অ্যাসিটেট প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য বাষ্পমোচন প্রতিরোধী পদার্থ।

বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদে একটি বিশেষ প্রক্রিয়ার সাহায্যে হাইজমোড বা জলপত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে **খনিজ লবণ মিশ্রিত** জল তরলাকারে পাতায় কিনারা দিয়ে নির্গত হয়। এই প্রক্রিয়াকে নিঃস্রাবণ বলে।

4.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. বাষ্পমোচন কাকে বলে? বাষ্পমোচন কয় প্রকার ও কী কী?
2. বাষ্পমোচনের অভিস্রবণীয় ব্যাখ্যা সংক্ষেপে আলোচনা করুন।
3. টীকা লিখুন
   a) নিঃস্রাবণ
   b) বাষ্পমোচনের অন্তশর্তসমূহ
4. বাষ্পমোচনের বিভিন্ন শর্তসমূহ সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

4.10 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

1. a) পাতায়।
   b) দুইটি।
   c) খুলে যায়।
2. a) বৃক্কাকৃতির, রক্ষীকোষ।
   b) শ্বেতসার।

অনুশীলনী - 2

1. a) উষ্ণতা ও আলো।
   b) নিমজ্জিত পত্ররন্ধ্র।
   c) সিলিকন তৈল।
2. a) কমে যায়।
   b) হ্রাস পায়।
   c) বীরুৎ জাতীয়।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. 4.2 ও 4.3 অংশে আলোচিত।
2. 4.4 এর (1) অংশে আলোচিত।
3. a) 4.7 অংশে আলোচিত।
   b) 4.5 এর (B) অংশে আলোচিত।
4. 4.5 অংশে আলোচিত।

একক 5 ❑ খনিজ ও পুষ্টি

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা

5.2 উদ্দেশ্য

5.3 খনিজ লবণের সাধারণ ভূমিকা

5.4 খনিজ মৌলের শ্রেণিবিভাগ

5.5 বিভিন্ন মৌলগুলির শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া ও অভাবজনিত রোগলক্ষণ

5.5.1 অতিমাত্রিক মৌল

5.5.2 স্বল্পমাত্রিক মৌল

5.5.3 অন্যান্য খনিজ মৌল

5.6 সারাংশ

5.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

5.8 উত্তরসংকেত

5.1 প্রস্তাবনা

স্বভোজী উদ্ভিদ বাতাস থেকে কার্বন ডাই-অক্সাইড ও মাটি থেকে জল গ্রহণ করে ক্লোরোফিল ও সূর্যালোকের উপস্থিতিতে গ্লুকোজ জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন করে। শর্করাকে উদ্ভিদের প্রধান খাদ্য উপাদান বললেও উদ্ভিদ তার সার্বিক পুষ্টির জন্য মাটি থেকে অন্তত 17টি মৌল খনিজ লবণরূপে গ্রহণ করে। এই মৌলগুলি উদ্ভিদের পুষ্টি ও পরিস্ফূরণের জন্য অপরিহার্য বলে এদের অত্যাবশ্যক মৌল বলে। যে পদ্ধতিতে উদ্ভিদ খনিজ লবণ শোষণ ও আত্তীকরণ করে তাকে খনিজ পুষ্টি (Mineral nutrition) বলে। এই অধ্যায়ে আমরা উদ্ভিদ পুষ্টিতে খনিজ লবণের ভূমিকা ও এদের অভাবজনিত রোগলক্ষণ সম্পর্কে আলোচনা করব।

5.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- উদ্ভিদের পুষ্টিতে খনিজ লবণের প্রয়োজনীয়তা সম্পর্কে অবহিত হবেন।
- অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

- বিভিন্ন খনিজ মৌলের কার্যকারিতা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- খনিজ মৌলের অভাবজনিত রোগগুলি সম্পর্কে আলোচনা করতে পারবেন।

5.3 খনিজ লবণের সাধারণ ভূমিকা

কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ছাড়া উদ্ভিদের প্রয়োজনীয় অন্তত 17টি মৌল, উদ্ভিদের মূল দিয়ে **খনিজ লবণরূপে** শোষিত হয়। উদ্ভিদের মাধ্যমেই খনিজ লবণগুলি জীবদেহে প্রথম প্রবেশ করে বলে উদ্ভিদকে **খনিজ লবণ** আহরক বা উত্তোলক বলা হয়। এই খনিজ মৌলগুলি যে শুধু উদ্ভিদের পুষ্টিতেই অংশগ্রহণ করে তাই নয়, **বিভিন্ন** পর্যায়ের খাদক বা প্রাণীরাও উদ্ভিদের মাধ্যমে খনিজ পুষ্টিদ্রব্য গ্রহণ করে।

উদ্ভিদদেহের শুষ্ক ওজনের প্রায় শতকরা পাঁচভাগ হল খনিজ লবণ। উদ্ভিদবিজ্ঞানীরা অন্তত 17টি **খনিজ মৌলকে** উদ্ভিদ পুষ্টির একান্ত প্রয়োজনীয় উপাদান বলে মনে করেন। যে মৌলগুলি উদ্ভিদ পুষ্টির জন্য একান্ত **প্রয়োজনীয়** তাদের অত্যাবশ্যক মৌল বলা হয়। বিজ্ঞানী এ্যপস্টেইনের (Epstein, 1972) মতে কোন মৌলের অপরিহার্যতা **দু'টি** মূল নীতির উপর নির্ভরশীল :

1) মৌলটিকে উদ্ভিদের কোনো অত্যাবশ্যক জৈব পদার্থের উপাদানরূপে কাজ করতে হবে।

2) সেই মৌলের অনুপস্থিতিতে উদ্ভিদ তার জীবনচক্র সম্পূর্ণ করতে পারবে না।

খনিজ মৌল আয়নরূপে অথবা কোনো জৈব অণুর অংশরূপে অবস্থানকালে নিম্নোক্ত শারীরবৃত্তীয় কাজগুলি সম্পন্ন করে :

1) **প্রোটোপ্লাজম গঠনকারী কার্য ঃ-** বিভিন্ন খনিজ লবণগুলির মধ্যে সালফার ও ফসফোরাস **প্রোটিন ও** নিউক্লিক অম্লের, ম্যাগনেসিয়াম ক্লোরোফিলের ও নাইট্রোজেন প্রোটিন, নিউক্লিক অম্ল ও অসংখ্য প্রোটোপ্লাজমীয় জৈব রাসায়নিক পদার্থের মুখ্য উপাদান হিসাবে থাকে।

2) **কোষপ্রাচীরের উপাদানরূপে খনিজ মৌল ঃ-** কোষপ্রাচীর গঠনের আগে যে মধ্যচ্ছদা গঠিত হয় তা ক্যালসিয়াম পেকটেট দিয়ে তৈরি হয়। ক্যালসিয়াম কোষপ্রাচীর গঠনে বা কোষের ঋজুতা প্রদানে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। কিছু ঘাসজাতীয় উদ্ভিদের কোষপ্রাচীরে সিলিকনও সঞ্চিত হয়।

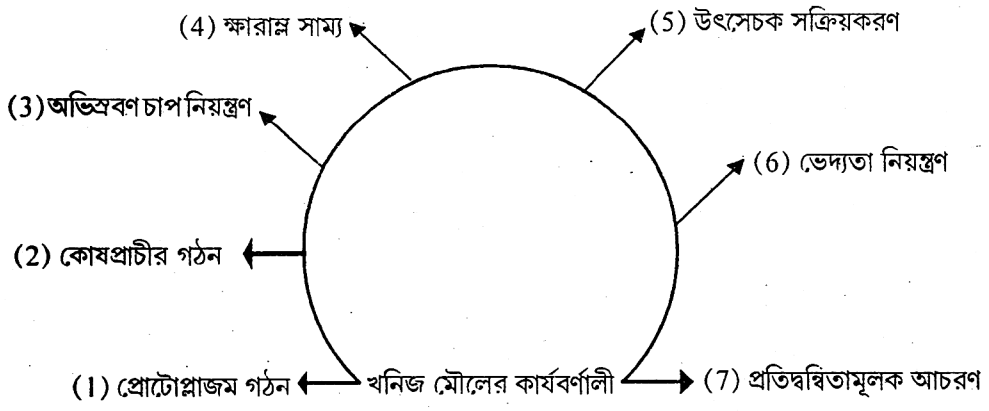
3) **অভিস্রবণ চাপ নিয়ন্ত্রণ ঃ-** বিভিন্ন খনিজ লবণ প্রোটোপ্লাজম বা কোষরসে দ্রবীভূত হয়ে কোষের অভিস্রবণ চাপ নিয়ন্ত্রণ করে।

4) **ক্ষারাম্ল সাম্য ঃ-** মূল দ্বারা শোষিত কার্বনেট ও ফসফেট যৌগগুলি বাফার (Buffer) হিসাবে কাজ **করে** কোষের ক্ষারাম্ল সাম্য (Acid base balance) বজায় রাখে।

5) **কোষ পর্দার ভেদ্যতা নিয়ন্ত্রণ ঃ-** Ca ও অন্যান্য দ্বিযোজী ও ত্রিযোজী ক্যাটায়নগুলি কোষ পর্দার ভেদ্যতা হ্রাস করে। অপরদিকে, একযোজী ক্যাটায়নগুলি কোষ পর্দার ভেদ্যতা বাড়িয়ে দেয়।

6) **উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর ঃ** কয়েকটি মৌল উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টররূপে কাজ করে উৎসেচককে সক্রিয় করে। যেমন ম্যাঙ্গানিজ আর্জিনেজ, ম্যাগনেসিয়াম ফসফাটেজ ও কাইনেজ, কোবাল্ট আর্জিনেজ ও পেপটাইডেজ, জিঙ্ক। AA অক্সিডেজ উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর। কোষ-পর্দার সক্রিয় পরিবহন নিয়ন্ত্রণকারী ATPase উৎসেচকটির ক্রিয়া সোডিয়াম ও পটাসিয়াম আয়নের উপর সম্পূর্ণভাবে নির্ভরশীল।

7) **খনিজ মৌলের প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক ফল (Antagonium of salts) ঃ-** সোডিয়াম ক্লোরাইড সমুদ্রের জলে যে ঘনত্বে উপস্থিত থাকে সেই একই ঘনত্বের সোডিয়াম ক্লোরাইডের দ্রবণে যে কোনো সামুদ্রিক জীব রাখলে তার মৃত্যু হবে। এর কারণ হল সোড়িয়াম ক্লোরাইড কোষপর্দার ভেদ্যতা অস্বাভাবিক ভাবে বাড়িয়ে দেয়। কিন্তু উক্ত দ্রবণে অল্প পরিমাণে ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড যুক্ত করলে কোষ পর্দার ভেদ্যতা কমে আসার ফলে সামুদ্রিক জীব বসবাস করার উপযুক্ত হয়ে উঠবে; অর্থাৎ একটি লবণের বিষক্রিয়া অন্য লবণের আয়নের সাহায্যে প্রশমিত হয়। যে দ্রবণে বিভিন্ন ধরনের লবণের আয়ন উপস্থিত থাকে এবং একটি লবণ অন্য লবণের বিষক্রিয়াকে প্রশমিত করে জীবের বসবাসের উপযুক্ত করে তোলে তাকে Balanced solution বা সুষম দ্রবণ বলে। স্বভাবতই সমুদ্রের জল হল এর প্রকৃষ্ট উদাহরণ। একটি লবণের বিষক্রিয়া অন্য লবণের আয়ণের সাহায্যে প্রশমিত হওয়ার ঘটনাকে Antusonium of salts বলে।



5.4 খনিজ মৌলের শ্রেণিবিভাগ

উদ্ভিদের ।7টি অত্যাবশ্যক খনিজ মৌলকে তাদের আপাত ঘনত্ব ও শারীরবৃত্তীয় প্রয়োজনীয়তার ভিত্তিতে অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌলরূপে শ্রেণিবিভাগ করা হয়।

অতিমাত্রিক মৌল — আমরা সেই মৌলগুলিকে অতিমাত্রিক মৌল বলি যেগুলি —

i) উদ্ভিদের পুষ্টিতে বেশি পরিমাণে ব্যবহৃত হয়।

ii) উদ্ভিদের 1kg. শুষ্ক ওজনে এদের পরিমাণ 10mmol এর বেশি থাকে।

iii) উদ্ভিদের দেহগঠনে প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে।

উদ্ভিদের সর্বজনস্বীকৃত ন'টি অতিমাত্রিক মৌল হল হাইড্রোজেন, কার্বন, অক্সিজেন (এই তিনটি মৃত্তিকা থেকে খনিজ লবণরূপে গ্রহীত হয় না), নাইট্রোজেন, পটাসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, ফসফরাস ও সালফার।

স্বল্পমাত্রিক মৌল— আমরা সেই মৌলগুলিকেই স্বল্পমাত্রিক মৌল বলি, যারা —

i) উদ্ভিদ পুষ্টিতে সামান্য পরিমাণে (Trace amount) ব্যবহৃত হয়।

ii) উদ্ভিদদেহের প্রতি কে.জি শুষ্ক ওজনে যাদের পরিমাণ ও 3mmol বা তারও কম।

iii) প্রত্যক্ষভাবে কোষীয় উপাদান গঠনে ব্যবহৃত হয় না।

আটটি স্বল্পমাত্রিক মৌল হল ক্লোরিন, বোরন, লৌহ, ম্যাঙ্গানিজ, দস্তা, তামা, নিকেল ও মলিবডেনাম।

সারনি - 1 উদ্ভিদদেহে ব্যবহৃত বিভিন্ন মৌলগুলির নাম, সঙ্কেত, শুষ্ক ওজনভিত্তিক পরিমাণ, পারমাণবিক ওজন, শোষণযোগ্য রূপ ও কোষে মলেবডিনামের তুলনায় তাদের আপেক্ষিক ঘনত্ব নীচের সারণীতে দেওয়া হল। (উৎস-এপ্‌স্টেইন, 1994)

মৌল	সংকেত	পারমাণবিক ওজন	শুষ্ক ওজন ভিত্তিক পরিমাণ (μmolg)	শোষণযোগ্য রূপ	আপেক্ষিক ঘনত্ব* (মলেবডিনামের তুলনায় পরমাণুর সংখ্যা
জল বা বাতাসরূপে গ্রহীত					
1. হাইড্রোজেন	H	1.01	60,000	H_2O	6×10^7
2. কার্বন	C	12.01	40,000	CO_2	4×10^7
3. অক্সিজেন	O	16.01	30,000	O_2, CO_2, H_2O	3×10^7
মৃত্তিকা থেকে গ্রহীত অতিমাত্রিক					
1. নাইট্রোজেন	N	14.01	1000	No_3^-, NH_4^+	1×10^6
2. পটাসিয়াম	K	39.01	250	K^+	2.5×10^5
3. ক্যালসিয়াম	Ca	40.08	125	Ca^{2+}	1.25×10^5
4. ম্যাগনেসিয়াম	Mg	24.32	80	Mg^{2+}	8×10^4

মৌল	সংকেত	পারমাণবিক ওজন	শুষ্ক ওজন ভিত্তিক পরিমাণ (μmolg)	শোষণযোগ্য রূপ	আপেক্ষিক ঘনত্ব* (মলেবডিনামের তুলনায় পরমাণুর সংখ্যা
5. ফসফোরাস	P	30.98	60	HPO_4^-, HPO_4^{-2}	6×10^4
6. সালফার	S	32.07	30	SO_4^{2-}	3×10^4
7. সিলিকন**	Si	28.09	30	মনোসিলিসিক অ্যাসিড	3×10^4
অতিমাত্রিক					
1. ক্লোরিন	Cl	35.46	3.0	Cl	3×10^3
2. বোরন	B	10.82	2.0	BO_3^{3-}	2×10^3
3. লৌহ	Fe	55.85	2.0	Fe^{2+}, Fc^{3+}	2×10^3
4. ম্যাঙ্গানিজ	Mn	54.94	1	Mn^2	1×10^3
5. সোডিয়াম**	Na	21.91	0.4	Na^+	4×10^2
6. দস্তা	Zn	65.38	0.3	Zn^{2+}	3×10^2
7. তামা	Cu	63.54	0.1	Cu^{2+}	1×10^2
8. নিকেল	Ni	58.69	0.002	Ni^{2+}	2
9. মলিবডেনাম	Mo	95.95	0.001	Mo^{2-}	1

* মলিবডেনামের ঘনত্ব উদ্ভিদদেহে সবচেয়ে কম বলে তার আপেক্ষিক ঘনত্ব 1 ধরা হয়েছে।

** অনেক বৈজ্ঞানিক সিলিকন ও সোডিয়ামকে অত্যাবশ্যক মৌলরূপে গণ্য করেন নি।

অনেক বৈজ্ঞানিক উদ্ভিদে তুলনামূলক পরিমাণের ভিত্তিতে সমস্ত মৌলকে পাঁচভাগে ভাগ করেছেন

1) **অপরিহার্য প্রাথমিক মৌল** — যে মৌলগুলি সর্বাধিক পরিমাণে প্রয়োজন এবং উদ্ভিদদেহের শুষ্ক ওজনের 1-60% এই মৌলগুলি দ্বারা গঠিত হয়। উদাহরণ - কার্বন, হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, ফসফরাস, নাইট্রোজেন।

2) **অপরিহার্য গৌণ মৌল** — এরাও উদ্ভিদের পুষ্টির জন্য অত্যাবশ্যক এবং উদ্ভিদদেহের 0.05-1% এই মৌলগুলি দিয়ে গঠিত। যেমন - পটাসিয়াম, সালফার, ক্যালসিয়াম, আয়রন, ম্যাগনেসিয়াম, সোডিয়াম ও ক্লোরিন।

3) **অপরিহার্য স্বল্পমাত্রিক মৌল** — এরা অত্যন্ত কম পরিমাণে ব্যবহৃত হলেও উদ্ভিদের পুষ্টির জন্য অত্যাবশ্যক। উদ্ভিদ ওজনের মাত্র 0.005% এই মৌলগুলি দিয়ে গঠিত। বোরন, কপার, ফ্লোরিন, আয়োডিন, ম্যাঙ্গানিজ, সিলিকন প্রভৃতি এই শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত।

4) **পরিবর্তনশীল গৌণ মৌল** — এই মৌলগুলির পরিমাণ উদ্ভিদদেহে পরিবর্তনশীল যদিও অনেক উদ্ভিদে এরা উল্লেখযোগ্য পরিমাণে থাকে, যেমন ব্রোমিন, টাইটেনিয়াম, দস্তা, ভ্যানডিয়াম প্রভৃতি।

5) **পরিবর্তনশীল স্বল্পমাত্রিক মৌল** — এরা উদ্ভিদদেহে অত্যল্প পরিমাণে থাকে এবং সব উদ্ভিদে এদের কার্যকারিতা প্রমাণিত হয় নি, যেমন — অ্যালুমিনিয়াম, বেরিয়াম, বেরিলিয়াম, ক্যাডমিয়াম, সিজিয়াম, ক্রোমিয়াম, কোবাল্ট, জেরানিয়াম, মলেবডিনাম, নিকেল, রূপা, স্ট্রনসিয়াম প্রভৃতি।

খনিজ মৌলকে উদ্ভিদদেহে উপস্থিতির পরিমাণ অনুসারে স্বল্পমাত্রিক ও অতিমাত্রিক এই শ্রেণিতে বিভক্ত করার পদ্ধতিটি অবৈজ্ঞানিক বলে মনে করা যায় — কারণ, 1) উদ্ভিদের শারীরবৃত্তিক চাহিদা অনুসারে প্রজাতিভেদে মৌলগুলির পরিমাণ বিশেষভাবে পরিবর্তনশীল যেমন সিলিকন ঘাসজাতীয় উদ্ভিদের গঠনগত উপাদান হলেও জলজ উদ্ভিদে এরা প্রায়ই অনুপস্থিত। 2) উদ্ভিদকলার প্রকৃতিভেদে মৌলগুলির পরিমাণও বিশেষভাবে পরিবর্তনশীল যেমন Mg অতিমাত্রিক এবং Fe ও Mn স্বল্পমাত্রিক মৌল হলেও মেসোফিল কলায় এদের ঘনত্ব প্রায় কাছাকাছি থাকে। এই কারণেই আধুনিক উদ্ভিদ শারীরবিজ্ঞানীরা প্রয়োজনীয় মৌলগুলিকে জৈব-রাসায়নিক ও শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ার ভিত্তিতে শ্রেণিবিভাগ করেছেন।

সারনি - 2 উদ্ভিদের প্রয়োজনীয় মৌলগুলির আধুনিক শ্রেণিবিভাগ (উৎস - মেনজেল ও কিরবি (Mengel and Kirby, 1987)

বিভাগ	কার্য	মৌলের উদাহরণ
1.	এই বিভাগের অন্তর্গত মৌলগুলি জৈব যৌগ গঠনে অংশগ্রহণ করে।	নাইট্রোজেন, সালফার
2.	এই বিভাগের মৌলগুলি শক্তি সঞ্চয় করে ও গঠনগত সংহতি বজায় রাখে।	ফসফরাস, বোরন, সিলিকন
3.	এই বিভাগের মৌলগুলি আয়ণরূপে বর্তমান থাকে।	পটাসিয়াম, সোডিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাঙ্গানিজ, ক্লোরিন
4.	এই মৌলগুলি ইলেকট্রন পরিবহনে অংশগ্রহণ করে।	লৌহ, তামা, দস্তা, মলেবডেনাম, নিকেল।

অনুশীলনী - 1

A) **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন**

1. কোন অত্যাবশ্যক মৌলগুলি উদ্ভিদ মাটি থেকে সংগ্রহ করে না?
2. দু'টি মৌলের নাম করুন যারা কোষের ইলেকট্রন পরিবহনে অংশগ্রহণ করে?
3. কোষপ্রাচীরের গঠনগত উপাদানরূপে ব্যবহৃত হয় এরূপ দু'টি মৌলের নাম লিখুন।

4. 'শুধু পরিমাণ ভিত্তিক দৃষ্টিভঙ্গিতে মৌলগুলিকে অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক শ্রেণিতে বিভাজনের রীতি অবৈজ্ঞানিক'— এই মন্তব্যের সমর্থনে দু'টি যুক্তি দিন।

B) **শূন্যস্থান পূরণ করুন।**

1. ——— মৌলটি উদ্ভিদদেহে সর্বাধিক পরিমাণে থাকে।
2. ——— ও ——— যৌগগুলি কোষে বাফাররূপে কাজ করে।
3. কোষের জৈব উপাদান গঠনকারী দু'টি অজৈব উপাদানের নাম ——— ও ———।
4. সর্বাধিক পরমাণবিক ওজনযুক্ত অত্যাবশ্যক মৌলটি হল ———।

C) **বাম ও ডানদিকের ব্যাকাংশের অর্থবোধক সমন্বয় সাধন করুন।**

বামদিক	ডানদিক
1. শক্তি উৎপাদনকারী যৌগ ATP তে	1. Caএর উপর নির্ভরশীল।
2. ATP ase উৎসেচকটির ক্রিয়া	2. ক্রোমিয়াম ও কোবাল্ট।
3. কোষ প্রাচীর গঠন প্রধানত	3. সিলিকন ও সোডিয়াম।
4. দু'টি পরিবর্তনশীল স্বল্পমাত্রিক মৌল হল	4. ফসফেট মৌল বর্তমান।
5. দু'টি বিতর্কিত অপরিহার্য মৌল হল	5. Na ও K এর উপর নির্ভরশীল।

5.5 মৌলগুলির শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া ও অভাবজনিত রোগলক্ষণ

আমরা এই এককের প্রথম পর্যায়ে বিভিন্ন অত্যাবশ্যক মৌলগুলির নাম ও তাদের শ্রেণিবদ্ধকরণের বিভিন্ন পদ্ধতি সম্বন্ধে আলোচনা করলাম। এই পর্যায়ে বিভিন্ন মৌলগুলির শোষণযোগ্যরূপ, শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া ও অভাবজনিত লক্ষণগুলি সম্পর্কে অবহিত হব।

5.5.1 অতিমাত্রিক মৌল

নাইট্রোজেন (N)

শোষণযোগ্য রূপ — অধিকাংশ উদ্ভিদ নাইট্রোজেনকে মৃত্তিকা থেকে নাইট্রেট (NO_3^-) বা অ্যামোনিয়াম (NH_4^+) আয়নরূপে শোষণ করে। Rhizobium জাতীয় ব্যাকটেরিয়া অবশ্য শিম্ব জাতীয় উদ্ভিদমূলে বাতাসের নাইট্রোজেনকে সরাসরি সংবন্ধন করে অ্যামোনিয়াতে রূপান্তরিত করে।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) উদ্ভিদের অত্যাবশ্যক জৈব যৌগগুলির অধিকাংশই নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ। নিউক্লিক অম্লের পিউরিন ও পিরিমিডিন অণুগুলি, প্রোটিনের একক অ্যামাইনো অম্লগুলি নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ। তাই এক কথায় বলা যায় যে সমস্ত শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণকারী DNA, RNA, প্রোটিন ও উৎসেচক উৎপাদন নাইট্রোজেনের অনুপস্থিতিতে সম্ভব নয়।

2) বিভিন্ন ভিটামিন ও উপক্ষারের অত্যাবশ্যক উপাদান হল নাইট্রোজেন।

3) উদ্ভিদের ক্লোরোফিল উৎপাদন কোষের নাইট্রোজেনের মাত্রার উপর নির্ভরশীল। উদ্ভিদের কচি পাতাগুলি তুলনামূলকভাবে বৃদ্ধ পাতা থেকে N_2 (অ্যামিন ও অ্যামাইডরূপে) গ্রহণ করে দীর্ঘদিন সবুজ ও সজীব থাকে।

4) নাইট্রোজেনের উপস্থিতিতে পত্র উৎপাদনের হারও বেড়ে যায়।

5) পর্যাপ্ত নাইট্রোজেনের উপস্থিতিতে কাণ্ড ও মূলের অনুপাত বেড়ে যায় অর্থাৎ কাণ্ডটি অধিক বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় কিন্তু মূলতন্ত্র খর্ব হয়ে যায়।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) নাইট্রোজেনের অভাবে উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধি হ্রাস পায়।

2) উদ্ভিদের পাতায় ক্লোরোফিলের অভাব দেখা যায় — এই রোগ লক্ষণকে ক্লোরোসিস (Chlorosis) বলে।

3) নাইট্রোজেনের অভাবে অ্যান্থোসায়ানিন রঞ্জককণা সঞ্চিত হবার ফলে কান্ড, পাতা ও শিরাগুলি হালকা গোলাপি বর্ণ ধারণ করে।

4) নাইট্রোজেন মাটিতে কম থাকলে মূলতন্ত্র অনেক সময় বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয় কিন্তু বিটপ অংশটি খর্বাকার হয়ে যায়।

ফসফরাস (P)

শোষণযোগ্যরূপ — অধিকাংশ উদ্ভিদই মৃত্তিকা থেকে ফসফেট, আয়নরূপে ($H_2PO_4^-$ ও $H_2PO_4^{2-}$) ফসফরাস শোষণ করে। মাটিতে অজৈব ফসফরাস, H_3PO_4 বা ফসফোরিক অম্লরূপে অবস্থান করে। মাটির pH, ফসফোরিক অ্যাসিড শোষণে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। pH 6.8 এর নীচে অর্থাৎ আম্লিক হলে ফসফোরিক অ্যাসিড মনোভ্যালেন্ট বা একযোজী আয়নরূপে (H_2PO_4) অবস্থান করে যা মূল দিয়ে দ্রুত শোষিত হয়। সামান্য ক্ষারীয় মৃত্তিকায় (pH 7.2) এই অম্ল ডাইভ্যালেন্ট রূপে ($H_2PO_4^{2-}$) অবস্থান করে যা উদ্ভিদ তুলনামূলকভাবে কম শোষণ করতে পারে। মৃত্তিকা আরও ক্ষারীয় হলে এই অম্ল ট্রাইভ্যালেন্টরূপে ($H_2PO_4^{3-}$) থাকে যা আদৌ শোষণযোগ্য নয়। এককথায়, ক্ষারীয় মৃত্তিকায় ফসফরাস মূল দিয়ে সহজে শোষিত হয় না বলে এই মৃত্তিকায় বসবাসকারী উদ্ভিদে ফসফরাসের অভাব দেখা যায়। মাটির pH 6-7 এর মধ্যে থাকলে ফসফরাস শোষণ সবচেয়ে ভালোভাবে হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) ফসফরাস, নিউক্লিওসাইডের সাথে যুক্ত হয়ে নিউক্লিওটাইড গঠন করে যা নিউক্লিক অম্লের পরিকাঠামো গঠনের জন্য একান্ত আবশ্যক।

2) পিরিডকসাল ফসফেটের মাধ্যমে উদ্ভিদকোষে ট্রান্সঅ্যামাইনেশন বা অ্যামাইনো অম্লের রূপান্তরভবন ঘটে।

3) শ্বসনজাত শক্তি যে ATP অণুর মধ্যে আবদ্ধ হয় তা হল একটি ফসফেট জাতীয় জৈব অণু।

4) ফসফরাস প্রোটিন সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে।

5) কোষপর্দার ফসফোলিপিড গঠনে এই মৌলের ভূমিকা অত্যাবশ্যক।

6) ফল ও বীজ উৎপাদনের সময় ফসফরাসের বিপাক লক্ষ করা যায়।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) উদ্ভিদদেহে ফসফরাসের অভাব ঘটলে এই মৌলটি দ্রুত পাতা থেকে অন্যত্র স্থানান্তরিত হয়। সম্ভবত এই কারণেই গাছের পাতাতেই ফসফরাস ঘটিত অভাব সবচেয়ে আগে লক্ষ করা যায়। ফসফরাসের অভাবে পাতার রং গাঢ় সবুজ হয়। অতিরিক্ত অভাব ঘটলে পাতা বিকৃত ও কুঞ্চিত হয় এবং পাতায় পচনজনিত দাগ দেখা যায়। কয়েকটি প্রজাতিতে অ্যান্থোসায়ানিন সঞ্চিত হবার ফলে পাতা নীলচে বেগুনি বর্ণের হয়।

2) ফসফরাসের অভাবে গাছের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এবং কাণ্ড সরু হয়ে যায়।

3) ফুল ও ফলের উৎপাদন কমে যায়।

4) ফসফরাস অভাবগ্রস্ত উদ্ভিদে প্রোটিন সংশ্লেষ ব্যাহত হয় এবং অধিকমাত্রায় শর্করা সঞ্চিত হয়।

পটাশিয়াম (K)

শোষণযোগ্য রূপ — পটাসিয়াম মনোভ্যালেন্ট ক্যাটায়নরূপে (K^+) মূল দিয়ে শোষিত হয়। পটাসিয়ামের লবণ, জলে অতিরিক্ত মাত্রায় দ্রবণীয় বলে মূল সহজেই এই মৌলকে শোষণ করতে পারে।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) K^+ আয়নের প্রভাবে কোষের রসস্ফীত চাপ পরিবর্তিত হয়। K^+ আয়নের অনুপ্রবেশের ফলে রক্ষীকোষের রসস্ফীত চাপ বেড়ে যায় ও পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়।

2) সালোকসংশ্লেষ ও শ্বসনের বিভিন্ন উৎসেচক K^+ আয়নের প্রভাবে সক্রিয় হয়। পাইরুভেট কাইনেজ ও ফ্রুক্টোকাইনেজ ক্রিয়া K^+ আয়নের দ্বারা সবচেয়ে বেশি প্রভাবিত হয়।

3) পটাসিয়াম 40টির চেয়েও বেশি উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে।

4) K^+ সক্রিয় পরিবহনে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) পটাসিয়ামের অভাবে দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতায় বিক্ষিপ্ত ক্লোরোসিস (mottled chlorosis) লক্ষ করা যায় ও অভাব দীর্ঘস্থায়ী হলে পচন দেখা যায়। একবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতায় এই মৌলের অভাবে পাতার অগ্রস্থ ও প্রান্তীয় কোষগুলির সবচেয়ে আগে মৃত্যু ঘটে এবং পরে পাতার নিম্নাংশে পচন দেখা যায়।

2) ধান, গম প্রভৃতি দানাশস্যের কাণ্ড দুর্বল হয় এবং মূলগুলি সহজেই জীবাণু দ্বারা আক্রান্ত হয়।

3) এই মৌলের ঘাটতি হলে একবীজপত্রী উদ্ভিদগুলি দুর্বল হয়ে মাটিতে লুটিয়ে (Lodging) পড়ে।

4) এই মৌলের পরিমাণ কম হলে ডায়াসটেজ ও ক্যাটালেজের ক্রিয়ার হার কমে যায়।

5) K অভাবগ্রস্ত কোষে সাইটোক্রোমের মাধ্যমে ইলেকট্রন পরিবহন ক্রিয়া ব্যাহত হয়।

6) Kএর অভাবে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে খাদ্য সংবহনের হার কমে যায়।

7) কোষে পটাসিয়ামের অভাবে প্রোটিন দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয় এবং প্রোটোপ্লাজমের স্বাভাবিক গঠন বিনষ্ট হয়।

ক্যালসিয়াম (Ca)

শোষণযোগ্য রূপ — ক্যালসিয়াম ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়ন (Ca^{2+}) রূপে শোষিত হয়। মৃত্তিকায় প্রচুর পরিমাণে (Ca) থাকায় এই মৌল সাধারণত প্রচুর পরিমাণে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) ক্যালসিয়াম মৌল পেকটিক অম্লের সাথে যুক্ত হয়ে ক্যালসিয়াম পেকটেট গঠন করে। কোষ প্রাচীরের মধ্যচ্ছদা ক্যালসিয়াম পেকটেট দিয়ে গঠিত হয় বলে Ca কোষকে ঋজুতা প্রদান করে। উদ্ভিদের গ্রহীত ক্যালসিয়ামের প্রায় 70 ভাগ কোষ প্রাচীর তৈরিতে ব্যবহৃত হয়।

2) Ca^{2+}, অ্যামাইলেজ উৎসেচকের ক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে শ্বেতসার পরিপাকে সহায়তা করে।

3) নাইট্রেট বিজারণে Ca^{2+} উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

4) ATP ও ফসফোলিপিডের আর্দ্রবিশ্লেষণে সহায়তা করে।

5) Ca^{2+} বেমতন্ত্র গঠনে সহায়তা করে।

6) ক্যালসিয়াম আয়ন, ক্যালমডিউলিন নামক প্রোটিনের সাথে যুক্ত হয়ে ক্যালমডিউলিন ক্যালসিয়াম কম্‌প্লেক্স গঠন করে কোষের বিভিন্ন বিপাকক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।

7) এই মৌল কোষের আয়তন বৃদ্ধিতে সহায়তা করে।

8) পরাগরেণু থেকে পরাগনালি গঠনে সাহায্য করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) ক্যালসিয়াম যেহেতু কোষ বিভাজন ও কোষপ্রাচীর গঠনে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে তাই ভাজক কলায় এই মৌলের অভাব সবচেয়ে আগে প্রকাশ পায়। এর অভাবে কোষের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এবং অধিক অভাবে মূল ও কাণ্ডের অগ্রভাগের কলাস্তরে পচন দেখা যায়।

2) অপরিণত পাতার গঠনবিকৃতি ও পচন দেখা যায়।

3) মূল বাদামি বর্ণ ধারণ করে এবং খর্বাকৃতি ও প্রচুর শাখাসমন্বিত হয়। Ca এর অণুপস্থিতিতে মূলের বৃদ্ধি সম্পূর্ণরূপে ব্যাহত হতে পারে।

4) ক্যালসিয়ামের অভাবে পাতায় শর্করার পরিমাণ বেড়ে যায় কিন্তু অন্যান্য উদ্ভিদ অঙ্গে ক্যালসিয়ামের মাত্রা কমে যায়। অনেকে মনে করেন যে অভাবজনিত কারণে শর্করার পরিবহন ব্যাহত হবার ফলেই উদ্ভিদ অঙ্গে শর্করার ভারসাম্য নষ্ট হয়।

ম্যাগনেসিয়াম (Mg)

শোষণযোগ্য রূপ — এই মৌলটি ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়ন (Mg^{2+}) রূপে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) ম্যাগনেসিয়াম ক্লোরোফিল উৎপাদনে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

2) Mg^{2+} আয়ন কার্বক্সিলেজ, এনোলেজ, হেক্সোকাইনেজ, ফসফোগ্লুকোকাইনেজ প্রভৃতি উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টররূপে কাজ করে। যে সমস্ত উৎসেচক ফসফেট গ্রুপের স্থানান্তরণ ঘটায় Mg^{2+} তাদের ক্রিয়াকে বিশেষভাবে ত্বরান্বিত করে।

3) এই মৌলটি স্নেহ পদার্থের বিপাক নিয়ন্ত্রণ করে।

4) DNA ও RNA সংশ্লেষে ম্যাগনেসিয়াম বিশেষভাবে কার্যকরী হয়।

5) Mg^{2+} প্রোটিন সংশ্লেষের সময় পলিরাইবোজেম গঠনে ও ZRNA কে সক্রিয় করতে সাহায্য করে।

6) উদ্ভিদের ফসফেট বিপাকে এই মৌলের ভূমিকা বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) ম্যাগনেসিয়ামের অভাবে ক্লোরোফিল উৎপাদন বিশেষভাবে ব্যাহত হয় ও ফলস্বরূপ পাতায় ক্লোরোসিস লক্ষ্য করা যায়। ক্লোরোসিস প্রধানত আন্তশিরাল প্রকৃতির হয়।

2) এই মৌলের অভাবে অ্যান্থোসায়ানিনের পরিমাণ বেড়ে যাওয়ায় পাতা ও কাণ্ড বেগুনি বা গোলাপি বর্ণ ধারণ করে।

3) পাতার অকালপতন লক্ষ করা যায়।

সালফার (S)

শোষণযোগ্য রূপ — ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়নরূপে সালফার মাটি থেকে গ্রহীত হয়। মাটিতে সালফারের অভাব সাধারণত দেখা যায় না কারণ মৃত্তিকাস্থিত ব্যাকটেরিয়া জৈব সালফার ও সালফাইডকে জারিত করে মৃত্তিকায় অজৈব সালফার মুক্ত করে। এছাড়া বায়ুদূষণের ফলে বাতাসের (So_2) ও (So_3) সরাসরি পাতার মধ্য দিয়ে উদ্ভিদদেহে প্রবেশ করে।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) সিসটিন, সিসটাইন ও মিথিওনিন নামক অ্যামাইনো অম্ল তিনটির উপাদান হিসাবে সালফার উপস্থিত থাকে।

2) বায়োটিন, লিপোয়িক অম্ল, থায়ামিন পাইরোফসফেট প্রভৃতি যৌগগুলির উপাদানরূপে কাজ করে।

3) শ্বসনে অপরিহার্য CoA একটি সালফার ঘটিত যৌগ।

4) পেঁয়াজ, রসুন প্রভৃতিতে জীবাণু প্রতিরোধক সিনিগ্রিন নামক যৌগটি একটি সালফার সমন্বিত গ্লাইকোসাইড।

5) সালফার শিম্বজাতীয় উদ্ভিদের নাইট্রোজেন সংবন্ধনের হার বাড়িয়ে দেয়।

6) সোয়াবিন, বাদাম প্রভৃতি তৈলবীজে এই মৌলটি স্নেহ পদার্থের পরিমাণ বাড়িয়ে দেয়।

7) ক্লোরোফিল সংশ্লেষে সহায়তা করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) সালফারের অভাবজনিত লক্ষণ প্রধানত কচি পাতায় লক্ষ করা যায়। প্রোটিনের অভাবে শিরার চারপাশে ক্লোরোসিস দেখা যায়।

2) উদ্ভিদ খর্বাকৃতির হয় এবং কয়েকটি গাছের পাতায় পচন দেখা যায়।

3) সালফারে অভাবে লেবু জাতীয় ফলের রসাল অংশটি শুকিয়ে যায়।

অনুশীলনী

A) **সঠিক উত্তরটির পাশে ✓ চিহ্ন দিন—**

1. ম্যাগনেসিয়মের অভাবে ক্লোরোসিস দেখা যায় ☐।
2. আম্লিক মৃত্তিকায় ফসফরাসের শোষণ ব্যাহত হয় ☐।

3. ক্যালসিয়ামে প্রধানত (Ca^{2+}) আয়ণরূপে শোষিত হয় □।

4. বাতাস থেকেও প্রত্যক্ষভাবে নাইট্রোজেন শোষণ সম্ভব □।

5. পটাসিয়ামের অভাবে ক্যাটালেজের সক্রিয়তা কমে যায় □।

B. **সংক্ষেপে উত্তর দিন**

1. খনিজ মৌলের অভাব অধিকাংশ ক্ষেত্রেই কেন গাছের অগ্রভাগে দেখা যায়?

2. ক্লোরোসিস কাকে বলে?

3. নাইট্রোজেন প্রোটোপ্লাজম গঠনকারী উপাদান বলা হয় কেন?

4. তিনটি সালফার ঘটিত অ্যামাইনো অম্লের নাম লিখুন।

C. **সঠিক উত্তরটির নীচে দাগ দিন।**

1. সক্রিয় পরিবহনে অংশগ্রহণ করে K/N/S

2. যে রঞ্জকপদার্থটি প্রায়ই Mg ও P এর অভাবে বেশি পরিমাণে সংশ্লিষ্ট হয় সেটি হল ক্যারোটিন / অ্যান্থোসায়ানিন / মেলানিন।

3. মাটি থেকে ফসফেট সর্বাধিক শোষিত হয় H_2PO_4 /$H_2PO_4^{2-}$ /$H_2PO_4^{3-}$ রূপে।

5.5.2 স্বল্পমাত্রিক মৌল

লৌহ (Fe)

শোষণযোগ্য রূপ — লৌহ ফেরিক (Fe^{3+}) ও ফেরাস (Fe^{2+}) আয়নরূপে শোষিত হয় তবে বেশির ভাগ মৌলই Fe^{2+} রূপে উদ্ভিদদেহে প্রবেশ করে, কারণ Fe^{3+} অপেক্ষা Fe^{2+} বেশি দ্রবণীয়। সমস্ত স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলির মধ্যে লৌহ সবচেয়ে বেশি মাত্রায় প্রয়োজন হয় তাই লোহাকে অনেকে অতিমাত্রিক মৌলরূপে অ্যাখ্যা দেন।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) সালোকসংশ্লেষের ও শ্বসনের দু'টি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ ফেরিডক্সিন ও সাইটোক্রোম লৌহঘটিত উপাদান — তাই এই মৌল ওই দু'টি অত্যাবশ্যক শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকে প্রভাবিত করে। এই যৌগ দু'টি ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

2) লৌহ ক্লোরোফিল সংশ্লেষের জন্য বিশেষভাবে প্রয়োজন।

3) শ্বসনের দু'টি গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচক — একোনাইটেজ ও সাকসিনেট ডিহাইড্রেজেনেস উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর রূপে কাজ করে। এছাড়া লৌহ নাইট্রোজেনেস ও নাইট্রেট রিডাকটেজ উৎসেচকের উপাদান বলে এই মৌল নাইট্রোজেন সংবন্ধনেও সহায়তা করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) এই মৌলের অভাবে আন্তঃশিরাল ক্লোরোসিস দেখা দেয়।

2) লৌহের অভাবে ক্লোরোপ্লাস্টের আয়তন হ্রাস পায়।

3) এই মৌলটি পরিমাণ কম হলে কিছু শিম্ব জাতীয় উদ্ভিদের ভাজক কলার কোষ বিভাজন ব্যাহত হতে দেখা যায়।

4) লৌহের অভাবে মূলের বহিস্ত্বক থেকে ট্রান্সফার কোষ নামক একপ্রকার কোষ তৈরি হয় যা মাটিতে প্রচুর পরিমাণে (H^+), ক্যাফেইক অ্যাসিড ও বিজারণ ধর্মী উৎসেচক নিঃসৃত করে। নিঃসৃত H^+ মাটির pHকে কমিয়ে দেয় এবং আম্লিক পরিবেশে Fe^{3+} আয়ন ক্যাফেইক অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়ে জটিল যৌগ বা চিলেট গঠন করে। মূল এই চিলেটের সংস্পর্শে আসলে বিজারণধর্মী উৎসেচকের সাহায্যে Fe^{3+} কে Fe^{2+} আয়নে রূপান্তরিত করে শোষণ করে। এই বিশেষ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে উদ্ভিদ নিজেই লৌহের অভাব দূর করতে পারে।

5) লৌহের অভাবে মটর মূলের ভাজক কলায় কোষ বিভাজনের হার বিশেষভাবে কমে যেতে দেখা গেছে।

ক্লোরিন (CL^-)

শোষণযোগ্য রূপ — ক্লোরিন মাটি থেকে ক্লোরাইড (Cl^-) আয়নরূপে শোষিত হয় এবং এই আয়নরূপেই উদ্ভিদে অবস্থান করে। বেশির ভাগ প্রজাতির উদ্ভিদই তাদের প্রয়োজনের তুলনায় 10 থেকে 100 গুণ বেশি ক্লোরাইড শোষণ করে।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) জলের আলোক বিশ্লেষণের সময় (Photolysis) ক্লোরিনের উপস্থিতি অত্যাবশ্যক।

2) সাম্প্রতিককালে উদ্ভিদদেহে 130টি ক্লোরিন ঘটিত জৈব যৌগ আবিষ্কৃত হয়েছে—যেমন 4- ক্লোরোইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড একটি বৃদ্ধি সহায়ক প্রাকৃতিক অক্সিন।

3) এই মৌলের উপস্থিতিতে কোষ বিভাজন ত্বরান্বিত হয়।

4) ক্লোরিন ক্ষেত্রবিশেষে অভিস্রবণ চাপ নিয়ন্ত্রণ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) পাতার বৃদ্ধি ব্যাহত হয় ও পাতা নুইয়ে (Wilting) পড়ে।

2) পাতায় ক্লোরোটিক ও নেক্রোটিক ক্ষতচিহ্ন দেখা যায়।

3) মূলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় ও মূলের অগ্রভাগ গদাকৃতির হয়।

বোরন (B)

শোষণযোগ্য রূপ — বোরণ, বোরিক অম্ল [$B(OH)_3$] রূপে সরাসরি মূল দিয়ে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া — বোরণের সঠিক কার্যকলাপ এখনও জানা যায়নি। তবে এই মৌলটি কোষ বিভাজন ও নিউক্লিক অম্লের সংশ্লেষে সহায়তা করে। এছাড়া বোরন অ্যামাইনো অম্ল ও বিভিন্ন অ্যামাইড উৎপাদনে সাহায্য করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) মুখ্য ও গৌণ মূলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় কারণ এই মৌলের অভাবে ভাজক কলা বিনষ্ট হয়।

2) অপরিণত পাতা ও পত্রমুকুলে পচন রোগ দেখা যায়।

3) এই মৌলের অভাবে প্যারেনকাইমা কলার পচন ঘটে ও কাণ্ড ভঙ্গুর হয়।

4) ফল, রসাল মূল ও কন্দের অন্তর্পচন লক্ষ করা যায়।

5) অগ্রস্থ প্রকটতা ব্যাহত হয়।

6) বোরণের অভাবে বিটে 'heart rot' এবং আপেলে 'drought spot' দেখা যায়।

ম্যাঙ্গানিজ (Mn)

শোষণযোগ্য রূপ — এই মৌলটি প্রধানত ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়ন (Mn^{2+}) রূপে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) জলের আলোকবিশ্লেষণের সময়ে এই মৌলটির উপস্থিতি অপরিহার্য।

2) ম্যাঙ্গানিজ লৌহ ঘটিত জারণ বিজারণ প্রক্রিয়ায় বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

3) ডিহাইড্রোজেনেস, কার্বক্সিলেজ জাতীয় উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর রূপে কাজ করে।

4) এই মৌলটি ফ্যাটি অম্ল ও নিউক্লিক অম্লের সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে সক্রিয় করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) যবে 'ধূসর ফুটকি' (Grey speck), বিটে - 'হলদে ফুটকি' (Yellow speck) এবং মটরে 'জলা দাগ' (Marsh spot) পরিলক্ষিত হয়।

2) অন্তঃশিরাল ক্লোরোসিস লক্ষ করা যায়, যা অবশেষে পচন জনিত ক্ষতের সৃষ্টি করে।

দস্তা (Zn)

শোষণযোগ্য রূপ — Zn^{2+} আয়নরূপে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) দস্তার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ কাজ হল যে এই মৌলটি অক্সিন সংশ্লেষে সহায়তা করে। অক্সিনের সংশ্লেষ ট্রিপ্টোফ্যান নামক একটি অ্যামাইনো অম্ল থেকে শুরু হয়। দস্তা ট্রিপ্টোফ্যান উৎপাদনের হার বাড়িয়ে দিয়ে IAA নামক গুরুত্বপূর্ণ হর্মোনের সংশ্লেষের হার বৃদ্ধি করে।

2) অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজেনেস, কার্বনিক অ্যানহাইড্রেস, সুপার অক্সাইড-ডিসমিউটেজ প্রভৃতি উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে।

3) ফল ও বীজকে সুগঠিত করার জন্য এই মৌলের অবদান আছে।

4) দস্তা RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) দস্তার অভাবে পর্বমধ্যের বৃদ্ধি ব্যাহত হয় এবং উদ্ভিদগুলি রোসেট (Rosetle) আকৃতি ধারণ করে। অক্সিনের অভাবের জন্য উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধিও ব্যাহত হয়।

2) পাতা আকারে ক্ষুদ্র ও বিকৃত কিনারাযুক্ত হয়। দস্তার অভাবে লেবুর mottle leaf রোগ এবং পিচের little leaf রোগ দেখা যায়।

3) দস্তার ঘাটতি থাকায় আন্তশিরাল পাণ্ডুর রোগ ও পাতার সাদা পচন দেখা যায়।

তামা (Cu)

শোষণযোগ্য রূপ — তামা প্রধানত কিউপ্রিক আয়ন (Cu^{2+}) রূপে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) তামা প্লাস্টোসায়ানিন নামক গুরুত্বপূর্ণ প্রোটিনের ধাতব অংশ। এই যৌগটি সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় ইলেকট্রন পরিবহনে সহায়তা করে।

2) ক্লোরোফিলের পূর্ববর্তী যৌগ আয়রন পরফাইরিনের সংশ্লেষ এই মৌলটি নিয়ন্ত্রণ করে। ফলে তামা ক্লোরোফিল উৎপাদন ও সালোকসংশ্লেষের সহায়ক।

3) তামা ফেনোল থেকে কুইনোন উৎপাদনে সহায়তা করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) তামার অভাবে পাতা গাঢ় সবুজ বর্ণ ধারণ করে ও কুঞ্চিত হয়।

2) তামার অভাবে লেবুর পাতা শুকিয়ে যায় ও die back রোগ দেখা দেয়।

3) এই মৌলের ঘাটতি হলে পাতার অগ্রভাগ থেকে পচন শুরু হয় যা পরে পাতার কিনারা ও পত্রবৃন্তে ছড়িয়ে পড়ে। পাতার অকালপতনও এই মৌলের অভাবজনিত লক্ষণ।

মলেবডেনাম (Mo)

শোষণযোগ্য রূপ — এই মৌলটি MoO_4^{2-} ও MoS_2 রূপে মাটিতে থাকে তবে প্রধানত মলেবডেট লবণ (MoO_4^{2-})রূপেই শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া —

1) এই মৌলটি নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের প্রধান প্রোটিন যৌগ Mo–Fe প্রোটিন গঠন করে।

2) মলেবডেনাম অ্যাসকরবিক অম্লের সংশ্লেষে সহায়তা করে।

3) নাইট্রেট রিডাকটেজ, সাকসিসিনিক ডিহাইড্রোজেনেস, অ্যালডিহাইড অক্সিডেজ প্রভৃতি উৎসচকের কো-ফ্যাক্টররূপে কাজ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ —

1) এই মৌলের অভাবে পরিণত পাতায় আন্তশিরাল ক্লোরোসিস ও পচন দেখা যায়।

2) পুষ্প প্রস্ফুটন ব্যাহত হয় বা ফুল ফুটলেও তার থেকে ফল উৎপাদন হয় না।

3) মলেবডেনামের অভাবে শিম্ব জাতীয় গাছের নাইট্রোজেন সংবন্ধন ব্যাহত হয় ও ফলস্বরূপ উদ্ভিদগুলিতে নাইট্রোজেনের ঘাটতি দেখা যায়।

4) বাঁধাকপির whiptail রোগ ও লেবুর yellow spot রোগ মলেবডেনামের অভাবে সৃষ্টি হয়।

নিকেল (Ni)

শোষণযোগ্য রূপ — সাম্প্রতিককালে নিকেলকেও অত্যাবশ্যক মৌল হিসাবে গণ্য করা হয়েছে। ধাতব মৌলরূপেই নিকেল মূল দিয়ে শোষিত হয়।

শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া — নিকেল মৌলটি ইউরিয়েজ ও হাইড্রোজেনেস এই দু'টি উৎসেচকের ক্রিয়াকে প্রভাবিত করে এবং এ পর্যন্ত এই দু'টি উৎসচেকেই নিকেলের কো-ফ্যাক্টর রূপে পাওয়া গেছে। এই মৌলটি ইউরিয়া নামক বিপাকজাত বর্জ্য পদার্থকে দ্রুত কোষ থেকে অপসারিত করে।

অভাবজনিত লক্ষণ –

1) নিকেলের অভাবে সোয়াবিনের মূলে নাইট্রোজেন সংবন্ধনের হার কমে যায়।

2) শিম্ব জাতীয় উদ্ভিদ ইউরাইড (Ureide) নামক নাইট্রোজেন ঘটিত যৌগ গঠন করে। নিকেলের অভাবে এই যৌগটি দ্রুত বিশ্লিষ্ট হয়ে কোষে বিষাক্ত ইউরিয়া সঞ্চিত করে। ফলে উদ্ভিদের পচন রোগ দেখা যায়।

7.5.5 অন্যান্য খনিজ মৌল

উপরে আলোচিত অত্যাবশ্যক খনিজ মৌলগুলি ছাড়াও কয়েকটি মৌলের শারীরবৃত্তীয় কাজ নির্দিষ্ট কিছু উদ্ভিদে পরিলক্ষিত হয়। *Artiplex Vesicaria* নামক লবণাম্বু উদ্ভিদে সোডিয়াম (Na) অত্যাবশ্যক মৌলরূপে কাজ করে। এই গাছ পটাসিয়ামের অভাব অনেক সময়ে সোডিয়াম দিয়ে পূরণ করে। C_4 উদ্ভিদে সোডিয়ামের অভাবে সালোকসংশ্লেষ ও উদ্ভিদের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। সোডিয়াম মৌলটি সম্ভবত পাইরুভেটকে বাতিল সিদ থেকে মেসোফিল কলায় পরিবাহিত হতে সাহায্য করে।

Astragalus উদ্ভিদটি সেলেনিয়াম সমৃদ্ধ মাটিতে জন্মায় ও পর্যাপ্ত পরিমাণে সেলেনিয়াম শোষণ করে। *Astragalus racemosus* উদ্ভিদটির প্রতি কে.জি. শুষ্ক ওজনে 5.6mg সেলেনিয়াম পাওয়া যায়। সেলেনিয়াম সম্ভবত উদ্ভিদের ফসফেট বিপাকে সাহায্য করে তবে সেলেনিয়াম সমৃদ্ধ গাছ ভক্ষণ করলে গবাদি পশুর অ্যালকালি রোগ (Alkali disease) দেখা দেয়।

ভুট্টা জাতীয় গ্রামিণী গোত্রের উদ্ভিদে শুষ্ক ওজনের ভিত্তিতে 1-2% এবং Equisetum arvense নামক টেরিডোফাইটে 10% সিলিকন পাওয়া যায়। সিলিকন প্রধানত কোষ প্রাচীরে সঞ্চিত হয়ে কাণ্ডকে দৃঢ়তা প্রদান করে এবং ছত্রাকের আক্রমণ থেকে গাছকে রক্ষা করে।

5.6 সারাংশ

মৃত্তিকায় পর্যাপ্ত পরিমাণে খনিজ লবণ থাকলেই সব সময়ে তা শোষণযোগ্য হয়ে ওঠে না। ক্যালসিয়াম, সালফার প্রভৃতি মৌলগুলির শোষণহার আম্লিক মৃত্তিকায় উল্লেখযোগ্যভাবে কমে যায়—আবার দস্তা, ম্যাঙ্গানিজ প্রভৃতি মৌলগুলিকে উদ্ভিদ ক্ষারীয় মৃত্তিকায় শোষণ করতে পারে না। তাই বলা যায় যে কোনো খনিজ মৌলের শোষণের হার মৃত্তিকার PH এর উপর নির্ভরশীল।

5.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

A. সংক্ষেপে উত্তর দিন

1. দু'টি মৌলের নাম উল্লেখ করুন যারা কয়েকটি নির্দিষ্ট উদ্ভিদেই শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা পালন করে।
2. স্বল্পমাত্রিক মৌলের মধ্যে কোন মৌলটির চাহিদা উদ্ভিদে সবচেয়ে বেশি?

3. খনিজ অম্লরূপে ব্যবহৃত হয় এমন একটি অত্যাবশ্যক মৌলের নাম বলুন।

4. দস্তার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ কাজ কী?

B. টীকা লিখুন।

1. নাইট্রোজেনের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া।
2. ফসফরাসের অভাবজনিত লক্ষণ।
3. ক্লোরিনের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া।
4. মলেবডেনামের অভাবজনিত লক্ষণ।
5. খনিজ লবণ শোষণে মৃত্তিকার PH এর ভূমিকা।

C. শূন্যস্থান পূরণ করুন

1. যে মৌলটি শুধুমাত্র আয়নরূপেই উদ্ভিদদেহে অবস্থান করে সেটি হল _____ ।
2. অতিমাত্রিক মৌলগুলির পরিমাণ প্রতি কে.জি শুষ্ক ওজনে _____ mmol বা তার বেশি।
3. *Equisetum* নামক টেরিডোফাইটে উপস্থিত বিশেষ মৌলটি হল _____।
4. Heart rot _____ এর অভাবে এবং Marsh spot _____ অভাবে দেখা যায়।

5.8 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

A. 1. কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন। 2. লৌহ ও তামা। 3. ক্যালসিয়াম ও সিলিকন। 4. 7.5.4 দ্রষ্টব্য।

B. 1. হাইড্রোজেন। 2. কার্বনেট ও ফসফেট যৌগ। 3. নাইট্রোজেন, সালফার। 4. মলেবডেনাম।

C. 1–4; 2–5; 3–1; 4–2; 5–3;

অনুশীলনী - 2

A. 1, 3, 4, 5

B. 5.5.1 ও 5.5.2 দ্রষ্টব্য।

C. 1. K; 2. অ্যাম্বোসায়ানিন 3. H_2PO_4

অনুশীলনী - 3

A. 1. সেলেনিয়াম ও সিলিকন। 2. লৌহ ও সিলিকন। 3. অক্সিন সংশ্লেষে সাহায্য করা।

B. 5.5.1 ও 5.5.2 দ্রষ্টব্য।

C. 1. ক্লোরিন; 2. 10; 3. সিলিকন; 4. বোরন, ম্যাঙ্গানিজ।

সর্বশেষ অনুশীলনী

একক থেকে নিয়ে নিজে করুন।

একক 6 ❑ দ্রাবের পরিবহন

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা

6.2 উদ্দেশ্য

6.3 ফ্লোয়েম — দ্রাবের পরিবহন কলা

6,4 P - প্রোটিন

6.5 সোর্স ও সিঙ্ক

6.6 পরিবাহিত দ্রাবের উপকরণ

6.7 পরিবহন সংক্রান্ত বিভিন্ন তত্ত্ব

6.7.1 সক্রিয় ব্যাপন প্রকল্প

6.7.2 প্রোটোপ্লাজম প্রবাহ তত্ত্ব

6.7.3 ভর প্রবাহ প্রকল্প

6.8 ফ্লোয়েম লোডিং ও আনলোডিং

6.9 সারাংশ

6.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

6.11 উত্তরসংকেত

6.1 প্রস্তাবনা

সালোকসংশ্লেষের ফলে পাতায় যে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন হয়, তা পাতা বা সংশ্লেষস্থান থেকে উদ্ভিদদেহের বিভিন্ন অঙ্গে স্থানান্তরিত হওয়ার পদ্ধতিকে দ্রাবের পরিবহন বলে। নালিকা বাণ্ডিলে অবস্থিত ফ্লোয়েম কলার সিভনলের মাধ্যমে শর্করা জাতীয় খাদ্যের পরিবহন ঘটে। বর্তমানে মাইক্রোসিরিঞ্জের সাহায্যে এবং অ্যাকিড জাতীয় পতঙ্গকে ব্যবহার করে ফ্লোয়েমের বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদানগুলিকে শনাক্ত করা সম্ভব হয়েছে। ফ্লোয়েমের মাধ্যমে কীভাবে খাদ্যবস্তু পরিবাহিত হয়ে অন্যান্য অঙ্গে পৌঁছায় সে সম্পর্কে বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় ব্যাখ্যা রয়েছে — এই মতবাদগুলির মধ্যে 'ভর প্রবাহ মতবাদ' সর্বাধিক গ্রহণযোগ্য।

6.2 উদ্দেশ্য

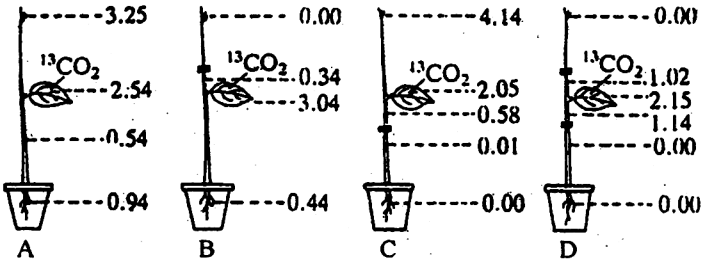
এই অধ্যায়টি পাঠ করে আপনি

- শর্করা পরিবহনকারী অঙ্গ ফ্লোয়েমের সিভনলের গঠন প্রকৃতি সম্পর্কে ধারণা লাভ করতে পারবেন।
- যে উপাদানগুলি ফ্লোয়েমের মাধ্যমে পরিবাহিত হয় সেগুলির রাসায়নিক প্রকৃতি সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- ফ্লোয়েম পরিবহনের বিভিন্ন তত্ত্বগুলি সম্পর্কে আলোচনা করতে সক্ষম হবেন।
- অভিস্রবণ চাপ কীভাবে ফ্লোয়েমের সিভনলে দ্রাবের পরিবহন প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ফ্লোয়েমে দ্রাবের লোডিং ও আনলোডিং সম্পর্কে জ্ঞাত হবেন।

6.3 ফ্লোয়েম — দ্রাবের পরিবহন কলা

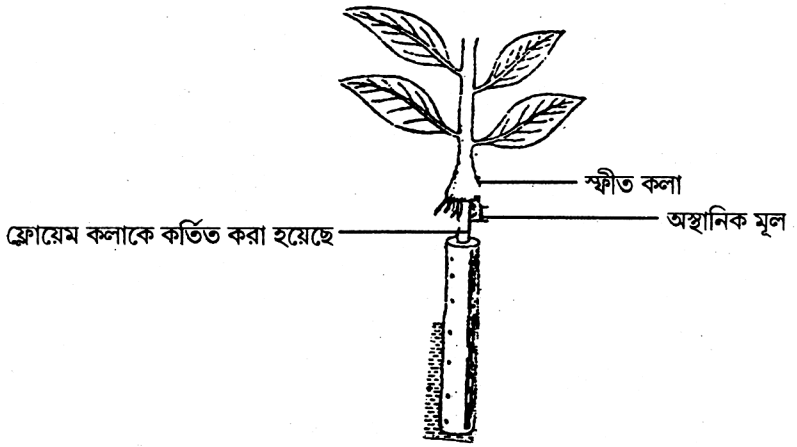
বিজ্ঞানীরা বিভিন্ন পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেছেন যে ফ্লোয়েম কলার মাধ্যমেই দ্রাবের পরিবহন ঘটে।

বিজ্ঞানী র‍্যাবিডু ও বার (Rabideau and Burr) বিন গাছের পাতায় $13Co_2$ প্রয়োগ করেন। এই তেজস্ক্রিয় Co_2 সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় যে শর্করা উৎপন্ন করে সেটি তেজস্ক্রিয় কার্বনমুক্ত হয়। স্বাভাবিক উদ্ভিদে $13Co_2$ প্রয়োগ করে দেখা যায় যে অধিকাংশ 13C সমন্বিত জৈব, পদার্থ কাণ্ডের বর্ধিষ্ণু অঞ্চলে পরিবাহিত হয় এবং কিছুটা জৈব পদার্থ মূলের দিকেও প্রবাহিত হয়। এরপর তাঁরা যে পাতায় $13Co_2$ প্রয়োগ করেছিলেন তার উপরের অংশের ফ্লোয়েমকে গলন্ত মোম দিয়ে অবরুদ্ধ করেন। এর ফলে অবরুদ্ধ ফ্লোয়েমের উপরের অংশে কোনো তেজস্ক্রিয়তা দেখা গেল না। পরবর্তী পরীক্ষায় পাতার নীচের ফ্লোয়েমকে মোম প্রয়োগ করে দেখা গেল যে অবরুদ্ধ ফ্লোয়েমের নীচের অংশে কোনো তেজস্ক্রিয়তা লক্ষ করা যাচ্ছে না। সর্বশেষ পরীক্ষায় যে পাতাটিতে $13Co_2$ প্রয়োগ করা হল তার উপর ও নীচের ফ্লোয়েমকে মোম - রুদ্ধ করে দেখা গেল যে অবরুদ্ধ অংশের বাইরে তেজস্ক্রিয়তা লক্ষ করা যাচ্ছে না। এই পর্যায়ক্রমিক পরীক্ষার মাধ্যমে তাঁরা প্রমাণ করলেন যে ফ্লোয়েমকে অবরুদ্ধ করলেই শর্করার পরিবহন বাধাপ্রাপ্ত হয় — অর্থাৎ, ফ্লোয়েমই দ্রাবের পরিবহনকারী অঙ্গ (চিত্র 6A)।



চিত্র 6A ঃ তেজস্ক্রিয় $^{13}CO_2$ প্রয়োগ করে বিভিন্ন অঞ্চলে ^{13}C এর পরিবহনের পরীক্ষা
A) স্বাভাবিক উদ্ভিদ, B, C ও D চিত্রে চিহ্নিত স্থানটি নির্দেশ করছে যে কোনো অঞ্চলের ফ্লোয়েমকে গলন্ত মোম দিয়ে অবরুদ্ধ করা হয়েছে।

বিজ্ঞানী হার্টিগ (Hartig, 1837) একটি গাছের পর্বমধ্য থেকে ফ্লোয়েম কলার কিছুটা অংশ কেটে বাদ দেন কিন্তু ফ্লোয়েমের অন্তর্গত জাইলেম কলাকে অক্ষত রাখেন। কিছুদিন পর লক্ষ করা গেল যে কর্তিত অংশের নীচের দিকটা খাদ্যের অভাবে শুকিয়ে গেছে কিন্তু কর্তিত অংশের উপরের অংশ খাদ্য সঞ্চয়ের ফলে পরিপুষ্ট ও স্ফীত হয়েছে এমনকি, কোনো কোনো ক্ষেত্রে এই অঞ্চল থেকে অস্থানিক মূলও সৃষ্টি হয়েছে। এই পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণিত হয় যে ফ্লোয়েমের মাধ্যমেই খাদ্যবস্তু বিভিন্ন অঙ্গে পরিবাহিত হয় কারণ ফ্লোয়েম অঞ্চলটি কেটে ফেললে তার পরবর্তী অংশে খাদ্যের পরিবহন ঘটে না। এই পরীক্ষাকে 'বলয় পরীক্ষা' (Ringing experiment) বলা হয় (চিত্র 6B)



চিত্র 6B ঃ বলয় পরীক্ষা

ফ্লোয়েমের মাধ্যমে খাদ্য পরিবহন প্রক্রিয়াটি ভালোভাবে বুঝতে গেলে ফ্লোয়েম, বিশেষত সিভনলের অঙ্গসংস্থান সম্পর্কে ধারণা থাকা দরকার। ফ্লোয়েম কলায় উপস্থিত লম্বা, নিউক্লিয়াসবিহীন যে নলাকার কোষ থাকে তাকে সিভনল সদস্য বা Sieve-tube member বলে। সিভনল সদস্যকোষগুলি পরস্পর যুক্ত হয়ে সিভনল গঠন করে যার মাধ্যমেই সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন দ্রাব পরিবাহিত হয়। প্রতিটি সিভনল 100–500μu লম্বা এবং 20–40μm পরিধিবিশিষ্ট হয়। প্রতিটি সিভনল সদস্যকোষের দুইপ্রান্তের প্রস্থপ্রাচীরের গায়ে চালুনির মতো অনেকগুলি ছিদ্র থাকে যাদের সিভছিদ্র (Sieve pore) বলে। প্রতিটি ছিদ্রের ব্যাস 0.1–0.5μm হয়। অনেকগুলি সিভছিদ্র একত্রিত হয়ে সিভক্ষেত্র (Sieve area) গঠন করে। প্রতিটি সিভনল সদস্য কোষের প্রান্ত প্রাচীরে উপস্থিত সিভক্ষেত্র চালুনিচ্ছদা বা Sieve plate গঠন করে। প্রতিটি সিভনলের মধ্যবর্তী স্থানে একটি সুদীর্ঘ কোষগহবর থাকে। সাইটোপ্লাজম কোষের পরিধি বরাবর অবস্থান করে যার মধ্যে বর্ণহীন প্লাস্টিড ও স্টার্চ দানা বিক্ষিপ্ত অবস্থায় থাকে। চালুনিচ্ছদার ছিদ্রপথগুলির মাধ্যমে একটি সিভনল সদস্যকোষ থেকে পরবর্তী সিভনল সদস্যকোষে দ্রাবের পরিবহন ঘটে। প্রতিটি সিভছিদ্রের মধ্য দিয়ে সাইটোপ্লাজম রজ্জুর মতো অংশ গঠন করে একটি কোষ থেকে অন্য কোষে প্রবাহিত হয়। প্রতিটি সাইটোপ্লাজমীয় রজ্জু আবার ক্যালোস নির্মিত বলয় দিয়ে আবৃত থাকে। রাসায়নিকভাবে ক্যালোস হল একটি জলে অদ্রবণীয় পলিস্যাকারাইড যাতে গ্লুকোজ অণুগুলি 1–3 গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকে। সিভনল পরিণত বা বয়ঃপ্রাপ্ত হলে সিভনল সদস্যকোষগুলির চালুনিচ্ছদা অঞ্চলে প্রচুর পরিমাণে ক্যালোস

সঞ্চিত হয় ও এর ফলে চালুনিছিদ্রগুলি বন্ধ হয়ে ক্যালোস প্যাড (Callose pad) গঠিত হয়। ক্যালোস প্যাড গঠনের সাথে সাথেই সিভনল খাদ্য পরিবহনের ক্ষমতা হারায়।

বিজ্ঞানী অ্যালোনি ও সাচ (Aloni and Sach, 1973) লক্ষ করেছেন যে অনেকসময় একটি নালিকা বাণ্ডিল থেকে উৎপন্ন সিভনল আড়াআড়িভাবে অন্য নালিকা বাণ্ডিলের সাথে যুক্ত হয়। এই গঠন বিন্যাসকে অ্যানাস্টোমোসিস (Anastomosis = cross linking) বলে যা কাণ্ডের বিভিন্ন অঞ্চলে দ্রুত খাদ্য পরিবহনে সহায়তা করে।

সিভনলের সাথে যে এক বা একাধিক পাতলা প্রাচীরবিশিষ্ট নিউক্লিয়াসযুক্ত কোষ সংলগ্ন থাকে তাকে সঙ্গীকোষ (Comparion Cell) বলে। সঙ্গীকোষ ও সিভনল অসংখ্য প্লাজমোডেজমাটার মাধ্যমে পরস্পর যুক্ত থাকে। পাতায় উৎপাদিত খাদ্যের একাংশ প্লাজমোডেজমাটার মাধ্যমে সঙ্গীকোষ থেকে সিভনলে প্রবেশ করে। এছাড়া, সঙ্গীকোষে উৎপন্ন ATP সিভনলে খাদ্য পরিবহনের জন্য প্রয়োজনীয় শক্তি সরবরাহ করে।

6.4 P — প্রোটিন

ফ্লোয়েমের সিভনলে কতগুলি নলাকার বা দানাদার স্লাইম দেহ (Slime body) লক্ষ করা যায় কাটার (Cutter) ও অন্যান্য বৈজ্ঞানিকেরা দেখিয়েছিলেন যে এগুলি ফ্লোয়েমের এক বিশেষ প্রকৃতির প্রোটিন — তাই এদের ফ্লোয়েম প্রোটিন বা P - প্রোটিন নামে অভিহিত করা হয়। Cucurbita উদ্ভিদ থেকে দু'ধরনের P - প্রোটিন পাওয়া যায় যাদের PP1 (ফ্লোয়েম ফিলামেন্ট প্রোটিন) ও PP2 (ফ্লোয়েম লেকটিন প্রোটিন) বলে।

P - প্রোটিনগুলি সঙ্গীকোষে সংশ্লিষ্ট বা উৎপাদিত হয়ে প্লাজমোডেজমাটার মাধ্যমে সিভনলে পরিবাহিত হয় (Clark et al 1997)। সমস্ত দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদ ও অধিকাংশ একবীজপত্রী উদ্ভিদে P - প্রোটিন দেখা গেলেও গুপ্তবীজী উদ্ভিদে এরা অনুপস্থিত থাকে। SDS জেল ইলেকট্রোফোরেসিস প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন P - প্রোটিনগুলিকে পৃথক করা সম্ভব হয়েছে এবং দেখা গেছে যে এদের আণবিক ওজন 15–220 KD (Kilo Dalton) হয়। দ্রাবের পরিবহনে P - প্রোটিনগুলি উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। সিভনলের কোনো অংশে ছিদ্রের সৃষ্টি হলে P - প্রোটিনগুলি জেলির মতো পদার্থে রূপান্তরিত হয়ে সেই ছিদ্রপথ বন্ধ করে। এর ফলে, সিভনলের দ্রাব উক্ত ছিদ্রপথের মাধ্যমে বেরিয়ে যেতে পারে না। এই কারণে P - প্রোটিনকে ফ্লোয়েমের ছিদ্র অবরোধকারী প্রোটিন (Pholem puncture sealing protein) বলা হয়।

6.5 সোর্স ও সিঙ্ক

সালোকসংশ্লেষের ফলে যে অঙ্গগুলিতে খাদ্য উৎপন্ন হয় বা যে স্থান থেকে প্রয়োজনেব অতিরিক্ত খাদ্য অন্যত্র পরিবাহিত হয় তাকে পরিবহনের উৎসস্থল (Source) বলে। স্বাভাবিক কারণেই পরিণত পাতাই উদ্ভিদের প্রধান সোর্স। অপরদিকে, উদ্ভিদেদেহের যে অঙ্গগুলি উৎসস্থল অর্থাৎ সালোকসংশ্লেষকারী অঙ্গ থেকে শর্করা জাতীয় খাদ্যদ্রব্য গ্রহণ করে তাদের সিঙ্ক (Sink) বা গ্রাহক বলে। মূল, কাণ্ড ও ফলকে উদ্ভিদদেহের সিঙ্ক বলা হয় তবে মৃদ্গত কাণ্ড ও মূল সর্বাধিক খাদ্য সঞ্চয় করে বলে এরাই উদ্ভিদের সবচেয়ে সক্রিয় সিঙ্করূপে কাজ করে। দেখা

গেছে একই উদ্ভিদ অঙ্গ কখনও সোর্স ও কখনও সিঙ্করূপে কাজ করে। একটি কচি বা অপরিণত পাতা তার বৃদ্ধির জন্য পর্যাপ্ত পরিমাণে খাদ্য উৎপন্ন করতে না পারায় পরিণত পাতা থেকে খাদ্যদ্রব্য সংগ্রহ করে অর্থাৎ সিঙ্করূপে কাজ করে। সেই কচি পাতাটিই যখন পরিণতি লাভ করে তখন সেটিই পর্যাপ্ত সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন খাদ্যদ্রব্য অন্য অঙ্গে পরিবাহিত করে অর্থাৎ সোর্সরূপে কাজ করে। জংলি বিটগাছের (Beta maritima) মূল প্রথম বছর সিঙ্ক হিসাবে পাতা থেকে প্রচুর পরিমাণে শর্করা সংগ্রহ করে। এই দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদটির মূলই আবার দ্বিতীয় বছরে পুষ্প প্রস্ফুটনের সময় প্রজনন অঙ্গে শর্করা সরবরাহ করে অর্থাৎ সোর্স হিসাবে কার্যকরী হয়। একটি গাছের উপরের দিকের পরিণত পাতা, কাণ্ডের অগ্রভাগ ও কচি পাতাকে শর্করা রপ্তানি করে কিন্তু কাণ্ডের নীচের দিকের পাতাগুলি প্রধানত মূলকে খাদ্য সরবরাহ করে। এই কারণে বলা হয় যে উদ্ভিদের কোনো উৎস অঙ্গ বা সোর্স তার নিকটবর্তী সিঙ্ক অঞ্চলেই খাদ্য বা দ্রাব পরিবহন করে।

6.6 পরিবাহিত দ্রাবের উপকরণ

মাইক্রোসিরিঞ্জের সাহায্যে সরাসরি সিভনল থেকে তরল পদার্থকে বের করে এনে তার রাসায়নিক উপাদানগুলিকে শনাক্ত করা সম্ভব হয়েছে। সাম্প্রতিককালে এফিড (Aphid) নামক ক্ষুদ্র পতঙ্গকে ব্যবহার করেও ফ্লোয়েম থেকে দ্রাব নিষ্কাশন করা সম্ভব হয়েছে। এফিড ফ্লোয়েম থেকে সরাসরি খাদ্যরস শোষণ করে। খাদ্যরস শোষণের পর এফিডকে Co_2 গ্যাসের সাহায্যে অচেতন করে লেসার রশ্মি দিয়ে তার স্টাইলেট কেটে ফেলা হয়। এরপর স্টাইলেট থেকে ফ্লোয়েম রস সংগ্রহ করে GLC ও HPLC পদ্ধতির সাহায্যে বিশ্লেষণ করে ফ্লোয়েম রসের বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদানগুলিকে শনাক্ত করা সম্ভব হয়েছে।

ফ্লোয়েম রসে উপস্থিত দ্রাবগুলি জলে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। ফ্লোয়েমের শতকরা 90 ভাগ দ্রাবই শর্করা তবে একটি উল্লেখযোগ্য বিষয় হল যে দ্রাবে গ্লুকোজ ফ্রুকটোজ প্রভৃতি বিজারণধর্মী শর্করা (Reducing sugar) পাওয়া যায় না। ফ্লোয়েম রসে প্রাপ্ত শর্করাগুলি প্রধানত র‍্যাফিনোজ সিরিজের শর্করা, যেমন — সুক্রোজ, র‍্যাফিনোজ, স্ট্যাচিয়োজ প্রভৃতি। এগুলি ছাড়াও ম্যানিটল, সর্‌বিটল, মায়ো-ইনোসিটল প্রভৃতি শর্করা - অ্যালকোহলগুলিও (Sugar alcohols) ফ্লোয়েম রসে পাওয়া গেছে। সমস্ত দ্রাব উপাদানগুলির মধ্যে সুক্রোজই প্রধান উপাদান এবং ফ্লোয়েম রসে সুক্রোজের ঘনত্ব 0.3–0.9M পর্যন্ত হয়। সুক্রোজ আদর্শ পরিবহনযোগ্য শর্করা কারণ এটি দ্রুত জলে দ্রবীভূত হয় এবং ক্ষুদ্র অণু হলেও এটি স্থায়ী প্রকৃতির যৌগ। গ্লুকোজ জাতীয় বিজারণধর্মী শর্করা ফ্লোয়েম রসে না থাকার সম্ভাব্য দুটি কারণ হল (i) এই শর্করাগুলি সিভনলে উপস্থিত উৎসেচকের প্রভাবে রূপান্তরিত হয় এবং (ii) সিভনলের সামান্য ক্ষারীয় মাধ্যমেই বিজারণধর্মী শর্করাগুলি বিনষ্ট হয়।

বিজ্ঞানীরা আরও লক্ষ করেছেন যে ভিন্ন ভিন্ন গোত্রের উদ্ভিদের ফ্লোয়েম রসে পৃথক পৃথক প্রকৃতির শর্করা পাওয়া যায়, যেমন বেটুলেসি গোত্রে র‍্যাফিনোজ, সেলাসট্রেসি গোত্রে স্ট্যাচিয়োজ ও ডুলসিটল, অলিয়েসি গোত্রে ভারব্যাসকোস, কমব্রেটেসি গোত্রে ম্যানিটল রোজেসি গোত্রে সরবিটল ও মোরেসি গোত্রে মায়ো-ইনোসিটল জাতীয় শর্করা পাওয়া যায়।

ফ্লোয়েম রসে কিছু নাইট্রোজেন জাতীয় পদার্থও লক্ষ করা যায়। উদ্ভিদের বার্ধক্য বা পত্রমোচনের সময় নাইট্রোজেন ঘটিত রেচন পদার্থ ফ্লোয়েম রসে সঞ্চিত হয়। এছাড়া নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী শিম্ব জাতীয় উদ্ভিদের ফ্লোয়েম রসে গ্লুটামিক অম্ল, গ্লুটামিন ও ইউরাইডস পাওয়া যায়।

প্রতি লিটার ফ্লোয়েম রসে 100–125mg কঠিন পদার্থ (Dry matter) পাওয়া যায় এবং সমস্ত উপাদানের প্রায় 10 শতাংশ অজৈব পদার্থ থাকে। অজৈব উপাদানগুলির মধ্যে Mg, K প্রভৃতি ক্যাটায়ন এবং ফসফেট, ক্লোরাইড প্রভৃতি অ্যানায়ন সর্বাধিক পরিমাণে থাকে।

অক্সিন, জিব্বারেলিক অম্ল, অ্যাবসিসিক অম্ল প্রভৃতি প্রাকৃতিক হর্মোনগুলির একাংশও ফ্লোয়েমের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।

সারনি 6A – রেড়ি গাছের (Riccinus Communis) ফ্লোয়েম রসের রাসায়নিক উপাদান

A. জৈব উপাদান	মিগ্রা/লিটার
সুক্রোজ	100
প্রোটিন	2
অ্যামাইনো অম্ল	5
ম্যালিক অম্ল	3
B. অজৈব উপাদান	
পটাসিয়াম	2.3–4.4
ক্লোরাইড	0.3–0.6
ফসফেট	0.3–0.5
ম্যাগনেশিয়াম	0.1–0.12

অনুশীলনী - 1

1. **সঠিক উত্তরটির নীচে দাগ দিন।**

   a) খাদ্য পরিবাহিত হয় জাইলেম বাহিকার/সিভনলের/ফ্লোয়েম প্যারেনকাইমার মাধ্যমে।

   b) ক্যালোজ একটি প্রোটিন/ স্নেহপদার্থ/পলিস্যাকারাইড জাতীয় পদার্থ।

   c) P-প্রোটিনের সম্পূর্ণ নাম ফ্লোয়েম প্রোটিন/প্লাজমা প্রোটিন/ফসফোপ্রোটিন।

   d) ফ্লোয়েমে প্রাপ্ত শর্করাগুলি প্রধানত মনোস্যাকারাইড/পেন্টোজ শর্করা / র‍্যাফিনোজ সিরিজের শর্করা।

2. **শূন্যস্থান পূরণ করুন।**

   a) _____ পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করা যায় যে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে খাদ্য পরিবাহিত হয়।

   b) _____ ফ্লোয়েমের ছিদ্রগুলি অবরোধ করতে সাহায্য করে।

c) _____ জাতীয় বিজারণধর্মী **শর্করা** ফ্লোয়েম রসে অনুপস্থিত থাকে।

d) ফ্লোয়েম মাধ্যমে _____ শর্করা সর্বাধিক পরিমাণে পরিবাহিত হয়।

3. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন।**

a) সিভক্ষেত্রের বৈশিষ্ট্য কী? অ্যানাস্টোমোসিস বলতে কী বোঝেন?

c) একই অঙ্গ কীভাবে সোর্স ও সিঙ্ক হিসাবে কাজ করতে পারে?

d) PP_1 ও PP_2 এর সম্পূর্ণ নাম কী?

6.7 পরিবহন সংক্রান্ত বিভিন্ন তত্ত্ব

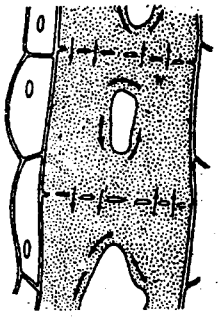
ফ্লোয়েমের মাধ্যমে দ্রাবের পরিবহন একটি জটিল শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া। এই জটিল প্রক্রিয়াটি ব্যাখ্যা করার জন্য বেশ কয়েকটি তত্ত্ব বা প্রকল্পের অবতারণা করা হয়েছে। কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ তত্ত্ব নীচে আলোচনা করা হল :

6.7.1 সক্রিয় ব্যাপন প্রকল্প

ম্যাসন ও ফিলিস (Mason and Phillis, 1937) বলেন যে সিভনলে দ্রাবের সক্রিয় ব্যাপন ঘটে যা পরিবহনে সহায়তা করে। এই মতবাদটি গ্রহণযোগ্য নয় কারণ সক্রিয় ব্যাপন প্রক্রিয়ার জন্য শ্বসন উদ্ভূত শক্তির প্রয়োজন হয় কিন্তু সিভনলে বিপাকীয় কার্য সম্পন্ন করার মতো উপযুক্ত কোষীয় অঙ্গাণুর অভাব লক্ষ করা যায়।

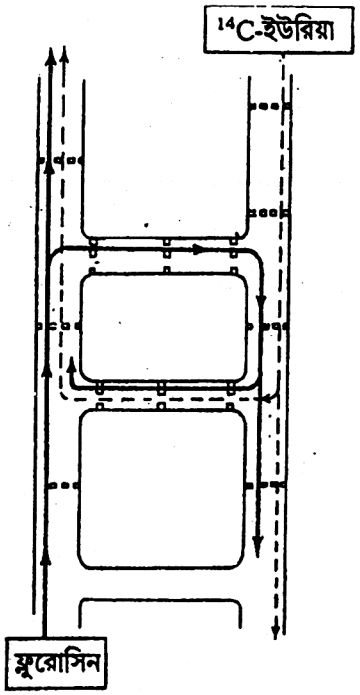
6.7.2 প্রোটোপ্লাজমের প্রবাহ তত্ত্ব

বিজ্ঞানী দি ভ্রিসের (de Vries, 1885) মতে সিভনলের প্রোটোপ্লাজমীয় আবর্তনের ফলে দ্রাব পরিবাহিত হয়। সিভনলের প্রান্তপ্রাচীরে উপস্থিত চালুনিছিদ্রের মাধ্যমে এক কোষ থেকে অন্য কোষে দ্রাবগুলি প্রবাহিত হয়। এই তত্ত্বের উল্লেখযোগ্য প্রমাণ হল যে অক্সিজেনের অভাব বা স্বল্প উষ্ণতায় যখন প্রোটোপ্লাজমের প্রবাহ কমে তখন দ্রাবের পরিবহনের হারও তুলনামূলকভাবে হ্রাস পায়। এই তত্ত্ব অনুসারে প্রোটোপ্লাজমীয় চলনের জন্য দ্রাবের দ্বিমুখী পরিবহন (Bidirectional transport) ঘটে (চিত্র 6C)



চিত্র 6C ঃ প্রোটোপ্লাজমীয় প্রবাহের প্রকৃতি

বিজ্ঞানী এসরিচ (Eschrich, 1967) সিম গাছের অগ্রপত্রে 14_c ইউরিয়া এবং নিম্নপত্রে ফ্লুরোসিন রঞ্জক প্রয়োগ করেন। এই দু'টি পাতার মধ্যবর্তী স্থানের কাণ্ড থেকে অ্যাফিডের মাধ্যমে ফ্লোয়েম রস সংগ্রহ করে দেখেন যে সেই রসে 14_c ইউরিয়া এবং ফ্লুরোসিন উভয়ই উপস্থিত। এই পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয় যে ফ্লোয়েমের মধ্যে দ্রাব উভয় অভিমুখেই প্রবাহিত হয় (চিত্র 6D)।



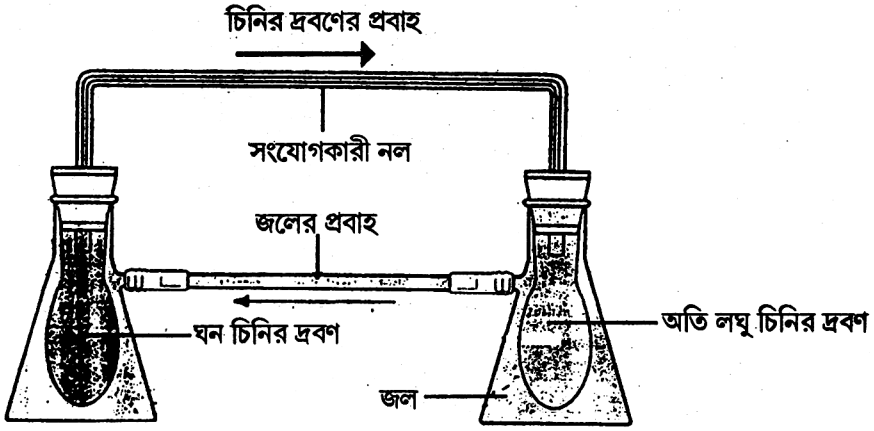
চিত্র 6D ঃ দ্বিগতিপথ সংক্রান্ত পরিবহন

প্রোটোপ্লাজমীয় প্রবাহ তত্ত্বের সবচেয়ে বড়ো ত্রুটি হল যে প্রোটোপ্লাজমের প্রবাহের চেয়ে দ্রাবের পরিবহন অনেক দ্রুতগতিতে ঘটে। সাধারণ তাপমাত্রায় (20–25°C) প্রোটোপ্লাজমীয় প্রবাহের হার 15cm/ঘণ্টা যেক্ষেত্রে দ্রাবের পরিবহনের হার 100cm/ঘণ্টা। এই তথ্য নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে যে প্রোটোপ্লাজমের প্রবাহ কখনই দ্রাবের প্রবাহকে সম্পূর্ণভাবে পরিচালিত করতে পারে না।

ভর প্রবাহ প্রকল্প — বিজ্ঞানী হার্টিগ (Hartwig, 1860) সর্বপ্রথম এই প্রকল্পটি উপস্থাপিত করলেও মুঞ্চ (Munch, 1930) এই প্রকল্পটির বিজ্ঞানসম্মত ব্যাখ্যা দেন। এই প্রকল্পটি 'মুঞ্চ প্রবাহ প্রকল্প' বা 'চাপীয় প্রবাহ মতবাদ' (Pressure flow hypothesis) নামেও পরিচিত। এই মতবাদের মূল তত্ত্বটি হল যে সালোকসংশ্লেষকারী পাতা উৎস বা সোর্স হিসাবে কাজ করে এবং সেখানে শর্করার পরিমাণ বেশি থাকায় অভিস্রবণ চাপের প্রভাবে শর্করা সহ অন্যান্য দ্রাব ফ্লোয়েমের মাধ্যমে তুলনামূলকভাবে কম ঘনত্বযুক্ত অঞ্চল অর্থাৎ গ্রাহক বা সিঙ্ক অঞ্চলে প্রবাহিত হয়।

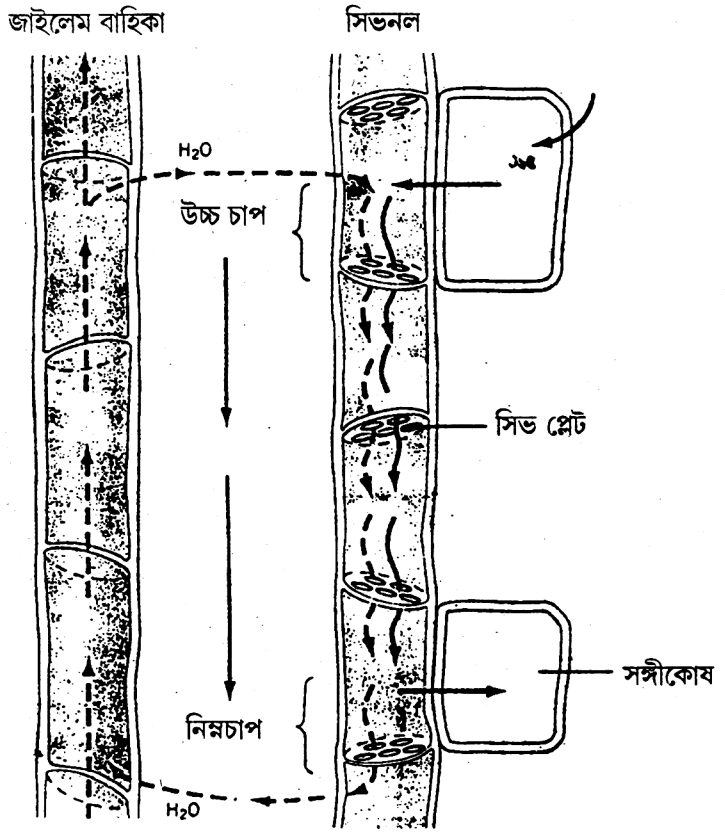
বিজ্ঞানী মুঞ্চ তাঁর প্রকল্পটি একটি নকশার মাধ্যমে ব্যাখ্যা করেন। একটি অর্ধভেদ্য গোলক বা ডায়ালাইসিস ব্যাগে

ঘন চিনির দ্রবণ রাখা হল এবং তাতে কোনো রঞ্জক মিশ্রিত করা হল। অনুরূপভাবে অপর একটি ব্যাগে অতি লঘু চিনির দ্রবণ রাখা হল কিন্তু তাতে রঞ্জক মিশ্রিত করা হল না। এই দু'টি থলিকে পৃথক জলপূর্ণ বিকার বা ফ্লাস্কে রাখা হল। ফ্লাস্ক দু'টির মুখ কর্ক দিয়ে বন্ধ করা হল এবং কর্ক দু'টিতে ছিদ্র করে একটি কাচনলের দুই প্রান্তকে ডায়ালাইসিস থলিদ্বয়ের মধ্যে প্রবিষ্ট করানো হল। আর একটি কাচনলকে ফ্লাস্ক দু'টির সাথে যুক্ত করা হল যার মাধ্যমে ফ্লাস্কের জল এবং অতি লঘু চিনির দ্রবণের মধ্যে সংযোগ স্থাপিত হল। এই অবস্থায় A ফ্লাস্কটিতে (চিত্র 6E) রাখা জল অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় অর্ধভেদ্য ডায়ালাইসিস থলিতে প্রবেশ করে ও এর ফলে থলিটির রসস্ফীত চাপ বেড়ে যায়। এই কারণে A ফ্লাস্কের ডায়ালাইসিস থলি থেকে ঘন চিনির দ্রবণ B ফ্লাস্কের থলিতে প্রবেশ করে। রঞ্জক পদার্থ A ফ্লাস্ক থেকে B ফ্লাস্কের দিকে প্রবাহিত হয় বলে চিনির দ্রবণের প্রবাহপথকে শনাক্ত করা যায়। পরবর্তী পর্যায়ে B ফ্লাস্কে চিনির দ্রবণ প্রবেশ করার ফলে এর ডায়ালাইসিস থলিটি স্ফীত হয় এবং রসস্ফীত চাপের ফলে B ফ্লাস্কে রাখা জল বা অতি লঘু চিনির দ্রবণ সোজা কাচনলের মাধ্যমে A ফ্লাস্কের দিকে প্রবাহিত হয়। এই পরীক্ষা চলতে থাকলে ঘন চিনির দ্রবণ A ফ্লাস্ক থেকে B ফ্লাস্কের দিকে এবং B ফ্লাস্কের জল (অথবা অতি লঘু চিনির দ্রবণ) B ফ্লাস্ক থেকে B ফ্লাস্কের দিকে অর্থাৎ বিপরীত অভিমুখে প্রবাহিত হতে থাকবে।



চিত্র 6E ঃ মুঞ্চের ভরপ্রবাহ মতবাদের ভৌত পরীক্ষা

মুঞ্চের মতে উদ্ভিদদেহে দ্রাবের পরিবহনও এই নীতি অনুসারে হয়। সালোকসংশ্লেষকারী পাতায় শর্করার ঘনত্ব বেশি থাকায় পার্শ্ববর্তী কোষগুলি থেকে জল অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় মেসোফিল কলায় প্রবেশ করে। উৎস অঞ্চলে রসস্ফীত চাপ বেড়ে যাওয়ায় শর্করা জাতীয় দ্রাব ফ্লোয়েমের সিভনলের মাধ্যমে তুলনামূলক কম শর্করাযুক্ত অঞ্চল বা সিঙ্কে প্রবাহিত হয়। অপরদিকে মূল দ্বারা শোষিত জল জাইলেম বাহিকার মাধ্যমে বিপরীত অভিমুখে প্রবাহিত হয়ে পত্রকোষে পৌঁছায়। এছাড়া, ফ্লোয়েম রস থেকে জল ক্যামবিয়ামের মাধ্যমে জাইলেমে এসে ঊর্ধ্বমুখে প্রবাহিত হয়। (চিত্র 6F)।



চিত্র 6F ঃ ফ্লোয়েমের লোডিং ও আনলোডিং প্রক্রিয়া

মুঞ্চের প্রকল্প সর্বাধিক গ্রহণযোগ্য হলেও এটিও সম্পূর্ণ ত্রুটিমুক্ত নয়, কারণ—

1) এই মতবাদ অনুসারে দ্রাব সর্বদাই উৎস (Source) থেকে গ্রাহক (Sink) অভিমুখে প্রবাহিত হবে কারণ এই প্রবাহ অভিস্রবণ চাপের উপর নির্ভরশীল। আমরা কিন্তু লক্ষ করেছি যে দ্রাবের পরিবহন উভমুখী যা এই তত্ত্বের সাহায্যে ব্যাখ্যা করা যায় না।

2) পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণিত হয়েছে যে সব সময় উৎস অঞ্চলের কোষের রসস্ফীত চাপ বেশি হয় না, এমনকি অনেকক্ষেত্রে সিঙ্ক অঞ্চলের চেয়ে কমও হয়। সেক্ষেত্রে ভর প্রবাহ মতবাদ দ্রাবের পরিবহন প্রক্রিয়াকে ব্যাখ্যা করতে পারে না।

3) এই মতবাদটি সম্পূর্ণভাবে ভৌত পদ্ধতির সাহায্যে ব্যাখ্যা করা হয়েছে। পটাশিয়াম সায়ানাইড বা 2,4–ডাইনাইট্রোফেনল (DNP) জাতীয় শ্বসন প্রতিরোধী পদার্থ ব্যবহার করলে দ্রাবের পরিবহনের হার কেন কমে যায় এই মতবাদ তার ব্যাখ্যা করতে অপারগ।

4) মুঞ্চের তত্ত্বটি ঠিক হলে উৎসকোষের সুক্রোজের ঘনত্ব, সিভনলে উপস্থিত সুক্রোজের ঘনত্বের চেয়ে বেশি হতে হবে কিন্তু ওয়ারমার (Warmer, 1953) দেখিয়েছেন যে সিভনলে সুক্রোজের ঘনত্ব মেসোফিল-কোষের অর্থাৎ উৎস কোষের সুক্রোজের ঘনত্বের চেয়ে প্রায় 25 গুণ বেশি।

5) মুঞ্চের মতে সিভনলের কোনো সক্রিয় ভূমিকা নেই অর্থাৎ এটি একটি মৃত পরিবহনকারী অঙ্গ হিসাবে কাজ করে কিন্তু প্রকৃতপক্ষে সিভনলের প্রোটোপ্লাজমীয় চলনও দ্রাবের প্রবাহকে নিয়ন্ত্রণ করে।

6) সর্বোপরি, মুঞ্চের তত্ত্ব অনুসারে ফ্লোয়েম পরিবহনের হারের সাথে প্রকৃত দ্রাব পরিবহন হারের কোনো সামঞ্জস্য নেই।

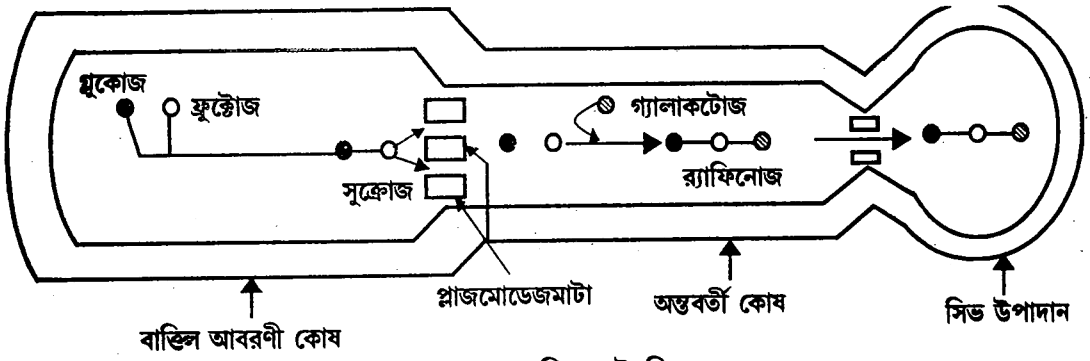
6.8 ফ্লোয়েম লোডিং ও আনলোডিং (Phloem loading and unloading)

যে পদ্ধতিতে সালোকসংশ্লেষকারী মেসোফিল কলা থেকে উৎপাদিত শর্করা সিভনলে প্রবেশ করে তাকে ফ্লোয়েম লোডিং বলে। মেসোফিল কলা থেকে ফ্লোয়েম প্যারেনকাইমার মাধ্যমে শর্করা জাতীয় দ্রাব সিভনল-সঙ্গীকোষে (Sievetube – companion cell complex বা se-cc Complex) প্রবেশ করে। দু'টি পৃথক পথে শর্করা মেসোফিল কলার কোষ থেকে se-cc কমপ্লেক্সে প্রবেশ করে।

A) **অ্যাপোপ্লাস্টিক পথ (Apoplastic pathway)** — মেসোফিল কোষে উৎপন্ন শর্করা যখন সরাসরি কোষপ্রাচীরের মাধ্যমে নির্গত হয়ে se-cc কমপ্লেক্সের কোষপ্রাচীর দ্বারা শোষিত হয় তখন তাকে অ্যাপোপ্লাস্টিক পথ বলে। এই পথের মাধ্যমে প্রধানত সুক্রোজই সিভনলে এসে পৌঁছায়। লক্ষ করা গেছে সিভনল ও সঙ্গীকোষের কোষপর্দায় উপস্থিত কতগুলি প্রোটিন বাহক শর্করা শোষণে সহায়তা করে। মেসোফিল কলাকোষ থেকে সিভনল শর্করা সমৃদ্ধ হওয়ায় সিভনলের প্রোটোপ্লাজমের ঘনত্ব বেশি হয়। তা সত্ত্বেও মেসোফিল কোষ থেকে শর্করা, ঘনত্বের বিপরীত দিকে অর্থাৎ সিভনলে পরিবাহিত হয়। এই কারণে ফ্লোয়েম কোষে দ্রাবের পরিবহনকে সক্রিয় পরিবহন বলে। এই পরিবহন সর্বদাই ATP জনিত শক্তির উপর নির্ভরশীল।

B) **সিমপ্লাস্টিক পথ (Symplastic pathway)** — এই পথে মেসোফিল কলার কোষের সাথে সিভ উপাদানের প্রত্যক্ষ সংযোগ থাকে না। মেসোফিল কলা থেকে শর্করা, বাতিল আবরণী কোষ ও কয়েকটি অন্তর্বর্তী কোষের মাধ্যমে সিভনলে এসে প্রবেশ করে। এই পথের প্রধান বৈশিষ্ট্য হল যে শর্করা বিভিন্ন স্তরের কোষগুলির মধ্যবর্তী প্লাজমোডেসমাটার মাধ্যমে পরিবাহিত হয়। এছাড়া, সিমপ্লাস্টিক পথে সুক্রোজ ছাড়াও র‍্যাফিনোজ, স্ট্যাচিয়োজ প্রভৃতি অলিগো স্যাকারাইডগুলিও সিভ উপাদানে এসে পৌঁছায়।

বিজ্ঞানী ভ্যান বেল (Van Bel, 1992) পলিমার ট্রাকিং মডেলের মাধ্যমে (Polymer tracking model) দেখিয়েছেন যে মেসোফিল কলায় সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে যে গ্লুকোজ বা ফ্রুকটোজ জাতীয় মনোস্যাকরাইড উৎপন্ন হয় সেগুলি বাণ্ডিল আবরণী কোষে যুক্ত হয়ে সুক্রোজ গঠন করে। এরপরে বাণ্ডিল আবরণী ও সিভনলে অন্তর্বর্তী কোষে এসে সুক্রোজ গ্যালাকটোজের সাথে যুক্ত হয়ে র‍্যাফিনোজ ও অন্যান্য অলিগোস্যাকারাইড গঠন করে। এই শর্করাগুলি পরিশেষে সিভনল ও সঙ্গীকোষে দ্রাবরূপে পরিবাহিত হয়।



ভ্যান বেল এর পলিমার ট্র্যাপিং মডেল

অ্যাপোপ্লাস্ট ও সিমপ্লাস্টের মধ্যে তিনটি প্রধান প্রভেদ উল্লেখযোগ্য ঃ-

অ্যাপোপ্লাস্টিক পথ	সিমপ্লাস্টিক পথ
1. কোষপ্রাচীরের মাধ্যমে সরাসরি দ্রাবের পরিবহন ঘটে।	1. প্লাজমোডেজমাটার মাধ্যমে দ্রাবের পরিবহন ঘটে।
2. শুধু সুক্রোজই এই পথের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।	2. সুক্রোজ ছাড়াও বিভিন্ন অলিগোস্যাকারাইড (র‍্যাফিনোজ, স্ট্যাচিয়োজ প্রভৃতি) এই পথে পরিবাহিত হয়।
3. বাতিল আবরণী কোষ ও সিভ উপাদানের মধ্যে অন্তর্বর্তী কোষ থাকে না।	3. অন্তর্বর্তী কোষ উপস্থিত।

যে পদ্ধতিতে সিভ উপাদান থেকে গ্রাহক কোষ বা সিঙ্কে শর্করা জাতীয় দ্রাবের পরিবহন ঘটে তাকে ফ্লোয়েম আনলোডিং (Phloem unloading) বলে। এই প্রক্রিয়াটিও সিমপ্লাস্টিক বা এপোপ্লাস্টিক পথে সম্পন্ন হত পারে। সচরাচর দেখা গেছে যে সিমপ্লাস্টিক পথে সিভনল থেকে সরাসরি সুক্রোজ গ্রাহক কোষে পরিবাহিত হয়। এপোপ্লাস্টিক পথে সুক্রোজ যেমন সরাসরি গ্রাহক কোষে পৌঁছায় তেমনি কোষপ্রাচীর ভেদ করার সময় অ্যাসিড ইনভারটোজের মাধ্যমে সুক্রোজ আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজে বিশ্লিষ্ট হয়েও উৎস কোষে প্রবেশ করতে পারে। আনলোডিং প্রক্রিয়াটি কতকগুলি শক্তি নির্ভর বাহকের দ্বারা (Energy dependent carrier) নিয়ন্ত্রিত হয় কারণ নিম্ন তাপমাত্রা, অক্সিজেন ঘাটতি, শ্বসন প্রতিরোধক পদার্থের প্রভাবে আনলোডিং প্রক্রিয়াটি ব্যাহত হতে দেখা গেছে (Thorne, 1986)।

6.9 সারাংশ

পাতার মেসোফিল কলায় সালোকসংশ্লেষের ফলে শর্করা জাতীয় খাদ্য উৎপন্ন হয়। এই কলাই পরিবহনের উৎস বা সিঙ্ক। এই অঞ্চল থেকে ফ্লোয়েম কোষ সিভনল মাধ্যমে শর্করা ও অন্যান্য দ্রাব বিভিন্ন অঙ্গ বা সিঙ্কে গিয়ে

পৌঁছায়। ফ্লোয়েমের মাধ্যমে প্রধানত সুক্রোজ পরিবাহিত হলেও স্ট্যাচিয়োজ, র‍্যাফিনোজ জাতীয় অলিগোস্যাকারাইড, কিছু প্রোটিন অ্যামাইনো অম্ল ও পটাসিয়াম, ক্লোরাইড প্রভৃতি অজৈব উপাদানগুলিও পরিবাহিত হয়। পরস্পর সংযুক্ত সিভনলগুলির প্রান্তপ্রাচীরে অবস্থিত সিভছিদ্রের মধ্য দিয়ে দ্রাবের পরিবহন ঘটে। ক্যালোজ সঞ্চয়ের ফলে ছিদ্রগুলি বন্ধ হয়ে গেলে দ্রাবের পরিবহনও সেই সিভনলগুলিতে বন্ধ হয়ে যায়। সিভনলের বৈশিষ্ট্যসূচক প্রোটিনকে P প্রোটিন বলে যা সিভনলের মধ্যে ছিদ্র সৃষ্টি হলে তা অবরোধ করে। পরিবহনের বিভিন্ন তত্ত্বগুলির মধ্যে মুঞ্চের 'ভর প্রবাহ প্রকল্প' সবচেয়ে গ্রহণযোগ্য। এই তত্ত্ব অনুসারে অভিস্রবণ চাপের ফলেই উৎস বা সোর্স অঞ্চল থেকে গ্রাহক বা সিঙ্ক অঞ্চলে দ্রাব পরিবাহিত হয়। দ্রাব যখন মেসোফিল কোষের প্রাচীর থেকে সিভনলের প্রাচীরের দ্বারা শোষিত হয় তখন দ্রাবের পরিবহন পথকে অ্যাপোপ্লাসটিক পথ বলে। অপরদিকে, মেসোফিল কলা থেকে বাণ্ডিল আবরণী কোষ এবং অন্তর্বর্তী কোষের প্লাজমোডেজমাটার মাধ্যমে দ্রাব পরিবাহিত হয় তখন সেই পথকে সিমপ্লাসটিক পথ বলে।

6.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. **শূন্যস্থান পূরণ করুন।**

   a) _____ জাতীয় পতঙ্গকে ব্যবহার করে ফ্লোয়েম রসের উপাদান নির্ণয় করা হয়েছে।

   b) _____ সিভনল সদস্য কোষের দু'প্রান্তের প্রস্থ প্রাচীরে _____ থাকে।

   c) প্লাসমোডেজমাটার মাধ্যমে ফ্লোয়েম রসের পরিবহনকে _____ পথ বলে।

   d) বিজ্ঞানী এসরিচ দ্রাবের _____ পরিবহন পদ্ধতি আবিষ্কার করেন।

2. **A স্তম্ভের বাক্যাংশের সাথে B স্তম্ভের বাক্যাংশের সংযোগ স্থাপন করুন।**

A স্তম্ভ	B স্তম্ভ
1. সিভনলের প্রধান দ্রাব	1. সঙ্গীকোষ।
2. সিভনল সংলগ্ন কোষটি হল	2. সিমপ্লাস্টিক পথ বলে।
3. ফ্লোয়েমের মাধ্যমে দ্রাবের পরিবহন হল	3. বিজ্ঞানী মুঞ্চ।
4. যে পথে প্লাসমোডেজমাটার মাধ্যমে দ্রাব পরিবাহিত হয় তাকে	4. বিজ্ঞানী এসরিচ।
5. ভর প্রবাহ প্রকল্পের ব্যাখ্যা দেন	5. সুক্রোজ।
6. ফ্লোয়েমের মাধ্যমে দ্রাবের উভমুখী পরিবহন প্রক্রিয়াটি প্রমাণ করেন।	6. দ্বিমুখী।

3. **নিম্নলিখিত বৈজ্ঞানিক সত্যগুলির কারণ ব্যাখ্যা করুন।**

   a) সিভনলের মাধ্যমে দ্রাব পরিবাহিত হয়।

   b) সালোকসংশ্লেষের ফলে গ্লুকোজ উৎপন্ন হলেও তা ফ্লোয়েমের মাধ্যমে পরিবাহিত হয় না।

   c) P - প্রোটিনকে ফ্লোয়েমের ছিদ্র অবরোধকারী প্রোটিন বলা হয়।

4. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

   a) কোন শ্রেণির শর্করা ফ্লোয়েমের মাধ্যমে সর্বাধিক পরিবাহিত হয়?

   b) ফ্লোয়েম রসে সুক্রোজের ঘনত্ব কত?

   c) দু'টি হর্মোনের নাম লিখুন যেগুলি ফ্লোয়েমের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।

   d) একটি সুগার - অ্যালকোহলের নাম লিখুন যা ফ্লোয়েম রসে পাওয়া যায়।

6.11 উত্তরসংকেত

অনুশীলনী - 1

1. a) সিভনলের মাধ্যমে, b) পলিস্যাকারাইড জাতীয় পদার্থ, c) ফ্লোয়েম প্রোটিন, d) র‍্যাফিনোজ সিরিজের শর্করা।

2. a) বলয়, b) ফ্লোয়েম প্রোটিন, c) গ্লুকোজ, d) সুক্রোজ

3. a) 6.3 অংশে আলোচিত, b) 6.3 অংশে আলোচিত, c) 6.5 অংশে আলোচিত, d) ফ্লোয়েম ফিলামেন্ট প্রোটিন ও ফ্লোয়েম লেকটিন প্রোটিন।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. a) অ্যাফিড, b) চালুনিচ্ছদা, c) সিমপ্লাস্টিক, ঘ) দ্বিমুখী

2.

A স্তম্ভ	B স্তম্ভ
1	5
2	1
3	6
4	2
5	3
6	4

3. a) 6.3 অংশে আলোচিত, b) 6.6 অংশে আলোচিত, c) 6.4 অংশে আলোচিত।

4. a) র‍্যাফিনোজ, b) 0.3–0.9M, c) GA ও ABA, d) ম্যানিটল।

একক 7 ❑ বৃদ্ধি (Growth)

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

7.2 বৃদ্ধির সংজ্ঞা

7.3 বৃদ্ধি, বিভেদ ও বিকাশ

7.4 কোষীয় বৃদ্ধি

7.5 বৃদ্ধির স্থান

7.6 বৃদ্ধির পর্যায়

7.7 বৃদ্ধির রেখাচিত্র

7.8 বৃদ্ধির প্রভাবক

7.9 বৃদ্ধির পরিমাপের পরীক্ষা

7.10 সারাংশ

7.11 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

7.12 উত্তরসংকেত

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

বৃদ্ধি হল সজীব বস্তুর একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য। অতি নিম্নশ্রেণির প্রাণী বা অনুজীবের ক্ষেত্রে বৃদ্ধি আর সংখ্যাবৃদ্ধি সমার্থক। কিন্তু উচ্চতর প্রাণী বা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে একটি কোষ বিভাজিত হয়ে দুটি হওয়া মানেই বৃদ্ধি নয়। একটি এককোষী ভ্রূণ পুনঃ পুনঃ বিভাজিত হয় বটে কিন্তু তার সঙ্গে সঙ্গে মূল, কাণ্ড, পাতা ও পরে ফুল ও ফল রূপে বিকশিত হয়। সুতরাং বিকাশ (development) দেখা যাচ্ছে বৃদ্ধির সঙ্গে অঙ্গাঙ্গীভাবে জড়িত। একগুচ্ছ অবিকশিত কোষ সুসংহত বিকশিত উদ্ভিদের রূপ পেতে গেলে কোষগুলির মধ্যে গুণগত পরিবর্তন সাধিত হওয়া দরকার। এই পরিবর্তনকে বলা হয় বিভেদ (differentiation)। সুতরাং বৃদ্ধি, বিভেদ ও বিকাশ এই তিনের সমন্বয়ে আসে পরিপূর্ণতা।

এই অধ্যায়ে আপনারা জানতে পারবেন।

- বৃদ্ধি কাকে বলে?
- বৃদ্ধি বিভেদ ও বিকাশ — এই তিনের মধ্যে সম্পর্ক বা পার্থক্য কী?

- উদ্ভিদের বৃদ্ধি কোথায় হয়?
- উদ্ভিদের বৃদ্ধির পর্যায়গুলি কী কী?
- উদ্ভিদের বৃদ্ধিকে গাণিতিক উপায়ে কীভাবে প্রকাশ করা যায়?
- উদ্ভিদ-বৃদ্ধির প্রভাবকগুলি কী কী?

7.2 বৃদ্ধির সংজ্ঞা

জীবের অঙ্গের বা কোষের আকার, ওজন, আয়তন বা শুষ্ক ওজনের স্থায়ী ও অপরিবর্তনীয় বৃদ্ধিকে বৃদ্ধি নামে অভিহিত করা হয়।

এই সংজ্ঞা যথেষ্ট নমনীয় এই অর্থে যে ভিন্ন ভিন্ন আধারের পরিপ্রেক্ষিতে বৃদ্ধিকে এই সংজ্ঞা অনুযায়ী ব্যাখ্যা করা যায়। যেমন আয়তনের সাপেক্ষে

$G=V_t - V_0$ (যখন V_0= বৃদ্ধির পূর্বের আয়তন V_t=t সময় পরে আয়তন)।

ওজনের সাপেক্ষে,

$G=W_t - W_0$

বা, দৈর্ঘ্যের সাপেক্ষে

$G = L_t - L_0$

যেহেতু বৃদ্ধির গুণগত পরিবর্তনকে এই সংজ্ঞায় রূপায়িত করা যায় না সেহেতু ভিন্ন ভিন্ন বিষয়ের সাপেক্ষে বৃদ্ধিকে দেখা চলে এবং তার পরিমাপও করা চলে। সম্ভবত একটি মাত্র বিষয়কে স্থায়ীভাবে বৃদ্ধির পরিমাপের আধার হিসাবে চিহ্নিত করতে হলে শুষ্ক ওজনকেই করা উচিত।

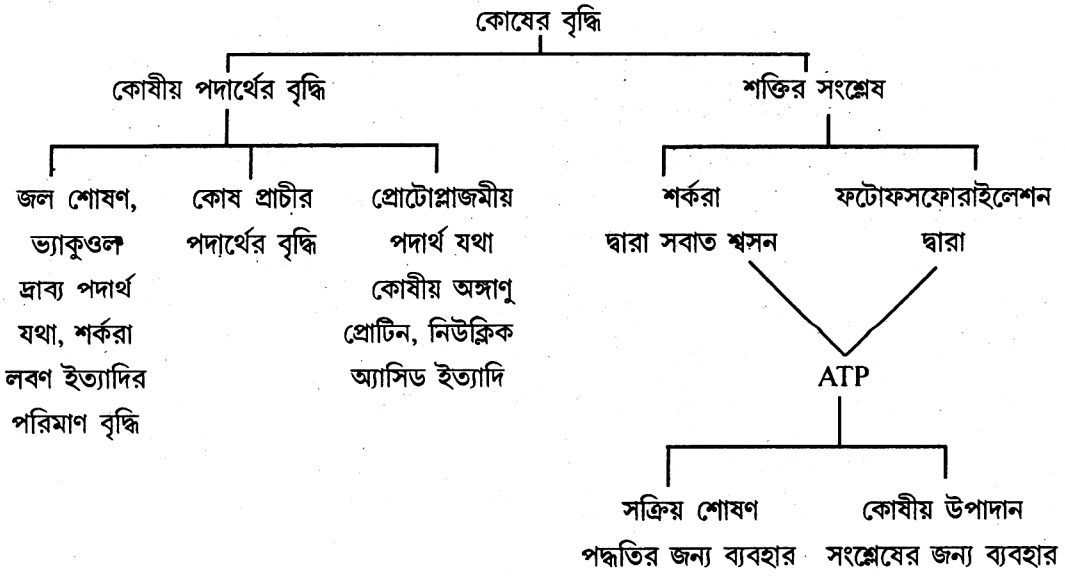
7.3 বৃদ্ধি, বিভেদ ও বিকাশ

একটি বীজের অঙ্কুরোদগমের পর চারাগাছের গঠন ও বৃদ্ধি, ফুল ফোটা এবং ফল সৃষ্টি ইত্যাদি পর্যায়গুলি সুনির্দিষ্ট ক্রম মেনে ঘটে থাকে। এই সমস্ত পর্যায় উদ্ভিদের বিকাশের অন্তর্গত। একটি সাধারণ ভ্রূণের কোষগুলির মধ্যে স্থানিক (localised) পার্থক্য থাকে। এই পার্থক্য অবশ্যই জিন নির্ধারিত। কোষগুলির ভিন্ন ভিন্ন জৈব রাসায়নিক ক্রিয়াকলাপের মধ্যে দিয়ে এই পার্থক্য পরিস্ফুট হয়। যার জন্য একগুচ্ছ অবিকশিত কোষের মধ্যে কোনটি কাণ্ড আবার কোনটি মূলের গঠনে অংশগ্রহণ করে। সাধারণভাবে সমআকৃতি বিশিষ্ট এবং সম উৎস থেকে উদ্ভূত কোষগুলির মধ্যে যে প্রক্রিয়ায় এই স্থানিক পার্থক্যের প্রকাশ ঘটে থাকে তাকে বলে বিভেদ (differentiation)। বৃদ্ধি ও বিভেদ উভয়ের সমন্বয়ে উদ্ভিদের বিকাশ বা (development) হয়ে থাকে। কোষ বিভাজন ও কোষের আয়তন

বৃদ্ধি নিঃসন্দেহে বৃদ্ধির অঙ্গ। বিভাজনজাত কোষের বৃদ্ধির পর বিভেদ পর্যায়ে উদ্ভিদ কোষ উদ্ভিদের দেহে সুনির্দিষ্ট আকার ও কার্যের ভিত্তিতে অঙ্গীভূত হয় এবং উদ্ভিদের পরিপূর্ণ বিকাশে অংশ নেয়।

7.4 কোষীয় স্তরে বৃদ্ধি

কোষের বৃদ্ধি আগেই বলা হয়েছে, কোষ বিভাজনের পরবর্তী পর্যায়। বস্তুত কোষের বৃদ্ধি সামগ্রিকভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধিরূপে প্রতিভাত হয়। কোষের আয়তন বৃদ্ধির সবথেকে স্বাভাবিক কারণ হল কোষের রসস্ফীতি। রসস্ফীতির চাপ বাড়ার ফলে কোষপ্রাচীরের উপর চাপ বাড়ে এবং কোষ প্রাচীর প্রসারিত হয়। সাধারণ অবস্থায় এই আয়তন বৃদ্ধির পরিমাপ 15 গুন পর্যন্ত হওয়া সম্ভব। জল ও দ্রাব্য শোষণ ছাড়াও কোষের বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বহু সংশ্লেষণী কার্য সম্পন্ন হতে থাকে। নতুন কোষ প্রাচীর গঠনকারী পদার্থ তো সংশ্লেষিত হয়ই, তাছাড়া আরও নতুন প্রোটিন, নিউক্লিক অ্যাসিড, ফসফোলিপিড ইত্যাদি তৈরি হতে থাকে। কোষে অঙ্গাণুর সংখ্যাও (যেমন রাইবোজোম, মাইটোকনড্রিয়া, ক্লোরোপ্লাস্ট ইত্যাদি) বাড়ে। এই জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়াসমূহের জন্য শক্তি প্রয়োজন ফলে ATP সংশ্লেষের হারও বাড়ে। সুতরাং কোষের বৃদ্ধিকে আমরা এভাবে তালিকাবদ্ধ করতে পারি —



অনুশীলনী - 1

1. নীচের প্রশ্নগুলির সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ-

   a) একটি সমীকরণের সাহায্যে শুষ্ক ওজনের সাপেক্ষে বৃদ্ধিকে প্রকাশ করা যায় কী ?

   b) ভ্রূণকোষগুলির মধ্যে স্থানিক পার্থক্য বলতে কী বোঝায়?

   c) কোষের আয়তন বৃদ্ধির মুখ্য কারণ কী?

d) বৃদ্ধির সাথে ATP সংশ্লেষ হারের সম্পর্ক কী?

e) বিভেদ ও বিকাশের মধ্যে সম্পর্ক কী?

f) কোষ বিভাজনের মাধ্যমে কোষের সংখ্যা বৃদ্ধি পাওয়াকেই আমরা উদ্ভিদের বৃদ্ধি বলতে পারি কি?

7.5 বৃদ্ধির স্থান (Site of growth)

উদ্ভিদের বৃদ্ধি অনিয়ত অর্থাৎ উদ্ভিদ সমগ্র জীবৎকাল ধরেই বৃদ্ধি পেতে পারে। তবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি স্থানিক অর্থাৎ সুনির্দিষ্ট অঞ্চলে সীমাবদ্ধ। সপুষ্পক উদ্ভিদে মূল ও কাণ্ডের অগ্রভাগে আছে অগ্রস্থ ভাজক কলা (artical meristem)। এর কার্যকারিতার দরুন যে বৃদ্ধি হয় তাকে উদ্ভিদের প্রাথমিক বৃদ্ধি বলে। এর ফলে মূল ও কাণ্ডের অগ্রভাগে বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের কাণ্ডে মুক্ত নালিকা বাণ্ডিল দেখা যায়। এক্ষেত্রে জাইলেম ও ফ্লোয়েমের অন্তর্বর্তী স্থানে ক্যাম্বিয়াম দেখা যায়। ক্যাম্বিয়াম হল একটি ভাজক কলা এবং একে বলে পার্শ্বস্থ ভাজক কলা (lateral meristem)। এর কার্যকারিতায় উদ্ভিদের দেহে গৌণ কলার সমাবেশ ঘটে এবং একে বলে গৌণ বৃদ্ধি।

এছাড়া কিছু কিছু উদ্ভিদে অগ্রস্থ ভাজক কলা ও পার্শ্বস্থ ভাজক কলার অন্তবর্ত্তী স্থানে নিবেশিত ভাজক কলা (Intercalary meristem) দেখা যায় (যথা Mentha) যার প্রভাবে দৈর্ঘ্যে বৃদ্ধি ঘটে থাকে। আদতে নিবেশিত ভাজক কলা হল অগ্রস্থ ভাজক কলারই অংশ যা স্থায়ী কলার চাপে মূল অংশ থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে গেছে।

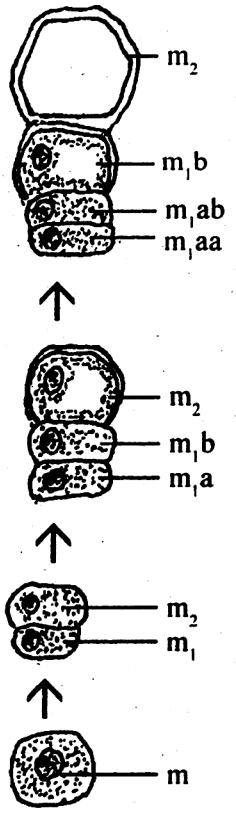
7.6 বৃদ্ধির পর্যায় (Phases of growth)

কোষীয় বৃদ্ধির ব্যাপারটি আলোচনা প্রসঙ্গে আমরা দেখেছি যে কোষ বিভাজন ও তার পরবর্তী বৃদ্ধির সমন্বয়ে একটি কোষ পূর্ণতাপ্রাপ্ত হয়। উদ্ভিদের বৃদ্ধি যেহেতু ভাজককলার কার্যকারিতার ফলেই ঘটে থাকে সেহেতু বৃদ্ধির পর্যায়গুলিকে আমরা কোষগুলির পরিপ্রেক্ষিতে নিম্নলিখিতভাবে ভাগ করতে পারি—

a) **কোষ গঠন দশা ঃ** এই দশায় ভাজক কোষগুলি বিভাজিত হয় এবং অপত্য কোষ গঠন করে। অপত্য দ্বয়ের মধ্যে একটি বিভেদ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিকাশ লাভ করে এবং স্থায়ী কলায় অঙ্গীভূত হয়। অপরটি ভাজক বৈশিষ্ট্য বজায় রেখে বৃদ্ধির কাজটি বজায় রাখে।

b) **দীর্ঘীকরণ দশা ঃ** স্থায়ী কলার অঙ্গীভূত কোষ আকারে বৃদ্ধি পায়। প্রক্রিয়াটি অভিস্রবনীয় চাপের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত। এর ফলে কোষের জল শোষণ হার বৃদ্ধি পায় এবং কোষপ্রাচীরের আয়তন বৃদ্ধি পায়।

c) **পরিণতি দশা ঃ** দীর্ঘীকরণ সম্পন্ন হবার পরই আসে পরিণতির পর্যায়। কোষগুলি জিনগত বৈশিষ্ট্যের নিরিখে সুনির্দিষ্ট শারীরবর্তীয় বৈশিষ্ট্য লাভ করে অর্থাৎ তাদের বিভেদ সম্পূর্ণ হয় এবং কিছু ব্যতিক্রম ছাড়া পরিণতি প্রাপ্ত কোষের আর কোনো গঠনগত পরিবর্তন সাধিত হয় না।



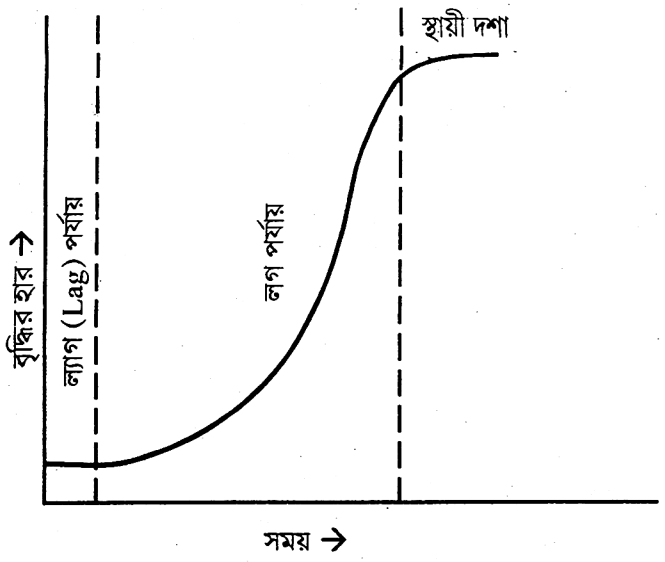
প্রান্তলিপি - 1

পাশের চিত্রগুলিতে বৃদ্ধির বিভিন্ন পর্যায়ের একটি আভাস দেওয়া হয়েছে। তিরচিহ্নের ক্রম লক্ষ করে দেখুন প্রথমে একটি ভাজক কোষ (m) বিভাজিত হয়ে দুটি অপত্য কোষে (m_1, m_2) পরিণত হয়। এদের মধ্যে একটি ভাজক কোষের ধর্ম বজায় রাখে এবং বিভাজিত হয়ে পুনরায় দুটি অপত্য (m_1a এর m_1b) কোষ সৃষ্টি করে। অপরটি (m_2) আকারে বড়ো হয়; কোষ প্রাচীর পুরু হয়, ভ্যাকুওল অর্জন করে। এটি হল (m_2) এর দীর্ঘীকরণ দশা। ক্রমশ (m_2) পরিণতি লাভ করে একটি জাইলেম বাহিকারূপে এবং এটির সাইটোপ্লাজম ও নিউক্লিয়াস অবলুপ্ত হয়। m_2b কে আমরা দীর্ঘীকরণের পর্যায়ে দেখতে পাচ্ছি। m_1a কিন্তু তার ভাজক ধর্ম বজায় রেখেছিল এবং আবার বিভাজিত হয়ে m_1aa ও m_1ab কোষদ্বয় গঠন করেছে।

7.7 বৃদ্ধির রেখচিত্র (Growth Curve)

উদ্ভিদের বৃদ্ধির হার জীবতকালে সর্বদা সমান হয় না। একক কোষের বৃদ্ধির বেলায় একই ঘটনা পরিলক্ষিত হয়। কোষ গঠন দশায় বৃদ্ধির হার অপেক্ষাকৃত কম হলেও কোষ প্রসারণ দশায় দ্রুত হারে বৃদ্ধি সম্পন্ন হয় এবং পরিণতির দশায় বৃদ্ধির হার ধ্রুবকে পরিণত হয়। উদ্ভিদের বৃদ্ধির যে পর্যায়ে সর্বোচ্চ বৃদ্ধি হার পরিলক্ষিত হয় অথবা যে পর্যায়ে বৃদ্ধি গাণিতিক হারে (arithmetic proportion) সম্পন্ন হয় তাকে বলে মুখ্য বৃদ্ধি কাল (grand period of growth).

বৃদ্ধির একটি লেখচিত্র (চিত্র 7.1 দ্রষ্টব্য) সময়ের পরিপ্রেক্ষিতে বৃদ্ধির হার চিহ্নিত করা হলে দেখা যায় যে কি একক কোষ, কি অঙ্গবিশেষ অথবা সমগ্র উদ্ভিদের ক্ষেত্রে লেখচিত্রের নকশাটি একই রকম অর্থাৎ ইংরাজি 'S' এর অনুরূপ একে সিগময়েড (Sigmoid) লেখচিত্র বলে।



চিত্র 7.1 ঃ উদ্ভিদ বৃদ্ধির লেখচিত্র

এই লেখচিত্রের তিনটি পর্যায় লক্ষণীয়। প্রথম পর্যায়ে বৃদ্ধির হার ধীর অথবা কখনও কখনও ঋণাত্মক। একে বলে ল্যাগ (lag) পর্যায়। দ্বিতীয় পর্যায়ে বৃদ্ধির হার দ্রুত। এই পর্যায়ে বৃদ্ধি জ্যামিতিক ক্রমমানতায় (geometric progression) সম্পন্ন হয় বলে বৃদ্ধির হারকে log 'এ উপস্থাপিত করলে একটি ক্রমারোহী লেখ পাওয়া যায়। একে বলে বৃদ্ধির লগ (log) দশা। তৃতীয় পর্যায়ে বৃদ্ধির হার হ্রাস পায় এবং লেখচিত্র অনুভূমিক লেখ রূপে প্রকাশিত হয়। একে বলে বার্ধক্য (Senescence Phax) বা স্থায়ী দশা (Steady state) ব্ল্যাকম্যান (Blackman, 1919) বৃদ্ধিকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করেছিলেন।

$$W_t = W_0 \cdot e^{rt}$$

যেখানে W_t = বৃদ্ধির চূড়ান্ত দশা

W_0 বৃদ্ধির প্রাথমিক দশা

e = লগারিদমের ভূমি

r = তুলনামূলক বৃদ্ধির হার

t = সময় (অতিক্রান্ত)

এই সমীকরণ অনুযায়ী দেখা যাচ্ছে লগারিদমের ভিত্তিতে বৃদ্ধির হারকে প্রকাশ করতে গেলে স্বাভাবিক বৃদ্ধির হার নয়, তুলনামূলক বৃদ্ধির হার অপেক্ষাকৃত বেশি গুরুত্বপূর্ণ। অতএব গাণিতিক পরিমাপেও বৃদ্ধির হার সরলরৈখিক হওয়া সম্ভব নয়। তাই বৃদ্ধির সিগময়েড লেখচিত্রটিই বৃদ্ধির সঠিক প্রকাশ।

লেখচিত্রের তিনটি পর্যায়কে একটি উদ্ভিদের বৃদ্ধির পরিপ্রেক্ষিতে দেখলে দেখা যাবে যে অঙ্কুরোদগমের সময়ে বীজে সঞ্চিত শর্করাও স্নেহপদার্থ শ্বসনে ব্যবহৃত হয়। এর ফলে শক্তি উৎপাদিত হয়। কিন্তু সেই শক্তি অঙ্কুরোদগমের জন্য প্রয়োজনীয় উৎসেচক সংশ্লেষণে ব্যয়িত হয়। তাই অঙ্কুরোদগমের পর্যায়ে শুষ্ক ওজন হ্রাস পায় এবং লেখচিত্র তা ল্যাগ পর্যায় রূপে প্রকাশিত।

এরপর সালোকসংশ্লেষের হার বাড়ে। খাদ্যবস্তু সঞ্চিত হয় এবং উদ্ভিদের একক কোষের তথা সমগ্র উদ্ভিদদেহের শুষ্ক ওজন বৃদ্ধি পায়। বৃদ্ধির হারটি জ্যামিতিক ক্রমাবর্তন (logarithmic) মেনে চলে। এর পরবর্তী পর্যায়ে উদ্ভিদের অগচিতি ও উপচিতি বিপাকের হার মোটামুটি সমতা বজায় রাখে বলে লেখচিত্র অনুভূমিক।

7.8 বৃদ্ধির প্রভাবক (Factors affecting growth)

বৃদ্ধির প্রভাবকগুলিকে বহি ও অন্ত প্রভাবক এই দুইভাগে ভাগ করা যায়।

I. **বহিঃপ্রভাবক (External Factors) ঃ**

জল, বায়ু, উষ্ণতা ইত্যাদির মতো প্রাকৃতিক শর্তাবলী উদ্ভিদের বৃদ্ধিকে প্রভাবিত করে।

A) **উষ্ণতা ঃ** উদ্ভিদের জীবজ ক্রিয়াকলাপগুলি O^0C থেকে 35^0C এর মধ্যে সম্পন্ন হয়। এই উষ্ণতাক্ষেত্রের মধ্যে প্রতি 10^0C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে বৃদ্ধির হার দ্বিগুণ বৃদ্ধি পায়। বিজ্ঞানী ভ্যাট হফ (Vart Hoff) এর সূত্র অনুযায়ী উপরিলিখিত পর্যবেক্ষণের ভিত্তিতে উষ্ণতা সহগ Q_{10} এর মান 2, কিন্তু 35^0C এর উপরে এই সূত্র প্রযোজ্য হয় না কেননা অধিকাংশ উৎসেচকই 35^0C এর থেকে অধিক উষ্ণতায় নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়। বৃদ্ধির উষ্ণতা ক্ষেত্রের মধ্যে তিনটি মান গুরুত্বপূর্ণ - সর্বনিম্ন (minimum) যার তলায় বৃদ্ধি হয় না, সর্বোৎকৃষ্ট (optimum) - যে উষ্ণতায় বৃদ্ধির হার সর্বাধিক এবং সর্বোচ্চ (Maximum) - যে উষ্ণতার ঊর্ধ্বে বৃদ্ধি হ্রাস পায়। এই মানগুলির পরিমাপ উদ্ভিদবিশেষে ভিন্ন ভিন্ন এবং বৃদ্ধির দশার উপরেও অনেকাংশে নির্ভরশীল। তাই মেরু অঞ্চল বা নাতিশীতোষ্ণ অঞ্চলের উদ্ভিদের বৃদ্ধি সহায়ক উষ্ণতা ক্ষেত্র গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলের উষ্ণতাক্ষেত্র অপেক্ষা ভিন্নতর।

অনুশীলনী - 1

I. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন**

a) বৃদ্ধির পর্যায়গুলিকে কিরূপে ক্রমানুসারে সাজানো যায়?

b) ল্যাগ দশা কী এবং এই দশার তাৎপর্য কী?

c) লগ পর্যায়ের এইরূপ নামকরণের কারণ কী?

d) মুখ্য বৃদ্ধিকাল কাকে বলে?

e) একটি সমীকরণ দ্বারা বৃদ্ধির হারকে প্রকাশ করুন।

B) **আলোক ঃ** যদিও আলোক সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ার প্রত্যক্ষ উপাদান তবুও এই প্রভাবকটির বৃদ্ধির সঙ্গে সরাসরি সংযোগ কম। কোষে বৃদ্ধি উপযোগী উপাদান উপস্থিত থাকলে আলো ব্যতিরেকেও বৃদ্ধি হতে পারে। অন্ধকারে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত উচ্চতর উদ্ভিদের পত্র পিঙ্গল, বৃহত্তর এবং পর্বমধ্য দীর্ঘ হয়। অপরপক্ষে আলোক বৃদ্ধিপ্রাপ্ত উদ্ভিদের পর্বমধ্য খর্ব এবং পাতা সবুজ হয়। পিঙ্গল উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের হার হ্রাসপ্রাপ্ত হওয়ার দরুন কোষে সঞ্চিত বৃদ্ধি সহায়ক উপাদানগুলির পরিমাণ কম হয় এবং বৃদ্ধির হার পরোক্ষভাবে কমে যায়। অতিরিক্ত ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট পত্র বা দীর্ঘ পর্বমধ্য উদ্ভিদের জৈবিক অস্বাভাবিকতাকেই চিহ্নিত করে।

তিনভাবে আলোক শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলিকে প্রভাবিত করে।

আলোর প্রখরতা (intensity) ঃ কম প্রখরতার আলোয় পত্রের আলোকসংবেদী উপরিতলের পরিমাণ বৃদ্ধির প্রয়োজন হয় ফলে পত্র আকারে বাড়ে। তাছাড়া ক্ষীণ আলোকে (etiolin) নামক একটি যৌগ সংশ্লেষিত হয় ফলে পত্র পিঙ্গল হয়।

আলোর গুণগত প্রকৃতি (quality) ঃ লোহিত তরঙ্গ বিশিষ্ট আলোয় বৃদ্ধির হার বাড়ে কেননা এই আলো সালোকসংশ্লেষের পক্ষে সহায়ক। আবার নীল-বেগুনি বর্ণের আলোয় পর্বমধ্যের বৃদ্ধি দেখতে পাওয়া যায়।

আলোর স্থিতিকাল (duration) ঃ জনন অঙ্গের বৃদ্ধি ও বিকাশ যথা পুষ্প প্রস্ফুটন, ফল সৃষ্টি ইত্যাদি প্রক্রিয়া আলোর স্থিতিকাল দ্বারা প্রভাবিত হয়। স্থিতিকালের ভিত্তিতে উদ্ভিদের সংবেদনশীলতা ভিন্ন ভিন্ন। তাই কোনো উদ্ভিদের গ্রীষ্মকালে আবার কোনোটির শীতকালে পুষ্পসঞ্চার হয়।

C) **জল (water) ঃ** বৃদ্ধির সঙ্গে কোষের প্রসারণ (elongation) একান্তভাবে সম্পর্কযুক্ত। কোষের মধ্যে জল প্রবেশ করার পরই কোষে রসস্ফীতির চাপ বাড়ে ফলে কোষ প্রাচীর প্রসারিত হয়। জলের অভাবে বৃদ্ধির হার স্বাভাবিকভাবেই কমে যায়। আবার অতিরিক্ত জলের উপস্থিতিতে বৃদ্ধির হার কমে যায়। পাতার বৃদ্ধি দুর্বল ভাবে হয় এবং কোষের বিভেদ (differentiation) ব্যহত হয়।

D) **অক্সিজেন ঃ** বৃদ্ধি হল একাধিক জৈব-রাসায়নিক প্রক্রিয়ার সমন্বয় যার সবকয়টিই কোষীয় শক্তি ব্যয় করে সম্পন্ন হয়। কোষীয় শক্তি উৎপাদিত হয় অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সবাত শ্বসন প্রক্রিয়ায়। তাই অক্সিজেনের অভাবে বৃদ্ধি ব্যাহত হয়।

E) **মৃত্তিকা ঃ** মৃত্তিকা জৈব বিপাকের জন্য প্রয়োজনীয় রসদ জোগায়। মাটির জল ও খনিজ লবণের ভাণ্ডার স্বাভাবিকভাবেই বৃদ্ধিকে প্রভাবিত করে। মাটিতে উপস্থিত জৈব বা অজৈব রাসায়নিক কীট বা আগাছানাশকের উপস্থিতিতে বৃদ্ধির হার কমে যায়।

F) **বায়ুদূষক (pollutants) ঃ** আধুনিককালে নানা বিজ্ঞানীর পরীক্ষায় দেখা গেছে যে বিভিন্ন প্রকার বায়ুদূষক যেমন পারঅক্সিঅ্যাসিটাইল নাইট্রেট (PAN), সালফার ডাই-অক্সাইড, কার্বন মনোঅক্সাইড, ওজোন ইত্যাদি বৃদ্ধির উপর ক্ষতিকর প্রভাব ফেলে। যেমন, গ্ল্যাডিওলাস জাতীয় ফুল এবং লেবু জাতীয় ফল ফ্লুওরাইড পূর্ণ আবহাওয়ায়

ভালো হয় না। ওজোন পূর্ণ আবহাওয়ায় তামাক চাষ লাভজনক নয়। বায়বীয় বিভিন্ন জারকের প্রভাবে পাইন গাছ ক্ষতিগ্রস্ত হয় ইত্যাদি।

II. **অন্তঃপ্রভাবক (Internal factors) ঃ**

A) **জিনগত নিয়ন্ত্রণ (genetic control) ঃ** আমরা জানি যে কোন উদ্ভিদ কোষই একটি পূর্ণাঙ্গ উদ্ভিদের রূপান্তরিত হতে পারে। অর্থাৎ উদ্ভিদের যে কোনো কোষ, সে পরিপূর্ণ বিকশিত কোষ বা ভাজক কোষ, যাই হোক না কেন, সেটির মধ্যে একটি পরিপূর্ণ উদ্ভিদে পরিণত হবার সমস্ত "তথ্য" আছে। উদ্ভিদ কোষের এই বৈশিষ্ট্যকে বলে টোটিপোটেন্সি (totipotency), এতদ্ সত্ত্বেও কোষগুলির মধ্যে অবস্থানগত, কার্যগত, গঠনগত ও শারীরবৃত্তীয় স্বাতন্ত্র্য বজায় থাকে। তাই কলার গঠন ও কাজ ভিন্ন ভিন্ন, আকৃতি ও কোষের ভিত্তিতে মূল, কাণ্ড, পাতা একে অন্যের থেকে পৃথক। অতএব মেনে নিতেই হবে যে বৃদ্ধির সমস্ত পর্যায়েই কিছু জিন নিজেকে প্রকাশ করে এবং কিছু জিন অবদমিত থাকে। বিষয়টি সামগ্রিকভাবে আবার কিছু নিয়ন্ত্রক জিনের অধীন যার সুনির্দিষ্ট ক্রম মেনেই প্রকাশিত হয়। তাই অঙ্কুরে পুষ্পোদ্গম হয় না অথবা বীজ সুপ্তাবস্থা কাটিয়ে ওঠার আগে অঙ্কুরোদ্গম হয় না।

B) **হরমোনগত নিয়ন্ত্রণ (Hormonal control) ঃ** বৃদ্ধি অর্থাৎ কোষ বিভাজন ও বিভেদে হরমোনের ভূমিকা প্রমাণিত সত্য। কলা কৃষ্টি (tissue culture) পদ্ধতিতে একক কোষ বা কলা সমষ্টিকে উপযুক্ত পুষ্টি ও হরমোনের প্রভাবে পূর্ণতাপ্রাপ্ত চারায় রূপান্তরিত করা যায়। বৃদ্ধিকে হরমোনগুলি ধনাত্মক বা ঋণাত্মক উভয়ভাবেই প্রভাবিত করে। এদের কাজ করার পদ্ধতি এককভাবে বা একাধিক হরমোনের একত্রে সমন্বয়ের মাধ্যমে হতে পারে। এ সম্পর্কে পর্যায় 7.8 এ বিস্তৃত আলোচনা করা হয়েছে।

C) **উৎসেচক (enzymes) ঃ** বৃদ্ধি হল একাধিক উপচিতি ও অপচিতি বিপাকক্রিয়ার সমন্বয়ে সাধিত স্থায়ী পরিবর্তন। সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া যেমন কোষের শক্তি সঞ্চয়ের জন্য কাঁচামাল যোগায়, শ্বসন প্রক্রিয়ার ফলে তেমনই বৃদ্ধির জন্য দরকারী শক্তি উৎপাদিত হয়। এই বিপাকক্রিয়াগুলি একাধিক জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার সঞ্চয় এবং প্রতিটি বিক্রিয়া উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। তাই উৎসেচক তন্ত্র বৃদ্ধির সবচেয়ে সহায়ক অন্তঃপ্রভাবক।

অনুশীলনী - 3

1. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন**

   a) সর্বোৎকৃষ্ট তাপমাত্রা বলতে কী বোঝায়?

   b) কম প্রখরতার আলোর প্রভাবে পাতার কী প্রতিক্রিয়া হয় এবং কেন?

   c) ইডিওলেশন কাকে বলে?

   d) বৃদ্ধির উপর ক্ষতিকারক প্রতিক্রিয়া আছে এমন দুটি যৌগের নাম লিখুন।

   e) বৃদ্ধির উপর হরমোনের প্রভাব কীভাবে পরীক্ষাগারে প্রমাণ করা যায়?

7.9 বৃদ্ধির পরিমাপের পরীক্ষা (Measurement of growth)

কাণ্ড বা মূলের দৈর্ঘ্য বা বেড় লক্ষ করে বৃদ্ধির পরিমাপ করা আমাদের প্রাত্যহিক পদ্ধতিগুলির মধ্যেই পড়ে। পরীক্ষামূলকভাবে এই বৃদ্ধির সঠিক পরিমাপ করতে হলে অবশ্য অক্সানোমিটার (Auxanometer) নামক যন্ত্রের সাহায্য নেওয়া হয়।

I. **কাণ্ডের রৈখিক বৃদ্ধির পরিমাপ**

i) আর্ক অক্সানোমিটার / ইন্ডিকেটর দ্বারা ঃ — আর্ক ইন্ডিকেটর (অক্সানোমিটার) হল একটি বৃত্তের 1/4 অংশের একটি রেখাঙ্কিত রূপ (চিত্র 7.2)। বৃত্তের কেন্দ্র অংশে একটি গুলি চক্র (pulley wheel) আছে। চক্রের সঙ্গে যুক্ত আছে একটি সূচক যা বৃত্তাংশের রেখাঙ্কিত অংশকে চিহ্নিত করতে পারে।

পরীক্ষার সময় একটি চারাগাছের কাণ্ডের অগ্রভাগের সঙ্গে একটি সূতো বাঁধা হল এবং সূতোটির অপর প্রান্ত একটি ভরের সঙ্গে বেঁধে সূতোটিকে পুলিচক্রের মধ্য দিয়ে ঘুরিয়ে দেওয়া হল। সূচকটির প্রাথমিক অবস্থান লক্ষ করা হল এবং এভাবে যন্ত্রটিকে রেখে দেওয়া হল। বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে সূচকের অবস্থানের পরিবর্তন লক্ষ করা হল। যদি পুলিচক্রের ব্যাসার্ধ 2" হয় এবং সূচকের দৈর্ঘ্য 20" হয় তাহলে দৈর্ঘ্য যন্ত্রে 10 গুণ বিবর্ধিত দেখাবে।

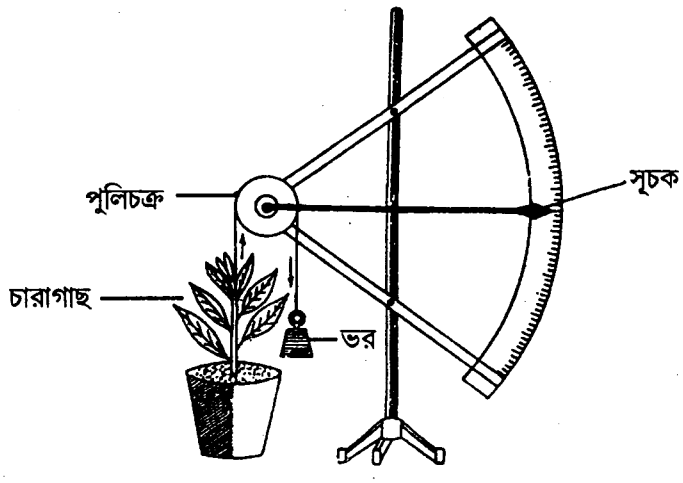
মনে করা যাক 24 ঘণ্টায় সূচকের পরিবর্তন 36 cm

$$\text{প্রকৃত বৃদ্ধি} = \frac{\text{সূচকের পরিবর্তন}}{\text{বিবর্ধন ক্ষমতা}}$$

$$= 36/10 \text{ cm}$$

$$= 3.6\text{cm} / 24\text{h}$$

$$= 1.5\text{mm} / 1 \text{ ঘণ্টায়}$$



চিত্র 7.2 ঃ আর্ক ইন্ডিকেটর

ii) **মূলের রৈখিক বৃদ্ধির পরিমাপ :** অঙ্কুরিত সতেজ ছোলার ভ্রূণমূলের উপর 1mm ব্যবধানে স্পেস মার্কার চক্রের (space marker wheel) সাহায্যে বিশেষ ধরনের কালির সাহায্যে দাগ দেওয়া হল যাতে দাগগুলি ধুয়ে না যায়। বীজটিকে একটি একটি আলপিনের সাহায্যে একটি কর্কের ছিপির নীচে আটকানো হল। একটি একমুখ বিশিষ্ট বোতলে কিছুটা জল নিয়ে এই বোতলের মুখটি এই ছিপির সাহায্যে আটকানো হল। বায়ু চলাচলের জন্য ছিপিটির মধ্য দিয়ে একটি কাচনল প্রবেশ করানো হল। মূলের বৃদ্ধি যাতে সরলরৈখিক হয় তা নিশ্চিত করার জন্য একটি কালো কাগজ দ্বারা বোতলটিকে আবৃত করে কয়েকদিন রেখে দেওয়া হল।

পরীক্ষার শেষে দেখা যাবে যে ভ্রূণমুকুলের অগ্র ও পশ্চাৎভাগের অন্তর্বর্তী স্থানের দাগগুলি পরস্পরের থেকে অনেক দূরে সরে গেছে। এতে প্রমাণিত হয় যে মূলের সক্রিয় বৃদ্ধির অঞ্চলটি মূলাগ্রের ঠিক পিছনে অবস্থিত।

7.10 সারাংশ

জীবের শুষ্ক ওজনের স্থায়ী এবং অপরিবর্তনীয় বৃদ্ধিকে বৃদ্ধি নামে অভিহিত করা হয়। বৃদ্ধি বিভেদ ও বিকাশ পরস্পরের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত। কোষের বৃদ্ধি মূলত ঘটে রসস্ফীতির চাপ বাড়ার দরুন। তার সঙ্গে সঙ্গে কোষীয় পদার্থও সংশ্লেষিত হতে থাকে। উদ্ভিদের বৃদ্ধি মূল ও কাণ্ড অগ্রভাগে অবস্থিত অগ্রস্থ-ভাজক কলার সাহায্যে হয়ে থাকে। পার্শ্বস্থ ভাজক কলার সাহায্যে উদ্ভিদ প্রস্থে বাড়ে। বৃদ্ধির লেখচিত্রটি একটি সিগময়েড লেখচিত্রের আকার নেয়। এর তিনটি পর্যায় যথাক্রমে ল্যাগ, লগ এবং স্থায়ী পর্যায়। বৃদ্ধির প্রভাবকগুলিকে বহি ও অন্ত এই দুই ভাগে ভাগ করা যায়। বহি প্রভাবকগুলির মধ্যে আলো, উষ্ণতা, জল, অক্সিজেন, মৃত্তিকা ইত্যাদি গুরুত্বপূর্ণ। অন্তপ্রভাবকগুলির মধ্যে হরমোন ও উৎসেচক এর ভূমিকা ছাড়াও সমগ্র বৃদ্ধির ঘটনাটি জীন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত।

7.11 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. বৃদ্ধি কাকে বলে? কোষীয় বৃদ্ধি বলতে কী বোঝায়? কোষীয় বৃদ্ধির বিভিন্ন পর্যায়গুলি আলোচনা করুন।
2. একটি লেখচিত্রের সাহায্যে বৃদ্ধিকে প্রকাশিত করুন। লেখচিত্রটি সিগময়েড হবার কারণ কী?
3. বৃদ্ধিকে প্রভাবিত করে এমন প্রভাবকগুলির ক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করুন।

7.12 উত্তর সংকেত

অনুশীলনী - 1

1. a) শুষ্ক ওজনকে যদি W ধরা হয় তবে
   $G = W_1 - W_0$ (7.2 দ্রষ্টব্য)
   b) 7.3 দেখুন
   c) 7.4 দেখুন

d) 7.4 দেখুন

e) বিভাজনের পর সৃষ্ট কোষগুলির জীন নিয়ন্ত্রিত স্থানিক পার্থক্যের ভিত্তিতে ভিন্ন ভিন্ন ভাবে পরিণতির দিকে যায়। এই ঘটনাকে বলে বিভেদ। বৃদ্ধি ও বিভেদ এই দুয়ের সমন্বয়ের বিকাশ সম্পন্ন হয়।

f) কোষ বিভাজনের ফলে সৃষ্ট কোষ বিভেদ পর্যায়ের মধ্য দিয়ে না গেলে বিকাশ ঘটে না। বিকাশ না ঘটলে যর্থাথ বৃদ্ধি বলা যায় না।

অনুশীলনী - 2

1. a) 7.6 দেখুন

b) 7.7 দেখুন

c) এই পর্যায়ে বৃদ্ধির হার লগারিদম মেনে চলে অর্থাৎ জ্যামিতিক ক্রমমানতায় সম্পন্ন হয়।

d) 7.7 দেখুন

e) 7.7 এ প্রদত্ত ব্ল্যাকম্যান-এর সমীকরণটি দেখুন।

অনুশীলনী - 3

1. a) 7.8 এর আলোক অংশ দেখুন।

b) পাতার আয়তন বৃদ্ধি পায় কেন না অতিরিক্ত আলোকসংবেদী পত্রতল প্রয়োজন হয়ে পড়ে উপযুক্ত পরিমাণ খাদ্য তৈরির জন্য।

c) কম আলোয় পাতায় ইষ্টিওলিন নামে একটি যৌগ জমা হয় এবং পাতা পিঙ্গল বর্ণ ধারণ করে। একে বলে ইন্টিওলেশন।

d) বায়ুদূষণ অংশ দেখুন।

e) টিস্যু কালচার পদ্ধতিতে কোষ বা কলাকে হরমোনের সাহায্যে উপযুক্ত পুষ্টি মাধ্যমে পূর্ণাঙ্গ উদ্ভিদচারায় রূপান্তরিত করা যায়।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. বৃদ্ধির সংজ্ঞা দিন।

7.4 অংশে কোষীয় বৃদ্ধি আলোচিত হয়েছে।

7.6 অংশে বৃদ্ধির বিভিন্ন পর্যায় আলোচিত হয়েছে।

2. 7.7 এ প্রদত্ত বৃদ্ধির লেখচিত্রটি অঙ্কন করুন।

ল্যাগ, লগ ও স্থায়ী পর্যায় এরূপ হবার কারণ কি তা বলুন। বৃদ্ধির সমীকরণ যে এই লেখচিত্রকে সমর্থন করে তা বলুন। একটি উদ্ভিদের অঙ্কুরোদগম থেকে পরিপূর্ণতা পর্যায়গুলির উদাহরণ দিয়ে লেখচিত্রটির যাথার্থ্য বোঝান।

3. 7.8 অংশে আলোচিত।

একক 8 ❑ উদ্ভিদ হর্মোন

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

8.1 হর্মোনের শ্রেণিবিভাগ

8.1 অক্সিন

8.3.1 অক্সিনের রাসায়নিক গঠন

8.3.2 অক্সিনের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি

8.3.3 অক্সিনের ক্রিয়াপদ্ধতি

8.4 জিব্বারেলিন

8.4.1 জিব্বারেলিনের রাসায়নিক গঠন ও সংশ্লেষ

8.4.2 শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি

8.5 সাইটোকাইনিন

8.5.1 সাইটোকাইনিনের রাসায়নিক গঠন ও সংশ্লেষ

8.5.2 শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি

8.6 ইথিলিন

8.7 অ্যাবসিসিক অম্ল

8.8 সারাংশ

8.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

8.10 উত্তরসংকেত

8.1 প্রস্তাবনা

উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুরণ অত্যন্ত জটিল প্রক্রিয়া হলেও এরা সুনিয়ন্ত্রিতভাবে সম্পন্ন হয়। বিজ্ঞানী স্যাচ (J Sach 1880) বলেন যে বিশেষ কয়েকটি প্রাকৃতিক রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণ করে। পরবর্তীকালে এই রাসায়নিক উপাদানগুলিই হর্মোনরূপে বিজ্ঞানীমহলে পরিচিত হয়। উদ্ভিদদেহে উৎপন্ন যে রাসায়নিক পদার্থগুলি

উৎপত্তি স্থান থেকে দূরবর্তী অঞ্চলে গিয়ে অতি অল্প পরিমাণে কার্যকরী হয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে তাদের উদ্ভিদ হরমোন (Phytohormone) বলে।

উদ্ভিদদেহে অক্সিন ও জিব্বারেলিন-এই দু'টি হর্মোন মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করলেও সাইটোকাইনিন, ইথিলিন ও অ্যাবসিসিক অম্লের ভূমিকাও বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

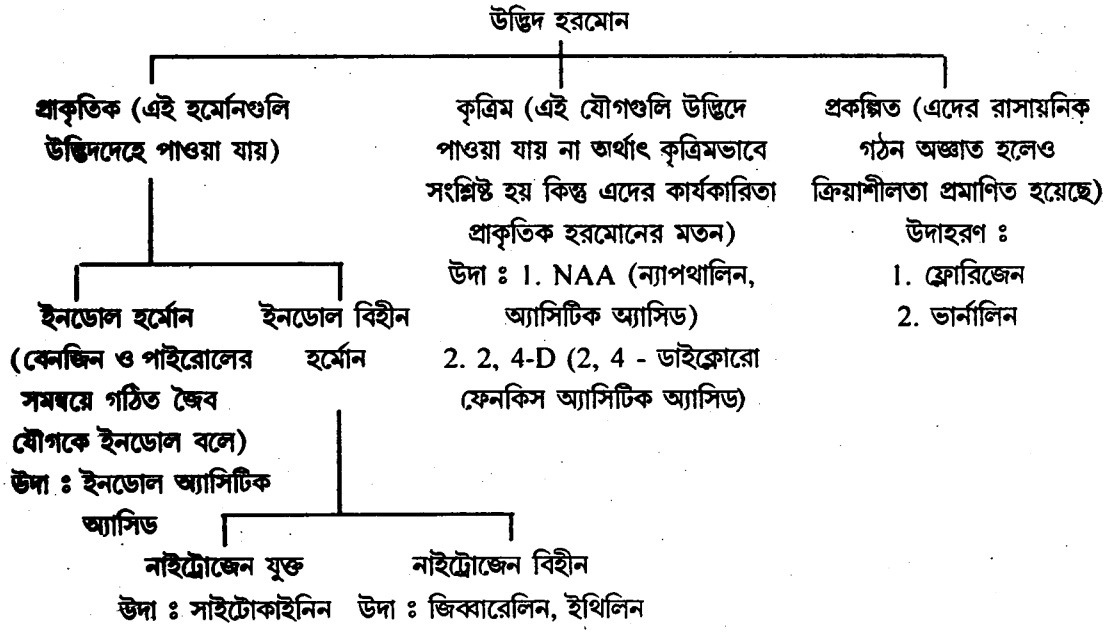
উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- হর্মোনের প্রকৃতি সম্বন্ধে একটি সাধারণ ধারণা লাভ করবেন।
- বিভিন্ন প্রকৃতির উদ্ভিদ হর্মোনের উদাহরণ দিতে পারবেন।
- অক্সিনের রাসায়নিক গঠন, সংশ্লেষ প্রক্রিয়া ও শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করতে পারবেন।
- জিব্বারেলিক অম্ল উদ্ভিদের বৃদ্ধি ছাড়াও কীভাবে অঙ্কুরোদগম ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াগুলি নিয়ন্ত্রণ করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সাইটোকাইনিন, ইথিলিন ও অ্যাবসিসিক অম্ল — এই তিনটি হর্মোনের কার্যকারিতা সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

8.2 হর্মোনের শ্রেণিবিভাগ

রাসায়নিক গঠন ও ক্রিয়াপদ্ধতির ভিত্তিতে হর্মোনকে নিম্নলিখিত ভাবে ভাগ করা যায় :-



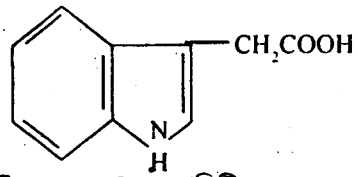
8.3 অক্সিন

বিশ্বখ্যাত বিজ্ঞানী ডারউইন প্রথম উল্লেখ (1886 খ্রিঃ) করেন যে একটি বিশেষ রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের জন্য দায়ী। বিজ্ঞানী ওয়েন্ট (Went) মই গাছের মুকুলাবরণীর (Coleoptile) বক্রতাজনিত চলনের জন্য সুনির্দিষ্ট রাসায়নিক পদার্থের উপস্থিতিকে দায়ী করেন। পরবর্তীকালে এই বিশেষ রাসায়নিক পদার্থটি 'অক্সিন' নামে অভিহিত হয়।

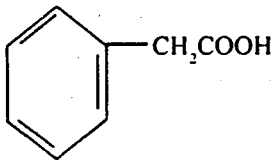
গ্রিক ভাষায় 'auxein' শব্দটির অর্থ হল 'বৃদ্ধি ঘটানো'। কোল ও তাঁর সহকর্মীরা (Kogl *et al* 1934) দেখান যে রাসায়নিকভাবে অক্সিন হল ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড।

8.3.1 অক্সিনের রাসায়নিক গঠন

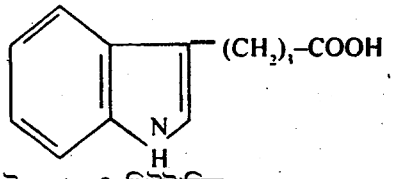
উদ্ভিদদেহে প্রধান অক্সিনটি ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড (IAA) হলেও বর্তমানে অনেকগুলি প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম অক্সিন আবিষ্কৃত হয়েছে। প্রাকৃতিক অক্সিনের মধ্যে ইনডোল প্রোপিয়নিক অ্যাসিড (IPA), ইনডোল বিউটারিক অ্যাসিড (IBA) প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য। অপরদিকে, ন্যাপথালিন অ্যাসিটিক অ্যাসিড (NAA), 2,4-ডাইক্লোরোফেনকিস অ্যাসিটিক অ্যাসিড (2,4-D) কৃত্রিম অক্সিন হলেও এদের কার্যকারিতার অনেকটা প্রাকৃতিক অক্সিনের মতন (চিত্র 8A ও 8B)।



ইনডোল - 3 - অ্যাসিটিক অ্যাসিড (IAA)

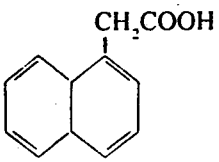


ফেনাইল অ্যাসিটিক অ্যাসিড (PAA)

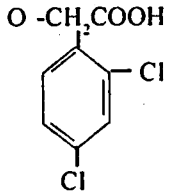


ইনডোল 3 বিউটারিক অ্যাসিড

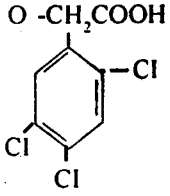
চিত্র 8A ঃ কয়েকটি প্রাকৃতিক অক্সিন



ন্যাপথালিন অ্যাসিটিক অ্যাসিড (NAA)



2,4 - ডাইক্লোরোফেনক্সি অ্যাসেটিক অ্যাসিড (2,4 - D)



2,4,5 ট্রাইক্লোরো অ্যাসেটিক অ্যাসিড (2,4,5 - T)

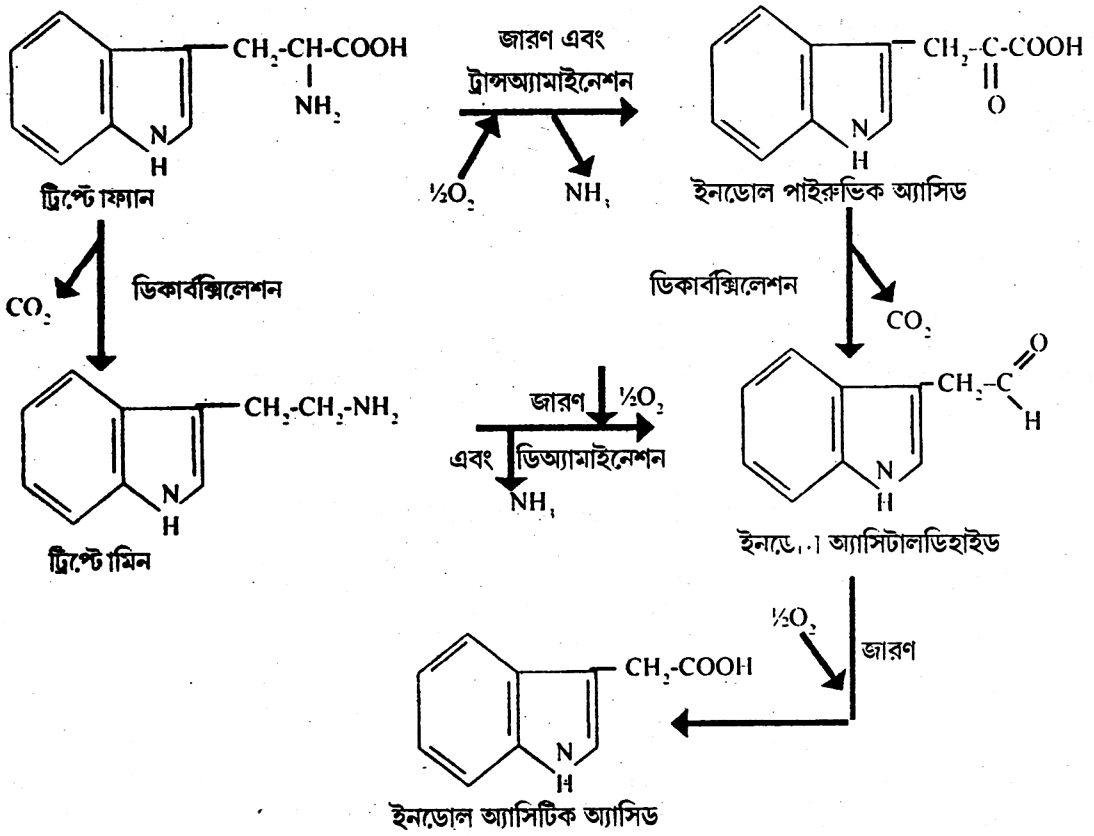
চিত্র 8B ঃ কয়েকটি কৃত্রিম অক্সিন

ট্রিপ্টোফ্যান নামক অ্যামাইনো অম্ল থেকে (IAA) উৎপন্ন হয়। ট্রিপ্টোফ্যান দুটি পৃথক বিক্রিয়া পদ্ধতির মাধ্যমে প্রথমে ইনডোল অ্যাসিট্যালডিহাইডে রূপান্তরিত হয়।

1) প্রথম পদ্ধতিতে ট্রিপ্টোফ্যানের জারণ ও ট্রান্স অ্যামাইনেশন ঘটার ফলে ইনডোল পাইরুভিক অম্লের সৃষ্টি হয়। পরবর্তী পর্যায়ে এই যৌগটির ডিকার্বক্সিলেশন (Co_2 বিচ্যুতি) ঘটার ফলে ইনডোল অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

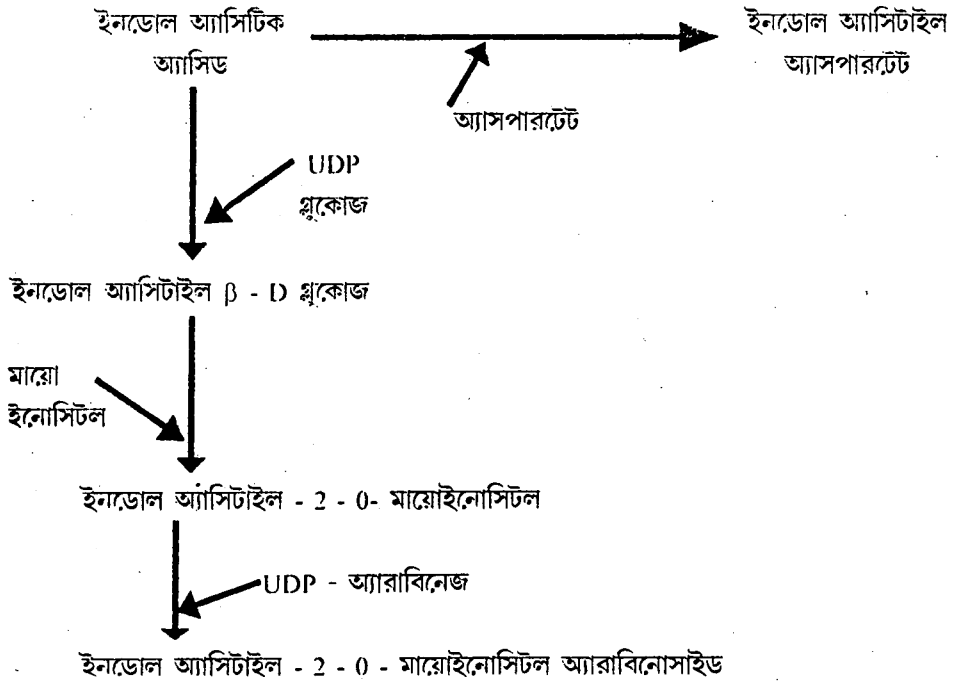
2) দ্বিতীয় পদ্ধতিতে প্রথমেই ট্রিপ্টোফ্যানের ডিকার্বক্সিলেশন ঘটে এবং ট্রিপ্টামিন উৎপন্ন হয়। পরবর্তী পর্যায়ে জারণ ও ডিঅ্যামাইনেশন ঘটার ফলে ইনডোল অ্যাসিট্যালডিহাইড উৎপন্ন হয়।

পরিশেষে ইনডোল অ্যাসিট্যালডিহাইডের জারণ ঘটায় ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড (IAA) উৎপন্ন হয় (চিত্র 8C)



চিত্র 8C ঃ উৎপাদনের সম্ভাব্য পথ

অক্সিন প্রধানত উদ্ভিদের অগ্রভাগে উৎপন্ন হয় এবং উৎপন্ন অক্সিনের একাংশ অন্য যৌগের সাথে বিক্রিয়া করে সংযুক্ত অক্সিন গঠন করে। সংযুক্ত অক্সিন সহজে বিনষ্ট হয় না কিন্তু মুক্ত অক্সিনের মতো এরা সক্রিয় নয়। সংযুক্ত অক্সিন বীজে খাদ্য সঞ্চয়ে সহায়তা করে এবং কোষকে জারণমূলক অবক্ষয়ের (Oxidative degradation) থেকে



চিত্র 8D ঃ বিভিন্ন প্রকার সংযুক্ত অক্সিন উৎপাদনের পথ

রক্ষা করে। প্রয়োজনের সময় সংযুক্ত অক্সিন থেকে বিজাতীয় যৌগটি অপসারিত হলে আবার সক্রিয় ও মুক্ত অক্সিন পাওয়া যায়। (IAA) মায়োইনোসিটল একটি সংযুক্ত অক্সিনের উদাহরণ।

8.3.2 অক্সিনের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি ঃ-

A) উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঃ-

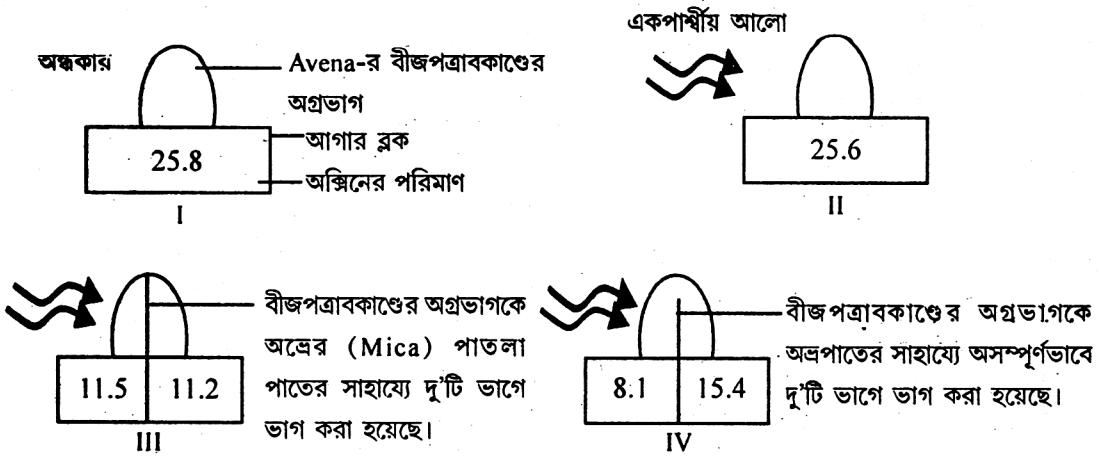
অক্সিন হল উদ্ভিদের বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণকারী মুখ্য হর্মোন। অক্সিন প্রধানত বিটপ অংশের অগ্রভাগে সংশ্লিষ্ট হয় এবং নিম্নাভিমুখে পরিবাহিত হয়ে উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধিকে নিয়ন্ত্রণ করে। অক্সিনের পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে বিটপ অংশের বৃদ্ধি ত্বরান্বিত হয় কিন্তু অক্সিনের অধিক ঘনত্বে মূলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। অক্সিন ভাজক কলা ও ক্যামবিয়ামের বৃদ্ধি বাড়িয়ে গাছকে দৈর্ঘ্য ও প্রস্থে বাড়াতে সাহায্য করে। অক্সিন কোষের বিভাজন ও কোষের আয়তন বাড়িয়ে উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধি ঘটায়।

B) ট্রপিক চলন

যে চলন উদ্দীপকের গতিপথ দ্বারা প্রভাবিত হয় তাকে ট্রপিক চলন বলে। অক্সিন আলোকবৃত্তি ও অভিকর্ষবৃত্তি - উভয় প্রকার চলনই নিয়ন্ত্রণ করে।

i) আলোকবৃত্তি চলন বা Phototropism

উদ্ভিদের বায়বীয় অংশ আলোর দিকে এবং মূল আলোর বিপরীত দিকে পরিচালিত হয়। এই কারণে উদ্ভিদের বিটপ অংশের চলনকে আলোক অনুবর্তী ও মূলের চলনকে আলোক প্রতিকূলবর্তী চলন বলে। বিজ্ঞানী ওয়েন্ট (Went, 1928) Arena গাছের বীজপত্রাবকাণ্ডের অগ্রভাগটি নিয়ে নিম্নলিখিত পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করেন যে অক্সিন আলোক অনুবর্তী চলনের জন্য দায়ী। A) বীজপত্রাবকাণ্ডটিকে অন্ধকারে রেখে দিলে তার অগ্রভাগে অক্সিন সঞ্চিত হয়। কর্তিত বীজপত্রাবকাণ্ডের তলায় একটি আগার ব্লক রাখলে তাতে অক্সিন সঞ্চিত হয় B) বীজপত্রাবকাণ্ডের একাপার্শ্বে আলো প্রদান করলে পূর্বের সমপরিমাণ অক্সিন সঞ্চিত হয় যা প্রমাণ করে যে অক্সিন আলোর প্রভাবে বিনষ্ট হয় না। C) পাতলা অভ্র (Mica) দিয়ে বীজপত্রাবকাণ্ডেকে লম্বালম্বিভাবে পৃথক করলে অক্সিনের পার্শ্বীয় চলন সম্ভব হয় না এবং মাইকার দু'দিকেই (আলোকিত অংশ ও তার বিপরীত দিকে) সমপরিমাণ অক্সিন সঞ্চিত হয় D) পরবর্তী পরীক্ষায়, একটি মাইকার প্লেট দিয়ে বীজপত্রাবকাণ্ডকে সম্পূর্ণভাবে বিভক্ত করলে দেখা যায় যে আলোর বিপরীত দিকে অক্সিনের ঘনত্ব বেড়ে যায় অর্থাৎ আলোকিত অংশ থেকে অন্ধকারের দিকে অক্সিনের পার্শ্বীয় চলন হয়। (চিত্র 8E-I-IV)।

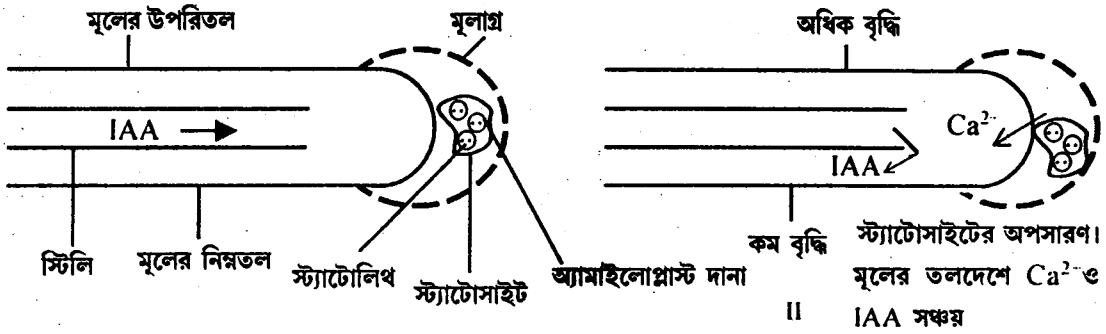


চিত্র 8E ঃ বীজপত্রাবকান্ডে আলোকনিয়ন্ত্রিত অক্সিন সঞ্চয় ও পার্শ্বীয় সঞ্চালন

এই পরীক্ষাগুলি থেকে এই সিদ্ধান্তে আসা যায় যে আলোর বিপরীত দিকে অক্সিনের পরিমাণ বৃদ্ধি পায়। যেহেতু অক্সিনের আধিক্যে বিটপ অংশের বৃদ্ধি বেশি হয় তাই আলোর দিকে কাণ্ডের কম বৃদ্ধি ও বিপরীত দিকে বেশি বৃদ্ধি হয়। এই অসম প্রসারণের ফলেই কাণ্ড আলোর দিকে বেঁকে যায়।

ii) **অভিকর্ষবৃত্তি চলন বা Geotropism**

মূলের বক্রচলন কীভাবে অক্সিন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় বিজ্ঞানীরা তারও ব্যাখ্যা করেন। মূলে অ্যামাইলোপ্লাস্ট সমৃদ্ধ একপ্রকার বিশেষ কণিকা লক্ষ করা যায় যাকে স্ট্যাটোলিথ বলে। স্ট্যাটোলিথগুলি স্ট্যাটোসাইট নামক কোষে সঞ্চিত হয়। মূল মাটিতে অনুভূমিকভাবে থাকলে স্ট্যাটোসাইট মূলাগ্র থেকে মূলের নীচের দিকে অপসারিত হয়। এর ফলে Ca^{2+} মূলের তলদেশে সঞ্চিত হয় এবং Ca^{2+} এর উচ্চ ঘনত্বের ফলে মূলের নিম্নভাগে অক্সিনের পরিমাণ বৃদ্ধি পায় (চিত্র 8F, I ও II)। যেহেতু অধিক অক্সিনের প্রভাবে মূলের বৃদ্ধি কমে যায় (কাণ্ডের বিপরীত) তাই মূলের নিম্নতল থেকে উপরিতলের বৃদ্ধি বেশি হয় এবং মূল এই অসমবৃদ্ধির ফলে নীচের দিকে বেঁকে যায় অর্থাৎ মূলের অভিকর্ষ অনুকূলবর্তী চলন দেখা যায়। ম্যাকলুর ও গুইলফোল (McClure and Guilfoyle 1989) প্রমাণ করেন যে অক্সিনের প্রভাবে SAUR (Small auxin up regulated) জিনের কার্যকারিতা বৃদ্ধি পায় এবং জিনই মূলের বক্রচলন নিয়ন্ত্রণ করে। *Arabidopsis* উদ্ভিদের কতকগুলি মিউট্যান্ট (axr1, aux2 প্রভৃতি) যৎসামান্য অক্সিন সংশ্লেষ করে এবং এই মিউট্যান্টগুলিতে অভিকর্ষজ চলনও লক্ষ করা যায় না। সুতরাং প্রমাণিত হয় যে অক্সিন অভিকর্ষজ চলন নিয়ন্ত্রণ করে (Hobbie and Estelle, 1994)।



চিত্র 8F ঃ মূলের অক্সিন নিয়ন্ত্রিত বক্রচলন

C) **অগ্রস্থ প্রকটতা বা Apical dominance**

বিজ্ঞানী স্কুজও থিম্যান (Skoog and Thimann, 1934) প্রমাণ করেন যে অক্সিন উদ্ভিদের অগ্রভাগে সংশ্লিষ্ট হয় এবং এই অক্সিন নিম্নাভিমুখে পরিবাহিত হয়ে কাক্ষিক মুকুলের বৃদ্ধি হ্রাস করে। অক্সিনের অধিক ঘনত্বে অগ্রমুকুলের বৃদ্ধির হার বেশি হলেও, পার্শ্বীয় মুকুলের বৃদ্ধি অক্সিনের প্রভাবে ব্যাহত হয়। এই বৈজ্ঞানিকদ্বয় দেখান যে 1) অগ্রমুকুলগুলি থেকে পরিবাহিত অক্সিন পার্শ্বীয় মুকুলের বৃদ্ধিকে বাধা দান করে। 2) অগ্রমুকুল কেটে ফেললে, পরিবাহিত অক্সিনের পরিমাণও কমে যায় এবং সেই ক্ষেত্রে পার্শ্বীয় মুকুলগুলি বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হয়ে শাখাপ্রশাখা সৃষ্টি করে। 3) অগ্রমুকুল কর্তিত করে সেখানে আগার ব্লকের মাধ্যমে অক্সিন প্রয়োগ করলে সেই অক্সিন পুনরায় পার্শ্বীয় মুকুলের বৃদ্ধিকে ব্যাহত করে।

যে শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় অগ্রমুকুল থেকে উৎপন্ন অক্সিন নিম্নাভিমুখে পরিবাহিত হয়ে পার্শ্বীয় মুকুলের বৃদ্ধিকে বাধা দান করে তাকে অগ্রস্থ প্রকটতা (Apical dominance) বলে।

D) মোচন প্রতিরোধ বা Abscission

পাতা, ফুল, ফল প্রভৃতি অঙ্গগুলির উদ্ভিদ দেহ থেকে বিচ্যুত হবার ঘটনাকে মোচন বলে। এই অঙ্গগুলির মোচনের আগে বৃন্তের কাছে একটি মোচন স্তর সৃষ্টি হয়। এই অঞ্চলের কোষগুলি দ্রবীভূত হবার ফলে অথবা কোষের মধ্যচ্ছদা অত্যন্ত নরম হয়ে যাওয়ার জন্য বৃন্ত উদ্ভিদ অঙ্গটিকে আর বহন করতে পারে না এবং ফলস্বরূপ সেই অঙ্গ পতিত হয়। লক্ষ করা গেছে যে সুনির্দিষ্ট মাত্রায় অক্সিন প্রয়োগ করলে উদ্ভিদ অঙ্গের অকাল পতন বা মোচন রোধ করা যায়।

E) পার্থেনোকার্পি বা বীজহীন ফল উৎপাদন

সাধারণভাবে পরাগসংযোগ ও নিষেকের পর গর্ভাশয়টি ফলে পরিণত হয়। Gustafson (1936) লক্ষ করেছিলেন যে পরাগযোগের পূর্বে স্ত্রীস্তবকে অক্সিন প্রয়োগ করলে গর্ভাশয়ের কোষগুলি দ্রুত বিভাজিত হয়ে ফলে পরিণত হয়। নিষেকবিহীনভাবে এই ফলগুলি উৎপন্ন হয় বলে এরা বীজহীন হয়। বীজবিহীন ফল উৎপাদনের পদ্ধতিকে পার্থেনোকার্পি (Parthenocarpy) বলে। বাহ্যিকভাবে অক্সিন প্রয়োগ করে বীজহীন কলা, আপেল, আঙ্গুর উৎপন্ন করা সম্ভব হয়েছে যাদের অর্থনৈতিক গুরুত্ব সাধারণ ফলের চেয়ে অনেক বেশি।

F) কেলাস উৎপাদন

কৃষ্টি মাধ্যমে অক্সিন প্রয়োগ করলে (বিশেষত সাইটোকাইনিনের সমন্বয়ে) দ্রুত কেলাস (Callus) উৎপাদন ও কেলাস থেকে বিভিন্ন অঙ্গের পরিস্ফূরণ ঘটে।

G) পুষ্প উৎপাদনে

সাধারণভাবে অক্সিন পুষ্প প্রস্ফুটনে বাধা দান করে তবে আনারস, তামাক প্রভৃতি গাছে অক্সিন পুষ্প প্রস্ফুটনের সহায়ক। গম গাছে অক্সিন প্রয়োগ করলে অণুমঞ্জরির (Spikelet) সংখ্যা বাড়তে দেখা গেছে।

H) আগাছা নিয়ন্ত্রণ

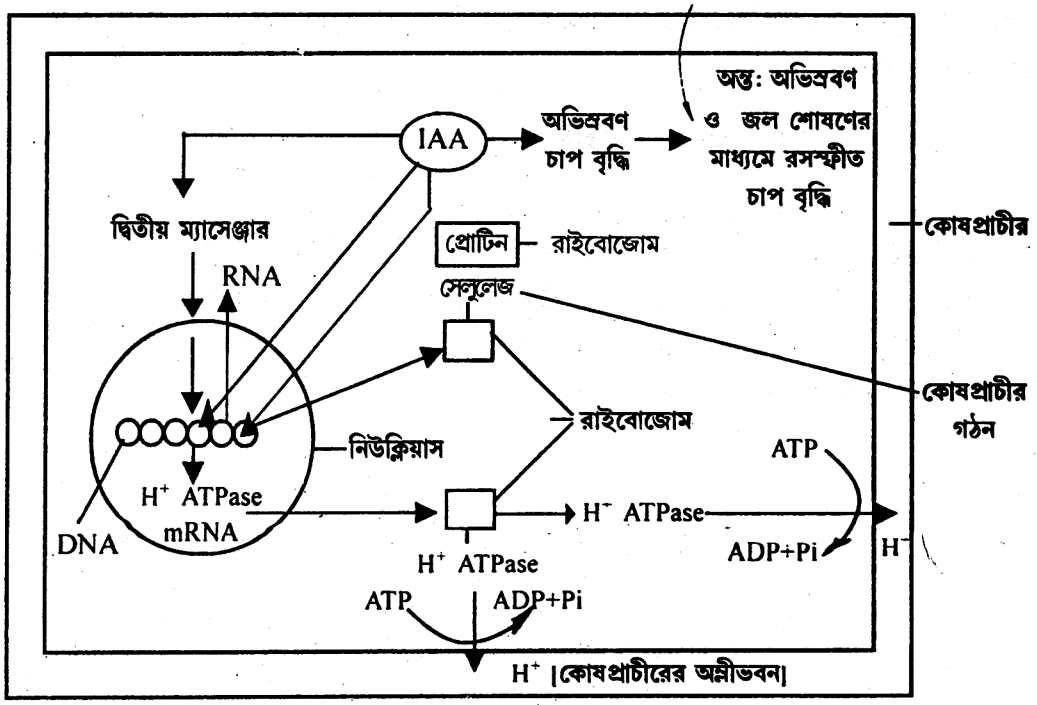
2,4-D (2,4- ডাইক্লোরোফেনক্সি অ্যাসিটিড অ্যাসিড), NAA (ন্যাপথালিন অ্যাসিটিক অ্যাসিড) প্রভৃতি কৃত্রিম অক্সিন স্প্রে করলে দ্বিবীজপত্রী আগাছা বিনষ্ট হয়। এই হর্মোনগুলি চওড়া পাতাযুক্ত আগাছাকেই কেবল দমন করে।

8.3.3 অক্সিনের ক্রিয়াপদ্ধতি

লিওপোল্ড, অড়াস (Leopold 1955, Audus 1972) প্রমুখ বিজ্ঞানীরা অক্সিনের ক্রিয়াপদ্ধতি সম্পর্কে বিস্তারিত আলোচনা করেছেন। অক্সিন কোষের অভিস্রবণ চাপ বাড়িয়ে দেওয়ায় কোষে অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল প্রবেশ করলে কোষের রসস্ফীত চাপ বেড়ে যায়। এর ফলে কোষের আয়তন বৃদ্ধি পায়। আবার অক্সিনের প্রভাবে সাইটোপ্লাজম থেকে H^+ আয়ন কোষ প্রাচীরে সঞ্চিত হয়। এই প্রক্রিয়াটি ATP বা শক্তিনির্ভর এবং

এই প্রক্রিয়ায় H^+ সঞ্চিত হবার ফলে কোষপ্রাচীরটি আম্লিক হয়। কোষপ্রাচীরের অম্লীকরণের জন্য প্রাচীরটি নরম ও স্থিতিস্থাপক হয়। এই কারণে, রসস্ফীত চাপ বাড়ার ফলে কোষপ্রাচীরও প্রসারিত হয়। অক্সিন একই সাথে সেলুলোজ সংশ্লেষ বাড়িয়ে দিয়ে কোষপ্রাচীর গঠনে সহায়তা করে।

অক্সিনের প্রভাবে RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষের হার বেড়ে যায়। অ্যাকটিনোমাইসিন D, ক্লোরামফেনিকল প্রভৃতি অ্যান্টিবায়োটিক RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষকে ব্যাহত করে। কিন্তু অক্সিনের উপস্থিতিতে এ অ্যান্টিবায়োটিকসগুলির বিরুদ্ধ প্রভাব লক্ষ্য করা যায় না যা নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে যে অক্সিন RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষের সহায়ক (চিত্র 8G)।



চিত্র 8G কোষের আয়তন ও কোষীয় উপাদান বৃদ্ধিতে IAA এর ভূমিকা

অনুশীলনী —1

a) দু'টি কৃত্রিম অক্সিনের নাম লিখুন।

b) অগ্রস্থ প্রকটতা কাকে বলে?

c) সংযুক্ত অক্সিন কী?

d) স্ট্যাটোসাইট ও স্ট্যাটোলিথ কাকে বলে?

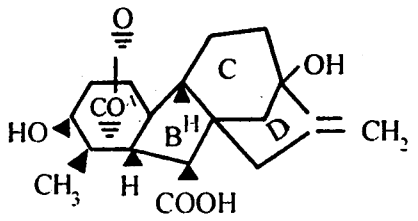
e) একটি আগাছা নিরোধক অক্সিনের নাম উল্লেখ করুন।

8.4 জিব্বারেলিন

অক্সিনের পরে যে হর্মোনটির প্রভাব উদ্ভিদদেহে সর্বাধিক পরিলক্ষিত হয় তার নাম জিব্বারেলিন বা জিব্বারেলিক অম্ল (GA)। জাপানি চাষিরা দেখেছিলেন যে একটি ছত্রাকঘটিত রোগের (Bakane disease) ধানগাছগুলি রোগা কিন্তু অস্বাভাবিক লম্বা ও বীজহীন হয়। পরবর্তীকালে প্রমাণিত হয় যে এই রোগের জন্য অ্যাসকোমাইসেটিস শ্রেণির একটি ছত্রাক দায়ী — যার নাম *Gibberella fujikuroi*। কুরোসোয়া (Kurosawa, 1926) রোগাক্রান্ত গাছ থেকে বৃদ্ধিবর্ধক রাসায়নিক পদার্থটি পৃথক করেন এবং 1938 সালে ওয়াবুতা ও সুমুকি (Yabuta and Sumuki) উক্ত যৌগটিকে প্যাথোজেনের নামানুসারে জিব্বারেলিন নামে অভিহিত করেন। বর্তমানে অন্তত 76টি GA ও এর অনেকগুলি গ্লুকোসাইড আবিষ্কৃত হয়েছে যার মধ্যে GA ও GA_3 প্রভৃতি জিব্বারেলিনের কার্যকারিতা সর্বাধিক (Moore, 1994)।

8.4.1 রাসায়নিক গঠন ও সংশ্লেষ —

রাসায়নিকভাবে GA একটি নাইট্রোজেনবিহীন উদ্ভিদ হর্মোন। ক্রস ও তার সহকর্মীরা (*Cross et al*) দেখিয়েছেন যে সব জিব্বারেলিনই একটি মূল রাসায়নিক কাঠামোর সাহায্যে গঠিত যাকে 'জিব্বান কাঠামো' (Gibban skeleton) বলে। এই কাঠামোটি একটি বেনজিন বলয়, একটি পাইরোল বলয়, একটি সাইক্লোহেক্সেন বলয় ও একটি ল্যাকটোন বলয়ের (চিত্র 8H বলয় A, B, C ও D) সমন্বয়ে গঠিত। বিভিন্ন GA এর রাসায়নিক প্রভেদ প্রধানত দু'টি জায়গায় লক্ষ করা যায়—

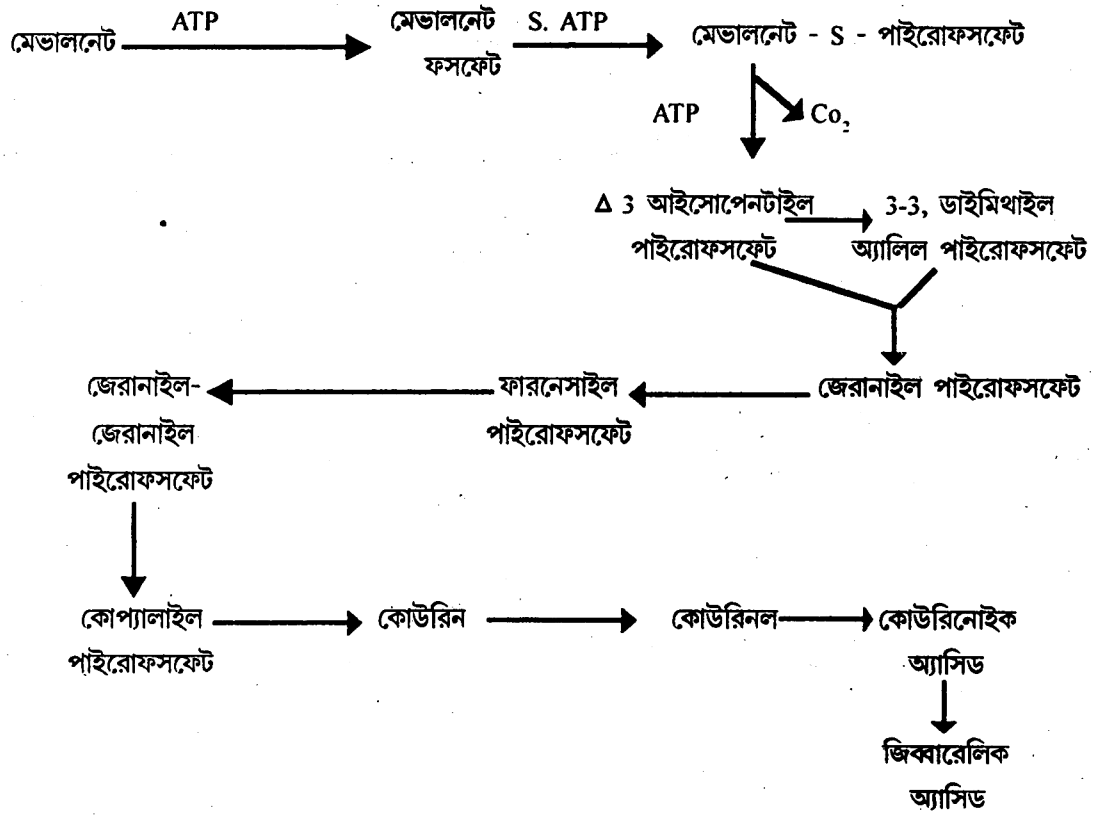


চিত্র 8H GA_4 এর রাসায়নিক গঠন

i) 19 ও 20 তম কার্বন পরমাণুর সঙ্গে যুক্ত পরমাণু বা অণুর সজ্জাবিন্যাস।

(ii) 7, 18 ও 20 তম কার্বন পরমাণুর — OH মূলকের উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি।

অ্যাসিটেট যৌগ থেকে জিব্বারেলিন উৎপন্ন হয়। এই যৌগটি প্রথমে সেভালনিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এই অম্ল নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে জিব্বারেলিক অম্লে রূপান্তরিত হয় (চিত্র 8I)।



চিত্র : 8। জিব্বারেলিক অম্ল সংশ্লেষের প্রবাহ চিত্র

8.4.2 শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি

A) **উদ্ভিদের বৃদ্ধি** — উদ্ভিদের বৃদ্ধি কোষ বিভাজন ও কোষ বিবর্ধনের মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। GA উভয় প্রক্রিয়াকেই ত্বরান্বিত করে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঘটায়। GA এর প্রভাবে কোষ বিভাজনের S দশায় DNA সংশ্লেষের হার বৃদ্ধি পায়। GA_3 এর উপস্থিতিতে কোষ চক্রের সময়কাল প্রায় 30% কমে যায় অর্থাৎ কোষ বিভাজনের হার দ্রুত হয়। γ রশ্মি প্রয়োগ করলে কোষ বিভাজন বন্ধ হতে দেখা যায় কিন্তু এই অবস্থায় GA প্রয়োগ করলে কোষগুলির স্বাভাবিক বিভাজন ক্ষমতা ফিরে আসে। অধিকাংশ বৈজ্ঞানিকের মতে GA প্রাথমিক অবস্থায় কোষের বৃদ্ধিকে এবং পরবর্তী স্তরে কোষ বিভাজনের হারকে বাড়িয়ে দিয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঘটায়।

মিউট্যান্ট ভুট্টা গাছের পর্বমধ্য অত্যন্ত খর্ব হওয়ায় গাছগুলি রোজেট (Rosette) আকৃতির হয়। দেখা গেছে এই ধরনের মিউট্যান্ট ভুট্টা গাছে GA সংশ্লিষ্ট হয় না কিন্তু বাইরে থেকে GA স্প্রে করলে খর্ব গাছগুলিতে আবার স্বাভাবিক বৃদ্ধি লক্ষ করা যায়। GA এর প্রভাবে পর্বমধ্যের সর্বাধিক বৃদ্ধি পরিলক্ষিত হয়। বাঁধাকপি গাছে GA প্রয়োগ করলে পর্বমধ্য বিবর্ধিত হয়ে গাছ 6-8 মিটার পর্যন্ত লম্বা হয়।

কাণ্ডের বৃদ্ধি ছাড়াও GA এর প্রভাবে ফুল ও ফলের আয়তন বৃদ্ধি পায়। অনেক ক্ষেত্রে অবশ্য GA উদ্ভিদ মূলের বৃদ্ধিকে বাধা দান করে। ভাইরাস আক্রান্ত চেরি গাছের (*Prunus Ceraseus*) স্বাভাবিক বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। GA প্রয়োগ করলে গাছগুলি ভাইরাসমুক্ত হয় না বটে কিন্তু গাছের স্বাভাবিক বৃদ্ধি লক্ষ করা যায়।

উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে কার্যকারিতার ভিত্তিতে বিভিন্ন GA গুলিকে প্রধানত পাঁচটি ভাগে ভাগ করা হয়—

i) অত্যন্ত নিম্ন ক্ষমতা সম্পন্ন — GA_8, GA_{11} প্রভৃতি।

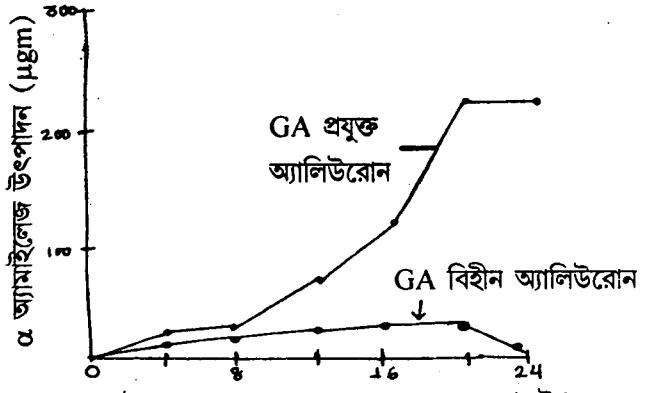
ii) নিম্ন ক্ষমতা সম্পন্ন — GA_{10}, GA_{15} ইত্যাদি।

iii) মাঝারি ক্ষমতা সম্পন্ন — GA_2, GA_6, GA_{23} প্রভৃতি।

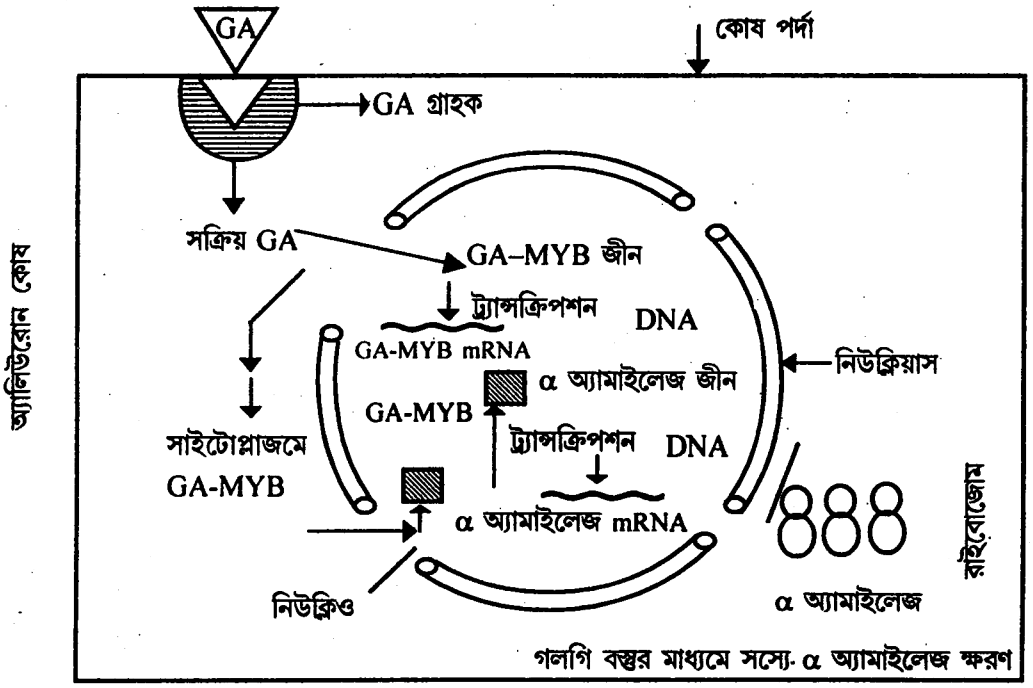
iv) উচ্চ ক্ষমতা সম্পন্ন — GA_1, GA_4, GA_5।

v) অত্যন্ত উচ্চ ক্ষমতা সম্পন্ন — GA_3, GA_7।

B) **বীজের অঙ্কুরোদ্গম** — GA এর প্রভাবে বীজের অঙ্কুরোদ্গম ত্বরান্বিত হয় কারণ GA হল অঙ্কুরোদগমের একটি প্রাথমিক এবং অত্যাবশ্যক উপাদান। দানাশস্যে (cereal) GAএর প্রভাব বিশেষভাবে লক্ষণীয়। এই বীজগুলির ভ্রূণসস্য থেকে খাদ্যগ্রহণ করে। সস্যের চারিদিকে 2-4 স্তরযুক্ত অ্যালউরোন স্তর থাকে। GA অ্যালউরোন স্তরে বিভিন্ন আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকের সংশ্লেষের হার বাড়িয়ে দেয় ও এর ফলস্বরূপ সস্যের জটিল খাদ্য সরলীকৃত হয়। এই সরল খাদ্যগুলি গ্রহণ করে ভ্রূণ দ্রুত বৃদ্ধিলাভ করে অর্থাৎ বীজের অঙ্কুরোদগম হয়। অ্যামাইলেজ, ফসফাটেজ RNase প্রভৃতি অন্তত 15টি আর্দ্রবিশ্লেষক উৎসেচক GA এর প্রভাবে সক্রিয় হয়। হিগিনস্ চ্যাণ্ডলার (Higgins *et al* 1976, Chandler *et al* 1984) প্রমুখ বৈজ্ঞানিকেরা দেখিয়েছেন যে GA হর্মোনটি অ্যালিউরোন স্তরে α অ্যামাইলেজ m RNA এর সংশ্লেষ বাড়িয়ে দেয়। এর ফলে α অ্যামাইলেজ নামে যে উৎসেচক উৎপন্ন হয় তা বীজের অন্তর্বর্তী সস্যের স্টার্চকে বিশ্লিষ্ট করে মলটোজ উৎপন্ন করে। এই মলটোজ আবার পরবর্তী পর্যায়ে যে গ্লুকোজ উৎপন্ন করে তা গ্রহণ করে ভ্রূণ দ্রুত অঙ্কুরিত হয়। GA নিয়ন্ত্রিত α অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি 8J নং ও 8K নং চিত্রের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা হল।



চিত্র 8J ঃ অ্যালুউরোন স্তরে GA প্রয়োগের সময়কাল (ঘণ্টা)
বার্লি অ্যালিউরোন স্তরের α অ্যামাইলেজ উৎপাদনের উপর GA এর প্রভাব।



চিত্র 8K ঃ GA প্রভাবিত α অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ

1) G A প্রথমে অ্যালিউরোন কোষপর্দা সংলগ্ন একটি গ্রাহকের (Receptor) সাথে যুক্ত হয়ে অ্যালিউরোন কোষে প্রবেশ করে।

2) GAএর প্রভাবে নিউক্লিয়াসে GA-MYB জিনটি সক্রিয় হয় এবং এই জিন সাইটোপ্লাজমে GA-MYB প্রোটিন সংশ্লেষ করে।

3) এই প্রোটিনটি আবার নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে α অ্যামাইলেজ জিনকে উদ্দীপ্ত করে α অ্যামাইলেজ MRNA গঠন করে। এই MRNA রাইবোজোমে α অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ করে ও গলগি বস্তুর মাধ্যমে অ্যালিউরোন কোষ থেকে α অ্যামাইলেজকে সস্যে ক্ষরণ করে।

C) **পুষ্প প্রস্ফুটন** — দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদকে (long day plant বা LDP) যখন সংকট আলোক পর্যায়ের (Critical Photoperiod) বেশি সময় আলোয় রাখা হয় তখনই তাতে ফুল ফোটে। দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদকে সংকট আলোক পর্যায়ের কম সময় আলোয় রাখলে ফুল ফোটে না কিন্তু এই প্রতিকূল অবস্থায় GA প্রয়োগ করলে ওই গাছে ফুল ফুটতে দেখা যায়। এই কারণে ধারণা করা হয় যে GA দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে আলোক পর্যায়ের পরিপূরক রূপে কাজ করে এবং ফ্লোরিজেন জাতীয় পুষ্পপ্রস্ফুটনকারী হর্মোনের সংশ্লেষ ঘটায়। হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদে অবশ্য GAএর প্রভাবে প্রতিকূল পর্যায়ে ফুল ফুটতে দেখা যায় না। বিজ্ঞানী জিভাট (Zeevart) মনে করেন যে

GA প্রত্যক্ষ ভাবে-পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে কারণ অনেক উদ্ভিদেই GA সংশ্লেষের প্রতিবন্ধককারী রাসায়নিক যৌগ (AMO-1618, CCC প্রভৃতি) প্রয়োগ করলে প্রস্ফুটন ব্যাহত হয়। বিজ্ঞানী ল্যাং (Lang) এর মতে পুষ্প প্রস্ফুটনে GA এর প্রভাব পরোক্ষ কারণ ঃ-

i) GA প্রধানত দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদে (LDP) ফুল ফোটাতে সাহায্য করে।

ii) GA কাণ্ডের অগ্রভাগে প্রয়োগ করলে পুষ্প প্রস্ফুটন সর্বাধিক হয় কিন্তু আমরা জানি যে অধিকাংশ গাছেই অঙ্গজ বৃদ্ধি ও পুষ্প উৎপাদনের সময় GA এর পরিমাণের কোনো তারতম্য পরিলক্ষিত হয় না। অবশ্য Chrysanthemum উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনকালে GA5 অত্যন্ত দ্রুত সংশ্লিষ্ট হতে দেখা গেছে।

D) **পার্থেনোকার্পি** — অনিষিক্ত ডিম্বকে GA প্রয়োগ করলে ডিম্বাশয়ের কোষ দ্রুত বিভাজিত হয়ে ফলে পরিণত হয় এবং ডিম্বক নিষিক্ত না হওয়ায় ফলটি বীজবিহীন (parthenocarpic) হয়। টমেটো, আঙ্গুর প্রভৃতি উদ্ভিদ সহজেই GA এর প্রভাবে বীজহীন ফল উৎপন্ন করে যার বাণিজ্যিক মূল্য বেশি হয়।

E) **ফল উৎপাদন** — পরাগসংযোগের পর GA স্প্রে করলে দ্রুত ফল উৎপাদন হয় এবং আপেল জাতীয় উদ্ভিদে GA_{4+} সাইটোকাইনিনের মিশ্রণ প্রয়োগ করলে ফলের আয়তন বৃদ্ধি পায়। বীজহীন আঙ্গুরের ক্ষেত্রে ফলবহনকারী বৃন্তটি GA এর প্রভাবে অনেক দীর্ঘ হওয়ায় প্রতিটি গুচ্ছে ফলের সংখ্যা বেড়ে যায়।

F) GA ও **বাসন্তীকরণ (Vernalization) এর সম্পর্কে** — Hyoscyamus niger, Lactuca sativa প্রভৃতি গাছে বাসন্তীকরণের (Vernalization) ফলে পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত হয়। নিম্ন তাপমাত্রায় (4°C) বীজগুলিকে বাসন্তীকরণ না করে GA প্রয়োগ করলেও দ্রুত ফুল ফুটতে দেখা যায়। বৈজ্ঞানিকেরা মনে করেন যে হয় GA ভার্নালিনের বিকল্পরূপে কাজ করে অথবা GA এর প্রভাবে দ্রুত ভার্নালিনের (অবশ্য এই প্রকল্পিত হর্মোনটির উপস্থিতি সম্বন্ধেই সন্দেহের অবকাশ আছে) সংশ্লেষ ঘটে।

G) **লিঙ্গ পরিবর্তন** — একলিঙ্গ ফুলে GA প্রয়োগ করলে ফুলের লিঙ্গ পরিবর্তিত হতে দেখা যায়। Begonia গাছে GA স্ত্রীপুষ্পের সংখ্যা বৃদ্ধি করে এবং কুমড়োর (*Cucurbita moschata*) ক্ষেত্রেও GA স্ত্রীপুষ্পের সংখ্যা বাড়িয়ে ফলের উৎপাদন বৃদ্ধি করে। ভুট্টা গাছেও এই হর্মোন পুংপুষ্প গঠনে বাধা দান করে। কুমড়োর কয়েকটি ভ্যারাইটিতে অবশ্য GA স্ত্রীপুষ্পমুকুলকে পুংপুষ্পে রূপান্তরিত করে।

H) **অতিরিক্ত শর্করা উৎপাদন ও ফলত্বকে অবাঞ্ছিত ফাটল রোধ** — আখ গাছে (*Saccharum officinarum*) GA প্রয়োগ করলে শুধু যে কাণ্ডের পর্বমধ্যই বৃদ্ধি পায় তা নয় এই গাছ থেকে প্রতি একরে দু'টন অতিরিক্ত শর্করা পাওয়া যায়। মিষ্টি চেরি ফলে (Sweet Cherry) ফল পাড়বার আগে GA প্রয়োগ করলে ফলত্বকে অবাঞ্ছিত ফাটল (Crack) দেখা দেয় না।

অনুশীলনী — 2

a) কোন ছত্রাক GA সংশ্লেষের জন্য দায়ী?

b) অ্যালিউরোন স্তরে GA প্রধানত কোন উৎসেচকের সংশ্লেষ নিয়ন্ত্রণ করে?

c) একটি উচ্চ ক্ষমতাসম্পন্ন GA এর নাম উল্লেখ করুন।

d) কোন যৌগ থেকে GA সংশ্লেষ শুরু হয়?

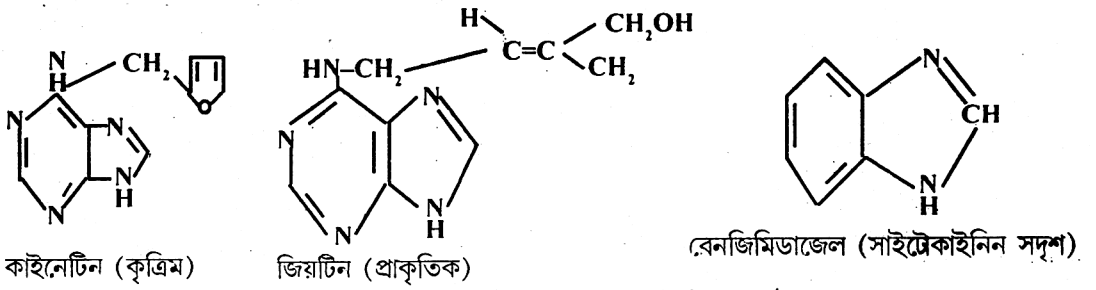
e) GA কীভাবে পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে?

8.5 সাইটোকাইনিন

তামাক গাছের মজ্জা নিয়ে কলা কর্ষণ (Tissue Culture) করার সময় বিজ্ঞানী স্কুজ ও তাঁর সহকারীরা (Skoog *et al*, 1941) লক্ষ করেছিলেন যে কৃষ্টি মাধ্যমে কিছুদিন পরেই কোষগুলির বিভাজন বন্ধ হয়ে যায়। ওই মাধ্যমে যদি IAA এর সাথে ঈস্টের নির্যাস বা নারকেল দুধ (Coconut milk) মিশ্রিত করে দেওয়া হয় তাহলে কোষগুলি পুনরায় বিভাজনক্ষম হয়ে ওঠে। এ থেকে ধারণা করা হয় যে উক্ত উদ্ভিদ নির্যাসে নিশ্চয়ই কোষের বিভাজনের সহায়ক কিছু উপাদান থাকে। মিলার ও তাঁর সহকর্মীরা (Miller *et al* 1956) হেরিং এর শুক্রাণুর নিউক্লিক অম্ল থেকে কোষ বিভাজনকারী রাসায়নিক উপাদানটিকে পৃথক করেন। কোষ বিভাজন বিশেষত সাইটোকাইনেসিস প্রক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে বলে এটি সাইটোকাইনিন বা ফাইটোকাইনিন নামে পরিচিতি লাভ করে। বর্তমানে অ্যাডিনিন লব্ধ যে যৌগগুলি কোষ বিভাজনে সহায়তা করে তাদের সাইটোকাইনিন গোষ্ঠীর হর্মোনের মধ্যে অন্তর্ভুক্ত করা হয়।

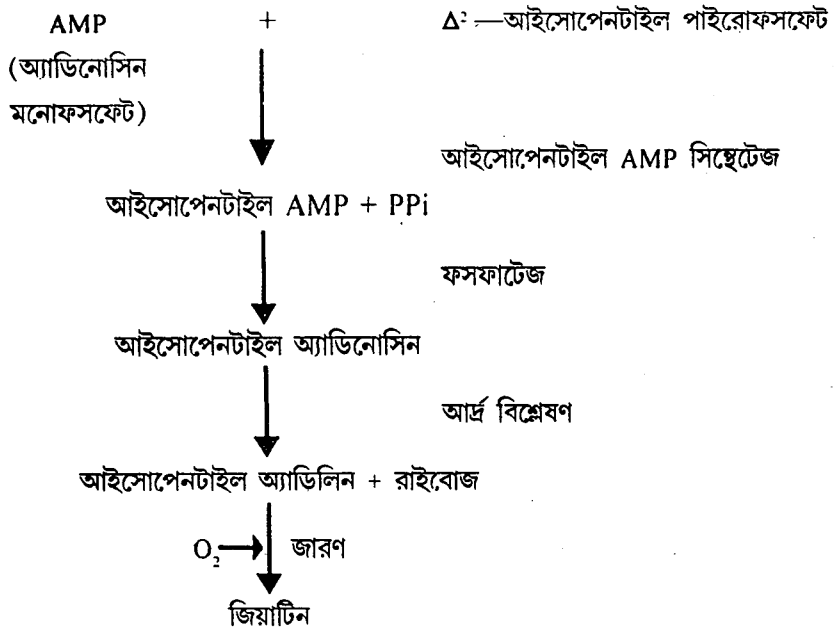
8.5.1 রাসায়নিক গঠন ও সংশ্লেষ ঃ- রাসায়নিকভাবে সাইটোকাইনিনকে তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা যায় ঃ

a) প্রাকৃতিক সাইটোকাইনিন — এই হর্মোনগুলি উদ্ভিদ দেহে পাওয়া যায়, যেমন জিয়াটিন [6-(4 হাইড্রক্সি -3 মিথাইলবিউট ট্রান্স -2 এনাইল অ্যামাইনো) পিউরিন] হর্মোনটি ভুট্টার সস্যে পাওয়া যায়। b) কৃত্রিম সাইটোকাইনিন — বেনজাইল অ্যামাইনোপিউরিন (BAP), কাইনেটিন (6 ফুরফুরাইল অ্যামাইনো পিউরিন) প্রভৃতি হর্মোনগুলি উদ্ভিদদেহে অনুপস্থিত। এগুলি কৃত্রিমভাবে উৎপন্ন করা হয় এবং এদের ক্রিয়া পদ্ধতি প্রাকৃতিক হর্মোনের মতন। c) সাইটোকাইনিন সদৃশ যৌগ — এই যৌগগুলি পিউরিনবিহীন কিন্তু সাইটোকাইনিনের কার্যকারিতা প্রদর্শন করে। উদাহরণ বেনজিমিডাজোল। (চিত্র 8L)



চিত্র 8L ঃ কয়েকটি প্রধান সাইটোকাইনিনের গঠন

সাইটোকাইনিনের (জিয়াটিন) সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা নীচে দেওয়া হল ঃ-



চিত্র 8M ঃ জিয়াটিন সংশ্লেষের প্রবাহ চিত্র

8.5.2 শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি —

A) **কোষ বিভাজন** — সাইটোকাইনিন কোষ বিভাজনের হার বাড়িয়ে দিয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধিকে ত্বরান্বিত করে। *Vinca* কোষে সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলে কোষগুলি দ্রুত বিভাজিত হয়ে কেলাস উৎপন্ন করে। কলা কর্ষণের (Tissue Culture) সময় অক্সিন ও সাইটোকাইনিনের মিশ্রণ প্রয়োগ করলে দ্রুত কেলাস (Callus) উৎপন্ন হয়। নারকেল দুধ (Coconut milk) কেলাস মাধ্যমে প্রয়োগ করলে কোষ বিভাজনের হার দ্রুত হয় এবং কেলাসটি মূল, পাতা প্রভৃতি অঙ্গে বিভেদিত হয়। দেখা গেছে যে নারকেল দুধে পর্যাপ্ত পরিমাণে সাইটোকাইনিন থাকে যা কেলাস উৎপাদন বা কেলাস থেকে পূর্ণাঙ্গ উদ্ভিদ গঠনে সহায়তা করে।

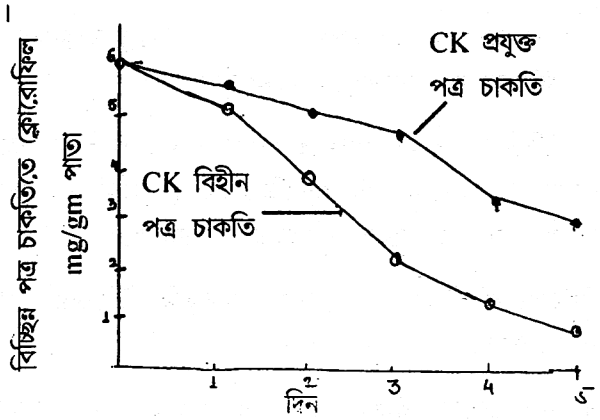
কোনো উদ্ভিদ *Agrobacteriium tumefaciens* নামক ব্যাকটেরিয়া দ্বারা আক্রান্ত হলে কোষ বিভাজনের হার দ্রুত হয় এবং উদ্ভিদ অঙ্গে টিউমারের মতো উপবৃদ্ধি গঠিত হয় যাকে ক্রাউন গল্ (Crown gall) বলে। দেখা গেছে যে এই ব্যাকটেরিয়ায় Ti প্লাসমিড থাকে যার একটি নির্দিষ্ট অংশে T-DNA উপস্থিত। DNA এর এই অঞ্চলটি জিয়াটিন ও অক্সিন সংশ্লেষকারী জিন বহন করে। এই হর্মোনগুলির প্রভাবেই ব্যাকটেরিয়া আক্রান্ত উদ্ভিদ অঙ্গে টিউমার সদৃশ উপবৃদ্ধি গঠিত হয় (Chilton 1983)।

মিলার, লেথাম (Miller 1956, Letham 1960) প্রমুখ বিজ্ঞানীরা প্রমাণ করেছেন যে সাইটোকাইনিন কোষের আয়তন বৃদ্ধিতেও সহায়তা করে। কাইনেটিনের প্রভাবে সুক্রোজ দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে গ্লুকোজে রূপান্তরিত হয়। অতিরিক্ত গ্লুকোজ কোষের অভিস্রবণ চাপ বাড়িয়ে জল শোষণের মাত্রা বাড়িয়ে দেয়। এর ফলেই কোষগুলি আয়তনে বৃদ্ধি পায়। কাইনেটিনের প্রভাবে তামাক মূলের বহিস্তরের কোষগুলির আয়তন প্রায় 4গুণ বৃদ্ধি পায়।

B) **উদ্ভিদ অঙ্গের বিকাশ** — উদ্ভিদ অঙ্গের পরিস্ফুটনেও সাইটোকাইনিন অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। তামাক পাতার মজ্জা থেকে কলাকর্ষণ করার সময় IAA ও কাইনেটিন 2mg/লিটার ঃ 0.02mg/লিটার — এই অনুপাতে থাকলে দ্রুত কোষবিভাজনের মাধ্যমে কেলাস উৎপন্ন হয় বটে কিন্তু কেলাসটিতে উদ্ভিদ অঙ্গের সৃষ্টি হয় না। কৃষ্টি মাধ্যমে এই হর্মোন দু'টি বিপরীত অনুপাতে থাকলে (অর্থাৎ কাইনেটিনের মাত্রা বৃদ্ধি করলে) কেলাস থেকে দ্রুত মূল সৃষ্টি হয়। *Peperomia Acex* প্রভৃতি সপুষ্পক উদ্ভিদে এমনকি বিভিন্ন ফার্ণ ও মসেও সাইটোকাইনিন মূল, পাতা, রাইজয়েড প্রভৃতির বৃদ্ধিকে তরান্বিত করে। *Psycomitrella patens* নামক মসের OVE মিউট্যান্ট অতি দ্রুত মুকুল উৎপাদনে সক্ষম এবং একই সাথে মিউট্যান্টটি প্রচুর পরিমাণে সাইটোকাইনিন উৎপাদনে সক্ষম।

সাইটোকাইনিন কোষপ্রাচীরে লিগনিন সংশ্লেষ বাড়িয়ে দিয়ে ট্র্যাকিড গঠনে সহায়তা করে।

C) **বার্ধক্যের বিলম্বতা** — বয়সের সাথে সাথে জীবদেহে যে ক্ষয়সূচক শারীরবৃত্তীয় ও জৈবরাসায়নিক পরিবর্তগুলি পরিলক্ষিত হয় তাদের সামগ্রিকভাবে বার্ধক্যের সূচক (Index of senescence) বলে। রিচ্‌মণ্ড ও ল্যাং (Richmond and Lang 1957) *Xanthium* পাতার বিচ্ছিন্ন চাকতিতে (Isolated leaf dise) ক্লোরোফিলের দ্রুত ভাঙ্গন লক্ষ করেন এবং এর সাথে প্রোটিনের পরিমাণও উল্লেখযোগ্যভাবে কমে যায়। ওই পাতাগুলিকে সাইটোকাইনিন দ্রবণে রাখলে ক্লোরোফিল ক্ষয়ের হার উল্লেখযোগ্যভাবে কমে যায়। (চিত্র 8M) পরবর্তীকালে লক্ষ করা গেছে বার্ধক্যের সাথে সাথে ক্লোরোফাইলেজ, RNase, DNase প্রভৃতি আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকগুলির ক্রিয়া ত্বরান্বিত হয় যারা উদ্ভিদদেহে সঞ্চিত ম্যাক্রোমলিকিউলগুলির ভাঙন ঘটায়। সাইটোকাইনিন এই উৎসেচকগুলির ক্রিয়াকে মন্দীভূত করে পাতার ক্লোরোফিল, নিউক্লিক অম্ল বা প্রোটিনের অবক্ষয় রোধ করে। এই প্রতিক্রিয়াকে Richmond and Long effect বলা হয়।



চিত্র 8M ঃ সাইটোকহিনিন (CK) এর প্রভাবে বিচ্ছিন্ন পত্রচাকতিতে ক্লোরোফিলের ক্ষয় রোধ

D) **অগ্রস্থ প্রকটতা** — অগ্রমুকুলের উপস্থিতিতে অক্সিনের প্রভাবে পার্শ্বমুকুল বৃদ্ধিপ্রাপ্ত হতে পারে না। এই শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকে অগ্রস্থ প্রকটতা বলে। Sach ও Thimann (1964) দেখিয়েছেন যে সমগ্র বিটপ অংশকে কাইনেটিন দিয়ে সিক্ত করলে, অগ্রমুকুলের উপস্থিতিতেও পার্শ্বীয় মুকুলগুলি স্বাভাবিকভাবে বেড়ে ওঠে। এই পরীক্ষাটি প্রমাণ করে যে কাইনেটিন অগ্রস্থ প্রকটতাকে প্রতিহত করে পার্শ্বমুকুলের পরিস্ফুটন ঘটাতে সাহায্য করে।

E) **প্লাসটিডের পরিস্ফুরণ ও ক্লোরোফিল সংশ্লেষ** — কোনো গাছকে অন্ধকারে দীর্ঘ সময় রাখলে প্রোপ্লাসটিড প্লাসটিডে রূপান্তরিত হতে পারে না এবং ক্লোরোফিল সংশ্লেষও সম্ভব হয় না। এই ধরনের ক্লোরোফিলবিহীন (Etiolated plast) উদ্ভিদে কাইনেটিন প্রয়োগ করলে দ্রুত ক্লোরোফিলের সংশ্লেষ ঘটে এবং ক্লোরোফিলবিহীন প্লাসটিড বা ইটিওপ্লাস্ট (Etioplast) প্লাসটিডে রূপান্তরিত হয়।

F) **পুষ্প প্রস্ফুটন** — *Pharbitis nil* নামক হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদকে (Short day plant) দীর্ঘ দিবাকালে রাখলে ফুল ফোটে না কিন্তু ওই অবস্থায় সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলে ফুল ফুটতে দেখা যায়। আঙ্গুর গাছে 100ppm কাইনেটিন প্রয়োগ করলে পুংপুষ্পগুলি উভলিঙ্গ পুষ্পে রূপান্তরিত হয়।

G) **বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম** — সাইটোকাইনিনের প্রভাবে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ত্বরান্বিত হয়। লেটুস বীজের যে ভ্যারাইটিগুলির অঙ্কুরোদ্‌গমের জন্য লাল আলোর প্রয়োজন হয়, সেই বীজগুলিতে সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলে লাল আলোর উপস্থিতি ছাড়াই অঙ্কুরোদ্‌গম সম্পন্ন হয়। পুরানো বীজে ABA এর মাত্রা বেড়ে যায় যা অঙ্কুরোদগমকে প্রতিহত করে কিন্তু সেই বীজে সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলে দেখা যায় যে এই হর্মোন ABA এর ক্রিয়াকে আংশিকভাবে নিষ্ক্রিয় করে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটায়। দানাশস্যে GA এর মতন সাইটোকাইনিনও α অ্যামাইলেজের ক্রিয়াকে বাড়িয়ে দিয়ে অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তা করে। এই কারণে সাইটোকাইনিনকে অঙ্কুরোদ্‌গমের 'promoting factor' বলা হয়।

8.6 ইথিলিন

প্রকৃতি ঃ- ইথিলিন একটি সরল অসম্পৃক্ত হাইড্রোকারবন ($CH_2=CH_2$) উদ্ভিদদেহে মিথিওলিন থেকে এই গ্যাসীয় হর্মোনটি সংশ্লিষ্ট হয়। ইথিলিনের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ ঃ-

A) **ফলের পরিপক্কতা** — ইথিলিন দ্রুত ফল পাকাতে সাহায্য করে। ইথিলিনের প্রভাবে ক) ফলের সঞ্চিত খাদ্যবস্তুর দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষণ ঘটে, খ) ফলত্বকের বর্ণ পরিবর্তিত হয় গ) পেকটিনেজ জাতীয় উৎসেচকের ক্রিয়া বৃদ্ধি পায় যা কোষপ্রাচীরকে নরম করে দ্রুত ফলের পরিপক্কতা আনয়ন করে।

B) **লিঙ্গ পরিবর্তন** — কিউকারবিটেসী গোত্রের (কুমড়া, ফুটি প্রভৃতি) উদ্ভিদের পুষ্পমুকুলে ইথিলিন প্রয়োগ করলে পুংপুষ্পগুলিকে স্ত্রীপুষ্পে রূপান্তরিত হতে দেখা যায়।

C) **বিটপ অংশের বক্রতা** — অন্ধকারে বৃদ্ধিপ্রাপ্ত (etiolated) গাছে ইথিলিন প্রয়োগ করলে কাণ্ডের অগ্রভাগ বেঁকে যায় এবং এই বক্রতার হার ইথিলিনের ঘনত্বের সাথে সমানুপাতিক।

D) **মূলের বৃদ্ধি** — ইথিলিন সচরাচর মূলের বৃদ্ধি প্রতিহত করে। *Ara bidopsis* গাছে অবশ্য ইথিলিনের প্রভাবে অধিক মূলরোম উৎপন্ন হতে দেখা যায় (Dolan, 1994)।

E) **অকালমোচন** — ইথিলিন পাতা ও ফলের অকালমোচন ঘটায়। চেরি, তুলা প্রভৃতি গাছে ইথিফোন (Ethephon) নামক ইথিলিন উৎপাদনকারী যৌগ প্রয়োগ করলে দ্রুত ফল ঝরে যায়।

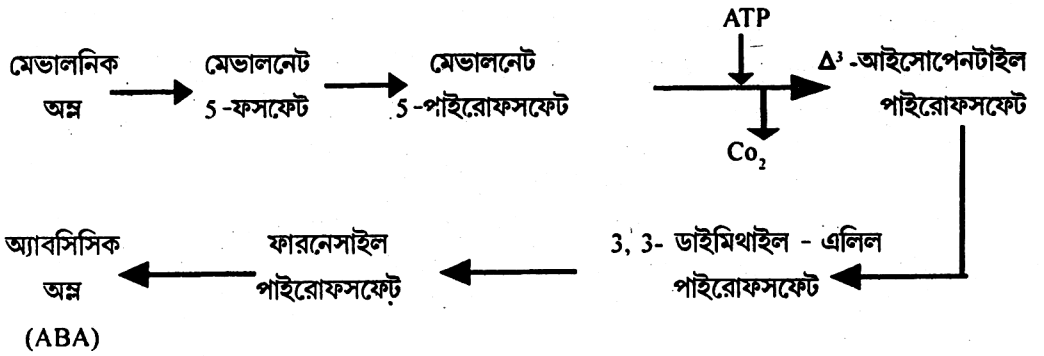
F) **বার্ধক্য আনয়ন** — ইথিলিন বা ACC (1 - অ্যামাইনো সাইক্লোপ্রপেন 1 - কার্বক্সিলিক অম্ল — ইথিলিন উৎপাদনকারী যৌগ) প্রয়োগ করলে পাতার বার্ধক্য ত্বরান্বিত হয়।

G) **বীজের অঙ্কুরোদগম** — বাদাম জাতীয় গাছে ইথিলিনের প্রভাবে বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয় ও ভ্রূণ দ্রুত বৃদ্ধি লাভ করে।

8.7 অ্যাবসিসিক অম্ল

অ্যাবসিসিক অম্ল (ABA) একটি টারপিনয়েড যৌগ যা উদ্ভিদের প্রধান বৃদ্ধি প্রতিরোধক হর্মোনরূপে কাজ করে। পত্রমোচনের সময় মোচনস্তরে যে রাসায়নিক পদার্থটি সঞ্চিত হয় তা অ্যাবসিসিন নামে পরিচিত ছিল। আবার, বীজের অঙ্কুরোদগম প্রতিরোধকারী বা সুপ্তাবস্থার সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত যৌগটিকে ডরমিন বলা হত। পরবর্তীকালে অ্যাবসিসিন বা ডরমিনই রাসায়নিকভাবে অ্যাবসিসিক অম্লরূপে স্বীকৃত হয়।

অ্যাবসিসিক অম্লের (ABA) স্থূল সংকেত $C_{15}H_{20}O_4$ — যা একটি 15 কার্বনযুক্ত সিসকিউ-টারপিনয়েড যৌগ। এই রাসায়নিক যৌগটিতে একটি মুক্ত কার্বকিসলিক মূলক (-COOH) থাকে এবং সাইক্লোহেকেসন বলয়ের α ও β কার্বনস্থানে দ্বিবন্ধনী (Double bond) থাকে। মেভালনিক অম্ল থেকে নিম্নলিখিত বিক্রিয়ার মাধ্যমে ABA উৎপন্ন হয় ঃ

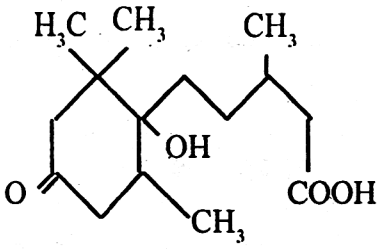


শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া :

A) **বীজের সুপ্তাবস্থা আনয়নে** — কোনো বীজকে দীর্ঘদিন ধরে ফেলে রাখলে ধীরে ধীরে তার অঙ্কুরোদ্‌গমের ক্ষমতা লোপ এবং বীজটি সুপ্তাবস্থায় (Doxmant) উপনীত হয়। দেখা গেছে যে বীজের বার্ধক্যের সাথে সাথে

ABA এর পরিমাণ ধীরে ধীরে বাড়তে থাকে। এই হর্মোনটি অঙ্কুরোদ্‌গমের সহায়ক GA এর ক্রিয়াক্ষমতা নষ্ট করে দেয় — ফলস্বরূপ GA নিয়ন্ত্রিত আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকগুলির (α - অ্যামাইলেজ, ফসফাটেজ প্রভৃতি) সংশ্লেষের হার কমে যায়। এইজন্যই বীজে সঞ্চিত জটিল খাদ্যবস্তুগুলিও সরলীকৃত হয় না ও ভ্রূণটি বৃদ্ধিলাভ করে না। এই কারণেই অঙ্কুরোদগমের ক্ষেত্রে ABA কে 'প্রতিরোধক উপাদান' বা 'Preventing factor' বলা হয়।

অনেক বীজই পরিপক্কতা লাভ করার সাথে সাথে অঙ্কুরিত হয় না অর্থাৎ ফসল তোলার সময় বীজগুলি সুপ্তাবস্থায় (Post harvest dormancy) থাকে। ধান জাতীয় দানাশস্যে লক্ষ করা গেছে ওই সময়ে বীজে পর্যাপ্ত পরিমাণ ABA থাকে যা অঙ্কুরোদগমে বাধাদান করে। কিছুদিনের মধ্যেই ABA ধীরে ধীরে ফেসিক ও ডাইফেসিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এর ফলে ফসল তোলার কিছুদিন পরে বীজগুলি অঙ্কুরোদগমের ক্ষমতা লাভ করে।



চিত্র 8N ঃ ABAএর রাসায়নিক গঠন

B) **পত্ররন্ধ্রের নিমীলন ও বাষ্পমোচন রোধ** — ABA এর প্রভাবে পত্ররন্ধ্র উন্মোচিত হয় না এবং এর ফলে বাষ্পমোচনের হারও কমে যায়। এই কারণে ABAকে বাষ্পমোচন প্রতিরোধী উপাদান (Antitranspirant) বলা হয়।

দেখা গেছে যে মৃত্তিকায় জলাভাব ঘটলে গাছের পাতায় ABA এর পরিমাণ দ্রুত বৃদ্ধি পায়। খরাকালীন অবস্থায় ABA এর পরিমাণ প্রায় পঞ্চাশগুণ পর্যন্ত বাড়তে পারে। এই অতিরিক্ত ABA দ্রুত পত্ররন্ধ্রকে বন্ধ করে বাষ্পমোচন প্রতিরোধ করে ও খরাজনিত পীড়ন বা জলাভাব (Water stress) থেকে উদ্ভিদকে রক্ষা করে। খরাকালীন অবস্থায় পাতায় 1μmol ঘনত্বের ABA সিঞ্চন করলে 3 থেকে 9 মিনিটের মধ্যে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হতে দেখা যায়।

C) **মূলের বৃদ্ধি** — ABA এর প্রভাবে কাণ্ডের বৃদ্ধি ব্যাহত হলেও ভুট্টাজাতীয় গাছে মূলের বৃদ্ধি ত্বরান্বিত হয়। এই বর্ধিত মূল শুষ্ক মৃত্তিকায় উদ্ভিদকে জল শোষণে সহায়তা করে।

d) **মোচন স্তর সৃষ্টি** — ফুল, পাতা বা ফলের মোচনের সময় বৃন্তে যে মোচনস্তর সৃষ্টি হয় সেই স্থানে পর্যাপ্ত পরিমাণে ABA সৃষ্টি হয় (Milborrow 1984)। বিজ্ঞানী অসবোর্ন (Osborne 1989) দেখিয়েছেন যে মোচনস্তরে উৎপন্ন ABA, ইথিলিন সংশ্লেষকেও ত্বরান্বিত করে। ABA বৃন্তের কোষপ্রাচীরকে নরম করার জন্য পেকটিনেজ, সেলুলেজ প্রভৃতি উৎসেচকগুলি সংশ্লেষের হার বাড়িয়ে দিয়ে পাতা ও ফলের অকাল মোচনে সহায়তা করে।

খরাজনিত জলাভাব
↓
পাতায় অতিরিক্ত ABA সংশ্লেষ
↓
রক্ষী কোষ থেকে K^+ অপসারণ
↓
রক্ষীকোষের রসস্ফীত চাপ হ্রাস
↓
পত্ররন্ধ্রের নিমীলন
↓
বাষ্পমোচন হ্রাস
↓
ABA এর সাহায্যে খরাকালীন অবস্থায় উদ্ভিদের বাষ্পমোচন রোধ।

8.8 সারাংশ

উদ্ভিদের বৃদ্ধি, বিপাক ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ায় হরমোনের গুরুত্ব সর্বাধিক। অক্সিনকে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বৃদ্ধি হরমোন বলা হলেও উদ্ভিদের বৃদ্ধিতে জিব্বারেলিন ও সাইটোকাইনিনেরও উল্লেখযোগ্য ভূমিকা আছে। ট্রিপ্টোফ্যান নামক অ্যামাইনো অম্ল থেকে অক্সিন উৎপন্ন হয় এবং এই হর্মোনটি প্রধানত কোষের বিভাজন ও আয়তন বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। উদ্ভিদের ট্রপিক চলন, অগ্রস্থ প্রকটতা প্রধানত এই হর্মোন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।

জিব্বারেলিন একটি ডাইটারপিনয়েড হর্মোন যা উদ্ভিদের পর্বমধ্যের বৃদ্ধি ঘটায়। দানাশস্যের অ্যালিউরোন স্তরে GA বিভিন্ন আর্দ্রবিশ্লেষক উৎসেচকের সংশ্লেষ ঘটিয়ে অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তা করে। এই হর্মোন বীজবিহীন ফল উৎপাদন ও পুষ্প প্রস্ফুটনকে নিয়ন্ত্রণ করে।

সাইটোকাইনিন হল অ্যাডিনিন-লব্ধ হর্মোনগোষ্ঠী যা দ্রুত কোষের বিভাজন ঘটায়। বিভিন্ন উদ্ভিদ অঙ্গের পরিস্ফুটন ও বীজ অঙ্কুরোদ্‌গমে এই হর্মোন সহায়তা করে।

ইথিলিন উদ্ভিদদেহে প্রাপ্ত একমাত্র প্রাকৃতিক গ্যাসীয় হর্মোন যা ফল পাকাতে সাহায্য করে। উদ্ভিদ অঙ্গের মোচন স্তরে অ্যাবসিসিক অম্ল সৃষ্টি হয় যা পাতা, ফুল ও ফলের অকালমোচন ঘটায়। এই হর্মোন অঙ্কুরোদ্‌গমে বাধাদান করে। খরাকালীন অবস্থায় রক্ষীকোষে এই হর্মোনটি দ্রুত সংশ্লিষ্ট হয় এবং পত্ররন্ধ্রকে নিমীলিত করে বাষ্পমোচন রোধ করে।

8.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

a) কোন অ্যামাইনো অম্ল থেকে অক্সিনের সংশ্লেষ ঘটে?

b) পার্থেনোকার্পি কাকে বলে?

c) একটি প্রাকৃতিক ও একটি কৃত্রিম সাইটোকাইনিনের নাম উল্লেখ করুন।

d) কোন যৌগকে 'বাষ্পমোচন প্রতিরোধক' হর্মোন বলে?

e) ইথিলিন কীভাবে ফল পাকাতে সাহায্য করে?

8.10 উত্তরমালা

অনুশীলনী — 1

a) ন্যাপথালিন অ্যাসিটিক অ্যাসিড (NAA) ও 2, 4, ডাইক্লোরোফেনকিস অ্যাসিটিক অ্যাসিড (2, 4-D)

b) 8.3.2 (C) দেখুন।

c) অক্সিন অন্য কোন রাসায়নিক পদার্থের সাথে যুক্ত হয়ে যে জটিল যৌগ গঠন করে তাকে সংযুক্ত অক্সিন বলে।

যেমন ইনডোল-অ্যাসিটাইল β - D গ্লুকোজ।

d) মূলের অগ্রভাগে অ্যামাইলোপ্লাস্ট সমৃদ্ধ কণিকাকে স্ট্যাটোলিথ বলে।

যে কোষে স্ট্যাটোলিথগুলি সঞ্চিত হয় তাকে স্ট্যাটোসাইট বলে।

e) 2,4-D 2, 4 - ডাইক্লোরোফেনক্সি অ্যাসিটিক অ্যাসিড।

অনুশীলনী — 2

a) *Gibberella Injikuroi* নামক অ্যাসকোমাইসেটিস শ্রেণির ছত্রাক।

b) α - অ্যামাইলেজ

c) GA_1 ও GA_3

d) মেভালনিক অম্ল

e) 8.4.2 (F) দেখুন।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

a) ট্রিপ্টোফ্যান।

b) 8.3.2 (E) দেখুন।

c) জিয়াটিন একটি প্রাকৃতিক ও কাইনেটিন একটি কৃত্রিম সাইটোকাইনিনের উদাহরণ।

d) অ্যাবসিসিক অম্ল (ABA)।

e) 8.6 (A) দেখুন।

EBT 07

Block 2

একক 9 ❑ উদ্ভিদ রঞ্জক

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা

9.2 উদ্দেশ্য

9.3 প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক

9.4 ক্লোরোফিল

9.4.1 রাসায়নিক গঠন ও প্রকারভেদ

9.4.2 রাসায়নিক ধর্ম

9.5 ক্লোরোফিল সংশ্লেষ

9.6 ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

9.7 ক্যারোটিনয়েড

9.7.1 ক্যারোটিন

9.7.2 জ্যান্থোফিল

9.8 অ্যান্থোসায়ানিন

9.9 ফাইকোবিলিন

9.10 সারাংশ

9.11 উত্তরমালা

9.1 প্রস্তাবনা

উদ্ভিদের ফুল ও ফল বর্ণবৈচিত্র্যের জন্য আমাদের আকৃষ্ট করে। উদ্ভিদের বিভিন্ন রঞ্জককণার মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ রঞ্জক হল সবুজ বর্ণের ক্লোরোফিল যা সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। ক্লোরোফিল, ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল জাতীয় রঞ্জক প্লাস্টিডে আবদ্ধ থাকে, আবার অ্যান্থোসায়ানিন, ফাইকোসায়ানিন ও ফাইকোএরিথ্রিন জাতীয় রঞ্জক প্লাস্টিডে আবদ্ধ থাকে না। ক্লোরোফিল আলোকশক্তি শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং এই তেজোময় ক্লোরোফিল অণু থেকে নির্গত ইলেকট্রন বিভিন্ন বাহকের মধ্য দিয়ে পরিবাহিত হয়ে উচ্চ শক্তিসম্পন্ন ATP এবং $NADPH + H^+$ নামক বিজারক উৎপন্ন করে। গ্লাইসিন অ্যামাইনো অম্ল সাকসিনাইল-CoA-এর সাথে যুক্ত হয়ে জটিল পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে ক্লোরোফিল সংশ্লেষ করে।

9.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- বিভিন্ন রঞ্জককণার রাসায়নিক গঠন ও তাদের শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া সম্পর্কে ধারণা লাভ করতে পারবেন।
- ক্লোরোফিল কীভাবে আলোকশক্তি শোষণ করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ক্লোরোফিলের জৈব সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি বুঝিয়ে দিতে পারবেন।

9.3 প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক

সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদকোষের একটি গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গাণু হল প্লাস্টিড। উদ্ভিদের প্রধান রঞ্জককণাগুলি প্লাস্টিডে আবদ্ধ থাকে। এই রঞ্জককণাগুলির মধ্যে ক্লোরোফিল, ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল উল্লেখযোগ্য। অপরদিকে, ফাইকোসায়ানিন ও ফাইকোএরিথ্রিন—এই দুটি শৈবালের ফাইকোবিলিন প্রকৃতির রঞ্জক এবং উন্নত উদ্ভিদের অ্যান্থোসায়ানিন প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক।

প্লাস্টিডের মধ্যে যে চাকতির ন্যায় অংশগুলি থাকে তাদের গ্রানা (Grana) বলে। গ্রানার মধ্যে একক পর্দাবৃত চ্যাপ্টা থলির ন্যায় থাইলাকয়েড থাকে যার মধ্যে প্লাস্টিড ও রঞ্জককণাগুলি দেখা যায়। সায়ানোফাইসি নামক আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত শৈবালে সাইটোপ্লাজমে অবস্থিত বিচ্ছিন্ন থাইলাকয়েডে ক্লোরোফিল থাকে কারণ এদের প্লাস্টিড থাকে না। অপরদিকে, ফিয়োফাইসি, রোডোফাইসি প্রভৃতি শৈবালে পর্দাবৃত প্লাস্টিডের ন্যায় কোষীয় অঙ্গাণুতে থাইলাকয়েডগুলি পরস্পর সংযুক্ত হয়ে গ্রানাম গঠন করে না। এই ধরনের অঙ্গাণুকে ক্রোমাটোফোর (Chromatophore) বলে, যার মধ্যে রঞ্জককণাগুলি সঞ্চিত থাকে। আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত ব্যাকটেরিয়াতেও বিক্ষিপ্তভাবে উপস্থিত থাইলাকয়েডের মধ্যে ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল ও ব্যাকটেরিওভিরিডিন নাম ক্লোরোফিল জাতীয় রঞ্জককণা থাকে।

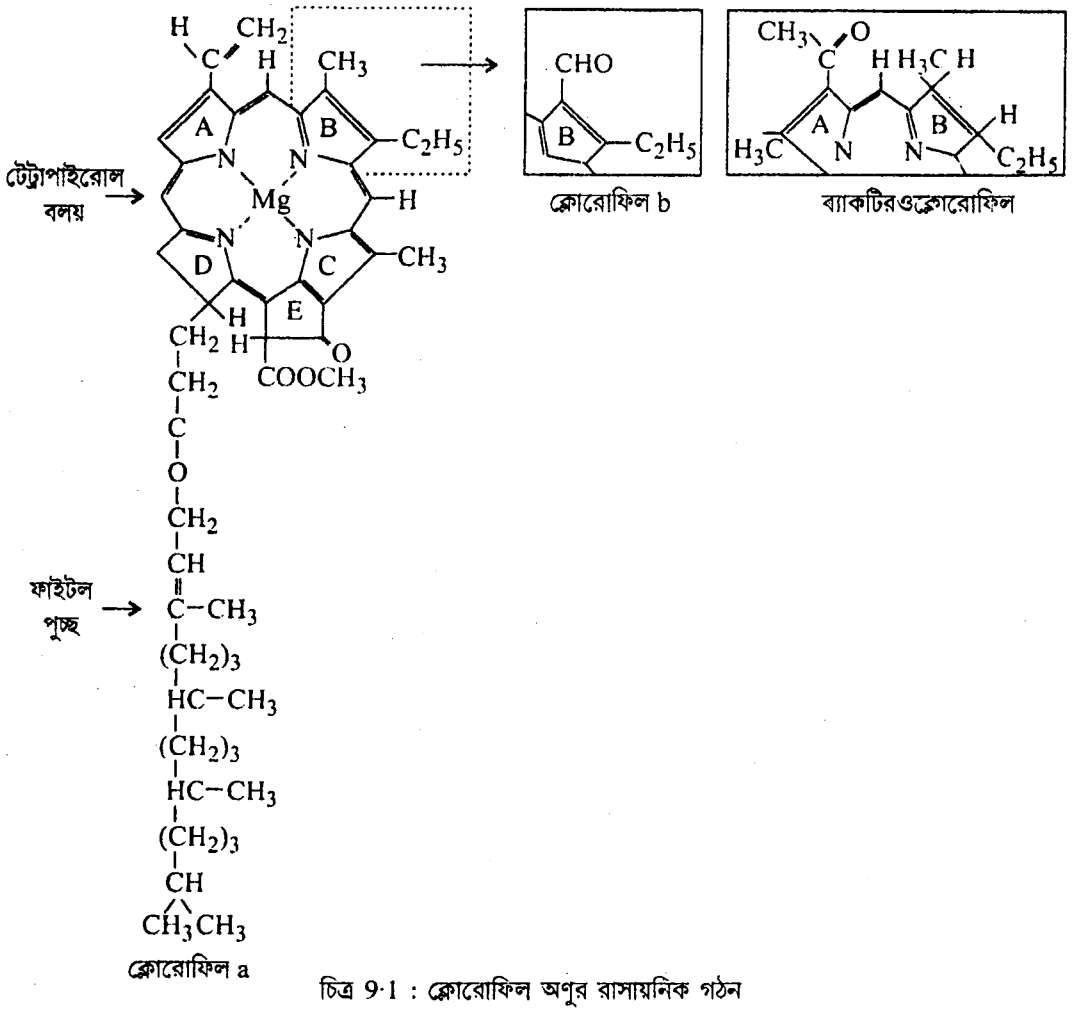
পরভোজী ছত্রাকগোষ্ঠীতে স্বাভাবিকভাবেই সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জককণা অনুপস্থিত, তবে এদের বর্ণবৈচিত্র্যও উপেক্ষা করার মতো নয়। *Penicillium glabrum* নামক ছত্রাকে সাইট্রোমাইসেটিন এবং *Penicillium citrinum*-এ সাইট্রিন নামক রঞ্জককণা দেখা যায়। *Mucor hiemalis*-এ বিটা ক্যারোটিন, *Oospora aurantia*-তে অর‍্যানটিন নামক রঞ্জক উপস্থিত। ছত্রাকের বিভিন্ন রঞ্জকগুলি জ্যান্থিন, ফ্ল্যাভোন ও ক্যারোটিন জাতীয় যৌগ এবং এসবগুলিই প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক।

9.4 ক্লোরোফিল

সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদের সবুজ বর্ণের মুখ্য রঞ্জককণাই হল ক্লোরোফিল। উদ্ভিদের পাতায় মেসোফিল কলায় যে প্লাস্টিড থাকে তার মধ্যে ক্লোরোফিল উপস্থিত। সতেজ পাতায় 0.05 – 0.2% ক্লোরোফিল থাকে। প্লাস্টিডের গ্রানায় আনুমানিক 250টি ক্লোরোফিল অণু একত্রিত হয়ে সালোকসংশ্লেষের একক তৈরি করে যাকে কোয়ান্টাজোম (Quantasome) বলে।

9.4.1 রাসায়নিক গঠন ও প্রকারভেদ

বিজ্ঞানী ফিশার ও ব্রেটনার (Fischer and Breitner, 1936) ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক গঠন আবিষ্কার করেন। ক্লোরোফিলের গঠন বেশ জটিল। চারটি পাইরোল বলয় বৃত্তাকারে সজ্জিত হয়ে একটি পরফাইরিন যৌগ গঠন করে। এই পরফাইরিনের কেন্দ্রস্থলে একটি ম্যাগনেসিয়াম পরমাণু থাকে। প্রতিটি পাইরোল বলয়ের নাইট্রোজেন পরমাণুর সাথে কেন্দ্রীয় ম্যাগনেসিয়াম পরমাণুটি যুক্ত থাকে। পরফাইরিন যৌগকে ক্লোরোফিলের মস্তক বলা হয়। চতুর্থ পাইরোল বলয় থেকে একটি ফাইটল (Phytol) পুচ্ছ উৎপন্ন হয়। ফাইটল পুচ্ছকে রাসায়নিকবাবে একটি হাইড্রোজেনেটেড ক্যারোটিন ($C_{20}H_{39}OH$)। ক্লোরোফিলের পরফাইরিন মস্তকটি 15Å বর্গ আয়তনবিশিষ্ট এবং পুচ্ছটি 20Å লম্বা হয় (চিত্র 9.1)।



চিত্র 9·1 : ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক গঠন

9.4.2 রাসায়নিক ধর্ম

ক্লোরোফিলের রাসায়নিক ধর্মগুলি নীচে আলোচিত হল :

1) ক্লোরোফিল অতি সূক্ষ্ম কেলাসাকার নীলাভ সবুজ কঠিন পদার্থ।

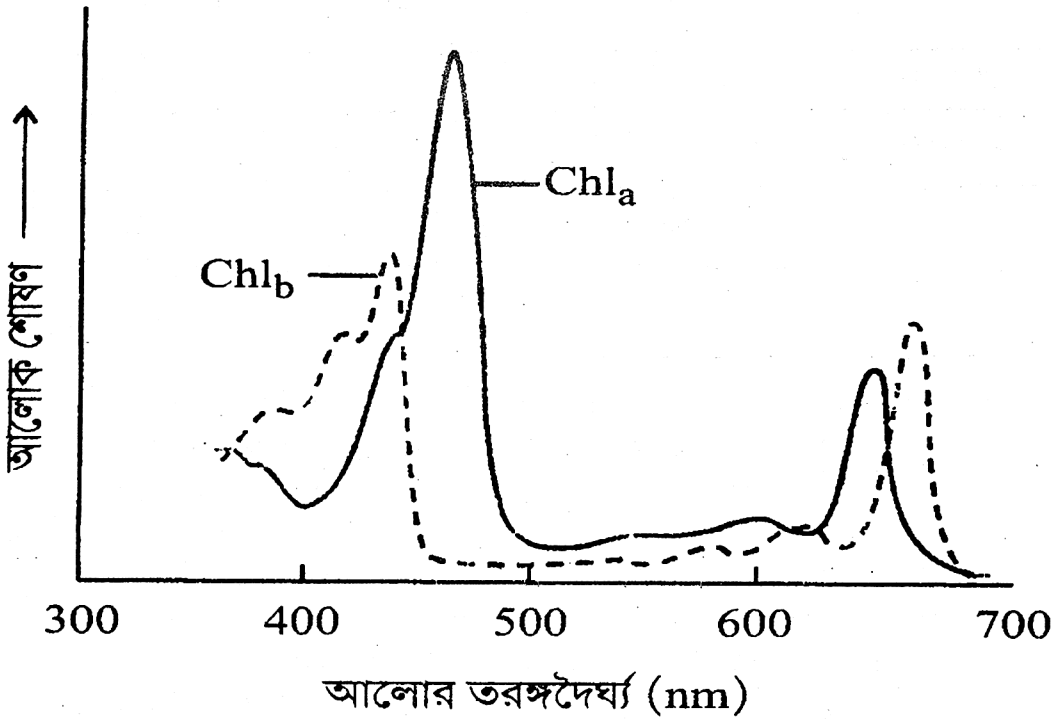
2) এই রঞ্জক জলে অদ্রবণীয় কিন্তু ইথাইল অ্যালকোহল, ইথার, বেনজিন, মিথাইল অ্যালকোহল, ক্লোরোফিল প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয়।

3) ক্লোরোফিলকে লঘু অম্ল দ্রবণে রাখলে এই অণুর Mg^{2+} আয়নটি H^+ আয়ন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়। এর ফলে, ক্লোরোফিল জলপাই-সবুজ (Olive green) বর্ণ ধারণ করে যাকে ফিওফাইটিন বলে।

4) ক্ষারের সাথে বিক্রিয়া করলে ক্লোরোফিলের স্যাপোনিফিকেশন (Saponification) ঘটে ও এর ফলে ক্লোরোফাইলিন নামক জলে দ্রবণীয় একটি রঞ্জক উৎপন্ন হয়।

5) পরোক্ষ আলোয় ক্লোরোফিল দ্রবণকে রাখলে লাল বর্ণের আলোক বিচ্ছুরণ দেখা যায়। এই ঘটনাকে প্রতিপ্রভ (Fluorescence) বলে। ক্লোরোফিল a আলোকশক্তি শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং সেই অবস্থা থেকে স্বাভাবিক অবস্থায় ফিরে আসার সময় নিম্ন ক্ষমতাসম্পন্ন লাল আলোর প্রতিপ্রভ লক্ষ্য করা যায়।

6) বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের (Spectroscope) সাহায্যে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর পরিপ্রেক্ষিতে ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ ক্ষমতা পরিমাপ করা যায় এবং যে লেখচিত্রের মাধ্যমে তা প্রকাশ করা হয় তাকে শোষণ বর্ণালী (Absorbtion spectrum) বলে। দেখা গেছে যে ক্লোরোফিল a ও b উভয়ই নীল ও লাল আলো সর্বাধিক শোষণ করে। ক্লোরোফিল a 429 nm ও 642 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সবচেয়ে বেশি শোষণ করে এবং ক্লোরোফিল b 453 nm ও 660 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে। আবার ক্লোরোফিল b-এর নীল আলো শোষণ করার ক্ষমতা ক্লোরোফিল a-এর চেয়ে বেশি এবং ক্লোরোফিল a-এর লাল আলো শোষণ ক্ষমতা ক্লোরোফিল b-এর চেয়ে অনেক বেশি। ক্লোরোফিলের রং সবুজ হওয়ায় এই রঞ্জকের সবুজ আলো শোষণ ক্ষমতা সবচেয়ে কম। সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক ক্লোরোফিল নীল ও লাল আলো সর্বাধিক পরিমাণে শোষণ করে বলেই এই দুটি বর্ণের আলোয় সালোকসংশ্লেষের হার সর্বাধিক হয় (চিত্র 9.2)।



চিত্র 9.2 : ক্লোরোফিলের শোষণ বর্ণালী

—— লাইন = ক্লোরোফিল a ----- = ক্লোরোফিল b (অ্যাসিটোন দ্রাবকে)

7) উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদের পাতায় ক্লোরোফিল a ও ক্লোরোফিল b-এর অনুপাত 2.5 : 1 হয়। প্রখর সূর্যালোকগ্রহণকারী পাতায় ক্লোরোফিল a-এর পরিমাণ ক্লোরোফিল b-এর তুলনায় পাঁচগুণ বেশি হয়। আবার অন্ধকারাচ্ছন্ন স্থানে যে উদ্ভিদ জন্মায় তাদের ক্লোরোফিল a ও b-এর অনুপাত 1.4 : 1 হয়। এই কারণে বলা হয় যে প্রখর সূর্যালোকে ক্লোরোফিল a-এর সংশ্লেষ অনেক বেড়ে যায়।

উদ্ভিদজগতে পাঁচ ধরনের ক্লোরোফিল পাওয়া যায়, যাদের a, b, c, d ও e নামে চিহ্নিত করা হয়। সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদেই ক্লোরোফিল a পাওয়া যায়, তাই একে সার্বজনীন সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক বলা হয়। সমস্ত সপুষ্পক উদ্ভিদ এবং ক্লোরোফাইসি শ্রেণীর শৈবালে ক্লোরোফিল b দেখা যায়।

সারণী 9.1A : **বিভিন্ন ক্লোরোফিলের মুখ্য প্রাপ্তিস্থান ও রাসায়নিক প্রকৃতি**

ক্লোরোফিল	মুখ্য প্রাপ্তিস্থান	সংকেত ও রাসায়নিক প্রকৃতি
1. ক্লোরোফিল a	সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদ	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$
2. ক্লোরোফিল b	ক্লোরোফাইসি শ্রেণীর শৈবাল ও উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদ	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$। ক্লোরোফিল a-এর ন্যায় তবে দ্বিতীয় পাইরোল বলয়ে $-CH_3$ মূলকের বদলে –CHO মূলক থাকে।
3. ক্লোরোফিল c	বাদামি শৈবাল (ফিয়োফাইসি) ও ডায়াটম (ব্যাসিলেরিওফাইসি)।	সঠিক রাসায়নিক সংকেত জানা যায়নি। এই ক্লোরোফিল ফাইটল শৃঙ্খল সম্ভবত অনুপস্থিত থাকে। সম্ভাব্য রাসায়নিক প্রকৃতি –Mg-2-ভিনাইল-4 ইথাইল ফিওপরফাইরিন মনোইথাইল এস্টার।
4. ক্লোরোফিল d	লোহিত শৈবাল (রোডোফাইসি)	$C_{54}H_{70}O_6N_4Mg$। এইক্ষেত্রে ক্লোরোফিল a-এর প্রথম পাইরোল বলয়ের ভিনাইল($-CH=CH_2$)পার্শ্ব শৃঙ্খলটি থাকে না এবং এই স্থানে অ্যালডিহাইড মূলত (–CHO) অবস্থান করে।
5. ক্লোরোফিল e	জ্যান্থোফাইসি	রাসায়নিক গঠন সঠিকভাবে জানা যায়নি।
6. ব্যাকটেরিও-ক্লোরোফিল	বর্তমানে ব্যাকটেরিও-ক্লোরোফিল—a, b, c, d ও e আবিষ্কৃত হয়েছে। a—সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটেরিয়ায়, b—পার্পল সালফার ও নন্-সালফার ব্যাকটেরিয়ায়, ক্লোরোফিল c—সবুজ নন্-সালফার ব্যাকটেরিয়ায় এবং d ও e সবুজ সালফার ব্যাকটেরিয়ায় পাওয়া যায়।	ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল a-এর স্থূল সংকেত $C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$। এইক্ষেত্রে ক্লোরোফিল a-এর প্রথম পাইরোল বলয়ের $-CH=CH_2$ পার্শ্ব শৃঙ্খলটি অ্যাসিটাইল মূলত ($CO.CH_3$) দিয়ে প্রতিস্থাপিত হয়। এছাড়া চতুর্থ পাইরোল বলয়ে একটি অতিরিক্ত হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে।

সপুষ্পক উদ্ভিদে ক্লোরোফিল a ও b সালোকসংশ্লেষে মুখ্য অংশগ্রহণ করে। এই দুটি ক্লোরোফিলকেই উদ্ভিদের প্রধান রঞ্জককণা বলা হয়। ক্লোরোফিল a ও b-এর প্রধান প্রভেদগুলি নীচে আলোচিত হল—

সারণী 9.2B : **ক্লোরোফিল a ও ক্লোরোফিল b-এর পার্থক্য**

বৈশিষ্ট্য	ক্লোরোফিল a	ক্লোরোফিল b
1. প্রাপ্তিস্থান	সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদ	ক্লোরোফাইসি শ্রেণীর সবুজ শৈবাল ও উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদ।
2. স্থূল সংকেত	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$।	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$।
3. গঠনগত প্রভেদ	দ্বিতীয় পাইরোল বলয়ে $-CH_3$ গ্রুপ থাকে।	দ্বিতীয় পাইরোল বলয়ে $-CH_3$ গ্রুপটি $-CHO$ দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।
4. আণবিক ওজন	893 ডালটন।	907 ডালটন।
5. বর্ণ	নীলাভ সবুজ।	হালকা সবুজ।
6. সালোকসংশ্লেষে ভূমিকা	স্বাধীনভাবে সালোকসংশ্লেষে সক্ষম।	ক্লোরোফিল a-এর অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ করতে পারে না। এই রঞ্জক আলোক শোষণ করে আলোকশক্তিকে ক্লোরোফিল a-তে পরিচালিত করে।
7. সর্বাধিক দ্রবণীয়তা	ইথারে।	মিথাইল অ্যালকোহলে।
8. শোষণ বর্ণালী	429 nm ও 642 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে।	453 nm ও 660 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে।

9.5 ক্লোরোফিল সংশ্লেষ

বিজ্ঞানী গ্র্যানিক ও সেমিন (Granick, 1954 and Shemin, 1956) ক্লোরোফিল সংশ্লেষের জটিল প্রক্রিয়াটি আবিষ্কার করেন। ক্লোরোফিল সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে আধুনিক জৈবরসায়নবিদেরা চারটি পর্যায়ে ভাগ করেন :

(ক) প্রথম পর্যায়

1. গ্লাইসিন অ্যামাইনো অম্লটি সাকসিনাইল CoA-এর সাথে যুক্ত হয় এবং অ্যাসিটাইল CoA(CoA-SH) মুক্ত করে α-অ্যামাইনো-β-কিটো অ্যাডিপিক অম্ল নামে একটি অস্থায়ী যৌগ গঠন করে।

2. পরবর্তী পর্যায়ে এই যৌগটি থেকে CO_2 নির্গত হয়ে δ-অ্যামাইনো লিভুল্যানিক অম্ল (ALA) উৎপন্ন হয়। অনেকের মতে গ্লাইসিনের পরিবর্তে গ্লুটামিন অম্ল থেকেও ALA উৎপন্ন হতে পারে। ALA উৎপাদন প্রক্রিয়াটি আলোর উপস্থিতিতে ঘটে।

3. দুই অণু ALA যুক্ত হয়ে পরফোবিলিনোজেন (PBG) নামক একটি মনোপাইরোল গঠন করে।

(খ) দ্বিতীয় পর্যায়

1. চারটি পরফোবিলিনোজেন যৌগ যুক্ত হয়ে ইউরোপরফাইরিনোজেন III গঠিত হয়। এটি পর্যায়ক্রমে প্রোটোপরফাইরিনোজেন IX, কর্পোপরফাইরিনোজেন III ও পরিশেষে প্রোটোপরফাইরিন IX গঠিত হয়।

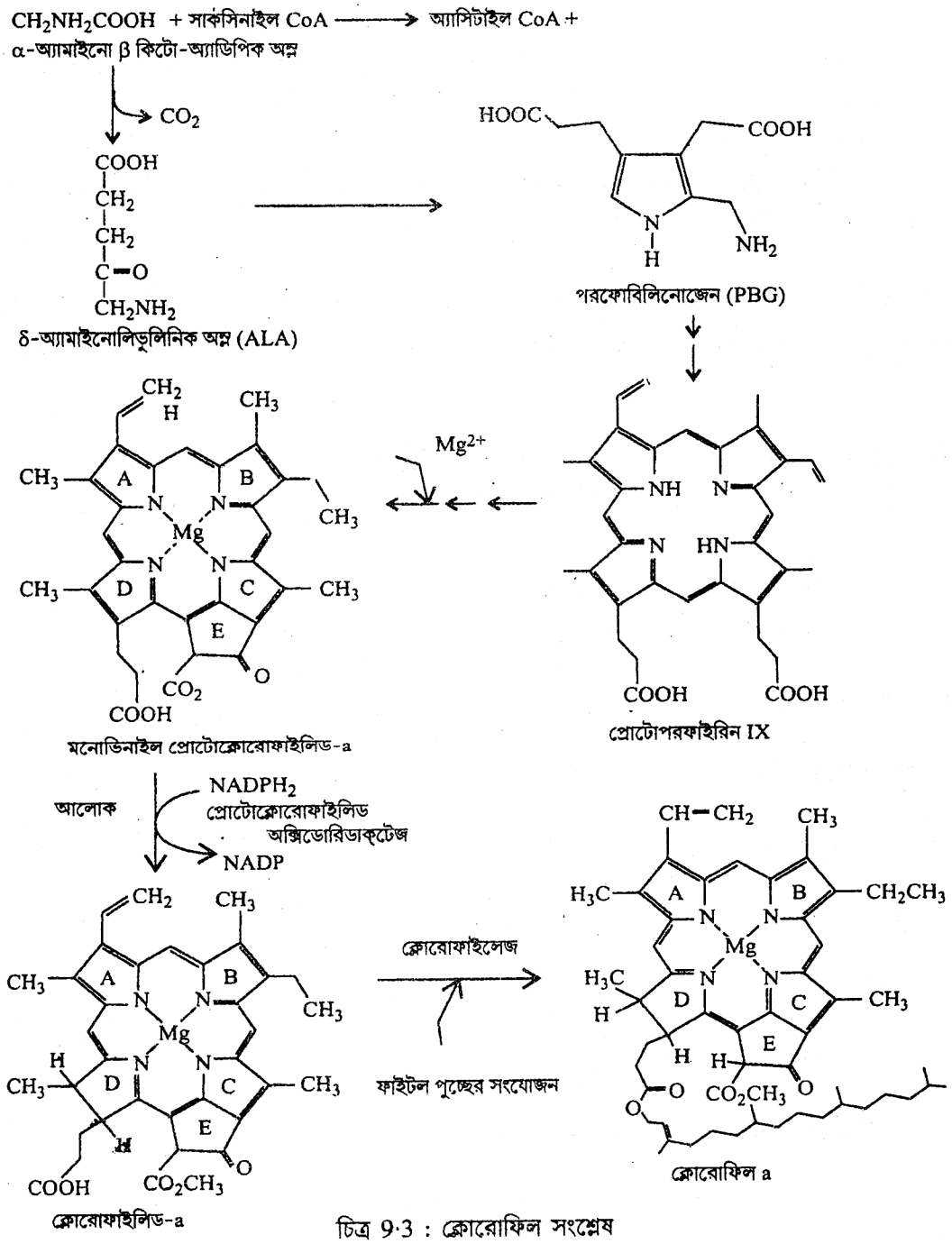
2. প্রোটোপরফাইরিন IX-এর কেন্দ্রে একটি Mg পরমাণু স্থাপিত হয়। এই Mg পরমাণু চারটি পাইরোল বলয়ের চারটি নাইট্রোজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে মনোভিনাইল প্রোটোক্লোরোফাইলিড-a গঠন করে।

(গ) তৃতীয় পর্যায়

মনোভিনাইল প্রোটোক্লোরোফাইলিড-a আলোর উপস্থিতিতে $NADPH_2$ দ্বারা বিজারিত হওয়ার ফলে ক্লোরোফাইলিড-a উৎপন্ন হয়। শৈবাল, ফার্ণ ও ব্যক্তজীবী উদ্ভিদে এই পর্যায়টি অবশ্য আলোক নিরপেক্ষ বলে প্রমাণিত হয়েছে।

(ঘ) চতুর্থ পর্যায়

ক্লোরোফাইলিড-a যৌগটি ক্লোরোফাইলেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফাইটল শৃঙ্খলের সাথে যুক্ত হয়ে ক্লোরোফিল a গঠন করে (চিত্র 9.3 পরের পাতায় দেখানো হল)।



চিত্র 9·3 : ক্লোরোফিল সংশ্লেষ

ক্লোরোফিল সংশ্লেষের জন্য আলো একটি অত্যাবশ্যক প্রভাবক। আলোর অনুপস্থিতিতে প্রোটোক্লোরোফাইলিড a থেকে ক্লোরোফিল উৎপন্ন হতে পারে না। এই কারণেই আলোর অনুপস্থিতিতে ক্লোরোফিলের অভাবে গাছের পাতা হলুদ হয়ে যায়।

ইউরোপরফাইরিনোজেন থেকে প্রোটোপরফাইরিন উৎপাদনের সময় পার্শ্বীয় শৃঙ্খলগুলি জারিত হয়। এই জারণের জন্য O_2 একটি অত্যাবশ্যক উপাদান হিসাবে কাজ করে।

লক্ষ করা গেছে যে কার্বোহাইড্রেট বিপাকের মাধ্যমেই গ্লাইসিন ও সাকসিনিক অম্ল উৎপন্ন হয়। তাই সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া ব্যাহত হলে কার্বোহাইড্রেট সরবরাহের ঘাটতি লক্ষ করা যায়, যা ক্লোরোফিল সংশ্লেষের হার কমিয়ে দেয়।

ম্যাগনেসিয়াম, নাইট্রোজেন ও লৌহ—এই তিনটি অত্যাবশ্যক মৌল ক্লোরোফিল সংশ্লেষে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে।

বাহ্যিক প্রভাবক হিসাবে 25–30°C তাপমাত্রা এবং প্রয়োজনীয় জল সরবরাহ ক্লোরোফিল সংশ্লেষের গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে।

A প্রশ্নাবলী

ক) সংক্ষেপে উত্তর দিন

1. কোন্ উদ্ভিদ রঞ্জক সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদে পাওয়া যায়?
2. দুটি প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জককণার নাম লিখুন।
3. ক্রোমোটোফোর কী?
4. কোয়ান্টাজোম কাকে বলে?
5. ক্লোরোফিল a-এর রাসায়নিক সংকেত লিখুন।
6. কোন্ অ্যামাইনো অম্লটি থেকে ক্লোরোফিল সংশ্লেষ শুরু হয়?

খ) শূন্যস্থান পূরণ করুন

1. রাসায়নিকভাবে ক্লোরোফিল অণু একটি _____ বলয় ও _____ শৃঙ্খলের সমন্বয়ে গঠিত।
2. ক্লোরোফিলের স্যাপোনিফিকেশন ঘটলে _____ উৎপন্ন হয়।
3. _____ ও _____ বর্ণের আলোয় সালোকসংশ্লেষ সর্বাধিক হয়।
4. উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদে ক্লোরোফিল a ও ক্লোরোফিল b-এর অনুপাত _____ হয়।
5. ক্লোরোফিলের সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি আবিষ্কার করেন _____ ও _____।

গ) ভ্রম সংশোধন করুন

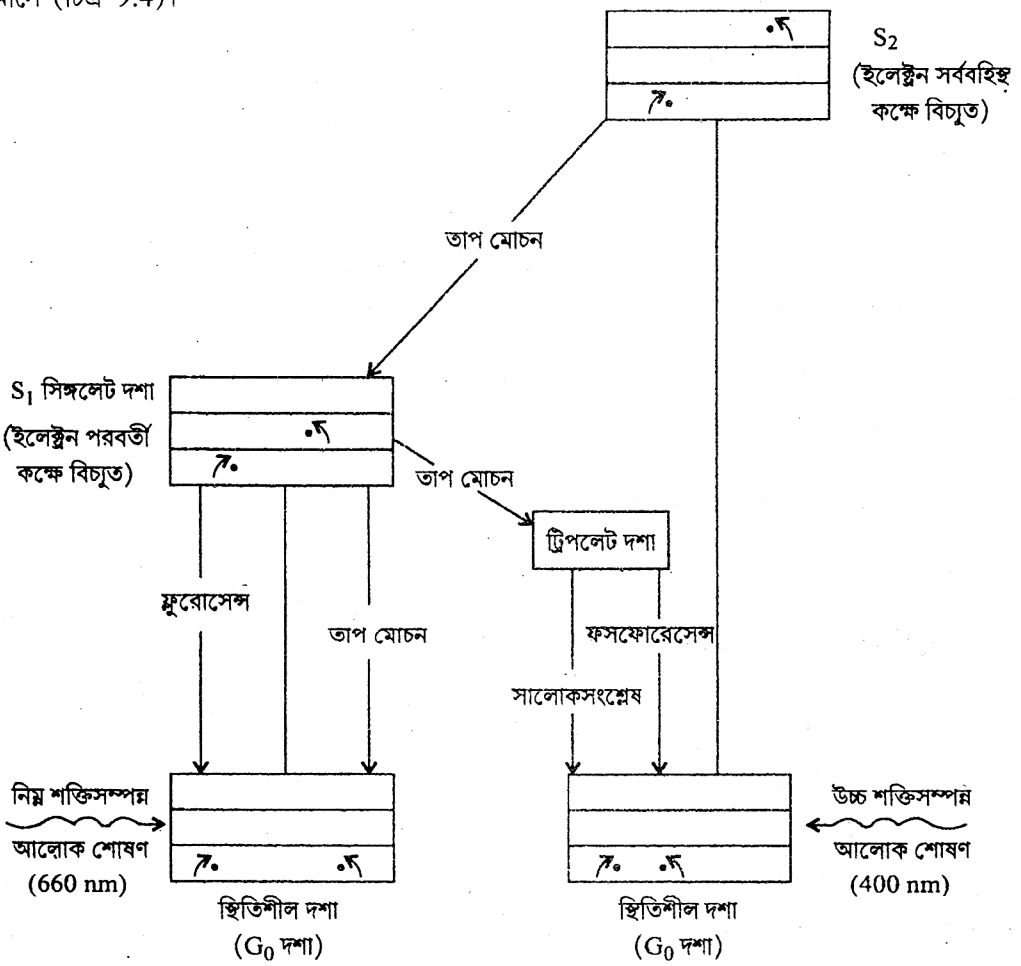
1. বাদামি শৈবালে ক্লোরোফিল d পাওয়া যায়।
2. ক্লোরোফিল a-এর সর্বশ্রেষ্ঠ দ্রাবক হল মিথাইল অ্যালকোহল।
3. ক্লোরোফিলের প্রথম পাইরোল বলয় থেকে ফাইটল পুচ্ছটি উৎপন্ন হয়।
4. ক্লোরোফিলের কেন্দ্রে একটি নাইট্রোজেন পরমাণু থাকে।

9.6 ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

আলোকশক্তি আসলে তড়িৎচুম্বকীয় শক্তির কণা যা ফোটন নামে পরিচিত। আলোকশক্তি শোষণের আগে ক্লোরোফিল অণু নিষ্ক্রিয় অবস্থায় (Ground state) থাকে। এই দশাকে G_0 দশা বা S_0 সিঙ্গলেট দশা বলা হয়। এই অবস্থায় ক্লোরোফিল আলোকশক্তি বা ফোটন কণা শোষম করে উত্তেজিত হয়। ক্লোরোফিল যখন নিম্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত অর্থাৎ উচ্চ শক্তিসম্পন্ন আলো শোষণ করে তখন ক্লোরোফিলের একটি পরমাণুর ইলেকট্রন সবচেয়ে বাইরের কক্ষে নিক্ষিপ্ত হয়। এই অবস্থাকে S_2 সিঙ্গলেট দশা বলে। অপরদিকে, উচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত অর্থাৎ নিম্ন শক্তিসম্পন্ন আলো শোষণ করলে পরমাণুর ইলেকট্রনটি সবচেয়ে বাইরের কক্ষে নিক্ষিপ্ত না হয়ে পরবর্তী কক্ষে নিক্ষিপ্ত হয়। এই দশাকে S_1 সিঙ্গলেট দশা বলে। এই দুটি দশাই অত্যন্ত ক্ষণস্থায়ী কারণ S_2 সিঙ্গলেট দশা ও S_1 সিঙ্গলেট দশার স্থায়িত্ব যথাক্রমে 10^{-11} সেকেন্ড ও 10^{-9} সেকেন্ড। এই দশা দুটিকে ক্লোরোফিলের উত্তেজিত দশা বলে।

S_2 সিঙ্গলেট দশা থেকে তাপ নির্গত করে ক্লোরোফিল S_1 সিঙ্গলেট দশায় আসে। S_1 সিঙ্গলেট দশা থেকে তাপশক্তি নির্গত করে বা ফ্লুরোসেন্সের মাধ্যমে ক্লোরোফিল আবার নিষ্ক্রিয় দশায় (G_0 দশা) ফিরে আসে। S_1 সিঙ্গলেট দশা থেকে কিছু তাপশক্তি নির্গত করে ক্লোরোফিল ট্রিপলেট দশা নামক এক অন্তর্বর্তী

দশায় এসে পৌঁছায়। এই অবস্থাতেই সালোকসংশ্লেষ বা ফসফোরেসেন্স ঘটিয়ে ক্লোরোফিল আবার G_0 অবস্থায় ফিরে আসে (চিত্র 9.4)।



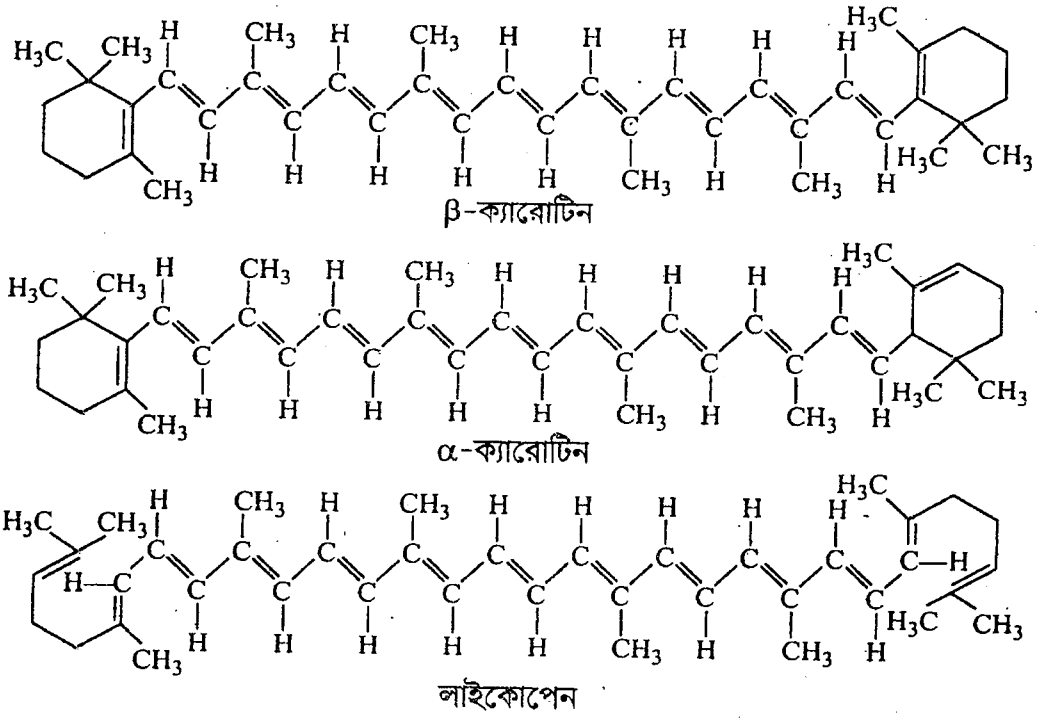
চিত্র 9.4 : ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

9.7 ক্যারোটিনয়েড

ক্লোরোপ্লাস্ট বা ক্রোমোপ্লাস্টে উপস্থিত লাল, হলুদ বা কমলা বর্ণের যে টারপিনয়েড যৌগগুলি সালোকসংশ্লেষের সহায়ক রঞ্জক হিসাবে কাজ করে তাদের ক্যারোটিনয়েড বলে। রাসায়নিকভাবে সমস্ত ক্যারোটিনয়েড টেট্রাটারপিন যৌগ এবং এরা বেগুনী-নীল আলো শোষণ করে। ক্যারোটিনয়েডকে দুটি ভাগে ভাগ করা হয়—ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল।

9.7.1 ক্যারোটিন

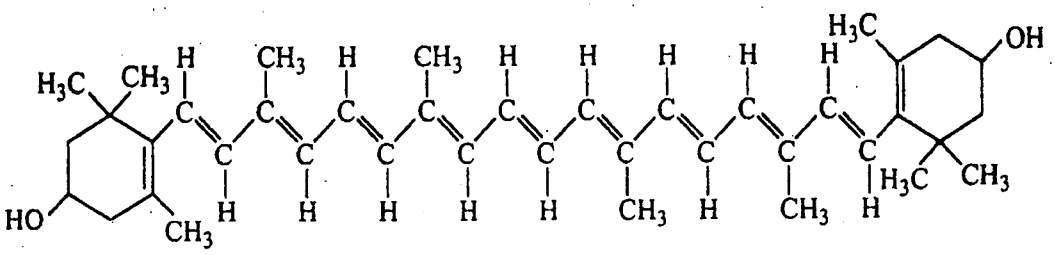
1. ক্যারোটিন হল অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন—এর স্থূল সংকেত $C_{40}H_{56}$।
2. গাজরের ন্যায় লালচে কমলা বর্ণের বলে এদের ক্যারোটিন বলা হয়।
3. ক্যারোটিনের মাত্রই স্নেহপদার্থের উপজাত যৌগ এবং সমস্ত ক্যারোটিনই লাইকোপিন নামক রঞ্জক পদার্থ থেকে উৎপন্ন হয়।
4. উদ্ভিদে প্রাপ্ত প্রধান ক্যারোটিনগুলি হল α, β, γ ও δ ক্যারোটিন। α ও β ক্যারোটিনের দুই প্রান্তে দুটি আয়োনোন বলয় (lonone) দেখা যায়, কিন্তু γ ও δ ক্যারোটিনে একটিমাত্র আয়োনোন বলয় থাকে। এছাড়া নীলাভ সবুজ শৈবাল, লোহিত শৈবালে e ক্যারোটিন ও ইউগ্লিনোফাইসিতে ইউগ্লিনোরোডন নামক বিশেষ ধরনের ক্যারোটিন থাকে। উদ্ভিদে β ক্যারোটিন সর্বাধিক পরিমাণে পাওয়া যায়।
5. ক্যারোটিন ক্লোরোফর্ম, ডাই-ইথাইল ইথার, কার্বন-ডাই-সালফাইড প্রভৃতি দ্রাবকে দ্রাব্য।
6. ক্যারোটিনের বর্ণবৈচিত্র্যে বিশেষ আকর্ষণীয়। টম্যাটোতে লাল, বিভিন্ন ফুলে হরিদ্রাভ, স্রিম্প (Shrimp) ফুলে গোলাপী, স্কুইডে (Squid) কালচে নীল এবং অ্যাভোক্যাডোতে (Avocado) সবুজ বর্ণের ক্যারোটিন পাওয়া যায় (চিত্র 9.5)।



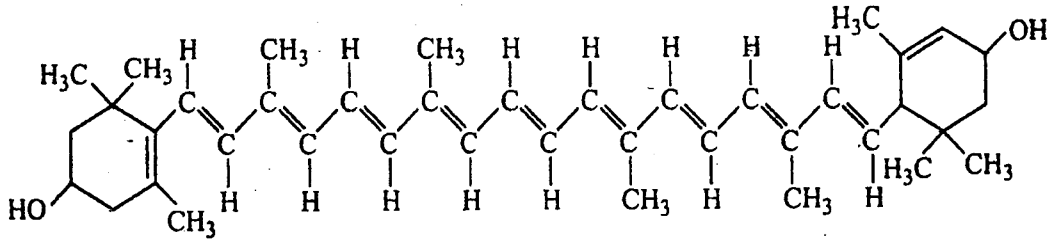
চিত্র 9.5 : কয়েকটি প্রধান ক্যারোটিনের রাসায়নিক গঠন

9.7.2 জ্যান্থোফিল

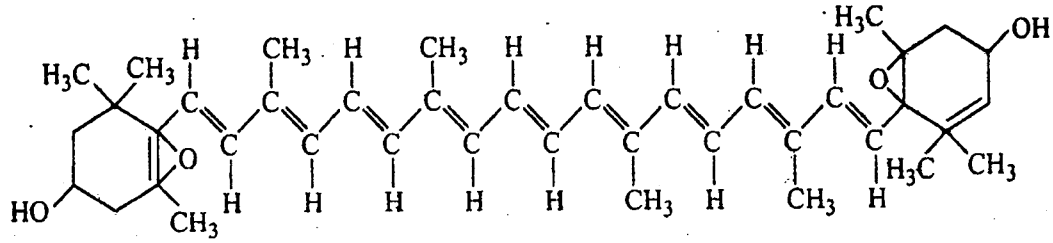
1. জ্যান্থোফিল হল ক্যারোটিনের জারিত অবস্থা। জ্যান্থোফিলের স্থূল সংকেত $C_{40}H_{56}O_2$ তবে জ্যান্থোফিলের বিভিন্ন উপজাত পদার্থগুলিও জ্যান্থোফিলের ন্যায় বর্ণ ও বৈশিষ্ট্য বহন করে—যেমন ফিওফাইসি বা বাদামি শৈবালের প্রধান রঞ্জক ফিউকোজ্যান্থল একটি জারিত ক্যারোটিনল ($C_{40}H_{60}O_6$)।
2. উদ্ভিদে অন্ততপক্ষে কুড়িটি জ্যান্থোফিল পাওয়া গেছে যাদের মধ্যে লিউটিন, জিয়াজ্যান্থিন, ফিউকোজ্যান্থিন, মিক্সোজ্যান্থিন, নিওজ্যান্থিন, ডায়াটোজ্যান্থিন প্রভৃতি অন্যতম। অধিকাংশ জ্যান্থোফিলই বিভিন্ন শ্রেণীর শৈবালে পাওয়া যায়। উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদের প্রধান জ্যান্থোফিল হল লিউটিন (চিত্র 9.6)।



জিয়াজ্যান্থিন



লিউটিন



ভায়োলাজ্যান্থিন

চিত্র 9.6 : কয়েকটি প্রধান জ্যান্থোফিলের রাসায়নিক গঠন

3. সপুষ্পক উদ্ভিদের পাতায় ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিলের অনুপাত 1 : 2।

4. জ্যান্থোফিল হেক্সেন ও ইথানলে সহজেই দ্রবীভূত হয়।

5. বিভিন্ন জ্যান্থোফিল 425–490 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে।

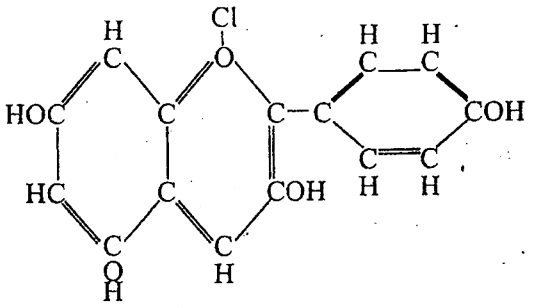
ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল প্লাস্টিডের মধ্যে প্রোটিন অণুর সাথে নন্-কোভ্যালেন্ট (Non-covalent) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। এছাড়া, ফলত্বক, ফুলের পাঁপড়িতে উপস্থিত ক্রোমোপ্লাস্টিডেও ক্যারোটিনয়েড অবস্থান করে।

ক্যারোটিনয়েড রঞ্জককণা নিম্ন শক্তিসম্পন্ন আলো শোষণ করে ক্লোরোফিলকে সরবরাহ করে। এইভাবে ক্যারোটিনয়েড পরোক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষে সহায়তা করে। তাই ক্যারোটিনয়েডকে সালোকসংশ্লেষের সহায়ক রঞ্জক বলে।

ফুলের পাঁপড়ি ক্যারোটিনয়েডের উপস্থিতিতে উজ্জ্বল বর্ণ ধারণ করে যা পতঙ্গকে আকৃষ্ট করে পরাগযোগে সহায়তা করে। ফলত্বকে এই ধরনের রঞ্জক পশু-পাখিদের আকৃষ্ট করে ফল ও বীজের বিস্তারে সহায়তা করে। এছাড়া β-ক্যারোটিন ভিটামিন A সংশ্লেষের মুখ্য উপাদান।

9.8 অ্যান্থোসায়ানিন

অ্যান্থোসায়ানিন একটি জলে দ্রবণীয় গ্লাইকোসাইডিক যৌগ যা কোষগহ্বরের রসে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। অ্যান্থোসায়ানিনের রাসায়নিক প্রকৃতি লক্ষ করলে দেখা যায় যে গ্লুকোজ, র‍্যামনোজ প্রভৃতি মনোস্যাকারাইডের সাথে অ্যান্থোসায়ানিডিন নামক ফ্ল্যাভোন যৌগ যুক্ত হয়ে বিশেষ ধরনের গ্লাইকোসাইডটি গঠিত হয়। এই যৌগটির রাসায়নিক গঠন ও বর্ণ কোষরসের অম্লত্বের (pH) উপর নির্ভরশীল। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় সায়ানিন নামক অ্যান্থোসায়ানিন যৌগটি—আম্লিক pH-এ (pH = 3) লাল, সামান্য ক্ষারীয় মাধ্যমে (pH=8.5) বেগুনী এবং তীব্র ক্ষারীয় মাধ্যমে (pH=11) নীল বর্ণ ধারণ করে। কোষ গহ্বরের pH পরিবর্তিত হলে অ্যান্থোসায়ানিনের বর্ণও পরিবর্তিত হয় তাই অ্যান্থোসায়ানিনকে 'উদ্ভিদজগতের বহুরূপী' (Vegetative chameleon) বলা হয় (চিত্র 9.7)।

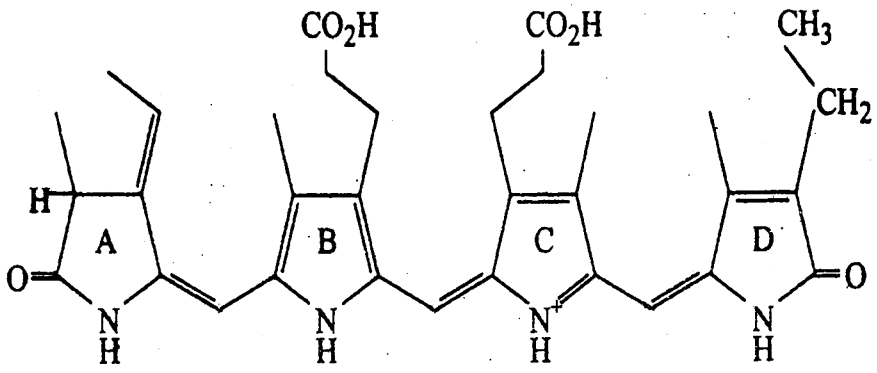


চিত্র 9.7 : সায়ানিডিন ক্লোরাইড—একটি অ্যান্থোসায়ানিন

জবা, গোলাপ প্রভৃতি ফুলের বর্ণবৈচিত্র্যের জন্য বিভিন্ন ধরনের অ্যান্থোসায়ানিন সক্রিয় ভূমিকা গ্রহণ করে। সপুষ্পক উদ্ভিদের ফুল ও ফলত্বকে প্রাপ্ত সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ অ্যান্থোসায়ানিনটি হল সায়ানিডিন-3-রুটিনোসাইড। স্বাভাবিকভাবেই এই রঞ্জক পরাগযোগ এবং ফল ও বীজের বিস্তারে সহায়তা করে।

9.9 ফাইকোবিলিন

নীলাভ সবুজ ও লোহিত শৈবালে যে টেট্রাপাইরোল রঞ্জক সালোকসংশ্লেষের সহায়ককারী যৌগ হিসাবে অবস্থান করে তাকে ফাইকোবিলিন বলে। নীলাভ সবুজ শৈবালের ক্রোমোপ্লাজমে অবস্থিত থাইলাকয়েডে এবং লোহিত শৈবালের ক্রোমাটোফোরে ফাইকোবিলিন থাকে। এই যৌগের প্রধানত দুটি রূপভেদ আছে—নীলাভ ফাইকোসায়ানিন ও লাল ফাইকোএরিথ্রিন। এই যৌগগুলি গ্লোবিন জাতীয় প্রোটিনের সাথে যুক্ত হয়ে ফাইকোবিলিসোম গঠন করে। ফাইকোবিলিন রাসায়নিকভাবে রৈখিক টেট্রাপাইরোল (Linear tetrapyrrole) যৌগ যার গঠন প্রকৃতি অনেকটা পিত্তরঞ্জকের ন্যায় (চিত্র 9.8)। ক্লোরোফিল বা ক্যারোটিনয়েড কোন রঞ্জকই কমলা-লাল এবং সবুজ বর্ণের আলো শোষণ করতে পারে না, কিন্তু ফাইকোসায়ানিন কমলা-লাল বর্ণের (615 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো) এবং ফাইকোএরিথ্রিন কমলা-লাল বর্ণ ছাড়াও সবুজ বর্ণের আলো (550 nm) শোষণ করতে পারে। এই কারণেই নীলাভ সবুজ ও লোহিত শৈবালের আলোক শোষণ ও সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা অনেক বেশি হয়।



চিত্র 9.8 : ফাইকোসায়ানিন—একটি মুক্ত শৃঙ্খল টেট্রাপাইরোল

9.10 সারাংশ

উদ্ভিদের প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক হল সবুজ বর্ণের ক্লোরোফিল। ক্লোরোফিল a কে সার্বজনীন রঞ্জক বলে কারণ নিম্নশ্রেণীর শৈবাল থেকে সপুষ্পক উদ্ভিদ---সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদে এই রঞ্জক উপস্থিত থাকে। রাসায়নিকভাবে ক্লোরোফিল বলয়াকারে সজ্জিত একটি টেট্রাপাইরোল যৌগ যার কেন্দ্রে Mg পরমাণু থাকে এবং চতুর্থ পাইরোল বলয় থেকে একটি ফাইটল পুচ্ছ উৎপন্ন হয়। অ্যামাইনো অম্ল গ্লাইসিনের সাথে সাকসিনাইল CoA যুক্ত হয়ে অতি জটিল আলোক-নির্ভর প্রক্রিয়ায় ক্লোরোফিল উৎপন্ন হয়। ক্লোরোফিল সূর্যালোকের ফোটন কণা শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে শক্তি ব্যয় করে আবার স্থিতাবস্থায় ফিরে আসে। অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন ক্যারোটিনয়েড দুটি শ্রেণীতে বিভক্ত—লালচে কমলা বর্ণের ক্যারোটিন ($C_{40}H_{56}$) ও বাদামি বা হলুদ বর্ণের জ্যান্থোফিল ($C_{40}H_{56}O_2$)। ক্যারোটিনয়েড প্রত্যক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষ করে না—কিন্তু আলো শোষম করে আলোকশক্তি ক্লোরোফিলকে প্রদান করে। এছাড়া ফুল ও ফলত্বকের বর্ণবৈচিত্র্য বিভিন্ন ক্যারোটিনয়েডের উপস্থিতির উপর নির্ভর করে যা পরাগযোগ ও ফল বা বীজের বিস্তারে সহায়তা করে। কোষরসে উপস্থিত জলে দ্রবণীয় অ্যান্থোসায়ানিনের বর্ণ, মাধ্যমের অম্লত্ব বা ক্ষারত্বের সাথে সাথে পরিবর্তিত হয়। ফাইকোবিলিন একটি রৈখিক টেট্রাপাইরোল যৌগ বা নিম্ন শক্তিসম্পন্ন আলোকরশ্মি শোষণ করে ক্লোরোফিলকে প্রদান করে। নীলাভ ফাইকোসায়ানিন ও লাল বর্মের ফাইকোএরিথ্রিন নীলাভ সবুজ শৈবাল এবং লোহিত শৈবালের মুখ্য রঞ্জককণা।

B প্রশ্নাবলী

ক) সংক্ষেপে উত্তর দিন

1. ক্লোরোফিল সংশ্লেষের কোন্ পর্যায়ে O_2 জারকের ভূমিকা গ্রহণ করে?
2. স্থিতিশীল বা নিষ্ক্রিয় অবস্থা থেকে কীভাবে ক্লোরোফিল উত্তেজিত অবস্থায় যায়?
3. S_2 সিঙ্গলেট দশার স্থায়িত্বকাল কত?
4. কোন্ রঞ্জকগুলি টেট্রাটারপিন যৌগ?
5. কোন্ রঞ্জক থেকে ক্যারোটিন উৎপন্ন হয়?
6. প্রোভিটামিন A কাকে বলে?

খ) বাম দিকের স্তম্ভের সাথে ডান দিকের স্তম্ভের সঠিক সংযোগ স্থাপন করুন

বাম স্তম্ভ		ডান স্তম্ভ	
1.	ক্লোরোফিল a সর্বাধিক দ্রবীভূত হয়।	1.	2.5 : 1
2.	লঘু অম্ল দ্রবণে ক্লোরোফিল যে যৌগটি গঠন করে তার নাম	2.	আয়োনোন বলয়
3.	α ক্যারোটিনে দুটি ও γ ক্যারোটিন একটি করে	3.	ইথার
4.	সপুষ্পক উদ্ভিদে ক্যারোটিনে ও জ্যান্থোফিলের অনুপাত	4.	ফিওফাইটিন
5.	উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদের পাতায় ক্লোরোফিল a ও b-এর অনুপাত	5.	অ্যান্থোসায়ানিন
6.	জলে দ্রবণীয় উদ্ভিদ রঞ্জকটির নাম	6.	1 : 2

গ) শূন্যস্থান পূরণ করুন

1. ক্লোরোফিল _____ বর্ণের আলো শোষণ করতে পারে না।
2. ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল a-এর স্থূল সংকেত _____।
3. ক্লোরোফিল b-এর আণবিক ওজন _____ ডালটন।
4. উদ্ভিদে _____ ক্যারোটিন ও _____ নামক জ্যান্থোফিল সর্বাধিক পরিমাণে পাওয়া যায়।
5. _____ রঞ্জককে 'উদ্ভিদ জগতের বহুরূপী' বলে।
6. সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ অ্যান্থোসায়ানিনটির রাসায়নিক নাম _____।

ঘ) সংক্ষেপে উত্তর দিন

1. ক্লোরোফিল সংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি সংক্ষেপে আলোচনা করুন।
2. ক্লোরোফিল a ও b-এর প্রধান প্রভেদগুলি উল্লেখ করুন।

3. ক্যারোটিনের প্রধান বৈশিষ্ট্যগুলি কী কী?

4. কোন্ ধরনের রঞ্জক শুধু শৈবালে পাওয়া যায়? এই রঞ্জককণাগুলির বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করুন।

9.11 উত্তরমালা

A. ক. 1. ক্লোরোফিল a

2. ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল ও অ্যাহ্নোসায়ানিন

3. থাইলাকয়েড সমন্বিত কিন্তু গ্রানাবিহীন রঞ্জককণা বহনকারী অঙ্গাণু

4. আনুমানিক 250টি ক্লোরোফিল নিয়ে গঠিত সালোকসংশ্লেষের একক

5. $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$

6. গ্লাইসিন

খ. 1. টেট্রাপাইরোল, ফাইটল

2. ক্লোরোফাইলিন

3. নীল, লাল

4. 2.5 : 1

5. গ্র্যানিক, সেমিন

গ. 1. লোহিত শৈবালে

2. ইথার

3. চতুর্থ

4. ম্যাগনেসিয়াম

B. ক. 1. ইউরোপরফাইরিনোজেন থেকে প্রোটোপরফাইরিন উৎপাদনের সময়

2. আলোকরশ্মির ফোটন কণা শোষণ করে

3. 10^{-11} সেকেন্ড

4. ক্যারোটিনয়েড

5. লাইকোপিন

6. β-ক্যারোটিন

খ.

বাম স্তম্ভ		ডান স্তম্ভ	
1.		3.	
2.		4.	
3.		2.	
4.		6.	
5.		1.	
6.		5.	

গ. **1.** সবুজ

2. $C_{55}H_{74}O_6N_4Mg$

3. 907

4. β, লিউটিন

5. অ্যান্থোসায়ানিন

6. সায়ানিডিন ক্লোরাইড

ঘ. **1.** 9.5 অনুচ্ছেদ দেখুন

2. 9.2B সারণী দ্রষ্টব্য

3. 9.7.1 অনুচ্ছেদে পাবেন

4. 9.9 দেখুন

একক 10 ❑ সালোকসংশ্লেষ

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

10.2 সালোকসংশ্লেষ সংক্রান্ত প্রাথমিক ধারণা

10.2.1 সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল (Locale)

10.2.2 সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ (Pigments)

10.2.3 সালোকসংশ্লেষে আলোকের ভূমি ও শক্তি সম্পর্ক

10.3 উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি (Mechanism of Photosynthesis)

10.3.1 সালোকসংশ্লেষে দুটি ভিন্ন দশার উপস্থিতি

10.3.2 আলোক দশা

10.3.2.1 হিল বিক্রিয়া ও অক্সিজেন নির্গমন

10.3.2.2 লোহিত চ্যুতি (Red Drop) ও এমারসন প্রভাব (Emerson Effect)

10.3.3 দ্বি-রঞ্জকতন্ত্র (Two Photosystems)

10.3.3.1 প্রথম রঞ্জকতন্ত্র বা PS I

10.3.3.2 দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্র বা PS II

10.3.4 ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ও NADP বিজারণ

10.3.5 ফটোফসফোরাইলেশন

10.3.5.1 অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

10.3.5.2 চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

10.3.5.3 অচক্রাকার ও চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনের পার্থক্য

10.3.6 অন্ধকার দশা, কার্বন অণুর সংবন্ধন ও কেলভিন চক্র বা C_3 চক্র

10.3.7 হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্র

10.3.7.1 C_4 উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য

10.3.7.2 প্রজাতি বিশেষে C_4 উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি

10.3.7.3 C_4 উদ্ভিদের তাৎপর্য

10.3.7.4 C_3 এবং C_4 উদ্ভিদের মধ্যে পার্থক্য

10.3.8 ক্র্যাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক বা CAM

10.3.8.1 CAM উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য

10.3.8.2 CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি (CAM চক্র)

10.3.8.3 CAM-এর তাৎপর্য

10.4 ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ

10.4.1 ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল (Locale)

10.4.2 ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি

10.4.3 ব্যাক্টিরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের তুলনা

10.5 সীমাস্থ প্রভাবক (Limiting Factor)

10.5.1 ব্ল্যাক্ম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্র

10.6 সারাংশ

10.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

10.6 উত্তরমালা

10.1 প্রস্তাবনা

আমরা সকলেই জানি যে সূর্যালোক ছাড়া সবুজ উদ্ভিদ বাঁচে না এবং এর প্রধান কারণ হল সূর্যালোকের উপস্থিতিতেই এই উদ্ভিদেরা তাদের নিজেদের খাদ্য প্রস্তুত করে থাকে। এই খাদ্য তৈরির প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদ ক্লোরোফিলের সাহায্যে সূর্যালোকের ফোটন কণা গ্রহণ করে এবং বায়ু থেকে গৃহীত কার্ব-ডাই-অক্সাইড ও মাটি থেকে শোষিত জল—এই দুই অজৈব (inorganic) যৌগের সহযোগে সবুজ পাতায় সরল শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত করে এবং অক্সিজেন গ্যাস বায়ুমণ্ডলে ছেড়ে দেয়। এরই নাম সালোকসংশ্লেষ। প্রকৃতকপক্ষে সালোকসংশ্লেষ হল আলোক আবদ্ধীকরণের এক বিশেষ ফাঁদ (trap) যেখানে সৌরশক্তি (solar energy), রাসায়নিক শক্তি (chemical energy)-তে রূপান্তরিত হয় এবং তা স্থৈতিক শক্তি (potential energy) রূপে সঞ্চিত থাকে। এই শক্তিই উদ্ভিদ এবং প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে প্রাণীর সকল শক্তির উৎস। জীবনণ্ডলের (biosphere) সকল জীবই কার্বন আত্তীকরণ দ্বারা সৃষ্ট এই খাদ্যের ওপর নির্ভরশীল।

এই এককে প্রথমতঃ আমরা এই বিশেষ পদ্ধতিটি উদ্ভিদের কোথায় এবং কীভাবে ঘটে সে সম্বন্ধে বিস্তারিতভাবে আলোচনা করব। দ্বিতীয়তঃ সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন করতে উদ্ভিদে কী কী রঞ্জকপদার্থ (Pigment) প্রয়োজন হয়, তা জানতে পারব। এছাড়া সূর্য থেকে আগত রশ্মির কতটুকু অংশ খাদ্য প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়, আবার সালোকসংশ্লেষের কতটা অংশ আলোকের অনুপস্থিতিতে ঘটে, সে বিষয়েও আমরা আলোকপাত করব। সর্বোপরি কার্বন অণুর সংবন্ধনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলো নিয়েও আমরা বিশদভাবে আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- সালোকসংশ্লেষ কীভাবে ঘটে এবং সৌরশক্তি কীভাবে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তা বিস্তারিতভাবে জানতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষে প্রয়োজনীয় বিভিন্ন রঞ্জকের গঠন ও তাদের কার্যকারিতা বলতে পারবেন।
- আলোকের উপস্থিতি এবং অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষের কোন্ কোন্ পর্যায়গুলি সমাধা হয় তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদে যে বিশেষ পদ্ধতিগুলির মাধ্যমে কার্বন অণু সংবন্ধন হয় তা নির্ধারণ করতে পারবেন।
- C_3, C_4 এবং CAM উদ্ভিদ কাদের বলে, তা উদাহরণসহ বুঝিয়ে দিতে পারবেন।
- ব্যাকটিরিয়ায় কীভাবে সালোকসংশ্লেষ ঘটে, তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষের সীমাস্থ প্রভাবক বলতে কী বোঝায় সে সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।

10.2 সালোকসংশ্লেষ সংক্রান্ত প্রাথমিক ধারণা

সালোকসংশ্লেষ সংক্রান্ত যা আবিষ্কার নথিভুক্ত (recorded) আছে তা থেকে জানা যায় যে সপ্তদশ শতাব্দীতে ভ্যান হেলমন্ট্ (Van Helmont, 1577–1644) পরীক্ষার মাধ্যমে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে উদ্ভিদেরা মাটি থেকে সরাসরি খাদ্য গ্রহণ করে না। 1727 খ্রিস্টাব্দে স্টিফেন হেল্স (Stephen Hales) দেখান যে উদ্ভিদ আলোকের সহায়তায় বায়ুমণ্ডল থেকে তার খাদ্য গ্রহণ করে। জোসেফ প্রিস্টলে (Joseph Priestley) 1772 খ্রিস্টাব্দে পরীক্ষাগারে প্রমাণ করে দেখান যে, সবুজ উদ্ভিদের মাধ্যমে বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন ফিরে আসে। ইঞ্জেনহাউস (Ingenhousz), 1779 খ্রিস্টাব্দে নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন যে দিবালোকে সবুজ উদ্ভিদ এই অক্সিজেন উৎপাদন করে, যদিও এই প্রক্রিয়ায় কার্বন-ডাই-অক্সাইড যে বায়ুমণ্ডল থেকে গৃহীত হয় তা তাঁদের

অজানা ছিল। এরপর অষ্টাদশ ও ঊনবিংশ শতাব্দী জুড়ে পৃথিবীর বিভিন্ন প্রান্তে উদ্ভিদবিজ্ঞানীরা সালোকসংশ্লেষ সংক্রান্ত বিভিন্ন পরীক্ষামূলক কাজকর্ম করলেও বিংশ শতাব্দীর মধ্যভাগের আগে সালোকসংশ্লেষের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি সবিস্তারে ব্যাখ্যা করতে তাঁরা সমর্থ হননি।

বিংশ শতাব্দীতে যেসব বিজ্ঞানীরা সালোকসংশ্লেষের ওপর চাঞ্চল্যকর কাজকর্ম করেছেন তাঁদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য হলেন ব্ল্যাক্‌ম্যান (Blackman), যিনি 1905 খ্রিস্টাব্দে প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষ, আলোক দশা এবং অন্ধকার দশা—এই দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। রবিন হিল (Robin Hill) 1937 খ্রিস্টাব্দে সবুজ পাতা থেকে ক্লোরোপ্লাস্ট আলাদা করে প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল। বিজ্ঞানী রুবেন ও কামেন (Ruben and Kamen) হিলের এই পর্যবেক্ষণ সমর্থন করেন এবং তেজস্ক্রিয় অক্সিজেন ^{18}O-র সাহায্যে এটি সর্বসমক্ষে প্রমাণ করেন ও 1941 খ্রিস্টাব্দে সালোকসংশ্লেষের সঠিক সমীকরমটি এভাবে উপস্থাপনা করেন—

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{সূর্যালোক}} \underset{\text{(শর্করা)}}{C_6H_{12}O_6} + 6H_2O + 6O_2$$

এরপর 1950 থেকে 1956 খ্রিস্টাব্দ পর্যন্ত কেলভিন (Calvin) ও তাঁর সহকর্মীরা ^{14}C তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের সাহায্যে সালোকসংশ্লেষের রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলির প্রাথমিক ধারণা দেন।

10.2.1 সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল (Locale)

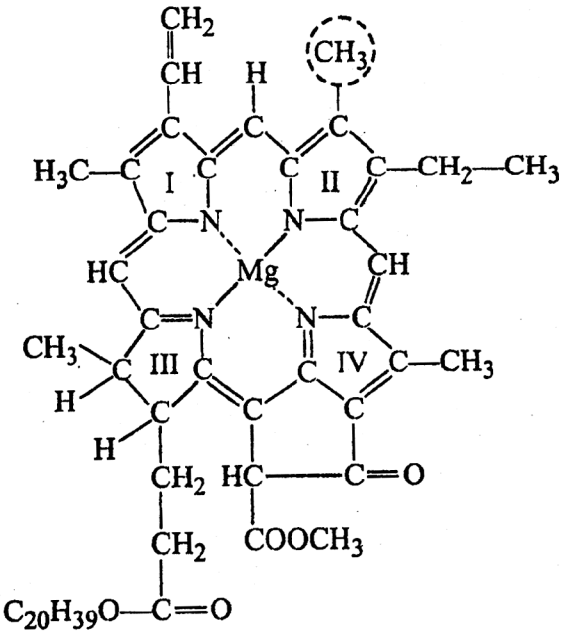
সাধারণত উন্নতশ্রেণীর সব উদ্ভিদ এবং নিম্নশ্রেণীর শৈবাল, ডায়াট্‌ম ও কয়েকপ্রকার ব্যাকটিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ সংঘটিত হয়। এদের মধ্যে সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়াকেই পৃথিবীর সর্বপ্রথম সালোকসংশ্লেষকারী জীব বলে গণ্য করা হয়। সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়া (photosynthetic bacteria) ও নীলাভ-সবুজ শৈবাল (blue-green algae)-এর ক্ষেত্রে সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল হল কোষমধ্যস্থ কতকগুলি ল্যামেলাযুক্ত পর্দা, যাকে ক্রোমাটোফোর (chromatophore) বলা হয়। উন্নত উদ্ভিদে প্লাসটিড নামক এক বিশেষ কোষ-অঙ্গাণুতে সালোকসংশ্লেষ সম্পন্ন হয়। সবুজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্লাসটিডে ক্লোরোফিল থাকায় এটিকে ক্লোরোপ্লাস্‌টিড বা সংক্ষেপে ক্লোরোপ্লাস্ট (chloroplast) বলে। ক্লোরোপ্লাস্টের ভেতরের ধাত্রকে (matrix), স্ট্রোমা (stroma) এবং স্ট্রোমার মধ্যে নিহিত অসংখ্য চাকতির মতো অংশকে গ্রাণা (grana) বলে। দেখা গেছে সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় জলের আলোক বিশ্লেষণ (photolysis of water) এবং ইলেকট্রন স্থানান্তরণ (electron transport) ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে এবং অন্ধকার দশায় কার্বন অণুর সংবন্ধন (fixation) এবং শর্করা (carbohydrate) প্রস্তুতি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে সংঘটিত হয়।

10.2.2 সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জকপদার্থ (Pigments)

উদ্ভিদকোষে যে-সব যৌগ আলোক শোষণ করতে পারে, তাদের রঞ্জকপদার্থ বলা হয় সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদকোষে ক্লোরোপ্লাস্ট বা ক্রোমাটোফোরে সঞ্চিত রঞ্জকপদার্থই আলোক শোষণ করে এবং সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণকারী বিভিন্ন রঞ্জকপদার্থগুলো হল—

A. ক্লোরোফিল (Chlorophyll) : এটি ক্লোরোপ্লাস্টে সঞ্চিত প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জকপদার্থ। উন্নত উদ্ভিদকোষে ক্লোরোফিল -a, -b, -c, -d, -e ছাড়াও ব্যাকটিরিয়া কোষে ব্যাকটিরিওক্লোরোফিল (bacteriochlorophyll) ও ক্লোরোবিয়াম্ ক্লোরোফিল (chlorobium chlorophyll) দেখা যায়।

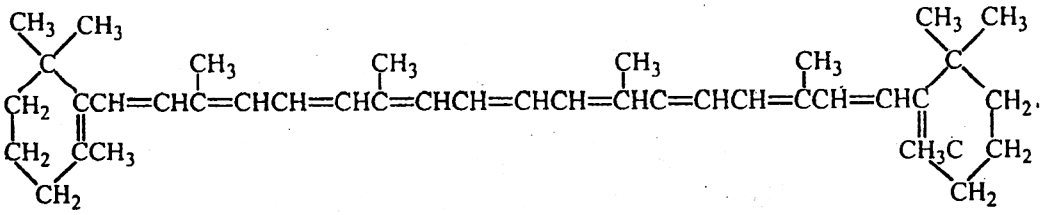
এই বিভিন্ন প্রকার ক্লোরোফিলের মৌলিক গঠন একই রকমের এবং এটি একটি পর্‌ফাইরিন্ (prophyrin) যৌগ। যৌগটি চারটি পাইরোল (pyrrole) বলয় দিয়ে তৈরি। ক্লোরোফিল অণুর কেন্দ্রে অবস্থিত ম্যাগ্‌নেসিয়াম (Mg) ধাতুটি চারটি পাইরোল বলয়ের সঙ্গে দুটি সহযোজ্য (covalent) ও দুটি সহযোজিত (coordinate) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। এই চারটি পাইরোল বলয় ছাড়াও একটি সমচক্রাকার (isocyclic) বলয় থাকে। ক্লোরোফিল অণুর চতুর্থ বলয়ের সঙ্গে একটি লেজের মত ফাইট্‌ল (phytol) অংশ যুক্ত থাকে। চিত্র নং 10.2.2.1 তে ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক গঠন দেখান হল।



চিত্র নং 10.2.2.1 : একটি ক্লোরোফিল-a অণুর গঠন (I-IV চারটি পাইরোল বলয় নির্দেশ করছে) ক্লোরোফিল-b অণুর গঠন এরই মতন, তবে CH_3 চিহ্নিত বৃত্তাকার স্থানে CHO থাকে।

B. ক্যারোটিনয়েডস্ (Carotenoids) : ক্লোরোপ্লাস্টে সবুজ ক্লোরোফিলের সঙ্গে মিশে লাল, কমলা, হলুদ, বাদামি জাতীয় নানা রঙের যেসব রঞ্জকপদার্থ একসাথে থাকে তাদেরকে ক্যারোটিনয়েডস্ বলা হয়। ক্যারোটিনয়েডস্ মুখ্যত কমলা রঙের ক্যারোটিন (carotene) এবং হলুদ রঙের জ্যান্থোফিল (xanthophyll)-এর মিশ্রণে তৈরি। ক্যারোটিনয়েডস্-এর অণুগুলি জলে অদ্রবণীয় এবং ইথার, বেঞ্জিন ও অ্যালকোহলে দ্রবণীয়।

ক্যারোটিনয়েড অণু 40টি কার্বন সমন্বিত একপ্রকার হাইড্রোকার্বন এবং এর রাসায়নিক সংকেত $C_{40}H_{56}$। বিভিন্ন প্রকার ক্যারোটিনের মধ্যে আলফা (α) এবং বিটা (β) ক্যারোটিন উল্লেখযোগ্য। ক্যারোটিন অণুর বলয়াকার অংশগুলিকে আয়নন বলয় (ionone ring) বলে এবং এই আয়নন বলয়ে দুটি অক্সিজেন যুক্ত হয়ে জ্যান্থোফিল (zanthophyll) অণু গঠন করে যার রাসায়নিক সংকেত $C_{48}H_{56}O_2$ (চিত্র নং 10.2.2.2 দেখুন)। বিভিন্ন প্রকার জ্যান্থোফিলের মধ্যে লিউটিন (leutein), জিয়াজ্যান্থিন (zeaxanthin) এবং ফিউকোজ্যান্থিন (fucoxanthin) উল্লেখযোগ্য।

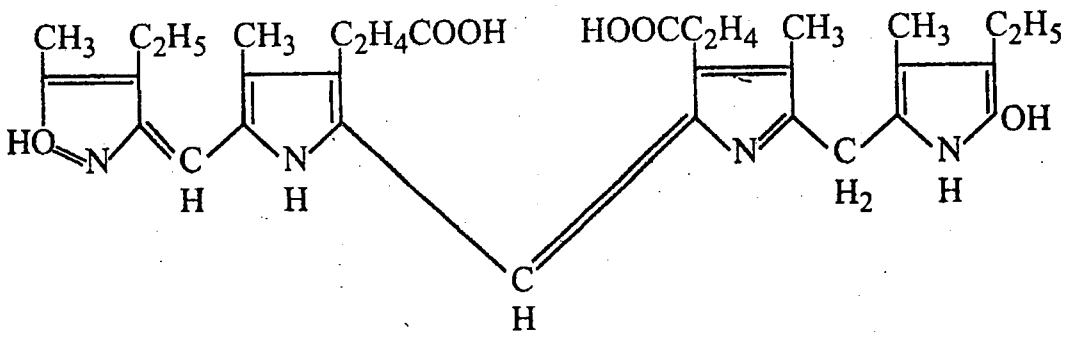


চিত্র নং 10.2.2.2 : একটি β-ক্যারোটিন অণুর গঠন।

সালোকসংশ্লেষে ক্যারোটিনয়েডের ভূমিকা বিশেষভাবে স্বীকৃত। আলোক শোষণ করবার পর ক্যারোটিনয়েড তাদের উত্তেজিত শক্তি (excited energy) ক্লোরোফিল-a অণুতে স্থানান্তরিত করে থাকে। এছাড়াও ক্যারোটিনয়েড আলোক ও অক্সিজেনের উপস্থিতিতে ক্লোরোফিলকে আলোক-জারণ (photo-oxidation)-এর হাত থেকে রক্ষা করে।

C. ফাইকোবিলিনস্ (Phycobilins) : এই বিশেষ রঞ্জকপদার্থটি নীলাভ-সবুজ ও লাল শৈবালে উপস্থিত থাকে। লাল ফাইকোএরিথ্রিন (phycoerythrin) এবং নীল ফাইকোসায়ানিন (phycocyanin) রঞ্জকপদার্থকে একসাথে ফাইকোবিলিন বলে। এটা উদ্ভিদ কোষে প্রোটিনের সাথে যুক্ত হয়ে রঞ্জক-প্রোটিন যৌগ (pigment-protein complex) তৈরি করে।

ক্লোরোফিলের মতো ফাইকোবিলিনও চারটি পাইরোল বলয় দিয়ে প্রস্তুত হলেও এক্ষেত্রে বলয়গুলি বদ্ধ (close) না থেকে মুক্ত (open) অবস্থায় থাকে। ফাইকোএরিথ্রিন ও ফাইকোসায়ানিনের রাসায়নিক সংকেত যথাক্রমে $C_{34}H_{46}O_8N_4$ এবং $C_{34}H_{44}O_8N_4$ (চিত্র নং 10.2.2.3 দেখুন)।



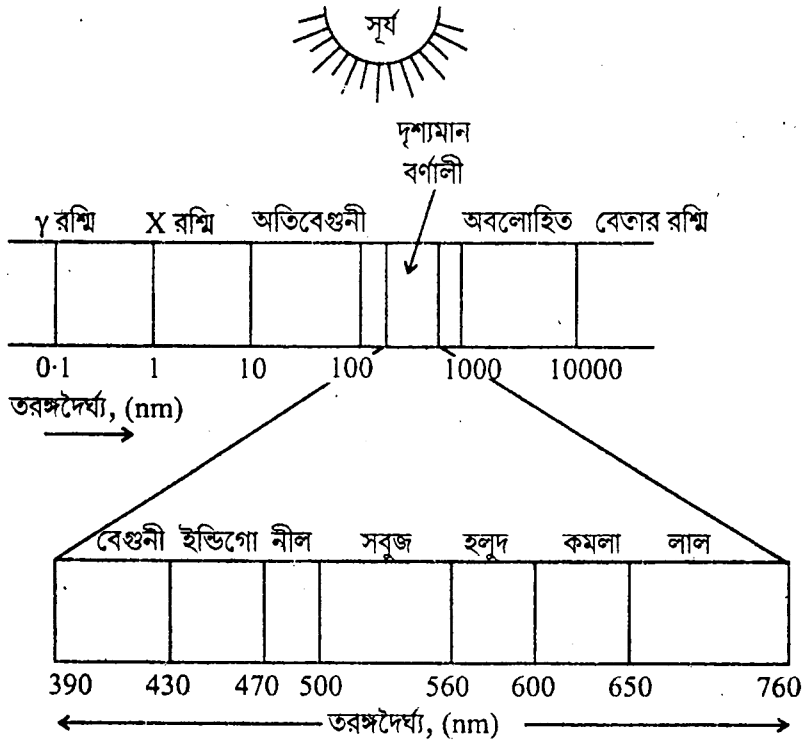
চিত্র নং 10.2.2.3 : একটি ফাইকোসায়ানিন অণুর গঠন।

ফাইকোবিলিন জলে দ্রবণীয় রঞ্জকপদার্থ এবং এটি দৃশ্যমান আলোকের সবুজ অংশ শোষণ করে বলে শোষিত আলোক সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় সরাসরি ব্যবহৃত হয় না। ক্লোরোফিল -b, -c, -d, -e এবং ক্যারটিনয়েড ও ফাইকোবিলিন প্রভৃতি রঞ্জকপদার্থগুলি দ্বারা শোষিত আলোক সরাসরি সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত না হওয়ায় এদের শোষিত আলোকশক্তি ক্লোরোফিল -a অণুতে স্থানান্তরিত হয়। এই কারণে এই রঞ্জকপদার্থগুলিকে সহায়ক রঞ্জকপদার্থ (accessory pigments) বলা হয়।

10.2.3 সালোকসংশ্লেষে আলোকের ভূমিকা ও শক্তি সম্পর্ক

আলোক বলতে আমরা বুঝি, সূর্য থেকে বিচ্ছুরিত বর্ণালীর (spectrum) একটি অংশ যা আমাদের চোখের অনুভূতিতে ধরা পড়ে। এই আলোক মহাশূন্যে (space) তরঙ্গ বা ঢেউ (wave)-এর মতন প্রবাহিত হয় এবং এরূপ দুটি তরঙ্গের দুই চূড়ার মধ্যেকার দূরত্বকে তরঙ্গদৈর্ঘ্য (wavelength) বলা হয়। আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.01 ন্যানোমিটার (nanometer বা nm) থেকে 10,000 ন্যানোমিটার (বা nm) পর্যন্ত হতে পারে এবং এই তড়িৎচুম্বকীয় (electromagnetic) বর্ণালীর (spectrum) অন্তর্গত গামা রশ্মি (gamma rays), এক্স-রশ্মি (X-rays), অতিবেগুনী রশ্মি (ultraviolet বা UV rays), দৃশ্যমান বর্ণালী (visible spectrum), অবলোহিত রশ্মি (infrared rays বা IR rays) এবং বেতার রশ্মি (radio wave) প্রভৃতি প্রত্যেকের নিজস্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্য আছে। এর মধ্যে দৃশ্যমান বর্ণালী বা খালি চোখে ধরা যায় এমন আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণভাবে 400

nm থেকে 700 nm পর্যন্ত হয়ে থাকে। আবার এই দৃশ্যমান বর্ণালীরও সামান্য একটা অংশ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষের সময় ব্যবহার করে (চিত্র নং 10.2.3.1 nm দেখুন)।

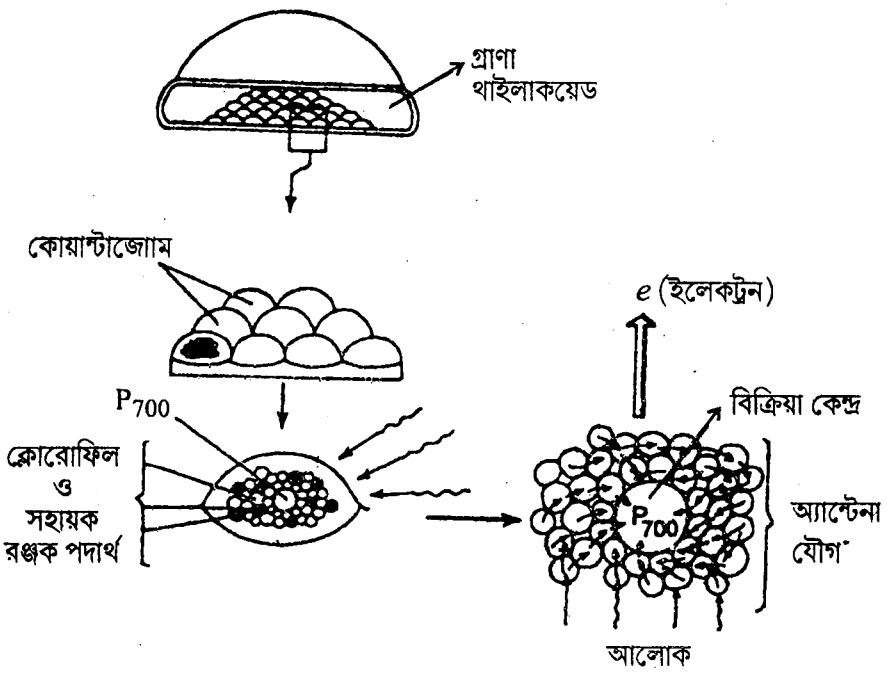


চিত্র নং 10.2.3.1 : সূর্য থেকে বিচ্ছুরিত আলোক-বর্ণালী

দেখা গেছে যে এই আলোক একাধারে তরঙ্গ (continuous wave) এবং অপরদিকে কণা (discrete particles)—এই দুই ধর্মই প্রদর্শন করে। মহাশূন্যের মধ্য দিয়ে প্রেরিত হবার সময় বা কোন বস্তু (object) দিয়ে প্রতিফলিত (reflected) হলে বা কোন কাঁচ (lens) কর্তৃক প্রতিসারিত (refracted) হবার সময় আলোক তার তরঙ্গধর্ম প্রদর্শন করে। অপরদিকে আলোক বিচ্ছুরিত (emitted) অথবা শোষিত (absorbed) হবার সময় আলোক তার কণা (particle) ধর্ম প্রকাশ করে থাকে। এক্ষেত্রে আলোককে কতগুলি শক্তিশালী আলোক কণা বা 'ফোটন' (photon)-এর সমষ্টিরূপে চিহ্নিত করা হয়। প্রতিটি ফোটনে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত থাকে, তাকে কোয়ান্টাম (quantum) বলা হয়। দেখা গেছে যে প্রতিটি ফোটন কণায় প্রায় 43 কিলো ক্যালরি (kcal) শক্তি নিবদ্ধ থাকে।

পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে যে প্রতি অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে জলের উপস্থিতিতে বিজারিত হয়ে কার্বোহাইড্রেট প্রস্তুতিতে 8 থেকে 10টি ফোটন কণার প্রয়োজন হয় এবং ফোটনের এই সংখ্যাকে সালোকসংশ্লেষের

প্রয়োজনীয় কোয়ান্টাম্ (quantum requirement) বলা হয়। আমরা একথা জানি যে প্রতিটি ক্লোরোফিল অণু ফোটন কণা শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং এই উত্তেজিত অবস্থা 0.01 সেকেন্ডের বেশি স্থায়ী হয় না। কাজেই ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক পড়া মাত্র ক্লোরোফিল ও সহায়ক রঞ্জকপদার্থগুলি আলোকের ফোটন কণা শোষণ করে এবং অবিলম্বে সেই শোষিত আলোক সালোকসংশ্লেষের বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre) স্থানান্তরিত করে। প্রতিটি বিক্রিয়াকেন্দ্রে প্রায় 300টি ক্লোরোফিল অণু, কিছু সহায়ক (accessory) রঞ্জক অণু এবং কুইনোন, লিপিড ইত্যাদি থাকে। শতাধিক রঞ্জক অণুর সমন্বয়ে গঠিত এই এক একটা বিক্রিয়াকেন্দ্রকে সালোকসংশ্লেষকারী একক (photosynthetic unit) বলা হয়। কাজেই সালোকসংশ্লেষীয় একক বলতে আমরা বুঝি কয়েক শত রঞ্জক অণু সমন্বিত এমন একটি একক (unit) যা আলোকের কোয়ান্টাম্ শোষণ করবার পর সেটাকে সালোকসংশ্লেষের বিক্রিয়াকেন্দ্রে স্থানান্তরিত করে এবং সেখান (একটি বিশেষ ক্লোরোফিল-a অণু) থেকে একটা ইলেকট্রনকে ত্যাগ করতে উদ্দীপিত করে। এই এককটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা স্তরের ওপর ছোট ছোট কণা (particle)-এর মতো সাজানো তাকে। পার্ক (Park) 1964 খ্রিস্টাব্দে গ্রাণা স্তরের ওপরে 300টি ক্লোরোফিল অণু দ্বারা গঠিত স্ফীত অংশটি লক্ষ করেন। এই স্ফীত অংশগুলিকে তিনি কোয়ান্টাজোম্ (quantasome) নামকরণ করেন এবং তাঁর মতে এই এক একটি কোয়ান্টাজোমে এক একটি সালোকসংশ্লেষীয় একক নিহিত থাকে (চিত্র নং 10.2.3.2 দেখুন)।



চিত্র নং 10.2.3.2 : একটি গ্রাণা থাইলাকয়েডের মধ্যে সালোকসংশ্লেষীয় একক (কোয়ান্টাজোম)-এর অবস্থান এবং শোষিত আলোকশক্তির বিক্রিয়াকেন্দ্রে স্থানান্তরণ এবং উত্তেজিত P_{700} ক্লোরোফিল অণু কর্তৃক ইলেকট্রন নির্গমন (আলোক-রাসায়নিক বিক্রিয়া)

10.3 উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি (Mechanism of Photosynthesis

বিংশ শতাব্দীর প্রথমার্ধ পর্যন্ত সালোকসংশ্লেষের জটিল পদ্ধতির সঠিক ব্যাখ্যা বিজ্ঞানীদের কাছে পুরোপুরি জানা ছিল না। যেহেতু সালোকসংশ্লেষে স্টার্চ (starch) ও সুক্রোজ (sucrose) প্রস্তুত হয় এবং অক্সিজেন নির্গত হয়, তাই সালোকসংশ্লেষকে শ্বসনের (respiration) বিপরীত প্রক্রিয়ারূপে চিহ্নিত করা হত এবং এটিকে নিম্নলিখিত সমীকরণ (reaction) দ্বারা প্রকাশ করা হত—

$$6CO_2 + 12H_2O \xrightarrow[\text{ক্লোরোফিল}]{\text{সূর্যালোক}} \underset{\text{(গ্লুকোজ)}}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2$$

এসময় বিজ্ঞানীদের একটা ধারণা ছিল যে সালোকসংশ্লেষে নির্গত অক্সিজেনের উৎস কার্বন-ডাই-অক্সাইড। রবিন হিল (Robin Hill) 1940 খ্রিস্টাব্দে অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক ও হাইড্রোজেন গ্রহীতার উপস্থিতিতে জল বিয়োজিত হয়ে যে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় তা পরীক্ষা করে দেখান এবং এর থেকে প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড নয়। বিজ্ঞানী রুবেন, র‍্যানডল ও ক্যামেন (Ruben, Randall and Kamen) 1941 খ্রিস্টাব্দে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপের দ্বারা হিলের এই পর্যবেক্ষণকে আরও স্পষ্টভাবে প্রমাণ করেন। ফলে সালোকসংশ্লেষের সামগ্রিক প্রক্রিয়াটির (overall reaction) সমীকরণটি এভাবে প্রকাশ করা হল—

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

কাজেই দেখা যাচ্ছে যে বিশেষ পদ্ধতিতে সবুজ উদ্ভিদ সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুতির মাধ্যমে তা স্থৈতিক শক্তিরূপে সঞ্চিত করছে তা একটি অত্যন্ত জটিল (complex) প্রক্রিয়া।

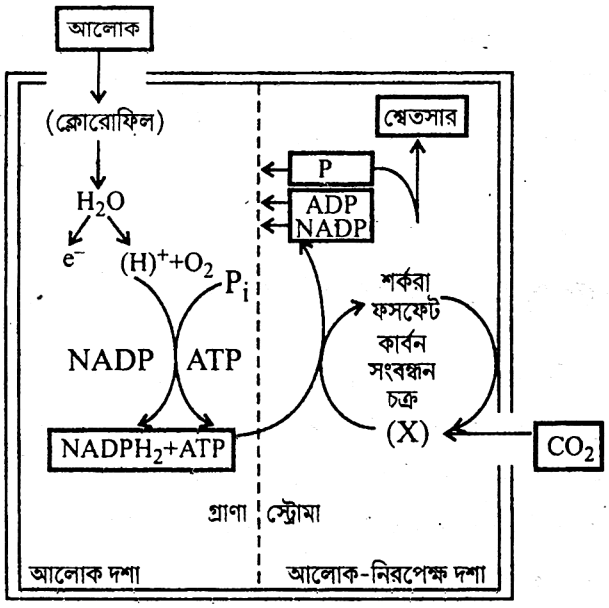
নানাবিধ তেজস্ক্রিয় (radioactive) আইসোটোপের (isotope) সাহায্যে এটা নিশ্চিতভাবে প্রমাণিত হয়েছে যে সালোকসংশ্লেষ একটি জারণ-বিজারণ (oxidation-reduction) প্রক্রিয়া এবং এই প্রক্রিয়ায় জল (H_2O) জারিত (oxidised) হয়ে অক্সিজেন মুক্ত হয় এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2) বিজারিত (reduced) হয়ে শর্করা (carbohydrate) প্রস্তুত করে। দেখা গেছে যে, কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিজারিত হয়ে শর্করা প্রস্তুত হতে

যে আত্তীকরণীয় শক্তি (assimilatory power) অর্থাৎ ATP (অ্যাডিনোসিন-ট্রাই-ফসফেট) ও NADPH (বিজারিত নিকোটিনামাইড-অ্যাডেনাইন-ডাই-নিউক্লিওটাইড-ফসফেট)-এর প্রয়োজন হয়, তা প্রথমে ক্লোরোপ্লাস্টে তৈরি হয় এবং এই শক্তি পরবর্তী পর্যায়ে কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে বিজারিত করে ও শর্করা প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

10.3.1 সালোকসংশ্লেষে দুটি ভিন্ন দশার উপস্থিতি

সালোকসংশ্লেষে একটি জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়া এবং এতে জল জারিত (oxidised) ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিজারিত (reduced) হলেও এই সামগ্রিক বিক্রিয়াটির কোন্ অংশ আলোকের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তা নিয়ে বিজ্ঞানীরা চিন্তাভাবনা শুরু করেন। ব্ল্যাক্‌ম্যান (Blackman) 1905 খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি আলোক ও অন্ধকার—এই দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। প্রথমে আলোক বিক্রিয়াটি (light reaction) ঘটে এবং এই বিক্রিয়ায় আলোক অপরিহার্য (essential) এবং এরপরে অন্ধকার বিক্রিয়াটি (dark reaction) ঘটে, যাতে আলোকের কোন প্রয়োজন হয় না।

1920 খ্রিস্টাব্দে ভারবার্গ (Warburg) দেখেন যে *ক্লোরেল্লা ভাল্‌গারিস* (*Chlorella vulgaris*) এবং *স্কেন্‌ডেস্‌মাস অব্‌লিকাস* (*Scendesmus obliquus*)-এ $\frac{1}{16}$ সেকেন্ড অন্তর অন্তর ক্রমাগত আলোক বিচ্ছুরণ (emit) করলে প্রতি সেকেন্ডে সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধি পায় এবং শুধু আলোক বা শুধুই অন্ধকারে রাখার চেয়ে এই বৃদ্ধি উল্লেখযোগ্যভাবে বেশি হয়। এর থেকে তিনি এই সিদ্ধান্তে আসেন যে সালোকসংশ্লেষের এই পর্যায় আলোক-সাপেক্ষ হলেও একটি পর্যায় আলোক-নিরপেক্ষ। এরপর 1932 খ্রিস্টাব্দে আর্‌নল্ড (Arnold) সালোকসংশ্লেষে দুটি ভিন্ন দশার অস্তিত্ব নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন। তেজস্ক্রিয় কার্বন আইসোটোপ (^{14}C)-এর সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে যে সালোকসংশ্লেষের আলোক বিক্রিয়ায় বিজারিত $NADP^+$ এবং ATP প্রস্তুত হয়। এরপর অন্ধকার পর্যায়ে এই ATP ও NADPH-কে ব্যবহার করে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের বিজারণ ঘটে এবং এটি সম্পূর্ণ রাসায়নিক বিক্রিয়া যা একাধিক উৎসেচকের মাধ্যমে সংঘটিত হয় এবং এই বিক্রিয়া আলোকের সঙ্গে সম্পর্কহীন। এই কারণে অন্ধকার বিক্রিয়াকে আলোক-নিরপেক্ষ পর্যায় (light-independent phase) বলা বেশি যুক্তিযুক্ত। দেখা গেছে যে আলোক বিক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে আলোকের দ্বারা এবং আলোক-নিরপেক্ষ বিক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে উৎসেচকের দ্বারা সংঘটিত হয়। (চিত্র নং 10.3.1 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.1 : একটি ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক দশা এবং আলোক-নিরপেক্ষ দশার পারস্পরিক সম্বন্ধ

তবে সাম্প্রতিককালে প্রমাণ করা হয়েছে যে আলোর উপস্থিতিতে অন্ধকার দশায় অংশগ্রহণকারী কয়েকটি উৎসেচকের বিক্রিয়ার হার উল্লেখযোগ্যভাবে বৃদ্ধি পায়।

10.3.2 আলোক দশা (Light Phase)

সালোকসংশ্লেষের আলোক দশাটি অত্যন্ত জটিল ও গুরুত্বপূর্ণ এবং এটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে সম্পন্ন হয়। এই দশার মূল উৎপাদকগুলি (products) হল অক্সিজেন এবং NADPH ও ATP যা আত্তীকরণ শক্তি (assimilatory power) হিসাবে কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিজারণে ব্যবহৃত হয়।

আলোক দশার শুরুতে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে ক্লোরোফিল ও সহকারী রঞ্জক অণুগুলি আলোকের ফোটন কণা শোষণ করে এবং এই শোষিত আলোকশক্তি বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre) অবস্থিত একটি বিশেষ ক্লোরোফিল অণুতে স্থানান্তরিত করে। এর ফলে ঐ বিশেষ ক্লোরোফিল অণুটি উত্তেজিত হয় (এই উত্তেজনা খুবই ক্ষণস্থায়ী এবং তৎক্ষণাৎ সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত না হলে বিকিরণের ফলে এটি বিনষ্ট হয়ে যায়। এই উত্তেজিত ক্লোরোফিল থেকে যে ইলেকট্রন নির্গত হয় তা জারণ-বিজারণ বৈভব (redox potential)-এর ফলে সৃষ্ট একাধিক দাতা (donor) ও গ্রহীতা (receiver) কর্তৃক স্থানান্তরিত হতে থাকে ও পরিশেষে $NADP^+$ অণুকে বিজারিত করে NADPH প্রস্তুত করে। এভাবে ইলেকট্রন নির্গত হবার ফলে বিশেষ ক্লোরোফিল

অণুটিতে যে ইলেকট্রন শূন্যতার সৃষ্টি হয় তা জলের আলোক বিয়োজন (phocatalysed splitting of water)-এর ফলে উদ্ভূত ইলেকট্রন দ্বারা পূরণ হয়। এই স্থায়ী (stable) ক্লোরোফিল অণুটি এরপরে আবার নতুন করে আলোক শোষণ করার শক্তি অর্জন করে। আলোকের উপস্থিতিতে জলের এই বিশ্লেষণকে ফোটোলিসিস (photolysis) বলে এবং এই পদ্ধতির মাধ্যমে উদ্ভূত অক্সিজেন পরিমণ্ডলে মিশে যায়। এছাড়াও আলোক দশায় ইলেকট্রন প্রবাহিত হবার সময় উদ্ভূত শক্তির সাহায্যে ADP-র সঙ্গে অজৈব ফসফরাসের (Pi) সংযোজন ঘটে এবং ATP প্রস্তুত হয়। আলোকের উপস্থিতিতে এই ATP প্রস্তুত হবার পদ্ধতিতে ফটোফসফোরাইলেশন (photophosphorylation) বলা হয়। আলোক দশার এই সামগ্রিক ঘটনাগুলি পর্যায়ক্রমে ব্যাখ্যা করা হল।

10.3.2.1 হিল বিক্রিয়া (Hill Reaction) ও অক্সিজেন নির্গমন

1940 খ্রিস্টাব্দে রবিন হিল (Robin Hill) অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে সূর্যালোক ও ইলেকট্রন গ্রহীতার (যেমন পটাসিয়াম ফেরিস্যায়ানাইড) উপস্থিতিতে জলকে বিয়োজিত করে অক্সিজেন উৎপাদনে সক্ষম হন এবং এর থেকে তিনি সর্বসমক্ষে প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষের ফলে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড নয়। বিক্রিয়ার শেষে ফেরিসায়ানাইড বিজারিত হয়ে ফেরোসায়ানাইড উৎপন্ন করে।

$$2H_2O + 4Fe^{3+} \xrightarrow[\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}]{\text{সূর্যালোক}} O_2 + 4Fe^{2+} + 4H^+$$

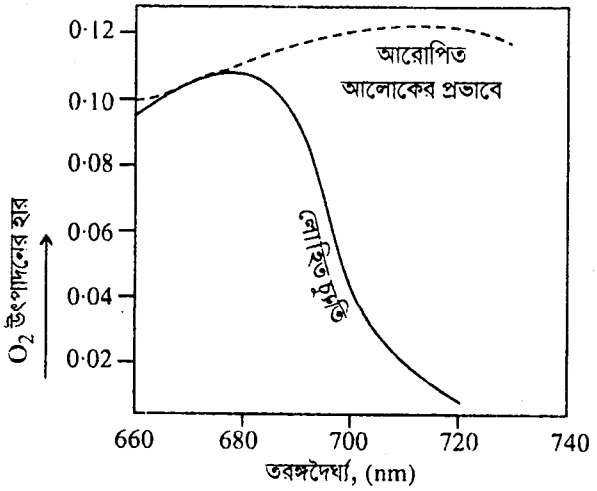
উপরের এই বিক্রিয়াটি বিজ্ঞানী হিলের নামানুসারে হিল বিক্রিয়া (Hill reaction) নামে পরিচিত।

বিজ্ঞানী হিলের এই আবিষ্কার সালোকসংশ্লেষে একটি তাৎপর্যপূর্ণ পদক্ষেপরূপে চিহ্নিত করা হয়। এর প্রধান কারণগুলি হল—

1. হিল বিক্রিয়া নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করে যে সালোকসংশ্লেষে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল।
2. সালোকসংশ্লেষে অক্সিজেন নির্গমন যে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের উপস্থিতি ছাড়া ঘটে তা জানা যায় এবং অক্সিজেন নির্গমন ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিজারণ যে দুটি সম্পূর্ণ ভিন্ন প্রক্রিয়া তা পরিষ্কারভাবে বোঝা যায়।
3. সালোকসংশ্লেষে ক্লোরোপ্লাস্টের ভূমিকা কতটা গুরুত্বপূর্ণ তা হিল বিক্রিয়ার মাধ্যমে প্রথম জানা যায়।
4. সালোকসংশ্লেষের প্রাথমিক বিক্রিয়াটি যে আলোকের উপস্থিতিতে ঘটে তা ধারণা করা যায় এবং আলোকের উপস্থিতিতে ফেরিক (Fe^{3+}) থেকে ফেরাস (Fe^{2+}) আয়নের বিজারণের মাধ্যমেই যে আলোকশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় তা অনুমান করা যায়।

10.3.2.2 লোহিত চ্যুতি (Red Drop) ও এমারসন প্রভাব (Emerson Effect)

এমারসন এবং লুইস (Emerson and Lewis) 1943 খ্রিস্টাব্দে সবুজ শৈবাল *ক্লোরেল্লা* (*Chlorella*)-তে সালোকসংশ্লেষকারী কার্য বর্ণালী (action spectrum)* পরীক্ষার সময় দেখেন যে 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত অতি লাল (far red) আলোক ক্লোরোফিল-a কর্তৃক শোষিত হলেও তা সালোকসংশ্লেষে কোন রকম কার্যকরী ভূমিকা গ্রহণ করে না। শুধু তাই-ই নয়, এই দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে অক্সিজেন উৎপাদনের হার বিস্ময়করভাবে কমে যায়। উন্নত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যে সালোকসংশ্লেষের এই অবনতিকেই লোহিত চ্যুতি বা রেড ড্রপ (Red Drop) বলা হয় (চিত্র নং 10.3.2.2 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.2.2 : সবুজ শৈবাল *ক্লোরেল্লায়* লোহিত চ্যুতি এবং দুটি পরিপূরক আলোকের আরোপিত এমারসনের প্রভাব

*** শোষণ বর্ণালী (action spectrum)** : কোন বস্তুর বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক শোষণ করবার ক্ষমতাকে তার শোষণ বর্ণালী বলা হয়। বর্ণালীবীক্ষণ (spectrophotometer) নামক যন্ত্রে ক্লোরোফিল-a বা ক্লোরোফিল-b জাতীয় রঞ্জকপদার্থের দৃশ্যমান বর্ণালীর (visible spectrum) বিভিন্ন আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্য শোষণ করবার ক্ষমতাকে একটি লেখচিত্রের (graph paper) মাধ্যমে প্রকাশ করে ঐ বিশেষ রঞ্জকপদার্থের শোষণ বর্ণালীকে প্রকাশ করা হয়। দেখা গেছে ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-b আলোকের সাতটি বর্ণপ্রবাহের মধ্যে নীল, বেগুনী ও লাল অংশগুলিকেই সর্বাপেক্ষা বেশি শোষণ করে। এই কারণেই নীল-বেগুনী অংশ (435 nm) এবং লাল অংশের (660 nm) শোষিত আলোকই সালোকসংশ্লেষে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

আলোক চ্যুতির কারণ অনুসন্ধান করতে গিয়ে এমারসন ও তাঁর সতীর্থরা (Emerson *et. al.*) 1957 খ্রিস্টাব্দে লক্ষ করেন যে সালোকসংশ্লেষে নিষ্ক্রিয় (inefficient) 680 nm-এর বেশি আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত

অতি লাল (far red) আলোকের সাথে 650 nm হ্রস্ব আলোক একত্রে প্রয়োগ করলে এই নিষ্ক্রিয়তা যে শুধুমাত্র দূর হয় তাই-ই নয়, উপরন্তু সালোকসংশ্লেষের গতি বৃদ্ধি পেয়ে থাকে। তাঁরা প্রমাণ করে দেখেন যে দীর্ঘ এবং হ্রস্ব, এই দুই তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোকের পৃথক প্রভাবে সালোকসংশ্লেষের সময় যে পরিমাণ অক্সিজেন উদ্ভূত হয়, দুটি পরিপূরক আলোক একত্রে আরোপিত (superimposed) করলে অক্সিজেন উৎপাদনের মাত্রা অনেক বেশি হয় (চিত্র নং 10.3.2.2 দেখুন)। অতি লাল আলোক (700 nm)-এর সঙ্গে কমলা-লাল আলোকের (653 nm) একত্র প্রয়োগে সালোকসংশ্লেষের এই হার বৃদ্ধি পাবার ঘটনাকে এমারসনের প্রভাব (Emerson Effect) বলা হয়। এই প্রভাব (E)-কে নিম্নলিখিত সমীকরণের মাধ্যমে প্রকাশ করা হয়—

$$E = \frac{\Delta O_2 \text{ (আরোপিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক)} - \Delta O_2 \text{ (হ্রস্ব তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক)}}{\Delta O_2 \text{ (দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক)}}$$

যেখানে ΔO_2 হল অক্সিজেন নির্গমনের হার।

এর থেকে এমারসন এই সিদ্ধান্তে আসেন যে দুটি ভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক সালোকসংশ্লেষের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং এদের সম্মিলিত প্রভাবে সালোকসংশ্লেষ দক্ষতা (photosynthetic efficiency) বহুগুণ বৃদ্ধি পায়।

10.3.3 দ্বি-রঞ্জকতন্ত্র (Two photosystems)

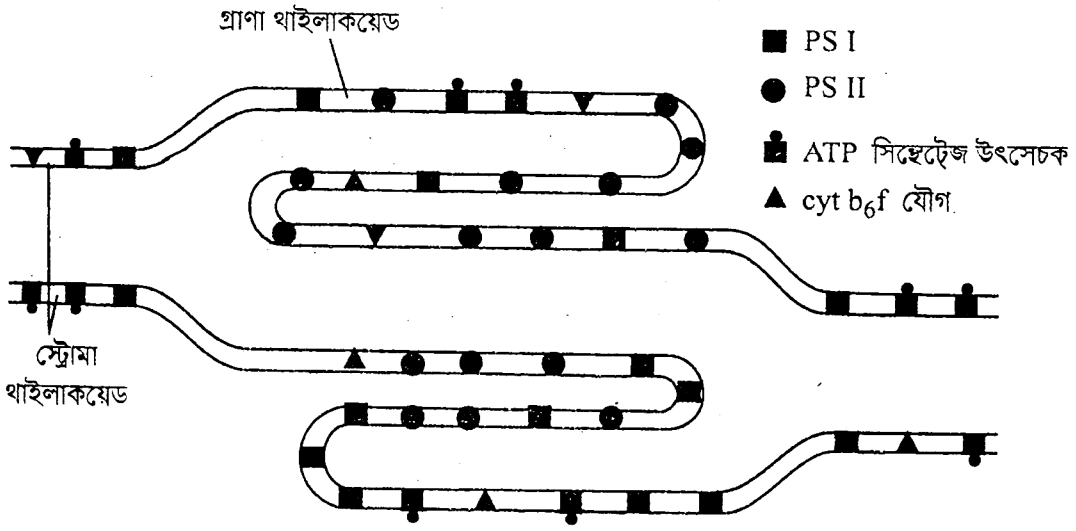
এমারসনের আবিষ্কার থেকে অনুমান করা যায় যে সালোকসংশ্লেষের আলোক দশা দুটি ভিন্ন আলোক-রসায়ন (photo-chemical) বিক্রিয়ার মাধ্যমে সম্পন্ন হয়, যার একটি 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে এবং অপরটি 680 nm-এর অপেক্ষাকৃত কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকের উপস্থিতিতে ঘটে। পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে যে এই বিক্রিয়া দুটি পৃথকভাবে দুটি রঞ্জক ক্রমের (pigment system) সঙ্গে যুক্ত, যাদের যথাক্রমে প্রথম রঞ্জক ক্রম (Pigment System I বা PS I) এবং দ্বিতীয় রঞ্জক ক্রম (Pigment System II বা PS II) নামকরণ করা হয়। 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক শুধুমাত্র PS I কে প্রভাবিত করলেও 680 nm-এর কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক PS I ও PS II দুটিকেই সক্রিয় করে।

এই রঞ্জক ক্রম দুটি অর্থাৎ PS I এবং PS II ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড ল্যামেলীর ওপর আলাদাভাবে রঞ্জক-প্রোটিন যৌগ (pigment-protein complex) রূপে সজ্জিত থাকে (চিত্র নং 10.3.3 দেখুন)। ক্লোরোপ্লাস্টকে একটি পরাপকেন্দ্রক (ultracentrifuge) যন্ত্রের সাহায্যে পৃথক করে ওপরের অপেক্ষাকৃত হাল্কা অংশে PS I এবং নীচের ভারী অংশে PS II-র উপস্থিতি লক্ষ করা যায়। ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ (electron microscope) যন্ত্রের সাহায্যে দেখা গেছে যে প্রতিটি রঞ্জক ক্রমে 40–60টি ক্লোরোফিল অণু, একটি বিক্রিয়াকেন্দ্রস্থল (reaction centre) ইলেকট্রন দাতা (electron donor) ও ইলেকট্রন গ্রহীতা (electron receiver) সম্মিলিত একটি মজ্জা যৌগ (core complex) এবং অবশিষ্ট কিছু ক্লোরোফিল অণু ও সহকারী রঞ্জক অণুর সমন্বয়ে গঠিত একটি অ্যান্টেনা যৌগ (antenna complex বা light harvesting complex)

থাকে। এই অ্যান্টেনা যৌগের কাজ হল বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক শোষণ করা এবং এই শোষিত শক্তি (absorved energy) বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre)-এ পরিবহন করা। মজ্জা যৌগস্থিত এই বিক্রিয়াকেন্দ্রেই প্রকৃতপক্ষে সালোকসংশ্লেষের আলোক-রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি (photochemical act) সংঘটিত হয় (চিত্র নং 10.2.3.2 দেখুন)।

10.3.3.1 প্রথম রঞ্জকতন্ত্র (Pigment System I বা PS I)

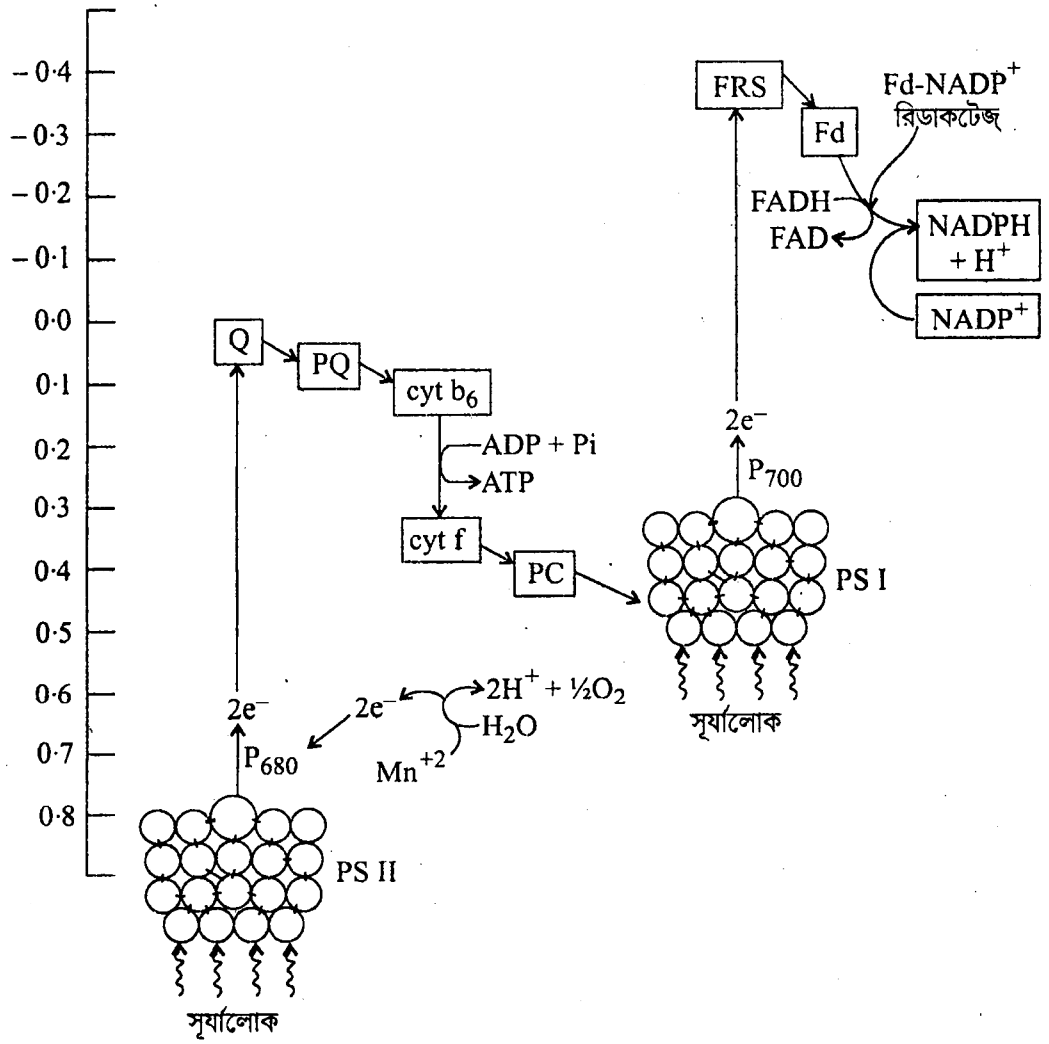
এই রঞ্জক ক্রমটিতে আনুমানিক 200 থেকে 300 টি ক্লোরোফিল অণু ও 50টি ক্যারোটিনয়েড অণু (মূলত ক্যারোটিন) থাকে। এছাড়াও এই সাইটোক্রোম b_6($cytb_6$), সাইটোক্রোম f(cyt f), প্লাস্টোসায়ানিন্ (plastocyanin) ও ফেরেডস্কিন্ (ferredoxin) জাতীয় ইলেকট্রন গ্রহীতা থাকে। PS I-এর মজ্জা যৌগটিতে (core complex) বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে (reaction centre) P_{700} নামক একটি বিশেষ ক্লোরোফিল অণু থাকে। এই রঞ্জক ক্রমটি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা ল্যামেলি এবং গ্রাণা অংশের বাইরের দিকে অবস্থান করে (চিত্র নং 10.3.3 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.3 : গ্রাণা থাইলাকয়েড-এর ওপরে দুটি রঞ্জকতন্ত্র PS I এবং PS II-এর অবস্থান

PS I-এর প্রধান কাজ হল একটি শক্তিশালী বিজারক (strong reductant) প্রস্তুত করা যা NADP-কে বিজারিত করবে। এই রঞ্জক ক্রমে 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক অ্যান্টেনা যৌগের রঞ্জক অণু কর্তৃক শোষিত হয় এবং এই আলোক শক্তি বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে P_{700} ক্লোরোফিল অণুতে এসে সঞ্চিত হওয়ায় এটি উদ্দীপিত (excited) হয় এবং একটি ইলেকট্রন পরিত্যাগ করে। একাধিক ইলেকট্রন গ্রহীতা ও দাতার মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে এই ইলেকট্রনটি পরিশেষে $NADP^+$-কে বিজারিত করে এবং NADPH তৈরি করে।

PS I-এ চক্রাকার (cyclic) এবং অচক্রাকার (non-cyclic) এই দুই পদ্ধতির মাধ্যমেই ইলেকট্রন প্রবাহিত (transfer) হয়। (চিত্র নং 10.3.4 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.4

সালোকসংশ্লেষের আলোকদশায় ইলেকট্রন স্থানান্তরণের Z নক্শার চিত্ররূপ (নকশাটি হিল-বেনডাল প্রস্তাবিত 'Z' নকশার সামান্য পরিবর্তিত রূপ)

[নকশায় Q = কুইনোন, PQ = প্লাস্টোকুইনোন, cyt b_6 = সাইটোক্রোম b_6, cyt f = সাইটোক্রোম f, PC = প্লাস্টোসায়ানিন, FRS = ফেরেডক্সিন বিজারক যৌগ, Fd = ফেরেডক্সিন এবং PS I ও II যথাক্রমে রঞ্জকতন্ত্র I ও II বোঝাচ্ছে]

10.3.3.2 দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্র (Pigment System II বা PS II)

এই রঞ্জক ক্রমটিতে আনুমানিক 100-200টি ক্লোরোফিল ও 50টি ক্যারোটিনয়েড অণু (মূলত জ্যান্থোফিল) থাকে। এছাড়াও এই ক্রমে Q নামক প্লাস্টোকুইনন (Plastoquinone বা PQ), সাইটোক্রোম b_6(cyt b_6), সাইটোক্রোম f(cyt f), প্লাস্টোসায়ানিন (Plastocyanine বা PC), ম্যাঙ্গানীজ (Mn^{+2}) ও ক্লোরাইড (Cl^-) অণু উপস্থিত থাকে। PS II-র মজ্জা যৌগটিকে (core complex) বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে (reaction centre) P_{680} নামক একটি বিশেষ ক্লোরোফিল অণু থাকে। এই রঞ্জক ক্রমটি মূলত ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশের ভিতরের দিকে অবস্থান করে। (চিত্র নং 10.3.3 দেখুন)।

PS II-র প্রধান কাজ হল একটি শক্তিশালী জারক (strong oxidant) প্রস্তুত করা যা জল অণুকে জারিত করে অক্সিজেন উৎপাদনে সক্ষম হবে। PS II রঞ্জকক্রমে অ্যান্টেনা যৌগের রঞ্জক অণু 680 nm-এর কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক শোষণ করে এবং এই শোষিত শক্তি বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে P_{680} ক্লোরোফিল অণুতে এসে সঞ্চিত হওয়ায় এটি উদ্দীপিত (excited) হয় এবং একটি ইলেকট্রন পরিত্যাগ করে। একাধিক ইলেকট্রন গ্রহীতা ও দাতার মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে এই ইলেকট্রনটি পরিশেষে PS I-এ প্রবেশ করে। এর ফলে P_{680} ক্লোরোফিলে যে ইলেকট্রন শূন্যতার (electron deficiency) সৃষ্টি হয় তা জল (H_2O) থেকে গৃহীত হয় এবং এর ফলে জলের আলোক বিয়োজন (photolysis of water) ঘটে এবং এরই ফলস্বরূপ জল থেকে ইলেকট্রন নির্গত হয়। P_{680} এইভাবে ইলেকট্রন গ্রহণ করে স্থিতাবস্থায় (ground state) ফিরে আসে। কাজেই PS II-তে ইলেকট্রন প্রবাহ একমুখী (unidirectional) ও অচক্রাকার (non-cyclic)। (চিত্র নং 10.3.4 দেখুন)।

10.3.4 ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ও NADP বিজারণ

PS I এবং PS II রঞ্জক ক্রমের মাধ্যমে কীভাবে ইলেকট্রন প্রবাহিত হয়, তা নিয়ে বিজ্ঞানীদের মধ্যে মতপার্থক্য থাকলেও হিল ও বেলডাল (Hill and Bendall) 1960 খ্রিস্টাব্দে যে জেড্ নকশার (Z scheme) সচিত্র ব্যাখ্যা দেন, তা আধুনিক বিজ্ঞানীদের প্রস্তাবিত নক্শার অনুরূপ হওয়ায় এটি গ্রহণ করা হয়। এই 'Z' নকশায় দুটি রঞ্জক ক্রমই (PS I এবং PS II) কার্যকরী ভূমিকা নেয়। এর মধ্যে প্রথম রঞ্জক ক্রমটি (PS I) 680 nm-এর বেশি এবং দ্বিতীয় রঞ্জক ক্রমটি (PS II) 680 nm-এর কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক শোষণ করে থাকে এবং PS II-র প্রান্তভাগ একটি সেতু (bridge)-এর মতো কাজ করে ও PS I-এর সঙ্গে PS II-কে যুক্ত করে রাখে।

'Z' নক্শা অনুসারে PS II-তে আলোক শোষিত হয়ে বিক্রিয়াকেন্দ্রের P_{680} ক্লোরোফিল অণুতে প্রবেশ করা মাত্র P_{680} উত্তেজিত হয়ে যে ইলেকট্রন নির্গত করে সেটি প্রথমে Q নামক এক অজ্ঞাত প্রকৃতি ইলেকট্রন বাহককে (ভ্যান গোরকম্), [Van Gorkom] 1974 খ্রিস্টাব্দে Q-কে কুইনোন রূপে চিহ্নিত করেন) বিজারিত করে। এরপর ইলেকট্রনের নিম্নাভিমুখী বিক্রিয়ার (downhill reaction) ফলে ইলেকট্রনটি যথাক্রমে প্লাস্টোকুইনন (PQ), সাইটোক্রোম b_6(cyt b_6), সাইটোক্রোম f(cyt f) ও প্লাস্টোসায়ানিন (PC)-এর মাধ্যমে PS I-এ স্থানান্তরিত হয়। এইরকমভাবে ইলেকট্রন প্রবাহের সময় জারণ-বিজারণ বৈভব (redox potential)-এর ফলে ATP অণু প্রস্তুত হয়। (10.3.5.1 অংশে অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন দেখুন)। এদিকে ইলেকট্রন নির্গত হয়ে যাবার ফলে P_{680} ক্লোরোফিল অণুটি ধনাত্মক (positive) আধানযুক্ত (charged) হয়ে যায় এবং এটি ম্যাঙ্গানিজ প্রোটিন (Mn protein) থেকে একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে। এই Mn প্রোটিন আবার জল থেকে ইলেকট্রনটি গ্রহণ করলে জল বিয়োজিত হয় এবং এভাবে P_{680} অণুটি ইলেকট্রন পূর্ণতাপ্রাপ্তি হয়।

$$4H_2O \xrightarrow[Mn^{2+}\ Cl^-]{\text{সূর্যালোক}} 4H^+ + 4e + 2H_2O + O_2$$

আলোকের উপস্থিতিতে জলের এই বিয়োজনকেই ফটোলিসিস (photolysis) বলা হয় এবং জলের এই জারণ প্রক্রিয়ায় ম্যাঙ্গানীজ (Mn^{2+}) ও ক্লোরাইড (Cl^-) আয়ন বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ইলেকট্রন পূর্ণতাপ্রাপ্ত হওয়া মাত্র P_{680} ক্লোরোফিল অণুটি পুনরায় স্থায়ী (stable) অবস্থা প্রাপ্ত হয় ও পুনরায় আলোক শোষণ করবার শক্তি অর্জন করে। ফটোলিসিসের ফলে উদ্ভূত H^+ আয়ন NADP-কে বিজারিত করার সময় ব্যবহৃত হয়।

অপরদিকে PS I ক্রমে আলোক শোষিত হয় ও সেটি বিক্রিয়াকেন্দ্রের P_{700} ক্লোরোফিল অণুতে প্রবেশ করা মাত্র সেখান থেকে একটি ইলেকট্রন নির্গত হয় এবং সেটি প্রথমে ফেরিডক্সিন বিজারিত যৌগ (Feredoxin Reducing Substance বা FRS) নামক ইলেকট্রন গ্রহীতাকে বিজারিত করে। FRS থেকে ইলেকট্রনটি ফেরিডক্সিন (feredoxin বা Fd)-এর মাধ্যমে $NADP^+$-এ স্থানান্তরিত হয়। জলের আলোক-বিশ্লেষণের ফলে উদ্ভূত H^+-এর উপস্থিতিতে $NADP^+$ বিজারিত হয়।

হিল ও বেনডাল প্রস্তাবিত ইলেকট্রন স্থানান্তরণের এই চিত্ররূপ ইংরাজি বর্ণমালার (alphabets) 'Z' বর্ণের মতন হওয়ায় এটিকে 'Z' নকশা (Z scheme) বলা হয়। চিত্র নং 10.3.4-তে বর্ণিত নকশাটি হিল-বেনডাল প্রস্তাবিত 'Z' নকশারই সামান্য পরিবর্তিত রূপ (modifed form)। চিত্রে দেখা যাচ্ছে যে PS II ক্রমের বিজারিত প্রান্তটি একটি সেতুর (bridge) মতো কাজ করে এবং PS II-র সঙ্গে PS I-কে সংযোগ করে।

'Z' নকশায় যে বিষয়টি তাৎপর্যপূর্ণ তা হল এই যে PS II ক্রম থেকে PS I-এ ইলেকট্রন স্থানান্তরণ সরাসরি হলেও মনে রাখা দরকার যে PS I-এর P_{700} ক্লোরোফিল অণুটি PS II ক্রম থেকে তখনই একটি ইলেকট্রন গ্রহণ করতে পারে যখন এর নিজস্ব একটি ইলেকট্রন ঘাটতি থাকে, অর্থাৎ এটি ধনাত্মক আধানযুক্ত (positively charged) হয়। আমরা জানি যে এই PS I ক্রমে আলোক শোষিত হলে তা P_{700} ক্লোরোফিল অণুতে স্থানান্তরিত হওয়া মাত্র সেটি উত্তেজিত হয়ে একটি ইলেকট্রন পরিত্যাগ করে এই ধনাত্মক আধানযুক্ত হয়। কাজেই এটি সহজেই PS II থেকে আগত ইলেকট্রনকে গ্রহণ করতে সক্ষম হয়।

কাজেই দেখা যাচ্ছে যে PS II রঞ্জকতন্ত্রে আলোক শোষিত হলে দুটি রঞ্জক ক্রমই সচল থাকে এবং সেক্ষেত্রে জল (H_2O) জারিত হয়ে ইলেকট্রন প্রবাহের দাতা (donor) এবং $NADP^+$ প্রান্তীয় ইলেকট্রন গ্রহীতা (acceptor) রূপে কাজ করে। প্রতিটি অক্সিজেন উৎপন্নকারী সালোকসংশ্লেষীয় কোষে এই দুটি পৃথক রঞ্জক ক্রমের অস্তিত্ব লক্ষ করা যায়। অপরদিকে সালোকসংশ্লেষীয় ব্যাকটিরিয়ায় (photosynthetic bacteria) শুধুমাত্র PS I উপস্থিত থাকায় এরা PS II রঞ্জক ক্রমের মাধ্যমে অক্সিজেন উৎপাদন করতে পারে না। *স্কিনডেসমাস* (*Scendesmus*) নামক শৈবালে মিউটেশনগ্রস্ত PS I ও PS II প্রজাতিতে পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা গেছে যে PS II অভাবজনিত মিউট্যান্ট্‌রা কার্বন আত্তীকরণ করতে পারলেও অক্সিজেন উৎপাদনে অক্ষম হয়, অপরদিকে PS I অভাবজনিত মিউট্যান্ট্‌রা কেবল PS II ব্যবহার করতে পারে।

কাজেই উন্নত উদ্ভিদে PS I এবং PS II দুটি রঞ্জক ক্রমই যুগ্মভাবে কাজ করে এবং একাধিক বাহকের মাধ্যমে ইলেকট্রনকে জল থেকে NADP-তে স্থানান্তরিত করে। এই ইলেকট্রন স্থানান্তরণ পথের দুটি স্থানে যথাক্রমে PS I এবং PS II অবস্থান করে এবং এরা প্রয়োজনীয় শক্তি সরবরাহ (supply) করে, যার সাহায্যে ইলেকট্রন সর্বদাই তড়িৎ-রাসায়নিক অবক্রম (electro-chemical gradient) বরাবর প্রবাহিত হয়ে থাকে।

10.3.5 ফটোফসফোরাইলেশন (Photophosphorylation)

আলোকের উপস্থিতিতে ATP তৈরি হওয়ার পদ্ধতিকে ফটোফসফোরাইলেশন বলে। আরনন (Arnon) ও তাঁর সংকর্মীরা 1957 খ্রিস্টাব্দে অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে আলোর উপস্থিতিতে ADP ও অজৈব ফসফরাস (Pi) যুক্ত হয়ে ATP অণুর সৃষ্টি প্রমাণ করে দেখান।

$$ADP + Pi \xrightarrow[\text{আলোক}]{\text{সূর্যালোক}} ATP$$

এই একইভাবে ADP ও Pi-এর সহযোগে মাইটোকন্ড্রিয়াতে যে ATP তৈরি হয় তাকে জারকীয় ফসফোরাইলেশন (oxidative phosphorylation) বলা হয় এবং এটি আলোকের পরিবর্তে অক্সিজেনের ওপর নির্ভরশীল, কাজেই এটি ফটোফসফোরাইলেশন থেকে সম্পূর্ণ ভিন্ন।

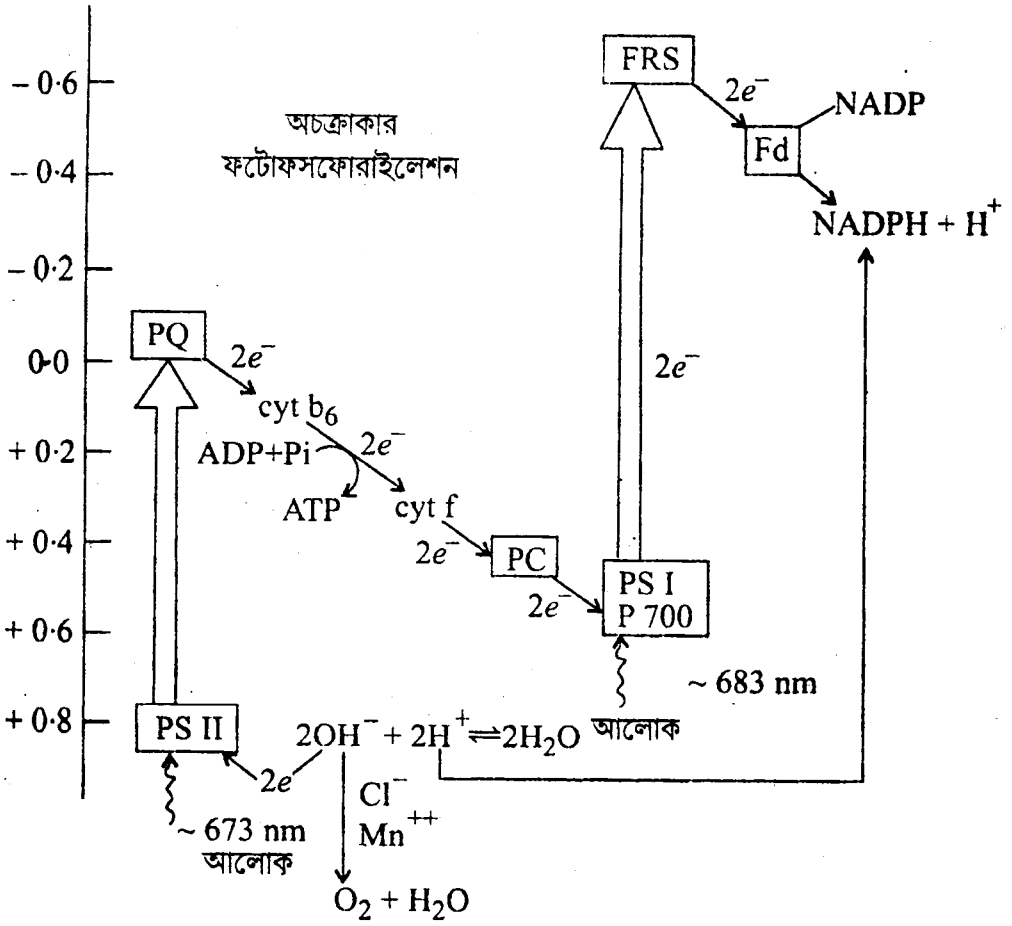
10.3.4 অংশে আমরা জেনেছি যে 'Z' নক্শার মাধ্যমে একাধিক বাহকের মধ্যে দিয়ে ইলেকট্রন জল থেকে $NADP^+$ তে প্রবাহিত হয়। এই ইলেকট্রন প্রবাহের সময় প্রতিটি ধাপেই কিছু পরিমাণে শক্তি [ইলেকট্রন ভোল্ট (electron volt বা eV)] উদ্ভূত হয়।

ইলেকট্রন স্থানান্তরণের যে ধাপগুলিতে উদ্ভূত শক্তি ADP-র সঙ্গে অজৈব ফসফরাস (Pi)-কে সংবন্ধন করতে পারে না, সেখানে শক্তি তাপশক্তি রূপে বিনষ্ট হয়ে যায়, কিন্তু যে ধাপগুলিতে জারণ-বিজারণ বিভব (redox potential) পার্থক্য 0.33 eV (ইলেকট্রন ভোল্ট)-এর বেশি হয়, সেখানে উদ্ভূত শক্তি ADP-র সঙ্গে Pi-কে করে ATP সৃষ্টি করে। আলোকের উপস্থিতিতে এইভাবে ATP তৈরি হওয়াকেই ফটোফসফোরাইলেশন বলে এবং এটি চক্রাকার এবং অচক্রাকার এই দুইভাবে ঘটে থাকে।

10.3.5.1 অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (Non-cyclic Photophosphorylation)

সবুজ উদ্ভিদে PS I এবং PS II-এর মাধ্যমে অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে এবং এক্ষেত্রে ইলেকট্রন প্রবাহ হয় একমুখী। অচক্রাকার ইলেকট্রন স্থানান্তরণের ক্ষেত্রে PS I এবং PS II দুটি রঞ্জকতন্ত্রই যুগপৎ (simultaneous) আলোক শোষণ করে এবং দুটি বিক্রিয়াকেন্দ্রের উত্তেজিত ক্লোরোফিল থেকে পৃথকভাবে ইলেকট্রন নির্গত হয়। প্রথমে PS II থেকে নির্গত ইলেকট্রন একমুখী পথে পর্যাক্রমে Q (অজ্ঞাতপ্রকৃতি ইলেকট্রন বাহক), প্লাস্টোকুইনন (PQ), সাইটোক্রোম b_6(cyt b_6), সাইটোক্রোম f(cyt f) ও প্লাস্টোসায়ানিন (PC)-এর মাধ্যমে PS I-এ স্থানাতরিত হয় এবং PS I-এর ইলেকট্রন শূন্যতা (vacancy) পূর্ণ করে। PS I থেকে নির্গত ইলেকট্রন ফেরিডক্সিনের (Fd) মাধ্যম $NADP^+$-কে বিজারিত করে। এই পথে প্রবাহের সময় cyt b_6 ও cyt f-এর জারণ-বিজারণ বিভব-পার্থক্য 0.33 eV (ইলেকট্রন ভোল্ট)-এর বেশি হওয়ায় এই শক্তির সাহায্যে ADP অণুর সাথে অজৈব ফসফরাস (Pi) যুক্ত হয় ও এক অণু ATP প্রস্তুত হয়।

কাজেই দেখা যাচ্ছে যে এই একমুখী ইলেকট্রন প্রবাহের কারণে PS II থেকে নির্গত ইলেকট্রন পুনরায় PS II তে ফেরত আসতে পারে না, তাই এই ইলেকট্রন প্রবাহকে অচক্রাকার ইলেকট্রন স্থানান্তরণ এবং এই পথে ATP সৃষ্টি হবার ঘটনাকে অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন বলে। (চিত্র নং 10.3.5.1 দেখুন)।

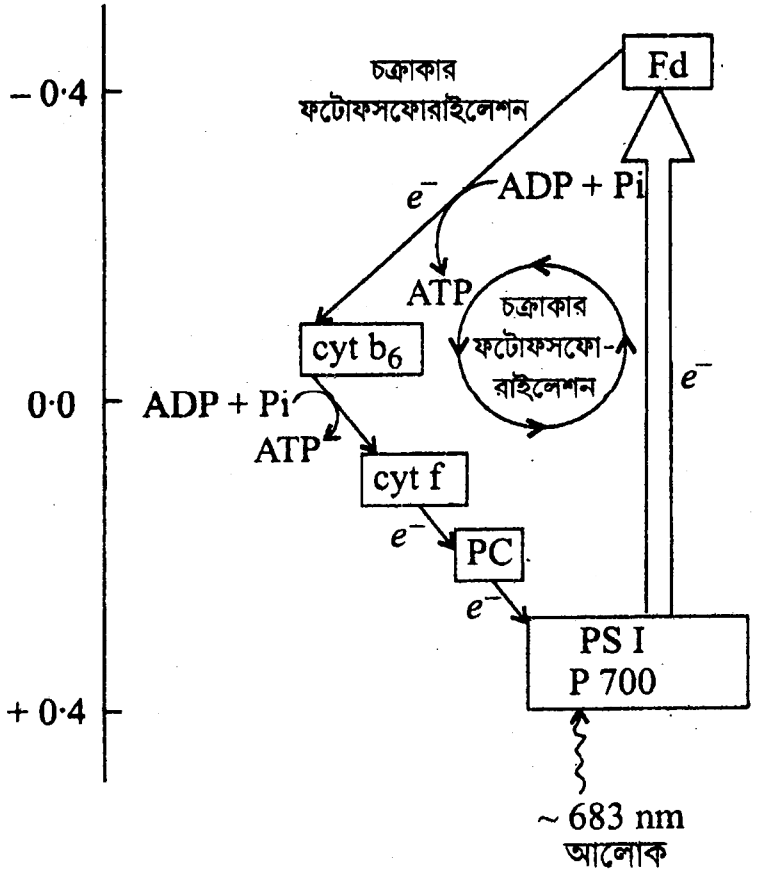


চিত্র নং 10.3.5.1 : অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

10.3.5.2 চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (Cyclic Photophosphorylation)

শুধুমাত্র PS I-এর উপস্থিতিতে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয় এবং এক্ষেত্রে PS II উপস্থিত না থাকায় স্থানান্তরণের সময় ইলেকট্রনটি চক্রাকার পথে আবর্তিত হয়ে ATP প্রস্তুত করে এবং পুনরায় PS I-এ প্রবেশ করে। *রোডোস্পাইরিলাম্ রুব্রাম্* (*Rhodospirillum rubrum*) সহ অধিকাংশ ব্যাকটিরিয়া এবং কিছু শৈবালে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন লক্ষ করা যায়।

এক্ষেত্রে PS I থেকে নির্গত ইলেকট্রন প্রথমে ফেরেডক্সিন বিজারিত যৌগ (Feredoxin Reducing Substance বা FRS)-কে বিজারিত করে ফেরেডক্সিন (Fd)-এ স্থানান্তরিত হয়, তবে এটি Fd-কে বিজারিত না করে জারণ-বিজারণ বিভবের (Redox potential) নিম্নস্তরে (downhill) সাইটোক্রোম b_6(cyt b_6) ও সাইটোক্রোম f(cyt f)-এর মাধ্যমে স্থানান্তরিত হয়ে পুনরায় PS I-এ প্রবেশ করে। এই পথে ইলেকট্রন প্রবাহিত হবার সময় Fd থেকে cyt b_6 এবং cyt b_6 থেকে cyt f এই দুটি ধাপে উদ্ভূত শক্তি 0.33 ইলেকট্রন ভোল্ট (eV) বেশি হওয়ায় এই দুটি স্থানে 2 অণু ATP প্রস্তুত হয়। এভাবে শুধুমাত্র PS I কর্তৃক চক্রাকার পথে ইলেকট্রন আবর্তনের সময় ATP অণু তৈরি হওয়াকে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন বলে। (চিত্র নং 10.3.5.2 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.5.2 : চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

10.3.5.3 অচক্রাকার ও চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনের পার্থক্য

অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনের	চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনের
1. PS I এবং PS II দুটি রঞ্জকক্রমই অংশগ্রহণ করে।	1. শুধুমাত্র PS I অংশগ্রহণ করে।
2. মুক্ত ইলেকট্রন দাতার (donor) প্রয়োজন হয়। জল ইলেকট্রন দাতা (donor) এবং $NADP^+$ প্রান্তিক ইলেকট্রন গ্রহীতা (receiver) হিসাবে কাজ করে এবং P_{680} থেকে নির্গত ইলেকট্রন কখনই সেখানে ফেরত আসে না।	2. মুক্ত ইলেকট্রন দাতার (donor) প্রয়োজন হয় না, কারণ P_{700} ক্লোরোফিল থেকে নির্গত ইলেকট্রন চক্রাকারে আবর্তিত হয়ে আবার একই জায়গায় ফেরত চলে আসে।
3. NADP বিজারিত হয় বলে কার্বন আত্তীকরণ সহজেই ঘটে।	3. $NADP^+$ বিজারিত না হবার ফলে কার্বন আত্তীকরণের হার কমে যায়।
4. জলের আলোক-বিয়োজন (photolysis) ঘটার ফলে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।	4. ফটোলিসিস না হওয়ায় অক্সিজেন উৎপন্ন হতে পারে না।
5. শুধুমাত্র সবুজ উদ্ভিদে ঘটে।	5. বেশিরভাগ সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়া ও শৈবালে পাওয়া যায়।
6. DCMU (ডাই-ক্লোরোফিনাইল-ডাই-মিথাইল ইউরিয়া)-এর উপস্থিতি অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনকে প্রতিরোধ (inhibit) করে।	6. DCMU-এর উপস্থিতি চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন-এর ওপর কোন প্রভাব ফেলতে পারে না।
7. ইলেকট্রন পরিবহন এরূপে ঘটে $P_{680} \rightarrow Q \rightarrow PQ \rightarrow$ cyt $b_6 \rightarrow$ cyt f $\rightarrow$ PC $\rightarrow P_{700} \rightarrow$ FRS $\rightarrow$ Fd $\rightarrow NADP^+$।	7. ইলেকট্রন পরিবহন এভাবে ঘটে $P_{700} \rightarrow$ FRS $\rightarrow$ Fd $\rightarrow$ cyt $b_6 \rightarrow$ cyt f $\rightarrow$ PC $\rightarrow P_{700}$।
8. প্রতিটি চক্রে একটি মাত্র ATP অণু অৎপন্ন হয়।	8. প্রতিটি চক্রাকার আবর্তনে দুই অণু করে ATP উৎপন্ন হয়।

অনুশীলনী : 1

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

1. সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন :

(a) জলে দ্রবণীয় রঞ্জকপদার্থ (pigment) হল ক্লোরোফিল/ক্যারোটিন/ফাইকোবিলিন।

(b) আলোর উপস্থিতিতে ক্লোরোফিল কর্তৃক জলের বিয়োজনকে গ্লাইকোলিসিস্/ফটোলিসিস্/ হাইড্রোলিসিস্ বলা হয়।

(c) সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়ায় শুধুমাত্র PS I/শুধুমাত্র PS II/ PS I ও PS II উভয় রঞ্জক ক্রমই উপস্থিত থাকে।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) নীলাভ-সবুজ শৈবালে সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল হল _____।

(b) প্রতিটি ফোটনে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত থাকে, তাকে _____ বলে।

(c) আলোক শক্তির সাহায্যে ক্লোরোপ্লাস্টে ATP সৃষ্টি হবার ঘটনার নাম _____।

(d) সালোকসংশ্লেষে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস _____।

(e) সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় বিজারিত _____ এবং _____ প্রস্তুত হয় এবং অন্ধকার দশায় _____ এর বিজারণ ঘটে।

3. বামদিকের অংশের সঙ্গে ডানদিগের অংশ সঠিকভাবে মেলান :

(a) ক্যারোটিনয়েড	(i) জ্যান্থোফিল
(b) আলোক দশা	(ii) ব্যাকটিরিয়া
(c) অন্ধকার দশা	(iii) স্ট্রোমা
(d) সালোকসংশ্লেষীয় একক	(iv) গ্রাণা
(e) চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন	(v) সবুজ উদ্ভিদ
(f) অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন	(vi) কোয়ান্টাজোম

10.3.6 অন্ধকার দশা, কার্বন অণুর সংবন্ধন ও কেলভিন চক্র বা C_3 চক্র

এই বিক্রিয়াগুলি ঘটবার সময় আলোকের প্রয়োজনীয়তা না থাকায় এই দশাকে অন্ধকার বিক্রিয়া (dark phase) বলা হত, তবে এখনকার বিজ্ঞানীদের মতে এটিকে আলোক নিরপেক্ষ বিক্রিয়া (light independant phase) বলা বেশি যুক্তিগ্রাহ্য। এই দশায় বিক্রিয়াগুলির মাধ্যমে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সংবন্ধন (fixation) ও বিজারণ (reduction) ঘটে থাকে এবং প্রধানত যে তিনটি পদ্ধতির মাধ্যমে এটি ঘটে থাকে সেগুলি হল—

(a) কেলভিন চক্র (Calvin Cycle) বা C_3 চক্র

(b) হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক্ চক্র (Hatch and Slack Cycle) বা C_4 চক্র

(c) ক্রাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism) বা CAM চক্র

বিজ্ঞানী কেলভিন (Calvin), বেনসন (Benson) এবং ব্যাসাম (Bassham) তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C) অণুর সাহায্যে উন্নত উদ্ভিদ কর্তৃক বায়ুমণ্ডলের কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধনের যে পদ্ধতিটি আবিষ্কার করেন, সেটিই **কেলভিন চক্র** নামে পরিচিত এবং এই চক্রটিকে মূলত দুটি ভাগে আলোচনা করা যায়—

I. কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষ (Synthesis of Carbohydrate) : এটি আবার কয়েকটি ধাপে সম্পন্ন হয়।

(i) বায়ুমণ্ডলের কার্বন-ডাই-অক্সাইড রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বাক্সিলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে রাইবিউলোজ -1, 5-বিস-ফসফেটের (RuBP) সঙ্গে যুক্ত হয় এবং একটি 6-কার্বন অণুবিশিষ্ট অস্থায়ী (unstable) যৌগ তৈরি করে। এই অস্থায়ী যৌগটি জলের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 2 অণু ফসফোগ্লিসারেট প্রস্তুত করে।

$$\underset{\text{–1, 5 বাই-ফসফেট}}{\text{রাইবিউলোজ}} + CO_2 \xrightarrow[\text{বিস-ফসফেট কার্বাক্সিলেজ}]{\text{রাইবিউলোজ}} \text{অস্থায়ী যৌগ} \xrightarrow{H_2O} \text{2 ফসফোগ্লিসারেট}$$

এই 3-কার্বন অণুবিশিষ্ট (3C) ফসফোগ্লিসারেট যৌগটিই হল কেলভিন চক্রের প্রথম স্থায়ী যৌগ (stable compound) এবং এই কারণেই এই চক্রকে C_3 চক্র বলা হয়।

(ii) ফসফোগ্লিসারেট ATP ও উৎসেচকের সাহায্যে 1,3 ডাইফসফোগ্লিসারেটে পরিণত হয়।

$$\text{3 ফসফোগ্লিসারেট} \xrightarrow[\substack{\text{ফসফোগ্লিসারেট}\\ \text{কাইনেজ}}]{\text{ATP}} \text{1,3 ডাইফসফোগ্লিসারেট}$$

(iii) গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে ও NADPH-এর সহায়তায় 1, 3 ডাইফসফোগ্লিসারেট, গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেটে পরিণত হয়।

$$\text{1, 3 ডাইফসফোগ্লিসারেট} \xrightarrow[\substack{\text{গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3P}\\ \text{ডিহাইড্রোজিনেজ}}]{NADPH + H^+} \text{গ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ফসফেট}$$

(iv) গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3--ফসফেট, ট্রায়োজ ফসফেট আইসোমারেজ উৎসেচকের প্রভাবে ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3--ফসফেট $\xrightarrow[\text{আইসোমারেজ}]{\text{ট্রায়োজ ফসফেট}}$ ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট

(v) উপরের এই যৌগ দুটি অ্যালডোলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে ফ্রাকটোজ-1, 6 ডাইফসফেট প্রস্তুত করে।

গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3 ফসফেট + ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট $\xrightarrow{\text{অ্যালডোলেজ}}$ ফ্রাকটোজ-1, 6-বিস-ফসফেট

(vi) ফ্রাকটোজ-1, 6 -বিস-ফসফেট যৌগটি ফস্‌ফেটেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফ্রাকটোজ-6 ফসফেট প্রস্তুত করে এবং এই যৌগটি থেকেই পরবর্তী পর্যায়ে সুক্রোজ শর্করা এবং স্টার্চ শ্বেতসার জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়।

II. রাইবিউলোজ বাইফসফেট (RuBP)-এর পুনরুৎপাদন (Regeneration of RuBP)

ক্লোরোপ্লাস্টে RuBP-র পরিমাণ সীমিত থাকায় সালোকসংশ্লেষকে অব্যাহত রাখতে RuBP-র পুনরুৎপাদন আবশ্যক হয় এবং এটি কয়েকটি ধাপে সম্পন্ন হয়।

(vii) ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট (6C), গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট (3C)-এর সঙ্গে যুক্ত হয় এবং ট্র্যান্সকিটোলেজ উৎসেচকের সাহায্যে জাইলিউলোজ-5-ফসফেট (5C) এবং এরিথ্রোজ-4-ফসফেট (4C) প্রস্তুত হয়।

ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট + গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট $\xrightarrow{\text{ট্রান্সকিটোলেজ}}$ জাইলিউলোজ-5-ফসফেট + এরিথ্রোজ-4-ফসফেট

(viii) এরিথ্রোজ-4-ফসফেট (4C), অ্যালডোলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট (3C)-এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে 7C অণু বিশিষ্ট সেডোহেপ্টুলোজ -1, 7 ডাইফসফেট তৈরি করে।

এরিথ্রোজ-4-ফসফেট + ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট $\xrightarrow{\text{অ্যালডোলেজ}}$ সেডোহেপ্টুলোজ-1, 7 ডাই-ফসফেট

(ix) ফসফেটেজ উৎসেচকের সাহায্যে সেডোহেপ্টুলোজ -1, 7 ডাইফসফেট, সেডোহেপ্টুলোজ-7-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

$$\text{সেডোহেপ্টুলোজ-1, 7-বিস-ফসফেট} \xrightarrow{\text{ফসফেটেজ}} \text{সেডোহেপ্টুলোজ-7-ফসফেট}$$

(x) সেডোহেপ্টুলোজ-7-ফসফেট (7C) এরপর গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট (3C)-এর সঙ্গে ট্র্যান্সকিটোলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে বিক্রিয়া করে রাইবোজ-5-ফসফেট (5C) ও জাইলিউলোজ 5-ফসফেটে (5C) পরিণত হয়।

$$\text{সেডোহপ্টুলোজ-7-ফসফেট} + \text{গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট} \xrightarrow{\text{ট্রান্সকিটোলেজ}} \text{রাইবোজ 5-ফসফেট} + \text{জাইলিউলোজ 5-ফসফেট}$$

(xi) আইসোমারেজ উৎসেচকের সাহায্যে রাইবোজ-5-ফসফেট রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

$$\text{রাইবোজ-5-ফসফেট} \xrightarrow{\text{আইসোমারেজ}} \text{রাইবিউলোজ-5-ফসফেট}$$

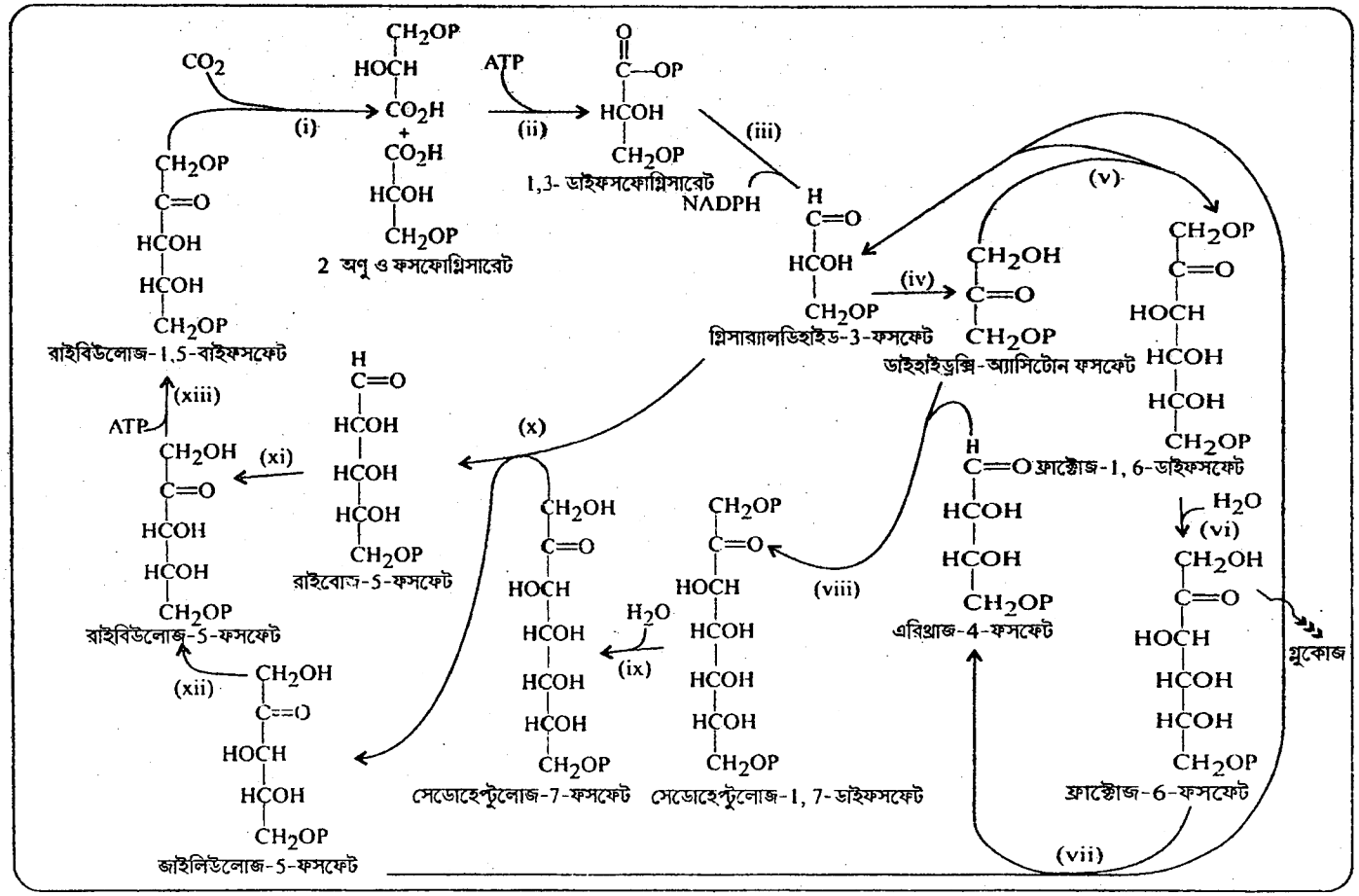
(xii) এপিমারেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে জাইলিউলোজ 5-ফসফেট রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে পরিবর্তিত হয়।

$$\text{জাইলিউলোজ-5-ফসফেট} \xrightarrow{\text{এপিমারেজ}} \text{রাইবিউলোজ-5-ফসফেট}$$

(xiii) এইভাবে সৃষ্ট রাইবিউলোজ 5-ফসফেট পরিশেষে ATP-র সঙ্গে যুক্ত হয় এবং রাইবিউলোজ-1, 5-ফসফেট কাইনেজ উৎসেচকের সহায়তায় পুনরায় রাইবিউলোজ-1, 5-বাইফসফেট (RuBP) উৎপন্ন হয়।

$$\text{রাইবিউলোজ 5-ফসফেট} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{5-ফসফেট কাইনেজ}]{\text{রাইবিউলোজ}} \text{রাইবিউলোজ-1, 5-ফসফেট}$$

এইভাবে প্রস্তুত RuBP পুনরায় কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধন করতে সক্ষম হয় এবং কেলভিন চক্রটি আবর্তিত হতে থাকে। (চিত্র নং 10.3.6 দেখুন)।



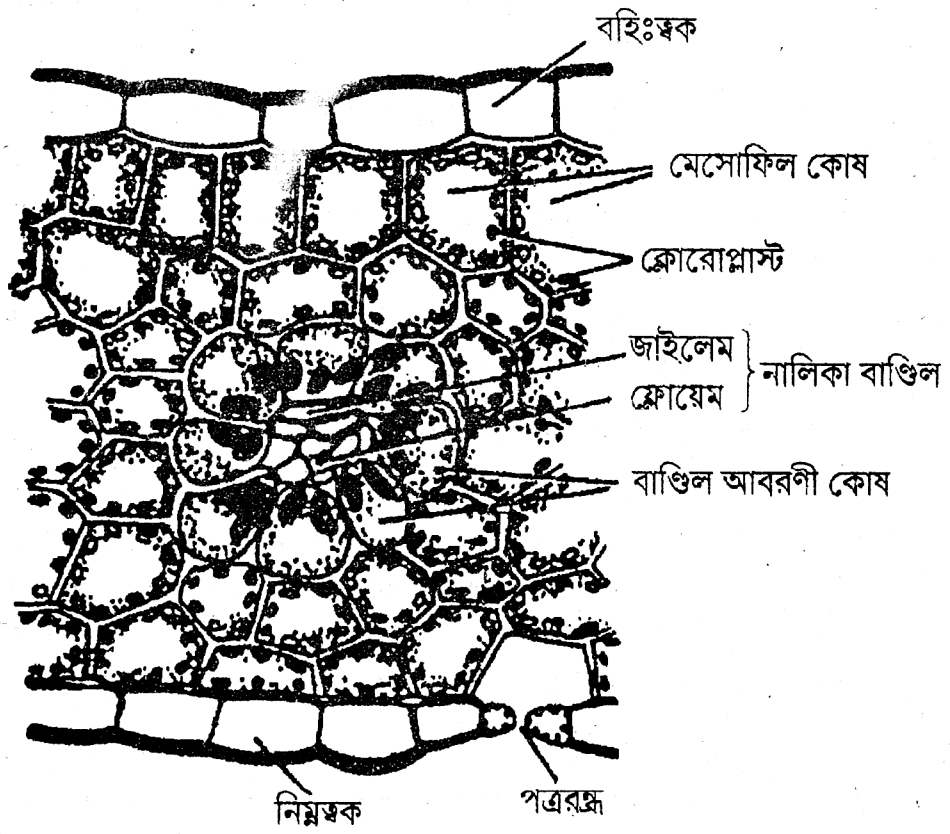
চিত্র নং. 10.3.6 : কেলভিন চক্র বা সালোকসংশ্লেষীয় জারণ চক্র বা C_3 চক্র [জে. এ. ব্যাসাম এবং এম. কেলভিন-এর সৌজন্যে প্রাপ্ত]
(i) থেকে (xiii) নির্দেশিত সংখ্যাগুলি উৎসেচক চিহ্নিত করে। নামগুলির জন্য 10.3.6 অংশে কেলভিন চক্র দেখুন।

10.3.7 হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্র

1965 খ্রিস্টাব্দের আগে পর্যন্ত কেলভিন চক্রকেই সালোকসংশ্লেষে কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধনের একমাত্র পথ রূপের গণ্য করা হত। এর পর তেজস্ক্রিয় ^{14}C-এর সাহায্যে হুগো কর্টস্চক্ (Hugo Kortschak), হ্যার্ট (Hartt) এবং জন ব্যুর (John Burr) দেখেন যে আখ গাছের (*Saccharum officinarum*) পাতায় সালোকসংশ্লেষের হার-বৃদ্ধির সাথে সাথে 4-কার্বনযুক্ত অ্যাসিড (ম্যালিক বা অ্যাসপারটিক্) এর পরিমাণ দ্রুতগতিতে বাড়তে থাকে এবং আখ ছাড়া ভুট্টা, ঘাস, মুথাঘাস জাতীয় বেশ কিছু গ্রামিনী (Graminae) ও সাইপারেসী (Cyperaceae) গোত্রীয় একবীজপত্রী উদ্ভিদেও এই একই ঘটনা ঘটে। এঁদের এই পর্যবেক্ষণকে 1966 খ্রিস্টাব্দে হ্যাচ্ (Hatch) এবং স্ল্যাক্ (Slack) নামে দুই বিজ্ঞানী দৃঢ়ভাবে সমর্থন করেন ও তাঁরা দেখেন যে, শুধুমাত্র ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিডই (3C) সালোকসংশ্লেষে একমাত্র প্রথম স্থায়ী উৎপাদিত যৌগ (First stable compound) নয় এবং বেশ কিছু একবীজপত্রী ও কয়েকটি দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে এক বিশেষ পদ্ধতিতে কার্বন সংবন্ধন হয়, যেখানে 4C অণুবিশিষ্ট জৈব অ্যাসিড ও প্রাথমিক স্থায়ী যৌগরূপে প্রস্তুত হয়। কার্বন-ডাই-অক্সাইড-এর এই বিকল্প সংবন্ধন পদ্ধতিটিকে এই দুই বিজ্ঞানীর নামানুসারে হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ কার্বন সংবন্ধন (Hatch and Slack carbon fixation) পথ এবং প্রথম স্থায়ী যৌগ C_4 অ্যাসিড হওয়ায় এটিকে C_4 চক্র (C_4 Cycle) বলা হয়। যে সমস্ত উদ্ভিদে এই চক্রের মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন ঘটে, তাদের 'C_4 উদ্ভিদ' নামে চিহ্নিত করা হয়।

10.3.7.1 C_4 উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য

1. C_4 উদ্ভিদের পাতায় নালিকা বাণ্ডিল (vascular bundle) পরিবেষ্টিত বাণ্ডিল আবরণী (bundle sheath) কোষে পর্যাপ্ত পরিমাণে ক্লোরোপ্লাস্ট উপস্থিত থাকে। আবার একে ঘিরে থাকে কয়েক স্তর মেসোফিল কোষ। বিজ্ঞানী ক্রান্জ (Kranz)-এর নামানুসারে C_4 উদ্ভিদের পাতার এই বিশেষ কলাবিন্যাস (anatomical arrangement) কে ক্রান্জ্ অ্যানাটমি (Kranz Anatomy) বলা হয়। (চিত্র নং 10.3.7.1 দেখুন)।
2. বাণ্ডিল আবরণী ও মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে দ্বিরূপতা (dimorphism) লক্ষ্য করা যায়। বাণ্ডিল আবরণীর ক্লোরোপ্লাস্টগুলি মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে আকারে বড় হয়। এছাড়া বাণ্ডিল আবরণী কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে গ্রাণা অনুপস্থিত থাকে এবং মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে সুসজ্জিত গ্রাণা লক্ষ্য করা যায়। সর্বোপরি মেসোফিল কোষ অপেক্ষা বাণ্ডিল আবরণী কোষে শ্বেতসার (starch) অনেক বেশি সুসজ্জিত থাকে এবং বাণ্ডিল আবরণী কোষে শ্বেতসারগুলি কেন্দ্রাভিমুখী (centripetally) অবস্থান করে। (চিত্র নংপ 10.3.7.1 দেখুন)।



চিত্র নং 10.3.7.1 : C_4 উদ্ভিদের একটি পাতার প্রস্থচ্ছেদ (ক্রান্জ্ কলাস্থান)
(নালিকা বাণ্ডিলকে বেষ্টন করে বাণ্ডিল আবরণী কোষ এবং একে বেষ্টন করে মেসোফিল কোষের অবস্থান লক্ষণীয়)

3. C_4 উদ্ভিদের পাতায় মেসোফিল কোষে ফসফোইনল পাইরুভেট (PEP) এবং বাণ্ডিল আবরণী কোষে রাইবিউলোজ বাই-ফসফেট (RuBP)—এই দু'ধরনের CO_2 গ্রহীতা থাকে।

4. উচ্চ তাপাংকে (30°– 45°C) C_4 উদ্ভিদ ভালো জন্মায়, ফলে গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলে অধিক আলোক তীব্রতায় এদের দ্রুত বৃদ্ধি ঘটে থাকে।

5. C_4 উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতা এবং বৃদ্ধির হার C_3 উদ্ভিদ থেকে অনেক বেশি হয়।

6. C_3 উদ্ভিদ থেকে প্রতি বর্গ এককে C_4 উদ্ভিদ অনেক কম জল ব্যবহার করে।

7. C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন (photorespiration) সম্পূর্ণ অনুপস্থিত কিংবা এর হার (rate) খুবই নগণ্য।

8. বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন গাঢ়ত্ব (oxygen concentration)-এর ওপর প্রক্রিয়াটি নির্ভরশীল নয়, ফলে অক্সিজেনের উপস্থিতি C_4 উদ্ভিদে সালেকসংশ্লেষে কোনরকম বাধা প্রদান করে না।

বিজ্ঞানী চোলেট্ (Cholet) ও অগ্রেণ্ (Ogren) C_4 উদ্ভিদকে কতগুলি বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে 3টি প্রজাতিতে ভাগ করেন। এই বৈশিষ্ট্যগুলি হল—

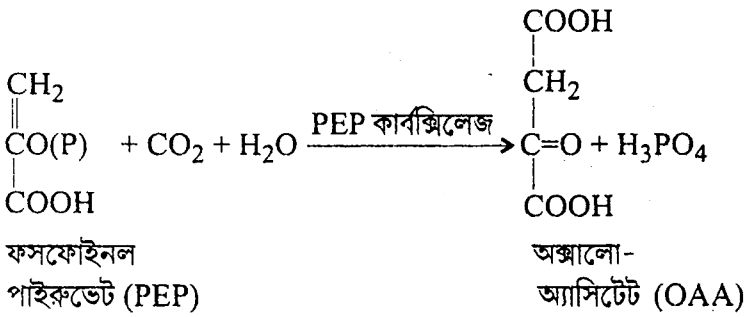
(a) চার-কার্বন অণুবিশিষ্ট (4C) অ্যাসিডের প্রকৃতি (ম্যালেট বা অ্যাসপারটেট), যা মেসোফিল কোষ থেকে বাণ্ডিল আববণী কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট প্রবেশ করে।

(b) তিন-কার্বন অণু (3C) বিশিষ্ট যৌগের প্রকৃতি (পাইরুভেট বা অ্যালনিন), যা বাণ্ডিল আবরণী কোষ থেকে মেসোফিল কোষে প্রবেশ করে।

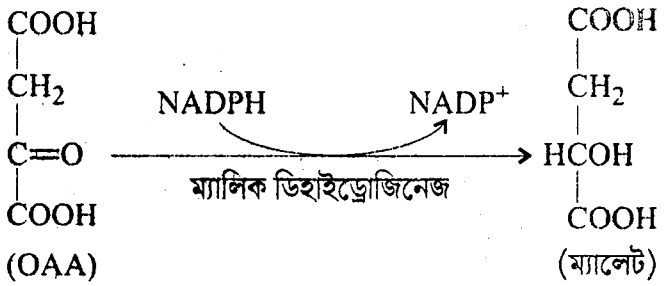
(c) বাণ্ডিল আবরণী কোষে যে উৎসেচকের উপস্থিতিতে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের বিযুক্তিকরণ ঘটে, তার প্রকৃতি এবং এই বিযুক্তিকরণ (decarboxylation)-এর অকুস্থল—সাইটোপ্লাজম, মাইটোকন্ড্রিয়া বা ক্লোরোপ্লাস্ট।

10.3.7.2 প্রজাতি বিশেষে C_4 উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি

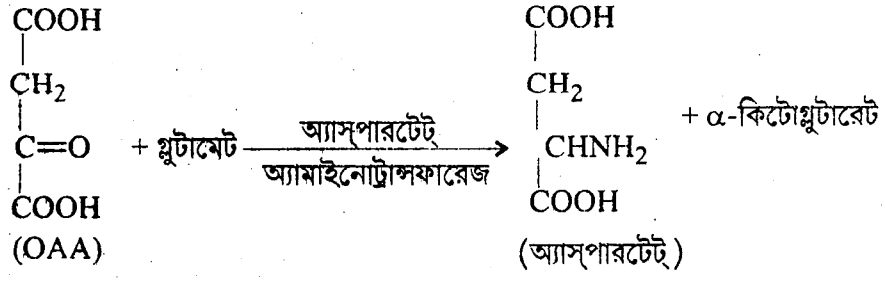
C_4 চক্রে প্রাথমিক বিক্রিয়াগুলি ক্রমপর্যায়ে ব্যাখ্যা করা হল। বিক্রিয়ার শুরুতে ফসফোইনল পাইরুভেট (Phosphoenol pyruvate বা PEP) বায়ুমণ্ডল থেকে কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2) গ্রহণ করে ও 4-কার্বন অণু (4C) বিশিষ্ট অক্সালোঅ্যাসিটেট (ocaloacetate বা OAA) রূপান্তরিত হয় এবং এই বিক্রিয়াটি ফসফোইনল পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ (phosphoenol pyruvate carboxylase বা PEP carboxylase) নামক উৎসেচক (enzyme)-এর উপস্থিতিতে ঘটে।



অক্সালোঅ্যাসিটেটের স্থায়ীত্ব কম হওয়ায় প্রজাতি বিশেষে এটি হয় ম্যালেট (malate) অথবা অ্যাসপারটেটে (aspartate) পরিণত হয়। NADP ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতিতে ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ (malic dehydrogenase) উৎসেচকের প্রভাবে এবং NADPH-এর উপস্থিতিতে OAA ম্যালেটে রূপান্তরিত হয়।

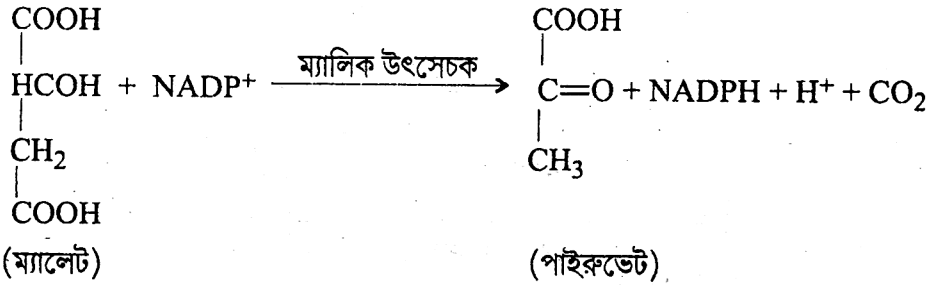


আবার NAD ম্যালিক উৎসেচক এবং PCK প্রজাতিভুক্ত C_4 উদ্ভিদে অ্যাস্পারটিক অ্যামাইনোট্রান্সফারেজ (aspartic aminotransferase) উৎসেচক এবং গ্লুটামেট (glutamate)-এর উপস্থিতিতে OAA অ্যাস্পারটেট্ (aspartate)-এ পরিণত হয়।



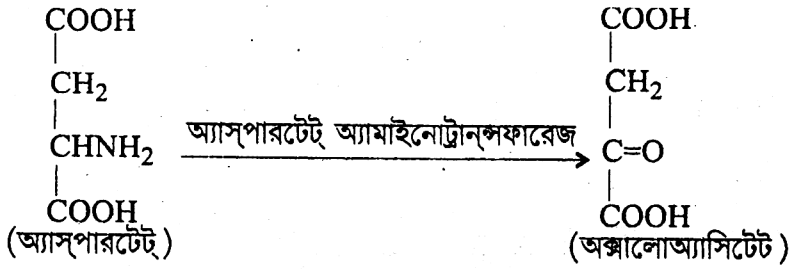
মেসোফিল কোষে প্রস্তুত এই C_4 অ্যাসিডগুলি (ম্যালেট বা অ্যাস্পারটেট্) বাণ্ডিল আববণী (bundle sheath) কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে স্থানান্তরিত হয়।

NADP ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে বাণ্ডিল আবরণী কোষে আগত ম্যালেট, $NADP^+$ ও ম্যালিক উৎসেচকের উপস্থিতিতে পাইরুভেট এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইডে ভেঙে যায়।



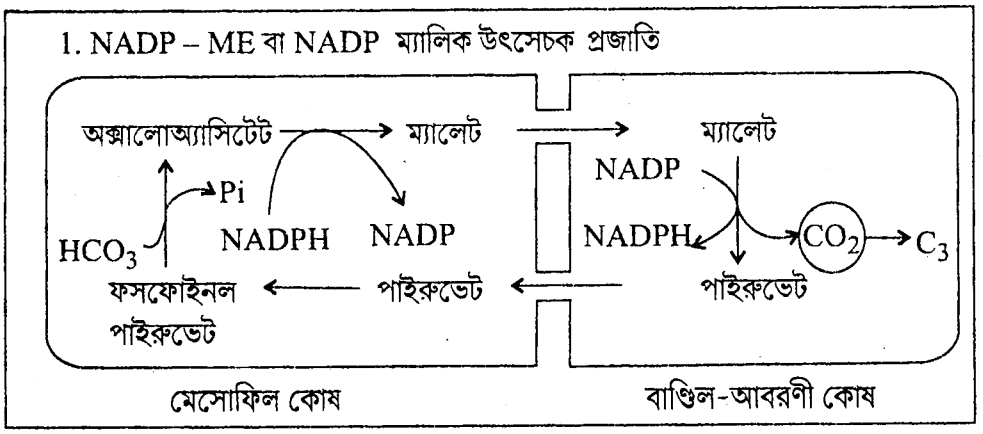
এই উদ্ভূত CO_2, কেলভিন চক্রে (C_3 চক্রে) প্রবেশ করে শর্করা প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

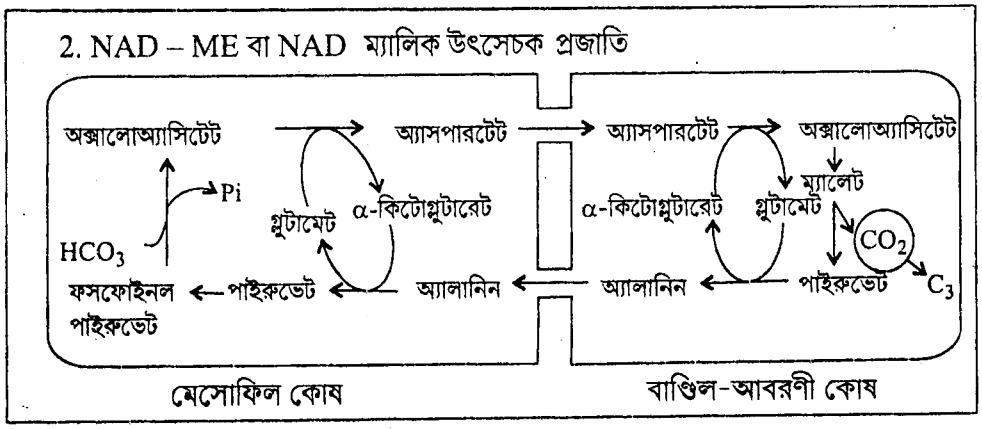
NAD ম্যালিক উৎসেচক এবং PCK প্রজাতিভুক্ত C_4 উদ্ভিদে অ্যাস্পারটেট্ ট্রান্সঅ্যামাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে অ্যাস্পারটেট্ OAA-তে রূপান্তরিত হয়।

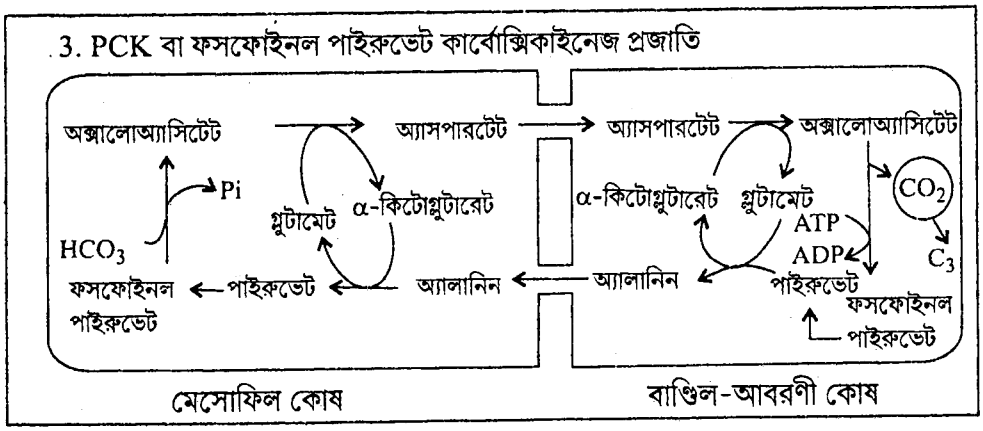


এই অ্যাস্পারটেট্ মেসোফিল কোষ থেকে সরাসরি বাণ্ডিল-আবরণী কোষে প্রবেশ করে অক্সালোঅ্যাসিটেটে (OAA) পরিণত হয়।

NAD ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে বাণ্ডিল আববণী কোষে প্রথমে OAA থেকে ম্যালেট ও পরে পাইরুভেট ও CO_2 উৎপন্ন হয় এবং PCK প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে OAA থেকে প্রথমে ফসফোইনল পাইরুভেট (PEP) ও পরে পাইরুভেট ও CO_2 উৎপন্ন হয়। এইভাবে বাণ্ডিল-আবরণী কোষে সৃষ্ট পাইরুভেট গ্লুটামেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অ্যালানিন উৎপন্ন করে এবং এটি প্লাজমোডেস্মাটা (plasmodesmata)-এর মধ্যে দিয়ে পরিবাহিত হয়ে পুনরায় মেসোফিল কোষে প্রবেশ করে এবং α-কিটোগ্লুটারেটের সঙ্গে বিক্রিয়া করে অ্যালানিন অ্যামাইনোট্রান্সফারেজ উৎসেচকের সাহায্যে পুনরায় পাইরুভেটে রূপান্তরিত হয়। এই পাইরুভেট থেকে PEP উৎপন্ন হয় যা পুনরায় CO_2 গ্রহণ করতে পারে। এইভাবে মেসোফিল কোষ ও বাণ্ডিল-আবরণী কোষের মধ্যে C_4 চক্রটি আবর্তিত হতে থাকে। (চিত্র নং 10.3.7.2 দেখুন)।







চিত্র নং 10.3.7.2 : তিনড়ি ভিন্ন প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে কার্বন স্থিতিকরণ পদ্ধতি (হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক চক্র বা C_4 চক্র)

আখ (*Saccharum*), ভুট্টা (*Zea mays*) প্রভৃতি গ্রামিনী (Gramineae)-এর বেশ কিছু উদ্ভিদ NADP ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদ। এছাড়াও *আর্টিপ্লেক্স স্পঞ্জিওসা* (*Artiplex spongiosa*), *প্যানিকাম্ মিলোসিয়াম্* (*Panicum miliaceum*)-সহ বেশ কিছু লিলিয়েসী (Liliaceae), ব্রোমেলিয়েসী (Bromeliaceae) এবং অ্যাস্ক্লেপিয়েডেসী (Asclepiadaceae)-র অধিকাংশ উদ্ভিদই NAD ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদ। আবার *প্যানিকাম্ ম্যাক্সিমাম্* (*Panicum maximum*) ও *ক্লোরিস গয়ানা* (*Chloris gayana*)-সহ ইউফরবিয়েসীর কিছু উদ্ভিদই PCK প্রজাতির অন্তর্গত।

এখানে যে বিষয়টি সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ তা হল এই যে C_4 উদ্ভিদে মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে RuBP কার্বক্সিলেজসহ কয়েকটি উৎসেচক না থাকায় C_3 চক্রটি মেসোফিল কোষে সম্পূর্ণ অনুপস্থিত থাকে। ফলে এই কোষগুলিতে কার্বন সংবন্ধন এবং শর্করা প্রস্তুতি সম্ভবপর হয় না এবং এই কারণে মেসোফিল কোষে শুধুমাত্র সালোকসংশ্লেষের আলোক-দশা (light phase) সম্পন্ন হয়। অপরদিকে বাণ্ডিল-আবরণী কোষে কার্যকরী C_3 কেলভিন চক্র উপস্থিত থাকায় এবং প্রয়োজনীয় ATP ও NADPH মেসোফিল কোষে উৎপন্ন হওয়ায় সহজেই বাণ্ডিল-আবরণী কোষে কার্বন সংবন্ধন সম্পন্ন হতে পারে।

10.3.7.3 C_4 উদ্ভিদের তাৎপর্য (Significance)

1. C_4 উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধনকারী উৎসেচক ফসফোইনল কার্বক্সিলেজ (PEP carboxylase) C_3 উদ্ভিদের RuBP কার্বক্সিলেজ অপেক্ষা বেশি কার্যকরী হওয়ায় C_4 উদ্ভিদেরা খুব কম CO_2-র উপস্থিতিতেও সালোকসংশ্লেষ করতে পারে।

2. অক্সিজেনের উপস্থিতি C_4 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষে কোনরকম বাধার সৃষ্টি করে না।

3. আলোকশ্বসন অনুপস্থিত বা নগণ্য হওয়ায় C_4 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ ক্ষমতা C_3 উদ্ভিদের থেকে বেশি হয়। এর ফলে এরা দুই থেকে তিনগুণ বেশি ফলন উৎপাদন করতে পারে।

4. C_4 উদ্ভিদেরা বেশি তাপমাত্রা (30°–45°C) ও আলোক তীব্রতা (light intensity) সহন করতে পারে বলে গ্রীষ্মপ্রধান (tropical) অঞ্চলে এরা ভালো জন্মায় ও দ্রুত বৃদ্ধি পেয়ে থাকে।

5. খুবই কম গাঢ়ত্বের (concentration) CO_2-র উপস্থিতিতে (প্রায় 10 ppm পর্যন্ত) সালোকসংশ্লেষ করতে পারে বলে মরু অঞ্চলে যে C_4 জাঙ্গল উদ্ভিদ জন্মায়, তারা পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকা সত্ত্বেও সালোকসংশ্লেষ করতে সক্ষম হয়।

10.3.7.4 C_3 এবং C_4 উদ্ভিদের মধ্যে পার্থক্য

C_3 উদ্ভিদ	C_4 উদ্ভিদ
1. অধিকাংশ সবুজ উদ্ভিদই C_3 প্রজাতির এবং এরা কেলভিন চক্রের মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন করে।	1. গ্রামিনী (Graminae) ও সাইপারেসি (Cyperaceae) সহ বিশেষ কয়েকটি উদ্ভিদ C_4 প্রজাতির এবং এরা হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্রের মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন করে।
2. প্রাথমিক CO_2 গ্রাহক 5C অণুবিশিষ্ট রাইবিউলোজ বিসফসফেট বা RuBP।	2. প্রাথমিক CO_2 গ্রাহক 3C অণুবিশিষ্ট ফসফোইনল পাইরুভেট বা PEP।
3. প্রাথমিক স্থায়ী যৌগ 3C অণুবিশিষ্ট ফসফোগ্লিসারেট বা PGA।	3. প্রাথমিক স্থায়ী যৌগ 4C অণুবিশিষ্ট অক্সালোঅ্যাসিটেট বা OAA।
4. ক্লোরোপ্লাস্ট একই ধরনের (monomorphic) হয়।	4. বাণ্ডিল-আবরণী ক্লোরোপ্লাস্ট এবং মেসোফিল ক্লোরোপ্লাস্টে দ্বিরূপতা (dimorphism) লক্ষ্য করা যায়।
5. পাতার কলাস্থান (anatomy) স্বাভাবিক।	5. পাতার কলাস্থান (anatomy) ক্রান্জ্ প্রকৃতির (Kranz type)।
6. প্রতিটি ক্লোরোপ্লাস্টে দুইটি রঞ্জকক্রম PS I ও PS II উপস্থিত থাকে।	6. বাণ্ডিল-আবরণী কোষে PS II অনুপস্থিত থাকে।
7. কেলভিন চক্র মেসোফিল ক্লোরোপ্লাস্টে সম্পন্ন হয়।	7. কেলভিন চক্র বাণ্ডিল-আবরণী ক্লোরোপ্লাস্টে সম্পন্ন হয়।
8. শুধুমাত্র C_3 চক্র উপস্থিত।	8. C_3 এবং C_4 উভয় চক্রই উপস্থিত।
9. আলোকশ্বসন উপস্থিত এবং এর হার বেশি।	9. আলোকশ্বসন সম্পূর্ণ অনুপস্থিত বা এর হার খুবই কম।
10. CO_2 ক্ষয়পূরণ বিন্দু (compensation point) 50–150 ppm CO_2।	10. CO_2 ক্ষয়পূরণ বিন্দু 0–10 ppm CO_2।
11. পাতার ভিতরে CO_2 গাঢ়ত্ব (concentration) প্রায় 200 ppm থাকে।	11. পাতার ভিতরে CO_2 গাঢ়ত্ব প্রায় 100 ppm থাকে।
12. বায়ুমণ্ডলে CO_2-র ঘনত্ব কম থাকলে কম CO_2 গৃহীত হয়, ফলে এই জাতীয় উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতা (photosynthetic efficiency) কম হয় কারণ RuBPcase-এর কার্যকরী ক্ষমতা কম।	12. বায়ুমণ্ডলে খুব কম CO_2 ঘনত্বেও PEP কার্যকরী হয়, ফলে এই জাতীয় উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতা বেশি হয়।
13. O_2-এর ঘনত্ব (concentration) বৃদ্ধি পেলে সালোকসংশ্লেষের হার (rate) কমে যায়।	13. O_2-এর ঘনত্ব বাড়া বা কমার সঙ্গে সালোকসংশ্লেষের হারে তারতম্য হয় না।

C_3 উদ্ভিদ	C_4 উদ্ভিদ
14. পরম তাপমাত্রা (optinum temperature) 10 – 25°C।	14. পরম তাপমাত্রা 30–45°C (ফলে উষ্ণ অঞ্চলে ভাল জন্মায়)।
15. পূর্ণ সূর্যালোকে সালোকসংশ্লেষের হার (rate) হল 15–25 মিলিগ্রাম CO_2 / ডেসিমিটার^2 পাতার আয়তন (leaf area)/ ঘণ্টা (hour)।	15. পূর্ণ সূর্যালোকে সালোকসংশ্লেষের হার হল 30–40 মিলিগ্রাম CO_2/ডেসিমিটার^2 পাতার আয়তন (leaf area)/ ঘণ্টা (hour)।
16. প্রতি অণু গ্লুকোজ প্রস্তুতিতে 18টি ATP প্রয়োজন হয়।	16. প্রতি অণু গ্লুকোজ প্রস্তুতিতে 30টি ATP প্রয়োজন হয়।

10.3.8 ক্র্যাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক বা CAM

শুষ্কপ্রায় (semi-arid) অঞ্চলে কিছু রসাল-পত্র (succulent) উদ্ভিদ জন্মায়, যারা এক বিশেষ পদ্ধতিতে সালোকসংশ্লেষকালে কার্বন সংবন্ধন করে থাকে। দেখা গেছে যে এইসব উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্র(stomata) দিবালোকে বন্ধ ও রাত্রিকালে খোলা থাকে এবং শুধু তাই-ই নয় সন্ধ্যা এবং রাত্রিকালে এদের পাতায় জৈব অ্যাসিডের (organic acid) মাত্রা বৃদ্ধি পায় এবং দিনের বেলায় তা স্বাভাবিক হয়ে আসে। এই উল্লেখযোগ্য ঘটনাটি সর্বপ্রথম ক্র্যাসুলেসী গোত্রের (Crassulaceae family) অন্তর্গত কিছু উদ্ভিদে যেমন *ব্রায়োফাইলাম* (*Bryophyllum*), ক্যালান্‌চো (*Kalanchoe*) প্রভৃতিতে পরিলক্ষিত হয় বলে সালোকসংশ্লেষের এই বিশেষ পদ্ধতিটিকে ক্র্যাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism বা CAM) বলা হয় এবং যে সমস্ত উদ্ভিদ এই CAM-এর মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন করে তাদের CAM উদ্ভিদ বলা হয়। ক্র্যাসুলেসি (Crassulaceae) ছাড়াও ক্যাক্‌টেসি (Cactaceae), অর্কিডেসি (Orchidaceae), ব্রোমেলিয়েসি (Bromeliaceae), লিলিয়েসি (Liliaceae), অ্যাসক্লেপিয়েডেসি (Asclepiadaceae), ভিটেসি (Vitaceae) এবং ইউফরবিয়েসি (Euphorbiaceae)-র অন্তর্গত বেশ কিছু উদ্ভিদে CAM-এর মাধ্যমে সালোকসংশ্লেষ সম্পন্ন হয়।

10.3.8.2 CAM উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য

1. CAM উদ্ভিদ রাত্রিবেলায় CO_2 গ্রহণ করে এবং প্রচুর পরিমাণে ম্যালেট সঞ্চিত করে রাখে।
2. অধিকাংশ CAM উদ্ভিদই রসাল পত্রবিশিষ্ট (succulent type) হয় এবং সাধারণত এদের পাতা পুরু (fleshy) হয়ে থাকে। অবশ্য মনে রাখা দরকার যে সব রসাল উদ্ভিদই (succulent)-ই CAM উদ্ভিদ নয় (যেমন *স্যালিকর্নিয়া* বা *Salicornia*)।

3. CAM উদ্ভিদের পাতার কোষের ভিতরে বড় বড় গহ্বর (vacuole) থাকে এবং এগুলির মধ্যে রাত্রিবেলায় ম্যালিক অ্যাসিড (malale) সঞ্চিত হবার ফলে রাত্রে কোষের রস (sap)-এর pH উল্লেখযোগ্যভাবে কমে যায়।

4. পত্ররন্ধ্র (stomata) খোলা ও বন্ধে দিবাচর প্রকৃতি (diurnal pattern) লক্ষ্য করা যায় এবং এগুলি দিনের বেলায় বন্ধ ও রাত্রে খোলা থাকে।

5. পত্ররন্ধ্র দিবালোকে বন্ধ থাকায় CAM উদ্ভিদরা জল সংরক্ষণে (conservation) গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে এবং গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলে (tropical climate) অত্যন্ত শুষ্ক (dry) আবহাওয়ায় নিজেদের ভালভাবে খাপ খাইয়ে নিতে পারে।

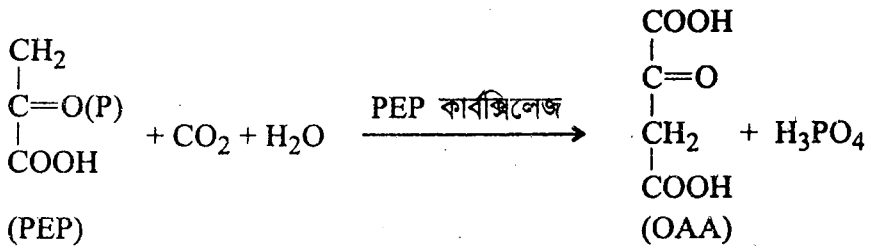
6. CAM উদ্ভিদের পাতায় রাত্রিবেলায় অ্যাসিডের পরিমাণ বারবার সাথে সাথে সঞ্চিত শর্করার পরিমাণ হ্রাস পায়, অপরদিকে দিনেরবেলায় অ্যাসিডের পরিমাণ হ্রাস ও শর্করার পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

7. জাঙ্গল উদ্ভিদ (xerophytes)-এর কিছু বৈশিষ্ট্য যেমন পুরু অন্তস্ত্বক (thick cuticle) নিমজ্জিত পত্ররন্ধ্র (sunken stomata), কাঁটা (thorn), অপেক্ষাকৃত কম বাষ্পমোচনের হার (transpiration rate) CAM উদ্ভিদে লক্ষ্য করা যায়।

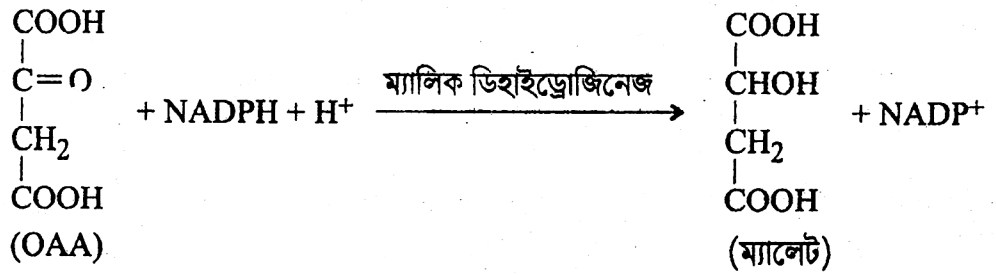
10.3.8.2 CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি (CAM চক্র)

CAM উদ্ভিদ কর্তৃক কার্বন সংবন্ধন অনেকাংশেই C_4 চক্র বা হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ পথের (Hatch & Slack pathway) অনুরূপ।

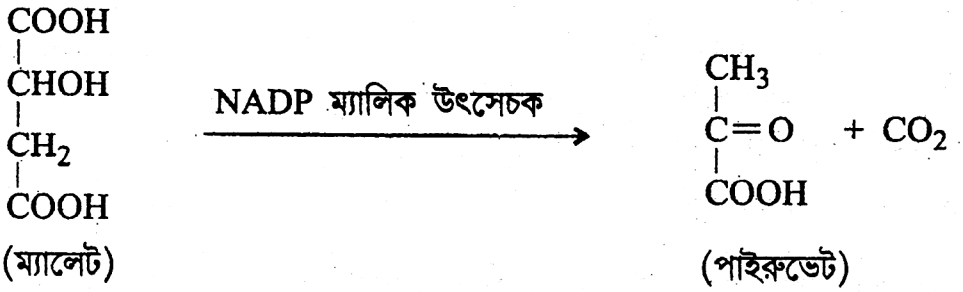
1. CAM উদ্ভিদে পত্ররন্ধ্র (stomata) দিনের বেলায় বন্ধ থাকে এবং রাত্রে পত্ররন্ধ্র খোলামাত্র CO_2 কোষে প্রবেশ করে। ফসফোইনল কার্বক্সিলেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে PEP বা ফসফোইনল পাইরুভেট এই CO_2-কে গ্রহণ করে ও অক্সালোঅ্যাসিটেটে (oxaloacetate বা OAA) পরিণত হয়।



2. ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে এবং NADPH-এর সাহায্যে অক্সালোঅ্যাসিটেট (OAA) ম্যালেটে রূপান্তরিত হয়।

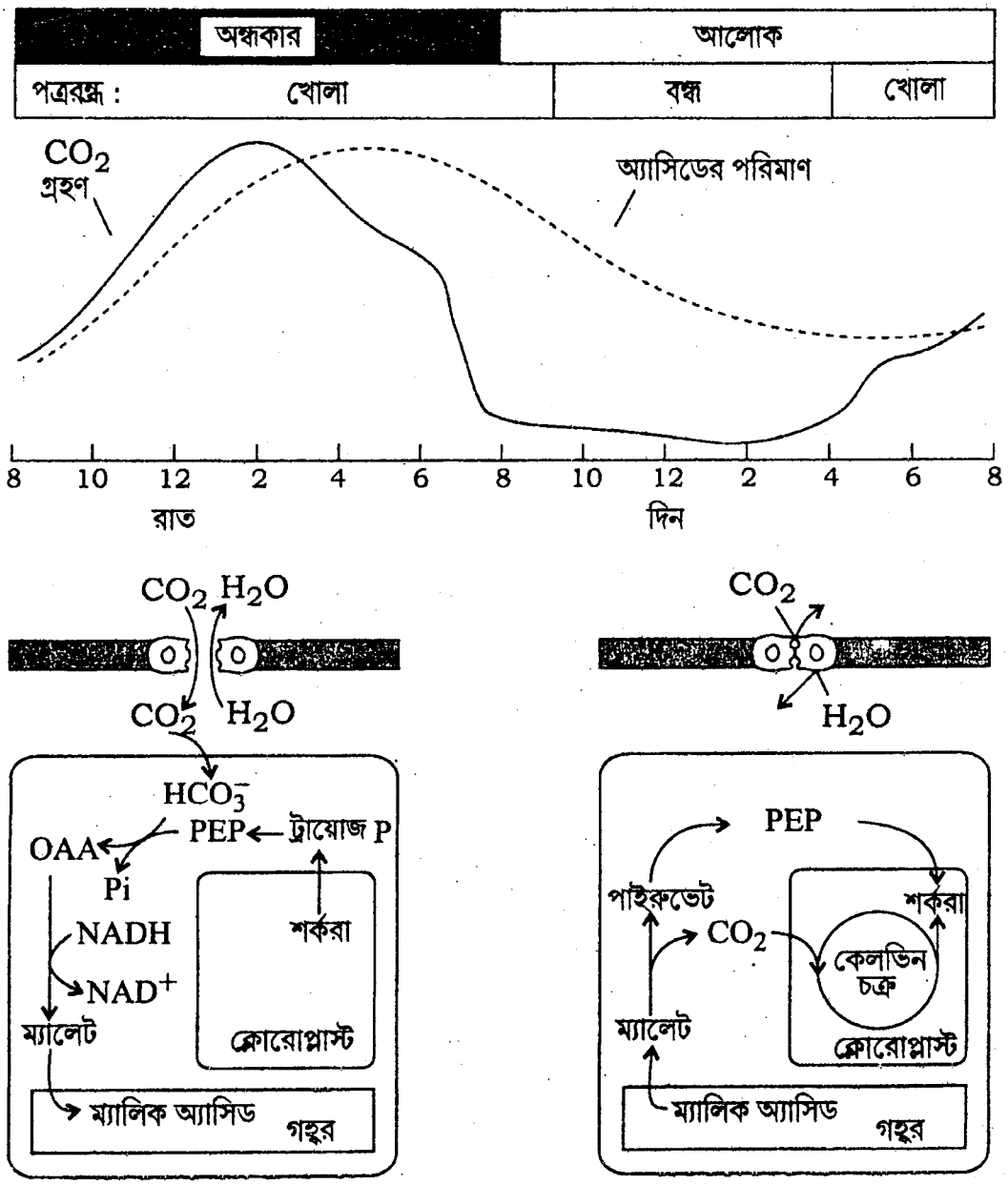


3. এইভাবে পাতায় রাত্রিবেলায় যে ম্যালেট প্রস্তুত হয়, তা পাতার কোষগহ্বর (vacuole) সঞ্চিত থাকে। দিনের বেলায় এই সঞ্চিত ম্যালেট কোষগহ্বর থেকে বাইরে আসে এবং ডিকার্বক্সিলেশনের (decarboxylation) ফলে পাইরুভেটে রূপান্তরিত হয় এবং CO_2 নির্গত করে।



4. এই উদ্ভূত CO_2 ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং কেলভিন চক্রের উৎসেচক-এর সহায়তায় CO_3 চক্রের মাধ্যমে শর্করা উৎপাদন করে। অপরদিকে পাইরুভেট থেকে ফসফোইনল পাইরুভেট (PEP) তৈরি হয়, যা আবার রাত্রিবেলায় CO_2 কে গ্রহণ করতে ব্যবহৃত হয় এবং শর্করা প্রস্তুতে সাহায্য করে। চিত্র নং 10.3.8 তে CAM চক্র বিস্তারিতভাবে দেখান হল।

কাজেই দেখা যায় যে C_4 এবং CAM উভয়প্রকার উদ্ভিদেই CO_2 সংবন্ধনের সময় C_3 কেলভিন চক্র এবং C_4 চক্র ব্যবহার করে থাকে। C_4 উদ্ভিদের পাতায় মেসোফিল এবং বাণ্ডিল আবরণী এই দুটি পৃথক কোষে যথাক্রমে চক্র দুটি আবর্তিত হয়। অপরদিকে CAM উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই একই প্রক্রিয়া (অর্থাৎ C_4 এবং C_3 চক্র) পাতার একই মেসোফিল কোষে সম্পন্ন হয় এবং এই চক্র দুটির একটি রাত্রে ও একটি দিনেরবেলায় ঘটে তাকে। এই কারণে CAM উদ্ভিদকে অনেক সময় রাত্রিকালীন C_4 উদ্ভিদ (night C_4 plant) আখ্যা দেওয়া হয়।



চিত্র নং 10.3.8 : লেখচিত্রের মাধ্যমে দেখা যাচ্ছে যে CAM উদ্ভিদ দিবালোকে ও রাত্রিকালে CO_2-এর গ্রহণের পরিমাণ ও কোষগহ্বরে সঞ্চিত অ্যাসিডের পরিমাণ কীভাবে হ্রাসবৃদ্ধি ঘটছে। নিচের চিত্রে যে পদ্ধতিতে CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন হয় তা বিস্তারিতভাবে বোঝানো হচ্ছে।

10.3.8.3 CAM-এর তাৎপর্য (Significance)

অধিকাংশ CAM উদ্ভিদই মরু অঞ্চলে (desert area) বালিতে ও মাটিতে জন্মায়, যেখানে জল প্রায় অমিল বললেই চলে। কাজেই CAM উদ্ভিদেরা জল সংরক্ষণের জন্য শুধুমাত্র ঠাণ্ডা রাতের বেলায় পত্ররন্ধ্র খোলা রাখে এবং শুষ্ক (dry) গরম দিবালোকে বন্ধ করে দেয়। এভাবে পত্ররন্ধ্র বন্ধ রাখার ফলে দিনের বেলায় বাষ্পমোচন (transpiration)-এর মাধ্যমে জল নির্গত হবার সম্ভাবনা কমে যায়। এছাড়াও CAM উদ্ভিদের পাতার অন্তস্ত্বক (cuticle) রসাল ও পাতা পুরু হওয়ায় এবং নিমজ্জিত পত্ররন্ধ্র (sunken stomata) থাকায় বাষ্পমোচনের হার C_3 বা C_4 উদ্ভিদের থেকে অনেক কম হয়। দেখা গেছে যে CAM উদ্ভিদ যেখানে সালোকসংশ্লেষে প্রতি গ্রাম কার্বন-ডাই-অক্সাইড গ্রহণ করতে 50–100g জল ব্যবহার করে, সেখানে C_3 ও C_4 উদ্ভিদে এর পরিমাণ হল যথাক্রমে 400–500g এবং 250–300g।

CAM উদ্ভিদে কার্বন আত্তীকরণ (assimilation)-এর হার C_3 উদ্ভিদের অর্ধেক এবং C_4 উদ্ভিদের এক-তৃতীয়াংশ $\left(\frac{1}{3}\right)$ হলেও এদের বৈশিষ্ট্য এই যে জলের অভাবে যখন C_3 ও C_4 উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ প্রায় বন্ধ হয়ে যায়, CAM উদ্ভিদ তখনও CO_2 গ্রহণ করে সালোকসংশ্লেষ চালাতে সক্ষম হয়। এছাড়াও এরা শ্বসনের সময় নির্গত CO_2 কে ধরে রাখে (retain)। এভাবে কার্বন অণুকে বিনষ্ট না হতে দিয়ে তাকে ব্যবহার করতে পারার জন্য দীর্ঘ সময় ধরে খরা (drought) চললেও সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে এরা একটা নির্দিষ্ট শুষ্ক ওজন (dry weight) বজায় রাখতে সক্ষম হয়।

ক্যাক্টাস (Cactus) জাতীয় কিছু জাঙ্গল উদ্ভিদ (xerophytes) CAM চক্রের মাধ্যমে কার্বন অণু সংবন্ধন করলেও বেশ কিছু রসাল উদ্ভিদ (succulent) আছে, যাদের সম্পূর্ণরূপে CAM (obiligatory CAM) বলা চলে না। যেমন *মেসেনব্রায়েনথিমাম ক্রিস্টালিনাম* (*Mesenbryantheumum crystallinum*) নামক একটি রসাল উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষের কার্বন সংবন্ধনের সময় এক অদ্ভুত আচরণ করে। জলের প্রাচুর্যতা (sufficiency) থাকলে এই উদ্ভিদটি C_3 উদ্ভিদের মতো আচরণ করে এবং C_3 কেলভিন চক্রের মাধ্যমে কার্বন অণু সংবন্ধন করে। এক্ষেত্রে পত্ররন্ধ্র খোলা বা বন্ধ এবং রাত্রে পাতায় অ্যাসিডিকরণ (acidification)-সংক্রান্ত কোন বৈশিষ্ট্যই এরা দেখায় না। আবার এই একই উদ্ভিদ শুষ্ক গ্রীষ্মপ্রধান (tropical) অঞ্চলে জন্মালে কিংবা মাটিতে নুনের ভাগ বেশি এরকম শারীরবৃত্তীয় শুষ্ক (physiologically dry) মাটিতে জন্মালে এরা CAM উদ্ভিদের মতো ব্যবহার করে এবং CAM চক্রের মাধ্যমে কার্বন অণু সংবন্ধন করে। বিজ্ঞানী উইন্টার ও ট্রাওটন্ (Winter and Troughton), 1978 খ্রিস্টাব্দে পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করে দেখিয়েছেন যে কোন একটি উদ্ভিদে CAM-এর বৈশিষ্ট্য জীন-বাহিত হয়ে বংশানুক্রমে অর্জিত (hereditary) হলেও কিছু ক্ষেত্রে এটি পরিবেশের ওপর নির্ভরশীল হয় এবং এমন কিছু CAM উদ্ভিদ (facultative) আছে যারা দিনের বেলায় বৃষ্টির জল পেলে তাদের পত্ররন্ধ্র খোলা রাখে এবং তখন তারা C_3 চক্রের মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন করে।

আলোক নিয়ন্ত্রিত উৎসেচক (Light Regulated Enzymes)

সালোকসংশ্লেষের আলোক নিরপেক্ষ দশায় (dark phase বা light independent) এমন কয়েকটি উৎসেচক ব্যবহৃত হয়, যারা কেবলমাত্র আলোকের উপস্থিতিতেই সক্রিয় (activated) হয় এবং আলোকের অনুপস্থিতিতে এরা কাজ করতে অক্ষম হয়। এরকম পাঁচটি উৎসেচক হল—

1. রাইবিউলোজ বাইফসফেট কার্বক্সিলেজ (RuBP carboxylase)
2. গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ (glyceraldehyde 3-phosphate dehydrogenase)
3. ফ্র্যাকটোজ বাইফসফেট ফসফেটেজ্ (fructose bi-phosphate phosphatase)
4. সেডোহেপ্টুলোজ বাইফসফেট ফসফেটেজ্ (sedoheptulose bi-phosphate phosphatase)
5. ফসফোরাইবিউলো-কাইনেজ্ (phosphoribulo kinase)

সালোকসংশ্লেষ প্রতিরোধক (Inhibitors of Photosynthesis)

কিছু ইউরিয়াজাত পদার্থ যেমন ক্লোরোফিনাইল ডাইমিথাইনইউরিয়া (chlorophenyl dimethylurea বা CMU) এবং ডাইক্লোরোফিনাইল ডাইমিথাইলইউরিয়া (dichlorophenyl dimethylurea বা DCMU) সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় PS II ক্রমে Q থেকে PQ-এ ইলেকট্রন স্থানান্তরণ বন্ধ করে দেয়। এছাড়াও সিমাজিন (simazine), অ্যাট্রাজিন (atrazine), ব্রোমাসিল (bromacil) ও আইসোসিল (isocyl) নামক যৌগরাও একই কাজ করে থাকে। প্রায় একইভাবে ডাইকোয়াট (diquat) এবং প্যারাকোয়াট (paraquat) যৌগ দুটি সাধারণভাবে ভায়ালোজেন রঞ্জক (viologen dye) নামে পরিচিত এবং সালোকসংশ্লেষের আলোক দশা চলা কালে এরা PS I থেকে ফেরেডক্সিন (Fd)-এ ইলেকট্রন প্রবেশের সময় সেটিকে গ্রহণ করে ও ক্ষতিকর (harmful) সুপারঅক্সাইড (superoxide) প্রস্তুত করে সালোকসংশ্লেষ বন্ধ করে দেয়।

অনুশীলনী : 2

1. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) কেলভিন চক্রে 3C অণুবিশিষ্ট প্রাথমিক স্থায়ী যৌগটি হল _____।

(b) হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্রে 4C অণুবিশিষ্ট প্রাথমিক স্থায়ী যৌগটি হল _____।

(c) C_3 চক্রে _____ যৌগটি থেকে গ্লুকোজ, সুক্রোজসহ অন্যান্য শ্বেতসার জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়।

(d) 7C অণুবিশিষ্ট একটি সালোকসংশ্লেষীয় যৌগ হল _____।

(e) C_3 উদ্ভিদের _____ কোষে কেলভিন চক্র ঘটে।

2. সঠিক উত্তরটি চিহ্নিত করুন :

(a) C_4 উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাস্টে (এক / দুই) ধরনের CO_2 গ্রহীতা থাকে।

(b) ক্রান্জ্ কলাস্থান (Kranz anatomy) লক্ষ্য করা যায় C_3 / C_4 / CAM উদ্ভিদের পাতায়

(c) সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতা বেশি হয় C_3 / C_4 উদ্ভিদে।

(d) CAM উদ্ভিদে বাষ্পমোচনের হার (নগণ্য / বেশি / স্বাভাবিক)।

(e) ক্যাক্টাস গাছ C_3 / C_4 / CAM চক্রের মাধ্যমে C অণু সংবন্ধন করে থাকে।

3. ডানদিকের অংশের সঙ্গে বামদিকের অংশ সঠিকভাবে অংশ সঠিকভাবে মেলান :

(a) ক্লোরোপ্লাস্ট দ্বিরূপতা	(i) CAM উদ্ভিদে
(b) আলোক-শ্বসন বেশি হয়	(ii) DCMU
(c) সালোকসংশ্লেষ প্রতিরোধক যৌগ	(iii) C_4 উদ্ভিদে
(d) রাত্রে পত্ররন্ধ্র খোলা থাকে	(iv) RuBP কার্বক্সিলেজ
(e) আলোক নিয়ন্ত্রক উৎসেচক	(v) C_3 উদ্ভিদ

10.3 ব্যাকটিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ

একধরনের ব্যাক্টিরিয়া আছে, যাদের ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল (bacteriochlorophyll), ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল (chlorobium chlorophyll), ক্যারোটিনয়েড প্রভৃতি রঞ্জকপদার্থগুলি আলোক শোষণ করে এবং এই শোষিত আলোকশক্তির সাহায্যে এরা সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে খাদ্য প্রস্তুত করতে পারে। এইজাতীয় ব্যাকটিরিয়াদের সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়া (photosynthetic bacteria) বলা হয়।

সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়াগুলির খাদ্য প্রস্তুত করবার প্রণালী অনেকাংশেই উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের মতন। ব্যাকটিরিয়ার ক্ষেত্রে জলের পরিবর্তে হাইড্রোজেন সালফাইড (H_2S) ইলেকট্রন দাতা (electron donor) রূপে কাজ করে, ফলে ব্যাক্টিরিয়ার সালোকসংশ্লেষকে সাধারণভাবে এভাবে প্রকাশ করা যায়—

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow{\text{আলোক}} 12S + 6H_2O + C_6H_{12}O_6 + \text{শক্তি}$$

এক্ষেত্রে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় না, এর পরিবর্তে সালফার (S) এবং শক্তি (energy) নির্গত হয়। উদ্ভূত এই শক্তির সাহায্যেই CO_2 বিজারিত হয় এবং শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়।

একটি ব্যাক্টিরিয়ার ক্রোমাটোফোরে রঞ্জকের উপস্থিতি এবং কোন যৌগ CO_2 বিজারণের অংশগ্রহণ করছে তার ওপর ভিত্তি করে সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়াকে সাধারণভাবে তিন ভাগে ভাগ করা যায়—

(a) সবুজ-সালফার ব্যাক্টিরিয়া (Green-Sulphur Bacteria) :

ক্লোরোবিয়াম (*Chorobium*), *ক্লোরোসিউডোমোনাস* (*Chloropseudomonas*), *ক্লোরোব্যাক্টিরিয়াম* (*Chlorobacterium*) জাতীয় কিছু ব্যাক্টিরিয়া এই শ্রেণীভুক্ত। এরা সাধারণত আলোকিত জায়গায় H_2S সমন্বিত মাধ্যমে জন্মায়। এই সবুজ-সালফার ব্যাক্টিরিয়ায় ক্লোরোফিলের মতো রঞ্জক (pigment) ব্যাক্টিরিওভিরিডিন (bacterioviridin) বা ব্যাক্টিরিওপারপিউরিন (bacteriopurpurin) থাকে এবং এদের ক্লোরোফিলকে ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল (Cglorobium chlorophyll) বলা হয়।

এই শ্রেণীভুক্ত ব্যাক্টিরিয়া কার্বন বিজারণের জন্য H_2S কে ব্যবহার করে। সবুজ শৈবাল (green algae) ও উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদের মত এই ব্যাক্টিরিয়ার বিভিন্ন ক্লোরোফিল অণুগুলি একত্রিত অবস্থায় সালোকসংশ্লেষকারী একক (photosynthetic unit) গঠন করে। বিভিন্ন ক্লোরোফিল অণু কর্তৃক শোষিত হবার পর আলোকশক্তি বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre) স্থানান্তরিত হয় এবং এখানেই H_2S-এর সাহায্যে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের সালোক বিজারণ ঘটে—

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow[\text{ক্রোমাটোফোর}]{\text{সূর্যালোক}} C_2H_{12}O_6 + 12S + 6H_2O + \text{শক্তি}$$

এক্ষেত্রে লক্ষ্য করার বিষয় হল এই যে সবুজ-সালফার ব্যাক্টিরিয়ায় অক্সিজেনের পরিবর্তে সালফার নিস্তৃত হয় এবং শর্করা প্রস্তুতির সময় শক্তি নির্গত হয়—যা উন্নত উদ্ভিদের থেকে এদের ভিন্নতা প্রকাশ করে।

(b) বেগুনী-লোহিত সালফার ব্যাক্টিরিয়া (Purple-Sulphur Bacteria) :

ক্রোম্যাটিয়াম (*Chromatium*) এবং *থায়োস্পিরিলাম* (*Thiospirillum*) এই শ্রেণীভুক্ত ব্যাক্টিরিয়া। এরা সবুজ-সালফার ব্যাক্টিরিয়ার সাথে একই সঙ্গে একই পরিবেশে অর্থাৎ H_2S সমন্বিত মাধ্যমে আলোকিত স্থানে জন্মায়। এই নীলাভ-সবুজ ব্যাক্টিরিয়ায় ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল (bacteriochlorophyll) -a ও -b নামে দুটি রঞ্জকপদার্থ (pigment) ছাড়াও প্রচুর পরিমাণে ক্যারোটিনয়েড (carotenoid) যৌগ উপস্থিত থাকে। *ক্রোমাটিয়াম* (*Chromatium*) বিভিন্ন সালফার যৌগ, যেমন সোডিয়াম থায়োসালফেট ($Na_2S_2O_3$) অথবা সেলেনিয়াম (Selenium) জাতীয় যৌগের সঙ্গে বিক্রিয়া করে ও CO_2 কে বিজারিত করে।

$$2CO_2 + 5H_2O + Na_2S_2O_3 \xrightarrow[\text{ক্রোমাটোফোর}]{\text{সূর্যালোক}} 2(CH_2O) + 2H_2O + 2NaHSO_4 + \text{শক্তি}$$

(c) সালফারবিহীন ব্যাকটিরিয়া (Non-sulphur Bacteria) :

রোডোস্পাইরিলাম (*Rhodospirillum*) এবং *রোডোসিউডোমোনাস* (*Rhodopseudomonas*) এই শ্রেণীভুক্ত ব্যাক্টিরিয়া। এদের ক্রোমোটোফোরে ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল -a ও -b থাকে। এই প্রজাতির ব্যাক্টিরিয়ারা জৈব অ্যাসিড ও অ্যাল্কোহলের উপস্থিতিতে বাঁচতে পারে এবং H_2S-এর পরিবর্তে অ্যালকোহল (alcohol) অথবা ম্যালিক (malic) বা সাক্সিনিক (succinic) অ্যাসিডকে জারিত করে CO_2-এর বিজারণ ঘটায়। বিক্রিয়ার সময় ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল সূর্যালোকের অবলোহিত (infra-red) আলোক শোষণ করে এবং ঐ শোষিত শক্তির সাহায্যে কার্বনের বিজারণ ঘটায়।

$$\underset{\text{(আইসোপ্রোপাইল অ্যালকোহল)}}{2CH_3CHOHCH_3} + CO_2 \xrightarrow[\text{ক্রোমাটোফোর}]{\text{সূর্যালোক}} \underset{\text{(অ্যাসিটোন)}}{CH_2O + 2CH_3COCH_3} + H_2O + \text{শক্তি}$$

10.4.1 ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের অকুস্থল (Locale)

প্রকৃত ক্লোরোপ্লাস্টের মতো আদর্শ কোষ-অঙ্গাণু (organalle) ব্যাকটিরিয়ায় না থাকলেও সালোকসংশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় রঞ্জকপদার্থ (pigment) প্রোটিনের সাথে যুক্ত হয়ে 500 – 600Å ব্যাসযুক্ত থলির মতো ভেসিক্ল (vesicle) গঠন করে। বিজ্ঞানী স্ট্যানিয়র (Stanier) ও তাঁর সংকর্মীরা (coworkers) 1952 খ্রিস্টাব্দে এই ভেসিক্লগুলিকে 'ক্রোমাটোফোর' (Chromatophore) আখ্যা দেন এবং এই ক্রোমাটোফোরই হল ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের প্রধান অকুস্থল। প্রজাতিভেদে ক্রোমোটোফোরগুলির গঠন চাক্তি (saucer), পেয়ালা (cup) অথবা ডিম্বাকৃতি (oval) হয়ে থাকে। প্রতিটি ক্রোমাটোফোর কতগুলি সালোকসংশ্লেষীয় একক (photosynthetic unit)-এর সমন্বয়ে গঠিত। *রোডোস্পাইরিলাম স্ফিরয়েড্স্* (*Rhodospirillum sphaeroids*)-এর ক্রোমাটোফোর পৃথক করে দেখা গেছে যে এতে 40টি বিক্রিয়াকেন্দ্র (reaction centre complex), 500টি আলোক গ্রহণ যৌগ (light harvesting complex) এবং প্রায় 1000টি ক্যারোটিনয়েড এবং 1000টি ইউবিকুইনোন অণু থাকে।

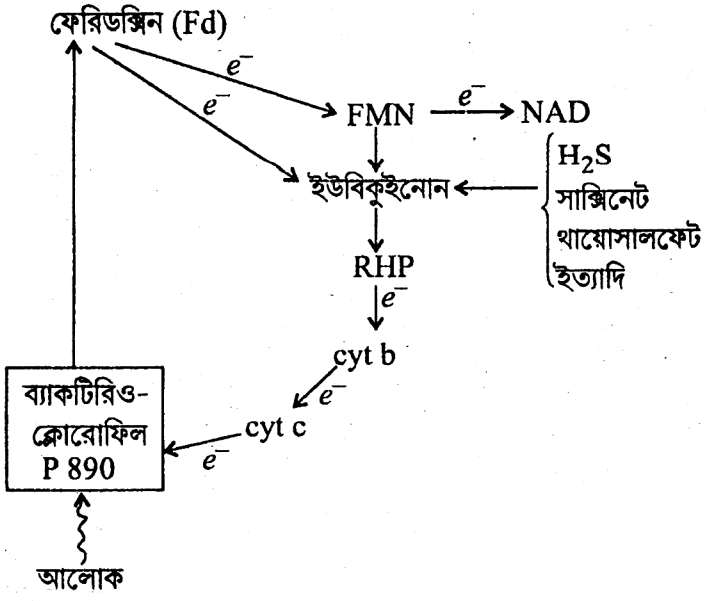
10.4.2 ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি (Mechanism)

সবুজ শৈবাল (green algae) ও উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদ (higher plants)-এর মতো ব্যাক্টিরিয়ার বিভিন্ন ক্লোরোফিল (ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল, ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল ইত্যাদি) অণুগুলি একত্রিত হয়ে সালোকসংশ্লেষকারী একক (photosynthetic unit) গঠন করে। এই এককে একাধিক ক্লোরোফিল অণু দ্বারা আলোক শোষিত হবার পর সেটি বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre) স্থানান্তরিত হয়।

রোডোস্পাইরিলাম রুব্রাম (*Rhodospirillum rubram*) নামক ব্যাকটিরিয়ার সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি এবং সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় (light phase)-এ ইলেকট্রন প্রবাহ কীভাবে ঘটে, তা বিজ্ঞানী ভার্নন (Vernon) 1964 খ্রিস্টাব্দে ব্যাখ্যা করেন। তাঁর মতে ব্যাকটিরিওক্লোরোফিলে আলোক পড়া মাত্র একাধিক

ক্লোরোফিল অণু কর্তৃক শোষিত আলোকশক্তি এর বিক্রিয়াকেন্দ্রে অবস্থিত P_{890} ক্লোরোফিল অণুতে এসে পৌঁছায়। উত্তেজিত P_{890} ক্লোরোফিল অণুটি ফলে উত্তেজিত (excited) হয় এবং একটি ইলেকট্রন নির্গত করে। এই নির্গত ইলেকট্রন (e^-) ফেরেডক্সিন (ferredoxin) এবং ফ্ল্যাভোপ্রোটিন (flavoprotein বা FMN)-এর মাধ্যমে প্রবাহিত হয় NAD^+ কে বিজারিত করে। ফেরেজক্সিন NAD রিডাক্টেজ (ferredoxin NAD reductase) নামক উৎসেচকের উপস্থিতিতে এই বিজারণ ঘটে এবং NAD থেকে $NADH+H^+$ উৎপন্ন হয়।

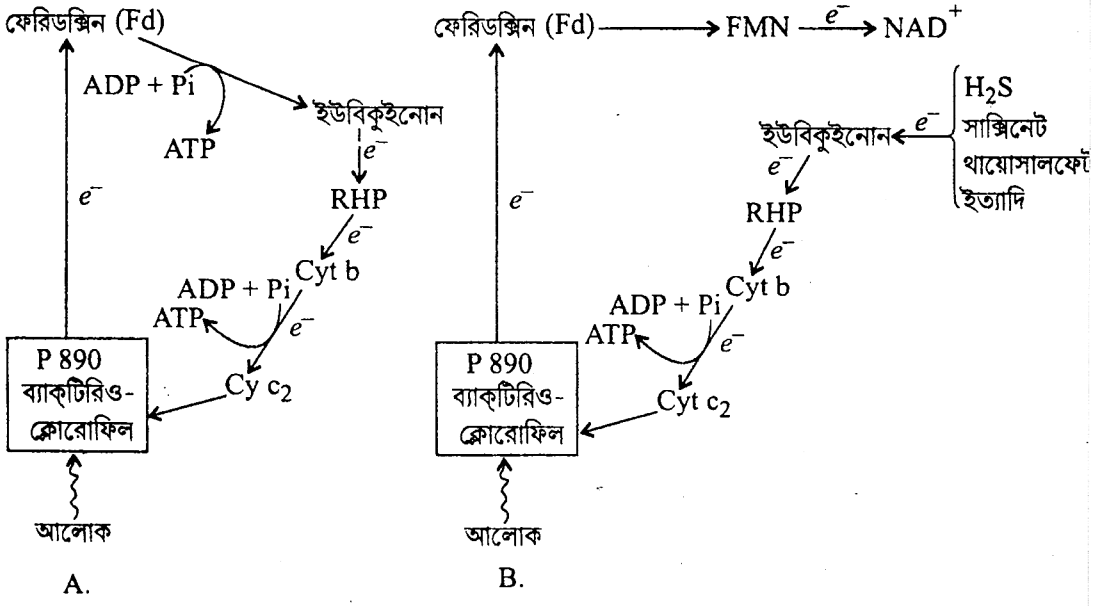
আলাক অনেক সময় ইউবিকুইনোন (ubiquinone) নামক অন্য একটি ইলেকট্রনগ্রহীতা ফেরেডক্সিন বা FMN থেকে ইলেকট্রনটি গ্রহণ করে নেয় এবং সেক্ষেত্রে ইলেকট্রনটি NAD^+ কে বিজারিত না করে রোডোস্পাইরিলাম হিম প্রোটিন (Rhodospirillum Haeme Protein বা RHP) যৌগে স্থানান্তরিত হয়। এই RHP থেকে একাধিক সাইটোক্রোম (cytochrome b বা cyt b এবং cytochrome C_2 বা eyt C_2) -এর মাধ্যমে ইলেকট্রনটি ব্যাকটিরিওক্লোরোফিলে (Bchl.) ফিরে আসে। যে চক্রাকার পথে ইলেকট্রনটি প্রবাহিত হয় তা হল—$BChl(P_{890}) \rightarrow Fd \rightarrow$ ইউবিকুইনন $\rightarrow RHP \rightarrow$ cyt b $\rightarrow$ cyt $C_2 \rightarrow P_{890}$ (চিত্র নং 10.4.2.1 দেখুন)



চিত্র নং 10.4.2.1 : ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের সময় ইলেকট্রন স্থানান্তরণ যেভাবে ঘটে তা দেখান হচ্ছে। এখানে FMN = ফ্ল্যাভোপ্রোটিন, RHP = রোডোস্পাইরিলাম হিম প্রোটিন এবং cyt b ও cyt c যথাক্রমে সাইটোক্রোম b ও সাইটোক্রোম c নির্দেশ করছে।

অনেক সময় H_2S ছাড়াও কিছু জৈব অ্যাসিড (organic acid) যেমন সাক্সিনেট (succinate), ফিউমারেট (fumarate) অথবা থায়োসালফেট (thiosulphate) ইলেকট্রনদাতা (donor) রূপে কাজ করে। এক্ষেত্রে যে অচক্রাকার পথে ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হয় তা হল—সাক্সিনেট /ফিউমারেট / থায়োসালফেট / H_2S→ ইউবিকুইনন → RHP → cyt b → cyt C_2 → Bchl → Fd → FMN → NAD^+ (চিত্র নং 10.4.2.1 দেখুন)

বিজ্ঞানী ফ্রেঙ্কেল (Frenkel) 1954 খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম দেখান যে উন্নত উদ্ভিদের মতো ব্যাক্টিরিয়াতেও ফটোফসফোরাইলেশন (photophosphorylation) ঘটে এবং ব্যাক্টেরিয়াতেও চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনই প্রধান (dominant)। সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়াতে অক্সিজেন উদ্ভূত হয় না বলে পূর্বে বিজ্ঞানীদের এমন একটা ধারণা ছিল যে ব্যাক্টিরিয়ায় অচক্রাকার (non-cyclic) ফটোফসফোরাইলেশন অনুপস্থিত থাকার জন্যই এটা ঘটে। তবে 1961 খ্রিস্টাব্দে নোজাকী ও তাঁর সহকর্মীরা (Nozaki *et al.*) পরীক্ষার মাধ্যমে ব্যাক্টিরিয়ায় অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন এর অস্তিত্ব প্রমাণ করেন। কাজেই দেখা যাচ্ছে যে উন্নতশ্রেণীর উদ্ভিদের মতো সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়াও আলোকের উপস্থিতিতে ATP ও NADPH প্রস্তুত করে যা তারা কার্বন-ডাই-অক্সাইড স্থিতিকরণে ব্যবহার করে। চক্রাকার ও অচক্রাকার পথে ইলেকট্রন স্থানান্তরণ এবং ফটোফসফোরাইলেশন (চিত্র নং 10.4.2.2 দেখুন)।



চিত্র নং 10.4.2.2

A. ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

B. ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

অধিকাংশ ব্যাক্‌টিরিয়ায় কার্বন-ডাই-অক্সাইড, কার্বনের প্রধান উৎস হলেও অনেকক্ষেত্রে বিভিন্ন জৈব যৌগ (organic compound) কার্বনের উৎস (source) রূপে ব্যবহৃত হয়। বিজ্ঞানী ফগ্ (Fog), 1968 খ্রিস্টাব্দে তেজস্ক্রিয় কার্বন (^{14}C)-এর সাহায্যে প্রমাণ করে দেখন যে, *রোডোস্পাইরিলাম রুব্রাম* (*Rhodospirillum rubrum*) এবং *থায়োব্যাসিলাস* (*Thiobacillus*)-সহ একাধিক ব্যাক্‌টিরিয়ায় কার্বন বিজারণ উন্নত উদ্ভিদের মতন কেলভিন চক্রের মাধ্যমে সম্পন্ন হয় এবং এই পদ্ধতিতে আলোক দশায় উদ্ভূত ATP ও NADPH ব্যবহৃত হয়।

10.4.3 ব্যাক্‌টিরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের তুলনা

সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়া এবং উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদ, উভয়ের মধ্যে সালোকসংশ্লেষীয় পদ্ধতিতে একাধিক সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায় এবং এর উপর ভিত্তি করে বলা চলে যে সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্‌টিরিয়াই (photosynthetic bacteria) হল প্রথম স্বভোজী উদ্ভিদ, যাদের ক্রমবিবর্তন (evolution)-এর ফলে উন্নত সবুজ উদ্ভিদের সৃষ্টি হয়েছে।

সালোকসংশ্লেষীয় পদ্ধতিতে সবুজ ব্যাক্‌টিরিয়া এবং উন্নত উদ্ভিদে লক্ষণীয় সাদৃশ্যগুলি হল—

1. ব্যাক্‌টিরিয়া এবং সবুজ উদ্ভিদ, উভয় ক্ষেত্রেই শোষিত আলোকশক্তি একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়াকেন্দ্রে (reaction centre) এসে পৌঁছায়।
2. উভয় প্রকার উদ্ভিদেই সহায়ক রঞ্জকপদার্থের (accessory pigment) মধ্যে সাদৃশ্য আছ।
3. চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন উভয় উদ্ভিদেই পরিলক্ষিত হয়।
4. ইলেকট্রন স্থানান্তরণের সময় ইলেকট্রন গ্রহীতার প্রকৃতিগত মিল খুঁজে পাওয়া যায়।
5. উভয়ক্ষেত্রেই ATP এবং NADPH বা NADH প্রস্তুত হয় এবং এতে আলোকের উপস্থিতি অপরিহার্য।

ব্যাকটিরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের তফাত

ব্যাক্‌টিরিয়া	সবুজ উদ্ভিদ
1. কোন নির্দিষ্ট ক্লোরোপ্লাস্ট নেই।	1. সুগঠিত ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে।
2. প্রধান রঞ্জকপদার্থ ব্যাক্‌টিরিওক্লোরোফিল (bacteriochlorophyll), ব্যাক্‌টিরিওভিরিডিন (bacterioviridin) ও ক্যারোটিনয়েড (carotenoid)।	2. প্রধান রঞ্জকপদার্থগুলি হল ক্লোরোফিল a ও -b (chlorophyll -a and -b), ক্যারোটিনয়েড (carotenoid) ও ফাইকোবিলিন (phycobilin)।
3. শোষিত আলোক উচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যসম্পন্ন (800–900 nm) অর্থাৎ অবলোহিত (infra-red)।	3. অপেক্ষাকৃত কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক (450 – 700 nm) শোষিত হয়।

ব্যাক্‌টিরিয়া	সবুজ উদ্ভিদ
4. বিক্রিয়াকেন্দ্র (reaction centre) একটি এবং এটিকে P_{890} আখ্যা দেওয়া হয়।	4. P_{680} ও P_{700} নামে দুইটি পৃথক বিক্রিয়াকেন্দ্র উপস্থিত থাকে।
5. সালোকসংশ্লেষকালে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় না।	5. সালোকসংশ্লেষকালে অক্সিজেন উদ্ভূত হয়।
6. প্রাথমিক ইলেকট্রন দাতা হল হাইড্রোজেন সালফাইড (H_2S) অথবা কিছু জৈব এবং অজৈব যৌগ।	6. প্রাথমিক ইলেকট্রন দাতা হল জল (H_2O)।
7. জলের জারণ ঘটে না।	7. জলের জারণ ঘটে অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।
8. কার্বন-ডাই-অক্সাইড ছাড়াও অন্য জৈব যৌগ কার্বনের উৎস (source) হিসাবে ব্যবহৃত হয়।	8. শুধুমাত্র কার্বন-ডাই-অক্সাইডই (CO_2) কার্বনের উৎসরূপে ব্যবহৃত হয়।
9. CO_2-এর বিজারক হল NADH।	9. CO_2-এর বিচারক হল NADPH
10. আলোকের উপস্থিতি এবং অক্সিজেনের অনুপস্থিতিতে প্রক্রিয়াটি ঘটে।	10. আলোক এবং অক্সিজেন উভয়েরই উপস্থিতিতে প্রক্রিয়াটি ঘটে।
11. ইমারসনের প্রভাব লক্ষ্য করা যায় না।	11. ইমারসনের প্রভাব (Emerson's effect) লক্ষ্য করা যায়।
12. চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন এর মধ্যে চক্রাকারই প্রধান (dominant)।	12. উভয় ফটোফসফোরাইলেশন-এর মধ্যে অচক্রাকার (non-cyclic)-ই প্রধান।

10.5 সীমাস্থ প্রভাবক (Limiting Factor)

অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় (physiological) ক্রিয়ার মতো সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি একাধিক প্রভাবক (factors) দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই প্রভাবকগুলির মধ্যে আলোক, CO_2, তাপমাত্রা (temperature) এই তিনটি হল প্রধান বহিঃপ্রভাবক (external factors)। এছাড়াও পাতার আভ্যন্তরীন গঠন (internal structure of leaves), পাতায় ক্লোরোফিলের পরিমাণ (chlorophyll content) ইত্যাদি অন্তঃপ্রভাবক (internal factor)-এর ওপর সালোকসংশ্লেষের হার (rate of photosynthesis) নির্ভর করে।

এখন একটি উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের হার কতটা বেশি বা কম হবে তা এই বিভিন্ন প্রভাবকের ওপর নির্ভর করে ঠিকই, কিন্তু বিজ্ঞানীরা এই প্রভাবকের ফলাফলগুলি একসঙ্গে বিবেচনা (consider) না করে প্রতিটি প্রভাবক সালোকসংশ্লেষকে পৃথক পৃথকভাবে কীভাবে নিয়ন্ত্রণ করে তা পর্যালোচনা করেছেন। তাঁরা এই প্রভাবকগুলিকে সর্বাধিক (maximum), সর্বনিম্ন (minimum) এবং পরম (optimum)—এই তিনটি দশায় ভাগ করেন। বিজ্ঞানীদের মতে যখন কোন প্রভাবকের উপস্থিতির ফলে প্রক্রিয়াটি শুরু হয়, তখন

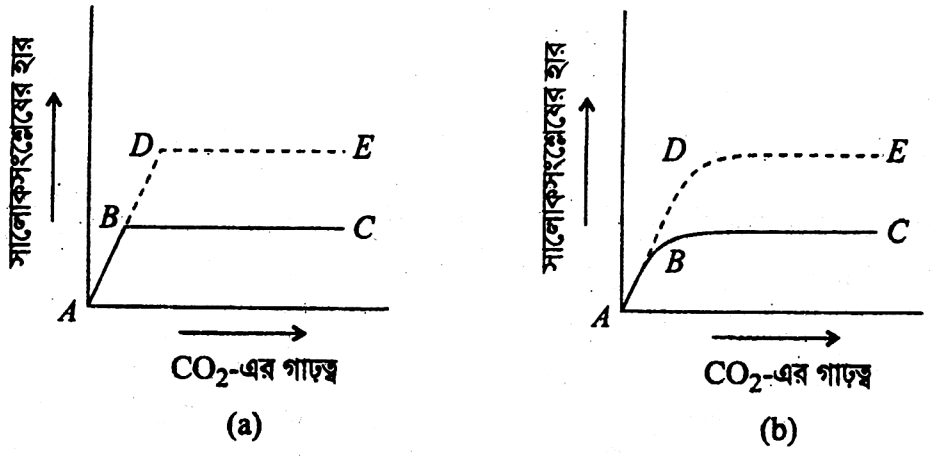
প্রভাবকের সেই অবস্থাকে সর্বনিম্ন প্রভাবক এবং যখন ঐ প্রভাবকের ফলে প্রক্রিয়াটি আর ঘটতে না পেরে বন্ধ হয়ে যায়, তখন প্রভাবকের সেই অবস্থাকে সর্বাধিক প্রভাবক বলে। আবার ঐ প্রভাবকের প্রভাবে যখন প্রক্রিয়াটির হার সর্বোচ্চ সীমায় পৌঁছয়, তখন প্রভাবকের সেই অবস্থাকে পরম প্রভাবক বলে। সালোকসংশ্লেষসহ যে কোন শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় যে কোন একটি প্রভাবকের সর্বাধিক ও সর্বনিম্ন অবস্থা সহজেই বার করা সম্ভব হলেও পরম প্রভাবককে কেন্দ্র করে বিজ্ঞানীদের মতবিরোধ শুরু হয় এবং এই পরম প্রভাবককে বিশেষভাবে ব্যাখ্যা করবার জন্য ব্ল্যাক্‌ম্যান 1905 খ্রিস্টাব্দে একটি তত্ত্ব উপস্থাপন করেন।

10.5.1 ব্ল্যাক্‌ম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্র (Blackman's Law of Limiting Factors)

কোন একটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় (physiological process) কোন একটি বিশেষ প্রভাবকের (factor) পরম দশা (optimum point) বোঝাবার জন্য ব্ল্যাকম্যান (Blackman), 1905 খ্রিস্টাব্দে একটি সূত্র (law)-এর অবতারণা করেন এবং এই সূত্রটির সাহায্যে তিনি বিষয়টি বিশদভাবে ব্যাখ্যা করে দেখান। ব্ল্যাক্‌ম্যানের এই সূত্রটি নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্র বা Laws of Limiting Factor নামে পরিচিত। তাঁর এই সূত্রটি হল— "যখন কোন একটি শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া একাধিক পারিপার্শ্বিক প্রভাবকের ওপর নির্ভরশীল হয়, তখন সেই প্রক্রিয়াটির হার পরিবেশে বর্তমান সর্বাপেক্ষা কম স্থায়ীত্বের প্রভাবক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।" ("When a process is conditioned as to its rapidity by a number of separate factors, the rate of the process is limited by the pace of slowest factor.")

ব্ল্যাক্‌ম্যান্ (Blackman) তাঁর এই সূত্রটি যেভাবে একটি লেখচিত্রের (graph) সাহায্যে ব্যাখ্যা করে বুঝিয়েছেন তা চিত্র নং 10.5(a)-এ দেখান হল। এই লেখচিত্রে তিনি ভুজ (abscissa)-তে কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2)-এর বিভিন্ন গাঢ়ত্ব (concentration) এবং কোটি (ordinate)-তে সালোকসংশ্লেষের হার (rate of photosynthesis) প্রকাশ করেন। তাঁর এই লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে কোন একটি বিশেষ আলোক তীব্রতায় (light intensity) বায়ুমণ্ডলে CO_2-র অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ সম্পূর্ণ বন্ধ থাকে। এবার ঐ একই আলোক তীব্রতায় যদি ঘণ্টাপ্রতি 1 mg CO_2 প্রবেশ করানো হয়, তবে সালোকসংশ্লেষ শুরু হয়। আলোক তীব্রতা একই (same) রেখে CO_2-র পরিমাণ প্রতি ঘণ্টায় 1 থেকে 5 mg পর্যন্ত বাড়ানো হলে সালোকসংশ্লেষের হার লেখচিত্রের *AB* অংশ বরাবর সমানভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে। ঐ একই আলোক তীব্রতায় CO_2-র পরিমাণ আরও বাড়ালে সালোকসংশ্লেষের হার কিন্তু আর বৃদ্ধি পায় না এবং এই হার লেখচিত্রে *BC* অর্থাৎ ভুজের সমান্তরাল বরাবর হয়। কাজেই দেখা যাচ্ছে যে লেখচিত্রের এই অংশে (*BC*) আলোক তীব্রতা (intensity) সীমাস্থ প্রভাবক (limiting factor) রূপে কাজ করে। সুতরাং এই অবস্থায় সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধি করতে হলে আলোকের তীব্রতা বাড়ানোর প্রয়োজন হয়। দেখা গেছে যে আলোক

তীব্রতা দ্বিগুণ (double) করলে সালোকসংশ্লেষের হার একটি নির্দিষ্ট সীমারেখা (certain limit) পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়, যা লেখচিত্রে *BD* অংশে দেখান হয়েছে, কিন্তু ঐ হার পুনরায় বুজের সমান্তরাল বরাবর (*DE*) হয়ে যায়।



চিত্র নং (10.5) সালোকসংশ্লেষে সীমাস্থ প্রভাবক ও ব্যাক্‌ম্যানের সূত্র
(a) ব্ল্যাক্‌ম্যানের সূত্র অনুসারে (b) জেমস এবং হার্ডারের পরিবর্তিত লেখচিত্র

কাজেই লেখচিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে যে *AB* ও *BD* অংশে CO_2 কম থাকায় ঐ দুই অংশে CO_2-র পরিমাণ বৃদ্ধিতে সালোকসংশ্লেষ বৃদ্ধি পেয়েছে, আবার *BC* ও *DE* অংশে আলোক তীব্রতা কম থাকায় ঐ দুই অংশে সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধির জন্য আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধির প্রয়োজন হয়েছে।

জেমস (James) ও হার্ডার (Harder), 1921 খ্রিস্টাব্দে ব্ল্যাক্‌ম্যানের এই তত্ত্বের সমালোচনা (criticism) করেন। তাঁরা ব্ল্যাক্‌ম্যানের সূত্রের কোন সংশোধন না করে তাঁর প্রস্তাবিত লেখচিত্রের (a)-র সামান্য পরিবর্তন করেন। তাঁদের মতে সালোকসংশ্লেষে বৃদ্ধির হার হঠাৎ বন্ধ হয়ে (লেখচিত্রের *A* ও *D* স্থানে) সমান্তরাল (parallel) অবস্থায় না এসে বৃদ্ধির হার ক্রমশ কমতে কমতে সমান্তরাল অবস্থায় এসে পৌঁছয়। তাঁদের এই পরিবর্তিত লেখচিত্র চিত্র নং 10.5-এর (b) অংশে দেখান হল।

10.6 সারাংশ

সালোকসংশ্লেষ হল একমাত্র পদ্ধতি যার সাহায্যে সবুজ উদ্ভিদ সৌরশক্তিকে সরাসরি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করতে সক্ষম হয়। উন্নত উদ্ভিদেরা ক্লোরোফিল (chlorophyll) সহ অন্যান্য রঞ্জক পদার্থের সহায়তায় সূর্যালোকের 'ফোটন' কণা গ্রহণ করে এবং জল, কার্বন-ডাই-অক্সাইডেরও একাধিক উৎসেচকের সাহায্যে শর্করা (carbohydrate) জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত করে ও অক্সিজেন (O_2) গ্যাস বায়ুমণ্ডলে ছেড়ে দেয়।

জীবমণ্ডলের (biosphere) সকল জীবের জীবনই প্রত্যক্ষ (direct) বা পরোক্ষ (indirect) ভাবে উদ্ভিদের এই সালোকসংশ্লেষের ফলে সৃষ্ট জৈব যৌগের ওপর নির্ভরশীল। এই সৌরশক্তি ব্যবহার করে যে অধিক শক্তিসম্পন্ন ATP এবং বিজারিত NADPH প্রস্তুত হয়, তাদের সাহায্যে বায়ু থেকে গৃহীত CO_2 এর বিজারণ ঘটে এবং শর্করা তৈরি হয়।

বিজ্ঞানী ব্ল্যাক্‌ম্যান (Blackman), 1905 খ্রিস্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রমাণ করে দেখান যে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি দুইটি পৃথক পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। এর একটি নাম আলোক দশা (light phase)—এটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণায় সংঘটিত হয় এবং এই দশায় অক্সিজেন এবং ATP ও বিজারিত NADPH প্রস্তুত হয় এবং পরের দশাটি হল অন্ধকার দশা (dark phase)—এটি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে ঘটে এবং এই দশায় কার্বন-ডাই-অক্সাইড বিজারিত হয়ে শর্করা (carbohydrate) প্রস্তুত হয়ে থাকে।

এরপর এমার্‌সন সবুজ শৈবালে (green algae) সালোকসংশ্লেষকারী কার্যবর্ণালী (action spectrum) পরীক্ষা করবার সময় দেখেন যে 680 nm-এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যসম্পন্ন আলোক ক্লোরোফিল কর্তৃক শোষিত হলেও এটি সালোকসংশ্লেষের অবনতি ঘটায় এবং এই ঘটনাকে তিনি লোহিত চ্যুতি (Red Drop) আখ্যা দেন। পরে তিনি দেখেন যে 680 nm-এর বেশি দৈর্ঘ্যের আলোকের (far-red) সঙ্গে 650 nm-এর কম দৈর্ঘ্যের আলোকের একত্র প্রয়োগে এই নিষ্ক্রিয়তা দূর হয় এবং সালোকসংশ্লেষের গতি বৃদ্ধি পায় এবং এই ঘটনাকে এমার্‌সনের প্রভাব (Emerson's Enhancement Effect) বলা হয়। এই ঘটনা থেকে এই ধারণা পরিষ্কার হয় যে সালোকসংশ্লেষে আলোক দসায় দুইট রঞ্জকতন্ত্র (photosystem) পৃথকভাবে কাজ করে। এর একটি 680 nm এর বেশি তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে (রঞ্জকতন্ত্র I বা photosystem II বা PS I) এবং অপরটি 680 nm-এর সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে (রঞ্জকতন্ত্র II বা photosystem II বা PS II) সক্রিয় হয়। এই দুইটি রঞ্জকতন্ত্রে ইলেকট্রন প্রবাহিত হবার সময় নির্গত শক্তির সাহায্যে ATP-র সঙ্গে Pi (অজৈব ফসফরাস)-এর সংযুক্তি ঘটে এবং ATP তৈরি হয়। আলোক শক্তিকে ব্যবহার করে ATP প্রস্তুতির এই ঘটনাকে ফটোফসফোরাইলেশন (photophosphorylation) বলা হয়। সাধারণত দু'ভাবে এই ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে থাকে। এর প্রথমটি হল অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (non-cylic photo-phosphorylation) যেটির মাধ্যমে PS II থেকে PS I বরাবর ইলেকট্রন একমুখে স্থানান্তরিত হয় এবং দ্বিতীয়টি চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (cyclic photophosphorylation), যা শুধুমাত্র PS I-কে নিয়ে গঠিত এবং এখানে ইলেকট্রন একটি বদ্ধ এবং চক্রাকার পথে স্থানান্তরিত হয়। এভাবে সালোকসংশ্লেষের আলোক দসায় শোষিত আলোক শক্তির কিছুটা অংশ ATP প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয় এবং বাকি শক্তি NADP-কে বিজারিত করে NADPH তৈরি করে এবং এই দুটির (ATP ও NADPH) সাহায্যেই উদ্ভিদ CO_2-কে

বিজারিত করে এবং শর্করা প্রস্তুত করে। এছাড়াও আলোকের উপস্থিতিতে জলের জারণ ঘটে এবং জল ভেঙে হাইড্রোজেন (H^+), ইলেকট্রন (e^-) এবং অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

$$2H_2O \xrightarrow{light} O_2 + 4H^+ + 4e^-$$

ক্লোরোপ্লাস্টে ATP ও বিজারিত NADPH যথেষ্ট পরিমাণ প্রস্তুতির পর কার্বন অণু সংবন্ধন (fixation) ও আত্তীকরণ (assimilation) শুরু হয়। এই বিক্রিয়া আলোকের অনুপস্থিতিতে ঘটে বলে একে আগে অন্ধকার দশা (dark phase) বলা হলেও সালোকসশ্লেষে CO_2 বিজারণের এই বিশেষ দশাটিকে আলোক-নিরপেক্ষ দশা (light independent phase) বলা হয়। তিনটি পদ্ধতির মাধ্যমে উন্নত উদ্ভিদে এই কার্বন সংবন্ধন ঘটে থাকে। এর প্রথমটি হল কেলভিন চক্র (Calvin cycle), যেখানে প্রাথমিক স্থায়ী উৎপাদিত যৌগ 3 কার্বন অণুবিশিষ্ট (3C) ও ফসফোগ্লিসারিক অ্যাসিড (3 phosphoglyceric acid বা 3 PGA) হওয়ায় এটিকে C_3 চক্রও (C_3 cycle) বলা হয়। দ্বিতীয়টি হল হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক্ চক্র (Hatch and Slack cycle) এবং এই পথে কার্বন সংবন্ধনের সময় 4 কার্বন অণুবিশিষ্ট (4C) জৈব অ্যাসিড (organic acid) যেমন অক্সালোঅ্যাসিটেট (oxaloacetate বা OAA), ম্যালেট (malate) ইত্যাদি প্রাথমিক স্থায়ী যৌগরূপে প্রস্তুত হয় বলে চক্রটিকে C_4 চক্র (C_4 cycle) আখ্যা দেওয়া হয়, চক্রের প্রান্তভাগে আবার কেলভিন চক্রের বিক্রিয়া ঘটে। তৃতীয় যে পদ্ধতিতে কার্বন অণু সংবন্ধন ঘটে তার নাম ক্রাসুলেশিয়ান অ্যাসিড বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism বা CAM), যেখানে রাত্রে CO_2 গৃহীত হয় এবং সেটি ম্যালিক অ্যাসিড (malate) রূপে পাতার গহ্বরে (vacuole) এ সঞ্চিত থাকে এবং দিনের আলোকে ডিকার্বক্সিলেশনের ফলে CO_2 উদ্ভূত হলে সেটি কেলভিন চক্রের মাধ্যমে শর্করা প্রস্তুত করে থাকে।

এই তিন ধরনের কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতির নাম অনুসারে উন্নত উদ্ভিদদেরও যথাক্রমে C_3 উদ্ভিদ, C_4 উদ্ভিদ এবং CAM উদ্ভিদ আখ্যা দেওয়া হয়। নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলে জন্মানো অধিকাংশ উদ্ভিদই C_3 প্রজাতিভুজ। গ্রামিনী (Graminae) এবং সাইপারেসি (Cyperaceae) গোত্রভুক্ত (family) বেশ কিছু উদ্ভিদ C_4 প্রজাতির এবং মরু অঞ্চলে (desert) জন্মানো অধিকাংশ রসাল (succulent) উদ্ভিদই CAM প্রজাতির। এদের মধ্যে C_4 উদ্ভিদের পাতার কলাস্থান (anatomy) বৈচিত্র্যপূর্ণ। C_4 উদ্ভিদের পাতায় নালিকা বাণ্ডিল (vascular bundle) পরিবেষ্টিত বাণ্ডিল আবরণী (bundle sheath) কোষে পর্যাপ্ত পরিমাণে ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে, আবার একে ঘিরে থাকে কয়েক স্তর (layer) মেসোফিল কোষের বেষ্টনী—যা ক্রান্জ্ কলাস্থান বা Kranz anatomy নামে পরিচিত। C_4 উদ্ভিদেরা গ্রীষ্মপ্রধান অঞ্চলে ভাল জন্মায় এবং আলোকশ্বসনে (photorespiration) এর হার খুব কম হওয়ায় এদের সালোকসংশ্লেষীয় দক্ষতা (efficiency) এবং বৃদ্ধির হার C_3 উদভিদের থেকে বেশি। প্রতি বর্গ এককে (unit area) ফলনও (productivity) বেশি হওয়ায় কৃষিক্ষেত্রে C_4 উদ্ভিদের ভূমিকা উল্লেখযোগ্য। অপরদিকে CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন (fixation) এর হার C_3 এবং C_4 উদ্ভিদের থেকে অনেক কম হলেও এদের বিশেষত্ব এই যে জলের অভাবে C_3 ও C_4 উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষ প্রায় বন্ধ হয়ে গেলেও CAM উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষ চালাতে সমর্থ হয় এবং দীর্ঘসময় ধরে

খরা (drought) চললেও এরা একটি নির্দিষ্ট শুষ্ক ওজন (dry weight) বজায় রাখতে সক্ষম হয়। এমন কিছু উদ্ভিদ (*Mesenbryantheumum*) আছে যারা সম্পূর্ণ (obligatory) CAM উদ্ভিদ নয় এবং জলের প্রাচুর্যতা পেলে এরা C_3 উদ্ভিদের মতো আচরণ করে এবং কেলভিন চক্রের মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন করে। C_4 এবং CAM এই দু'প্রকার উদ্ভিদেই কার্বন সংবন্ধনের পদ্ধতিতে এক বিশেষ সাদৃশ্য (similarity) লক্ষ্য করা যায়। CAM ও CO_2 গ্রহণ (carboxylation) এবং শর্করা উৎপাদন (carbohydrate synthesis) দুটি ভিন্ন সময়ে (যথাক্রমে রাত্রে এবং দিবালোকে) ঘটে, অপরদিকে C_4 উদ্ভিদে উপরোক্ত ঐ একই ঘটনা দুটি দুটি ভিন্ন প্রকোষ্ঠে (compartment)-এ (যথাক্রমে মেসোফিল কোষে এবং বাণ্ডিল আবরণী কোষে) সংগঠিত হয়।

উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদ ছাড়া নিম্নশ্রেণীর কিছু ব্যাক্টিরিয়াও সালোকসংশ্লেষ করতে পারে। এদের সুগঠিত ক্লোরোপ্লাস্ট না থাকলেও ক্রোমাটোফোরে ব্যাকটিরিওক্লোরোফিল বা ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল ও ক্যারোটিনয়েড জাতীয় রঞ্জকপদার্থ থাকে, যার সাহায্যে এরা 800 – 900 nm উচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক (infra-red) শোষণ করে এবং উন্নত উদ্ভিদের মতন ইলেকট্রন স্থানান্তরণ (electron transfer) পদ্ধতির মাধ্যমে ATP ও বিজারিত NADH প্রস্তুত করে। ব্যাক্টিরিয়াতে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (cyclic photophosphorylation) ই প্রধান (dominant)। উদ্ভূত এই ATP ও NADH-এর সাহায্যে কেলভিন চক্রের মাধ্যমে এরা কার্বন স্থিতিকরণ করে থাকে। ব্যাক্টিরিয়ায় CO_2 কার্বনের প্রধান উৎস হলেও অনেক সময় বিভিন্ন জৈব যৌগ কার্বনের উৎসরূপে (source) ব্যবহৃত হয়। ব্যাকটিরিয়ার সালোকসংশ্লেষে জলের জারণ না ঘটায় অক্সিজেন উদ্ভব হয় না।

10.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সালোকসংশ্লেষ বলতে কী বোঝায়? উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ হবার জন্য যে প্রধান রঞ্জক-পদার্থগুলির প্রয়োজন হয়, তাদের গঠন আলোচনা করুন।
2. সালোকসংশ্লেষকারী একক কাকে বলে? চিত্রসহ এদের গঠন সম্বন্ধে আলোচনা করুন।
3. সালোকসংশ্লেষে উদ্ভূত অক্সিজেন যে জল থেকে নির্গত হয়, তার সঠিক ব্যাখ্যা সর্বপ্রথম কে এবং কীভাবে করেন? এই ঘটনাটির তাৎপর্য ব্যাখ্যা করুন।
4. লোহিত চ্যুতি ও এমারসনের প্রভাব বলতে কী বোঝেন? সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া নির্ধারণে এদের ভূমিকা কী?
5. উপযুক্ত নক্শার মাধ্যমে উন্নত উদ্ভিদে ইলেকট্রন স্থানান্তরণের পদ্ধতিটি বিশদভাবে ব্যাখ্যা করুন।
6. ফটোফসফোরাইলেশন কথাটির অর্থ কী? উচ্চশ্রেণীর উদ্ভিদে চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন কীভাবে ঘটে তা বুঝিয়ে দিন।

7. কেলভিন চক্র বলতে আমরা কী বুঝি? এই চক্রের মাধ্যমে উদ্ভিদে কীভাবে কার্বোহাইড্রেট সংশ্লেষ এবং RuBP-র পুনরুৎপাদন ঘটে তা উৎসেচকের নাম ও বিক্রিয়াসহ বিশদবাবে ব্যাখ্যা করুন। আলোক নিয়ন্ত্রিত উৎসেচক কাদের বলা হয়?

8. গ্রামিনী জাতীয় কোন্ কোন্ একবীজপত্রী উদিভদে কোন্ পদ্ধতির মাধ্যমে কার্বন সংবন্ধন ঘটে? কার্বন স্থিতিকরণের এই বিশেষ চক্রটি বিস্তারিতভাবে আলোচনা করুন।

9. CAM উদ্ভিদ কাদের বলা হয়? এই উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য কী? যে পদ্ধতির মাধ্যমে CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন ঘটে তা বিক্রিয়াসহ ব্যাখ্যা করুন।

10. আংশিক CAM (facultative CAM) উদ্ভিদ কাদের বলা হয়? এদের এরূপ নাম দেবার কারণ কি?

11. ব্যাক্টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের সময় যে পদ্ধতিতে ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ঘটে, তা চিত্রসহ বর্ণনা দিন। আলোক শক্তির সাহায্যে জল ছাড়া অন্য রাসায়নিককে ইলেকট্রন দাতা হিসাবে কাজে লাগিয়ে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের বিজারণ ঘটিয়ে খাদ্য প্রস্তুত করতে পারে এরকম দুটি ব্যাক্টিরিয়ার নাম লিখুন।

12. সীমাস্থ প্রভাবক বলতে কী বোঝায়? ব্ল্যাক্ম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্রটি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করুন।

13. **পার্থক্য লিখুন :**
    (a) C_3 এবং C_4 উদ্ভিদ
    (b) চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন
    (c) ব্যাক্টিরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষ

14. **সংক্ষিপ্ত টীকা লিখুন :**
    (a) ক্রোমাটোফোর
    (b) কোয়ান্টাজোম
    (c) প্রয়োজনীয় কোয়ান্টাম
    (d) ক্যারোটিনয়েডের দুটি কাজ
    (e) হিল বিক্রিয়া
    (f) শোষণ বর্ণালী
    (g) দৃশ্যমান আলোক বর্ণালী
    (h) সহায়ক রঞ্জকপদার্থ
    (i) CAM এর তাৎপর্য
    (j) সালোকসংশ্লেষ প্রতিরোধক

10.8 উত্তরমালা

অনুশীলনী : 1

1. (a) ফাইকোবিলিন (b) ফটোলিসিস্ (c) শুধুমাত্র PS I
2. (a) ক্রোমাটোফোর (b) কোয়ান্টাম্ (c) ফটোফসফোরাইলেশন
   (d) জল (e) $NADP^+$, ATP, $NADP^+$
3. (a) (i) (b) (iv) (c) (iii)
   (d) (vi) (e) (ii) (f) (v)

অনুশীলনী : 2

1. (a) 3-ফসফোগ্লিসারেট (b) অক্সালোঅ্যাসিটেট
   (c) ফ্রাক্টোজ –1, 6–ডাইফস্ফেট (d) সেডোহেপ্টুলোজ্ – 7 – ফসফেট
   (e) মেসোফিল
2. (a) দুই (b) C_4 (c) C_4
   (d) নগণ্য (e) CAM
3. (a) (iii) (b) (v) (c) (ii)
   (d) (i) (e) (iv)

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী :

1. প্রথম অংশের জন্য 10.1-এর প্রথম অনুচ্ছেদ দেখুন। রঞ্জকপদার্থের গঠন 10.2.2 অংশে পাওয়া যাবে।
2. 10.2.3 অংশাঙ্কিত আলোচনার শেষ অনুচ্ছেদে পাওয়া যাবে। সালোকসংশ্লেষকারী এককের গঠনের জন্য 10.2.3.2 অংশ দেখুন।
3. 10.3.2.1 অংশে আলোচিত হয়েছে।
4. প্রথম অংশের জন্য 10.3.2.2 অংশ দেখুন। সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া নির্ধারণে লোহিত চ্যুতি ও এমারসনের প্রভাবের ভূমিকা 10.3.3 অংশের প্রথম অনুচ্ছেদে বলা আছে।
5. চিত্রসহ 10.3.4 অংশাঙ্কিত আলোচনা দেখুন।
6. প্রথম অংশটি 10.3.5-এর প্রথম অনুচ্ছেদে আলোচিত। পরবর্তী উত্তরের জন্য 10.3.5.2 ও 10.3.5.1 অংশাঙ্কিত চিত্র ও আলোচনা দেখুন।

7. প্রথম অংশের উত্তরের জন্য 10.3.6-এর দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ দেখুন। পরবর্তী অংশ 10.3.6-এর অবশিষ্ট অংশের চিত্র ও আলোচনায় পাওয়া যাবে।

8. হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্রের বিস্তারিত ও সচিত্র আলোচনা 10.3.7.2 অংশে পাবেন।

9. প্রথম অংশটির জন্য 10.3.8 দেখুন। CAM উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্য 10.3.8.1 অংশে বলা আছে। CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতির সচিত্র বিক্রিয়াসহ ব্যাখ্যা 10.3.8.2 অংশের আলোচনায় পাবেন।

10. 10.3.8.3 অংশের শেষ অনুচ্ছেদ দেখুন।

11. প্রথম অংশের জন্য 10.4.2 আলোচিত অংশ দেখুন। আলোক শক্তি ছাড়া রাসায়নিক শক্তিকে কাজে লাগিয়ে CO_2 বিজারণ ঘটিয়ে খাদ্য প্রস্তুতিতে সক্ষম কয়েকটি ব্যাক্টিরিয়া হল— *নাইট্রোসোমোনাস* (*Nitrosomonas*), *নাইট্রোব্যাক্টর* (*Nitrobactor*), *থায়োব্যাসিলাস* (*Thiobacillus*), *থায়োথ্রিক্স* (*Thiothrix*), *লেপ্টোথ্রিক্স* (*Leptothrix*) *ফেরোব্যাসিলাস* (*Ferrobacillus*) ইত্যাদি।

12. 10.5-এ প্রথম অংশের উত্তর এবং 10.5.1-এ দ্বিতীয় অংশের উত্তর পাওয়া যাবে।

13. (a) 10.3.7.4 অংশে দেখুন।
    (b) 10.3.5.3 অংশে দেখুন।
    (c) 10.4.3 অংশে দেখুন।

14. (a) 10.4.1 দেখুন।
    (b) 10.2.3 অংশের শেষ অনুচ্ছেদে দেখুন।
    (c) 10.2.3 অংশের তৃতীয় অনুচ্ছেদের প্রথমাংশে পাবেন।
    (d) 10.2.2 অংশাঙ্কিত B-এর শেষ অনুচ্ছেদ দেখুন।
    (e) 10.3.2.1 অংশটিতে পাবেন।
    (f) 10.3.2..2-এর পাদটীকা দেখুন।
    (g) 10.2.3 অংশের চিত্র ও আলোচনা দেখুন।
    (h) 10.2.2C-এর শেষাংশে পাবেন।
    (i) 10.3.8.3 অংশ দেখুন।
    (j) 10.3.8.3 অংশের পরবর্তী দ্বিতীয় পাদটীকায় আলোচিত।

একক 11 ❑ শ্বসন

গঠন

11.1 প্রস্তাবনা

11.2 উদ্দেশ্য

11.3 শ্বসনের প্রকারভেদ

11.3.1 অবাত শ্বসন

11.3.2 সন্ধান প্রক্রিয়া

11.3.3 সবাত শ্বসন

11.4 গ্লাইকোলাইসিস

11.5 ক্রেবসের অম্ল চক্র

11.6 ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্র

11.7 পেন্টোজ ফসফেট পথ

11.8 শ্বাস অনুপাত

11.9 সারাংশ

11.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

11.11 উত্তরমালা

11.1 প্রস্তাবনা

জীবনধারণের জন্য শক্তির একান্ত প্রয়োজন। এই শক্তির প্রধান উৎস হল সূর্যালোক। সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদ সৌরশক্তিকে রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত করে শর্করা ও শ্বেতসার জাতীয় জৈব পদার্থ সংশ্লেষ করে দেহকোষে সঞ্চিত রাখে। শ্বসন একটি উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত জারণ প্রক্রিয়া যার মাধ্যমে জীবদেহের সঞ্চিত খাদ্যবস্তু জারিত হয় এবং এই পদ্ধতির মাধ্যমে যে শক্তি নির্গত হয় তা উদ্ভিদ বিভিন্ন জৈবিক ক্রিয়া পরিচালনা করার সময় ব্যবহার করে।

সাধারণভাবে শ্বসন বলতে আমরা সবাত শ্বসনকেই বুঝি। গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রের মাধ্যমে এই শ্বসনক্রিয়া সম্পন্ন হয়। এছাড়া নিম্নশ্রেণীর কিছু জীবে ও উন্নত জীবে অক্সিজেনের অভাব ঘটলে যথাক্রমে সন্ধান প্রক্রিয়া ও অবাত শ্বসন দেখা যায়। পেন্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমেও একটি বিকল্প পথে শ্বসন ঘটতে পারে।

এই এককে আমরা শ্বসনের জৈবরাসায়নিক প্রক্রিয়াগুলি সম্পর্কে আলোচনা করব। এছাড়া জারকীয় **ফসফোরাইলেশন** পদ্ধতিতে কিভাবে উচ্চশক্তিসম্পন্ন ATP অণুর সংশ্লেষ ঘটে তাও এই এককের আলোচ্য বিষয়। পরিশেষে আমরা শ্বসনের জৈবনিক গুরুত্ব সম্পর্কে সংক্ষিপ্ত আলোচনা করব।

11.2 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- শ্বসনের প্রকারভেদ সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- গ্লুকোজ অণু কীভাবে গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিশ্লিষ্ট হয়ে পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে তা আলোচনা করতে পারবেন।
- ক্রেবসের অম্ল চক্রের বিভিন্ন পর্যায়গুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- ইলেকট্রন পরিহবণতন্ত্র কিভাবে ATP উৎপাদন করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- শ্বসনের বিকল্প পথগুলির উদাহরণ দিতে পারবেন।
- বিভিন্ন খাদ্যবস্তু জারণের সঙ্গে শ্বাস অনুপাতের সম্পর্ক নির্ণয় করতে পারবেন।
- পরিশেষে, শ্বসনের সার্বিক গুরুত্ব সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

11.3 শ্বসনের প্রকারভেদ

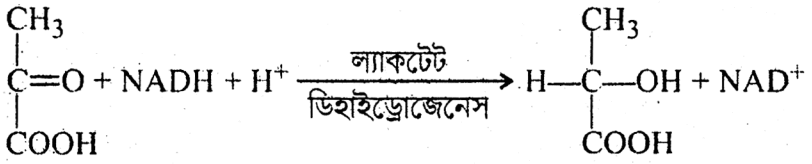
শ্বসন প্রক্রিয়ায় গ্লুকোজ জাতীয় খাদ্যবস্তু জারিত হয়ে তাপশক্তি ও উচ্চশক্তিসম্পন্ন ATP উৎপন্ন হয়। অক্সিজেনের উপস্থিতি ও অনুপস্থিতি ও গ্লুকোজ অণুর বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে উৎপন্ন জৈব যৌগের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে শ্বসনকে প্রধানত তিন ভাগে ভাগ করা হয়।

11.3.1 অবাত শ্বসন

উচ্চশ্রেণীর জীবে O_2-এর অনুপস্থিতিতে খাদ্যবস্তু যে প্রক্রিয়ায় আংশিকভাবে জারিত হয়ে ল্যাকটি অম্ল ও স্বল্প পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত করে তাকে অবাত শ্বসন বলে।

একটা বিষয় আমাদের মনে রাখতে হবে যে সমস্ত প্রকার শ্বসনেই গ্লাকোলাইসিস একটি সাধরণ প্রক্রিয়া যার মাধ্যমে গ্লুকোজ অণু (6C যুক্ত) বিশ্লিষ্ট হয়ে দুই অণু পাইরুভিক অম্ল (3C যুক্ত) উৎপন্ন হয়। এই পাইরুভিক অম্ল O_2-এর উপস্থিতিতে মাইটোকন্ড্রিয়ায় জটিল ক্রেবস চক্রের মাধ্যমে বিভিন্ন জৈব অম্লে রূপান্তরিত

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।

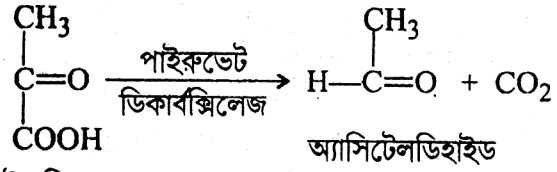
তালিকা 11.1 : বিভিন্ন সন্ধানকারী অণুজীবের নাম ও উৎপাদিত জৈব যৌগ

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

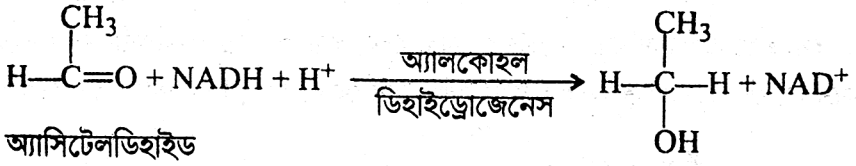
অ্যালকোলহন সন্ধানের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ :

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

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 :

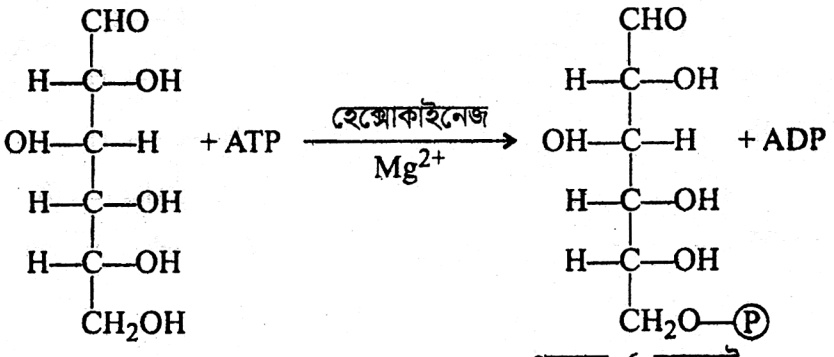
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673\ kcal$$

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।

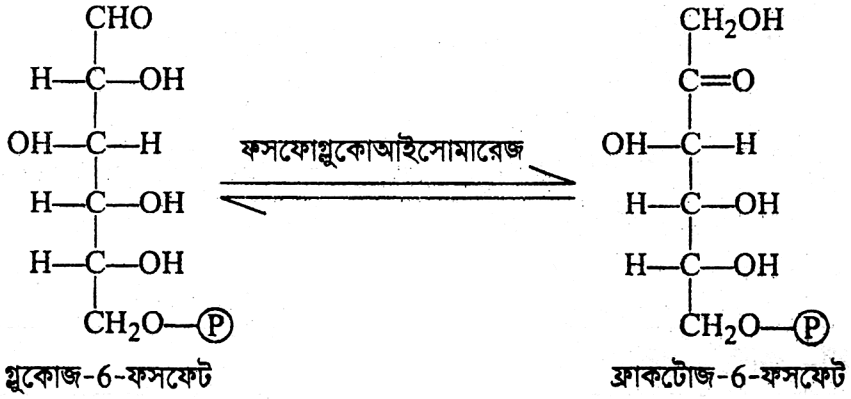


গ্লুকোজ

গ্লুকোজ-6-ফসফেট

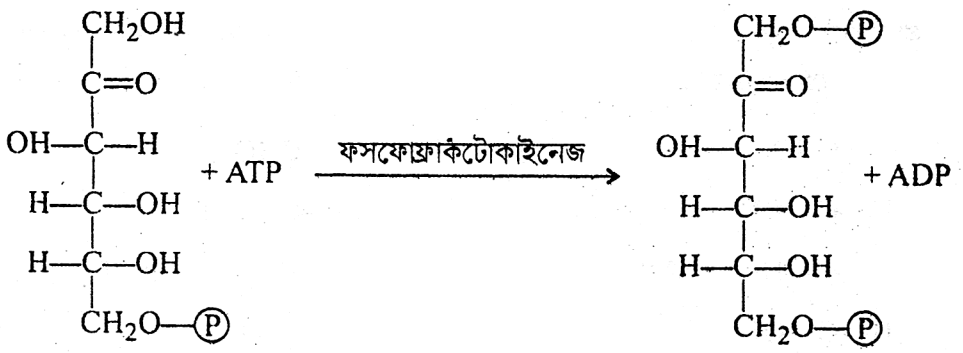
$[P = H_2PO_3]$

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।



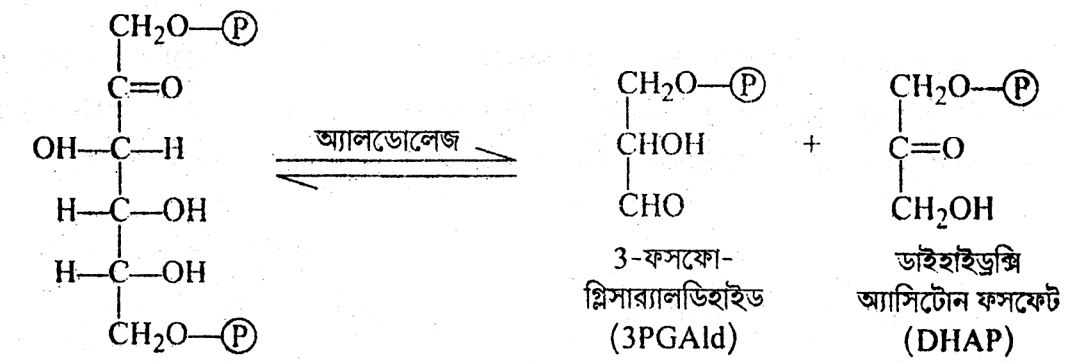
গ্লুকোজ-6-ফসফেট ফ্রাকটোজ-6-ফসফেট

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।

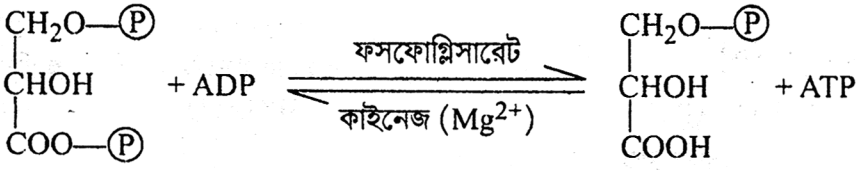
6. গ্লাইকোলাইসিসের এই পর্যায়টি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ কারণ এখানে প্রথম জারণ-বিজারণ প্রক্রিয়াটি সম্পন্ন হয় এবং একটি উচ্চশক্তিবিশিষ্ট ফসফেট যৌগ উৎপন্ন হয়। গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজেনেজ উৎসেচকটি NAD^+-র সহায়তায় এই বিক্রিয়া ঘটায়।

3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড + NAD^+ + H_3PO_4

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

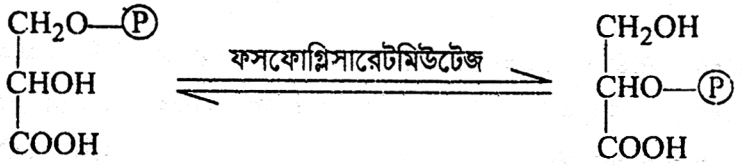
এই বিক্রিয়াটি দুটি পর্বে ঘটে। প্রথমে 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারিত হয়ে 3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল তৈরি করে। এর পরের পর্বে এই জারণ প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত শক্তির কিছুটা অংশের সাহায্যে এক অণু H_3PO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে উচ্চশক্তিসম্পন্ন 1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল প্রস্তুত হয়।

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।



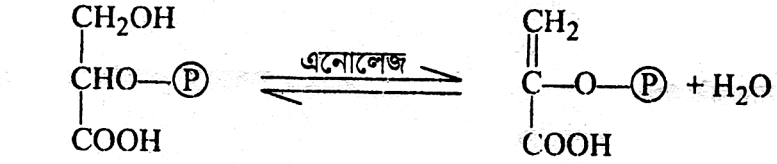
1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল　　3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

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

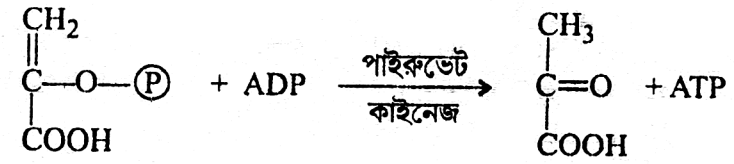
9. এনোলেজ উৎসেচকটি 2-ফসফোগ্লিসারিক অম্লকে নিরুদিত করে ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে।



2-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল

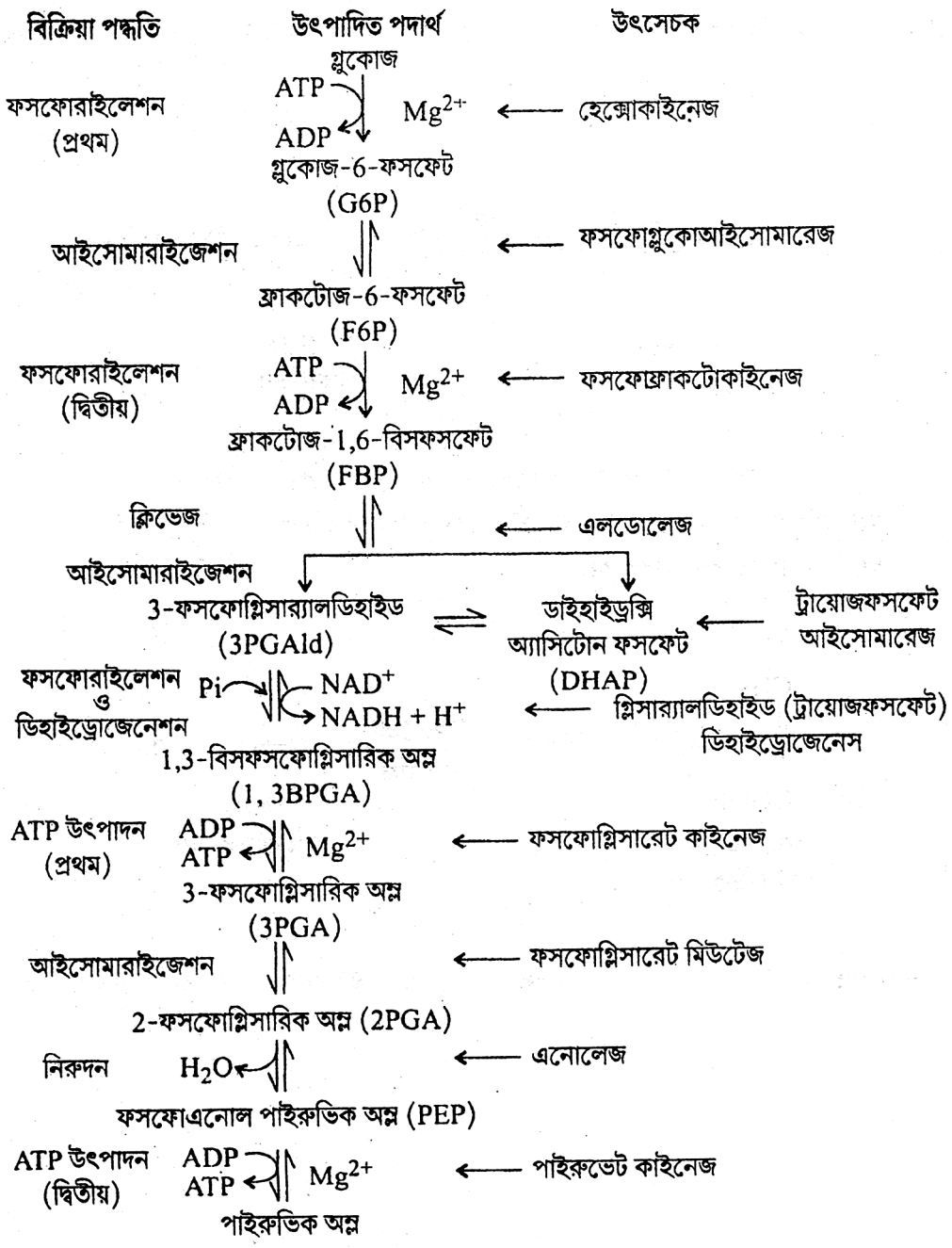
10. গ্লাইকোলাইসিসের চূড়ান্ত পর্যায়ে পাইরুভেট কাইনেজ উৎসেচকের সাহায্যে ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল, এক অণু ADP-কে তার ফসফেসটি প্রদান করে পাইরুভিক অম্লে রূপান্তরিত হয় এবং ADP অণুটি ATP-তে রূপান্তরিত হয়।



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 + $FADH_2$

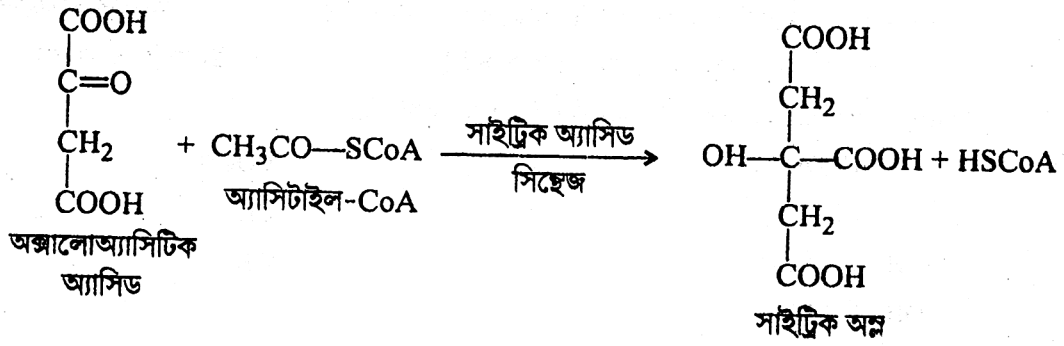
(v) $FADH_2 + NAD^+ \longrightarrow FAD + NADH + H^+$

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

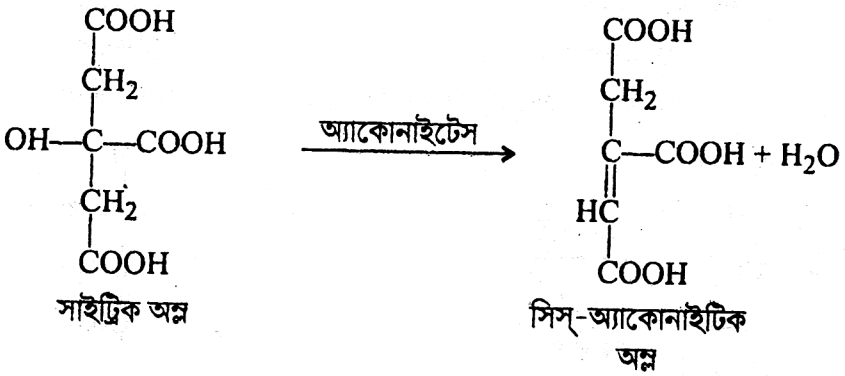
যে প্রক্রিয়ায় পাইরুভিক অম্ল অক্সিজেনের উপস্থিতিতে জারিত হয়ে চক্রাকার পদ্ধতিতে বিভিন্ন জৈব অম্ল সৃষ্টি করে তাকে ক্রেবস চক্র বলে। হ্যানস ক্রেবস (1937) এই চক্রাকার বিক্রিয়া পথটি আবিষ্কার করেন বলে একে ক্রেবস চক্র বলে। এই চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগ সাইট্রিক অম্ল বলে একে সাইট্রিক অম্ল চক্রও বলা হয়। আবার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

ক্রেবস চক্রের পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ :

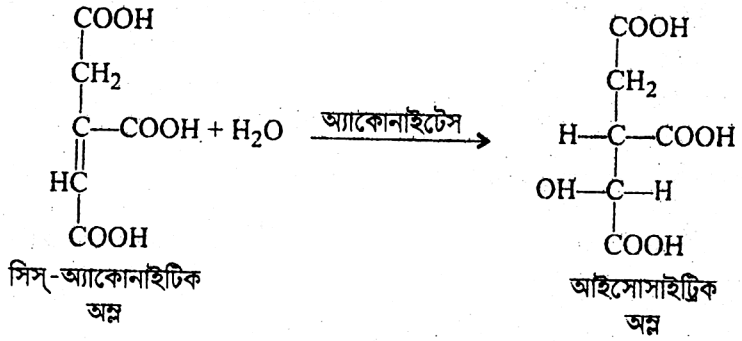
1. সর্বপ্রথম অ্যাসিটাইল-CoA যৌগটি অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্লের সাথে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অম্ল গঠন করে এবং HSCoA কে মুক্ত করে।



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



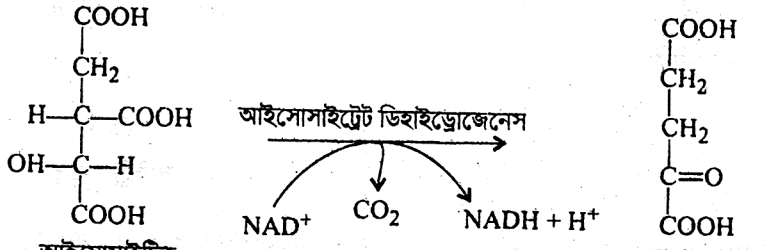
3. পরবর্তী পর্যায়ে সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল পুনরায় জল গ্রহণ করে আইসোসাইট্রিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়াটিও অ্যাকোনাইটেস উৎসেচক নিয়ন্ত্রণ করে।



সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল

আইসোসাইট্রিক অম্ল

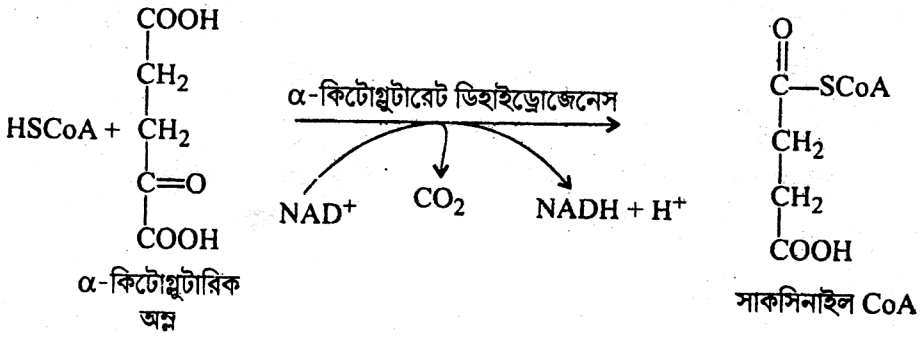
4. ক্রেবস চক্রের চতুর্থ পর্যায়ে আইসোসাইট্রিক অম্ল NAD^+ দ্বারা জারিত হয়। এই পর্যায়ে আইসোসাইট্রিক অম্ল থেকে এক অণু CO_2 নির্গত হয়। আইসোসাইট্রেট ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে এই বিক্রিয়া সম্পাদিত হয় এবং α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল উৎপন্ন হয়।



আইসোসাইট্রিক অম্ল

α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল

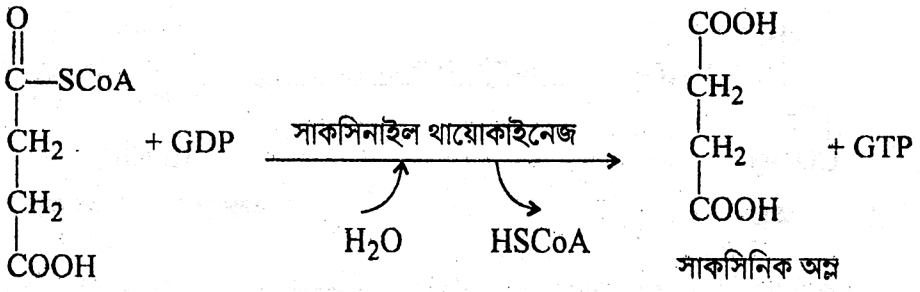
5. α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল পুনরায় NAD^+ দ্বারা জারিত হয়। এই পর্যায়ে ঐ অম্লের সাথে কোএনজাইম A(HSCoA) যুক্ত হয় ও এক অণু CO_2 নির্গত হয়। α-কিটোগ্লুয়ারেট এই বিক্রিয়ার মাধ্যমে সাকসিনাইল CoA-তে রূপান্তরিত হয়। α-কিটোগ্লুটারেট ডিহাইড্রোজেনেস এই বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।



α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল

সাকসিনাইল CoA

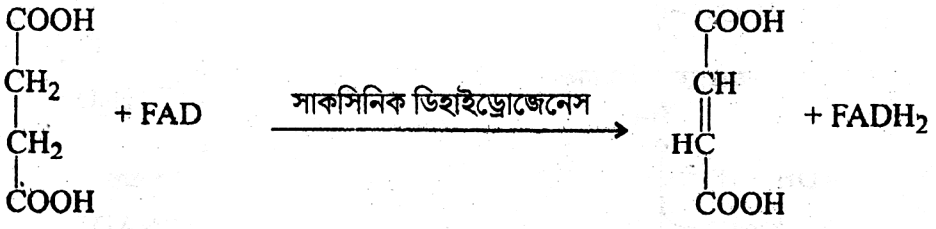
6. পরবর্তী পর্যায়ে সাকসিনাইল-CoA এক অণু GDP-কে GTP-তে রূপান্তরিত করে এবং HSCoA মুক্ত করে সাকসিনিক অম্লে পরিণত হয়। এই বিক্রিয়ায় উৎপন্ন GTP আবার ADP অণুর সাথে যুক্ত হয় ATP উৎপন্ন করে। সাকসিনাইল থায়োকাইনেজ এই বিক্রিয়াকে পরিচালিত করে।



সাকসিনাইল CoA

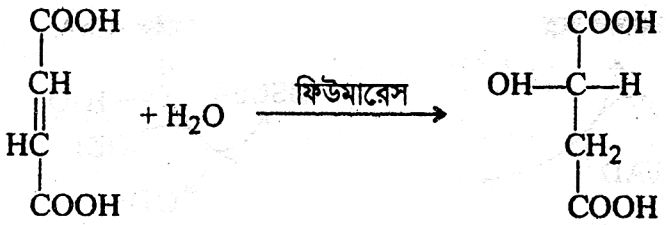
$$GTP + ADP \longrightarrow GDP + ATP$$

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



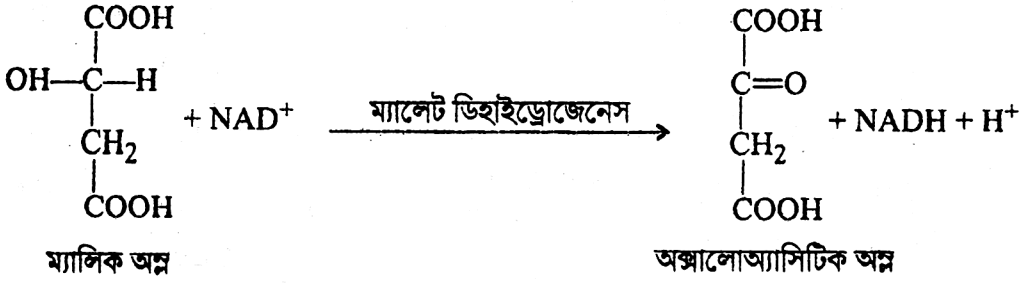
সাকসিনিক অম্ল ফিউমারিক অম্ল

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

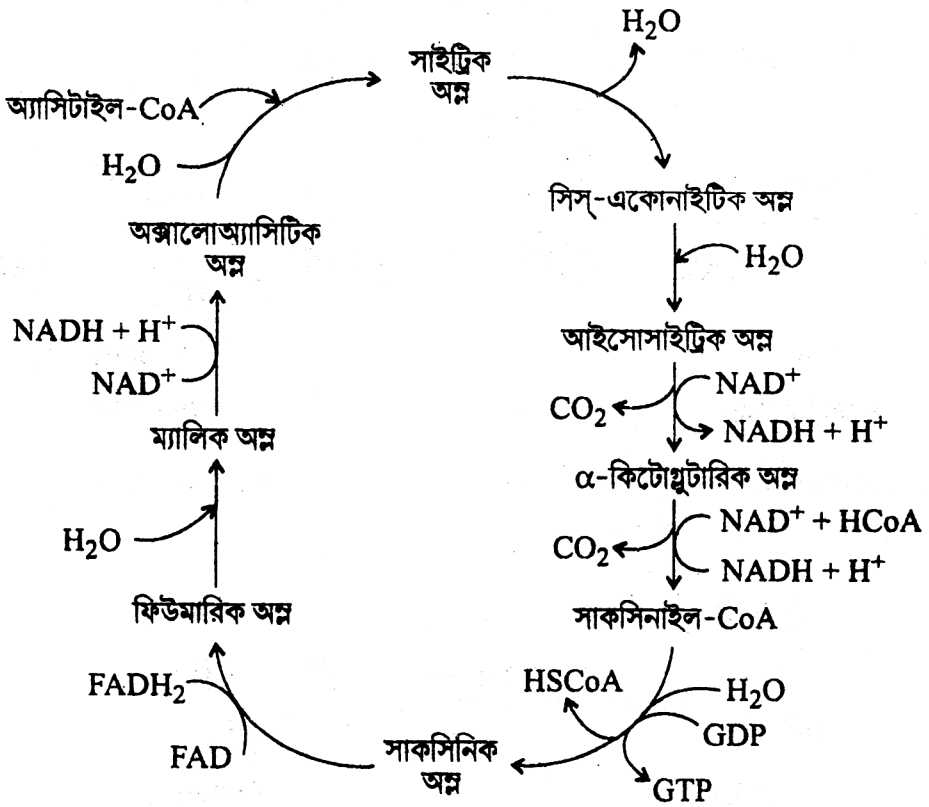


ফিউমারিক অম্ল ম্যালিক অম্ল

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।



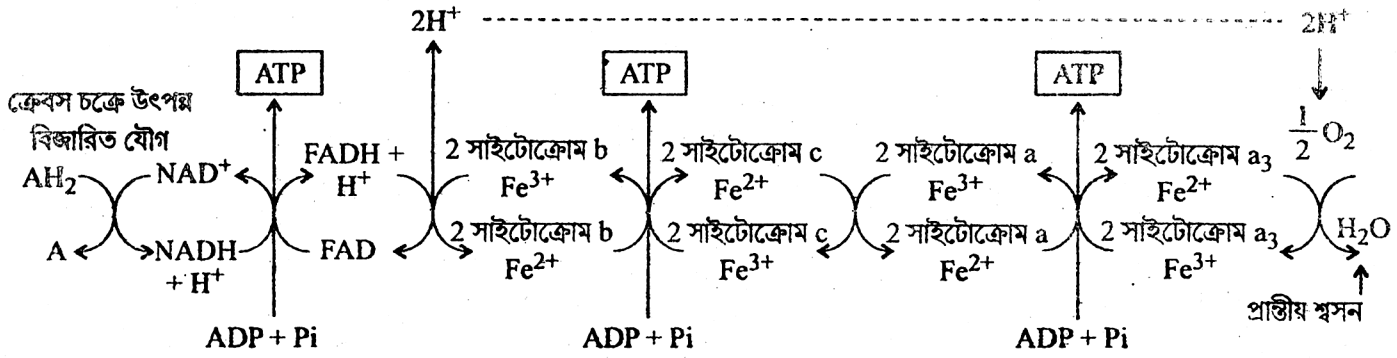
চিত্র 11.2 : ক্রেবসের অম্ল চক্র

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

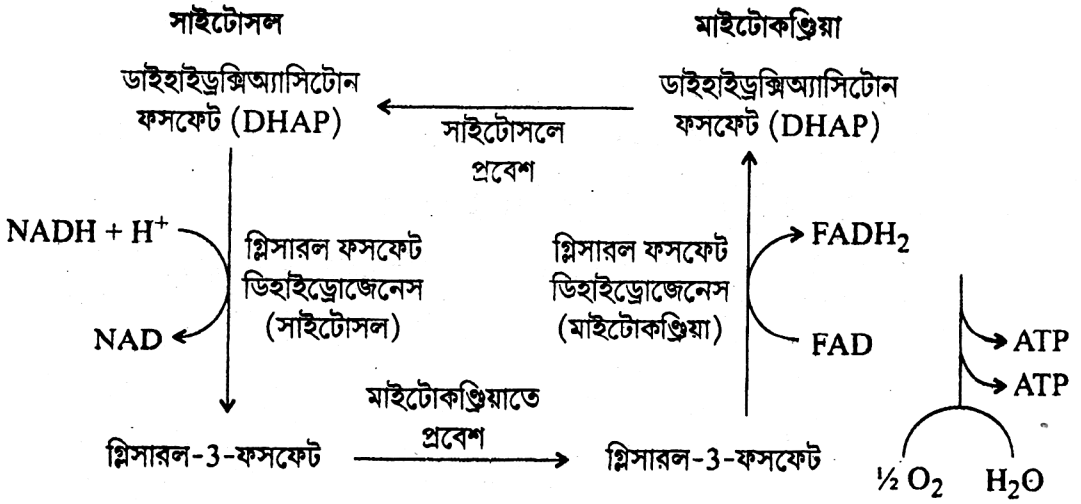
সুতরাং প্রকৃত ATP উৎপাদন (Net gain) = 8 – 2 = 6 অণু

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।

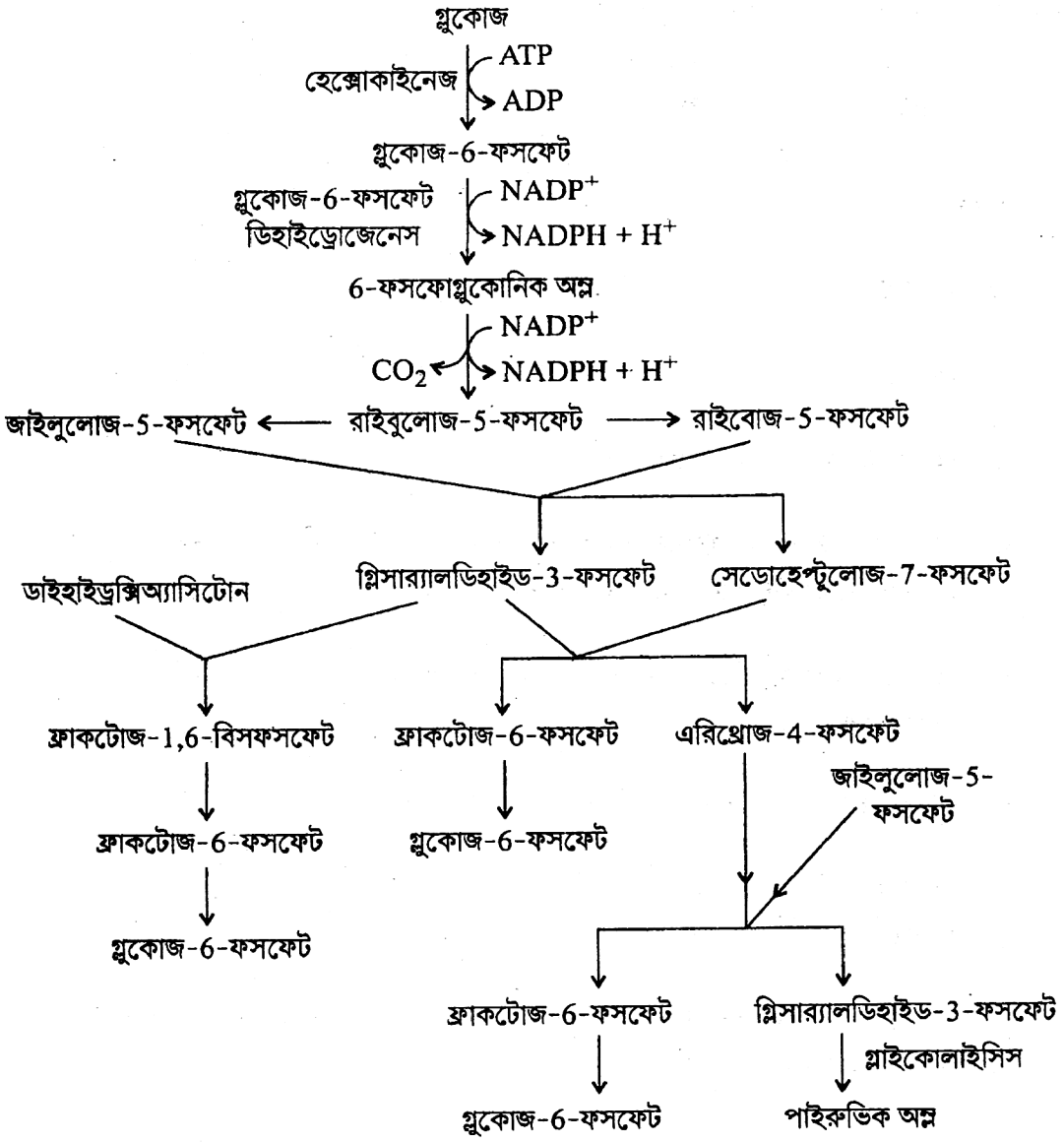
4. এই পথের মাধ্যমে রাইবোজ নামক যে 5C যুক্ত শর্করা উৎপন্ন হয় তা নিউক্লিক অম্ল উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

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।

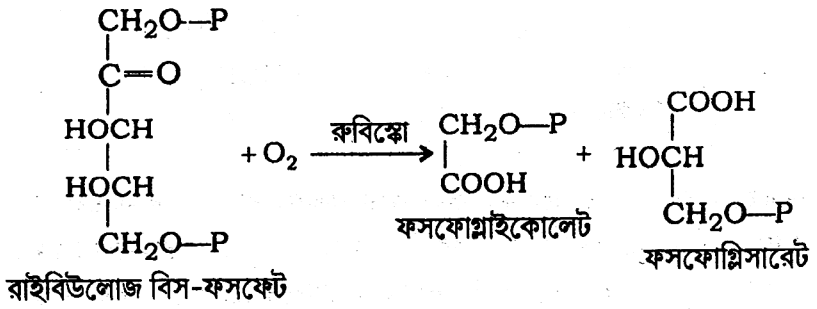
বিশেষ প্রধান খাদ্য উৎপাদনকারী শস্য যেমন ধান, গম, মুগ, মটর, সয়াবীন, তামাক, সূর্যমুখী ইত্যাদি বেশ কিছু C_3 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন হয়। অপরদিকে বাজরা, আখ ও ভুট্টাসহ অধিক ফলনশীল ঘাসজাতীয় কিছু C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন প্রায় অনুপস্থিত বললেই চলে।

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।

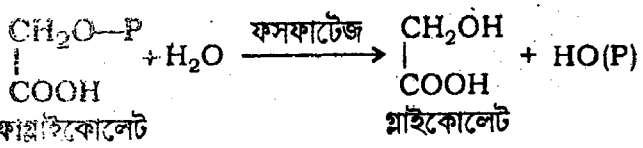
12.2.2 আলোকশ্বসনের বিভিন্ন পর্যায় ও রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহ

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।

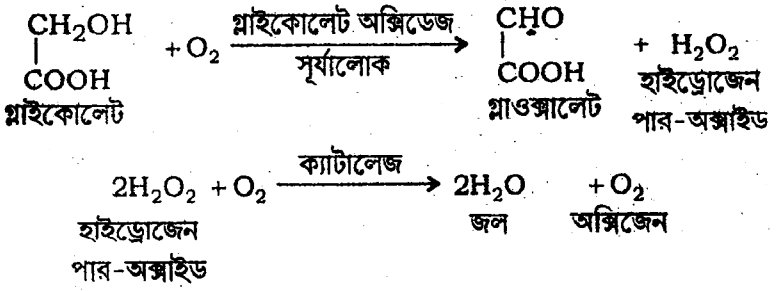


(b) ক্লোরোপ্লাস্টে প্রস্তুত ফসফোগ্লাইকোলেট থেকে ফসফেট বর্জিত হয়ে গ্লাইকোলেট উৎপন্ন হয়। ফসফেটেজ উৎসেচক এই বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে।

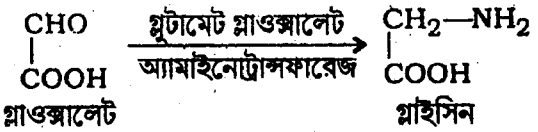


ক্লোরোপ্লাস্টে প্রস্তুত এই গ্লাইকোলেটই হল আলোকশ্বসনের প্রথম স্থায়ী যৌগ (C_2 যৌগ)। গ্লাইকোলেট উৎপাদনের হার পরিবেশে উপস্থিত অক্সিজেনের ঘনত্বের সাথে সমানুপাতিক।

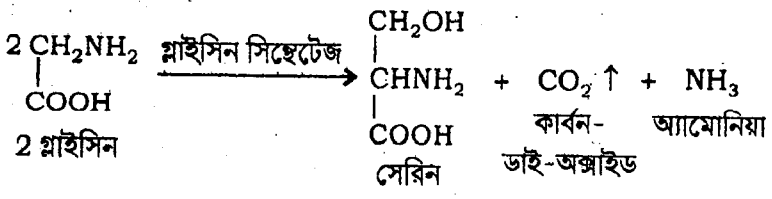
(c) এরপর গ্লাইকোলেট ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে এবং সেখানে সূর্যালোকের উপস্থিতিতে গ্লাইকোলেট অক্সিডেজ উৎসেচক দ্বারা জারিত হয়ে গ্লাওক্সালেটে রূপান্তরিত হয়। এরই সঙ্গে এক অণু হাইড্রোজেন পার-অক্সাইড তৈরি হয়, যা ক্যাটালেজ উৎসেচকের সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে জল ও অক্সিজেন উৎপাদন করে।



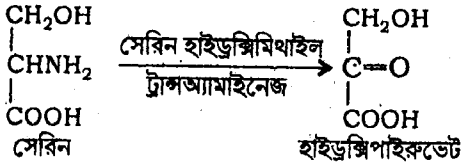
(d) গ্লাওক্সালেট পারঅক্সিজোমস্থিত গ্লুটামেট গ্লাওক্সালেট অ্যামাইনোট্রান্সফরেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে গ্লাইসিনে পরিণত হয়।

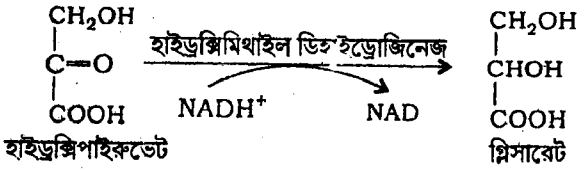


(e) পরবর্তী পর্যায়ে গ্লাইসিন, পারঅক্সিজোম থেকে মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ করে এবং গ্লাইসিন সিন্থেটেজ উৎসেচক দ্বারা 2 অণু গ্লাইসিন, 1 অণু সেরিনে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ার ফলে অ্যামোনিয়া ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড উৎপন্ন হয়। বলা বাহুল্য উদ্ভূত এই কার্বন-ডাই-অক্সাইডই আলোকশ্বসনের সময়ে বায়ুমণ্ডলে নির্গত 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।

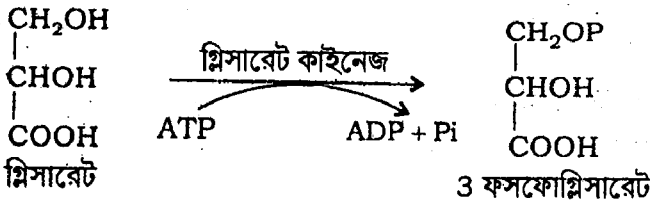


(f) মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রস্তুত সেরিন পুনরায় পারঅক্সিজোমে প্রবেশ করে এবং সেখানে এটি সেরিন হাইড্রক্সিমিথাইল ট্রান্সফারেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে হাইড্রক্সিপাইরুভেটে পরিণত হয় এবং এটি থেকে পরে গ্লিসারেট উৎপন্ন হয়।



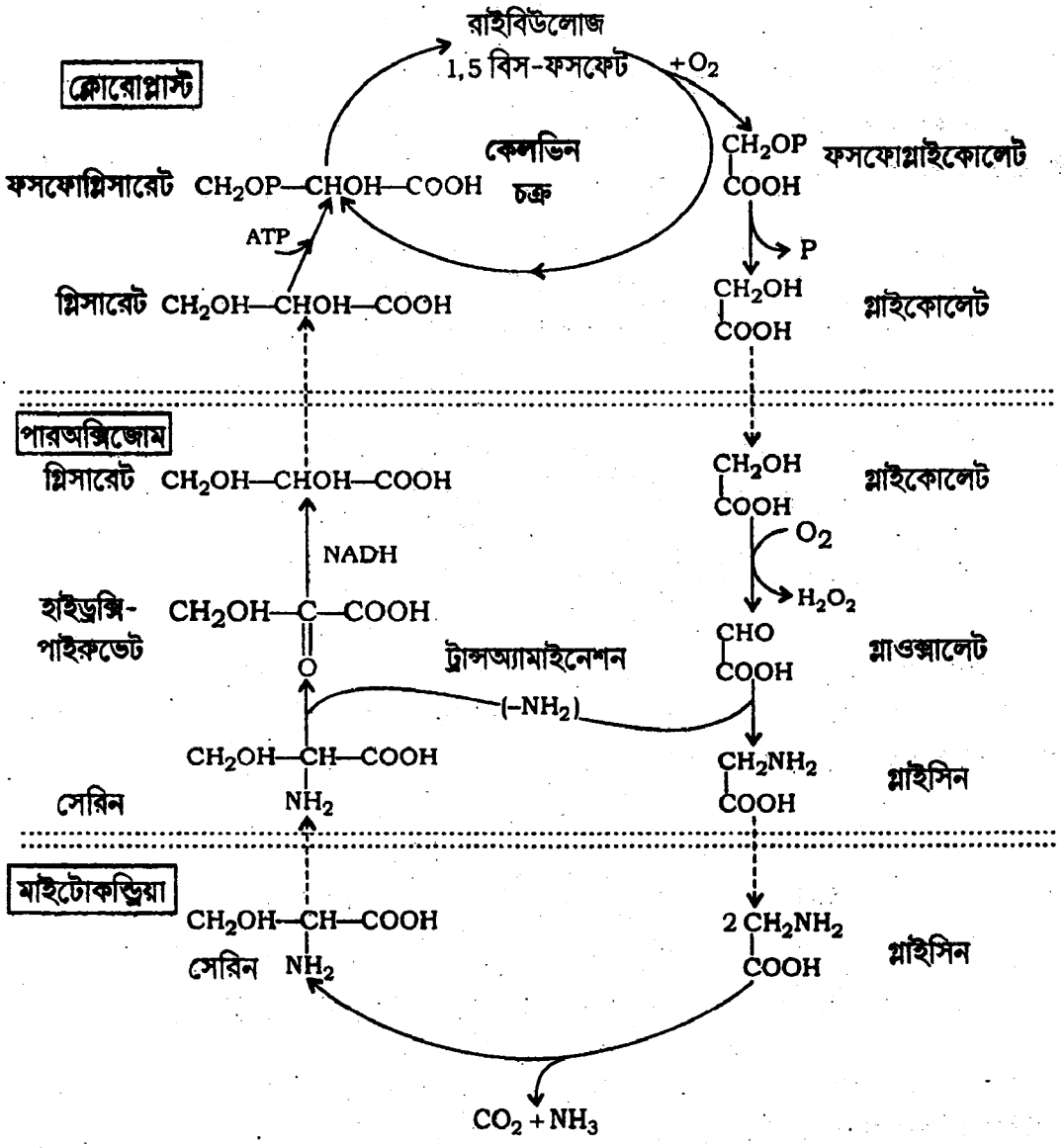


(g) গ্লিসারেট প্রস্তুত হবার পর সেটি ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং গ্লিসারেট কাইনজের উপস্থিতিতে ATP ব্যবহার করে ফসফোগ্লিসারেট উৎপাদন করে। এই ফসফোগ্লিসারেট সরাসরি কেলভিন চক্রে প্রবেশ করে এবং শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত করতে শুরু করে।



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

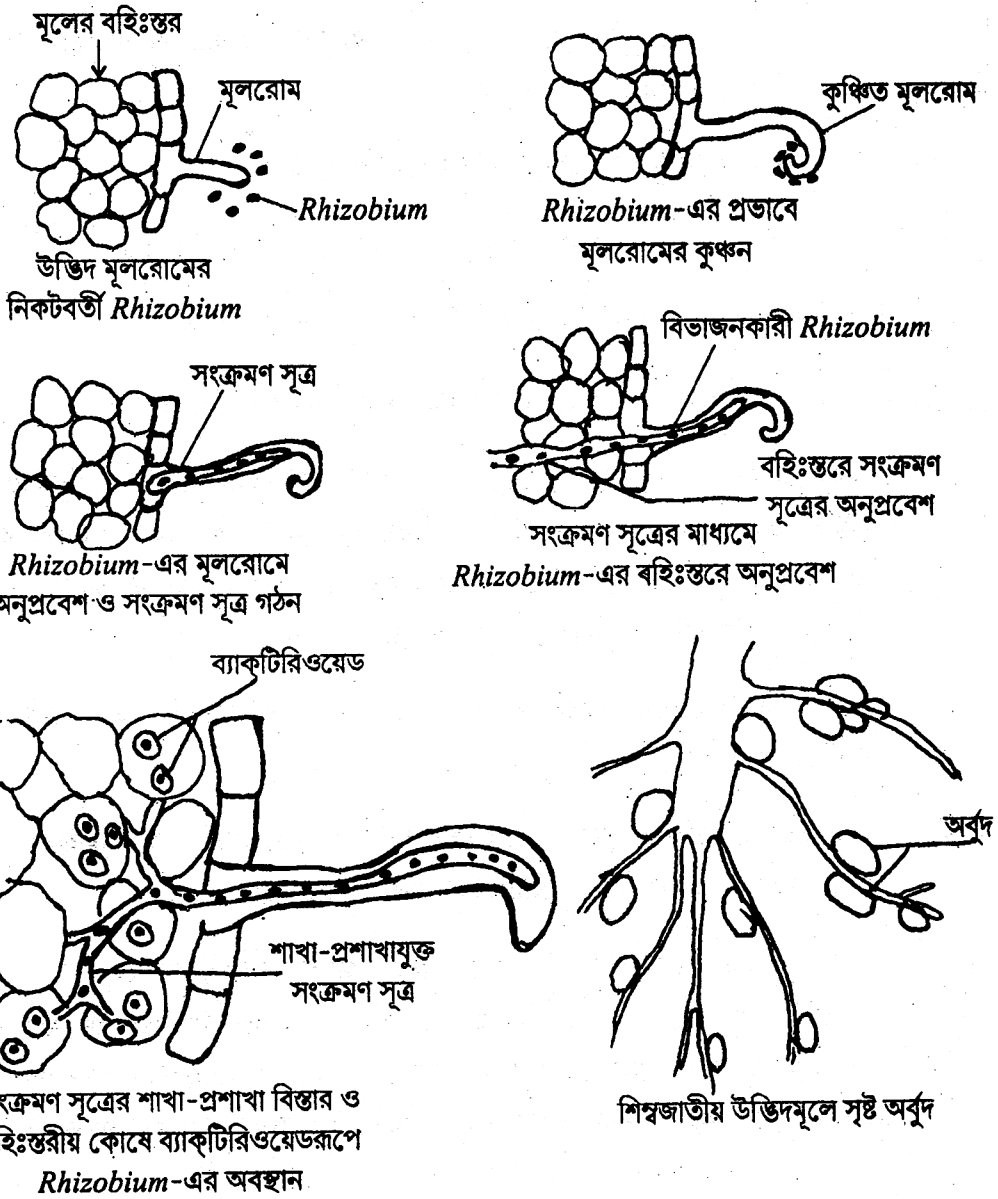
আমরা ইতিপূর্বেই জানতে পেরেছি যে শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ *Rhizobium* নামক ব্যাক্টেরিয়া মিথোজীবী প্রক্রিয়ায় N_2 সংবন্ধন করে। এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে কিভাবে এই প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বায়ুর N_2 বিজারিত হয়ে NH_3 তে রূপান্তরিত হয়।

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

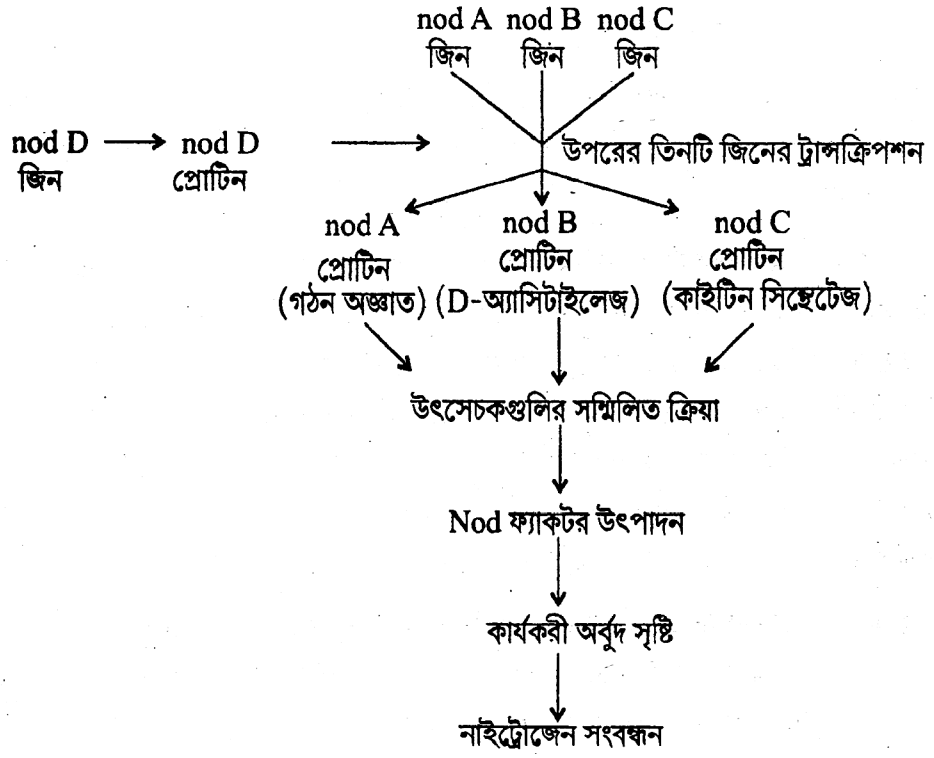
এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে কীভাবে বাতাসের N_2 গ্যাস *Rhizobium*-এর সক্রিয়তার ফলে NH_3তে রূপান্তরিত হয়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা N, সংবন্ধনের বিভিন্ন পর্যায়গুলিকে বিস্তারিতভাবে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হয়েছেন।

(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।

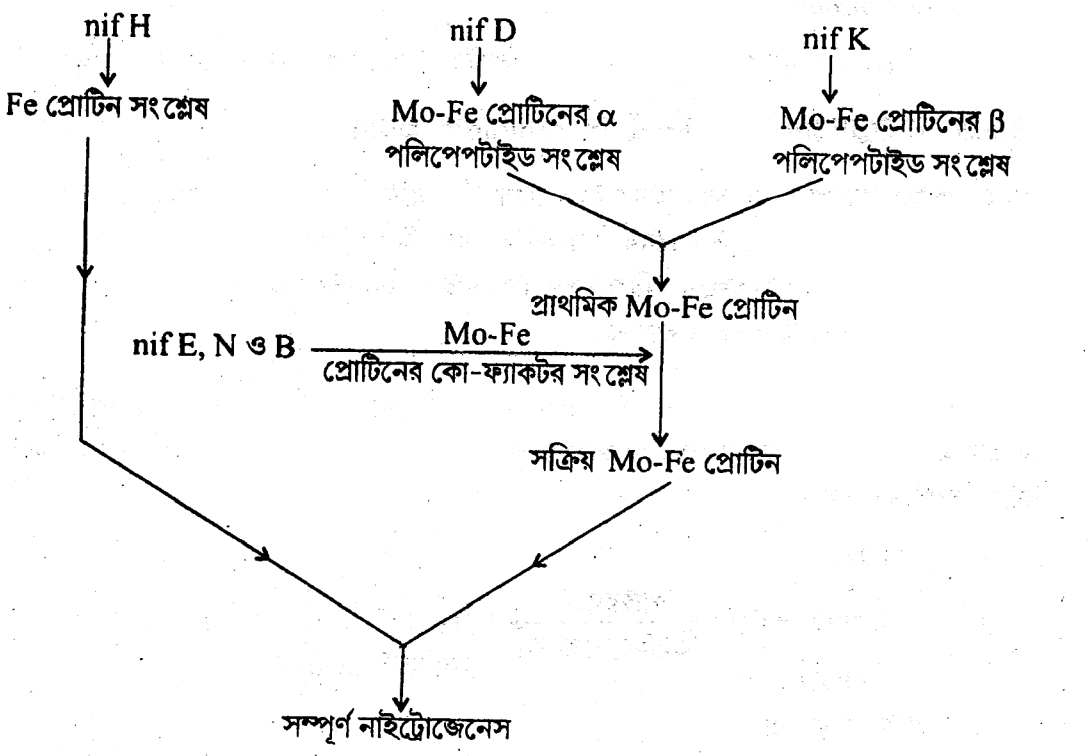
নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের গঠন অত্যন্ত জটিল। এই উৎসেচক দুটি অধঃএককে বিভক্ত। একটি অধঃএকক লৌহযুক্ত বলে তাকে Fe প্রোটিন এবং অপর অধঃএককটি মলিবডিনাম ও লৌহযুক্ত বলে তাকে Mo-Fe প্রোটিন বলে।

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।

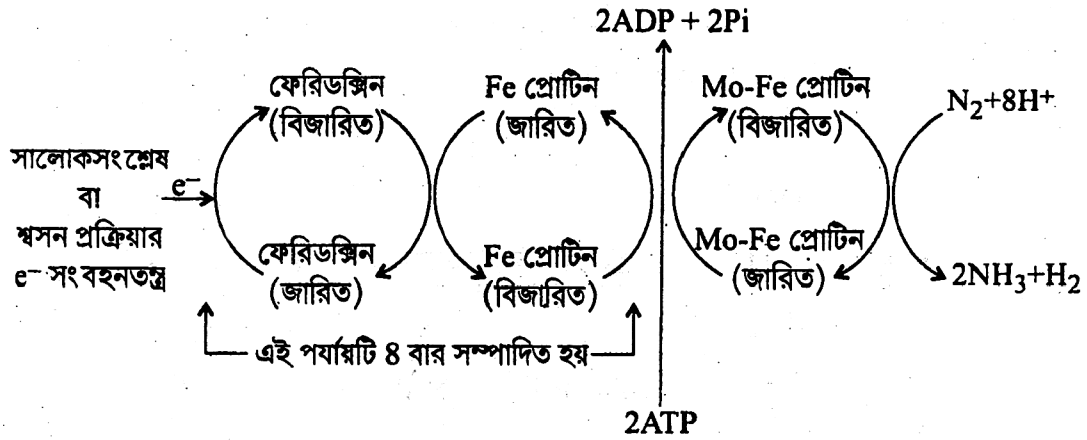
বৈজ্ঞানিকেরা প্রমাণ করেছেন যে পাইরুভিক অম্ল যে বিক্রিয়া পদ্ধতির মাধ্যমে অ্যাসিটেটে রূপান্তরিত হয় তার মাধ্যমেই নাইট্রোজেন সংবন্ধনের জন্য প্রয়োজনীয় H_2 ও ATP উৎপাদিত হয়। এই বিক্রিয়া তিনটি পর্যায়ে সম্পাদিত হয়—

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

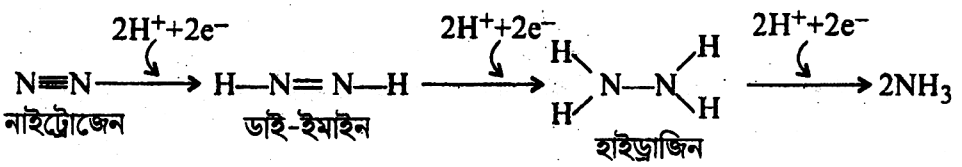
(ii) $CH_3CO—SCoA + H_3PO_4 \xrightarrow{\text{ফসফোট্রান্সঅ্যাসিটাইলেজ}}$ অ্যাসিটাইল ফসফেট + CoA

(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।



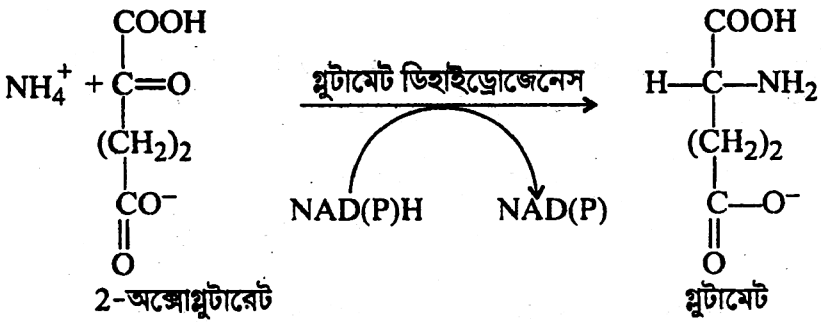
নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের মাধ্যমে N_2-এর বিজারণ প্রক্রিয়া ও NH_3 উৎপাদন :



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)।

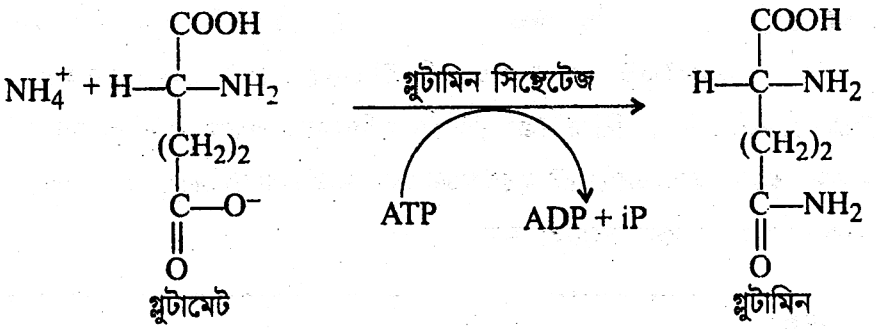
13.6 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের পরবর্তী পর্যায়

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)

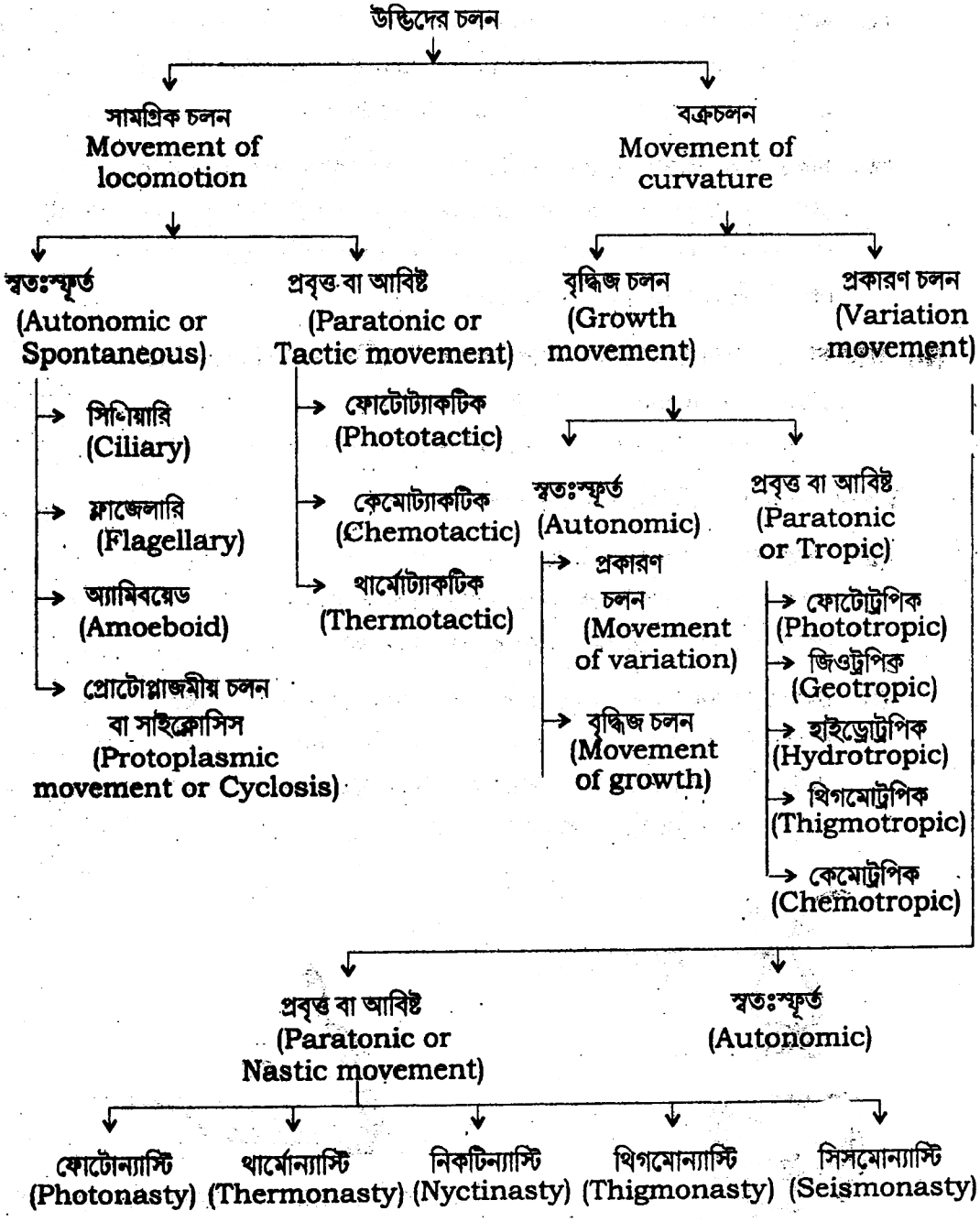
সংজ্ঞা : যখন কোন উদ্ভিদ বা উদ্ভিদাংগ সামগ্রিকভাবে স্থান পরিবর্তন করে তাকে সামগ্রিক চলন বলে।

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)

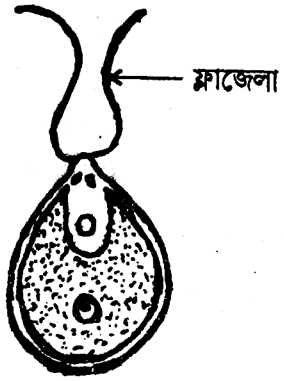
(d) **সাইক্লোসিস :** অনেক উদ্ভিদের জীবিত কোষের প্রাকারবদ্ধ প্রোটোপ্লাজমে বিশেষ এক ধরনের চলন দেখা যায়। এই পদ্ধতিকে সাইক্লোসিস বলে। প্রোটোপ্লাজমের চলন একটি বড় কোষ গহ্বরকে ঘিরে একই দিকে হতে পারে (ঘূর্ণগতি) অথবা বিভিন্ন বৃত্তে অনির্দিষ্ট পথে হতে পারে (আবর্তগতি)। (চিত্র 14.3 A ও B)

(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।

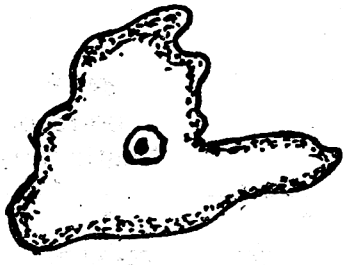
এই প্রকার চলনকে নিম্নলিখিত কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়—

(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।

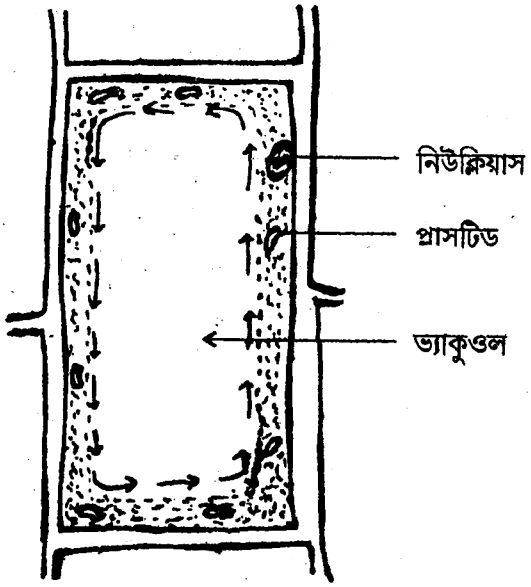
(b) **কেমোট্যাকটিক চলন :** সমগ্র উদ্ভিদ দেহটি যখন রাসায়নিক পদার্থের আকর্ষণে এক স্থান থেকে অন্য স্থানে যায় তখন তাকে কেমোট্যাকটিক চলন বলে। উদাহরণ—ফার্ণের স্ত্রীধানী থেকে ম্যালিক অ্যাসিড নামক রাসায়নিক পদার্থ নিঃসৃত হয় এবং ফার্ণের শুক্রাণু এই রাসায়নিক পদার্থ দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে স্ত্রীধানীর দিকে যায়।



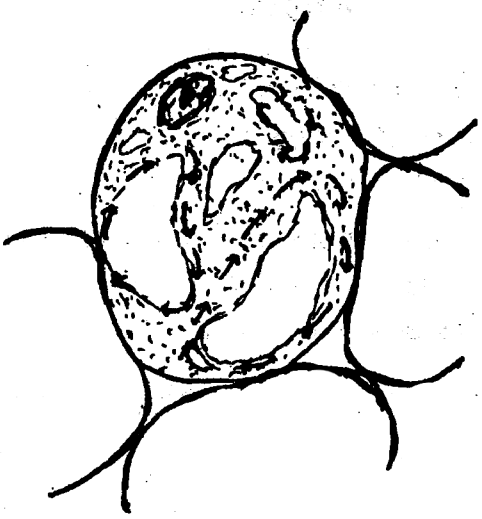
চিত্র 14.1: ক্ল্যামাইডোমোনাসের ফ্লাজেলারি গমন



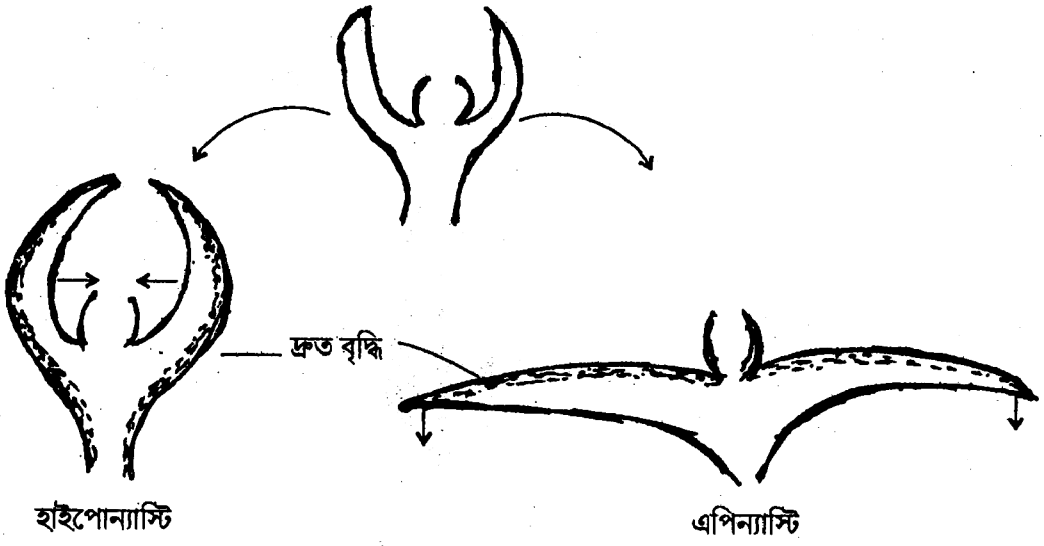
চিত্র 14.2 : মিক্সোমাইসিটিসের অ্যামিবয়েড গমন



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।

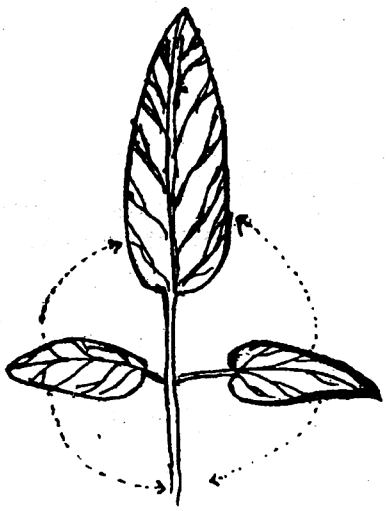
14.4 বক্রচলন (Movement of curvature)

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।

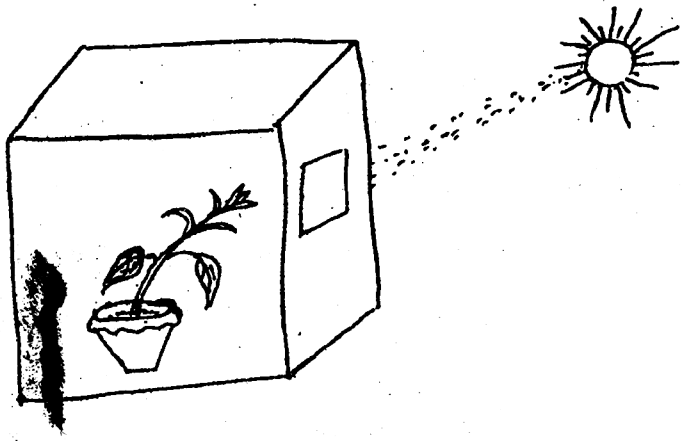
(c) ফার্ণের কচি পাতা দুই পিঠের কোষগুলির অসমান বৃদ্ধির ফলে গুটিয়ে থাকে, একে _____ বলে।

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।

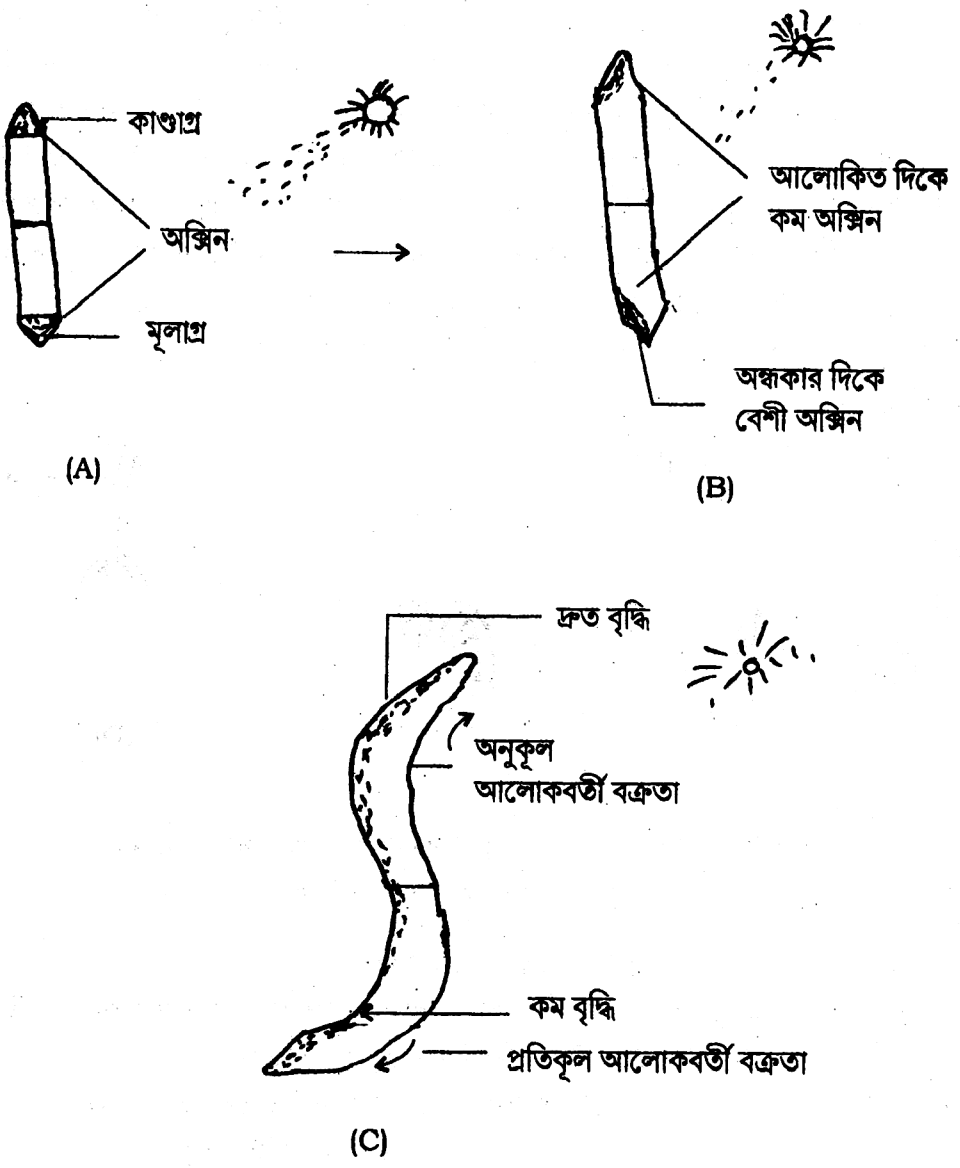


চিত্র 14.6 : উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের পরীক্ষা

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।

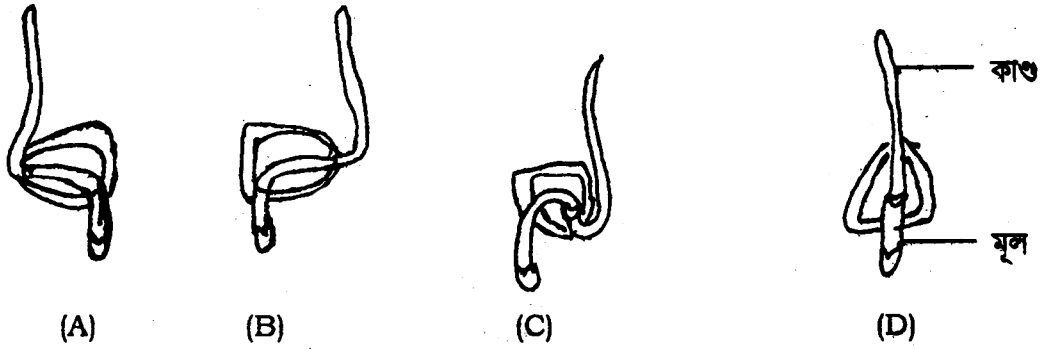
আলোকের তীব্রতা (intensity) এবং সময় (time) অর্থাৎ আলোকের পরিমাণের উপর আলোকবৃত্তি প্রতিক্রিয়া অত্যন্ত নির্ভরশীল। আলোকবৃত্তি চলনে বিভিন্ন আলোকের কার্যবর্ণালী (Action spectrum) পরীক্ষা করে দেখা গেছে যে, লাল আলোয় আলোকবৃত্তি চলনের কোন প্রভাব পরিলক্ষিত হয় না। থিম্যান ও কুরি (Thimann and Curry) 1961 খ্রিস্টাব্দে 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)



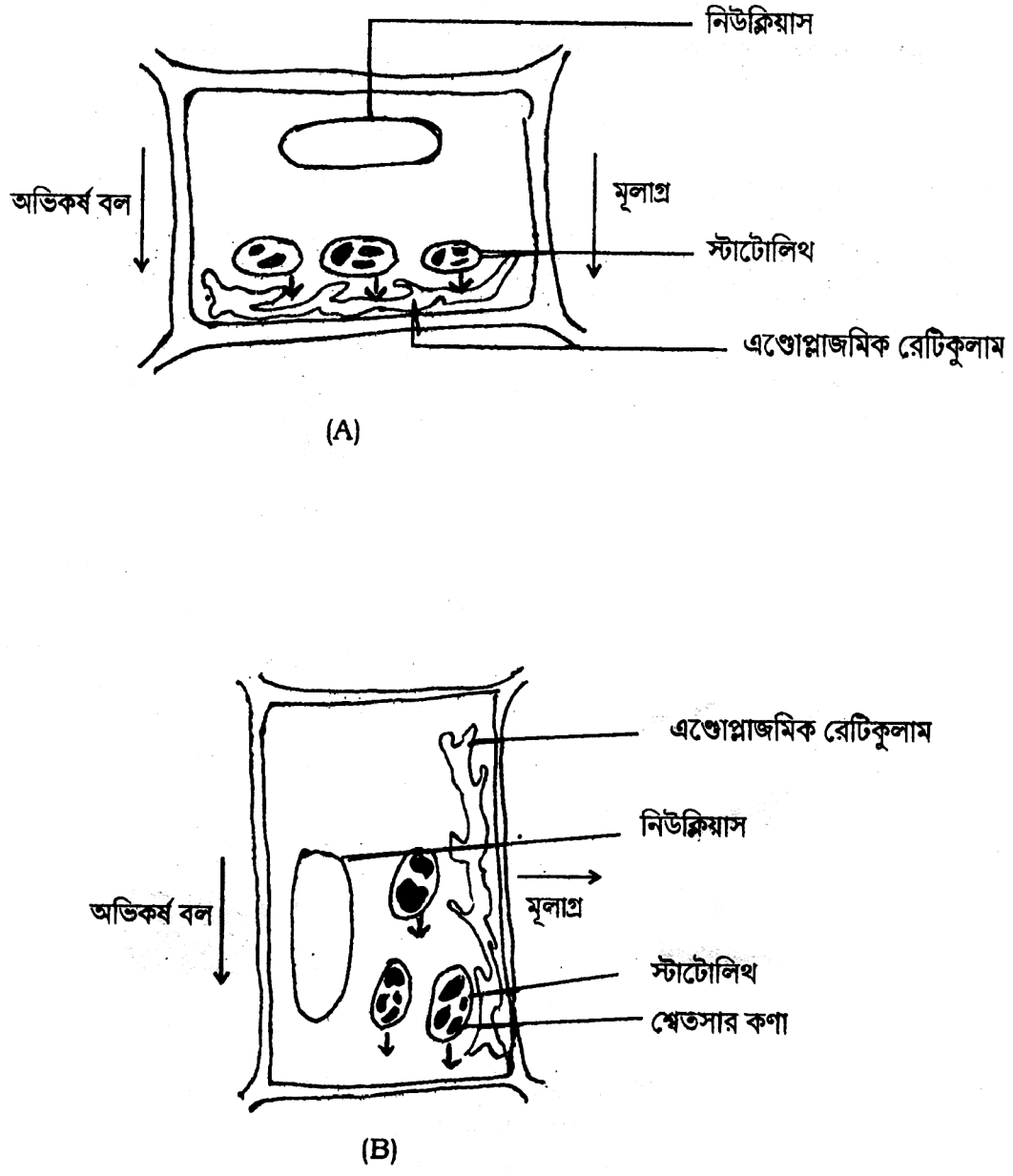
চিত্র 14.7 : আলোকবৃত্তিতে আলো ও অক্সিনের পারস্পরিক যুগ্মক্রিয়া

(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)



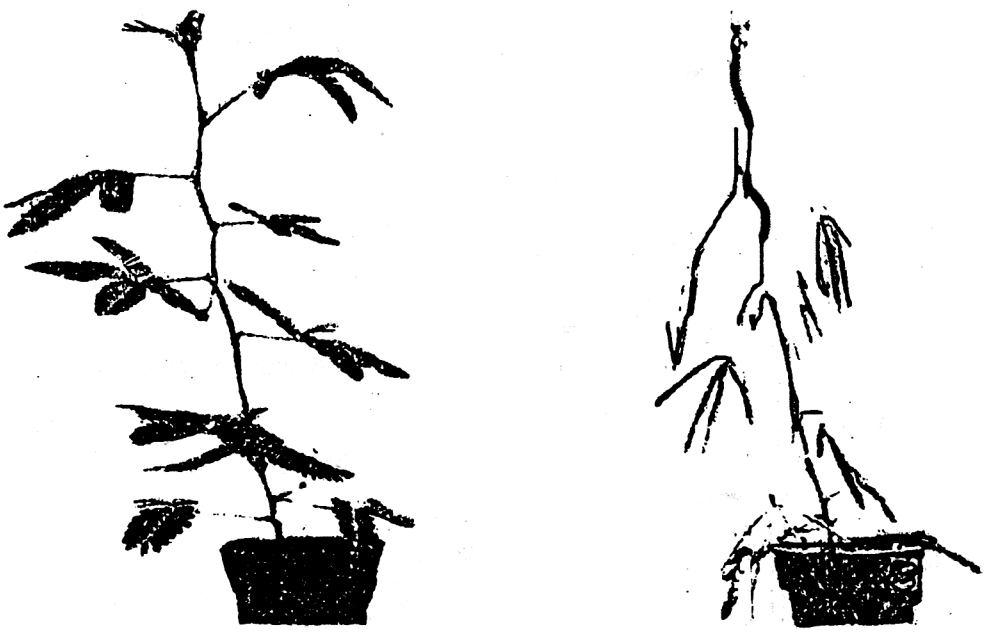
চিত্র 14.9 : অভিকর্ষ বৃত্তি—অভিকর্ষের প্রভাবে স্টাটোলিথ কোষের নীচের দিকে সঞ্চিত হচ্ছে।

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।



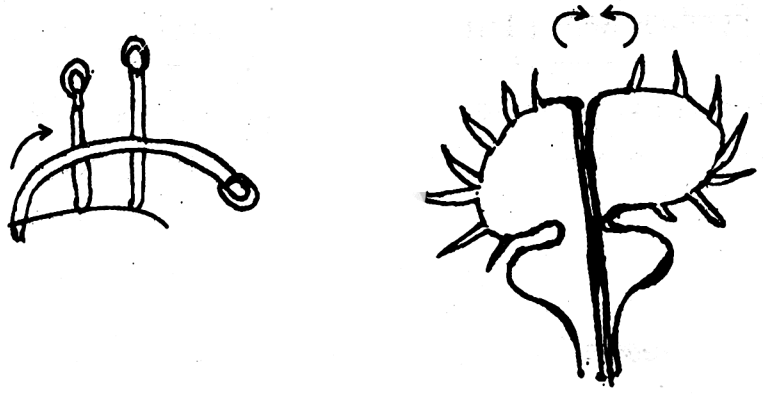
চিত্র 14.10 : লজ্জাবতী উদ্ভিদের সিসমোন্যাস্টিক প্রকৃতির চলন
A—উদ্ভিদের সাধারণ অবস্থা (পাতা খোলা)
B—উদ্দীপকের প্রভাবে পাতা মুড়ে

(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।

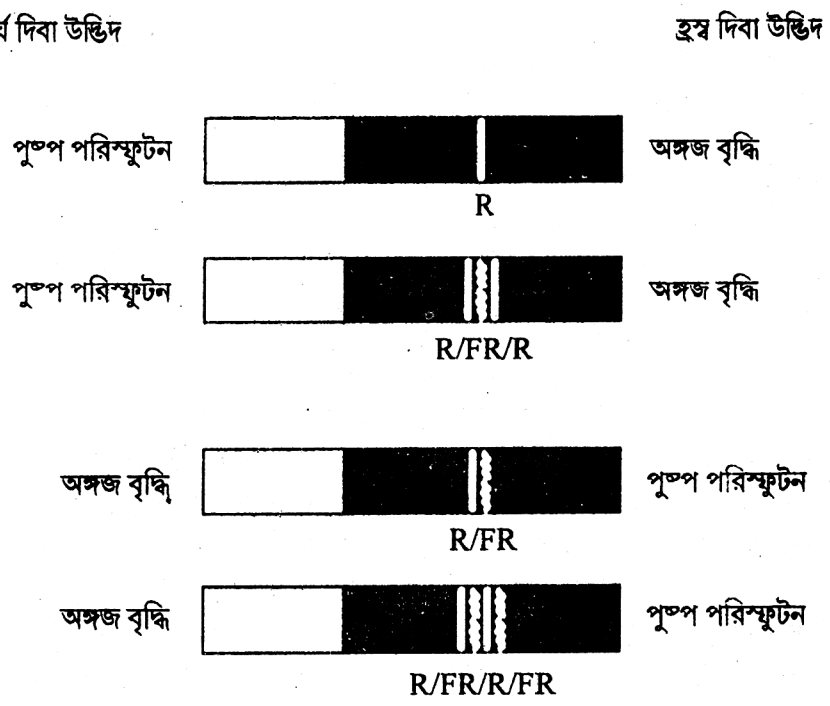
(ii) একটি হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদের সংকট আলোককাল দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদের সংকট আলোককালের চেয়ে বেশি হতে পারে। যেমন *Hyoscyamus* নামক দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদটির সংকট আলোককাল 11 ঘণ্টা কিন্তু *Xanthium* নামক হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদটির সংকট আলোককাল 15.5 ঘণ্টা। এই দুটি উদ্ভিদই 13 ঘণ্টা আলোককালে প্রস্ফুটিত হতে পারে। এগার ঘণ্টার 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)।



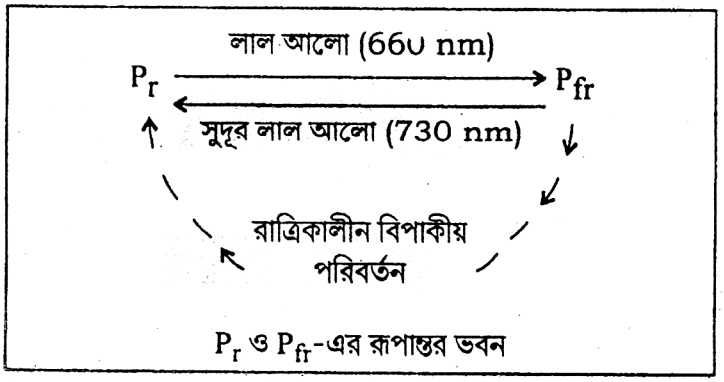
চিত্র 1 : R ও FR আলোর প্রভাবে উদ্ভিদের পুষ্প পরিস্ফুটন

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।

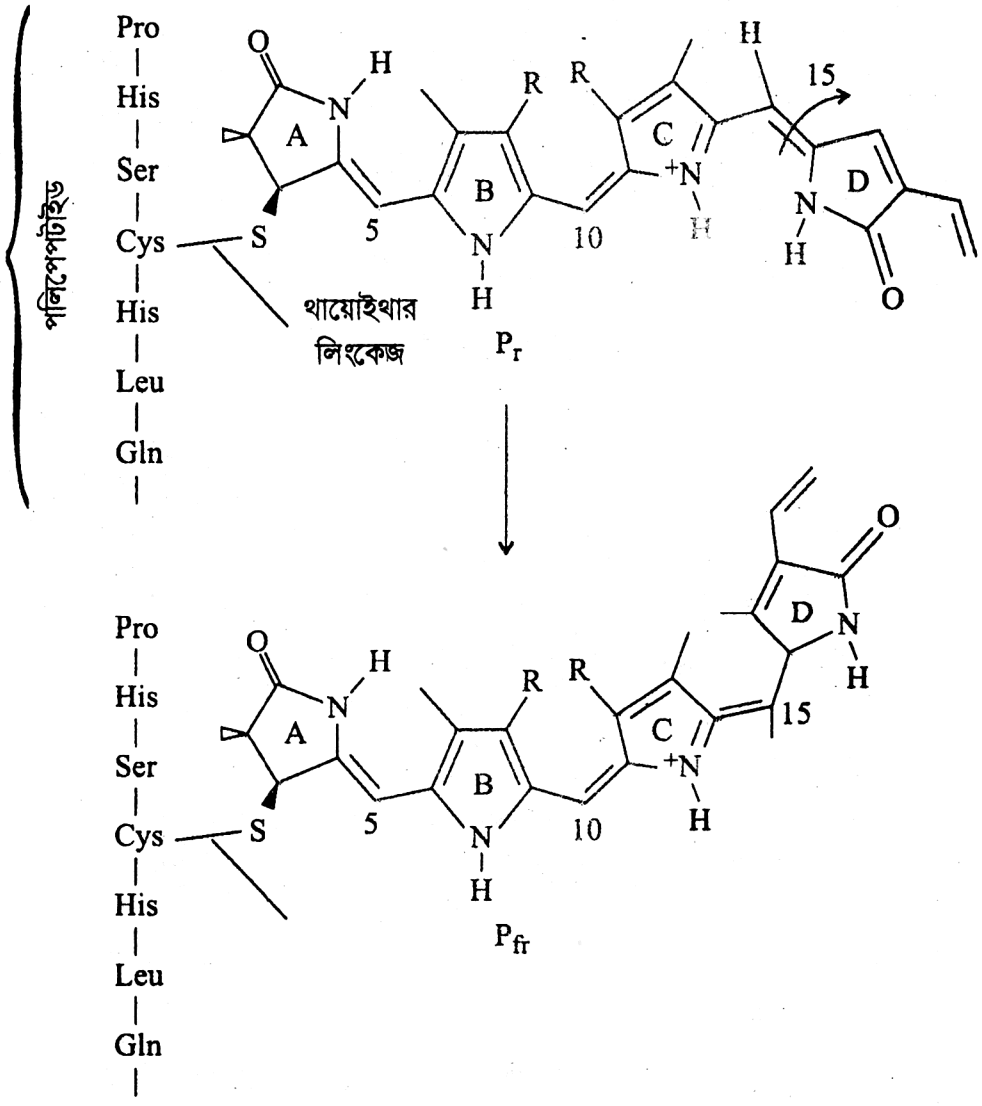
(2) P_r ফাইটোক্রোমটি লাল আলো শোষণ করার সাথে সাথে P_{fr} এ রূপান্তরিত হয়। পক্ষান্তরে, P_{fr} সুদূর লাল আলো শোষণ করে P_r এ রূপান্তরিত হয়। এছাড়া রাত্রিকালে আলোর অনুপস্থিতিতে সঞ্চিত P_{fr} ধীরে ধীরে P_r এ রূপান্তরিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে রাত্রিকালীন বিপাকীয় পরিবর্তন (Metabolic dark conversion) বলে। এই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



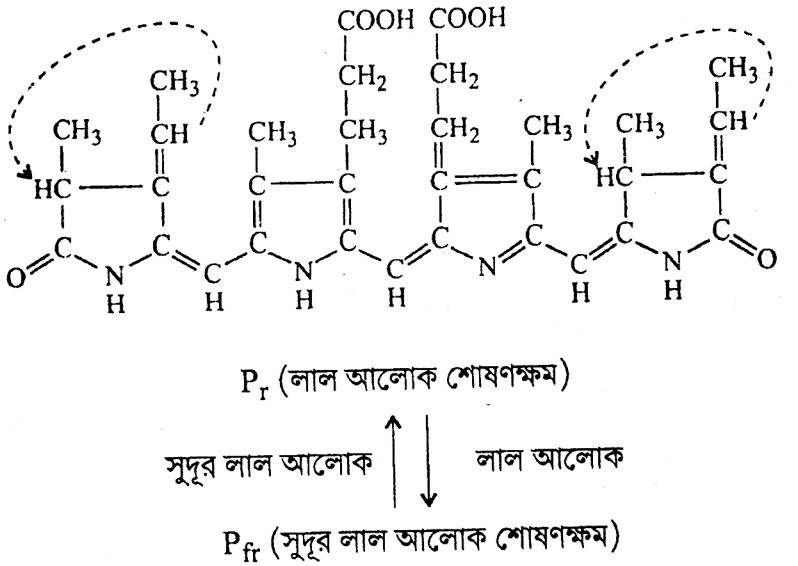
(3) $P_r \leftrightharpoons P_{fr}$-এর রূপান্তর একটি উভমুখী প্রক্রিয়া এবং কয়েক মিলিসেকেন্ডের মাধ্যমেই এই রূপান্তর ঘটে। এই রূপান্তরের সময় ফাইটোক্রোমের টেট্রাপাইরোল যৌথটির একটি H পরমাণুর স্থানান্তর ঘটে। P_r ও P_{fr} যেহেতু পরস্পর আইসোমার তাই এই রূপান্তরকে আইসোমেরাইজেশন বলা যায়। আর একটি উল্লেখযোগ্য 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

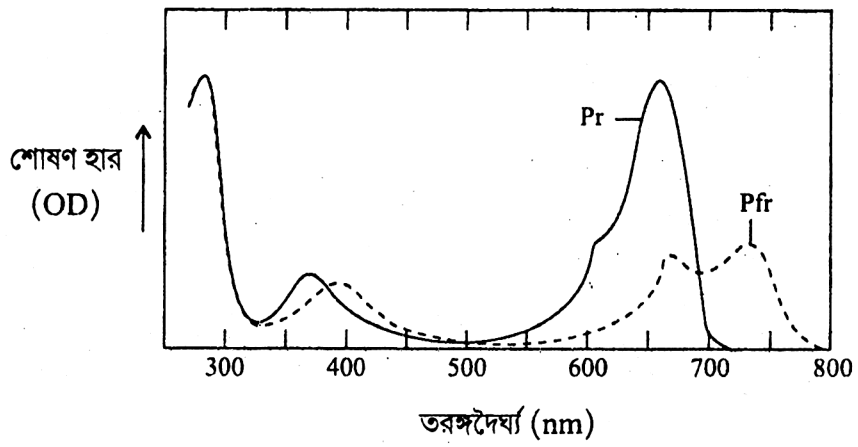


চিত্র 3 · ফাইটোক্রোমের রাসায়নিক গঠন → তীর চিহ্নিত স্থানে হাইড্রোজেন স্থানান্তরের ফলে P_r এবং P_{fr} রঞ্জক পদার্থের অবস্থা।

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।

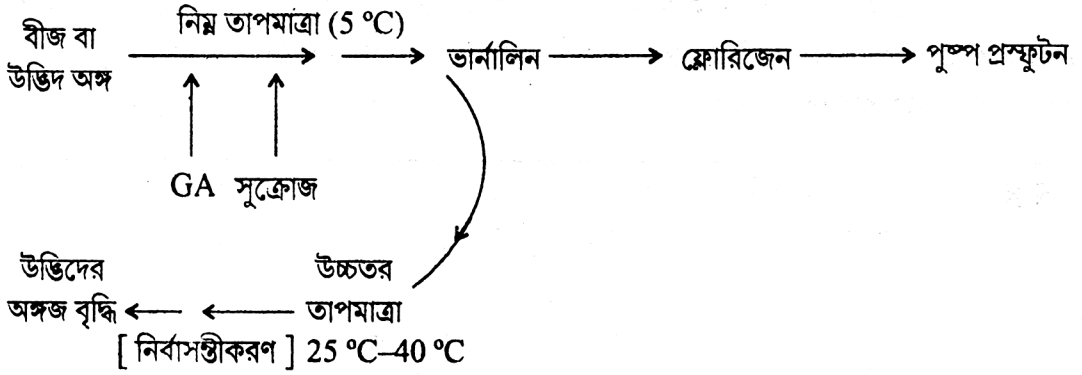
(5) বাসন্তীকরণ প্রক্রিয়াটি একটি O_2 নির্ভর পদ্ধতি। তাই O_2-এর অভাবে এই প্রক্রিয়াটি কার্যকরী হয় না।

(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

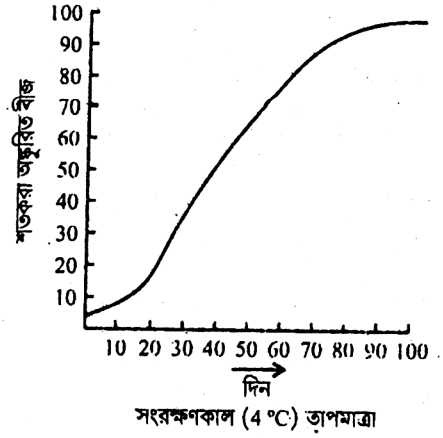
বীজটির মধ্যে অক্সিজেন প্রবেশ করায় বীজটির স্বাভাবিক অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটে। উপরের বীজটির ত্বক ছিন্ন করলে বা বীজকে উচ্চ ঘনত্বযুক্ত অক্সিজেনের মাধ্যমে রাখলে বীজটির অঙ্কুর গঠিত হয়।

(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।

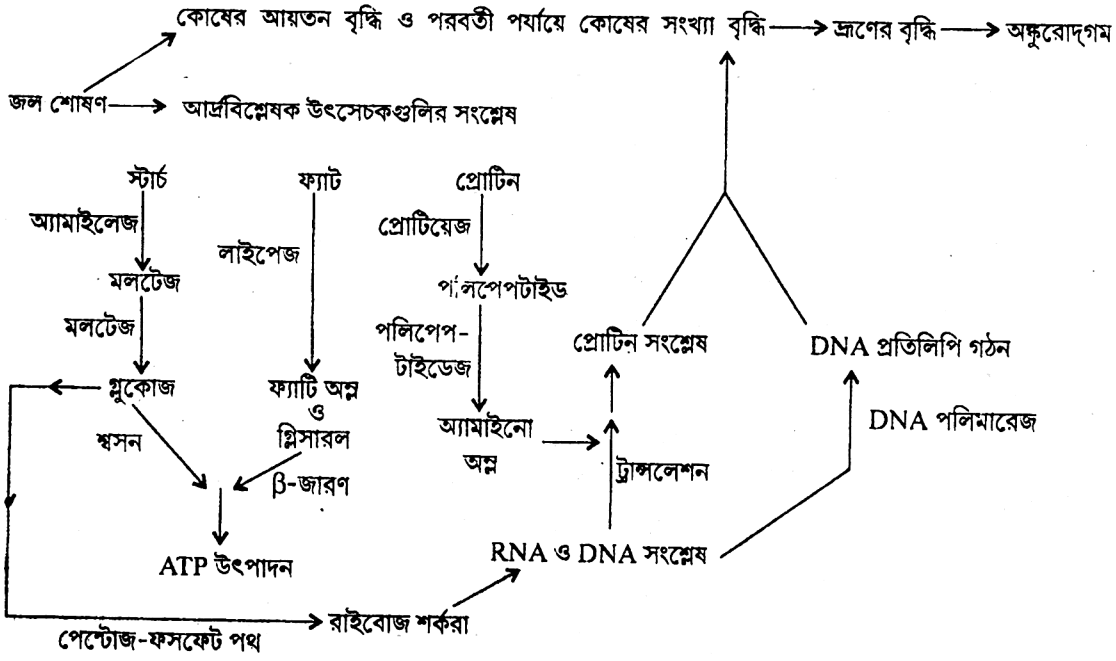
B. **উৎসেচকের ক্রিয়াশীলতা**—পর্যাপ্ত পরিমাণে জলশোষণের পর বীজে উপস্থিত mRNA অণুগুলি সক্রিয় হয় এবং বীজে সঞ্চিত অ্যামাইনো অম্লের সাহায্যে উৎসেচকের সংশ্লেষ ঘটে। অঙ্কুরোদ্‌গমের সময় প্রধানত আর্দ্র বিশ্লেষক উৎসেচকগুলি সক্রিয় হয়। প্রোটিয়েজ বীজের সঞ্চিত প্রোটিনকে বিশ্লেষিত করে সরল পলিপেপটাইড গঠন করে। এই 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।

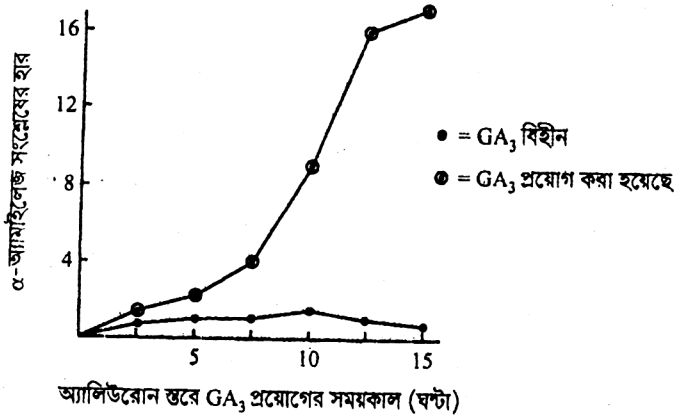
2. MYB ওপেরনের অপারেটর জিনটিতে সাধারণ অবস্থায় DELLA রিপ্রেসর যুক্ত থাকে।

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।

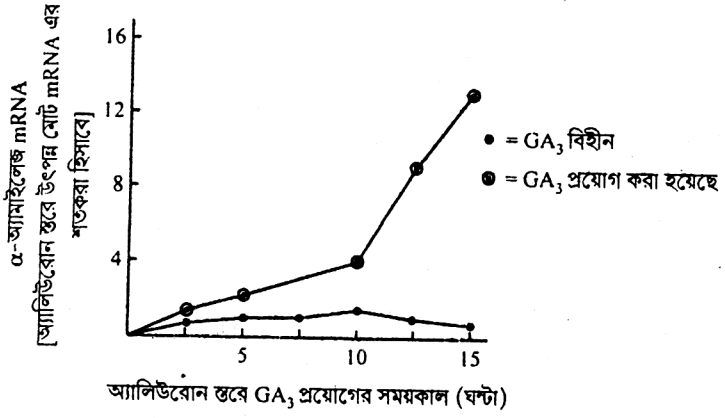
4. এই প্রোটিন ফ্যাক্টরটি আবার নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে α-অ্যামাইলেজ ওপেরনের প্রোমোটার জিনের সাথে যুক্ত হয় এবং α-অ্যামাইলেজ জিনকে উদ্বুদ্ধ করে α-অ্যামাইলেজ mRNA উৎপন্ন করে।

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]

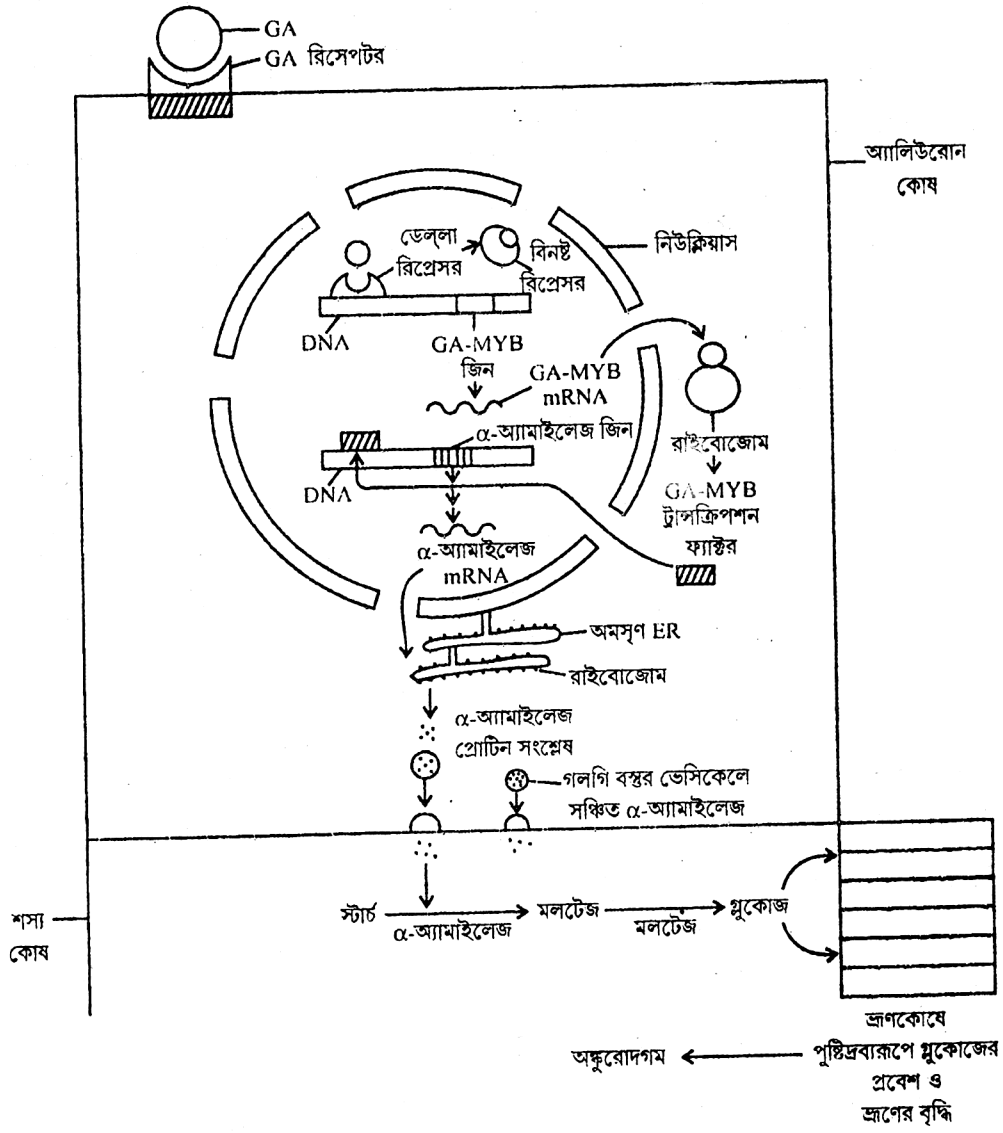


B. **অ্যাবসিসিক অম্ল** (ABA)—ABA হরমোনটি অঙ্কুরোদ্‌গম প্রক্রিয়াকে বাধাদান করে এবং বীজে সুপ্তাবস্থা আনয়ন করে। বার্লি, ধান প্রভৃতি বীজে GA প্রভাবিত α-অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ ABA-এর উপস্থিতিতে উল্লেখযোগ্যভাবে হ্রাস পায়। রেড়ি বীজে ABA ফ্যাটি অম্লের সংশ্লেষ এবং মটর বীজে ফসফাটেজ উৎসেচকের ক্রিয়া ব্যাহত করে।



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।