প্রাক্‌কথন

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের স্নাতক শ্রেণির জন্য যে পাঠক্রম প্রবর্তিত হয়েছে, তার লক্ষণীয় বৈশিষ্ট্য হ'ল প্রতিটি শিক্ষার্থীকে তাঁর পছন্দমতো কোন বিষয়ে সাম্মানিক (honours) স্তরে শিক্ষাগ্রহণের সুযোগ করে দেওয়া। এক্ষেত্রে ব্যক্তিগতভাবে তাঁদের গ্রহণক্ষমতা আগে থেকেই অনুমান করে না নিয়ে নিয়ত মূল্যায়নের মধ্য দিয়ে সেটা স্থির করাই যুক্তিযুক্ত। সেই অনুযায়ী একাধিক বিষয়ে সাম্মানিক মানের পাঠউপকরণ 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।

দূরসঞ্চারী শিক্ষাদানের স্বীকৃত পদ্ধতি অনুসরণ করেই এইসব পাঠউপকরণ 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 শিক্ষার্থী এই পাঠ্যবস্তুনিচয়ের সাহায্য নেবেন, তখনই তিনি কার্যত একাধিক শিক্ষকমণ্ডলীর পরোক্ষ অধ্যাপনার তাবৎ সুবিধা পেয়ে যাচ্ছেন।

এইসব পাঠউপকরণের চর্চা ও অনুশীলনে যতটা মনোনিবেশ করবেন কোনও শিক্ষার্থী, বিষয়ের গভীরে যাওয়া তাঁর পক্ষে ততই সহজ হবে। বিষয়বস্তু যাতে নিজের চেষ্টায় অধিগত হয় পাঠউপকরণের ভাষা ও উপস্থাপনা তার উপযোগী করার দিকে সর্বস্তরে নজর রাখা হয়েছে। এরপর যেখানে যতটুকু অস্পষ্টতা দেখা দেবে, বিশ্ববিদ্যালয়ের বিভিন্ন পাঠকেন্দ্রে নিযুক্ত শিক্ষা-সহায়কগণের পরামর্শে তাঁর 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 বেশ কিছু 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 পাঠউপকরণগুলি সর্বত্র সমাদৃত হবে।

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার

উপাচার্য

তৃতীয় পুনর্মুদ্রণ ঃ অক্টোবর, 2013

ভারত সরকারের দূরশিক্ষা পর্ষদের বিধি অনুযায়ী এবং অর্থানুকূল্যে মুদ্রিত।
Printed in accordance with the regulations and financial assistance
of the Distance Education Council, Government of India.

পরিচিতি

বিষয় ঃ সহায়ক উদ্ভিদবিদ্যা **স্নাতক পাঠক্রম**

পাঠক্রম ঃ পর্য্যায়

SBT : 02 : 02

	রচনা	সম্পাদনা
একক 11	ড. স্বপন কুমার ভট্টাচার্য	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 12	ড. স্বপন কুমার ভট্টাচার্য	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 13	ড. রিতা কুণ্ডু	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 14	ড. স্বপন কুমার ভট্টাচার্য	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 15	ড. বিদিশা মণ্ডল (সাহা)	ড. অলোক ভট্টাচার্য
একক 16	ড. কুনাল সেন	ড. শুভেন্দু মুখার্জী
একক 17	ড. বিদিশা মণ্ডল (সাহা)	ড. অলোক ভট্টাচার্য
একক 18	ড. বিদিশা মণ্ডল (সাহা)	ড. অলোক ভট্টাচার্য
একক 19	অধ্যাপক শিবদাস ঘোষ	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 20	অধ্যাপক শিবদাস ঘোষ	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু

প্রজ্ঞাপন

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

অধ্যাপক (ড.) দেবেশ রায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

EBT – 02

উদ্ভিদ শারীরবিদ্যা, কলাপোষণবিদ্যা ও

DNA পুনর্যোজন পদ্ধতি ও জীন প্রতিস্থাপন পদ্ধতি

(স্নাতক পাঠক্রম)

পর্যায় 2

একক	11	❑ উদ্ভিদ-জল আন্তর্সম্পর্ক	7–21
একক	12	❑ প্রস্বেদন ও বাষ্পমোচন	22–32
একক	13	❑ খনিজ পুষ্টি	33–44
একক	14	❑ উৎসেচক	45–57
একক	15	❑ সালোকসংশ্লেষ	58–98
একক	16	❑ শ্বসন	99–127
একক	17	❑ নাইট্রোজেন মেটাবলিজম্	128–140
একক	18	❑ উদ্ভিদ হরমোন	141–159
একক	19	❑ উদ্ভিদ কলাপোষণ	160–168
একক	19	❑ ডি. এন. এ. পুনর্যোজনা পদ্ধতি ও জীনপ্রতিস্থাপন জাত উদ্ভিদ	169–175

একক - 11 : উদ্ভিদ-জল আন্তর্সম্পর্ক (Plant-Water Relations)

গঠন

11.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

11.2 জলের আণবিক গঠন

11.3 জলের সাধারণ ধর্ম

11.3.1 উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা

11.4 ব্যাপন

11.4.1 ব্যাপনচাপ

11.5 অভিস্রবণ

11.5.1 অভিস্রবণ চাপ

11.5.2 অভিস্রবণের গুরুত্ব

11.5.3 রসস্ফীতির চাপ

11.6 প্লাজমোলাইসিস

11.7 জলবিভব

11.8 উদ্ভিদের আয়ন শোষণ

11.8.1 ব্যাপন

11.8.2 সহায়িত ব্যাপন

11.8.3 সক্রিয় শোষণ

11.9 সারাংশ

11.10 প্রশ্নাবলি

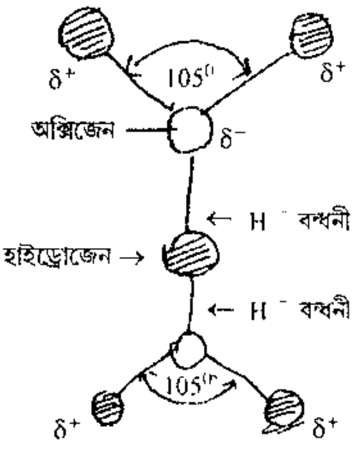
11.11 উত্তরমালা

11.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য ঃ—

উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিকাশে সর্বাপেক্ষা প্রয়োজনীয় উপাদান হল জল। জল প্রোটোপ্লাজমের একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান, সুতরাং উদ্ভিদের জলসম্পর্ক উদ্ভিদ শারীরবিদ্যার অন্যতম আলোচ্য বিষয়। এই অধ্যায়টি পড়ে আপনি জানতে পারবেন, জলের আণবিক গঠনের বৈশিষ্ট্য কিভাবে জলের ধর্মগুলি নিয়ন্ত্রণ করে, উদ্ভিদদেহে জল কিভাবে শোষিত হয়, জলসম্পর্কের গাণিতিক রূপটি কিরকম এবং জলের মাধ্যমে উদ্ভিদের আয়ন শোষণের পদ্ধতিগুলি কিরূপ।

11.2 জলের আণবিক গঠন ঃ

জলের অণুর আণবিক গঠনে আছে একটি অক্সিজেন ও দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু। হাইড্রোজেন পরমাণুর অক্সিজেনের সঙ্গে সমযোজী বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর মধ্যে কৌণিক দূরত্ব 105^0। হাইড্রোজেন পরমাণুবাহী প্রান্তদ্বয় ঋণাত্মক ও অক্সিজেন পরমাণুবাহী প্রান্তটি ধনাত্মক তড়িৎ বিভব যুক্ত। এই কারণে জলের অণুকে বলে পোলার (polar) অথবা মেরুবাহী অণু। এই মেরুবর্তিতা জলের অণুকে একাধিক সুবিধা প্রদান করেছে। যেমন, তড়িৎ ঋণাত্মক অক্সিজেন পরমাণু অপর একটি জলের অণুর ধনাত্মক হাইড্রোজেন পরমাণুর সঙ্গে সমযোজী বন্ধনী তৈরি করতে পারে। এই ধর্মটি জলের তরলধর্মিতা বজায় রাখতে সাহায্য করে। কেননা বহুসংখ্যক জলের অণু এই উপায়ে হাইড্রোজেন ভাগাভাগি করে তরলাবস্থা বজায় রাখতে পারে। গ্যাসীয় অবস্থায় এই বন্ধনীছিন্ন হয়ে জলের অণুগুলি পরস্পরের থেকে অনেক দূরে চলে যায়। জলের তরলাবস্থা জীবজগতের পক্ষে জলকে সর্বাপেক্ষা প্রয়োজনীয় সংবহন মাধ্যম হিসাবে গড়ে তুলেছে।



চিত্র ঃ 11.1 জলের অণুর গঠন এবং দুটি জলের অণুর মধ্যে গড়ে ওঠা সাধারণ হাইড্রোজেন বন্ধনী

11.3 জলের ভৌত রাসায়নিক ধর্ম ঃ

i) তরল অবস্থায় জল বর্ণ, গন্ধ ও স্বাদবিহীন।

ii) কঠিনীভবনের ফলে জল আয়তনে বৃদ্ধি পায়।

iii) জলের অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ অত্যন্ত বেশি। তাই জলের স্ফুটনাঙ্ক যথেষ্ট বেশি (100^0C)

iv) উষ্ণতার খুব হেরফের না ঘটিয়েও জল প্রচুর তাপ শোষণ করতে পারে।

v) জলের পৃষ্ঠটান অত্যন্ত বেশি, তাই জলের আধারসংলগ্ন থাকার প্রবণতা বেশি।

vi) জল অন্য যে কোন অজৈব পদার্থের তুলনায় অনেক বেশি সংখ্যক পদার্থের দ্রাবক হিসাবে কাজ করে।

vii) জলের অণু আর্দ্র-বিশ্লেষণের ফলে H^+ ও OH^- আয়নে ভেঙে যায়। একই উপায়ে বহুসংখ্যক অণু যাদের উপাদানে জলের অণুর উপস্থিতি থাকে তাদেরও জল আর্দ্র বিশ্লেষিত করতে পারে।

viii) জল কোষের হাইড্রোজেন আয়ন ঘনত্ব অথবা pH নিয়ন্ত্রণের জন্য দায়ী।

ix) সুনির্দিষ্ট মেরুত্ববাহী অণু বলে জলের দ্রাবক হিসাবে ভূমিকা চমৎকার। জল দ্রাব্য অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ সহজেই প্রশমিত করতে পারে কেন না, প্রতিটি দ্রাব্য অণুকে কেন্দ্রে রেখে জলের অণুগুলি এক একটি খোলক বা Shell তৈরি করে ফেলে। দ্রাব্য অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক আকর্ষণ যত দুর্বল সেটি তত বেশি দ্রবণীয়।

x) জলের অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক টানকে বলে **সমসংযোগী বল** (Cohesion)। এর ফলে জলের তরলধর্মীতা বজায় থাকে। জলের অণুর সঙ্গে কঠিন আধারের আকর্ষণ বলকে বলে **অসমসংযোগী** বল (Adhesion)। এই কারণে জলপূর্ণ পাত্র থেকে জল ফেলে দিলেও পাত্রের গা ভিজে থাকে।

11.3.1 উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা ঃ

i) **জল একটি আদর্শ দ্রাবক।** যে কোন তড়িৎ আধানযুক্ত অণু যেমন গ্লুকোজ, অ্যামাইনো অ্যাসিড সহজেই জলে দ্রবীভূত হয়। এই কারণে কোষের সমস্ত জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া জলীয় আধারে সম্পন্ন হয়।

ii) **জল হল একটি আদর্শ জৈব বিকারক ঃ** জলের অণুর আর্দ্র বিশ্লেষণে H+ ও OH^- আয়ন তৈরি হয়। এই আয়ন অথবা মূলকগুলি বহু জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ নেয়। যেমন সালোকসংশ্লেষের সময় জলের আলোক বিশ্লেষণের (Photolysis) ফলে উৎপন্ন হাইড্রোজেন, CO_2 এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে কার্বহাইড্রেট তৈরি করে।

iii) **জলের উপস্থিতি কোষের রসস্ফীতি ঘটায়।** যে কোন উদ্ভিদের গঠন সুনির্দিষ্ট গঠন বিন্যাস, সেটির কোষগুলির রসস্ফীতি অবস্থার উপর নির্ভরশীল। যেমন, রসস্ফীত লজ্জাবতীর পাতা ও রসশূন্য লজ্জাবতীর পাতার আকৃতিগত পার্থক্য যে রসস্ফীতির হ্রাস-বৃদ্ধির দরুণ হয়ে থাকে তা আমরা সবাই জানি।

iv) তাপগ্রাহীরূপে উদ্ভিদের তাপসাম্য বজায় রাখতে, পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনে, খাদ্যের পরিবহন মাধ্যমরূপে, পুষ্পের প্রস্ফুটনে, ফলের পূর্ণতাপ্রাপ্তিতে ইত্যাদি নানা কাজে উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা গুরুত্বপূর্ণ।

11.4 ব্যাপন ঃ

তাপগতিবিদ্যার নীতি মেনে চরম তাপমাত্রার (–273°C) উপরে যে কোন পদার্থের অণু, পরমাণু অথবা আয়নগুলির মধ্যে এক ধরনের স্বতঃস্ফূর্ত চলন পরিলক্ষিত হয়। এর জন্য পদার্থের অণুগুলি সমদূরত্বে ছড়িয়ে যেতে চেষ্টা করে। অণু, পরমাণু বা আয়নের স্বতঃস্ফূর্ত চলনের ফলে তারা বেশি ঘনত্বযুক্ত অঞ্চল থেকে কম ঘনত্বযুক্ত অঞ্চলে ছড়িয়ে পড়ে যতক্ষণ না বণ্টনের পরিপ্রেক্ষিতে তারা সাম্যাবস্থায় পৌঁছয়। এই ঘটনাকে বলে **ব্যাপন** (diffusion)।

কঠিন, তরল অথবা গ্যাসীয়, যে কোন মাধ্যমেই ব্যাপন কার্যকরী হতে পারে। ব্যবহারিক জীবনে ব্যাপনের উদাহরণ অজস্র। সুগন্ধির শিশি খুললে ঘরময় গন্ধ ছড়িয়ে পড়ে। এক চামচ নুন জলের গ্লাসে ফেলে দিলে ক্রমশ গ্লাসভর্তি জলই লবণাক্ত হয়ে যায়, এক টুকরো তুঁতে জলের গ্লাসে ফেলে দিলে গ্লাস ভর্তি জল নীলবর্ণ ধারণ করে— এ সবই ব্যাপনের উদাহরণ।

ব্যাপন একটি ভৌত প্রক্রিয়া। কোন সীমাবদ্ধ আধারে ব্যাপনরত পদার্থের অণুগুলি আধারের সর্বত্র সমঘনত্বে পৌঁছলে ব্যাপন ক্রিয়া বন্ধ হয়ে যায়।

11.4.1 ব্যাপন চাপ (Diffusion Pressure) ঃ

চুপসানো বেলুনে হাওয়া ভরলে বেলুন ফুলে ওঠে। বাতাসের উপাদান সমূহের অণুগুলি বেলুনের প্রাচীরে যে চাপ সৃষ্টি করে তাকে **ব্যাপন চাপ** রূপে অনুমান করতে পারি। তাহলে ব্যাপন চাপের সংজ্ঞা কী?

সীমাবদ্ধ আধারে ব্যাপনরত পদার্থের অণুগুলি আধারগাত্রে যে চাপ সৃষ্টি করে তাকে বলে ব্যাপন চাপ। ব্যাপন চাপের হার ব্যাপনরত পদার্থের অণুর ঘনত্বের সঙ্গে সমানুপাতিক। পদার্থের উচ্চ ঘনত্বের অঞ্চলে ব্যাপন চাপ স্বাভাবিকভাবেই নিম্ন ঘনত্বের অঞ্চলের ব্যাপনচাপের তুলনায়, বেশি উভয় অঞ্চলের ব্যাপন চাপের এই তারতম্যকে বলে ব্যাপন চাপ ক্রমাবর্তিতা (Diffusion Pressure Gradient)। এই ক্রমাবর্তিতার দরুন পদার্থের অণু উচ্চ ঘনত্বের অঞ্চল থেকে নিম্ন ঘনত্বের অঞ্চলে ব্যাপন প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ছড়িয়ে পড়ে যতক্ষণ না উভয় অঞ্চলের ব্যাপন চাপের মান সমান হয়ে যায়। এই প্রসঙ্গে আমরা পরে আবার ফিরে আসবো।

11.5 অভিস্রবণ (Osmosis) ঃ

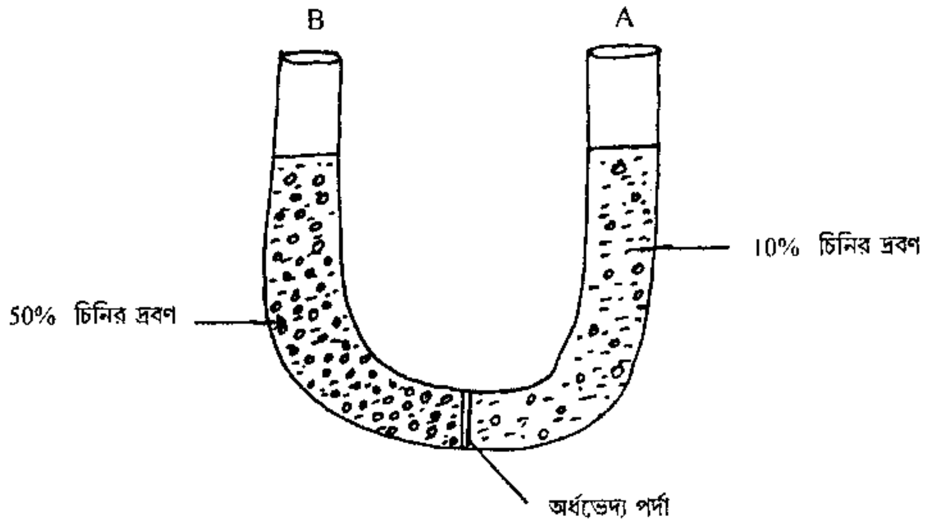
দুটি ভিন্ন ঘনত্বের দ্রবণকে একটি অর্দ্ধভেদ্য পর্দা দ্বারা পৃথকীভূত রাখলে কম ঘনত্বের অঞ্চল থেকে দ্রাবক

অণু, অধিক ঘনত্বের দ্রবণে প্রবেশ করে, যতক্ষণ না, উভয় দ্রবণের ঘনত্বের মধ্যে সাম্য উপস্থিত হয়। এই বিশেষ ধরনের ভৌত পদ্ধতিকে বলে অভিস্রবণ।

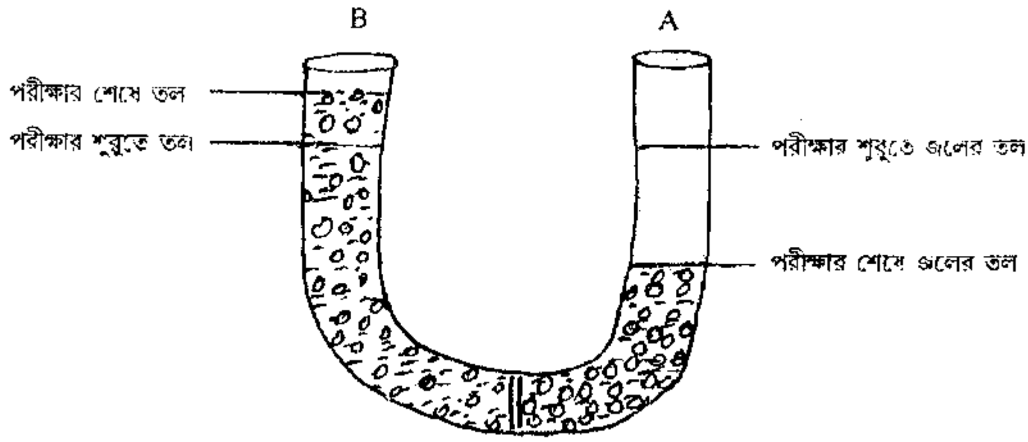
আপাত দৃষ্টিতে অভিস্রবণকে ব্যাপনের বিপরীত প্রক্রিয়া বলে মনে হতে পারে, কেননা, ব্যাপনে উচ্চ ঘনত্বের অঞ্চল থেকে পদার্থের অণু নিম্ন ঘনত্বের অঞ্চলের দিকে ধাবিত হয়। অথচ অভিস্রবণে দ্রাবকের অণু নিম্ন ঘনত্বের দ্রবণ থেকে উচ্চ ঘনত্বের দ্রবণের দিকে ধাবিত হয়। কিন্তু একটু চিন্তা করলেই বোঝা যাবে যে অভিস্রবণও এক প্রকার ব্যাপন প্রক্রিয়া। অভিস্রবণে যে পদার্থটির পরিবহন ঘটছে সেটি হল দ্রাবক অণু। নিম্ন ঘনত্বের দ্রবণে দ্রাবক অণুর পরিমাণ দ্রাব্যের তুলনায় অনেক বেশি বলেই সেটির ঘনত্ব কম। অপরপক্ষে, দ্রবণের ঘনত্ব যত বাড়ে, দ্রাবক অণুর ঘনত্ব ততই কমতে থাকে এবং দ্রাব্যের পরিমাণ আনুপাতিক হারে বাড়তে থাকে। সুতরাং দ্রাবকের অণুর পরিবহন হচ্ছে দ্রাবক অণুর উচ্চ ঘনত্বের অঞ্চল (লঘুতর দ্রবণ) থেকে, দ্রাবক অণুর কম ঘনত্বের অঞ্চলের (ঘনতর দ্রবণ) দিকে।

11.5.1 অভিস্রবণ চাপ (Osmotic Pressure) ঃ

অভিস্রবণের একটি পরীক্ষা দেখা যাক। একটি 'u' আকৃতির নলের মধ্যবর্তী সংযোগবাহুতে একটি অর্ধভেদ্য পর্দা রেখে, নলের বাহুদ্বয়কে দুটি আধারে ভাজ করা হল।



পরীক্ষার শুরুতে দ্রাবক অণুর (অর্থাৎ জলের) ঘনত্ব A বাহুর তুলনায় B বাহুতে কম।



পরীক্ষার শেষে দেখা যাচ্ছে দ্রাবক অণু (জল) অর্ধভেদ্য পর্দার মাধ্যমে B থেকে A নলে প্রবেশ করেছে ফলে A বাহুতে জল তল বৃদ্ধি পেয়েছে।

চিত্র ঃ 11.2 অভিস্রবণের পরীক্ষা

A বাহুতে 10% চিনির দ্রবণ এবং B বাহুতে 50% চিনির দ্রবণ রাখা হল। কিছুক্ষণ পরে দেখা যাবে A বাহুর কম ঘনত্বের দ্রবণ (লঘুসারক) থেকে দ্রাবক অণু (জল) B বাহুর উচ্চ ঘনত্বের (অভিসারক) দ্রবণে প্রবেশ করেছে। ফলে B বাহুতে দ্রবণের তল বৃদ্ধি পেয়েছে। যতক্ষণ না উভয় বাহুতে জলের ঘনত্ব সমান হচ্ছে তা ততক্ষণ এই প্রক্রিয়া চলতে থাকবে।

কল্পনা করা যাক, B বাহুর দ্রবণের উপর আমরা একটি পিষ্টন চাপিয়ে রাখলাম। দেখা যাবে, পিষ্টন প্রদত্ত বিপরীতমুখী চাপের কারণে দ্রাবকের অণু আর B বাহুতে ঢুকতে পারছে না। ফলে B বাহুর জলতলও বাড়ছে না।

সর্বনিম্ন যে চাপ প্রয়োগ করে B বাহুতে জলতল বৃদ্ধি আটকে রাখা যায় তাকে অভিস্রবণ চাপ হিসাবে অভিহিত করতে পারি।

সংজ্ঞা ঃ অভিস্রবণের সময় কোন দ্রবণের উপর সর্বনিম্ন যে চাপ প্রয়োগ করে সেই দ্রবণে বিশুদ্ধ জলের অণুর প্রবেশ প্রতিরোধ করা যায় তাকে বলে অভিস্রবণ চাপ (Osmotic Pressure)। বিশুদ্ধ জলের তুলনায় যে কোন জলীয় দ্রবণে জলের ব্যাপন চাপ সর্বদাই কম হতে বাধ্য। তাই যে কোন দ্রবণের অভিস্রবণ চাপ (O.P.) ঋণাত্মক। দ্রবণের ঘনত্ব যত বাড়বে, তত তার মধ্যে বিশুদ্ধ জলের পরিমাণ কমবে এবং ততই তার O.P. ঋণাত্মক হবে। দুটি দ্রবণের মধ্যে অভিস্রবণ ঘটতে পারবে তখনই, যখন দুটি দ্রবণের অভিস্রবণ

বিভবের মধ্যে পার্থক্য থাকবে। **অভিস্রবণ বিভব** (Osmotic Potential) - কে ψ_n দ্বারা চিহ্নিত করা যায়।

$$\psi_n = \frac{n}{V}RT$$

যেখানে N = দ্রাবের গ্রাম অণুর সংখ্যা।

V = দ্রবণের আয়তন।

R = গ্যাস ধ্রুবক (0.082)

T = চরম উষ্ণতা (-273^0C + পরীক্ষাগারের তাপমাত্রা)

বিশুদ্ধ জলের ক্ষেত্রে দ্রাবের অণু সম্পূর্ণরূপে অনুপস্থিত অর্থাৎ $n = 0$। সেক্ষেত্রে $\psi_n = 0$

11.5.2 অভিস্রবণের গুরুত্ব ঃ

i) অভিস্রবণ পদ্ধতিতে মাটি থেকে মূলরোম দ্বারা জল শোষিত হয়। কারণ, মূলরোমের কোষরসে জলের অণুর ঘনত্ব মাটিতে উপস্থিত জলের অণুর ঘনত্বের তুলনায় কম।

ii) মূলরোম দ্বারা শোষিত জল কোষান্তর অভিস্রবণ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে মূলের সংবহন তন্ত্রে প্রবেশ করে।

iii) অভিস্রবণের মাধ্যমে কোষের রসস্ফীতি ঘটে বলে কোষ তথা উদ্ভিদদেহের সুষম আকৃতি বজায় রাখে।

iv) পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও নিমীলনে রক্ষীকোষের নিয়ন্ত্রিত অভিস্রবণ পদ্ধতি কাজে লাগে।

11.5.3 রসস্ফীতির চাপ (Turgor Pressure) ও কোষপ্রাচীর গাত্রের চাপ (Wall Pressure) ঃ

একটি জীবিত উদ্ভিদ কোষকে যদি লঘুসারক দ্রবণের মধ্যে রাখা যায় তাহলে জল পরিবেশ থেকে কোষটির মধ্যে প্রবেশ করবে। এই প্রক্রিয়াকে বলা হয় অন্তঃ অভিস্রবণ (endosmosis)। কোষের অভ্যন্তরে জলের অণুর প্রবেশের ফলে কোষরস কোষপ্রাচীরের উপর যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে বলে রসস্ফীতির চাপ বা turgor pressure (T.P.)

সংজ্ঞা ঃ রসস্ফীত কোষের প্রোটোপ্লাজম সেই কোষের প্রাচীর গাত্রে যে চাপ প্রয়োগ করে তাকে বলে রসস্ফীতির চাপ (T.P.)।

রসস্ফীত কোষের প্রাচীর আয়তনে ক্রমশ বৃদ্ধিপ্রাপ্ত প্রোটোপ্লাজমের উপর যে বিপরীতধর্মী চাপ প্রয়োগ করে তাকে বলে **প্রাচীরগাত্রের চাপ বা** Wall pressure (W.P.)।

রসস্ফীত কোষে T.P. = W.P.

পূর্বে আমরা ব্যাপন চাপের তারতম্যের দরুণ কিভাবে ব্যাপন প্রক্রিয়া প্রভাবিত হয় তা দেখেছি। কোন

দ্রাবের অণুগুলির ব্যাপন চাপ এবং দ্রাবকের ব্যাপন চাপের মধ্যে যে তারতম্য দেখা যায় তাকে বলে **ব্যাপন চাপের তারতম্য** (diffusion Pressure Deficit).

$$D.P.D = O.P. - W.P.$$

অর্থাৎ একটি দ্রাব্য ও দ্রাবক অণুর ব্যাপন চাপের তারতম্যের মান কোষটির অভিস্রবণীয় চাপ ও কোষটির বিপরীত ধর্মী প্রাচীর গাত্রের চাপের তারতম্যের সমান।

যেহেতু, রসস্ফীত কোষের ক্ষেত্রে ঃ WP = TP

সেহেতু, রসস্ফীত কোষের DPD = OP – TP

সম্পূর্ণভাবে রসস্ফীত কোষে অভিস্রবণীয় চাপ ও প্রাচীরগাত্রের চাপের মান সমান।

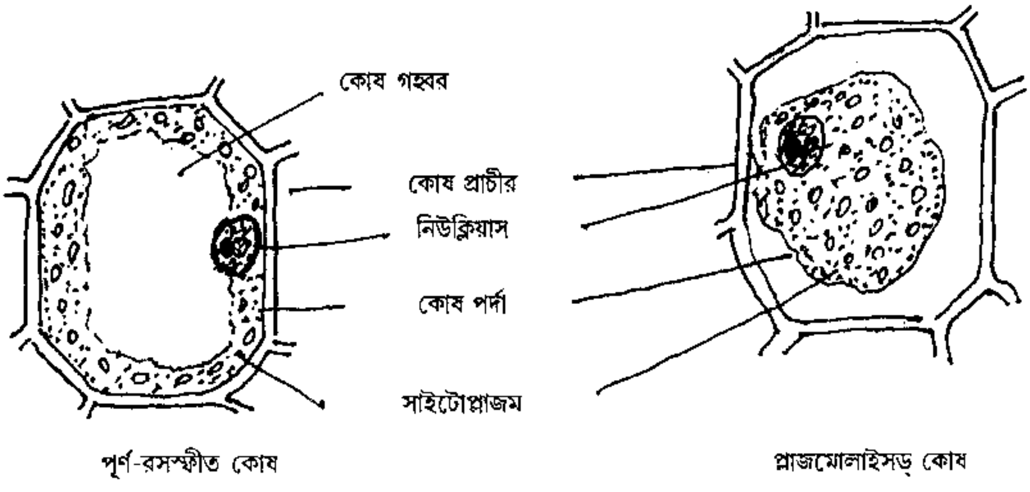
$$OP = TP$$

সুতরাং সম্পূর্ণভাবে রসস্ফীত কোষে ঃ DPD = 0

ব্যাপন চাপের তারতম্য যতক্ষণ বজায় থাকে ততক্ষণই একটি কোষে অন্তঃঅভিস্রবণ ঘটা সম্ভব। যেহেতু অন্তঃঅভিস্রবণ পদ্ধতিতে কোষ জল শোষণ করে সেহেতু DPD কে অনেক সময় শোষণ চাপ (Suction Pressure) নামেও অভিহিত করা যায়।

11.6 প্লাজমোলাইসিস (Plasmolysis) ঃ

কোন কোষকে অতিসারক দ্রবণে নিমজ্জিত করলে কোষ থেকে বহিঃ অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল নির্গত হবার ফলে প্রোটোপ্লাজমের রসহানি ঘটে এবং কোষপর্দা সহ সমগ্র প্রোটোপ্লাজম কোষপ্রাচীরের গাত্র থেকে সরে



চিত্র ঃ 11.3 রসস্ফীত ও প্লাজমোলাইসড্ কোষের চিত্র

আসে। এই ঘটনাকে বলে প্লাজমোলাইসিস। প্লাজমোলাইসিস ঘটার ফলে কোষের TP হ্রাস পায়। একটি সম্পূর্ণ রসস্ফীত কোষে TP -র মান 0।

প্লাজমোলাইসিসের ফলে TP ঋণাত্মক হয়ে যায়। এই অবস্থায় কোষটিকে পুনরায় লঘুসারক দ্রবণে বা বিশুদ্ধ জলে নিমজ্জিত করলে কোষটিতে পুনরায় জলপ্রবেশ করে এবং TP এর মান বাড়তে বাড়তে 0-এর দিকে যাবে। এবং যখন এই মান 0 হয়ে যাবে তখন আর কোষে জল প্রবেশ করবে না। প্লাজমোলাইসিস ঘটে যাওয়া কোষকে লঘুসারক দ্রবণে নিমজ্জিত করলে যে পদ্ধতিতে সেটিতে অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় রসস্ফীতি ঘটে তাকে ডিপ্লাজমোলাইসিস (deplasmolysis) বলে।

11.7 জলবিভব (Water Potential) ঃ

স্থির তাপ ও চাপে কোন নির্দিষ্ট মাধ্যমে উপস্থিত জলের মধ্যে যে মুক্ত শক্তি বর্তমান থাকে তাকে জলবিভব বলে। জলবিভব (ψ)-কে dyne Cm^{-2}, megapascal Cm^{-2} ইত্যাদি এককে প্রকাশ করা হয়।

জলের অণুর মধ্যে উপস্থিত যে মুক্ত শক্তি জলের রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটায় বা এক স্থান থেকে অন্য স্থানে প্রবাহিত হয় তাকে জলবিভব বলে অভিহিত করা যায়। বিশুদ্ধ জলে মুক্ত শক্তির পরিমাণ সর্বাধিক। বিশুদ্ধ জলের জলবিভব (ψ)-এর মান শূন্য (0) ধরা হয়। যখনই জলে কোন দ্রাব্য দ্রবীভূত করা যায় তখনই কিছুটা মুক্ত শক্তি ব্যবহৃত হয় এবং মুক্ত শক্তির পরিমাণ কমে যায়। তখন জলবিভবের মান (ψ) ঋণাত্মক হয়ে যায়। জলের পরিবহন সর্বদাই উচ্চতর জলবিভব থেকে নিম্নতর জলবিভবের দিকে হয়ে থাকে।

উচ্চতর জলবিভব সম্পন্ন দ্রবণ কম ঘনত্ব সম্পন্ন। তেমনভাবেই নিম্নতর জলবিভবসম্পন্ন দ্রবণ অধিক ঘনত্বসম্পন্ন। অভিস্রবণ প্রক্রিয়াকে এইভাবে জলবিভবের নতিমাত্রার পরিপ্রেক্ষিতে ব্যাখ্যা করা সম্ভব।

জলবিভবকে নিম্নলিখিত সমীকরণের সাহায্যে প্রকাশ করা যায় ঃ

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

যেখানে, ψ = জলবিভব, μw = দ্রবণে উপস্থিত জলের রাসায়নিক বিভব, μw^* = বিশুদ্ধ জলের রাসায়নিক বিভব, Vw = জলীয় অংশের মোলার আয়তন। যেহেতু $\mu w^* > \mu w$ সেহেতু, যে কোন দ্রবণে জলবিভব সর্বদাই ঋণাত্মক।

11.8 উদ্ভিদ কোষ কর্তৃক আয়ন শোষণ ঃ

সজীব কোষের সঙ্গে তার পরিবেশের সরাসরি সংযোগের পথে শেষতম বাধাটি হল কোষপর্দা। কোষপর্দা অর্ধভেদ্য, অর্থাৎ সুনির্দিষ্ট পদার্থকেই পরিবেশ থেকে কোষে অথবা কোষ থেকে পরিবেশে যাতায়াত করতে দেয়। যে যে পদ্ধতিতে পদার্থের আয়ন পরিবেশ থেকে কোষে প্রবেশ করতে পারে সেগুলি হল ঃ নিষ্ক্রিয় শোষণ এবং সক্রিয় শোষণ। নিষ্ক্রিয় শোষণের মাধ্যমে দুভাবে আয়ন শোষিত হয়, **ব্যাপন** এবং **সহায়িত ব্যাপন**। নিষ্ক্রিয় কেন না, এই ধরনের শোষণে কোষীয় শক্তি ব্যয়িত হয় না।

সক্রিয় শোষণের পদ্ধতিও দুটি ঃ আয়ন চ্যানেলগুলির সাহায্যে এবং ট্রান্সপোর্টার প্রোটিনগুলির সাহায্যে। সক্রিয় বলতে এই শোষণে কোষীয় শক্তি অর্থাৎ ATP ব্যয়িত হয়।

11.8.1 ব্যাপন ঃ

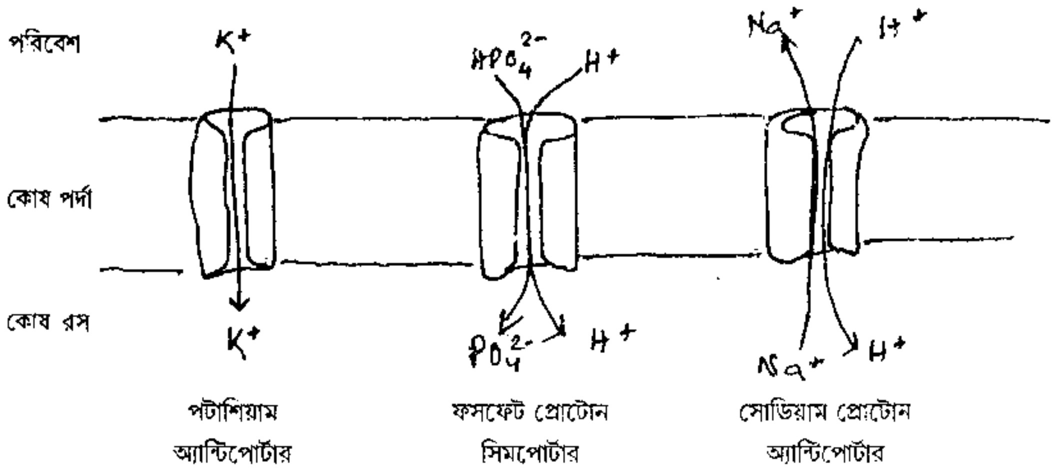
কোষপর্দার মধ্য দিয়ে কেবলমাত্র কিছু কিছু পদার্থেরই ব্যাপন হওয়া সম্ভব। যেমন কার্বন-ডাই-অক্সাইড, অক্সিজেন ইত্যাদির ঘনত্ব যখন পরিবেশে কোষের তুলনায় অধিক তখন ব্যাপন পদ্ধতিতে সেগুলির আয়ন কোষে প্রবেশ করে। উল্লেখ্য এই যে, ব্যাপনরত পদার্থ কোষপর্দা পার হওয়ার কালে কোষ পর্দার জলীয় স্তরে দ্রবীভূত হয়।

11.8.2 সহায়িত ব্যাপন ঃ

কিছু কিছু পদার্থ কোষপর্দায় স্থিত বিশেষ ধরনের সহায়ক প্রোটিনের সাহায্য নিয়ে কোষে প্রবেশ করে। এতে কোন শক্তি ব্যয়িত হয় না এবং সহায়িত ব্যাপনের হার সাধারণ ব্যাপন অপেক্ষা অনেক দ্রুত।

সহায়ক প্রোটিনগুলিকে তিনভাগে ভাগ করা যায়।

- **ইউনিপোর্টার (Uniporter) :** এমন সহায়ক প্রোটিন যার মধ্য দিয়ে কেবল একমুখী আয়ন পরিবহন সম্ভব।
- **সিমপোর্টার (Symporter) :** যে সহায়ক প্রোটিনের মধ্য দিয়ে দুটি ভিন্নধর্মী আয়ন একসঙ্গো একমুখী পরিবহনে সম্ভব।
- **অ্যান্টিপোর্টার (Antiporter) :** যে সহায়ক প্রোটিনের মধ্য দিয়ে একই সঙ্গে পরিবেশ থেকে কোষে এবং কোষ থেকে পরিবেশে দুটি ভিন্ন ভিন্ন আয়ন যাতায়াত করতে পারে।

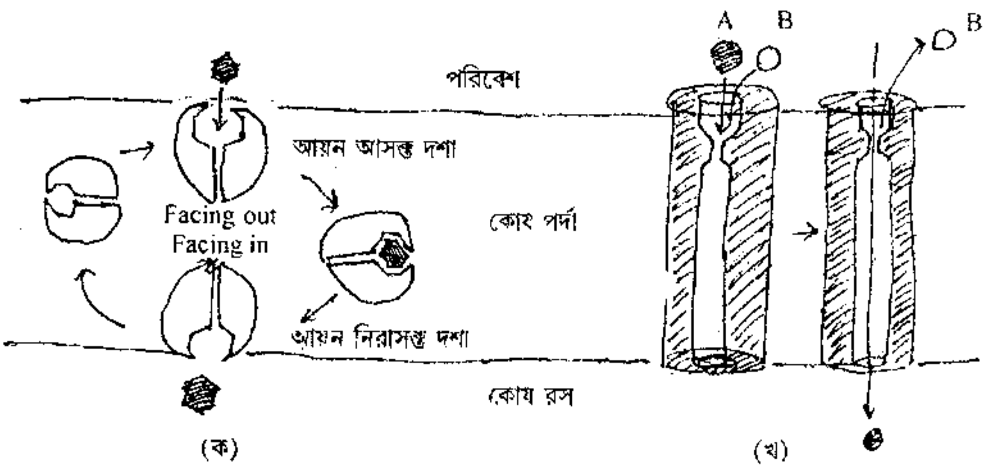


চিত্র ঃ 11.4 তিনপ্রকার সহায়ক প্রোটিন।

মনে রাখা দরকার এই তিন ধরনের প্রোটিনই সক্রিয় শোষণে অংশ নিতে পারে। যখন এগুলির মাধ্যমে পরিবাহিত পদার্থের বিনিময়ে কোষীয় শক্তি ব্যয়িত হয় না তখনই ঘটে সহায়িত ব্যাপন। আয়নের সাধারণ ব্যাপনের থেকে সহায়িত ব্যাপনের হার দ্রুততর। উদ্ভিদকোষে গ্লিসারলের মত জৈব অণুর আয়ন এবং NH_4^+ NO_3^-, K^+, SO_4^{2-} Cl^- ইত্যাদির মত অজৈব আয়ন সহায়িত ব্যাপনের মাধ্যমে পরিবাহিত হতে পারে।

কার্যকারিতার দিক থেকে সহায়ক প্রোটিনগুলিকে দুভাগে ভাগ করা যায়।

● **ট্রান্সপোর্টার ঃ** এদের মধ্যে পড়ে বাহক (Carrier) তথা পারমিয়েজ জাতীয় প্রোটিন এবং চ্যানেল প্রোটিন। বাহক প্রোটিন হল কোষপর্দায় অবস্থিত স্থানান্তরণে সক্ষম প্রোটিন। পরিবেশ অভিমুখী অবস্থায় এরা সুনির্দিষ্ট আয়নের প্রতি আসক্ত হয় এবং সেটিকে বন্ধন করে। সাইটোপ্লাজম অভিমুখী দশায় এই আসক্তি অন্তর্হিত হয় এবং আয়নটি কোষরসে মুক্ত হয়।



চিত্র ঃ 11.5 (ক) ট্রান্সপোর্টার সহায়িত পরিবহন (খ) গেটযুক্ত চ্যানেল। B আয়নের প্রতি গেট উন্মুক্ত হয় না।

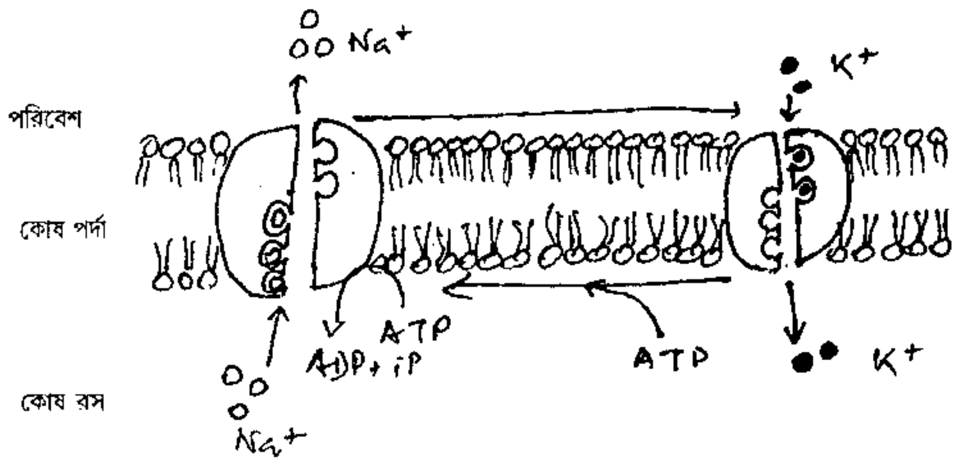
● **চ্যানেল প্রোটিন ঃ** এরা কোষপর্দায় স্থায়ীভাবে থাকা স্থানান্তরণে অক্ষম পরিবাহক প্রোটিন। সুনির্দিষ্ট আয়নের উপস্থিতিতেই এরা চ্যানেল পথটি উন্মুক্ত করে বলে এদের গেটযুক্ত প্রোটিনও বলে। আয়নের প্রভাবে অথবা তড়িৎ বিভবের প্রভাবে গেটগুলির উন্মোচন ঘটে। সেই অনুসারে চ্যানেল প্রোটিন দুরকম— **আয়ন গেটেড** (ion gated) এবং **ভোল্টেজ গেটেড** (voltage gated)।

11.8.3 সক্রিয় শোষণ (Active Transport) ঃ

যখন পদার্থের অণু ঘনত্বক্রমের বিপরীতে ATP এর আর্দ্রবিশ্লেষণে প্রাপ্ত শক্তির বিনিময়ে কোষাভ্যন্তরে ঢোকে তখন তাকে বলে সক্রিয় শোষণ। সক্রিয় শোষণের জন্যও কোষপর্দাস্থ প্রোটিন ব্যবহৃত হয়। উদ্ভিদকোষে

সক্রিয় শোষণের জন্য ব্যবহৃত হয় কোষ পর্দাস্থ **ATP-ভঞ্জাক পাম্প** জাতীয় প্রোটিন। পাম্পগুলি দুইরকম ঃ **ইলেকট্রোজেনিক** (electrogenic) ও **ইলেকট্রোনিউট্রাল** (electroneutral)। যেমন সোডিয়াম - পটাসিয়াম পাম্প তন্ত্র হল একটি ইলেকট্রোজেনিক পাম্প কেননা প্রতি দুটি K^+ আয়নের বিনিময়ে তিনটি করে Na^+ আয়ন কোষ থেকে বেরিয়ে যায়। ফলে কোষের তুলনায় পরিবেশে মোট ধনাত্মক আধান বাড়ে। যখন পরিবহনের ফলে আধানের তারতম্য ঘটে না তখন তাকে বলে **ইলেকট্রোনিউট্রাল** পাম্প। এই পাম্পগুলির বড় বৈশিষ্ট্য হল এরা প্রতিটিই এক একটি ATP ভঞ্জাক উৎসেচক বা ATPase।

নীচের সোডিয়াম-পটাসিয়াম পাম্পটি লক্ষ্য করুন ঃ



চিত্র ঃ 11.6 Na^+ – K^+ পাম্প (সংক্ষিপ্ত রূপ)

প্রায় সমস্ত কোষেই K^+ এর অন্তঃকোষীয় ঘনত্ব পরিবেশের তুলনায় বেশি। অপরপক্ষে Na^+ এর পরিবেশে ঘনত্ব কোষের তুলনায় অধিক। Na^+ – K^+ পাম্প আয়ন দুটির এই আপাত-অসাম্য বজায় রাখে। সেই কারণে দুটি K^+ আয়নের প্রবেশের বিনিময়ে 3টি Na^+ আয়ন বহির্গত হয়। যে পাম্পের সাহায্যে এই কাজ সম্পন্ন হয় তার সক্রিয়তার জন্য ATP এর আর্দ্র বিশ্লেষণ দরকার। তাই এটি হল সক্রিয় শোষণ।

11.9 সারাংশ ঃ

জলের গঠন বৈশিষ্ট্য একে জীবনের পক্ষে সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য দ্রাবক হিসাবে গড়ে তুলেছে। উদ্ভিদদেহে জলের ভূমিকা দ্রাবক, সংবাহক মাধ্যম এবং তাপগ্রাহীর। জল সংক্রান্ত উদ্ভিদ কোষের ধর্মগুলির মধ্যে আছে ব্যাপন, অভিস্রবণ ও প্লাজমোলাইসিস। ব্যাপনের ফলে উদ্ভিদকোষের আন্তর্গাত্রে যে চাপ সৃষ্টি হয় তাকে বলে ব্যাপন চাপ। অভিস্রবণ হল একরকম ব্যাপন। দ্রাবকের অণুর উচ্চতর ঘনত্ব থেকে নিম্নতর ঘনত্বের অভিমুখে

অর্ধভেদ্য পর্দার মধ্যদিয়ে পরিবহনকে বলে অভিস্রবণ। অভিস্রবণ চাপ হল অভিস্রবণ প্রতিরোধ করার জন্য ন্যূনতম চাপ যা উদ্ভিদ কোষের উপর প্রযুক্ত হতে পারে। DPD হল দুটি আধারের মধ্যে ব্যাপন চাপের তারতম্য।

সূত্র অনুযায়ী DPD = OP – TP যেখানে TP হল রসস্ফীতির চাপ। অতিসারক দ্রবণে কোন কোষকে রাখলে কোষের থেকে জল অপসারিত হবার ফলে প্রোটোপ্লাজম সংকুচিত হয়। একে প্লাজমোলাইসিস বলে। কোষের মধ্যে আয়ন শোষিত হয় নিষ্ক্রিয় এবং সক্রিয় পদ্ধতিতে। সক্রিয় শোষণে ATP ব্যয়িত হয়। আয়ন শোষণকারী কোষপর্দাস্থ প্রোটিনগুলি ইউনি, সিম ও অ্যান্টিপোর্টার রূপে কাজ করে। এদের মধ্যে ট্রান্সপোর্টার বা পারমিয়েজ, চ্যানেল প্রোটিন এবং ATP ভঙ্গাক পাম্প উল্লেখযোগ্য।

11.10 প্রশ্নাবলি ঃ

1. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৩

   (ক) জলের আণবিক গঠন এঁকে দেখান এবং উল্লেখ করুন কেন এই গঠন জলের তরলধর্মিতার সহায়ক?

   (খ) সমসংযোগী ও বিষমসংযোগী বল কাকে বলে?

   (গ) জল একটি আদর্শ জৈব বিকারক কেন?

   (ঘ) ব্যাপন চাপ ও অসমোটিক চাপের পার্থক্য কী?

   (ঙ) অভিস্রবণ বিভব কাকে বলে? তা কিভাবে নির্ণয় করা যায়?

   (চ) DPD কী? রসস্ফীত কোষে DPD এর মান কত?

   (ছ) প্লাজমোলাইসিস কী?

   (জ) জল বিভব কী? কিভাবে তা নির্ণয় করা যায়?

   (ঝ) সহায়িত ব্যাপন কাকে বলে?

   (ঞ) ইউনিপোর্টার ও অ্যান্টিপোর্টার বলতে কী বোঝায়?

   (ট) সক্রিয় ও নিষ্ক্রিয় শোষণের মূল পার্থক্য কী?

2. **নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৬

   (a) অভিস্রবণ চাপ, প্রাচীরগাত্রের চাপ, রসস্ফীতির চাপ ও DPD এর সংজ্ঞা দিন এবং পারস্পরিক সম্পর্ক বুঝিয়ে বলুন।

   (b) উদ্ভিদের আয়ন শোষণ পদ্ধতিগুলি আলোচনা করুন।

11.11 উত্তরমালা ঃ

1. (ক) 11.1 চিত্র সহ উত্তর দিন।
   (খ) 11.2 দ্রষ্টব্য
   (গ) 11.3 দ্রষ্টব্য
   (ঘ) 11.5.1 এবং 11.8.1 দ্রষ্টব্য।
   (ঙ) 11.5.1 দ্রষ্টব্য
   (চ) 11.5.3 দ্রষ্টব্য
   (ছ) 11.6 দ্রষ্টব্য
2. (ক) প্রতি প্রকার চাপের সংজ্ঞা ও গাণিতিক মান নির্ণয়ের উপায় বলুন। DPD এর সংজ্ঞা দিন। 11.5.3 অংশে DPD এর সঙ্গে অন্য চাপগুলির সম্পর্ক উল্লেখিত।
   (খ) 11.8 অংশ দ্রষ্টব্য।

একক - 12 : প্রস্বেদন বা বাষ্পমোচন

গঠন

12.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

12.2 সংজ্ঞা

12.3 বাষ্পমোচনের প্রকারভেদ

12.3.1 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন

12.3.2 ত্বকীয় বাষ্পমোচন

12.3.3 লেন্টিসেলীয় বাষ্পমোচন

12.4 পত্ররন্ধ্র

12.5 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচনের শারীরবৃত্তীয় ব্যাখ্যা

12.5.1 স্টার্চ-শর্করা মতবাদ

12.5.2 ম্যালিক অ্যাসিড তত্ত্ব

12.6 বাষ্পমোচনের শর্ত

12.7 অ্যান্টিট্রান্সপিরান্ট

12.8 নিঃস্রাবন

12.9 সারাংশ

12.10 প্রশ্নাবলি

12.11 উত্তরমালা

12.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য ঃ

উদ্ভিদ মাটি থেকে মূলের সাহায্যে জল ও জলে দ্রবীভূত খনিজ লবণ শোষণ করে। শোষিত জলের সবটা উদ্ভিদের কাজে লাগে না। প্রয়োজনের অতিরিক্ত জল উদ্ভিদ যে প্রক্রিয়ায় নিজের দেহ থেকে অপসারিত করে তাকে বলে প্রস্বেদন বা বাষ্পমোচন।

এই এককটি পাঠ করে আপনি জানতে পারবেন ঃ

- প্রস্বেদন কাকে বলে?
- প্রস্বেদনের প্রকারভেদ কী কী?
- প্রস্বেদন প্রক্রিয়ার জৈব রাসায়নিক ব্যাখ্যা কী?
- পত্ররন্ধ্র উন্মোচন ও নিমীলনের পদ্ধতিটির ব্যাখ্যা কী?

12.2 সংজ্ঞা ঃ

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

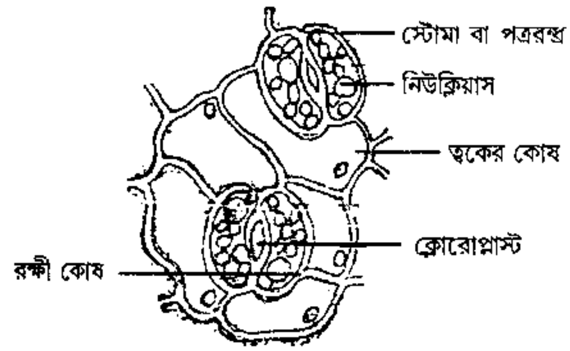
সংজ্ঞা অনুসারে প্রয়োজন-অতিরিক্ত জলের অপসারণকেই বাষ্পমোচন বলে চিহ্নিত করা হলেও বস্তুতঃপক্ষে এত বেশি পরিমাণে জল উচ্চতর তাপমাত্রা ও অনার্দ্র আবহাওয়ায় উদ্ভিদদেহ থেকে বেরিয়ে যায়, যে তার মোট পরিমাণ শোষিত জলের মোট পরিমাণের বেশি হওয়া অসম্ভব নয়। বাষ্পমোচন প্রক্রিয়ায় যেহেতু ATP ব্যয়িত হয়, সেহেতু, এইরকম অবস্থায় উদ্ভিদের ক্ষতি হওয়াও বিচিত্র নয়। তাহলে বাষ্পমোচন হয় কেন? দেখা গেছে যে জল ছাড়াও জলে দ্রবীভূত লবণ শোষণের প্রক্রিয়া চালু রাখতে, দ্রাবের উর্দ্ধমুখী পরিবহনে এবং উদ্ভিদের সবুজ অংশের অণু-পরিবেশে (microenvironment) অনুকূল তাপমাত্রা বজায় রাখতে এই প্রক্রিয়া একান্ত আবশ্যক। এই কারণে বাষ্পমোচনকে বলে একটি **আবশ্যক ক্ষতিকর প্রক্রিয়া।**

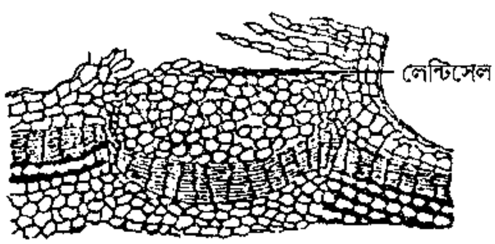
12.3 বাষ্পমোচনের প্রকারভেদ ঃ

বাষ্পমোচন প্রক্রিয়া সংঘটিত হয় উদ্ভিদের বীটপ অংশে। বীটপের বিভিন্ন অংশে বাষ্পমোচনের প্রক্রিয়ায় তফাৎ আছে। সেই অনুসারে বাষ্পমোচন প্রক্রিয়া তিন প্রকার ঃ

12.3.1 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন ঃ

পাতার ত্বকে উপস্থিত রক্ষীকোষ দ্বারা আবৃত পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে উদ্ভিদের অতিরিক্ত জল বাষ্পাকারে নির্গত হলে তাকে বলে পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন (Stomatal Transpiration)। উদ্ভিদদেহ থেকে অপসারিত মোট জলের 80 - 90% এই পথে বাষ্পাকারে বেরিয়ে যায়।





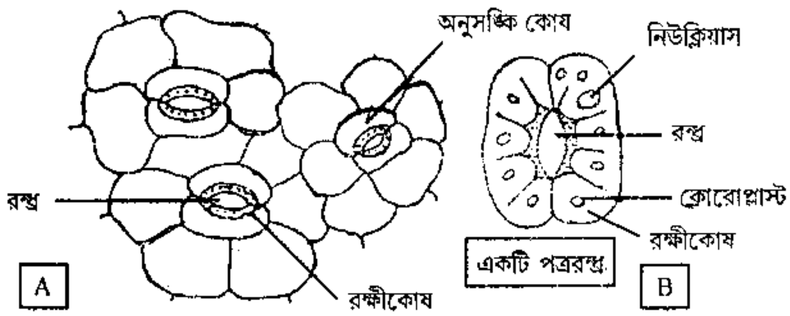
চিত্র ঃ 12.1 (ক) পত্ররন্ধ্র (খ) লেন্টিসেল

12.3.2 ত্বকীয় বাষ্পমোচন ঃ

পাতার ত্বকে উপস্থিত বহিঃস্তকের কোষের উপর কিউটিন নামক স্নেহপদার্থের আবরণ থাকে। এই আবরণীকে বলে কিউটিকল। কিছু জল এই কিউটিকল স্তরের মধ্য দিয়েও বাষ্পাকারে পাতা থেকে অপসারিত হয়। একে বলে ত্বকীয় বাষ্পমোচন (Cuticular Transpiration)। মোট অপসারিত জলে 10% - 15% এভাবে বেরিয়ে যায়।

12.3.3 লেন্সিসেলীয় বাষ্পমোচন ঃ

দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের কাণ্ডে গৌণবৃদ্ধিজনিত কারণে এক ধরনের ক্ষুদ্র ছিদ্র গঠিত হয়। এই ছিদ্র অংশে কাণ্ডের বহিঃস্তক বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। এই ছিদ্রপথে উদ্ভিদের অতিরিক্ত জলের 0.1% অপসারিত হয়। এই ছিদ্রগুলিকে বলে লেন্টিসেল এবং এই বাষ্পমোচন পদ্ধতিকে বলে লেন্টিসেলীয় বাষ্পমোচন (Lenticular Transpiration)।

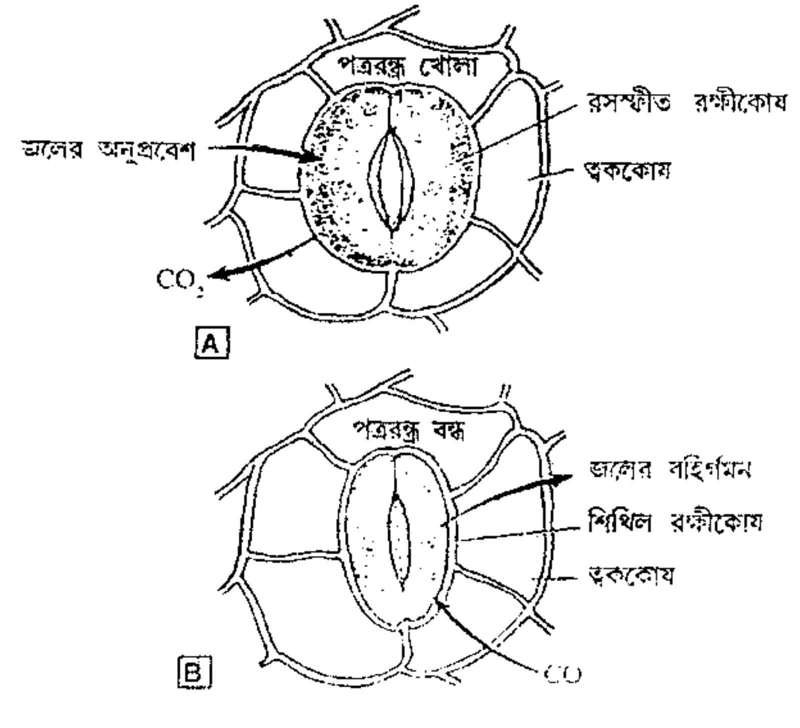


চিত্র ঃ 12.2 A - পাতায় ছড়িয়ে থাকা পত্ররন্ধ্র, B - একটি বিবর্ধিত পত্ররন্ধ্র,

12.4 পত্ররন্ধ্র ঃ

বাষ্পমোচনের মুখ্য পথ হল পত্ররন্ধ্র। বাষ্পমোচন পদ্ধতি পত্ররন্ধ্রের গঠন ও কার্যকারিতার উপর নির্ভরশীল। প্রতিটি পত্ররন্ধ্রের কেন্দ্রে আছে একটি ছিদ্র যাকে বলে **পত্ররন্ধ্রছিদ্র** (Stomatal Opening)। এই ছিদ্রের দুপাশে আছে একজোড়া অর্দ্ধবৃত্তাকার কোষ যাদের বলে **রক্ষীকোষ** (Guard Cells)। এই ছিদ্র ও রক্ষীকোষের নিম্নবর্তী অংশে আছে একটি প্রকোষ্ঠ যাকে বলে **পত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠ** (Stomatal Chamber)।

রক্ষীকোষদ্বয়কে ঘিরে আছে পাতার সুনির্দিষ্ট সংখ্যক **মেসোফিল কোষ** যাদের বলে **অতিরিক্ত কোষপুঞ্জ** (Subsidiary Cells)। মেসোফিল কোষ সালোকসংশ্লেষে সক্ষম এবং ক্লোরোপ্লাস্ট দ্বারা পূর্ণ। রক্ষীকোষদ্বয় সালোকসংশ্লেষে সক্ষম এবং ক্লোরোপ্লাস্ট দ্বারা পূর্ণ। এই রক্ষীকোষগুলির প্রাচীরে বিষমবৃদ্ধি দেখতে পাওয়া যায়। রক্ষীকোষের রন্ধ্রসংলগ্ন প্রাচীর অতিরিক্ত পুরু এবং মেসোফিল কলা সংলগ্ন প্রাচীর অপেক্ষাকৃত পাতলা। রক্ষীকোষ যখন রসস্ফীত অবস্থায় থাকে, তখন, কোষপ্রাচীরের পাতলা অংশে অপেক্ষাকৃত বেশি চাপ পড়ে। ফলতঃ কোষদ্বয় বাইরের দিকে প্রসারিত হয় এবং পত্ররন্ধ্র খুলে যায়। রক্ষীকোষ থেকে রস বা জল অপসারিত হলে এর বিপরীত প্রক্রিয়া ঘটে ফলে পত্ররন্ধ্র নিমীলিত হয়।



চিত্র ঃ 12.3 (ক) উক্তক্ত পত্ররন্ধ্র (খ) নিমীলিত পত্ররন্ধ্র

12.5 পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচনের শারীরবৃত্তীয় ব্যাখ্যা ঃ

দুটি পর্যায়ে বাষ্পমোচন সম্পন্ন হয় ঃ—

(ক) জলপূর্ণ মেসোফিল কোষ থেকে অতিরিক্ত জল ব্যাপন প্রক্রিয়ায় বাষ্পাকারে বেরিয়ে এসে পত্ররন্ধ্রের তলায় অবস্থিত পত্ররন্ধ্রীয় প্রকোষ্ঠে জমা হয়।

(খ) বায়ুপ্রকোষ্ঠে জমে ওঠা জলীয় বাষ্প পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে পরিবেশে পরিত্যক্ত হয়। প্রক্রিয়াটির শারীরবৃত্তীয় ব্যাখ্যা প্রদানের জন্য একাধিক মতবাদ চালু আছে।

12.5.1 স্টার্চ-শর্করা মতবাদ ঃ

লয়েড 1908 খৃষ্টাব্দে প্রথম দেখেন যে রক্ষীকোষে স্টার্চের পরিমাণ দিনের বেলায় কমে যায়। পত্ররন্ধ্রও দিনের বেলায় উন্মোচিত হয়। সাইর (1926) দেখান যে পত্ররন্ধ্র উন্মোচনের সময়, অর্থাৎ দিনের বেলায় রক্ষীকোষের pH বৃদ্ধি পায়। ইন এবং টুং (1948) প্রথমবার এই ঘটনাকে ব্যাখ্যা করেন শ্বেতসার ভঙ্গাক উৎসেচক ফসফোরাইলেজের রক্ষীকোষে সংঘটিত বিক্রিয়া দ্বারা। সব কয়টি নিরীক্ষণকে সামনে রেখে আমরা পত্ররন্ধ্রীয় বাষ্পমোচন তথা পত্র-রন্ধ্রের উন্মোচন-নিমীলন পদ্ধতিকে এভাবে ব্যাখ্যা করতে পারি ঃ

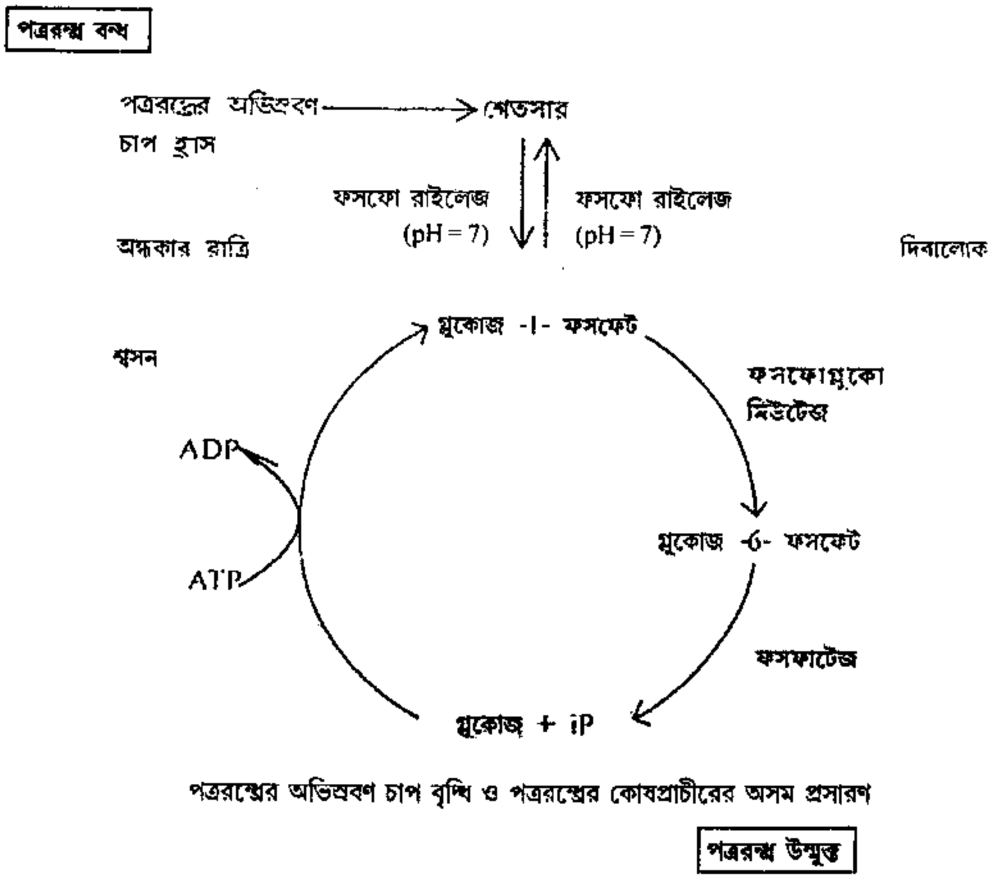
উন্মোচন ঃ (ক) দিনের বেলায় সূর্যালোকের উপস্থিতিতে রক্ষীকোষের ক্লোরোপ্লাস্টে সালোকসংশ্লেষ ঘটে এবং শ্বেতসার উৎপাদিত হয়।

(খ) পত্ররন্ধ্র পরিবেশ থেকে দিনের বেলায় CO_2 শোষণ করে যা সালোকসংশ্লেষের জন্য একান্ত দায়ী। এই CO_2 রক্ষীকোষের কোষরসে দ্রবীভূত হয়ে কার্বনিক অ্যাসিড গঠন করে (H_2CO_3)। সালোকসংশ্লেষের সময় H_2CO_3 থেকে CO_2 বেরিয়ে গিয়ে বিজারিত হয়, ফলে কোষের আম্লিক দশার অনেকটা প্রশমন ঘটে। এই কারণে রক্ষীকোষের pH বেড়ে গিয়ে প্রায় 7·0 হয়ে যায় অর্থাৎ রক্ষীকোষের কোষরস প্রায় প্রশম অবস্থায় পৌঁছায়।

(গ) প্রশম কোষরসে ফসফোরাইলেজ উৎসেচকের সক্রিয়তার ফলে শ্বেতসার গ্লুকোজ - 1 - ফসফেটে পরিণত হয়। এই গ্লুকোজ - 1 - ফসফেট যথাক্রমে ফসফোগ্লুকোমিউটেজ এবং ফসফাটেজ উৎসেচকের সহায়তায় গ্লুকোজ 6 - ফসফেটে এবং গ্লুকোজে পরিণত হয়।

(ঘ) শ্বেতসার জলে অদ্রাব্য কিন্তু গ্লুকোজ জলে দ্রবণীয়। কোষরসে গ্লুকোজ দ্রবীভূত হলে রক্ষীকোষের অভিস্রবণ চাপ বেড়ে যায়। এর ফলে পার্শ্ববর্তী মেসোফিল কলা থেকে জল অন্তঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় রক্ষীকোষে ঢোকে।

(ঙ) এই কারণে রক্ষীকোষ রসস্ফীত হয় এবং রক্ষীকোষের প্রাচীরের উপর চাপ বাড়ে। রসস্ফীত রক্ষীকোষে বাইরের প্রাচীরের উপর চাপ রন্ধ্রসংলগ্ন পুরু প্রাচীরের তুলনায় বেশি হবার ফলে, রক্ষীকোষ বাইরের দিকে অপেক্ষাকৃত বেশি প্রসারিত হয়। এই অসম প্রসারণের দরুণ পত্ররন্ধ্র উন্মোচিত হয়।



চিত্র ঃ 12.4 স্টার্চ শর্করা মতবাদ অনুসারে পত্ররন্ধ্রের উন্মোচন ও বন্ধের প্রক্রিয়া

নিমীলন ঃ

(চ) রাত্রে সূর্যালোকের অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়া চলে না। তাই রক্ষীকোষের কোষরসে দ্রবীভূত কার্বনিক অম্ল থেকে CO_2 অপসারিত হয় না।

(ছ) শ্বসন কার্য চলার ফলে রক্ষীকোষে বরং CO_2 এর পরিমাণ বৃদ্ধি পায় এবং দ্রবীভূত H_2CO_3 এর পরিমাণ বাড়ে।

(জ) এর ফলে রক্ষীকোষের pH = 5.0 অর্থাৎ আম্লিক হয়ে যায়।

(ঝ) এই আম্লিক pH এ কোষরসের গ্লুকোজ হেক্সোকাইনেজ এবং ফসফোরাইলেজ উৎসেচকের সাহায্যে পর্যায়ক্রমে গ্লুকোজ । - ফসফেট এবং শ্বেতসারে রূপান্তরতি হয়।

(ঞ) শ্বেতসার জলে অদ্রাব্য। তাই কোষরসের অভিস্রবণীয় চাপ কমে। মেসোফিল কোষের অভিস্রবণীয়

চাপ এখন তুলনায় বেশি হবার ফলে বহিঃঅভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় জল রক্ষীকোষ থেকে মেসোফিল কোষে প্রবেশ করে।

(ট) ফলে রক্ষীকোষ সংকুচিত হয়ে যায় এবং পত্ররন্ধ্র নিমীলিত হয়।

স্টার্চ-শর্করা মতবাদের সমালোচনা ঃ

এই মতবাদের মূল দুর্বলতাগুলি হল—

i) উদ্ভিদের পাতার রক্ষীকোষে যখন শ্বেতসার সম্পূর্ণভাবে অনুপস্থিত তখনও এই প্রক্রিয়া চলে।

ii) শ্বেতসার $\rightleftarrows$ গ্লুকোজ— উভমুখী এই রূপান্তরণ প্রক্রিয়ার গতির তুলনায় বাষ্পমোচন প্রক্রিয়ার গতি দ্রুততর।

iii) রক্ষীকোষের কোষরসে দ্রবীভূত কার্বনিক অম্ল থেকে যে পরিমাণ CO_2 সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত হয় তা কখনই pH মানের এতটা পরিবর্তন ঘটাতে পারে না।

iv) রক্ষীকোষের K^+ আয়ন শোষণ এই মতে ব্যাখ্যা করা যায় না।

12.5.2 ম্যালিক অ্যাসিড তত্ত্ব ঃ

ইমামুরা (1943) প্রথমবার পত্ররন্ধ্রের চলনে K^+ আয়নের গুরুত্ব উল্লেখ করেন। পরবর্তীকালে লেভিট (1974) দেখান যে দিনের বেলায় যখন রক্ষীকোষে শ্বেতসার কমে যায় তখন ম্যালেট অম্ল বাড়ে। এই দুটি নিরীক্ষণকে সামনে রেখে প্রক্রিয়াটিকে এভাবে ব্যাখ্যা করা যায়।

(ক) রক্ষীকোষের শ্বেতসার থেকে দিনের বেলায় **ফসফো-এনল-পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ** নামক উৎসেচকের প্রভাবে প্রথমে **অক্সালোঅ্যাসিটিক অ্যাসিড** এবং তারপর **ম্যালেট ডিহাইড্রোজিনেজ** উৎসেচকের প্রভাবে ম্যালিক অম্ল উৎপাদিত হয়।

$$PEP + CO_2 \xrightarrow{\text{PEP- কার্বক্সিলেজ}} \text{অক্সালোঅ্যাসিটেট}$$

$$\text{অক্সালোঅ্যাসিটেট} \xrightarrow[\text{ম্যালেট ডিহাইড্রোজিনেজ}]{NADH^+ + H^+ \quad NAD^+} \text{ম্যালিক অ্যাসিড}$$

(খ) ম্যালিক অ্যাসিড আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে H^+ ও ম্যালেট আয়নে পরিণত হয়।

(গ) H^+ আয়ন রক্ষীকোষের কোষপর্দায় অবস্থিত $H^+ \rightleftarrows K^+$ পাম্পের সাহায্যে কোষের বাইরে চলে যায়। এই উভমুখী পাম্পের সাহায্যে ধনাত্মক পটাশিয়াম আয়ন রক্ষীকোষে প্রবেশ করে।

(ঘ) রক্ষীকোষের মধ্যে K^+ আয়ন ও ম্যালেট আয়ন মিলে পটাশিয়াম ম্যালেট গঠিত হয়। এই যৌগটি কোষের অভিস্রবণীয় চাপ বাড়িয়ে দেয় এবং অন্তঃ অভিস্রবণ প্রক্রিয়ায় মেসোফিল কলা থেকে জল রক্ষীকোষে ঢোকে।

(ঙ) রক্ষীকোষ দুটি রসস্ফীত হলে পত্ররন্ধ্র উন্মোচিত হয়।

এই মতবাদ অনুসারে পত্ররন্ধ্র উন্মোচনের বিক্রিয়াক্রম নিম্নরূপ ঃ

আলোক → ম্যালিক অ্যাসিড সংশ্লেষ (রক্ষীকোষ) → ম্যালিক অ্যাসিড আর্দ্রবিশ্লেষণ → H^+ K^+ ↑ ↓ H^+ K^+

→ K^+ আয়নের কোষগহ্বরে প্রবেশ (রক্ষীকোষ) → ম্যালেট + K^+ → পটাশিয়াম ম্যালেট উৎপাদন

→ অভিস্রবণীয় চাপ বৃদ্ধি → অন্তঃঅভিস্রবণ → রসস্ফীত রক্ষীকোষ

↓

পত্ররন্ধ্র উন্মোচন

12.6 বাষ্পমোচনের শর্ত ঃ

A. বহিঃশর্তাবলী (External factors) ঃ পরিবেশগত যে সমস্ত প্রভাবক বাষ্পমোচনের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে তাদের মধ্যে সর্বাপেক্ষা উল্লেখযোগ্য হল আলো, আর্দ্রতা, উষ্ণতা, CO_2-এর ঘনত্ব এবং বায়ুপ্রবাহের গতি।

● **আলো ঃ** আলোর প্রভাবে পত্ররন্ধ্রের চলন নিয়ন্ত্রিত হয়। প্রখর সূর্যালোকে অতিরিক্ত বাষ্পমোচনের হার উদ্ভিদের নুয়ে পড়া বা Wilting এর অন্যতম কারণ। অপরপক্ষে রাত্রিবেলায় পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকে বলে একেবারেই বাষ্পমোচন হয় না।

● **আর্দ্রতা ঃ** আর্দ্রতা হল বাতাসে জলীয় বাষ্পের ঘন-পরিমাণ (gm^{-3}) অথবা জলীয় বাষ্পের চাপ যা কিলোপ্যাস্কাল (K pa) রূপে প্রকাশ করা যায়। এই দুটি মান বৃদ্ধি পেলে বাষ্পমোচনের হার কমে যায়।

● **উষ্ণতা ঃ** সাধারণত 30^oC তাপমাত্রা হল বাষ্পমোচনের পক্ষে অনুকূল তাপমাত্রা। তাপমাত্রা এর উপরে গেলে ব্যাপনের মাত্রা বাড়ে এবং উচ্চতর ব্যাপনহার বাষ্পমোচনের হার বাড়ায়।

● **কার্বন-ডাই-অক্সাইড ঃ** বাতাসে CO_2-এর মাত্রা স্বাভাবিকের থেকে বেশি হলে (> 0.03%) বাষ্পমোচনের হার হ্রাস পায়। দিনের বেলায় পাতার কোষরসে দ্রবীভূত CO_2 সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত হয় তাই বাষ্পমোচনের হার বাড়ে। রাত্রে স্বাভাবিক শ্বসন প্রক্রিয়ায় কোষে CO_2 উৎপাদিত হয় এবং তা সালোক সংশ্লেষে ব্যবহৃত হবার সুযোগ নেই। ফলে রাত্রে বাষ্পমোচনের হার অতিরিক্ত CO_2-এর প্রভাবে শূন্য।

● **বায়ুপ্রবাহ ঃ** অতিরিক্ত বায়ুপ্রবাহ পাতার উপরিভাগ থেকে দ্রুত জলীয় বাষ্প অপসারিত করে ফলে বাষ্পমোচনের হার বেড়ে যায়।

B. আভ্যন্তরীণ শর্তাবলী ঃ

● **পাতার কলাসংস্থান ঃ** পাতার অন্তর্গঠন বাষ্পমোচনের হারকে ব্যাপকভাবে প্রভাবিত করে।

যে পাতার উভয়পৃষ্ঠে পত্ররন্ধ্র থাকে তার বাষ্পমোচনের হার বিসমপৃষ্ঠ পাতার তুলনায় বেশি। করবী (Nerium) প্রভৃতি গাছের পাতায় পত্ররন্ধ্র নিমজ্জিত (Sunken) তাই এদের বাষ্পমোচন নিয়ন্ত্রিত হয়। একইভাবে প্যালিসেড প্যারেনকাইমা দ্বারা গঠিত মেসোফিল কলায় বায়ুপ্রকোষ্ঠ অনেক বেশি থাকে বলে বাষ্পমোচন বেশি হয়। এছাড়া পাতার একক তল পরিমাণের সাপেক্ষে পত্ররন্ধ্রের সংখ্যা, পাতার উপরিত্বকে কিউটিকলের উপস্থিতি ইত্যাদির প্রভাবে বাষ্পমোচনের হার নিয়ন্ত্রিত হয়।

● **পত্ররোম ঃ** পাতার উপরিতলে রোমের উপস্থিতিতে বাষ্পমোচনের হার কমে যায়।

● **পাতার রূপান্তর ঃ** জাঙ্গাল উদ্ভিদে পত্রগুলি কন্টক অথবা পত্রাবকাণ্ডে রূপান্তরিত হয় ফলে জাঙ্গাল উদ্ভিদ কষ্টার্জিত জল অপচয়ের হাত থেকে বাঁচে।

● **হরমোন ঃ** অ্যাবসিসিক অ্যাসিড (ABA) পত্ররন্ধ্রের উন্মোচনকে প্রতিহত করে। 10^{-3} থেকে 10^{-4}M ABA -এর প্রভাবে পত্ররন্ধ্র সম্পূর্ণভাবে বন্ধ হয়ে যায়। উদ্ভিদে জলের অভাব দেখা দিলে ABA রক্ষীকোষের K^+ আয়নের বহির্গমনের কারণ হয়ে দাঁড়ায়। এই কারণে পত্ররন্ধ্র বন্ধ হয়ে যায়।

12.7 অ্যান্টিট্রান্সপির‍্যান্ট (Antitranspirants) ঃ

বাষ্পমোচন প্রতিরোধী যে কোন পদার্থকেই বলে অ্যান্টিট্রান্সপির‍্যান্ট। আগেই বলা হয়েছে বাষ্পমোচন একটি শক্তিব্যয়ী প্রক্রিয়া এবং জলের প্রাপ্তি হার যাই হোক না কেন বাষ্পমোচনে সক্ষম উদ্ভিদ স্বল্প পরিমাণ জলকেও অপসারিত করে ফেলার প্রবণতা দেখায়। এই প্রবণতাকে নিয়ন্ত্রণ করার জন্য অ্যান্টিট্রান্সপির‍্যান্ট প্রয়োগের চল আছে। বর্ণহীন প্লাসটিক, সিলিকন তৈল, তরল মোম ইত্যাদি পাতায় প্রলেপ দিলে পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকে। ফিনাইল মারকিউরিক অ্যাসিটেট (Phenyl mercuric acetate) এর 10^{-4} M দ্রবণ প্রয়োগ করলে বাষ্পমোচনের হার উল্লেখযোগ্য ভাবে কমে যায়। পত্ররন্ধ্র বন্ধ রাখতে সাহায্যকারী হরমোনগুলি, যেমন ABA-এর প্রয়োগে বাষ্পমোচনের হার কমানো যায়। যে কোন অ্যান্টিট্রান্সপির‍্যান্ট অবশ্যই নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন হতে হবে ঃ

i) এগুলি অবশ্যই উদ্ভিদের পক্ষে বিষাক্ত নয়।

ii) এগুলির পত্ররন্ধ্রের উপর প্রভাব অস্থায়ী মাত্র।

iii) এগুলির প্রভাব কেবল রক্ষীকোষ ও তৎসংলগ্ন ছিদ্রের উপর সীমাবদ্ধ থাকাই বাঞ্ছনীয়।

ব্যবহার ঃ

i) স্বাভাবিক হারে বাষ্পমোচন করে এমন উদ্ভিদকে খরাপ্রবণ অংশে চাষ করতে গেলে এর ব্যবহার আছে।

ii) তাজা অবস্থায় অঙ্কুর স্থানান্তরিত করতে গেলে এগুলির প্রয়োগ উপকারী।

iii) ফল ও ফুলকে দীর্ঘদিন ধরে তাজা ও অশুষ্ক রাখতে ব্যবহৃত হয়।

iv) ঘাসজমিকে (Lawn) তরতাজা রাখতে ক্রীড়াঙ্গনে অথবা গলফকোর্সে ব্যবহৃত হয়।

12.8 নিঃস্রাবণ (Guttation) ঃ

নাতিশীতোষ্ণ আবহাওয়ায় বীরুৎ জাতীয় উদ্ভিদের পাতার কিনারা থেকে জলীয় ক্ষরণ দেখতে পাওয়া যায়। এভাবে নিসৃত জলকে শিশির বিন্দু বলে ভুল হয়ে থাকে। কিন্তু এই জলের সঙ্গে শর্করা, অ্যামাইনো অ্যাসিড, খজিন লবণ ইত্যাদি দ্রবীভূত থাকে। এইভাবে পাতার কিনারা দিয়ে অতিরিক্ত জল তরলাকারে নির্গত হওয়ার পদ্ধতিকে নিঃস্রাবণ বা Guttation বলে।

যে সব উদ্ভিদের নিঃস্রবণ ঘটে তাদের পাতার কিনারায় হাইডাথোড (Hydathode) নামক এক বিশেষ পত্ররন্ধ্র থাকে। হাইডাথোডের নীচে পাতলা প্রাচীরবিশিষ্ট এবং প্রচুর কোষান্তর রন্ধ্র বিশিষ্ট একটি কলা থাকে যা **এপিথেম** (Epithem) নামে পরিচিত। মূলজ চাপের ফলে রসের উৎস্রোত ঘটলে কিছুটা খনিজলবণ মিশ্রিত জল এই **জলরন্ধ্র** এর মাধ্যমে নির্গত হয়।

প্রশ্ন হল এই পদ্ধতির সঙ্গে প্রস্বেদনের তফাৎ কোথায়? নীচের সারণিতে তফাৎগুলি উল্লেখিত হল ঃ

প্রস্বেদন	নিঃস্রাবণ
1. পাতার বীটপ অংশ থেকে জল বাষ্পাকারে নির্গত হয়।	1. কেবলমাত্র পাতার কিনারা থেকে জল তরলাকারে নির্গত হয়।
2. প্রস্বেদন মুখ্যতঃ পত্ররন্ধ্রের মাধ্যমে ঘটে।	2. নিঃস্রাবণ মুখ্যত জলরন্ধ্র বা হাইডাথোডের মাধ্যমে ঘটে।
3. সমস্ত সংবহন কলা বিশিষ্ট উদ্ভিদে দেখা যায়।	3. কেবলমাত্র কয়েকপ্রকার সপুষ্পক উদ্ভিদে যেমন কচু *(Colocasia Sp.)*, টম্যাটো *(Lycopersicon Sp.)* ইত্যাদিতে দেখা যায়।
4. দিনের বেলায় সংঘটিত হয়।	4. কেবলমাত্র উষাকালে, যখন মূলজ চাপ সর্বাধিক, তখন ঘটে।

সারণি ঃ প্রস্বেদন ও নিঃস্রাবণের মধ্যে পার্থক্য।

12.9 সারাংশ ঃ

প্রস্বেদন হল উদ্ভিদের একটি প্রয়োজনীয় শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া। এই প্রক্রিয়া উদ্ভিদ প্রয়োজনের অতিরিক্ত শোষিত জল বাষ্পাকারে ত্যাগ করে। পত্ররন্ধ্র, ত্বক, লেন্টিসেলের মাধ্যমে বাষ্পমোচন হয়। পত্ররন্ধ্রের গঠন বৈশিষ্ট্যে আছে পত্ররন্ধ্রছিদ্রকে ঘিরে থাকা দুপাশের দুটি রক্ষীকোষ। রক্ষীকোষের প্রাচীর বিসমপুরুত্ব বিশিষ্ট হবার দরুন রসস্ফীত হলে বাইরের দিকে প্রসারিত হয়। ফলে পত্ররন্ধ্র খুলে যায়। এই সংক্রান্ত দুটি তত্ত্ব উল্লেখ্য, স্টার্চ-শর্করা তত্ত্ব অনুযায়ী দিনের বেলায় রক্ষীকোষের স্টার্চ শর্করায় রূপান্তরিত হয় ফলে রক্ষীকোষের অভিস্রবণীয় চাপ বেড়ে যায়। এর ফলে অন্তঃঅভিস্রবণ ঘটে এবং রক্ষীকোষ রসস্ফীত হয়ে ওঠে ও পত্ররন্ধ্র উন্মুক্ত হয়। রাত্রে ঠিক এর বিপরীত ক্রিয়া ঘটে। দ্বিতীয় মত অনুযায়ী, দিনের বেলায় ম্যালিক আয়ন উৎপাদনের ফলে রক্ষীকোষে পটাশিয়াম ম্যালেট জমা হয় এবং এই কারণে তা রসস্ফীত হয়ে ওঠে। পত্ররন্ধ্র উন্মোচনের শর্তাবলীর মধ্যে আলো, তাপমাত্রা, বায়ুপ্রবাহ ইত্যাদির মত বহির্শর্তাবলী এবং হরমোন, পত্রের গঠন ইত্যাদি অন্তর্শর্তাবলী আছে। অ্যান্টিট্রান্সপির্যান্ট হল প্রস্বেদন প্রতিরোধী পদার্থ যেমন ABA, নিঃস্রাবণ হল তরলাকারে জলক্ষরণ প্রক্রিয়া যা কেবলমাত্র অল্প কিছু সপুষ্পক উদ্ভিদে দেখা যায়।

12.10 অন্তিম প্রশ্নাবলি ঃ

1. **নীচের প্রশ্নগুলির সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৩
   - (ক) প্রস্বেদনকে প্রয়োজনীয় ক্ষতি বলা হয় কেন?
   - (খ) প্রস্বেদনের উপর CO_2 এর প্রভাব কী?
   - (গ) রক্ষীকোষের গঠন কিরূপে প্রস্বেদন প্রক্রিয়ার জন্য দায়ী?
   - (ঘ) অ্যান্টিট্রান্সপির্যান্ট কাকে বলে? উদাহরণ দিন।
   - (ঙ) নিঃস্রাবন কাকে বলে?
   - (চ) প্রস্বেদন ও নিঃস্রাবণের তফাৎ কী?
2. **উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৬
   - (ক) প্রস্বেদনের ব্যাখ্যা প্রদানে শ্বেতসার-শর্করা তত্ত্বটি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।
   - (খ) শ্বেতসার-শর্করা তত্ত্বটি কি গ্রহণযোগ্য? যুক্তি দিয়ে বুঝিয়ে বলুন। এই তত্ত্বের বিকল্প অন্য কোন তত্ত্ব দ্বারা প্রস্বেদন প্রক্রিয়ার জৈব রাসায়নিক ব্যাখ্যা দিন।
   - (গ) প্রস্বেদনের শর্তগুলি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।
3. **উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—১০
   - (ক) প্রস্বেদন কী? এটি কয় প্রকার ও কি কি? উদ্ভিদের পত্ররন্ধ্রের গঠন কিভাবে এই পদ্ধতিকে প্রভাবিত করে? প্রস্বেদনের ব্যাখ্যা প্রদানে রাসায়নিক তত্ত্বগুলি সম্পর্কে আলোকপাত করুন।

(খ) প্রস্বেদনের শর্তাবলী কী কী? অ্যান্টিট্রান্সপিরেন্ট কাকে বলে ও তার ব্যবহারিক উপযোগিতা কি? উপযুক্ত উদাহরণসহ নিঃস্রাবণের ঘটনাটি ব্যাখ্যা করুন। নিঃস্রাবণ কেন এক প্রকার বাষ্পমোচন নয়? পত্ররন্ধ্র উন্মীলন ও নিমীলনের স্টার্চ-শর্করা তত্ত্বটি বুঝিয়ে বলুন।

12.11 উত্তরমালা ঃ

1. (ক) 12.2 অংশ দেখুন
   (খ) কেন CO_2-এর হার বৃদ্ধি পেলে প্রস্বেদনের হার কমে তা শর্তাবলী অংশ থেকে লিখুন।
   (গ) 12.4 অংশ দেখুন।
   (ঘ) 12.7 দেখুন।
   (ঙ) 12.8 অংশ দেখুন।
   (চ) 12.8 অংশ দেখুন।
2. (ক) 12.5.1 অংশ দেখুন।
   (খ) 12.5.1 অংশে এই তত্ত্বের সমালোচনা আছে। বিকল্প হিসাবে ম্যালেট আয়ন তত্ত্ব লিখুন।
   (গ) 12.6 অংশ দেখুন।
3. উত্তরগুলি সংক্ষিপ্ত আকারে 1 ও 2 নং প্রশ্নে আলোচিত হয়েছে। প্রতিটি ক্ষেত্রে উপযুক্ত চিত্র এবং শব্দছক প্রদান করুন।

একক - 13 : খনিজ পুষ্টি (Mineral Nutrition)

13.1 প্রস্তাবনা

উদ্দেশ্য

13.2 উদ্ভিদবৃদ্ধিতে খনিজ মৌলের অপরিহার্যতার শর্তসমূহ

13.3 অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌল

13.4 বিভিন্ন অতিমাত্রিক মৌলের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ

13.5 স্বল্পমাত্রিক মৌলের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ

13.6 সারাংশ

13.7 প্রশ্নাবলী

13.8 উত্তরমালা

13.1 প্রস্তাবনা ঃ

স্বভোজী উদ্ভিদের সার্বিক বৃদ্ধি মাটিতে উপস্থিত বেশ কয়েকটি খনিজ মৌলের উপর নির্ভরশীল। সালোক সংশ্লেষ, শ্বসন, নাইট্রোজেন আত্তীকরণ, প্রস্বেদন, উদ্ভিদ হরমোন সংশ্লেষ -- এ ধরনের প্রতিটি বিপাক ক্রিয়াই বিভিন্ন ধরনের উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত। উদ্ভিদদেহে এই সামগ্রিক ক্রিয়াকলাপের জন্য প্রয়োজন হয় অন্ততপক্ষে 17 টি খনিজ মৌলের যা উদ্ভিদ মাটি থেকে শোষণ করে। উদ্ভিদ শারীরবৃত্তীয় শাখার যে অধ্যায়ে খনিজ মৌলের শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা ও তার অভাবজনিত লক্ষণ নিয়ে আলোচনা করা হয় সেটি হল খনিজ পুষ্টি বা Mineral nutrition. যথাযথ খনিজ মৌলের ব্যবহারের ফলেই ফসলের সঠিক উৎপাদন মাত্রা বজায় রাখা সম্ভব— এ কারণে এই শাখায় গবেষণা অব্যাহত। বর্তমান এককটিতে আমরা উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে অপরিহার্য মৌলগুলির শারীরবৃত্তীয় ভূমিকা ও তাদের অভাবজনিত লক্ষণ আলোচনা করবো।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি ঃ

- উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে খনিজ মৌলের অপরিহার্যতার শর্তগুলি জানতে পারবেন।
- অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌল কাদের বলে তা ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হবেন।
- উদ্ভিদের বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় খনিজ মৌলগুলির ভূমিকা আলোচনা করতে সক্ষম হবেন।
- প্রয়োজনীয় খনিজ মৌলের অভাবজনিত লক্ষণগুলি চিহ্নিত করতে পারবেন।

13.2 উদ্ভিদবৃদ্ধিতে খনিজ মৌলের অপরিহার্যতার শর্তসমূহ ঃ

দ্য সসার (de Saussure) 1804 খ্রিষ্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে উদ্ভিদ ভস্মে (plant ash) যে সমস্ত অজৈব মৌল বর্তমান তা উদ্ভিদের মূলের সাহায্যে খনিজ লবণরূপে শোষিত হয়। পরবর্তীকালে স্যাকস (Sachs, 1860) এবং নপ্ (Knop 1860-65) বিভিন্ন পরীক্ষার দ্বারা উদ্ভিদবৃদ্ধিতে N, P, K, Mg, Ca ও Fe-র ভূমিকার কথা জানাতে সক্ষম হন। এই কয়েকটি খনিজ মৌল ছাড়াও Mn, B, Zn, Cu ও Mo এর উদ্ভিদ পুষ্টিতে প্রয়োজনীয় ভূমিকার কথা তারা আলোচনা করেন।

কোন একটি বিশেষ খনিজ মৌল উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে অপরিহার্য কি না তা কয়েকটি বিশেষ শর্তের ওপর নির্ভরশীল। আর্নন ও স্টাউট (Arnon and Stout, 1939) উদ্ভিদবৃদ্ধিতে খনিজ মৌলের অপরিহার্যতার শর্তগুলি উল্লেখ করেন। তাদের মতে কোন শোষিত মৌলকে তখনই উদ্ভিদ বৃদ্ধিতে অপরিহার্য বলা হবে যখন ঃ

i) উদ্ভিদ বিপাক প্রক্রিয়ায় ঐ মৌলটি সক্রিয়ভাবে অংশগ্রহণ করবে।

ii) ঐ মৌলের অভাবে উদ্ভিদের অঙ্গজ গঠন ও স্বাভাবিক জীবনচক্র বাধাপ্রাপ্ত হবে।

iii) শুধুমাত্র ঐ মৌলের উপস্থিতিতেই উদ্ভিদের অভাবজনিত লক্ষণগুলি দূরীভূত হবে— অন্য কোন বিকল্প মৌলের দ্বারা নয়।

13.3 অতিমাত্রিক মৌল বা macroelement ও স্বল্পমাত্রিক মৌল বা micro-element ঃ

উদ্ভিদদেহে ব্যবহৃত মৌলগুলির নাম ও অন্যান্য প্রয়োজনীয় তথ্য সারণী 1 এ দেওয়া হয়েছে। এদের মধ্যে তিনটি মৌল— হাইড্রোজেন (H), কার্বন (C) ও অক্সিজেনকে (O) সধারণত খনিজ মৌল বলে গণ্য করা হয় না কেননা উদ্ভিদ এই তিনটি মৌলকে প্রধানত জল ও কার্বন-ডাই-অক্সাইড থেকে সংগ্রহ করে। সুতরাং এই তিনটি মৌলের বিপাকীয় ভূমিকা অন্য অধ্যায়ে আলোচিত হবে।

সারণী 1 এ উল্লিখিত বিভিন্ন অপরিহার্য মৌলকে উদ্ভিদদেহে তাদের আপাত ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌলরূপে চিহ্নিত করা হয়।

অতিমাত্রিক মৌল ঃ নটি অপরিহার্য মৌলকে অতিমাত্রিক মৌল বলে গণ্য করা হয় কারণ এরা উদ্ভিদ পুষ্টিতে স্বল্পমাত্রিক মৌল অপেক্ষা বেশি পরিমাণে ব্যবহৃত হয় এবং উদ্ভিদদেহ গঠনে প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে এবং উদ্ভিদদেহের প্রতি 1 Kg শুষ্ক ওজনে এদের পরিমাণ 10 mmol বা তার বেশি হয়ে থাকে। এরা হ'ল নাইট্রোজেন (N), পটাসিয়াম (K), ক্যালসিয়াম (Ca), ম্যাগনেসিয়াম (Mg), ফসফরাস (P) ও সালফার (S)।

সারণী 1 ঃ

উদ্ভিদদেহে ব্যবহৃত মৌলগুলির নাম, সঙ্কেত, শুষ্ক ওজনভিত্তিক পরিমাণ (% অথবা ppm) এবং উদ্ভিদকোষে মলিবডেনামের তুলনায় তাদের পরমাণুর সংখ্যা ঃ

মৌল	সংকেত	শুষ্ক ওজন ভিত্তিক পরিমাণ (% অথবা ppm)*	মলিবডেনামের তুলনায় পরমাণুর সংখ্যা
জল অথবা বাতাস থেকে গৃহীত			
1. হাইড্রোজেন	H	6	60,000,000
2. কার্বন	C	45	40,000,000
3. অক্সিজেন	O	45	30,000,000
মাটি থেকে গৃহীত অতিমাত্রিক মৌল			
1. নাইট্রোজেন	N	1.5	1,000,000
2. পটাসিয়াম	K	1.0	250,000
3. ক্যালসিয়াম	Ca	0.5	125,000
4. ম্যাগনেসিয়াম	Mg	0.2	80,000
5. ফসফরাস	P	0.2	60,000
6. সালফার	S	0.1	30,000
7. সিলিকন**	Si	0.1	30,000
স্বল্পমাত্রিক মৌল			
1. ক্লোরিন	Cl	100	3,000
2. লৌহ	Fe	100	2,000
3. বোরন	B	20	2,000
4. ম্যাঙ্গানিজ	Mn	50	1,000
5. সোডিয়াম**	Na	10	400
6. দস্তা	Zn	20	300
7. তামা	Cu	6	100
8. নিকেল	Ni	0.1	2
9. মলিবডেনাম	Mo	0.1	1

* H, C, O এবং অতিমাত্রিক মৌলগুলির মান % এ দেওয়া হয়েছে। স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলির মান parts permillion (ppm) এ দেওয়া হয়েছে।

** অনেক উদ্ভিদ বিজ্ঞানী সিলিকন ও সোডিয়ামকে অত্যাবশ্যক মৌল রূপে গণ্য করেন না।

স্বল্পমাত্রিক মৌল ঃ এরা উদ্ভিদ পুষ্টিতে অতি সামান্য পরিমাণে ব্যবহৃত হয়। সাধারণত প্রত্যক্ষভাবে উদ্ভিদ কোষীয় উপাদান গঠনে ব্যবহৃত হয় না এবং উদ্ভিদদেহের প্রতি কিলোগ্রাম শুষ্ক ওজনে এদের পরিমাণ 3 mol বা তারও কম হয়ে থাকে। এরা হ'ল বোরন (B), ক্লোরিন (Cl), লৌহ (Fe), ম্যাঙ্গানিজ (Mn), দস্তা (Zn), তামা (Cu), নিকেল (Ni) ও মলিবডেনাম (Mo)।

বর্তমানে বেশ কয়েকজন উদ্ভিদ শারীর বিজ্ঞানী খনিজ মৌলকে উদ্ভিদদেহে উপস্থিত ঘনত্বের ওপর নির্ভর করে শ্রেণিবিন্যাস করার বিরুদ্ধে মতপোষণ করেছেন। কোন কোন উদ্ভিদ কলায় অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌল প্রায় একই ঘনত্বে উপস্থিত থাকে— যেমন উদ্ভিদ পাতার মেসোফিল কলায় অতিমাত্রিক ম্যাগনেসিয়াম ও স্বল্পমাত্রিক লৌহ ও ম্যাঙ্গানিজ প্রায় একই ঘনত্বে উপস্থিত। এই কারণে মেনজেল ও কিরবি (Mengel and Kirby, 1987) অপরিহার্য মৌলগুলিকে তাদের জীবরাসায়নিক ও শারীরবৃত্তীয় ভূমিকার ওপর নির্ভর করে মোট চার ভাগে ভাগ করেছেন।

13.4 বিভিন্ন অতিমাত্রিক মৌলের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

(a) নাইট্রোজেন (N)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— নাইট্রোজেন মৃত্তিকা হইতে নাইট্রেট (NO_3^-) ও অ্যামোনিয়াম (NH_4^+) আয়নরূপে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. উদ্ভিদ কোষের প্রতিটি অত্যাবশ্যক জৈব যৌগ নাইট্রোজেন সমন্বিত। এরা হ'ল অ্যামাইনো অ্যাসিড, প্রোটিন ও নিউক্লিক অ্যাসিড (DNA ও RNA)।
2. বিভিন্ন উপক্ষার (alkaloids) ও ভিটামিন নাইট্রোজেন সমন্বিত যৌগ।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. নাইট্রোজেনের অভাবে উদ্ভিদ প্রোটিন, নিউক্লিক অ্যাসিড ও ভিটামিন তৈরি করতে সক্ষম না হওয়ায় উদ্ভিদদেহের সামগ্রিক বৃদ্ধি হ্রাস পায়।
2. উদ্ভিদের পাতা ক্লোরোফিল কণার অভাবে হলুদবর্ণ ধারণ করে। একে ক্লোরোসিস (Chlorosis) বলে। নাইট্রোজেনের অভাব ঘটলে সর্বপ্রথমে পরিণত পাতাগুলিতে ক্লোরোসিস দেখা যায়। প্রাথমিক অবস্থায় অপরিণত পাতাগুলিতে ক্লোরোসিস পরিলক্ষিত হয় না কেন না পরিণত পাতায় আগে থাকতে উপস্থিত নাইট্রোজেন চালিত হয়ে অপরিণত পাতায় উপস্থিত হয়। এই কারণে আমরা নাইট্রোজেনকে মোবাইল এলিমেন্ট (Mobile element) বলে অভিহিত করে থাকি।
3. নাইট্রোজেনের অভাবে কার্বোহাইড্রেট জাতীয় পদার্থ নাইট্রোজেন বিপাকে কাজে না লাগায় উদ্ভিদদেহে অতিরিক্ত কার্বোহাইড্রেট জাতীয় পদার্থ জমা হয় অতিরিক্ত কার্বোহাইড্রেটের জন্য উদ্ভিদ কাণ্ডটি সরু

ও কাষ্ঠল প্রকৃতির হয় এবং একই কারণে অ্যান্থোসায়ানিন (anthocyanin) রঞ্জক পদার্থের সংশ্লেষ বেড়ে যাওয়ার ফলে কাণ্ড ও পাতাগুলি গোলাপী বর্ণ ধারণ করে।

সালফার (S)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়নরূপে ($SO_4^{=}$) সালফার শোষণ করে।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. সিসটিন (Cystine), সিসটাইন (Cysteine) ও মিথিওনাইন (methionine) — এই তিনটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের অন্যতম উপাদান হ'ল সালফার।
2. শ্বসনে সাহায্যকারী সহ-উৎসেচক বা Coenzyme (acetyl coenzyme A), বায়োটিন, থায়ামিন, ভিটামিন B_1 ও প্যান্টোথিনিক অ্যাসিড হ'ল সালফার সমন্বিত যৌগ।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. সালফার ও নাইট্রোজেন উভয়েই প্রোটিন গঠনের জন্য দায়ী হওয়ার ফলে সালফার মৌলের অভাবজনিত লক্ষণগুলির অনেকগুলিই নাইট্রোজেনের অভাবজনিত লক্ষণগুলির অনুরূপ। লক্ষণগুলি হ'ল যথাক্রমে ক্লোরোসিস।

পটাসিয়াম (K)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— পটাসিয়াম মনোভ্যালেন্ট ক্যাটায়ন রূপে (K^+) মাটি থেকে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. পটাসিয়াম উদ্ভিদকোষের অভিস্রবণীয় ক্ষমতা বা Osmotic potential নির্ণয়ে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। পটাসিয়াম আয়নের প্রভাবে কোষের রসস্ফীতি চাপ বেড়ে যায়। পত্ররন্ধ্রের রক্ষীকোষে পটাসিয়াম আয়নের প্রভাবে রসস্ফীতি চাপ বেড়ে যাওয়ার জন্য পত্ররন্ধ্র খুলে যায়।
2. সালোকসংশ্লেষ ও শ্বসন প্রক্রিয়া যে সকল উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তার অধিকাংশেরই সক্রিয়তার জন্য পটাসিয়াম আয়নের উপস্থিতি একান্ত প্রয়োজন। পটাসিয়াম প্রায় 40 টি উৎসেচকের সহউৎসেচক বা কোফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে।
3. উদ্ভিদের অপেক্ষাকৃত তরুণ ও সক্রিয় বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চলের কোষের প্রোটোপ্লাজমে অধিক পরিমাণে পটাসিয়াম সঞ্চিত থাকে— এ কারণে উদ্ভিদ বিজ্ঞানীরা মনে করেন যে পটাসিয়াম উদ্ভিদ কোষমধ্যস্থ বিভিন্ন বস্তু প্রস্তুতিতে গ্রহণ ও প্রোটোপ্লাজমের স্বাভাবিক গঠন নিরূপণে বিশেষ ভূমিকা নেয়।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. ফসফরাস ও নাইট্রোজেনের মত পটাসিয়ামও অতি দ্রুত পরিণত পাতা ও অঙ্গাসমূহ থেকে কচি পাতায় স্থানান্তরিত (mobile element) হওয়ায় পটাসিয়াম মৌলের অভাবজনিত লক্ষণ সর্বপ্রথম

পরিণত পাতাতে পরিলক্ষিত হয়।

2. এই মৌলের অভাবে দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতা বিক্ষিপ্ত ভাবে হলুদ বর্ণ ধারণ করে (ক্লোরোসিস) এবং অভাব দীর্ঘস্থায়ী হ'লে পাতায় পচন ধরে। একবীজপত্রী উদ্ভিদের পাতার অগ্রস্থ ও প্রান্তীয় কোষ সমষ্টির সবচেয়ে আগে মৃত্যু হয় এবং পরের দিকে পাতার নীচের অংশে পচন দেখা যায়।

3. ফসলী উদ্ভিদের (যথা ধান, ভুট্টা ইত্যাদি) কাণ্ড সরু ও দুর্বল প্রকৃতির হয় এবং মূলগুলি অতি সহজেই মূল পচনকারী ছত্রাকসমূহ (root-rotting fungi) দ্বারা আক্রান্ত হয়। এর ফলে উদ্ভিদকাণ্ডগুলি সহজেই মাটিতে নুইয়ে পড়ে। খর্বাকৃতি উদ্ভিদ ও অধিক পরিমাণে অ্যান্থোসায়ানিন জাতীয় রঞ্জকপদার্থের সংশ্লেষ করে।

   এ প্রসঙ্গে উল্লেখ্য যে সালফার মৌলের অভাবজনিত লক্ষণ সর্বপ্রথম কচি বা অপরিণত পাতায় লক্ষ্য করা যায় (পটাসিয়াম মৌলের বিপরীত)। উদ্ভিদদেহে সালফার মৌলের সঞ্চালনের গতি অনেকাংশে কম হওয়ার জন্য (সালফার immobile মৌল) পরিণত পাতায় আগে থাকতে সঞ্চিত সালফার কচি পাতায় পরিবাহিত হয়ে আসতে পারে না—এর ফলে ক্লোরোসিস সর্বপ্রথম কচিপাতায় পরিলক্ষিত হয়।

ফসফরাস (P)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— উদ্ভিদ মৃত্তিকা হইতে ফসফেট ($H_3PO_4^-$ ও $H_2PO_4^-$) আয়নরূপে ফসফরাস শোষণ করে।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. নিউক্লিক অ্যাসিড (DNA ও RNA) ফসফরাস সমন্বিত যৌগ। নিউক্লিওসাইডের (রাইবোজ অথবা ডি-অক্সিরাইবোজ সুগার ও নাইট্রোজেন সমন্বিত ক্ষার) সঙ্গে ফসফরাস যুক্ত হয়ে নিউক্লিক অ্যাসিডের একক নিউক্লিওটাইড গঠন করে।

2. উদ্ভিদ কোষ-পর্দার অন্যতম উপাদান ফসফোলিপিড হ'ল ফসফরাস সমন্বিত যৌগ।

3. সালোকসংশ্লেষ ও শ্বসনের সময়ে যে ATP অণু তৈরি হয় তা ফসফরাস সমন্বিত যৌগ।

4. ট্রান্সঅ্যামাইলেজ (transamylase) উৎসেচকের সহউৎসেচক পাইরিডক্সাল ফসফেট একটি ফসফরাস সমন্বিত যৌগ। ট্রান্স অ্যামাইনেশন (transamination) পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষের সময় একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো বর্গটিকে একটি কিটো অ্যাসিডে স্থানান্তরিত করার জন্য পাইরিডক্সাল ফসফেটের প্রয়োজন।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. তরুণ উদ্ভিদ খর্বাকার, কাণ্ড সরু প্রকৃতির।

2. পাতাগুলি কোঁচকানো, পাতার রং ঘন সবুজ ও পাতার মধ্যে জায়গায় জায়গায় মৃত কলার ছোট ছোট নেক্রোটিক স্পট (necrotic spot) পরিলক্ষিত হয়।

3. ফসফরাসের অভাবেও অধিকমাত্রায় অ্যান্থোসায়ানিন সঞ্চিত হওয়ায় পাতাগুলি গোলাপী বর্ণ ধারণ করে, কিন্তু এক্ষেত্রে ক্লোরোসিস পরিলক্ষিত হয় না।

ক্যালসিয়াম (Ca)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— ক্যালসিয়াম ডাইভ্যালেন্ট ক্যাটায়ন (Ca^{2+}) রূপে মাটি থেকে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. উদ্ভিদ কোষপ্রাচীরের মধ্যচ্ছদা বা মিডল্ ল্যামেলা (middle lamella) ক্যালসিয়াম পেকটেট জাতীয় উপাদান দ্বারা নির্মিত। উদ্ভিদ দ্বারা শোষিত ক্যালসিয়ামের প্রায় 70 ভাগ কোষপ্রাচীর নির্মাণে ব্যবহৃত হয়।

2. কোষ বিভাজনের সময় বেমতন্তু (spindle) গঠনে ক্যালসিয়াম সাহায্য করে।

3. নাইট্রেট বিজারণে ক্যালসিয়াম সহায়তা করে।

4. ক্যালমডিউলিন নামে একধরনের প্রোটিন উদ্ভিদ কোষের সাইটোপ্লাজমে পাওয়া যায়। ঐ প্রোটিনের সঙ্গে ক্যালসিয়াম যুক্ত হয়ে ক্যালমডিউলিন-ক্যালসিয়াম কমপ্লেক্স তৈরি হয়। উক্ত যৌগটি এরপর বিভিন্ন ধরনের প্রোটিন যেমন কাইনেজ, ফসফাটেজ (phosphatase) ও বিভিন্ন ধরনের সাইটোস্কেলিটাল প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উদ্ভিদ কোষের বিভিন্ন প্রক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. উদ্ভিদের অপরিণত বর্দ্ধিষ্ণু অঞ্চল সমূহ যেমন মূল ও পাতার অগ্রভাগে ক্যালসিয়ামের অভাবে পচন বা necrosis পরিলক্ষিত হয়।

2. পচন শুরু হওয়ার আগে কচিপাতাগুলিতে ক্লোরোসিস দেখা যায়। ক্লোরোসিস সাধারণত আন্তশিরাল প্রকৃতির। কচি পাতাগুলির আকৃতির পরিবর্তন হয়।

3. ক্যালসিয়ামের অভাবে মূলগুলি খর্বাকৃতি, বহু শাখা সমন্বিত হয় ও বাদামী বর্ণ ধারণ করে।

ম্যাগনেসিয়াম (Mg)

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

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. ম্যাগনেসিয়াম ক্লোরোফিল অণুগঠনের অন্যতম উপাদান।

2. সালোকসংশ্লেষ ও শ্বসনে নিযুক্ত বেশ কয়েকটি উৎসেচকের কার্যকারিতায় ম্যাগনেসিয়াম সক্রিয়

ভূমিকা গ্রহণ করে। কার্বক্সিলেজ, এনোলেজ, কাইনেজ প্রভৃতি উৎসেচকের কোফ্যাক্টর হিসাবে ম্যাগনেসিয়াম কাজ করে।

3. DNA ও RNA অণুর সংশ্লেষেও এই মৌলটি কার্যকরী ভূমিকা নেয়—

4. ফসফেট ও স্নেহপদার্থের বিপাকক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পাতার শিরাগুলির মধ্যবর্তী স্থানে ক্লোরোসিস হ'ল ম্যাগনেসিয়ামের অভাবজনিত প্রধান লক্ষণ। পরিণত পাতাতে অভাবজনিত লক্ষণ সর্বপ্রথমে পরিলক্ষিত হয় কেননা ম্যাগনেসিয়াম অতি দ্রুততার সঙ্গে পরিণত অঙ্গ থেকে অপরিণত অঙ্গের দিকে ধাবিত হয়।

2. যদি বেশি পরিমাণে ম্যাগনেসিয়ামের অভাব ঘটে তাহলে সম্পূর্ণ পাতাটি হলুদ অথবা সাদা হয়ে যায়।

3. এই মৌলের অভাবে পাতাগুলি অকালে ঝরে পড়ে।

13.5 স্বল্পমাত্রিক মৌলের ভূমিকা ও অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

লৌহ (Fe)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— লৌহ ফেরিক (Fe^{3+}) ও ফেরাস (Fe^{2+}) আয়নরূপে উদ্ভিদদ্বারা শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. সালোক সংশ্লেষ ও শ্বসনে ইলেকট্রন বাহক হিসাবে কাজ করে এরকম দুটি গুরুত্বপূর্ণ যৌগ ফেরিডক্সিন ও সাইটোক্রোম লৌহঘটিত যৌগ।

2. ক্লোরোফিল সংশ্লেষে লৌহ একান্ত প্রয়োজনীয়।

3. বেশ কয়েকটি উৎসেচকের কোফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে লৌহ— যেমন সাকসিনেট ডিহাইড্রোজেনেস

4. নাইট্রোজেন সংবন্ধনে নিযুক্ত নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের দুটি অধঃএককের একটি লৌহযুক্ত প্রোটিন।

5. আরও কয়েকটি উৎসেচক যেমন পারঅক্সিডেজ, ক্যাটালেজ ইত্যাদির উপাদান হ'ল লৌহ।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. লৌহের অভাবজনিত অন্যতম লক্ষণ হ'ল অপরিণত বা কচি পাতার আন্তঃ শিরাল ক্লোরোসিস, পরিণত পাতা থেকে লৌহ কচি পাতায় স্থানান্তরিত না হওয়ায় (লৌহ immobile element) অপরিণত পাতায় ক্লোরোসিস দেখা যায়।

2. লৌহের অভাবে ক্লোরোপ্লাস্টের গঠন ও আয়তনের তারতম্য হয়।

বোরন (B)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— বোরিক অ্যাসিড রূপে মূল দিয়ে শোষিত হয় বোরন।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. বোরনের সঠিক কাজ কি তা এখনও জানা সম্ভবপর হয়নি।
2. বোরন কার্বোহাইড্রেট জাতীয় খাদ্যের ফ্লোয়েমের মাধ্যমে সংবহনের কাজে সহায়তা করে বলে মনে করা হয়।
3. ভাজক কলায় DNA অণু সংশ্লেষেও বোরন সাহায্য করে বলে মনে করা হয়।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. কাণ্ড ও মূলের অগ্রভাগের মৃত্যু ঘটে।
2. পাতাগুলি কুঁচকে যায় ও ভঙ্গুর হয়ে পড়ে। পচন রোগ দেখা যায়।
3. কোষগুলির অন্তর্পচনের জন্য বিটে 'heart rot' এর সৃষ্টি হয়।

ম্যাঙ্গানিজ (Mn)

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

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. সালোক সংশ্লেষ পদ্ধতির সময় দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্র (PSII) তে জলের আলোক বিশ্লেষণের জন্য ম্যাঙ্গানিজের উপস্থিতি দরকার।
2. বেশ কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচক যেমন ডিহাইড্রোজেনেস (ম্যালিক ডিহাইড্রোজেনেস) ডিকার্বক্সিলেজ (অক্সালোসাকসিনিক ডিকার্বক্সিলেজ) এর কোফ্যাক্টর (Co-factor) হিসাবে কাজ করে।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পাতায় অন্তঃশিরাল ক্লোরোসিস দেখা যায়। কিছু প্রজাতিতে প্রথমে কচি পাতায় ক্লোরোসিস পরিলক্ষিত হলেও বেশ কিছু প্রজাতিতে ম্যাঙ্গানিজের অভাবজনিত ক্লোরোসিস সর্বপ্রথম পরিণত পাতাতে দেখা যায়।
2. নেক্রোটিক স্পটও (পচনজনিত ছোট ছোট ফুটকি) পাতায় অন্তঃশিরাল জায়গায় দেখা যায়।

দস্তা (Zn)

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

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. দস্তা উদ্ভিদের ইন্ডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড (Indole Acetic Acid, IAA) অর্থাৎ অক্সিন সংশ্লেষে কার্যকরী ভূমিকা গ্রহণ করে।

2. দস্তা কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচকের কোফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে— এরা হ'ল কার্বনিক অ্যানহাইড্রেস, অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজেনেস ইত্যাদি।
3. RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষের হার বাড়িয়ে দেয়।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পরিণত পাতায় আন্তশিরাল ক্লোরোসিস ও নেক্রোটিক স্পট দেখা যায়।
2. IAA এর অভাবে ইন্টারনোড বা পর্বমধ্য ও পাতায় বৃদ্ধি কম হওয়ায় সামগ্রিকভাবে উদ্ভিদটি রোসেট আকৃতি ধারণ করে।
3. পাতাগুলির বিকৃতি ঘটে।

তামা (Cu)

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

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. ফেনোলেসেজ (Phenolases), অ্যাসকরবিক অ্যাসিড অক্সিডেজ (ascorbic acid oxidase) ইত্যাদি উৎসেচকের অন্যতম উপাদান হ'ল Cu।
2. সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির আলোকদশায় ইলেকট্রন বাহকের মধ্যে অন্যতম একটি বাহক হ'ল প্লাস্টোসায়ানিন (Plastocyanin)। প্লাস্টোসায়ানিনের অন্যতম উপাদান হল তামা।
3. ক্লোরোফিল সংশ্লেষেও এর অবদান রয়েছে।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পাতার অগ্রভাগে ক্লোরোসিস পরিলক্ষিত হয়। পাতার অগ্রভাগ থেকে পচন শুরু হয়ে কিনারার দিকে ছড়িয়ে পড়ে এবং সর্বশেষে পাতাগুলি খসে পড়ে।
2. তামার অভাবে কোন কোন গাছে (লেবু) গাম জাতীয় পদার্থের ক্ষরণ হয় যা পরে die back রোগের সৃষ্টি করে। এ ছাড়াও পাতা ও ফলে বাদামী রঙের ব্লচ (Blotch)এর সৃষ্টি হয়।

মলেবডেনাম (Mo)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— মলেবডেট (MoO_4^-) রূপে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. নাইট্রোজেন সংবন্ধনে নিযুক্ত নাইট্রোজেনেস উৎসেচকের Mo – Fe প্রোটিন গঠন করে।
2. নাইট্রেট রিডাকটেজ, সাকসিনিক ডিহাইড্রোজেনেস ইত্যাদি উৎসেচকের কোফাক্টর হিসাবে কাজ করে।

3. মলেবডেনামের অভাবে উদ্ভিদদেহে অ্যাসকরবিক অ্যাসিডের পরিমাণ কমে যায় এর থেকে মনে করা হয় মলেবডেনাম অ্যাসকরবিক অ্যাসিডের সংশ্লেষে সহায়তা করে.

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পাতায় আন্তশিরাল ক্লোরোসিস দেখা যায়।
2. পাতাগুলির কিনারায় পচন ঘটে।
3. ফুল সৃষ্টিতে বাধা দেয়। যদি কোনোভাবে ফুল ফোটে তাহলেও সেই ফুল থেকে ফল তৈরি হয় না।

ক্লোরিন (Cl^-)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— ক্লোরাইড (Cl^-) আয়নরূপে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. সালোক সংশ্লেষ পদ্ধতিতে জলের আলোক বিশ্লেষণের সময় ক্লোরিনের উপস্থিতি দরকার।
2. কোষ বিভাজনের হার বাড়িয়ে দেয়।
3. কিছু ক্ষেত্রে অভিস্রবণ চাপ নিয়ন্ত্রণ করে বলে মনে করা হয়।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. পাতায় ক্লোরোসিস ও নেক্রোটিক স্পট পরিলক্ষিত হয়।
2. পাতার বৃদ্ধির হার কম হয় এবং অবশেষে পাতা নুইয়ে পড়তে পারে।

নিকেল (Ni)

শোষণযোগ্য রূপ ঃ— ধাতব মৌল হিসাবে শোষিত হয়।

উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা ঃ

1. ইউরিয়েজ ও হাইড্রোজেনেস— এই দুটি উৎসেচকের কোফ্যাক্টর হিসাবে কাজ করে।
2. বিপাকজাত বর্জ্য পদার্থ ইউরিয়াকে কোষ থেকে নিষ্কাশিত করে।

অভাবজনিত লক্ষণ ঃ

1. কয়েকটি উদ্ভিদের মূলে (সোয়াবিন) নাইট্রোজেন সংবন্ধনের হার কমিয়ে দেয়।
2. কোন কোন উদ্ভিদে পচন রোগ দেখা যায়।

13.6 সারাংশ ঃ

খনিজ লবণ উদ্ভিদের সার্বিক বৃদ্ধি ও বিভিন্ন বিপাক ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। ইহাদের মধ্যে কতকগুলি খনিজ লবণকে অপরিহার্য্য বলে মনে করা হয়। অপরিহার্য্য মৌলসমূহের মধ্যে কতকগুলি অতিমাত্রিক ও কতকগুলি

স্বল্পমাত্রিক। স্বল্পমাত্রিক মৌলগুলি কম পরিমাণে আবশ্যক হলেও গুরুত্বের বিচারে ইহারা যথেষ্ট উল্লেখযোগ্য। এই খনিজ লবণ সমূহ বিভিন্ন কোষীয় উপাদান, অণুগাণু, রঞ্জকপদার্থ, উৎসেচক, কো-এনজাইম গঠনে সাহায্য করে এবং ইহাদের অনুপস্থিতিতে বিভিন্ন ধরনের উদ্ভিদরোগের সৃষ্টি হয়।

13.7 প্রশ্নাবলি ঃ

1. অতিমাত্রিক ও স্বল্পমাত্রিক মৌল কাকে বলে? উদাহরণ দিন।
2. উদ্ভিদবৃদ্ধিতে খনিজ মৌলের অপরিহার্যতার শর্তগুলি উল্লেখ করুন।
3. ক্লোরোসিস কাকে বলে? কোন কোন মৌলের অভাবে ক্লোরোসিস পরিলক্ষিত হয়?
4. কোন মৌলের অভাবে IAA সংশ্লেষ ব্যবহৃত হয়? উক্ত মৌলের উদ্ভিদবৃদ্ধি ও বিপাকে ভূমিকা আলোচনা করুন।
5. Mobile ও Immobile মৌল কাদের বলে? এদের অভাবজনিত লক্ষণ উদ্ভিদের কোন অংশে সর্বপ্রথম পরিলক্ষিত হয়?

13.8 উত্তরমালা ঃ

1. 13.3 দেখুন।
2. 13.2 দেখুন।
3. 13.4 ও 13.5 দেখুন।
4. Zn (দস্তা), 13.5 দেখুন।
5. 13.4 ও 13.5 দেখুন।

একক - 14 : উৎসেচক (Enzyme)

গঠন

14.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য
14.2 সংজ্ঞা
14.3 নামকরণ
    14.3.1 শ্রেণিবিন্যাস
14.4 ধর্ম
14.5 গঠন
14.6 উৎসেচকের কার্যকারিতার মডেল
14.7 উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি
14.8 উৎসেচকের গতিবিদ্যার সূত্র
14.9 উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রক
14.10 অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক
14.11 বাধাদানকারী পদার্থসমূহ
14.12 সারাংশ
14.13 প্রশ্নাবলি
14.14 উত্তরমালা

14.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য ঃ—

জীবদেহ বস্তুতপক্ষে প্রতিনিয়ত ঘটতে থাকা অজস্র রাসায়নিক বিক্রিয়ার সমন্বয় মাত্র। আর প্রতিটি জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়া কোন না কোন জৈব অনুঘটকের উপস্থিতিতে সম্পন্ন হয়। বিক্রিয়াগুলিতে অপরিবর্তনীয় থেকেও বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করাই উৎসেচকের কাজ। এই কারণে উৎসেচককে বলে জৈব অনুঘটক। উৎসেচক মাত্রেই প্রোটিন। সুমনার ও মিরব্যাক (Sumner and Myrback, 1950) উৎসেচককে সংজ্ঞায়িত করেছেন এভাবে— উৎসেচক হল সরল বা সংযুক্ত প্রোটিন যা জৈব অনুঘটক রূপে কাজ করে। কিন্তু আধুনিক কালে RNA অণুরও অনুঘটকের মত ভূমিকা দেখা গেছে। রাইবোজাইম কথাটির সৃষ্টি হয়েছে এভাবে। আমাদের আলোচনায় কিন্তু আমরা সনাতন প্রোটিনধর্মী উৎসেচকের বিষয়ে সীমাবদ্ধ থাকবো। এই অধ্যায়টি থেকে আপনি জানতে পারবেন ঃ

- উৎসেচকের ধর্ম, নামকরণের রীতি এবং শ্রেণিবিন্যাস কি রকম?
- উৎসেচক ও সাবসট্রেট-এর মধ্যে সম্পর্ক কী?
- উৎসেচকের গতিবিদ্যার মুখ্য বিষয়গুলি কী কী?
- উৎসেচকের কার্য নিয়ন্ত্রণকারী শর্তগুলি কী?
- সহ উৎসেচক ও অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক কী?
- উৎসেচকের কাজে বাধাদানকারী উপাদান কী?

14.2 সংজ্ঞা ঃ

উৎসেচকের সংজ্ঞা নির্ধারণের আগে এর নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলিকে জেনে নেওয়া দরকার ঃ

i) উৎসেচক জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করে বটে কিন্তু বিক্রিয়ার শেষে অপরিবর্তিত থাকে।

ii) অসহযোগী জৈব পরিমণ্ডলে অর্থাৎ 100°C তাপমাত্রার উপরে এবং অতিরিক্ত আম্লিক অথবা অতিরিক্ত ক্ষারীয় pH এ উৎসেচক কাজ করে না।

iii) উৎসেচক প্রোটিন ধর্মী।

iv) উৎসেচকের কার্যকারিতা সুনির্দিষ্ট অর্থাৎ একটি নির্দিষ্ট উৎসেচক একটি নির্দিষ্ট সাবসট্রেটের উপরই কাজ করে। এই সমস্ত বিষয়কে আলোচনায় আনলে উৎসেচকের আদর্শ সংজ্ঞা এইরকম হওয়া উচিৎঃ

উৎসেচক হল প্রোটিনধর্মী অণু যা অনুকূল কোষীয় পরিবেশে সুনির্দিষ্ট সাবসট্রেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে বিক্রিয়াটিকে ত্বরান্বিত করে কিন্তু বিক্রিয়ার শেষে নিজে অপরিবর্তিত থাকে।

প্রশ্ন হল উৎসেচককে যথার্থ রাসায়নিক অনুঘটক বলা যায় কি? উত্তরটি হল না। সাধারণ অনুঘটকের সঙ্গে উৎসেচকের পার্থক্যটি অনেক। রাসায়নিক অনুঘটক মাত্রেই সজীব কোষ থেকে পাওয়া যায় না। অজৈব অনুঘটক অজৈব বা অকোষীয় সূত্র থেকেই পাওয়া যায়। সাধারণ রাসায়নিক অনুঘটক মানেই প্রোটিনধর্মী নয়। এরা কোষের পক্ষে প্রতিকূল তাপমাত্রায় বা pH-এ কার্যকরী থাকতে পারে। সাধারণ রাসায়নিক অনুঘটকের উৎসেচকের মত সুনির্দিষ্টতা নেই। আর রাসায়নিক অনুঘটক মাত্রেই বিক্রিয়ার পরে পুনর্ব্যবহারযোগ্য। বহু উৎসেচক সম্পর্কে সে কথা বলা যায় না। এই কারণে উৎসেচকের ধর্মগুলি অনুঘটকের মত হলেও তাকে রাসায়নিক অনুঘটক (Chemical catalyst) বলা যায় না।

14.3 নামকরণ ঃ

উৎসেচকের নামকরণের সর্বজনীন রীতি মেনে এদের নামকরণ হয়ে থাকে। রীতিগুলি মুখ্যত হল ঃ

i) উৎসেচককে তার সাবসট্রেটের নামের সঙ্গে -ase শব্দবন্ধ দিয়ে নামায়িত করা হয়। যেমন প্রোটিন ভঙ্গাক উৎসেচককে বলে প্রোটিয়েজ।

ii) আন্তর্জাতিক জৈব রাসায়নিক সঙ্ঘ (International Union of Biochemistry, IUB) নির্ধারিত Enzyme Commission (EC) নাম্বার দ্বারাও উৎসেচকগুলিকে চিহ্নিত করা যায়। যেমন ট্রিপসিন হল EC 3.4. 21.4 এখানে প্রতিটি সংখ্যার একটি কার্যকারিতা নির্ধারক অর্থ আছে। 3 = আর্দ্রবিশ্লেষক (হাউড্রোলেজ), 4 = প্রোটিনভঙ্গাক (প্রোটিয়েজ), 21 = এটি সেরিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের উপর ক্রিয়াশীল। শেষ 4 দ্বারা বোঝানো হয় যে এই জাতীয় উৎসেচকগুলির মধ্যে ট্রিপসিনের ক্রমিক সংখ্যা 4।

14.3.1 শ্রেণিবিন্যাস ঃ

এনজাইম কমিশন নির্ধারিত নিয়মে উৎসেচকগুলির মোট 6টি শ্রেণিবিভাগ ঃ নীচের সারণিতে এই শ্রেণিবিন্যাসটি দেখানো হল ঃ

সারণি ঃ 13.1 উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস

শ্রেণী	নাম	অনুঘটিত বিক্রিয়ার প্রকৃতি	উদাহরণ ঃ
1.	অক্সিডোরিডাকটেজ (Oxidoreductase)	জারণ-বিজারণ বিক্রিয়া	ডিহাইড্রোজিনেজ
2.	ট্রান্সফারেজ (Transferase)	মূলক (গ্রুপ) স্থানান্তরণ	কাইনেজ, মিথাইল ট্রান্সফারেজ
3.	হাইড্রোলেজ (Hydrolase)	আর্দ্রবিশ্লেষণ	ফসফাটেজ
4.	লায়েজ (Lyase)	দ্বিবন্ধনী (double bond) ছিন্ন করা অথবা স্থাপন করা	ডিকার্বক্সিলেজ
5.	আইসোমারেজ (Isomerase)	আইসোমেরাইজেশন বিক্রিয়া	আইসোমারেজ, মিউটেজ
6.	লাইগেজ (Ligase)	ATP এর পাইরোফসফেট বন্ধনীকে ছিন্ন করে দুটি ভিন্ন ভিন্ন অণুকে সংযোজিত করে।	DNA লাইগেজ

14.4 উৎসেচকের ধর্ম ঃ

উৎসেচকের নিম্নলিখিত ধর্মগুলি প্রণিধানযোগ্য ঃ

i) **কলয়েড ধর্মিতা ঃ** উৎসেচকগুলি কলয়েডধর্মী হবার ফলে কার্যকরী তল আয়তন বৃদ্ধি পায়।

ii) **তাপসংবেদিতা ঃ** বেশিরভাগ উৎসেচকই তাপসংবেদী এবং কয়েকটি ব্যতিক্রম ছাড়া অন্য সব ক্ষেত্রে তাপমাত্রা 45°C এর উপর হলে নিষ্ক্রিয় হয়ে পড়ে।

iii) **pH - সংবেদিতা ঃ** বেশির ভাগ উৎসেচক কোষের পক্ষে অনুকূল pH-এ কার্য্যশীল। বেশির ভাগ কোষের পরিবেশের pH যাই হোক না কেন— অন্তর্পরিবেশ প্রশম বা তার কাছাকাছি হয়।

iv) **সাবসট্রেট নির্দিষ্টতা ঃ** উৎসেচকের কার্যকারিতা কখনই বস্তু নিরপেক্ষ নয়। সাবসট্রেটের সুনির্দিষ্টতাই সুনির্দিষ্ট উৎসেচককে কার্যকরী করে।

14.5 উৎসেচকের গঠন ঃ

উৎসেচকের গঠনে তিনটি অংশ উল্লেখযোগ্য।

i) **অ্যাপোএনজাইম ঃ** এটি হল উৎসেচকের প্রোটিন অংশ। এই অংশ যদি একটি মাত্র পেপটাইড দ্বারা গঠিত হয় তখন তাকে বলে মনোমেরিক (monomeric)। যখন একাধিক পেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত তখন বলে অলিগোমেরিক (Oligomeric)। বহু উৎসেচক আসলে উৎসেচক তন্ত্ররূপে কাজ করে এবং একাধিক পলিপেপটাইড একটি বিপাকীয় পথের সাবসট্রেট গুলির উপর পর্যায়ক্রমে কার্যকরী হয়।

$A \xrightarrow{E_1} B \xrightarrow{E_2} C \xrightarrow{E_3}$ উৎপাদিত পদার্থ। এক্ষেত্রে A, B এবং C হল কোন একটি বিপাকীয় পথের সাবসট্রেট ক্রম এবং E_1, E_2, E_3 হল উৎসেচকক্রম। এমন উৎসেচকতন্ত্রকে বলে **মালটিএনজাইম কমপ্লেক্স** (Multienzyme complex)।

ii) **কার্যকরী কেন্দ্র (Active Centre) ঃ** উৎসেচকের যে অংশ সরাসরি সাবসট্রেটের সঙ্গে বিক্রিয়ায় যুক্ত হয় তাকে বলে কার্যকরী কেন্দ্র। এই কেন্দ্র অত্যন্ত সুনির্দিষ্ট এবং সুনির্দিষ্ট সাবসট্রেটের সঙ্গেই কেবলমাত্র বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে। বস্তুতঃপক্ষে পলিপেপটাইডের প্রগৌণ গঠন এই সংযোগসাধনের উপযোগী হলেই বিক্রিয়া সম্পন্ন হয়।

iii) **সহযোগী উপাদান (Co-factors) ঃ** উৎসেচকের অপ্রোটিন অংশ যা উৎসেচকের কার্যকারিতার পক্ষে ক্রিয়াশীল তাকে বলে কো-ফ্যাক্টর।

তিন ধরনের কো-ফ্যাক্টর দেখা যায় ঃ

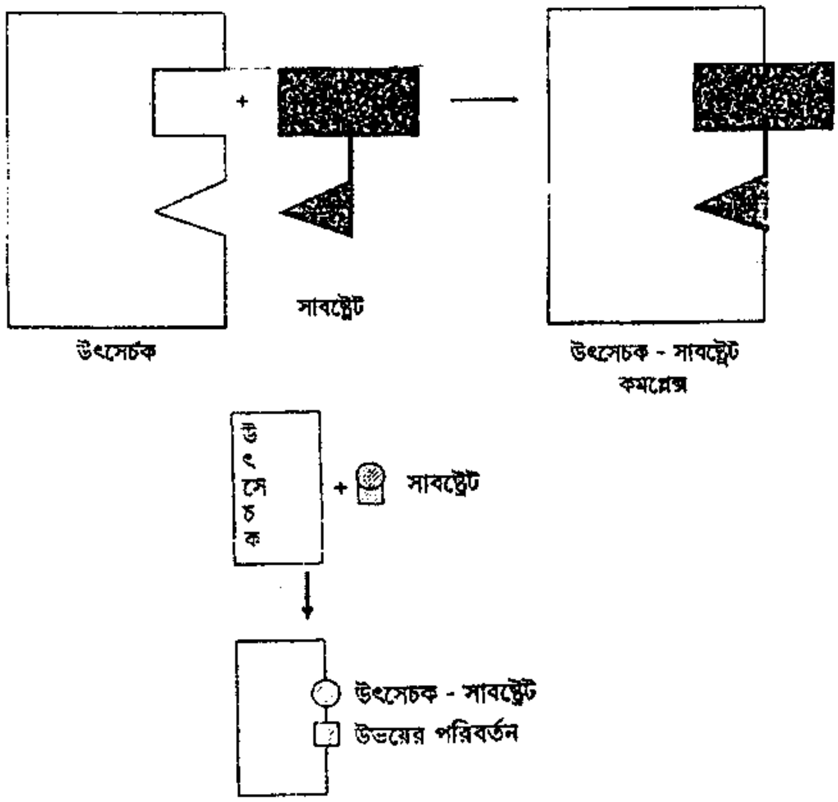
- **কো-এনজাইম বা সহ-উৎসেচক ঃ** জৈব উপাদান। অধিকাংশ ক্ষেত্রেই এগুলি ভিটামিন বা ভিটামিনজাত উপাদান যথা ঃ NAD^+। এটি ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের কো-এনজাইম।

- **ধাতব আয়ন ঃ** ধাতব আয়ন যেমন Zn^{++}, Mn^{++} ইত্যাদি অনেক উৎসেচকের সহ-উপাদান, যেমন, নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকের উপাদান হল Fe^{2+}
- **প্রসথেটিক গ্রুপ ঃ** এটি হল উৎসেচকের অজৈব উপাদান। এগুলিও মুখ্যত ধাতব উপাদান।

উৎসেচক যখন অ্যাপোএনজাইম ও কো-ফ্যাক্টর সমন্বয়ে গঠিত হয় তখন তাকে বলে **হলোএনজাইম**।
হলোএনজাইম = অ্যাপোএনজাইম + কো-এনজাইম।

14.6 উৎসেচক-এর কার্যকারিতার মডেল ঃ

i) উৎসেচক ও সাবসট্রেটের মধ্যে সম্পর্কের সুনির্দিষ্টতাকে মাথায় রেখে এমিল ফিশার (Fischer, 1894) উৎসেচকের কার্যপদ্ধতিকে তালা ও চাবির সাথে তুলনা করেন। সুনির্দিষ্ট চাবি যেমন সুনির্দিষ্ট তালাকে খোলে তেমনই সুনির্দিষ্ট সাবসট্রেটই সুনির্দিষ্ট উৎসেচক দ্বারা বিয়োজিত হতে পারে। একে অন্যের এই পরিপূরকতাকে এই মডেলে গুরুত্ব দেওয়া হয়েছে।



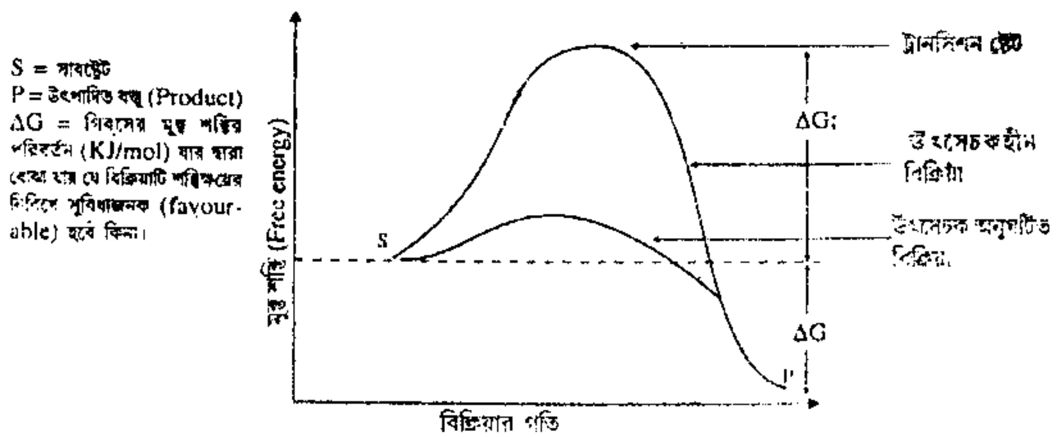
চিত্র ঃ 13.1 (ক) লক এণ্ড কী মডেল (খ) ইনডিউস্ড ফিট মডেল

ii) 1958 খৃষ্টাব্দে ড্যানিয়েল কশল্যান্ড (Koshland) যে মডেল প্রস্তাবিত করেন তাতে অনুমান করা হয়েছে যে সাবসট্রেটের প্রভাবে উৎসেচকের কার্যকরী অংশের একটি গঠনগত পরিবর্তন হয় (Conformational change)। আবার উল্টোটাও হওয়া সম্ভব, অর্থাৎ, উৎসেচকের প্রভাবে সাবসট্রেটেরও গঠনগত পরিবর্তন আসে। এই মডেলকে **প্রণোদিত-সংযোগ** বা **ইনডিউসড্ ফিট** মডেল বলা হয়।

14.7 উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি ঃ

অ্যারেহনিয়াস (Arrhenius) সর্বপ্রথম দেখান যে একটি অণুসমষ্টির মধ্যে সমস্ত অণুরই সমান গতিশক্তি থাকে না। একটি কলয়েডীয় দ্রবণে যে সমস্ত অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে প্রতিনিয়ত সংঘর্ষে রত সেগুলি উচ্চতর শক্তির আধার এবং অন্যগুলি অপেক্ষাকৃত কম গতিশক্তি ধারণ করে। একটি সাধারণ রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে স্বাভাবিক তাপমাত্রায় কেবলমাত্র সেই সমস্ত অণুগুলি অংশগ্রহণ করতে পারে যেগুলি উচ্চতর শক্তির আধার। নিম্নশক্তির অণুগুলি ন্যূনতম শক্তির বাধা (energy barrier) অতিক্রম করতে পারে না বলে সামগ্রিকভাবে বিক্রিয়া হার কম থাকে। এই ন্যূনতম শক্তির বাধা যত উঁচু হয় ততই অণুগুলির অপরিবর্তিত থাকার সম্ভবনা বাড়ে। এই অণুগুলিকে সক্রিয় অবস্থায় আনতে যে শক্তি প্রয়োজন তাকে বলে **সক্রিয়করণ শক্তি** (Energy of Activation)।

একটু অন্যভাবে বিষয়টিকে দেখা যেতে পারে। যে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কগুলিকে ন্যূনতম শক্তির বাধা অতিক্রম করতে হয়। তার আগে বিক্রিয়কটির যে দশা তাকে বলে মধ্যবর্তী দশা বা ট্রানজিশন দশা (Transition State)। এই দশায় বিক্রিয়কের যে শক্তি তাই হল সেই বিক্রিয়ক অণুর সর্বোচ্চ মুক্ত শক্তি (highest free energy), এই অবস্থাই হল বিক্রিয়কের চূড়ান্ত নিষ্ক্রিয় অবস্থা। এই অবস্থা থেকে ন্যূনতম শক্তি বাধা অতিক্রম করলেই বিক্রিয়ক বিক্রিয়ায় অংশ নিতে পারে। চূড়ান্ত নিষ্ক্রিয় দশা ও ন্যূনতম সক্রিয় দশার মধ্যে মুক্ত শক্তির যে পার্থক্য তাকে বলে **গিবসের সক্রিয়করণ মুক্ত শক্তি** (Gibb's Free Eenrgy of Activation)। একে ΔG^{+} দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।



চিত্র ঃ 13.2 উৎসেচক দ্বারা গিবসের মুক্ত শক্তি পরিবর্তনের হার হ্রাস

উৎসেচকের কাজ হল যতদূর সম্ভব ΔG^{+} এর মান কমিয়ে দিয়ে ট্রানজিশন স্তরের বিক্রিয়ক অণুগুলিকে সক্রিয় করে তোলা, উপরের লেখচিত্রে দেখানো হয়েছে একটি উৎসেচক বিহীন বিক্রিয়ার তুলনায় একটি উৎসেচক অণুঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়ায় কত কম সক্রিয়করণ শক্তি খরচ করেই বিক্রিয়াটি চালানো যায়।

14.8 উৎসেচকের গতিবিদ্যার সূত্র ঃ

উৎসেচক দ্বারা অণুঘটিত কোন বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি (V_{max}) নিরূপণ করার জন্য একটি ধ্রুবক ব্যবহার করা হয়। একে বলে মাইকেলিস - মেনটেন ধ্রুবক (K_m)

$$K_m = \frac{K_{-1} + K_2}{K_1}$$

এখানে K হল সাম্যাবস্থার ধ্রুবক। যদি কোন উৎসেচক দ্বারা অনুঘটিত বিক্রিয়ার কথা ভাবা যায় তাহলে উৎসেচক এবং সাবস্ট্রেটের মধ্যে বিক্রিয়ার ক্রমটি নিম্নরূপ

$$E + S \underset{K_{-1}}{\overset{K_1}{\rightleftharpoons}} ES \xrightarrow{K_2} P + E$$

[E = এনজাইম, S = সাবসট্রেট, ES = এনজাইম-সাবসট্রেট মিশ্রণ, P = প্রোডাকট (Product), E = বিক্রিয়ামুক্ত এনজাইম]

বিক্রিয়াটির প্রথম ধাপ উভমুখী এবং K_1 ও K_{-1} দ্বারা এই দুটি অভিমুখের বিক্রিয়ার গতির ধ্রুবককে চিহ্নিত করা যায়। বিক্রিয়ার দ্বিতীয় ধাপে উৎসেচক-সাবসট্রেট মিশ্রণ থেকে বিক্রিয়াজনিত পদার্থ (P) উৎপাদিত হয় এবং উৎসেচক (E) বিক্রিয়ামুক্ত হয়। বিক্রিয়ার এই ধাপের গতির ধ্রুবক হল K_2। K_m এর মান নির্ণয় করা গেলে বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি (V_{max}) নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা নির্ধারণ করা যেতে পারে।

$$V_0 = \frac{V_{max}[S]}{K_m + [S]}$$

যেখানে, V_0 = প্রাথমিক গতি। এটির মান নির্ণয়ে 10% উৎসেচক দ্বারা অনুঘটিত বিক্রিয়ার গতিকে চিহ্নিত করা হয়।

V_{max} = বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি

[S] = সাবসট্রেট ঘনত্ব

এই সমীকরণ থেকে পাওয়া যায় যে, যখন [S] = K_m তখন $V_0 = \frac{V_{max}}{2}$.

তাহলে K_m কে আমরা বলতে পারি সেই সাবসট্রেট ঘনত্ব যখন অনুঘটিত বিক্রিয়ার গতি হল সর্বোচ্চ গতির অর্ধেক।

K_m পরীক্ষাগারে প্রণিধানযোগ্য, তাই উৎসেচকের গতিবিদ্যা প্রকাশে K_m এর হার নির্ণয় সুবিধাজনক।

14.9 উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রক ঃ

নিম্নলিখিত শর্তাবলী অণুঘটিত বিক্রিয়ার গতিকে প্রভাবিত করতে পারে ঃ

i) **উৎসেচক ঘনত্ব ঃ** উৎসেচকের ঘনত্ব বৃদ্ধির হারের সঙ্গে বিক্রিয়ার গতির হার সমানুপাতিক।

ii) **সাবসট্রেট ঘনত্ব ঃ** একটি বিশেষ মাত্রা পর্যন্ত উভয়ের সম্পর্ক সমানুপাতিক। যখন উৎসেচক সাবসট্রেট দ্বারা সম্পূর্ণভাবে সম্পৃক্ত, তখন, বিক্রিয়ার গতি স্থির থাকে তা যতই সাবসট্রেট ঘনত্ব বাড়ানো হোক না কেন।

iii) **তাপমাত্রা ঃ** অনুকূলতম তাপমাত্রায় পৌঁছানোর আগে প্রতি $10^{\circ}C$ তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে বিক্রিয়ার গতি প্রায় দ্বিগুণ হয়ে যায়। অনুকূলতম তাপমাত্রায় (Optimum temperature) পৌঁছানোর পর প্রোটিনের কার্যকারিতা হ্রাস পায়। তাপমাত্রার বৃদ্ধির সঙ্গে সঙ্গে বিক্রিয়ার গতির রেখচিত্র একটি ঘন্টা বা Bell আকৃতি ধারণ করে।

iv) **pH :** অনুকূলতম pH এর নীচে বা উপরে বিক্রিয়ার গতি হ্রাস পায় এবং রেখচিত্রটি পূর্বের মতই একটি ঘন্টা আকৃতি ধারণ করে। অনুকূলতম pH অবশ্য উৎসেচকবিশেষে ভিন্ন ভিন্ন। যেমন— পেপসিন pH = 2·0 এ কার্যকরী আবার অ্যামাইলেজ pH = 7·0 এ কার্যকরী।

v) **ধাতব পদার্থ ঃ** বিভিন্ন উৎসেচক ধাতব মূলকের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উৎসেচককে সক্রিয় করে তোলে। এই সমস্ত উৎসেচককে মৌল এনজাইম বলে। উদাহরণ মলিবডেনাম (Mo) ডাই-নাইট্রোজেনেজ রিডাকটেজকে সক্রিয় করে তোলে। আবার ভারী ধাতু যেমন Pb, Cu, Pt ইত্যাদি উৎসেচকের বিক্রিয়ার গতি হ্রাস করে।

vi) **বিক্রিয়াজাত পদার্থ ঃ** বিক্রিয়াজাত পদার্থ যত বৃদ্ধি পাবে ততই বিক্রিয়ার হার কমে যাবে। এই ঘটনাকে প্রোডাক্ট ইনহিবিশন বলে।

vii) **জৈব বিক্রিয়ক ঃ** হরমোন ভিটামিন ইত্যাদি উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ার হারকে নিয়ন্ত্রণ করে। যেমন জিব্বারেলিন উৎসেচকের প্রভাবে উদ্ভিদে উৎসেচকের সক্রিয়তা বৃদ্ধি পায়।

viii) **প্রদূষক ঃ** সায়ানাইড, ফ্লুওরাইড ইত্যাদি প্রোটিনের পক্ষে ক্ষতিকারক। উৎসেচকের উপর এদের প্রভাব এই একই নিয়মে হানিকারক।

14.10 অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক ঃ

উৎসেচকের সক্রিয় অংশে সরাসরি সাবস্‌ট্রেটের সংযোগ ঘটলে সাধারণভাবে উৎসেচকটি অনুঘটক হিসাবে কাজ করতে পারে। জ্যাকব ও মোনাড পরীক্ষামূলকভাবে দেখান যে কখনও কখনও সাবসট্রেট ব্যতীত

অন্য পদার্থও উৎসেচকের ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করতে পারে। সেক্ষেত্রে ঐ অন্য পদার্থটিকে বলে **মডুলেটর** (modulator)। মডুলেটর তো সক্রিয় অংশ (active site) দখল করতে পারে না কিন্তু উৎসেচকের অন্য কোন অংশ অধিকার করে বসে। এই অংশ যেটির সঙ্গে মডুলেটরের সংযোগ ঘটে তাকে বলে **অ্যালোস্টেরিক স্থান**। যে সমস্ত উৎসেচকের এই ধরনের অ্যালেস্টেরিক স্থান থাকে এবং যেগুলি মডুলেটর দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হবার প্রবণতা দেখায় তাদের বলে অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক। মডুলেটরের ক্রিয়া সদর্থক অথবা নঞর্থক হতে পারে। যারা বিক্রিয়ার ক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে তাদের বলে **পজিটিভ মডুলেটর** (Positive modulator) উদাঃ অ্যাসপারটেট কার্বামোইল ট্রান্সফারেজ (AT Case) নামক উৎসেচক এর সক্রিয় অংশ ব্যতীত 6টি অ্যালোস্টেরিক স্থান আছে। এদের মডুলেটর হল ATP। এই মডুলেটর উপস্থিতিতে উৎসেচকটি সফলভাবে পিরিমিডিন সংশ্লেষ করে।

যে সমস্ত মডুলেটরের উপস্থিতিতে বিক্রিয়ার আংশিক বা সম্পূর্ণ অবদমন হয় তাদের বলে **নেগেটিভ মডুলেটর**। যেমন ঃ উপরোক্ত উৎসেচকের ক্রিয়া CTP এর উপস্থিতিতে হ্রাসপ্রাপ্ত হয়।

● **ফীড ব্যাক ইনহিবিশন (Feedback Inhibition) :** অ্যালোস্টেরিক উৎসেচকগুলির নেগেটিভ মডুলেটর অনেক সময় ঐ উৎসেচক তন্ত্র দ্বারা উৎপাদিত অন্তিম পদার্থ। যেমন থ্রিওনিন থেকে আইসোলিউসিন নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপাদনের পথটি নিম্নরূপ ঃ

L - থ্রিওনিন

↓ থ্রিওনিন ডিহাইড্রেজ

α কিটোবিউটাইরেট

↓ অ্যাসিটোল্যাকটেট সিনথেজ

α অ্যাসিটো −α - হাইড্রক্সিবিউটাইরেট

↓ কিটোঅ্যাসিড রিডাকটোআইসোমারেজ

α, β - ডাইহাইড্রক্সিমিথাইল ভ্যালেরেট

↓ ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিড ডিহাইড্রেজ

α কিটো −β মিথাইল ভ্যালেরেট

↓ ট্রান্সঅ্যামিনেজ

L - আইসোলিউসিন

এক্ষেত্রে অন্তিম পদার্থ L - আইসোলিউসিন বিক্রিয়াপথের প্রথম উৎসেচকের বিক্রিয়াটিকে বাধা দান করে সমগ্র বিক্রিয়াপথটিকেই বন্ধ করে দেয়। এ ঘটনা ঘটে যখন কোষে পর্যাপ্ত পরিমাণ আইসোলিউসিন সঞ্চিত হয়ে গেছে তখন। সুতরাং দেখা যাচ্ছে ফিডব্যাক ইনহিবিশন বা ফিডব্যাক বাধাদান হল অপচয় রোধকারী এক প্রকার নঞর্থক অ্যালোস্টেরিক বিক্রিয়া।

14.11 উৎসেচকের বাধাদানকারী পদার্থসমূহ ঃ

উৎসেচকের বাধাদানকারী পদার্থগুলিকে নিম্নলিখিত কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায় ঃ

ইনহিবিটর (Inhibitor)

- অপরিবর্তনীয় (Irreversible)
- পরিবর্তনীয় (Reversible)
  - প্রতিদ্বন্দ্বিতা মূলক (Competitive)
  - অপ্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক (Non-Competitive)
  - নি-প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক (Uncompetitive)

i) **প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক ঃ** এক্ষেত্রে ইনহিবিটর গঠনগতভাবে সাবসট্রেটের সঙ্গে সাযুজ্য সম্পন্ন। সেটি সাবসট্রেটের সঙ্গে প্রতিদ্বন্দ্বিতা করে উৎসেচকের সক্রিয় অংশ অধিকার করে বসলে উৎসেচকের ক্রিয়া বাধাপ্রাপ্ত হয়। উদাহরণ— সাকসিনেট ডিহাইড্রোজিনেজ সাকসিনিক অ্যাসিড ছাড়াও ম্যালোনেটকে সাবসট্রেট বলে ভুল করে কেননা উভয়ই গঠনগত ভাবে প্রায় অনুরূপ।

ii) **অপ্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক ঃ** এই ইনহিবিটরগুলির সাবসট্রেটের সঙ্গে গঠনগত কোন সাজুয্য নেই। কিন্তু বিশেষ ইনহিবিটর বিশেষ উৎসেচককে অক্ষম করে দেয়। উদাহরণ— ঈস্টের অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক ইথানলের (C_2H_5OH) উপস্থিতিতে পরিবর্তনীয় ভাবে বাধাপ্রাপ্ত হয়।

iii) **নি-প্রতিদ্বন্দ্বিতামূলক ঃ** এরা একক উৎসেচকের সঙ্গে যুক্ত না হয়ে উৎসেচক— সাবসট্রেট [ES] কমপ্লেক্সের সঙ্গে যুক্ত হয়। ফলে প্রোডাক্ট (P) উৎপাদিত হতে পারে না।

$[E]+[S] \rightleftharpoons [ES] \rightleftharpoons [E]+[P]$ স্বাভাবিক বিক্রিয়াপথ

+

[I] বাধাদানকারী পদার্থ

↓

[EIS] বাধাপ্রাপ্ত বিক্রিয়া পথ।

iv) **অপরিবর্তনীয় ইনহিবিটর ঃ** যে সমস্ত বাধাদানকারী পদার্থ উৎসেচকের সঙ্গে সমযোজী বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হয় তারা উৎসেচকের সক্রিয় অংশকে স্থায়ীভাবে বদলে দিতে পারে এবং এই পরিবর্তন কোনভাবেই

বদলে ফেলা যায় না। প্রায় প্রতিটি অপরিবর্তনীয় ইনহিবিটর হল বিষাক্ত পদার্থ। উদাহরণ— সায়ানাইড। এরা উৎসেচকের কো ফ্যাক্টর (যেমন ধাতব আয়ন Fe, Zn ইত্যাদি)-এর সঙ্গে বিক্রিয়া করে। এটি ভয়ঙ্কর বিষাক্ত যৌগ মূলক এবং শ্বসনপথের উৎসেচকগুলিকে অকেজো করে দেয়।

14.12 সারাংশ ঃ

উৎসেচক হল একটি জৈব অনুঘটক। বিক্রিয়ার পরে অপরিবর্তিত থেকেও উৎসেচক বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করতে পারে। উৎসেচক যে জৈব পদার্থের উপর বিক্রিয়া করে তাকে বলে সাবসট্রেট। উৎসেচকের নামকরণ আন্তর্জাতিক নিয়ম মেনে হয়ে থাকে এবং সাবসট্রেটের সঙ্গে - ase শব্দবন্ধ জুড়ে এই নামকরণ হয়। উৎসেচকের 6টি শ্রেণিবিভাগ আছে এবং শ্রেণিগুলি সুনির্দিষ্ট অনুঘটিত বিক্রিয়ার ধরনের উপর নির্ভরশীল। উৎসেচকের প্রোটিন অংশকে বলে অ্যাপোএনজাইম এবং সহযোগী উপাদানকে বলে কো-ফ্যাক্টর। উৎসেচকের কার্যকারিতা ব্যাখ্যায় দুটি মডেল বর্তমান, এরা হল, যথাক্রমে তালা-চাবি মডেল ও প্রণোদিত সংযোগ মডেল। বিক্রিয়া কার্যকরী হতে গেলে বিক্রিয়ককে নিষ্ক্রিয় অবস্থা থেকে শক্তির সাহায্যে সক্রিয় অবস্থায় উপনীত হতে হয়। উৎসেচক বিক্রিয়কের সক্রিয়করণ শক্তির প্রয়োজনীয়তা অনেক কমিয়ে দেয়। উৎসেচকের গতিবিদ্যা থেকে উৎসেচকের বিক্রিয়া হার নির্ণয় করার জন্য K_m নামক ধ্রুবকের মান নির্ণয় দরকার। Km হল সেই সাবসট্রেট ঘনত্ব যাতে বিক্রিয়ার গতি সর্বোচ্চ গতির অর্ধেক। তাপমাত্রা, pH, উষ্ণতা ইত্যাদি উৎসেচকের বিক্রিয়াকে প্রভাবিত করে। অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক হল তেমন উৎসেচক যা সাবসট্রেট ছাড়া অন্য পদার্থ দ্বারাও প্রভাবিত হয়। কিছু পদার্থ পরিবর্তনীয় বা অপরিবর্তনীয়ভাবে উৎসেচকের ক্রিয়াকে বাধা দিতে পারে।

14.13 অন্তিম প্রশ্নাবলি ঃ

1. **নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৩

   i) উৎসেচকের নামকরণের রীতিগুলি বলুন।

   ii) একটি ছকের সাহায্যে উৎসেচকের শ্রেণিবিভাগ করুন।

   iii) অ্যাপোএনজাইম কাকে বলে?

   iv) প্রসথেটিক গ্রুপ কী? একটি উদাহরণ দিন।

   v) K_m ও সাবসট্রেট ঘনত্বের মধ্যে সম্পর্ক কী?

   vi) অ্যালোস্টেরিক উৎসেচকের সংজ্ঞা ও উদাহরণ দিন।

   vii) ফীড-ব্যাক ইনহিবিশন কাকে বলে?

2. **নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন ঃ** উত্তরমান—৬

   i) উৎসেচকের একটি শ্রেণিবিন্যাস করুন এবং প্রতিটি শ্রেণির মুখ্য বৈশিষ্ট্য ও উদাহরণ দিন।

ii) উৎসেচক ও রাসায়নিক অনুঘটক কি একই বস্তু? উৎসেচকের ধর্মগুলি সংক্ষেপে লিখুন।

iii) উৎসেচকের কার্যকারিতার "লক এণ্ড কী" মডেলটি ব্যাখ্যা করুন।

iv) উৎসেচকের কার্যকারিতার 'ইনডিউসড় ফিট' মডেলটি ব্যাখ্যা করুন।

v) সক্রিয়করণ শক্তি কাকে বলে? উৎসেচক রাসায়নিক বিক্রিয়ার সক্রিয়করণ শক্তিকে কীরূপে প্রভাবিত করতে পারে তা লিখুন।

vi) উৎসেচকের কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রণকারী বিষয়গুলি সম্পর্কে সংক্ষেপে লিখুন।

vii) অ্যালোস্টেরিক উৎসেচকের সংজ্ঞা, প্রকৃতি ও কার্যপদ্ধতি সম্পর্কে লিখুন।

viii) ফীড ব্যাক ইনহিবিশন কি তা একটি উদাহরণ সহ বুঝিয়ে বলুন।

ix) উৎসেচকের পরিবর্তনীয় ইনহিবিটরগুলি সম্পর্কে উদাহরণ সহ লিখুন।

3. উৎসেচক কী? উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যার মডেলগুলি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন। উৎসেচকের ইনহিবিটরগুলির একটি শ্রেণিবিন্যাস করুন ও উদাহরণ দিন।

4. উৎসেচকের ধর্মগুলি কী কী? উৎসেচকের দ্বারা অনুঘটিত রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতি নির্ণয়ের সূত্রটি কী? K_m এর আদর্শ মান কী? উৎসেচকের বিক্রিয়ায় প্রভাবকগুলি সম্পর্কে আলোচনা করুন।

14.14 উত্তরমালা ঃ

1. i) 14.3 অংশাঙ্কিত আলোচনা

ii) 14.4 অংশ

iii) 14.5 অংশ

iv) 14.5 অংশ

v) K_m হল সেই সাবসট্রেট ঘনত্ব যখন অনুঘটিত বিক্রিয়ার গতি সর্বোচ্চ গতির অর্ধেক। কেননা,

$V_0 = \frac{V_{max}}{2}$ যখন $[S] = K_m$।

vi) 14.9 অংশ

vii) ঐ

2. i) 14.4 অংশ দেখুন

ii) 14.2 অংশ

iii) 14.5 অংশ

iv) ঐ

v) 14.6 অংশ

vi) 14.8 অংশ

vii) 14.9 অংশ

viii) ঐ

ix) 14.10 অংশ

3. উৎসেচকের সংজ্ঞা দিন। দুটি মডেল আলোচনা করুন। 14.10 অংশে আলোচিত ইনহিবিটরগুলি উদাহরণসহ আলোচনা করুন।

4. ধর্মগুলি 14.4 অংশে আলোচিত। K_m ও V_{max} নির্ণয়ের সমীকরণ বলুন ও বুঝিয়ে দিন। K_m এর মান সাবসট্রেট ঘনত্বের পরিপ্রেক্ষিতে লিখুন। 14.8 অংশে আলোচিত প্রভাবকগুলির কথা লিখুন।

একক - 15 : সালোকসংশ্লেষ

15.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

15.2 সালোকসংশ্লেষ সম্বন্ধে প্রারম্ভিক ধারণা

- **15.2.1** সালোকসংশ্লেষের স্থান
- **15.2.2** সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ
- **15.2.3** সালোকসংশ্লেষে আলোকের ভূমিকা ও শক্তির সম্পর্ক

15.3 সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি

- **15.3.1** সালোকসংশ্লেষের দুটি ভিন্নদশার উপস্থিতি
- **15.3.2** আলোক দশা
- **15.3.3** দ্বিরঞ্জকতন্ত্র
- **15.3.4** ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ও NADP বিজারণ
- **15.3.5** ফটোফসফোরাইলেশন
  - **15.3.5.1** অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন
  - **15.3.5.2** চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন
- **15.3.6** অন্ধকার দশা, কার্বণ অনুর সংবন্ধন
- **15.3.7** হ্যাচ্ স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্র
- **15.3.8** ক্রাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক বা CAM

15.4 ব্যাকটিকিয়ায় সালোকসংশ্লেষ

15.5 সীমাস্থ প্রভাবক (Limiting Factor)

- **15.5.1** ব্ল্যাকম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্র

15.6 সারাংশ

15.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

15.8 উত্তরমালা

15.1 প্রস্তাবনা ঃ—

সবুজ উদ্ভিদেরা সূর্যালোকের উপস্থিতিতে নিজেদের খাদ্য প্রস্তুত করে থাকে। দুটি অজৈব যৌগ, বায়ু থেকে গৃহীত কার্বণ-ডাই-অক্সাইড (CO_2) এবং মাটি থেকে শোষিত জলের সাহায্যে উদ্ভিদ সরল শর্করা জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত করে এবং বায়ুমণ্ডলের অক্সিজেন গ্যাস নির্গত করে। এই প্রক্রিয়ায় সৌরশক্তি রাসায়নিক শক্তিতে রূপান্তরিত হয় ও স্থৈতিক শক্তিরূপে সঞ্চিত থাকে। এই এককে প্রথমতঃ আমরা এই বিশেষ পদ্ধতিটি উদ্ভিদের কোথায় এবং কীভাবে ঘটে সে সম্বন্ধে বিস্তারিত ভাবে আলোচনা করব। দ্বিতীয়তঃ এই প্রক্রিয়ার রঞ্জকপদার্থ সম্পর্কে জানতে পারব। কার্বন অনু সংবন্ধনের বিভিন্ন পদ্ধতি নিয়েও আমরা বিশদভাবে আলোচনা করব।

উদ্দেশ্য ঃ

- সালোকসংশ্লেষের পদ্ধতি সম্পর্কে সম্যক ধারণা দিতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষে প্রয়োজনীয় বিভিন্ন রঞ্জকের গঠন ও কার্য্য সম্পর্কে বলতে পারবেন।
- সালোসংশ্লেষে আলোকের ভূমিকা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কার্বণ অনু সংবন্ধনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি নির্ধারণ করতে পারবেন।
- C_3, C_4 এবং CAM উদ্ভিদ কাদের বলে, উদাহরণসহ বুঝিয়ে দিতে পারবেন।
- ব্যাকটিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- সালোকসংশ্লেষের সীমান্ত প্রভাবক বলতে কী বোঝায় সে সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।
- ব্ল্যাকম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্র সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

15.2 সালোকসংশ্লেষ সংক্রান্ত প্রারম্ভিক ধারণা

সপ্তদশ শতাব্দীতে ভ্যান হেলমন্ট (Van Helmont) পরীক্ষার মাধ্যমে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে উদ্ভিদেরা মাটি থেকে সরাসরি খাদ্যগ্রহণ করে না। জোসেফ প্রিস্টলে (Joseph Priestley) 1772 খ্রীস্টাব্দে পরীক্ষার দ্বারা প্রমাণ করে দেখান যে সবুজ উদ্ভিদের মাধ্যমে বায়ুমণ্ডলে অক্সিজেন ফিরে আসে। ইঞ্জেনহাউস (Ingenhouse), 1779 খ্রীস্টাব্দে প্রমাণ করেন যে বায়ুমণ্ডলের CO_2 গ্রহণ করে সবুজ উদ্ভিদ দিবালোকে অক্সিজেন উৎপাদন করে। 1905 খ্রীস্টাব্দে ব্ল্যাকম্যান (Blackman) প্রমাণ করেন সালোকসংশ্লেষ দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। 1937 খ্রীস্টাব্দে Hill সবুজ পাতা থেকে ক্লোরোপ্লাস্ট আলাদা করে প্রমাণ করেন যে সালোকসংশ্লেষে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল। কেলভিন ও তাঁর সহকর্মীরা (1950-1956) তেজস্ক্রিয় কার্বন ব্যবহার করে অঙ্গার আত্তীকরণের বিভিন্ন ধাপগুলি চিহ্নিত করেন। Arnon ও তাঁর সহযোগীরা (1954) সালোকসংশ্লেষের ইলেকট্রন স্থানান্তরিত হওয়ার সময় ATP উৎপন্ন হওয়ার পদ্ধতি অধ্যয়ন করেন।

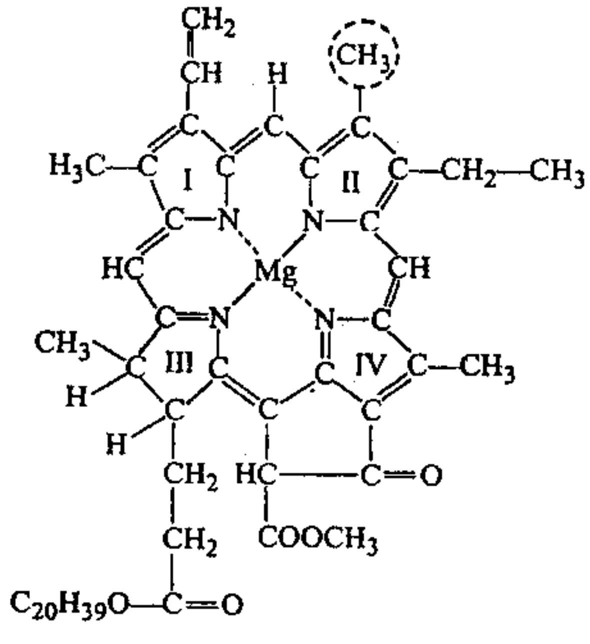
15.2.1 সালোকসংশ্লেষের স্থান ঃ

উন্নত শ্রেণীর সব উদ্ভিদ এবং নিম্নশ্রেণীর শৈবাল, ডায়াটম, ও কয়েক প্রকার ব্যাকটিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ সংঘটিত হয়। সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল (Blue Green Algae) এর ক্ষেত্রে সালোকসংশ্লেষের স্থান কোষমধ্যস্থ কতকগুলি ল্যামেলাযুক্ত পর্দা, যাকে ক্রোমাটোফোর (Chromatophore) বলা হয়। উন্নত উদ্ভিদে ক্লোরোপ্লাস্ট নামক এক বিশেষ কোষ অঙ্গাণুতে সালোকসংশ্লেষ ঘটে। ক্লোরোপ্লাস্টের ধাত্রকে স্ট্রোমা বলা হয় এবং স্ট্রোমার মধ্যে নিহিত চাকতির মত অংশকে গ্রাণা বলে। সালোকসংশ্লেষের আলোকদশার আলোক বিশ্লেষণ এবং ইলেকট্রন স্থানান্তরণ গ্রাণা অংশের অন্ধকার দশায় কার্বন অণুর সংবন্ধন এবং শর্করা প্রস্তুতি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে সংঘটিত হয়।

15.2.2 সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ (Pigments) ঃ

উদ্ভিদকোষে যে সব যৌগ আলোক শোষণ করতে পারে, তাদেরই রঞ্জক পদার্থ বলা হয়। সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদকোষে ক্লোরোপ্লাস্ট বা ক্রোমাটোফোরে সঞ্চিত রঞ্জক আলোক শোষণ করে।

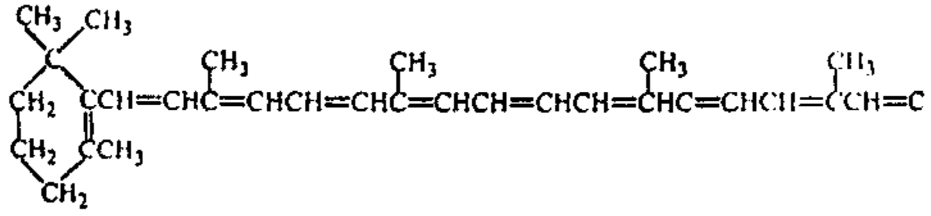
A. ক্লোরোফিল (Chlorophyll) ঃ এটি ক্লোরোপ্লাস্টে সঞ্চিত প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ।



চিত্র ঃ 15.2.2.1 : 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।

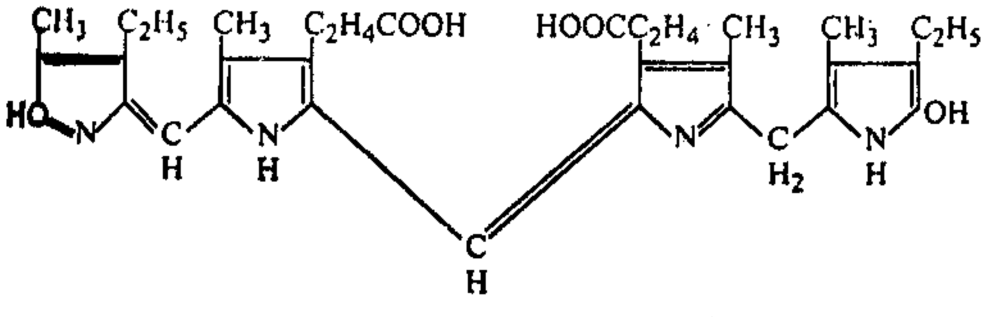
উন্নত উদ্ভিদ কোষে বিভিন্ন ধরনের ক্লোরোফিল (–a, –b, –c, –d, –e) থাকে, তবে ক্লোরোফিল a সমস্ত সবুজ উদ্ভিদেই দেখতে পাওয়া যায়। যৌগটি চারটি পাইরোল (Pyrole) বলয় দিয়ে তৈরী। অণুটির কেন্দ্রে একটি ম্যাগনেশিয়াম ধাতু (Mg) থাকে। একটি লেজের মতো ফাইটল (Phytol) অংশের উপস্থিতি বৈশিষ্ট্যপূর্ণ।

B. ক্যারোটিনয়েডস্ (Carotenoids) ঃ ক্লোরোফিল ব্যতীত লাল, কমলা, হলুদ, বাদামী জাতীয় নানা রঙের রঞ্জক পদার্থগুলিকে ক্যারোটিনয়েড বলে। ইহা মূলতঃ কমলা রঙের কারোটিন ও হলুদ রঙের জ্যান্থোফিল এর মিশ্রণে তৈরী। ইহা জলে অদ্রবণীয় কিন্তু অ্যালকোহলে দ্রবণীয় এবং টারপিনয়েড গ্রন্থের রঞ্জক পদার্থ। আলোক শোষণে গৃহীত উত্তেজিত শক্তি (excited energy) Chl –a অণুতে স্থানান্তরণ ও Chlorophyll – a কে আলোকজারণ থেকে রক্ষাই ইহার কার্য্য।



চিত্র ঃ 15.2.2.2 : একটি β -ক্যারোটিন অণুর গঠন।

C. ফাইকোবিলিনস্ (Phycobilins) ঃ লাল ফাইকোএরিথ্রিন ও নীল ফাইকোসায়ানিন এই দুই রঞ্জককে একত্রে ফাইকোবিলিন বলে। নীলাভ সবুজ শৈবাল ও লাল শৈবালে এই রঞ্জক উপস্থিত থাকে। ইহা জলে দ্রবণীয়, সহকারী রঞ্জক হিসাবে কাজ করে এবং আলোকশক্তি শোষণ করিয়া ক্লোরোফিল a কণায় পাঠিয়ে দেয়।

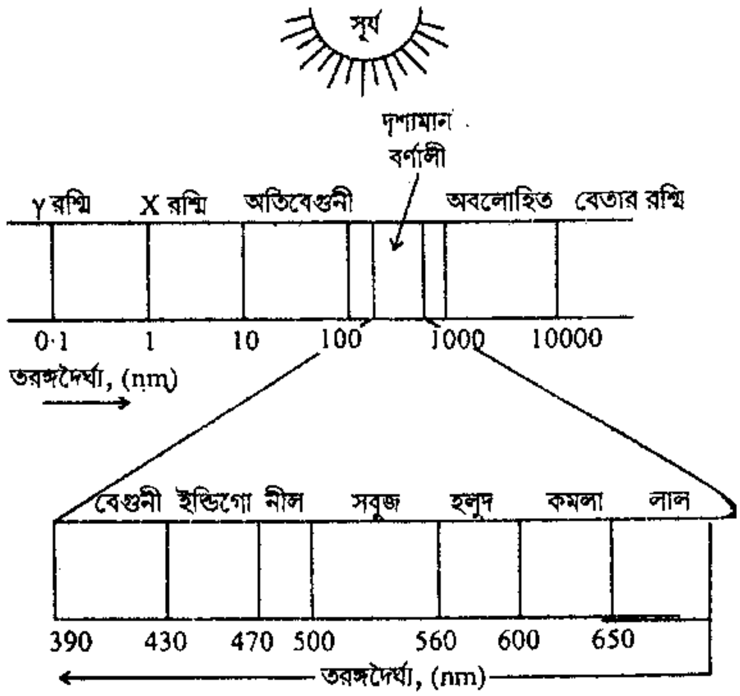


চিত্র ঃ 15.2.2.3 : একটি ফাইকোসায়ানিন অণুর গঠন

15.2.3 সালোকসংশ্লেষে আলোকের ভূমিকা ও শক্তি সম্পর্ক ঃ

আলোকের তরঙ্গদৈর্ঘ্য 0.01 ন্যানোমিটার থেকে 10,000 ন্যানোমিটার (বা nm) পর্যন্ত হতে পারে এবং এর মধ্যে দৃশ্যমান বর্ণালীর তরঙ্গদৈর্ঘ্য সাধারণভাবে 400 nm থেকে 700 nm পর্যন্ত হয়ে থাকে। আলোক

একাধারে তরঙ্গ এবং অপরদিকে কণা ধর্ম প্রকাশ করে। আলোক কতগুলি শক্তিশালী আলোককণা বা ফোটন এর সমষ্টিরূপে চিহ্নিত করা হয়। ফোটনে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত থাকে, তাকে কোয়ান্টাম বলা হয়। প্রতিটি ফোটন কণায় প্রায় 43 কিলো ক্যালরি (Kcal) শক্তি নিবদ্ধ থাকে।



চিত্র ঃ 15.2.3.1 : সূর্য থেকে বিচ্ছুরিত আলোক-বর্ণালী

প্রতি অণু কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে জলের উপস্থিতিতে বিজারিত করে কার্বোহাইড্রেট প্রস্তুতিতে ৪ থেকে 10টি ফোটন কণার প্রয়োজন হয় এবং ফোটনের এই সংখ্যাকে সালোকসংশ্লেষের প্রয়োজনীয় কোয়ান্টাম (Quantum requirement) বলা হয়। প্রতিটি ক্লোরোফিল অণুর উত্তেজিত অবস্থা 0.01 or 0.1 সেকেণ্ডের বেশী স্থায়ী হয় না ইহা বিক্রিয়া কেন্দ্রে স্থানান্তরিত হয়। প্রতিটি বিক্রিয়া কেন্দ্রে 300টি ক্লোরোফিল অণু, কিছু সহায়ক (accessory) রঞ্জক অণু এবং কুইনোন, লিপিড ইত্যাদি থাকে। শতাধিক রঞ্জক অণুর সমন্বয়ে গঠিত এক একটা বিক্রিয়া কেন্দ্রকে সালোকসংশ্লেষকারী একক (Photosynthetic unit) বলা হয়।

15.3 সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতি (Mechanism of Photosynthesis) ঃ

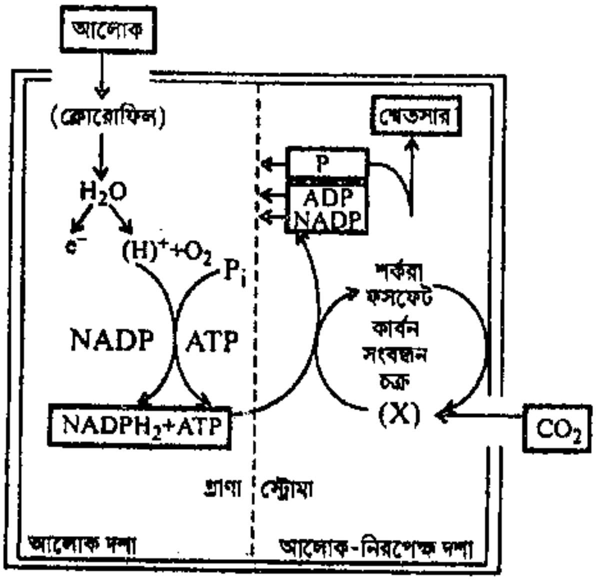
সালোকসংশ্লেষে স্টার্চ ও সুক্রোজ প্রস্তুত হয় ও অক্সিজেন নির্গত হয় তাই ইহাকে শ্বসনের বিপরীত প্রক্রিয়ারূপে চিহ্নিত করা হয়। ইহার সমীকরণ

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

1937 খ্রীষ্টাব্দে রবিন হিল (Robin Hill) অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক ও হাইড্রোজেন গ্রহীতার উপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষের হিল বিক্রিয়া প্রতিপাদন করেন এবং পরে রুবেন (Ruben) ও কামেন (Kamen) 1941 সালে H_2O^{18} য়ের সাহায্যে নিশ্চিতরূপে প্রমাণ করেন যে জল বিয়োজিত হয়ে যে অক্সিজেন উৎপন্ন হয় তার উৎস জল। ইহা একটি জারণ বিজারণ প্রক্রিয়া এবং এই প্রক্রিয়ায় জল (H_2O) জারিত হয়ে অক্সিজেন মুক্ত হয় এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2) বিজাতির হয়ে শর্করা প্রস্তুত করে। এই বিক্রিয়ার আত্তীকরণ শক্তি (assimilatory power) অর্থাৎ ATP (অ্যাডিনোসিন-ট্রাই-ফসফেট) ও NADPH (বিজারিত নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাই নিউক্লিওটাইড ফসফেট) ক্লোরোপ্লাস্টে তৈরী হয় এবং পরবর্তী পর্যায়ে কার্বন-ডাই-অক্সাইডকে বিজারিত করে ও শর্করা প্রস্তুতিতে ব্যবহৃত হয়।

15.3.1 সালোকসংশ্লেষে দুটি ভিন্ন দশার উপস্থিতি ঃ

1932 খ্রীষ্টাব্দে আর্নল্ড (Arnold) সালোকসংশ্লেষে দুটি ভিন্ন দশার উপস্থিতি নিশ্চিতভাবে প্রমাণ করেন। তেজস্ক্রিয় কার্বন আইসোটোপ (14C) এর সাহায্যে প্রমাণিত হয়েছে যে সালোকসংশ্লেষের আলোকবিক্রিয়ায়



চিত্র ঃ 15.3.1 : একটি ক্লোরোপ্লাস্টে আলোক দশা এবং আলোক-নিরপেক্ষ দশার পারস্পরিক সম্বন্ধ

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 বেশী যুক্তিযুক্ত। দেখা গেছে যে আলোক বিক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে আলোকের দ্বারা এবং আলোক নিরপেক্ষ বিক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টের স্ট্রোমা অংশে উৎসেচকের দ্বারা সংঘটিত হয়।

15.3.2 আলোক দশা (Light Phase) ঃ

সালোকসংশ্লেষের আলোক দশাটি অত্যন্ত জটিল ও গুরুত্বপূর্ণ এবং এটি ক্লোরোপ্লাস্টের গ্রাণা অংশে সম্পন্ন হয়। এই দশার মূল উৎপাদনগুলি (Product) হল অক্সিজেন (Oxygen) ও 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 ফোটনকণা শোষণ করে এবং এই শোষিত আলোকশক্তি বিক্রিয়া কেন্দ্রে (Reaction Centre) অবস্থিত একটি বিশেষ ক্লোরোফিল অণুতে স্থানান্তরিত করে। এরফলে এই বিশেষ-ক্লোরোফিল অণুটি উত্তেজিত হয় (এই উত্তেজনা খুবই ক্ষণস্থায়ী এবং তৎক্ষণাৎ সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত না হলে বিকিরণের ফলে বিনষ্ট হয়ে যায়)। উত্তেজিত ক্লোরোফিল নির্গত ইলেকট্রন 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 তৈরী করে। ইলেকট্রন নির্গত হবার ফলে বিশেষ ক্লোরোফিল অণুটিতে যে ইলেকট্রন শূন্যতার সৃষ্টি হয় তা জলের আলোক বিয়োজন (Photocatalysed splitting of water) এর ফলে উদ্ভূত ইলেকট্রন দ্বারা পূরণ হয়। আলোকের উপস্থিতিতে জলের এই বিশ্লেষণকে ফোটোলিসিস (Photolysis) বলে এবং এই পদ্ধতির মাধ্যমে উদ্ভূত অক্সিজেন পরিমণ্ডলে মিশে যায়। আলোকদশায় 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 পদ্ধতিকে ফটোফসফোরাইলেশন (Photophosphorylation) বলা হয়।

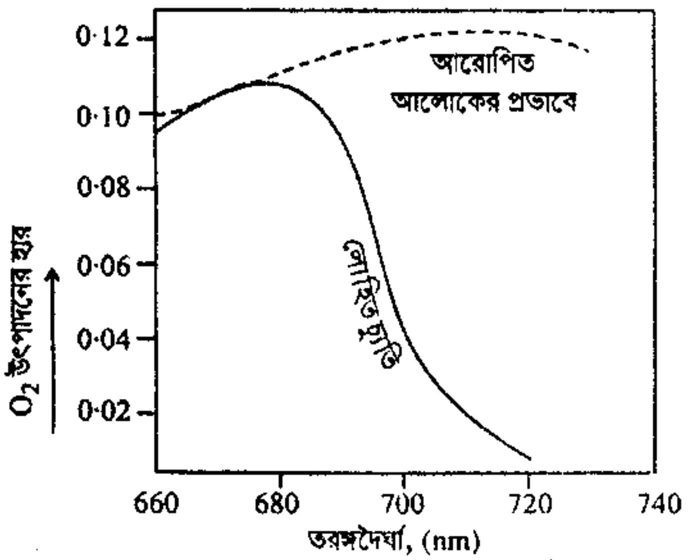
15.3.2.1 হিলবিক্রিয়া (Hill Reaction) ও অক্সিজেন নির্গমণ ঃ

1937 খ্রীষ্টাব্দে রবিন হিল (Robin Hill) অন্তরিত (isolated) ক্লোরোপ্লাস্টে সূর্যালোক ও ইলেকট্রন গ্রহীতার (যেমন পটাসিয়াম ফেরিসায়ানাইড) উপস্থিতিতে জলকে বিয়োজিত করে অক্সিজেন উৎপাদনে সক্ষম হন এবং এর থেকে প্রমাণ হয় সালোকসংশ্লেষের ফলে উদ্ভূত অক্সিজেনের উৎস জল এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইড নয়। বিক্রিয়ার শেষে ফেরিসায়ানাইড বিজারিত হয়ে ফেরোসায়ানাইড উৎপন্ন হয়।

$$2H_2O + 4Fe^{3+} \xrightarrow[\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}]{\text{সূর্যালোক}} O_2 + 4Fe^{2+} + 4H^+$$

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

এমারসন ও লুইস (Emerson and Lewis) 1943 খ্রীষ্টাব্দে সবুজ শৈবাল ক্লোরেল্লা (Chlorella) তে সালোকসংশ্লেষকারী কার্যবর্ণালী (action spectram) পরীক্ষার সময় দেখেন 680 nm এর বেশী তরঙ্গ দৈর্ঘ্যযুক্ত অতি লাল (Far red) আলোক ক্লোরোফিল a কর্তৃক শোষিত হলেও তা সালোকসংশ্লেষে কোনরকম কার্যকরী ভূমিকা গ্রহণ করে না। উন্নত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে 680 nm এর বেশী তরঙ্গ দৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে অক্সিজেন উৎপাদনের হার বিস্ময়করভাবে কমে যায়। উন্নত উদ্ভিদের ক্ষেত্রে 680 nm এর বেশী তরঙ্গদৈর্ঘ্য যুক্ত আলোকে সালোকসংশ্লেষের এই অবনতিকেই লোহিত চ্যুতি বা Red Drop বলা হয়।



চিত্র ঃ 15.3.2.2 : সবুজ শৈবাল ক্লোরেল্লায় লোহিত চ্যুতি এবং দুটি পরিপূরক আলোকের আরোপিত এমারসনের প্রভাব

আলোক চ্যুতির কারণ অনুসন্ধানে গিয়ে এমারসন ও তাঁর সতীর্থরা (Emerson et al.) 1957 খ্রীষ্টাব্দে লক্ষ্য করেন যে সালোকসংশ্লেষে নিষ্ক্রিয় (inefficient) 680 nm এর বেশী আলোক তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত অতি লাল (far red) আলোকের সাথে 650 nm হ্রস্ব আলোক একত্রে প্রয়োগ করলে এই নিষ্ক্রিয়তা যে শুধুমাত্র দূর হয় তাই নয়, উপরন্তু সালোকসংশ্লেষের গতি বৃদ্ধি পেয়ে থাকে।

দীর্ঘ ও হ্রস্ব, 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 15.3.2.2 দেখুন)। অতি লাল আলোক (700 nm) এর সঙ্গে কমলা-লাল আলোকের (653 nm) একত্রে প্রয়োগে এই প্রভাব (E) বা সালোকসংশ্লেষের এই হার বৃদ্ধি পাবার ঘটনাকে এমারসনের প্রভাব (Emerson Effect) বলা হয়।

$$E = \frac{\Delta O_2 \text{ (আরোপিত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক)} - \Delta O_2 \text{ (হ্রস্ব তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক)}}{\Delta O_2 \text{ (দীর্ঘ তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোক)}}$$

ΔO_2 হল অক্সিজেন নির্গমণের হার।

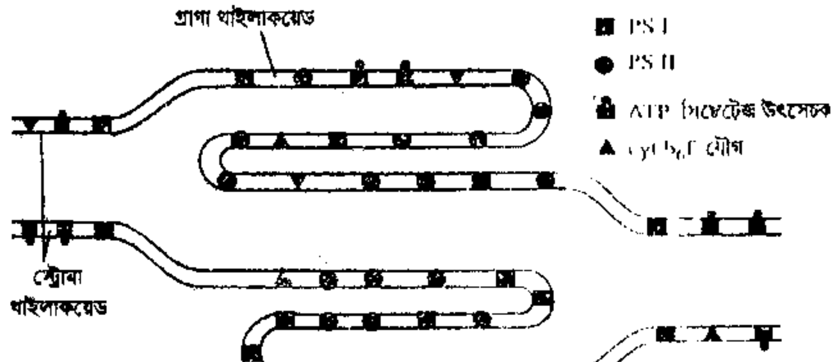
এর থেকে এমারসন এই সিদ্ধান্তে আসেন যে দুটি ভিন্ন তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের আলোক সালোকসংশ্লেষের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং এদের সম্মিলিত প্রভাবে সালোকসংশ্লেষ দক্ষতা (Photosynthetic efficiency) বহুগুণ বৃদ্ধি পায়।

15.3.3 দ্বিরঞ্জকতন্ত্র (Two photosystems) ঃ

দুটি রঞ্জক ক্রম PSI এবং PSII সালোকসংশ্লেষের আলোক রসায়ন বিক্রিয়া সম্পন্ন করে, ইলেকট্রন অণুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে দেখা গেছে যে প্রতিটি রঞ্জকক্রমে 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। অ্যানটেনা যৌগ পরিবহনে অংশ নেয় ও মজ্জা যৌগ অংশে আলোক রাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি ঘটে।

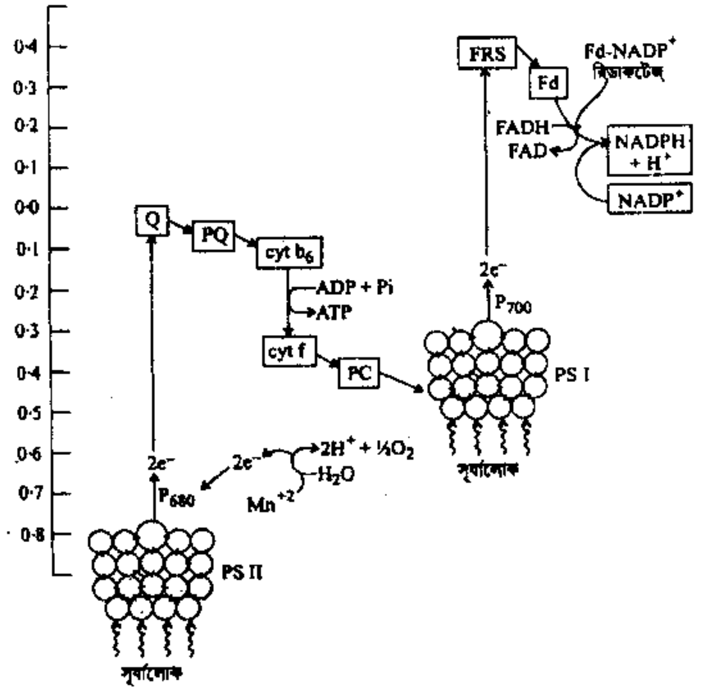
A. প্রথম রঞ্জকতন্ত্র (Pigment system I বা PSI)

এক্ষেত্রে আনুমানিক 200 থেকে 300টি ক্লোরোফিল অণু ও 50টি ক্যারটিনয়েড অণু (মূলত ক্যারোটিন) থাকে। এ ছাড়াও সাইট্রোক্রোম b_6 (Cyt b_6) সাইটোক্রোম f (Cyt f), প্লাসটোসায়ানিন ও ফেরেডক্সিন জাতীয় ইলেকট্রন গ্রহীতা থাকে, PSI এর মজ্জা যৌগটিতে (Core complex) বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে (section centre) P_{700} নামক একটি বিশেষ ক্লোরোফিল অণু থাকে।



চিত্র ঃ 15.3.3 : গ্রাণা থাইলাকয়েড-এর ওপরে দুটি রঞ্জকতন্ত্র PS I এবং PS II এর অবস্থান

PSI এর প্রধান কাজ হল শক্তিশালী বিজারক (Strong reductan) প্রস্তুত করা যা NADP কে বিজারিত করে NADPH তৈরী করে, PSI এ চক্রাকার (cyclic) এবং অচক্রাকার (Non-cyclic) এই দুই পদ্ধতির মাধ্যমেই ইলেকট্রন প্রবাহিত (transfer) হয়।



চিত্র : 15.3.4 : সালোকসংশ্লেষের আলোকদশায় ইলেকট্রন স্থানানতরণের Z নক্‌শার চিত্ররূপ (নক্‌শাটি হিল-বেনডাল প্রস্তাবিত 'Z' নক্‌শার সামান্য পরিবর্তিত রূপ) [নক্‌শায় 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]

B. দ্বিতীয় রঞ্জকতন্ত্র (Pigment System II বা PS II)

এই রঞ্জক ক্রমটিতে আনুমানিক 100-200টি ক্লোরোফিল ও 50টি ক্যারটিনয়েড অণু (মূলতঃ জ্যান্থোফিল) থাকে। এ ছাড়া Q নামক প্লাসটোকুইনন (Plastoquinone বা PQ), সাইটোক্রোম b_6 (Cyt b_6), সাইটোক্রোম f (Cyt f), প্লাসটোসায়ানিন (Plastocyanine বা PC), ম্যাঙ্গানীজ (Mn^{2+}) ও ক্লোরাইড (Cl^-) অণু উপস্থিত থাকে। PSII এর মজ্জা যৌগটিকে (Core complex) বিক্রিয়ার কেন্দ্রস্থলে (reaction centre) P_{680} নামক একটি বিশেষ ক্লোরোফিল থাকে। PSII এর প্রধান কাজ হল একটি শক্তিশালী জারক (Strong Oxidant) প্রস্তুত করা যা জল অণুকে জারিত করে অক্সিজেন উৎপাদনে সক্ষম হবে। PSII তে ইলেকট্রন প্রবাহ একমুখী ও অচক্রাকার।

15.3.4 ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ও NADP বিজারণ ঃ

PSI এবং PSII রঞ্জকক্রমের মাধ্যমে ইলেকট্রন প্রবাহকে হিল ও বেনজল (Hill and Bendall) 1960 খ্রীষ্টাব্দে জেড় নকশার (Z Scheme) মাধ্যমে সচিত্র বিবরণ দেন। 'Z' নকশায় দুটি রঞ্জকক্রমই (PSI এবং PSII) কার্যকিরী ভূমিকা নেয়। প্রথম রঞ্জকক্রমটি (PSI) 680 nm-এর বেশী এবং দ্বিতীয় রঞ্জকক্রমটি (PSII) 680 nm এর কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক শোষণ করে থাকে এবং PSII এর প্রান্তভাগ একটি সেতু (bridge)-এর মতো কাজ করে ও PSI এর সঙ্গে PSII কে যুক্ত করে রাখে। 'Z' নকশা অনুসারে PSII তে আলোক শোষিত হয়ে বিক্রিয়া কেন্দ্রের P_{680} ক্লোরোফিল অণুতে প্রবেশ করা মাত্র P_{680} উত্তেজিত হয়ে ইলেকট্রন নির্গত করে সেটি প্রথমে Q নামক এক অজ্ঞাত প্রকৃতির ইলেকট্রন বাহকে বিজারিত করে। এরপর ইলেকট্রনটি নিম্নাভিমুখী বিক্রিয়ায় যথাক্রমে প্লাসটোকুইনন (PQ), সাইটোক্রোম b_6 (Cyt b_6), সাইটোক্রোম f (Cyt f) ও প্লাসটোসায়ানিন (PC) এর মাধ্যমে PSI এ স্থানান্তরিত হয়। এইরকমভাবে ইলেকট্রন প্রবাহের সময় জারণ-বিজারণ বৈভব (redox potential) এর ফলে ATP অণু প্রস্তুত হয়।

ধনাত্মক আধানযুক্ত (positively charged) P_{680} ক্লোরোফিল অণু ম্যাঙ্গানীজ প্রোটিন থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে। Mn প্রোটিন আবার জল থেকে ইলেকট্রনটি গ্রহণ করলে জল বিয়োজিত হয় ইহাই ফোটোলাইসিস (Photolysis) এবং ম্যাঙ্গানীজ ও ক্লোরাইড আয়ন এই প্রক্রিয়ায় বিশেষ ভূমিকা পালন করে। ফোটোলিসিসে উদ্ভূত H^+ আয়ন NADP কে বিজারিত করার সময় ব্যবহৃত হয়। উন্নত উদ্ভিদে PSI এবং PSII দুটি রঞ্জক ক্রমই যুগ্মভাবে কাজ করে এবং একাধিক বাহকের মাধ্যমে ইলেকট্রনকে জল থেকে NADP তে স্থানান্তরিত করে।

15.3.5 ফটোফসফোরাইলেশন ঃ

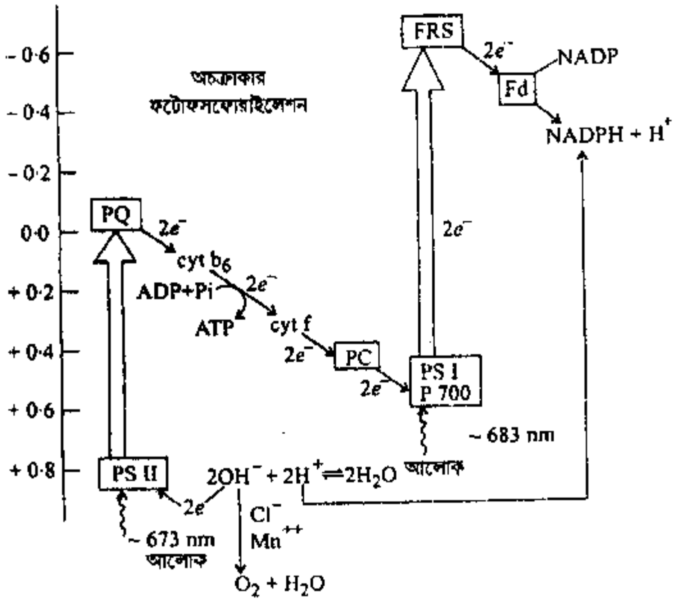
আলোকের উপস্থিতিতে ATP তৈরী হওয়ার পদ্ধতিকে ফটোফসফোরাইলেশন বলে। আরনন (Arnon) ও তাঁর সহকর্মীরা আলোকের উপস্থিতিতে ADP ও অজৈব ফসফরাসের (Pi) সংযোজনে ATP সৃষ্টির পদ্ধতি 1957 খ্রীষ্টাব্দে প্রমাণ করেন।

$$ADP + Pi \xrightarrow[\text{আলোক}]{\text{ক্লোরোপ্লাস্ট}} ATP$$

এই প্রক্রিয়াটি ক্লোরোপ্লাস্টে ঘটে। একইভাবে মাইটোকনড্রিয়াতে উক্ত প্রক্রিয়াটি অক্সিজেনের ওপর নির্ভরশীল ও ইহাকে জারকীয় ফসফোরাইলেশন বলে। Z-নকশার মাধ্যমে ইলেকট্রন প্রবাহের সময় প্রতি ধাপে কিছু পরিমাণ শক্তি উদ্ভূত হয়। যে ধাপগুলিতে উদ্ভূত শক্তির জারণ-বিজারণ বিভব (redox potential) পার্থক্য 0.33 eV (ইলেকট্রন ভোল্ট) এর বেশী হয়, সেখানে ADP এর সঙ্গে Pi যুক্ত হয়ে ATP উৎপন্ন হয়।

15.3.5.1. অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (Non-cyclic Photophosphorylation) ঃ

সবুজ উদ্ভিদে PSI এবং PSII এর মাধ্যমে অচক্রাকার ফটোফসফরাইলেশন ঘটে এবং এক্ষেত্রে ইলেকট্রন প্রবাহ হয় একমুখী। এক্ষেত্রে PSI এবং PSII দুটি রঞ্জকতন্ত্রই যুগপৎ আলোক শোষণ করে এবং দুটি বিক্রিয়াকেন্দ্রের উত্তেজিত ক্লোরোফিল থেকে পৃথকভাবে ইলেকট্রন নির্গত হয়। প্রথমে PSII থেকে নির্গত ইলেকট্রন একমুখী পথে পর্যায়ক্রমে PSI-এ স্থানান্তরিত হয় এবং PS-I এর শূন্যতা (Vacancy) পূর্ণ করে। PSI থেকে নির্গত ইলেকট্রন ফেরেডক্সিনের (Fd) মাধ্যমে $NADP^+$ কে বিজারিত করে। এই পথে প্রবাহের সময় Cyt b_6 ও Cyt f এর জারণ-বিজারণ বিভব-পার্থক্য 0.33 eV (ইলেকট্রন ভোল্ট) এর বেশী হওয়ায় এই শক্তির সাহায্যে ADP অণুর সাথে অজৈব ফসফরাস (Pi) যুক্ত হয় ও এক অণু ATP প্রস্তুত হয়। একমুখী ইলেকট্রন প্রবাহের কারণে PSII থেকে নির্গত ইলেকট্রন পুনরায় PSII তে ফেরৎ আসতে পারে না তাই এই ইলেকট্রন স্থানান্তরণকে অচক্রাকার ইলেকট্রন স্থানান্তরণ বলে।



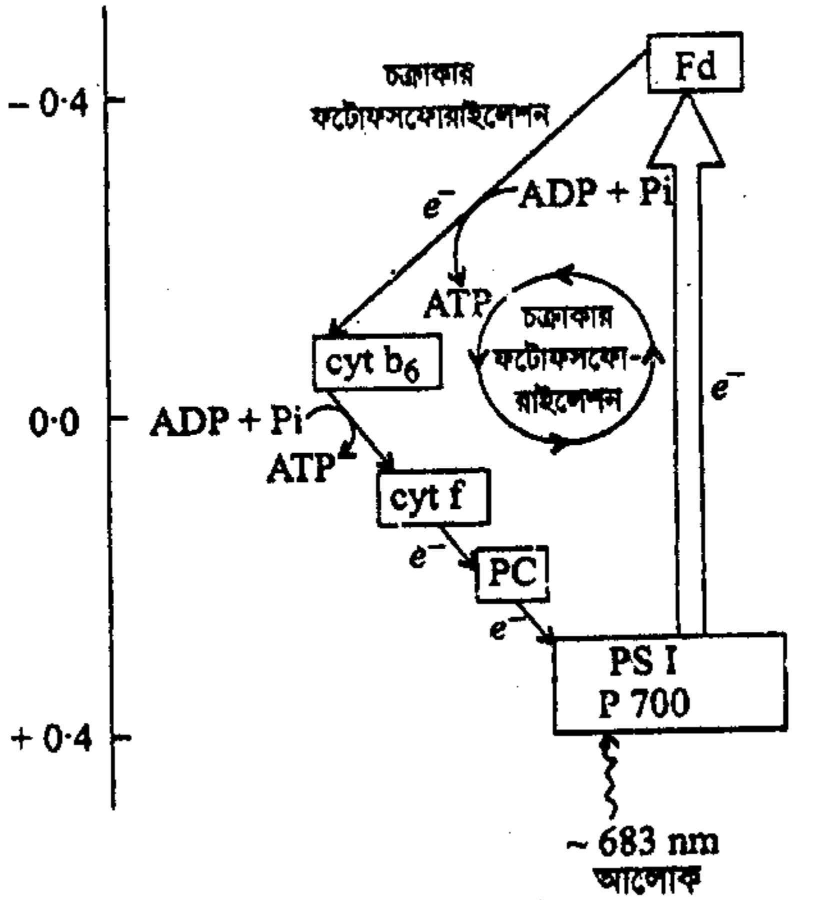
চিত্র ঃ 15.3.5.1 : অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

15.3.5.2. চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (Cyclic Photophosphorylation) ঃ

শুধুমাত্র PSI এর উপস্থিতিতে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয় এবং এক্ষেত্রে PSII উপস্থিত না থাকায় স্থানান্তরণের সময় ইলেকট্রনটি চক্রাকার পথে আবর্তিত হয়ে ATP প্রস্তুত করে এবং পুনরায় PSI

এ প্রবেশ করে। রোডোস্পাইরিলাম রুব্রাম *(Rhodospirillum rubram)* সহ অধিকাংশ ব্যাকটিরিয়া ও কিছু শৈবালে চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন লক্ষ্য করা যায়।

এক্ষেত্রে PSI থেকে নির্গত ইলেকট্রন প্রথমে ফেরেডক্সিন বিজারিত যৌগ (Feredoxin Reducing Substance) কে বিজারিত করে ফেরেডক্সিন এ স্থানান্তরিত হয়, তবে এটি Fd কে বিজারিত না করে জারণ-বিজারণ বিভবের (Redox potential) নিম্নস্তরে (downdill) সাইটোক্রোম b_6(Cyt b_6) ও সাইটোক্রোম f (Cyt f) এর মাধ্যমে স্থানান্তরিত হয়ে পুনরায় PSI এ প্রবেশ করে। Fd থেকে b_6(Cyt b_6) এবং Cyt f এই দুটি ধাপে উদ্ভূত শক্তি 0.33 eV এর বেশী হওয়ায় এই দুটি স্থানে 2 অণু ATP প্রস্তুত হয়। শুধুমাত্র PSI দ্বারা ইলেকট্রন আবর্তনকালে ATP তৈরী হওয়ার পদ্ধতিকে চক্রাকার ফটোফসরাইলেশন বলে।



চিত্র : 15.3.5.2 : চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন

15.3.5.3. অচক্রাকার ও চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশনের পার্থক্য ঃ

অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন	চক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন
1. PS I এবং PS II দুটি রঞ্জককক্রমই 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 ফেরৎ আসে না।	2. মুক্ত ইলেকট্রন দাতার (donor) প্রয়োজন হয় না, কারণ P_{700} ক্লোরোফিল থেকে নির্গত ইলেকট্রন চক্রাকারে আবর্তিত হয়ে আবার একই জায়গায় ফেরৎ 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. বেশীর ভাগ সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাক্টিরিয়া।
6. DCMU (ডাই-ক্লোরোফিনাইল-ডাই-মিথাইল ইউরিয়া)-এর উপস্থিতি অচক্রাকার ফটোফসফো-রাইলেশনকে প্রতিরোধ (inhibit) করে।	6. DCMU -এর উপস্থিতিচক্রাকার ফটোফসফো-রাইলেশন-এর ওপর কোন প্রভাব ফেলতে পারে না।
7. ইলেকট্রন পরিবহণ 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 পরিবহণ 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 উৎপন্ন হয়।	8. প্রতিটি চক্রাকার আবর্তনে দুই অণু করে ATP উৎপন্ন হয়।

15.3.6 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 প্রধানতঃ 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 মূলতঃ 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।

রাইবিউলোজ –1, 5 বাই-ফসফেট + CO_2 —(রাইবিউলোজ বিস-ফসফেট কার্বক্সিলেজ)→ অস্থায়ী যৌগ —(H_2O)→ 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।

3. ফসফোগ্লিসারেট —(ATP; ফসফোগ্লিসারেট কাইনেজ)→ 1, 3 ডাইফসফোগ্লিসারেট

(iii) গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে ও NADPH-এর সহায়তায় 1, 3 ডাইফসফোগ্লিসারেট, গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেটে পরিণত হয়।

1, 3 ডাইফসফোগ্লিসারেট —($NADPH+H^+$; গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3P ডিহাইড্রোজিনেজ)→ গ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ফসফেট

(iv) গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট, ট্রায়োজ ফসফেট আইসোমারেজ উৎসেচকের প্রভাবে ডাইহাইড্রক্সি-অ্যাসিটোন ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট —(ট্রায়োজ ফসফেট আইসোমারেজ)— ডাইহাইড্রোক্সিঅ্যাসিটোন 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 পরবর্ত্তী পর্যায়ে সুক্রোজ শর্করা এবং স্টার্চ শ্বেতসার জাতীয় খাদ্য প্রস্তুত হয়।

II. রাইবিউলোজ বিস্‌-ফসফেট (RuBP)-এর পুনরুৎপাদন (Regeneration of RuBP)

ক্লোরোপ্লাস্টে RuBP-এর 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 $\xrightarrow{\text{ট্র্যান্সকিটোলেজ}}$

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 তৈরী করে।

এরিথ্রোজ 4 ফসফেট + ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট $\xrightarrow{\text{অ্যালডোলেজ}}$ সেডোহেপ্টুলোজ -1, 7, ডাইফসফেট

(ix) ফসফেটেজ উৎসেচকের সাহায্যে সেডোহেপ্টুলোজ -1, 7 ডাইফসফেট, সেডোহেপ্টুলোজ -7-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

সেডোহেপ্টুলোজ -1, 7-বিস-ফসফেট $\xrightarrow{\text{ফসফেটেজ}}$ 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।

সেডোহেপ্টুলোজ -7-ফসফেট + গ্লিসার‍্যালডিহাইড-3-ফসফেট $\xrightarrow{\text{ট্র্যান্সকিটোলেজ}}$

রাইবোজ 5-ফসফেট + জাইলিউলোজ 5-ফসফেট

(xi) আইসোমারেজ উৎসেচকের সাহায্যে রাইবোজ-5-ফসফেট রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়।

রাইবোজ-5-ফসফেট $\xrightarrow{\text{আইসোমারেজ}}$ রাইবিউলোজ-5-ফসফেট

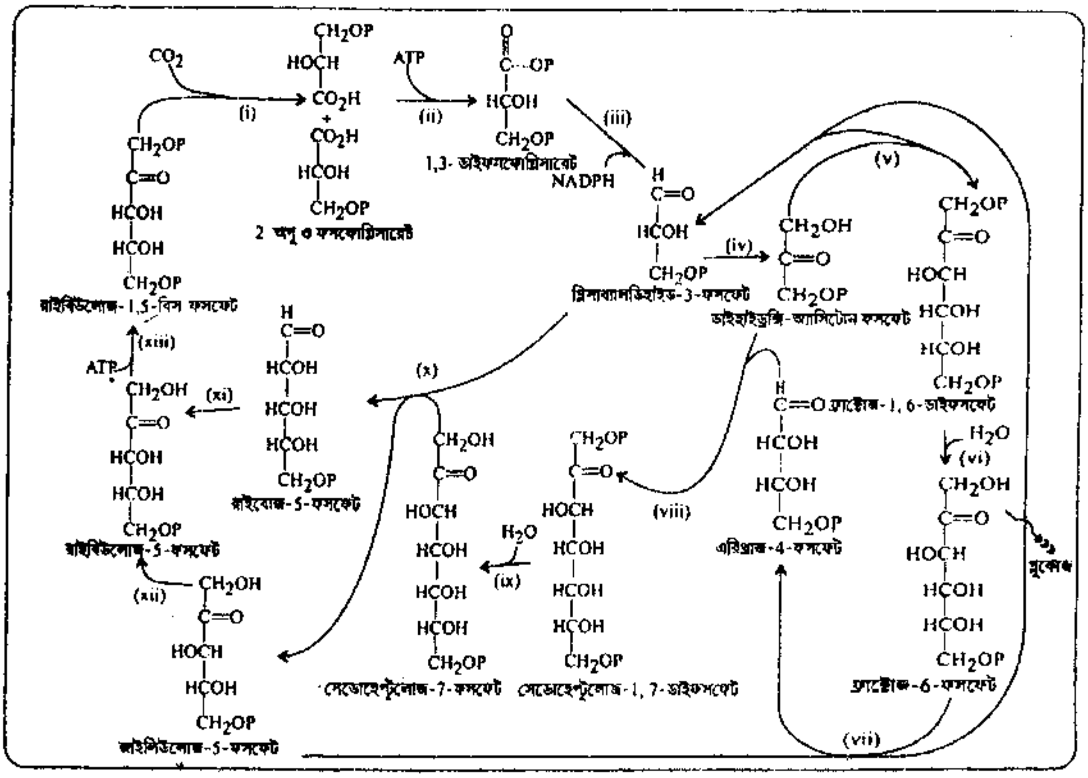
(xii) এপিমারেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে জাইলিউলোজ 5-ফসফেট রাইবিউলোজ 5-ফসফেটে পরিবর্তিত হয়।

$$\text{জাইলিউলোজ-5-ফসফেট} \xrightarrow{\text{এপিমারেজ}} \text{রাইবিউলোজ-5-ফসফেট}$$

(xii) এইভাবে সৃষ্ট রাইবিউলোজ 5-ফসফেট পরিশেষে ATP-র সঙ্গে যুক্ত হয় এবং রাইবিউলোজ 5-ফসফেট কাইনেজ উৎসেচকের সহায়তায় পুনরায় রাইবিউলোজ -1, 5-বাইফসফেট (RuBP) উৎপন্ন হয়।

$$\text{রাইবিউলোজ 5-ফসফেট} + \text{ATP} \xrightarrow[\text{5-ফসফেট কাইনেজ}]{\text{রাইবিউলোজ}} \text{রাইবিউলোজ -1, 5-বিস ফসফেট}$$

এইভাবে প্রস্তুত RuBP পুনরায় কার্বন-ডাই-অক্সাইড সংবন্ধন করতে সক্ষম হয় এবং কেলভিন চক্রটি আবর্তিত হতে থাকে। (চিত্র নং 15.3.6 দেখুন)



চিত্র ঃ 15.3.6 :

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।

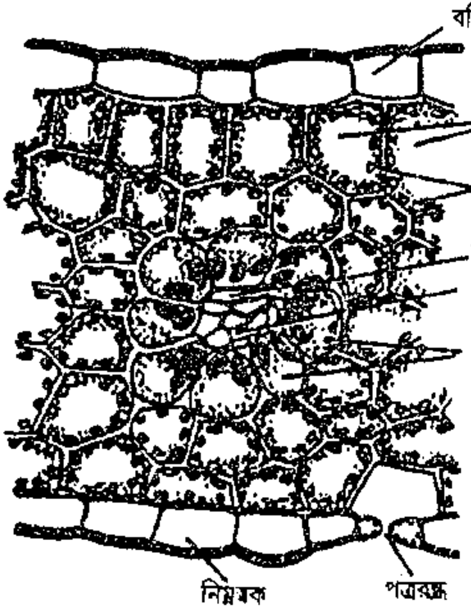
নামগুলির জন্য 10.3.6 অংশে কেলভিন চক্র দেখুন

15.3.7 হ্যাচ্ ও স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্র ঃ

কর্টসচ্যাক ও তাঁর সহকর্মীরা (Kortschak et. al. 1954) প্রথম দেখান যে আখগাছে সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধির সাথে সাথে একটি 4-কার্বনযুক্ত অ্যাসিডের পরিমাণও বাড়তে থাকে এবং আখ ছাড়া ভুট্টা, ঘাস, মুথাঘাস জাতীয় কিছু গ্র্যামিনী ও সাইপ্যারাসী গোত্রীয় উদ্ভিদে এই একই ঘটনা ঘটে। বিজ্ঞানী হ্যাচ এবং স্ল্যাক (1966) খ্রীষ্টাব্দে প্রথম দেখান যে কয়েকটি একবীজপত্রী ও দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে এক বিশেষ পদ্ধতিতে কার্বন সংবন্ধন হয় যেখানে 4 অনু বিশিষ্ট জৈব অ্যাসিড প্রাথমিক স্থায়ী যৌগরূপে প্রস্তুত হয়। এই দুই বিজ্ঞানীর নামানুসারে ইহাকে হ্যাচ্ ও স্ল্যাক কার্বন সংবন্ধন (Hatch and Slack Carbon fixation) চক্র এবং প্রথম স্থায়ী C_4 যৌগের উপস্থিতির জন্যে C_4 চক্র (C_4 Cycle) বলে অভিহিত করা হয়।

15.3.7.1 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 ক্রান্জ্ (Kranz)-এর নামানুসারে C_4 উদ্ভিদের পাতার এই বিশেষ কলাবিন্যাস (anatomical arrangement) কে ক্রান্জ্ অ্যানাটমি (Kranz Anatomy) বলা হয়। (চিত্র নং 15.3.7.1 দেখুন)।



চিত্র ঃ 15.3.7.1 : C_4 উদ্ভিদের একটি পাতার প্রস্থচ্ছেদ (ক্রান্জ্ কলাস্থান)
(নালিকা বাণ্ডিলকে বেষ্টন করে বাণ্ডিল আবরণী কোষ এবং একে বেষ্টন করে মেসোফিল কোষের অবস্থান লক্ষণীয়)

(2) বান্ডিল আবরণী ও মেসোফিল কোষের ক্রোমোপ্লাস্টে দ্বিরূপতা (dimorphism) লক্ষ্য করা যায়। বান্ডিল আবরণীর ক্লোরোপ্লাস্টগুলি মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট থেকে আকারে বড় হয়। এ ছাড়াও বান্ডিল আবরণী কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে গ্রাণা অনুপস্থিত থাকে এবং মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে সুসজ্জিত গ্রাণা লক্ষ্য করা যায়। সর্বোপরি মেসোফিল কোষ অপেক্ষা বান্ডিল আবরণী কোষে শ্বেতসার (starch) অনেক বেশি সুসজ্জিত থাকে এবং বান্ডিল আবরণী কোষে শ্বেতসারগুলি কেন্দ্রাভিমুখী (centripetally) অবস্থান করে। (চিত্র নং 15.3.7.1 দেখুন)।

(3) C_4 উদ্ভিদের পাতায় মেসোফিল কোষে ফসফোইনল পাইরুভেট (PEP) এবং বান্ডিল আবরণী কোষে রাইবিউলোজ বিস্-ফসফেট (RuBP)—এই দু'ধরনের CO_2 গ্রহীতা থাকে।

(4) উচ্চ তাপাংকে ($30^0 - 45^0C$) C_4 উদ্ভিদ ভাল 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 সালোকসংশ্লেষে কোনরকম বাধা প্রদান করে না।

বিজ্ঞানী চোলেট্ (Cholet) ও অগ্রেণ্ (Ogren) C_4 উদ্ভিদকে কতগুলি বৈশিষ্ট্যের ভিত্তিতে 3টি প্রজাতিতে ভাগ করেন। এই বৈশিষ্ট্যগুলি হল—

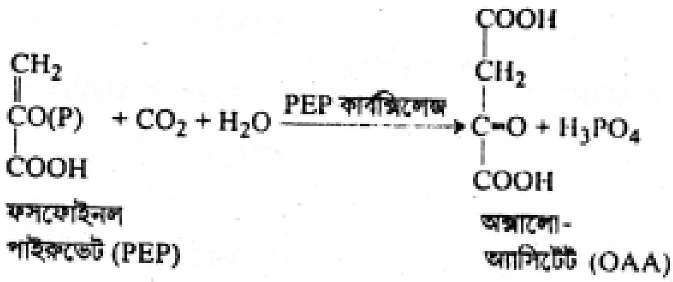
(a) চার-কার্বন অণুবিশিষ্ট (4C) অ্যাসিডের প্রকৃতি (ম্যালেট বা অ্যাসপারটেট), যা মেসোফিল কোষ থেকে মেসোফিল কোষে প্রবেশ করে।

(b) তিন-কার্বন অণু (3C) বিশিষ্ট যৌগের প্রকৃতি (পাইরুভেট বা অ্যালনিন), যা বান্ডিল আবরণী কোষ থেকে মেসোফিল কোষে প্রবেশ করে।

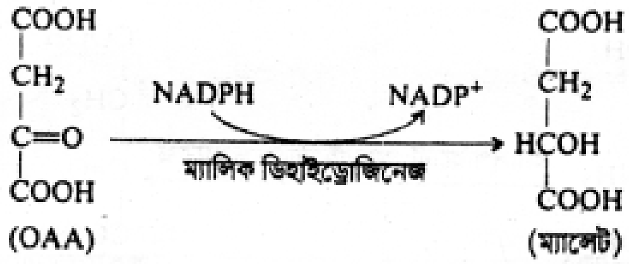
(c) বান্ডিল আবরণী কোষে যে উৎসেচকের উপস্থিতিতে কার্বন-ডাই-অক্সাইডের বিযুক্তিকরণ ঘটে, তার প্রকৃতি এবং এই বিযুক্তিকরণ (decarboxylation)-এর অকুস্থল—সাইটোপ্লাজম, মাইটোকনড্রিয়া বা ক্লোরোপ্লাস্ট।

15.3.7.2 প্রজাতি বিশেষ C_4 উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন পদ্ধতি ঃ

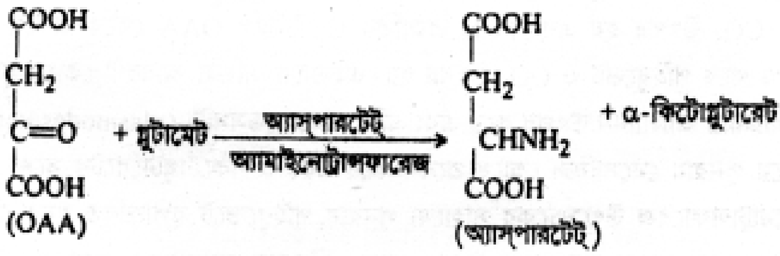
C_4 চক্রে প্রাথমিক বিক্রিয়াগুলি ক্রমপর্যায়ে ব্যাখ্যা করা হল। বিক্রিয়ার শুরুতে ফসফোইনল পাইরুভেট (phosphenol pyruvate বা PEP) বায়ুমণ্ডল থেকে কার্বন-ডাই-অক্সাইড (CO_2) গ্রহণ করে ও 4-কার্বন অণু (4C) বিশিষ্ট অক্সালোঅ্যাসিটেট (oxaloacetate বা OAA) রূপান্তরিত হয় এবং এই বিক্রিয়াটি ফসফোইনল পাইরুভেট কার্বক্সিলেজ (phosphoenol pyruvate carboxylase বা PEP carboxylase) নামক উৎসেচক (enzyme)-এর উপস্থিতিতে ঘটে।



অক্সালোঅ্যাসিটেটের স্থায়িত্ব 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।

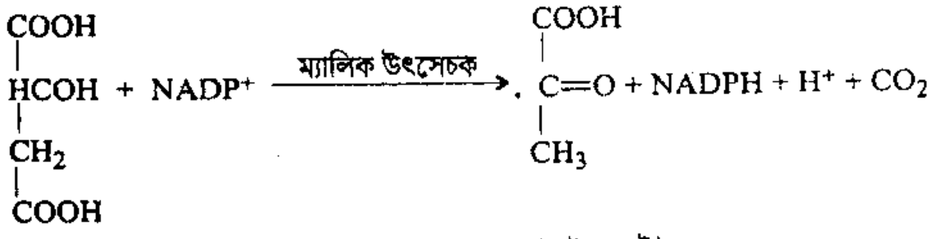


আবার NAD ম্যালিক উৎসেচক এবং PCK প্রজাতিভুক্ত C_4 উদ্ভিদে অ্যাস্‌পারটিক অ্যামাইনোট্রান্সফারেজ (aspartic aminotransferase) উৎসেচক এবং গ্লুটামেট (glutamate)-এর উপস্থিতিতে OAA অ্যাস্‌পারটেট্‌ (aspartate)-এ পরিণত হয়।



মেসোফিল কোষে প্রস্তুত এই C_4 অ্যাসিডগুলি (ম্যালেট বা অ্যাস্‌পারটেট্‌) বান্ডিল আবরণী (bundle sheath) কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে স্থানান্তরিত হয়।

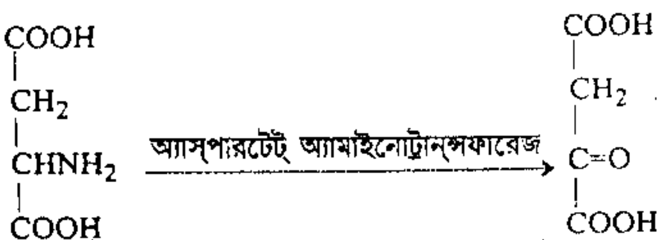
NADP ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে বান্ডিল আবরণী কোষে আগত ম্যালেট, $NADP^+$ ও ম্যালিক উৎসেচকের উপস্থিতিতে পাইরুভেট এবং কার্বন-ডাই-অক্সাইডে ভেঙে যায়।



(ম্যালেট) (পাইরুভেট)

এই উদ্বৃত্ত 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।

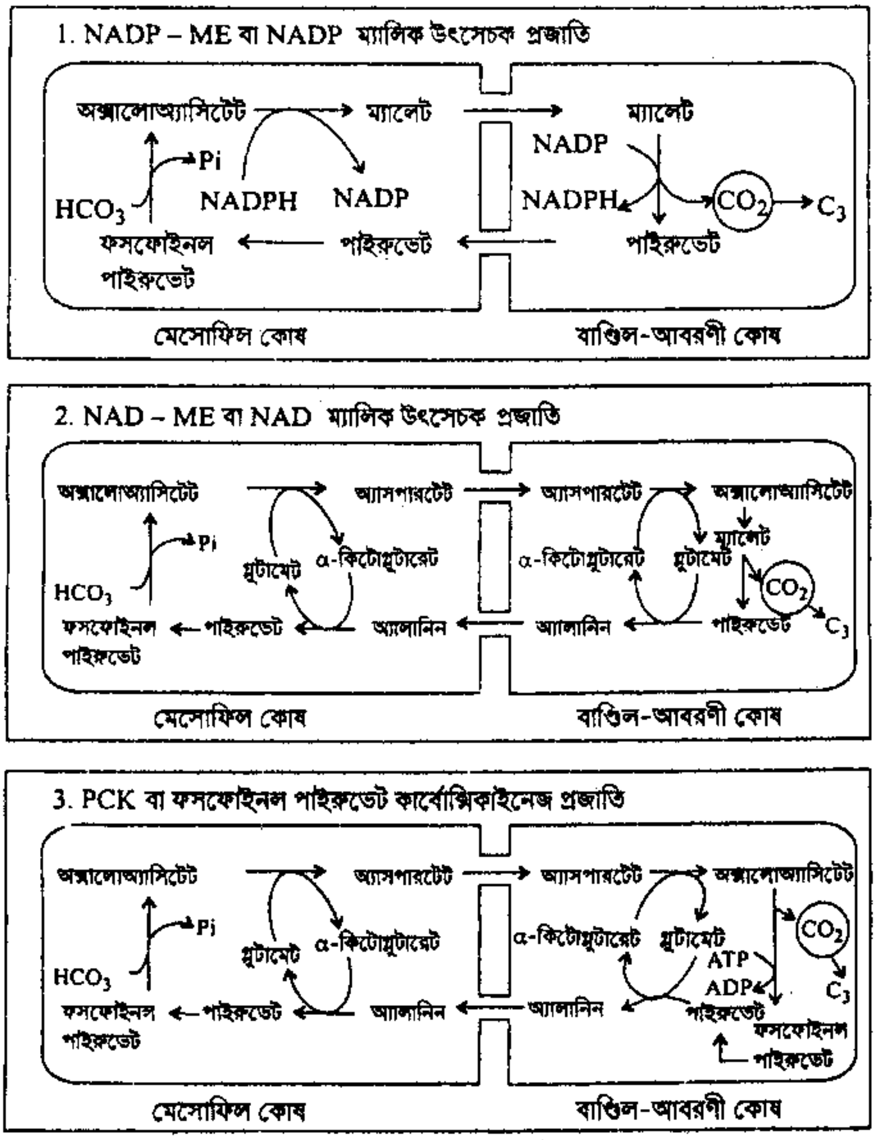


(অ্যাস্‌পারটেট্‌) (অক্সালোঅ্যাসিটেট)

এই অ্যাস্‌পারটেট্‌ মেসোফিল কোষ থেকে সরাসরি বান্ডিল-আবরণী কোষে প্রবেশ করে অক্সালোঅ্যাসিটেট (OAA) পরিণত হয়।

NAD ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে বান্ডিল আবরণী 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 বান্ডিল 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 বান্ডিল আবরণী কোষের মধ্যে C_4 চক্রটি আবর্তিত হতে থাকে (চিত্র নং 15.3.7.2 দেখুন)।

আখ *(Saccharum)*, ভুট্টা *(Zea mays)* প্রভৃতি গ্রামিনী (Gramineae) গোত্রের বেশ কিছু উদ্ভিদ NADP ম্যালিক উৎসেচক প্রজাতির C_4 উদ্ভিদ। এছাড়াও আর্টিপ্লেক্স স্পঞ্জিওসা *(Artiplex spongiosa)*, প্যানিকাম্‌ মিলেসিয়াম্‌ *(Panicum miliaceum)*-সহ বেশ কিছু লিলিয়েসী (Liliaceae), ব্রোমেলিয়েসী



চিত্র নং 15.3.7.2 তিনটি ভিন্ন প্রজাতির C_4 উদ্ভিদে কার্বন স্থিতিকরণ পদ্ধতি (হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক্ চক্র বা C_4 চক্র)

(Bromeliaceae) এবং অ্যাসক্লেপিয়েডেসী (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 বান্ডিল-আবরণী কোষে কার্যকরী C_3 কেলভিন চক্র উপস্থিত থাকায় এবং প্রয়োজনীয় ATP ও NADPH মেসোফিল কোষে উৎপন্ন হওয়ায় সহজেই বান্ডিল-আবরণী কোষে কার্বন সংবন্ধন সম্পন্ন হতে পারে।

15.3.7.3 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 উদ্ভিদরা খুব কম CO_2-র উপস্থিতিতেও সালোকসংশ্লেষ করতে পারে।

(2) অক্সিজেন 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 ($30^0 - 45^0C$) ও আলোক তীব্রতা (light intensity) সহন করতে পারে বলে গ্রীষ্মপ্রধান (tropical) অঞ্চলে এরা ভাল 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 জাঙ্গাল উদ্ভিদ (xerophyte) জন্মায়, তারা পত্ররন্ধ্র বন্ধ থাকা সত্ত্বেও সালোকসংশ্লেষ করতে সক্ষম হয়।

15.3.7.4. 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।

15.3.7.4. C_3 এবং C_4 উদ্ভিদের মধ্যে পার্থক্য ঃ

C_3 উদ্ভিদ	C_4 উদ্ভিদ
3. প্রাথমিক স্থায়ী যৌগ 3C অণুবিশিষ্ট ফসফোগ্লিসারেট বা PGA।	3. প্রাথমিক স্থায়ী যৌগ 4C অণুবিশিষ্ট অক্স্যালোঅ্যাসিটেট 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) ক্রান্‌জ প্রকৃতির (Kranz type)।
6. প্রতিটি ক্লোরোপ্লাস্টে দুইটি রঞ্জককক্রম PS I ও PSII 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 RuBP-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 (optimum temperature) 10-25^{0}C.	14. পরম তাপমাত্রা 30 - 45^{0}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।

15.3.8 ক্রাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক বা CAM ঃ

ক্রাসুলেসী, ক্যাক্টেসী, অরকিডেসী, লিলিয়েসী, ইউফোরবিয়েসী শ্রেণীর উদ্ভিদেরা এক বিশেষ ধরনের দিবাচর প্রকৃতির (diurnal pattern) কার্বন-সংবন্ধন প্রদর্শন করে। এই সকল উদ্ভিদ সাধারণত শুষ্কপ্রায় অঞ্চলে জন্মায় ও ইহাদের পত্ররন্ধ্র দিবালোকে বন্ধ ও রাত্রিকালে খোলা থাকে এবং সন্ধ্যায় এদের পাতায় জৈব অ্যাসিডের আধিক্য থাকে। এই উল্লেখযোগ্য ঘটনাটি সর্বপ্রথম ক্র্যাসুলেসী গোত্রের (Crassulaceae family) অন্তর্গত উদ্ভিদে যেমন ব্রায়োফাইলাম *(Bryophyllum)*, ক্যালান্চো *(Kalanchoe)* প্রভৃতিতে পরিলক্ষিত হয় বলে সালোকসংশ্লেষের এই বিশেষ পদ্ধতিকে ক্র্যাসুলেসিয়ান অ্যাসিড বিপাক (Crassulacean Acid Metabolism বা CAM) বলে।

15.3.8.1 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 উদ্ভিদ (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 (malate) 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 বাড়বার সাথে সাথে সঞ্চিত শর্করার পরিমাণ হ্রাস পায়, অপরদিকে দিনেরবেলায় অ্যাসিডের পরিমাণ হ্রাস ও শর্করার পরিমাণ বৃদ্ধি পায়।

7. জাঙ্গাল 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।

15.3.8.2 CAM উদ্ভিদ 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।

$$\underset{\text{(PEP)}}{\begin{array}{c} CH_2 \\ | \\ C{=}O(P) \\ | \\ COOH \end{array}} + CO_2 + H_2O \xrightarrow{\text{PEP কার্বক্সিলেজ}} \underset{\text{(OAA)}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ C{=}O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}} + H_3PO_4$$

(2) ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের উপস্থিতিতে এবং NADPH-এর সাহায্যে অক্সালোঅ্যাসিটেট (OAA) ম্যালেটে রূপান্তরিত হয়।

$$\underset{\text{(OAA)}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ C{=}O \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}} + NADPH + H^+ \xrightarrow{\text{ম্যালিক ডিহাইড্রোজিনেজ}} \underset{\text{(ম্যালেট)}}{\begin{array}{c} COOH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array}} + NADP^+$$

(3) এইভাবে পাতায় রাত্রিবেলায় যে ম্যালেট প্রস্তুত হয়, তা পাতার কোষগহ্বরে (vacuole) সঞ্চিত

থাকে। দিনের বেলায় এই সঞ্চিত ম্যালেট কোষগহ্বর থেকে বাইরে আসে এবং ডিকার্বক্সিলেশনের (decarboxylation) ফলে পাইরুভেটে রূপান্তরিত হয় এবং CO_2 নির্গত করে।

$$\begin{array}{c} COOH \\ | \\ CHOH \\ | \\ CH_2 \\ | \\ COOH \end{array} \xrightarrow{\text{NADP ম্যালিক উৎসেচক}} \begin{array}{c} CH_3 \\ | \\ C=O \\ | \\ COOH \end{array} + CO_2$$

(ম্যালেট) (পাইরুভেট)

(4) এই উদ্ভূত CO_2 ক্লোরোপ্লাস্টে প্রবেশ করে এবং কেলভিন চক্রের উৎসেচক-এর সহায়তায় C_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 15.3.8 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 বান্ডিল আবরণী এই দুটি পৃথক কোষে যথাক্রমে চক্র দুটি আবর্তিত হয়। অপরদিকে CAM উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই একই প্রক্রিয়া (অর্থাৎ C_3 এবং C_4 চক্র) পাতার একই মেসোফিল কোষে সম্পন্ন হয় এবং এই চক্র দুটির একটি রাত্রে ও একটি দিনেরবেলায় ঘটে থাকে। এই কারণে CAM উদ্ভিদকে অনেক সময় রাত্রিকালীন C_4 উদ্ভিদ (night C_4 plant) আখ্যা দেওয়া হয়।

15.3.8.3 CAM এর তাৎপর্য (Significant)

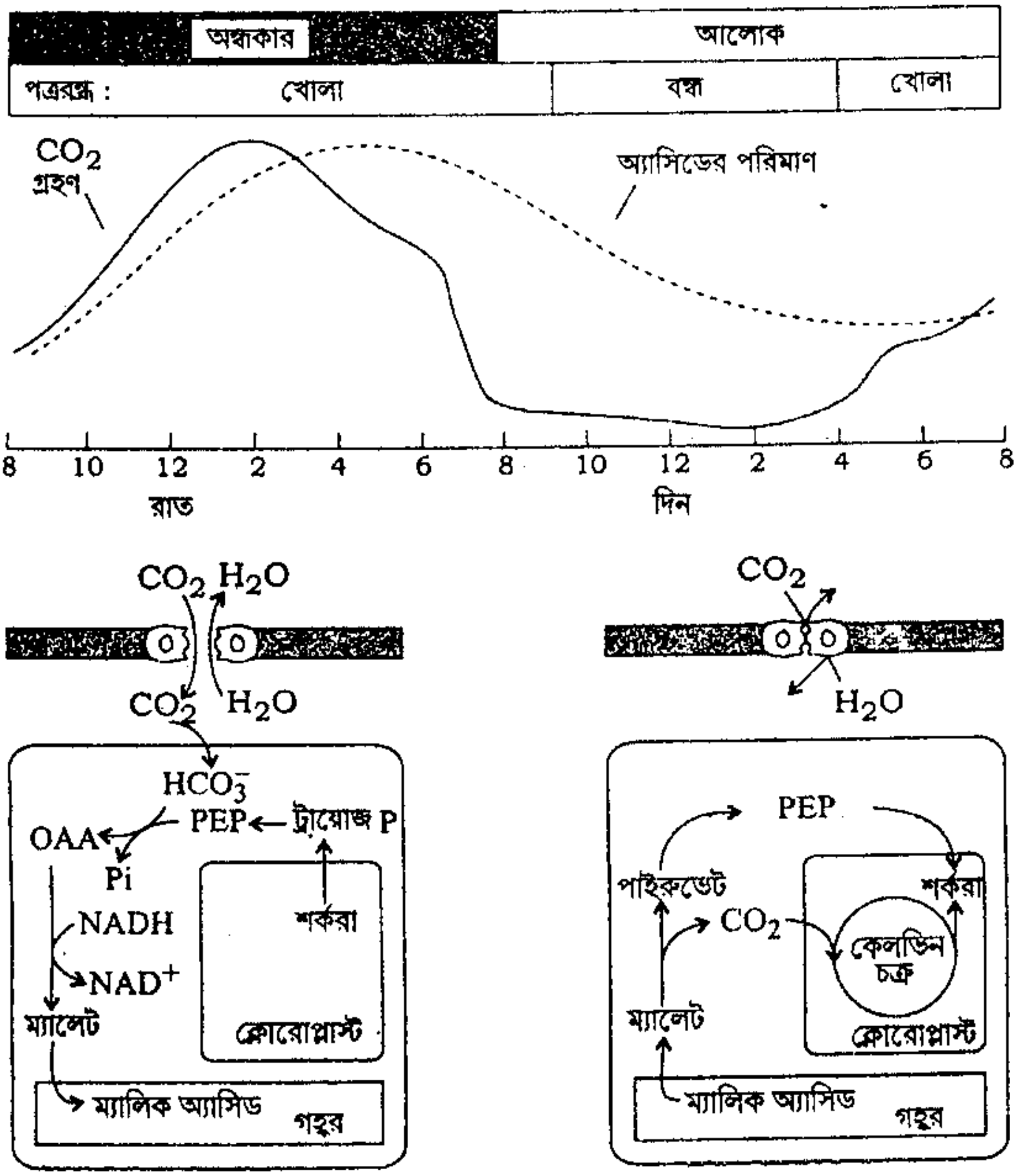
1) দিবাচর (Diurnal pattern) পত্ররন্ধ্র উন্মোচন পদ্ধতিতে রাত্রে পত্ররন্ধ্র খোলা থাকে এবং দিনে বন্ধ থাকে।

2) CAM উদ্ভিদের পাতার অন্তত্বক (anticle) রসাল ও পাতা পুরু।

3) নিমজ্জিত পত্ররন্ধ্রের উপস্থিতি বাষ্পমোচনের হার কমিয়ে দেয়। CAM উদ্ভিদ যেখানে সালোকসংশ্লেষে প্রতি গ্রাম CO_2 গ্রহণ করতে 50-100g জল ব্যবহার করে, সেখানে C_3 ও C_4 যথাক্রমে 400- 500g এবং 250 - 300g জল ব্যবহার করে।

4) CAM উদ্ভিদে কার্বন আত্তীকরণের হার C_3 উদ্ভিদের অর্ধেক এবং C_4 উদ্ভিদের এক তৃতীয়াংশ (1/3)

5) মধ্যবর্তী (intermediate) উদ্ভিদেরা জলের প্রাচুর্য্য থাকলে C_3 এবং জলের অভাবে CAM পদ্ধতিতে কার্বনসংবন্ধন করে। যেমন, *মেসেনব্রায়েনথিমাম ক্রিস্টালিনাম (Mesenbryanthemum crystallinum)* নামক একটি রসাল উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষের সময় এক অদ্ভুত আচরণ করে।



চিত্র ঃ 15.3.8 : লেখচিত্রের মাধ্যমে দেখা যাচ্ছে যে CAM উদ্ভিদ দিবালোকে ও রাত্রিকালে CO_2-এর গ্রহণের পরিমাণ ও কোষগহ্বরে সঞ্চিত অ্যাসিডের পরিমাণ কিভাবে হ্রাসবৃদ্ধি ঘটছে। নিজের চিত্রে যে পদ্ধতিতে CAM উদ্ভিদে কার্বন সংবন্ধন হয় তা বিস্তারিতভাবে বোঝানো হচ্ছে।

জলের প্রাচুর্যতা (sufficiency) থাকলে এই উদ্ভিদটি C_3 উদ্ভিদের মত আচরণ করে। এক্ষেত্রে পত্ররন্ধ্র খোলা বা বন্ধ এবং রাত্রে পাতায় অ্যাসিডিকরণ (acidification) সংক্রান্ত কোন বৈশিষ্ট্য দেখায় না।

আলোক নিয়ন্ত্রিত উৎসেচক (Light Regulated Enzymes)

আলোকের উপস্থিতিতে সক্রিয় হয় এমন কিছু উৎসেচক আলোক নিরপেক্ষ দশায় অংশগ্রহণ করে এবং আলোকের অনুপস্থিতিতে এরা কার্য সম্পন্ন করতে পারে না।

1. রাইবিউলোজ বিস্‌ফসফেট কার্বক্সিলেজ (RuBP Carboxylase)

2. গ্লিসার‍্যালডিহাইড 3-ফসফেট ডিহাইড্রোজিনেজ (Glyceraldehyde ও phosphate dehydrogenase)

3. ফ্রুকটোজ বিস্‌ফসফেট ফস্‌ফাটেজ (Fructose bis-phosphate phosphatas)

4. ফসফোরাইবোকাইনেজ (Phosphoribo kinase)

সালোকসংশ্লেষ প্রতিরোধক (Inhibitors of photosynthesis)

কিছু ইউরিয়াজাত পদার্থ যেমন ক্লোরোফিনাইল ডাই-মিথাইল ইউরিয়া (CMU) এবং ডাইক্লোরোফিনাইল ডাই মিথাইল ইউরিয়া (DCMU) সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় PSII ক্রমে Q থেকে PQ-এ ইলেকট্রন স্থানান্তরণ বন্ধ করে দেয়। এছাড়া ডায়ালোজেন রঞ্জক (vilogen dye) ডাইকোয়াট (diquat) এবং প্যারাকোয়াট (paraquat) যৌগ ক্ষতিকর সুপারঅক্সাইড তৈরী করে আলোকদশা বন্ধ করে দেয়।

অনুশীলনী ঃ 1

উপরের অংশগুলি যদি আপনি ঠিক মতন পড়ে থাকেন, তাহলে নিচের প্রশ্নগুলির উত্তর দিতে আপনার অসুবিধা হবার কথা নয়।

1. **শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ**
   a. সালোকসংশ্লেষের ফলে _____ গ্যাস উৎপন্ন হয়।
   b. সালোকসংশ্লেষের সময় আলোকশক্তি _____ পরিণত হয়।
   c. সালোকসংশ্লেষের সময় উৎপন্ন O_2 এর উৎস _____।
   d. নীলাভ সবুজ শৈবালে সালোকসংশ্লেষের স্থান _____।
   e. _____ তরঙ্গদৈর্ঘ্য যুক্ত অতিলাল আলোক সালোকসংশ্লেষে কার্যকরী ভূমিকা গ্রহণ করে না।

2. **শুদ্ধ করে লিখুন ঃ**
   a. সালোকসংশ্লেষের সময় শক্তি উৎপন্ন হয়।
   b. সালোকসংশ্লেষের রাসায়নিক শক্তি খাদ্যের মধ্যে সৌরশক্তিরূপে আবদ্ধ হয়।
   c. সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদ O_2 গ্রহণ ও CO_2 ত্যাগ করে।

3. **সংক্ষিপ্ত উত্তর লিখুন ঃ**

1. ফটোসিন্থেটিক ফসফোরাইলেশন কাকে বলে?
2. ক্যারোটিনয়েড্ কী?
3. দৃশ্যমান বর্ণালীর কোন্ অংশ সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত হয়?
4. লোহিত চ্যুতি কী?
5. এমারসন প্রভাব বর্ণনা করুন।
6. কোয়ান্টাম প্রয়োজনীয়তা বলতে কী বোঝেন?

15.4 ব্যাকটিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষ (Bacterial Photosynthesis) ঃ

সাধারণত ছত্রাক ও প্রাণীদের মতো ব্যাকটিরিয়া জৈব পদার্থের জন্য পরজীবী বা মিথোজীবী রূপে বাস করে। একধরনে ব্যাকটিরিয়া অবশ্য আলোক শক্তির সাহায্যে রঞ্জক পদার্থের উপস্থিতিতে খাদ্য প্রস্তুত করতে পারে। এই জাতীয় ব্যাকটিরিয়াদের সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়া (Photosynthetic bacteria) বলা হয়।

15.4.1 সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়ার শ্রেণীবিভাগ (Classification) ঃ

একটি ব্যাকটিরিয়ার ক্রোমাটোফোরে রঞ্জকের উপস্থিতি এবং কোন যৌগ CO_2 বিজারণে অংশগ্রহণ করছে তার ওপর ভিত্তি করে ইহাদের তিনভাগে ভাগ করা যায়—

i) সবুজ সালফার ব্যাকটিরিয়া (Green Sulphur bacteria) : ক্লোরোবিয়াম *(Chlorobium)*, ক্লোরোসিউডোমোনাস *(Chloropseudomonas)* এরা আলোকিত জায়গায় H_2S সমন্বিত মাধ্যমে জন্মায়। এদের ব্যাকটিরিও ভিরিডিন (bacterio viridin) বা ব্যাকটিরিওপারপিউরিন (Bacterio purpurin) থাকে এবং এদের ক্লোরোফিলকে ক্লোরোবিয়াম ক্লোরোফিল বলা হয়।

ii) বেগুনী লোহিত সালফার ব্যাকটিরিয়া (Purple Sulphur Bacteria) ঃ ক্রোম্যাটিয়াম *(Chromatium)* এবং থায়োস্পাইরিলাম *(Thiospirium)* সাধারণত সবুজ সালফার ব্যাকটিরিয়ার সাথেই অবস্থান করে। এদের ক্ষেত্রে ব্যাকটিরিও ক্লোরোফিল (bacterio chlorophyll) - a - 3 - b - নামে দুটি রঞ্জক পদার্থ ছাড়াও প্রচুর পরিমাণে ক্যারটিনয়েড (Carotenoid) যৌগ পাওয়া যায়।

iii) সালফারবিহীন ব্যাকটিরিয়া (Non-Sulphur bacteria) : সাধারণত বদ্ধ জলাশয়ে, কাদামাটিতে এই ব্যাকটিরিয়া পাওয়া যায়। এরা সম্পূর্ণভাবে অবাতশ্বসনকারী ও অ্যালকোহলের উপস্থিতিতে কার্য করে। রোডোস্পাইরিলাম *(Rhodospirillum)* এবং রোডোসিউডোমোনাস *(Rhodopseudomonas)* এই শ্রেণীভুক্ত ব্যাকটিরিয়া।

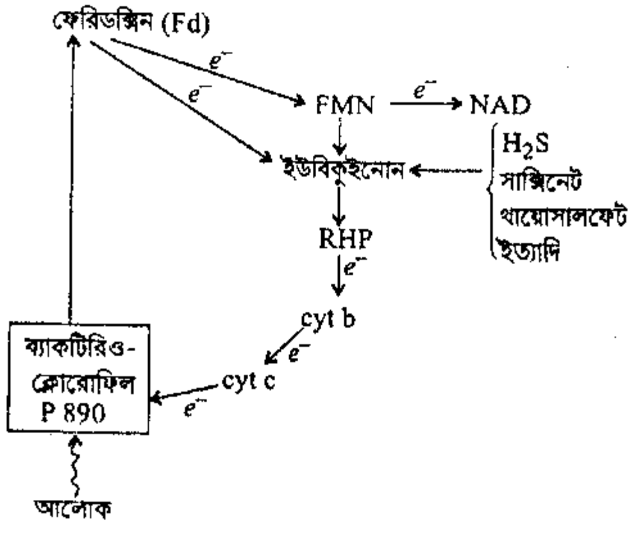
15.4.2 ব্যাকটিরিয়ার সালোকসংশ্লেষের স্থান ঃ

ক্রোমাটোফোর ঃ সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটিরিয়ায় প্রকৃত কোন অঙ্গাণু অনুপস্থিত থাকে। আদর্শ ক্লোরোপ্লাস্ট না থাকলেও সালোকসংশ্লেষের প্রয়োজনীয় রঞ্জক পদার্থ (Pigment) প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 500-600 Å ব্যাসযুক্ত থলির মতো ভেসিক্‌ল (Vesicle) গঠন করে। বিজ্ঞানী স্ট্যানিয়র (Stanier) ও তাঁর সহকর্মীরা 1952 খ্রীষ্টাব্দে এই ভেসিকল্‌গুলিকে ক্রোমাটোফোর (Chromatophore) আখ্যা দেন। প্রতিটি ক্রোমাটোফোর কতকগুলি সালোকসংশ্লেষকারী একক (photosynthetic unit) এর সমন্বয়ে গঠিত।

15.4.3 ব্যাকটিরিয়ার সালোকসংশ্লেষে পদ্ধতি (Mechanism) ঃ

ব্যাকটিরিয়ার সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিকে সরলভাবে ব্যাখ্যা করার জন্য প্রধানত দুটি পর্যায়ে ভাগ করা হয়েছে— i) আলোক দশা 2) কার্বন-আত্তীকরণ.

1) আলোকদশা ঃ বিজ্ঞানী ভার্নন (Vernon) 1964 খ্রীষ্টাব্দে ব্যাকটিরিয় সালোকসংশ্লেষের আলোকদশার ইলেকট্রন প্রবাহ প্রদর্শন করেন। তাঁর মতে ব্যাকটিরিওক্লোরোফিলে আলোক পড়ামাত্র একাধিক ক্লোরোফিল অণু



চিত্র ঃ 15.4.2.1 : ব্যাক্‌টিরিয়ায় সালোকসংশ্লেষের সময় ইলেকট্রন স্থানান্তরণ যেভাবে ঘটে তা দেখান হচ্ছে। এখানে FN = ফ্ল্যাভোপ্রোটিন, RHP = রোডোস্পাইরিলাম হিম পোরটিন এবং Cyt b ও Cyt c যথাক্রমে সাইটোক্রোম b ও c সাইটোক্রোম নির্দেশ করছে।

কর্তৃক শোষিত আলোকশক্তি এর বিক্রিয়া কেন্দ্রে 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 (feredoxin) এবং ফ্ল্যাভোপ্রোটিন (flevoprotein) এর মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে NAD^+ কে বিজারিত করে। ফেরেডক্সিন NAD রিডাক্টেজ (terredoxin NAD reductase) নামক উৎসেচকের উপস্থিতিতে এই বিজারণ ঘটে এবং NAD^+ থেকে NADH + H^+ উৎপন্ন হয়।

কিছু ক্ষেত্রে ইউবিকুইনোন (ubiquinone) নামক অন্য একটি ইলেকট্রন গ্রহীতা ফেরেডক্সিন বা FMN থেকে ইলেকট্রনটি গ্রহণ করে নেয় এবং সেক্ষেত্রে ইলেকট্রনটি NAD^+ কে বিজারিত না করে রোডোস্পাইরিলাম হিম প্রোটিন *(Rhodosperillum haeme protein RHP)* যৌগে স্থানান্তরিত হয়। এই RHP থেকে একাধিক সাইটোক্রোম (Cytochrome b বা Cyt b এবং Cytochrome C_2 বা Cyt C_2)-এর মাধ্যমে ইলেকট্রনটি ব্যাকটিরিওক্লোরোফিলে (B. Chl.) ফিরে আসে। যে চক্রাকার পথে ইলেকট্রনটি প্রবাহিত হয় তা হল— BChl (P_{890}) → Fd → ইউবিকুইনন → RHP → Cyt b → Cyt C_2 → P_{890}

সাক্সিনেট / ফিউমারেট বা থায়োসালফেট উপস্থিত থাকলে ইলেকট্রন স্থানান্তরণ হল—

সাক্সিনেট/ফিউমারেট/থায়োসালফেট H_2S → ইউবিকুইনন → RHP → Cyt b ↓

NAD^+ ← FMN ← Fd ← Bchl ← Cyt C_2

ব্যাকটিরিয়াতে প্রধানত চক্রাকার ফটোফসফরাইলেশন উপস্থিত থাকলেও নোকাজী ও তাঁর সহকর্মীরা 1961 খ্রীষ্টাব্দে পরীক্ষার মাধ্যমে অচক্রাকার ফটোফসফরাইলেশন এর অস্তিত্ব প্রমাণ করেন। বিজ্ঞানী ফগ (Fog), 1968 খ্রীষ্টাব্দে তেজস্ক্রিয় কার্বন (14C) এর সাহায্যে প্রমাণ করে দেখান যে, রোডোস্পাইলিাম রুব্রাম *(Rhodospirillum rubrum)* এবং থায়োব্যাসিলাস *(Thiobacillus)* সহ একাধিক ব্যাকটিরিয়ায় কার্বন বিজারণ উন্নত উদ্ভিদের মতন কেলভিন চক্রের মাধ্যমে সম্পন্ন হয় এবং এই পদ্ধতিতে আলোক দশায় উদ্ভূত ATP ও NADPH ব্যবহৃত হয়।

15.4.4 ব্যাকটিরিয়া ও উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষের তুলনা ঃ

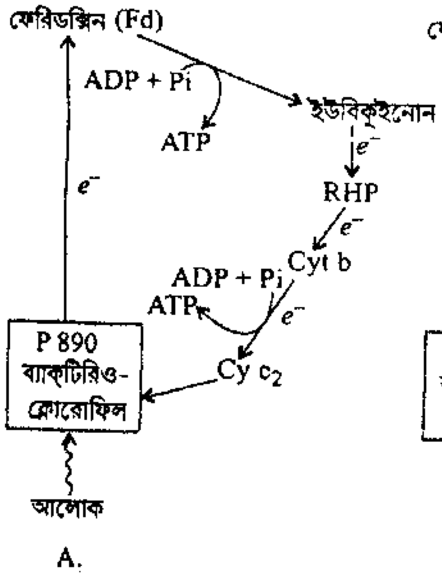
1) ব্যাকটিরিয়া এবং সবুজ উদ্ভিদ, উভয় ক্ষেত্রেই শোষিত আলোকশক্তি একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়াকেন্দ্রে (Reaction centre) এসে পৌঁছয়।

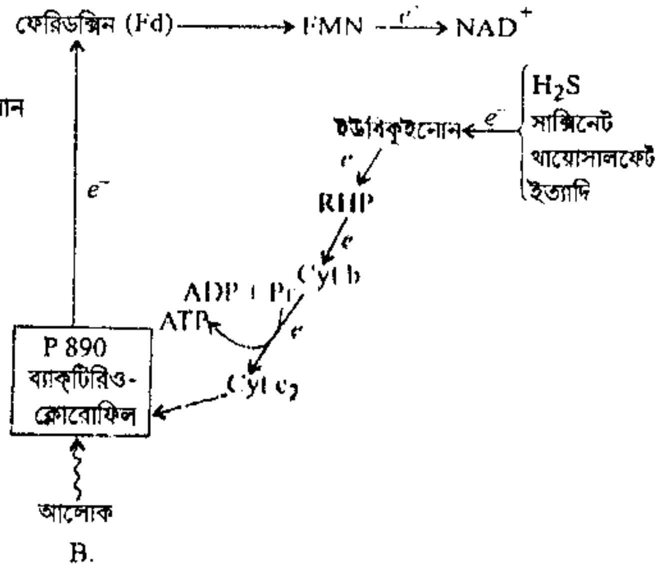
2) রঞ্জক পদার্থ সংক্রান্ত সাদৃশ্য বর্তমান

3) চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফরাইলেশন উভয় উদ্ভিদেই পরিলক্ষিত হয়।

4) ইলেকট্রন স্থানান্তরণের সময় ইলেকট্রন গ্রহীতার প্রকৃতিগত মিল খুঁজে পাওয়া যায়।

5) আলোকের উপস্থিতিতে ATP এবং NADPH বা NADH প্রস্তুত হয়।





ব্যাকটিরিয়া ও উন্নত উদ্ভিদে সালোকসংশ্লেষের তফাৎ ঃ

ব্যাক্‌টিরিয়া	সবুজ উদ্ভিদ
1. কোন নির্দিষ্ট ক্লোরোপ্লাস্ট নেই।	1. সুগঠিত ক্লোরোপ্লাস্ট থাকে।
2. প্রধান রঞ্জকপদার্থ ব্যাক্‌টিরিওক্লোরোফিল (bacteriochlorophyll), ব্যাকটিরিও-ভিরিডিন (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 mm) অর্থাৎ অবলোহিত (infra-red)।	3. অপেক্ষাকৃত কম তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোক (540-700 mm) শোষিত হয়।
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)।

ব্যাক্টিরিয়া	সবুজ উদ্ভিদ
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 বিজারক 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।

15.5 সালোকসংশ্লেষের গতি নির্ধারক শর্তাবলী ঃ

সালেকসংশ্লেষের গতি নির্ধারক শর্তাবলীর মধ্যে আলোক, কার্বণ–ডাই–অক্সাইড, উষ্ণতা, অক্সিজেন, জল, ক্লোরোফিল, প্রোটোপ্লাজম, পাতার অভ্যন্তরীণ গঠন প্রধান।

আলোক ঃ আলোকের তীব্রতা, স্থিতি ও প্রকারভেদ সালোকসংশ্লেষকে প্রভাবিত করে, বর্ণালীর নির্দিষ্ট বর্ণে সালোকসংশ্লেষ ঘটে। আলোকের তীব্রতা বৃদ্ধি সালোকসংশ্লেষের গতিবৃদ্ধি করে। তবে একটি নির্দিষ্ট মাত্রার উপরে একটি সম্পৃক্তি অর্জিত হয় এবং অধিক তীব্রতা বৃদ্ধিতে সালোকসংশ্লেষের ধনাত্মক বৃদ্ধি পরম ও প্রক্রিয়াটি সাম্য লাভ করে।

আলোকের যে তীব্রতায় সালোকসংশ্লেষে গৃহীত CO_2এর পরিমাণ ও শ্বসনে উদ্ভূত CO_2 পরিমাণ সমান হয় তাকে কমপেনসেশন পয়েন্ট বলে।

আলোকের তীব্রতা একটি নির্দিষ্ট মাত্রা অতিক্রম করলে অপর একটি ঘটনা পরিলক্ষিত হয় তাকে ফোটোঅক্সিডেশন বলে। পূর্বোক্ত ঘটনাটিকে সোলোরাইজেশনও বলা হয়।

অক্সিজেন ঃ 1920 সালে বিজ্ঞানী ওয়ারবার্গ (Warburgm 1920) প্রথম প্রমাণ করেন অক্সিজেনের উপস্থিতিতে সালেকসংশ্লেষের হার হ্রাসপ্রাপ্ত হয়। ইহাকেই ওয়ারবার্গ প্রভাব (Warburg effect) বলে। |1971 সালে অরগেন এবং বয়েস (Orgen and Boyes, 1971) ঘটনাটির প্রকৃত ব্যাখ্যা দেন। অক্সিজেনের উপস্থিতিতে রাইবিউলোজ বিস্ ফসফেট কার্বক্সিলেজ উৎসেচকটি এবং অক্সিজিনেজ হিসাবে কার্য করে ও RuBP কে ফসফোগ্লাইকোলিক অ্যাসিডে পরিণত করে। এক্ষেত্রে O_2 এবং CO_2এই উৎসেচকটির ক্ষেত্রে প্রতিযোগীতামূলক

কার্য করে এবং এর ফলে কার্বণসংশ্লেষ এবং শর্করা উৎপাদন ব্যাহত হয়। এই ঘটনাটি আলোকশ্বসনের (photorespiration) একটি আলো এবং C_3 উদ্ভিদে একটি উল্লেখযোগ্য ঘটনা হলেও C_4 উদ্ভিদে আলোকশ্বসন পরিলক্ষিত হয় না যেহেতু প্রচুর পরিমাণে ম্যালিক ও অ্যাসপারটিক অ্যাসিডের উপস্থিতি CO_2এর মাত্রা বাড়িয়ে দিয়ে বান্ডিল শিদ্ অঞ্চলে আলোকশ্বসনকে প্রতিরোধ করে।

কার্বণ-ডাই-অক্সাইড ঃ যেহেতু কার্বণ-ডাই-অক্সাইড সালেকসংশ্লেষে একটি কাঁচামাল হিসাবে কাজ করে সেহেতু ইহার পরিমাণ পদ্ধতিটিকে বিশেষভাবে নিয়ন্ত্রণ করে। পরিবেশের সঙ্গে সামঞ্জস্য রেখে বায়ুমণ্ডলে ইহার পরিমাণ 0.03% যা সালোকসংশ্লেষের ক্ষেত্রে একটি সীমাস্থ প্রভাবক হিসাবে কাজ করে।

গোল্ডলিউস্কি (1873) খ্রীষ্টাব্দে দেখান যে CO_2 এর পরিমাণ বৃদ্ধির সঙ্গে সালোকসংশ্লেষের একটি ধনাত্মক সম্পর্ক বর্তমান। **ট্রিটিকাম স্যাটাইভাম** (Triticum Sativum) এর ক্ষেত্রে 0.15% CO_2এর উপস্থিতিতে সর্বাধিক হার লক্ষিত হয়।

ক্লোরোফিল ঃ ক্লোরোফিলের পরিমাণ সালোকসংশ্লেষের হার বৃদ্ধিতে একটি ধনাত্মক ভূমিকা গ্রহণ করে। ইহাই আলোকসংগ্রাহক (photorecepter) এবং আলোক ফাঁদ হিসাবে কাজ করে। প্রত্যেক ক্লোরোপ্লাস্টে উপস্থিত এবং এর দ্বারা প্রোটিন সংশ্লেষের মাধ্যমে অণু পরিমাণকে ধ্রুবক রাখা সম্ভব হয়। সিরোনভাল (Sirouval, 1963) তেজস্ক্রিয় L অ্যামাইনো লিভিউলিনিক অ্যাসিড (L-amino-levulinic acid) এর মাধ্যমে সোয়াবিনের ক্ষেত্রে ক্লোরোপ্লাস্টের অংশগুলির দ্রুত পুনর্গঠন প্রদর্শন করেন।

প্রোটোপ্লাজমিক প্রভাবক ঃ প্রোটোপ্লাজমে উপস্থিত বিভিন্ন প্রভাবক সমূহ সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে প্রভাবিত করে।.কতকগুলি উৎসেচক এক্ষেত্রে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে।

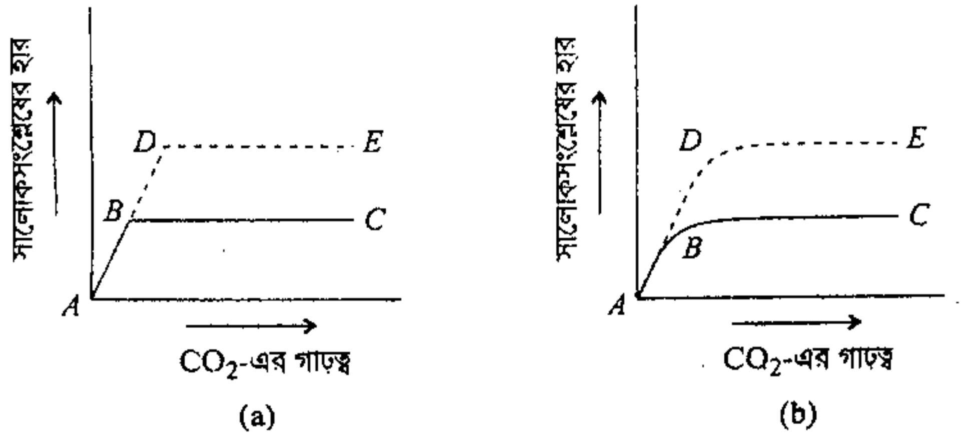
প্রোটোপ্লাজমিক উৎসেচক সমূহ, পত্রের গঠন, উৎসেচক সমূহ এবং জীনগত বৈশিষ্ট্য একটি উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষকে প্রভাবিত করে।

সালোকসংশ্লেষের বহিঃপ্রভাবকগুলি যেমন আলোক, কার্বন-ডাই-অক্সাইড, তাপমাত্রা, জল প্রভৃতি সালোকসংশ্লেষের হারকে নিয়ন্ত্রণ করে। বিজ্ঞানীরা এই প্রভাবকের ফলাফলগুলি একসঙ্গে বিবেচনা না করে প্রতিটি প্রভাবককে পৃথক পৃথক ভাবে সালোকসংশ্লেষের বিচারে 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 পৌঁছায়, তখন প্রভাবকের সেই অবস্থাকে পরম প্রভাবক বলে। সালেকসংশ্লেষসহ 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 খ্রীষ্টাব্দে একটি তত্ত্ব উপস্থাপন করেন।

15.5.1 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 ব্ল্যাক্‌মান (Blackman), 1905 খ্রীষ্টাব্দে 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.")

ব্ল্যাক্‌ম্যান (Blackman) তাঁর এই সূত্রটি যেভাবে একটি লেখাচিত্রের (graph) সাহায্যে ব্যাখ্যা করে বুঝিয়েছেন তা চিত্র নং 15.5(a)-এ দেখান হল। এই লেখচিত্রে তিনি ভুজ (abscissa) তে কার্বণ-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 অনুস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ সম্পূর্ণ বন্ধ থাকে। এবার ঐ একই আলোক তীব্রতায় যদি ঘন্টাপ্রতি 1 mg Co_2 প্রবেশ করানো হয়, তবে সালোকসংশ্লেষ শুরু হয়। আলোক তীব্রতা একই রেখে Co_2-র পরিমাণ প্রতি ঘন্টায় 1 থেকে 5 mg পর্যন্ত বাড়ানো হলে সালোকসংশ্লেষের হার লেখচিত্রের *AB* অংশ বরাবর সমানভাবে বৃদ্ধি পেতে থাকে। ঐ একই (same) 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) সীমান্থ 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 করলে (double) সালোকসংশ্লেষের হার একটি নির্দিষ্ট সীমারেখা (certain limit) পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়, যা লেখাচিত্রে *BD* অংশে দেখান হয়েছে, কিন্তু ঐ হার পুনরায় ভুজের সমান্তরাল বরাবর *(DE)* হয়ে যায়।



চিত্র নং 15.5 সালোকসংশ্লেষের সীমান্থ প্রভাবক ও ব্ল্যাক 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 খ্রীষ্টাব্দে ব্ল্যাক্‌ম্যানের এই তত্ত্বের সমালোচনা (criticism) করেন। তাঁরা ব্ল্যাক্‌ম্যানের সূত্রের কোন সংশোধন না করে তাঁর প্রস্তাবিত লেখচিত্রের র সামান্য পরিবর্তন করেন। তাঁদের মতে সালেকসংশ্লেষে বৃদ্ধির হার হঠাৎ বন্ধ হয়ে (লেখচিত্রের *B* ও *D* স্থানে) সমান্তরাল (parallel) অবস্থায় না এসে বৃদ্ধির হার ক্রমশঃ কমতে কমতে সমান্তরাল অবস্থায় এসে পৌঁছায়। তাঁদের এই পরিবর্তিত লেখচিত্র চিত্র নং 15.5-এর b অংশে দেখানো হল।

15.6 সারাংশ ঃ

সালোকসংশ্লেষ হল একমাত্র পদ্ধতি যায় 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-অক্সাইডের ও 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_2এর বিজারণ ঘটে এবং শর্করা তৈরি হয়।

বিজ্ঞানী ব্ল্যাক্‌ম্যান (Blackman), 1905 খ্রীষ্টাব্দে সর্বপ্রথম প্রমাণ করে দেখান যে সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি দুইটি পৃথক পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। এর একটির 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 কার্বণ-ডাই-অক্সাইড বিজারিত হয়ে শর্করা (carbodydrate) 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 nmএর 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 দশায় দুইটি রঞ্জকতন্ত্র (photosystem) পৃথকভাবে কাজ করে। এর একটি 680 nm-এর বেশী তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে (রঞ্জকতন্ত্র I বা photosystem I বা PS I) এবং অপরটি 680 nm-এর সমান তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলোকে (রজকতন্ত্র 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 তৈরী হয়। আলোক শক্তিকে ব্যবহার করে ATP প্রস্তুতির এই ঘটনাকে ফটোফসফোরাইলেশন (photophosphorylation) বলা হয়। সাধারণতঃ দুভাবে এই ফটোফসফোরাইলেশন ঘটে থাকে। এর প্রথমটি হল অচক্রাকার ফটোফসফোরাইলেশন (non-cyclic photophosphorylation) 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 বন্ধ এবং চক্রাকার পথে স্থানান্তরিত হয়। এভাবে সালোকসংশ্লেষের আলোক দশায় শোষিত আলোক শক্তির কিছুটা অংশ ATP প্রস্তুতিতে ব্যবহার হয় এবং বাকি শক্তি NADPকে বিজারিত করে NADPH তৈরী 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 ভেঙ্গে হাইড্রোজেন (H^+) ইলেকট্রন (e^-) এবং অক্সিজেন উৎপন্ন হয়।

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

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 সালোকসংশ্লেষে 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_3চক্রও (C_3 cycle) বলা হয়। দ্বিতীয়টি হল হ্যাচ্ এবং স্ল্যাক্ চক্র (Hatch and Slack clcle) 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_4চক্র (C_4 cycle) আখ্যা দেওয়া হয়, চক্রের প্রান্তভাবে 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 ধরণের কার্বণ সংবন্ধন পদ্ধতির নাম অনুসারে উন্নত উদ্ভিদদেরও যথাক্রমে C_3 উদ্ভিদ, C_4উদ্ভিদ এবং CAM উদ্ভিদ আখ্যা দেওয়া হয়। নাতিশীতোষ্ণ (temperate) অঞ্চলে জন্মানো অধিকাংশ উদ্ভিদই C_3 প্রজাতিভুক্ত। 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 বান্ডিল (vascular bundle) পরিবেষ্টিত বান্ডিল 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 উদ্ভিদের থেকে বেশি। প্রতি বর্গ এককে (unit area) ফলনও (productivity) বেশি হওয়ায় কৃষিক্ষেত্রে C_4 উদ্ভিদের ভূমিকা উল্লেখযোগ্য। অপরদিকে CAM উদ্ভিদে 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 প্রাচুর্য্য পেলে এরা C_3 উদ্ভিদের মত 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 এ Co_2 গ্রহণ (carboxylation) এবং শর্করা উৎপাদন (carbohydrate synthesis) দুটি ভিন্ন সময়ে (যথাক্রমে রাত্রে এবং দিবালোকে) ঘটে, অপরদিকে উদ্ভিদে উপরোক্ত ঐ একই ঘটনা দুটি দুটি ভিন্ন প্রকোষ্ঠে (compartment)এ (যথাক্রমে মেসোফিল কোষে এবং বান্ডিল আবরণী কোষে) সংগঠিত হয়।

উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদ ছাড়া নিম্নশ্রেণীর কিছু ব্যাক্টিরিয়াও সালোকসংশ্লেষ করতে পারে। এদের সুগঠিত ক্লোরোপ্লাস্ট না থাকলেও ক্রোমাটোফোরে ব্যাক্টিরিওক্লোরোফিল 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। ব্যাক্টিরিয়ার সালোকসংশ্লেষে জলের জারণ না ঘটায় অক্সিজেন উদ্ভব হয় না।

15.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী ঃ

1. সালোকসংশ্লেষ বলতে কী বোঝায়? সালোকসংশ্লেষে ব্যবহৃত রঞ্জকগুলির বর্ণনা দিন।
2. সালোকসংশ্লেষের দশা কটি ও কী কী? হিল বিক্রিয়া ও অক্সিজেন নির্গমণ সম্পর্কে লিখুন।
3. লোহিত চ্যুতি কী? ইলেকট্রন স্থানান্তরণ ও বিজারণ সম্পর্কে লিখুন।
4. চক্রাকার ও অচক্রাকার ফটোফসফোরা ইলেশনের পার্থক্য উল্লেখ করুন।
5. অন্ধকার দশায় বিক্রিয়াক্রম সম্পর্কে ধারণা দিন।
6. উদ্ভিদের বৈশিষ্ট্যগুলি বর্ণনা করুন।
7. CAM পদ্ধতিতে কার্বন সংবন্ধনের তাৎপর্য লিখুন।
8. সীমান্ত প্রভাবক বলতে কী বোঝায়? ব্ল্যাকম্যানের নিয়ন্ত্রক প্রভাবকারী সূত্রটি উদাহরণসহ ব্যাখ্যা করুন।
9. সংক্ষিপ্ত টীকা লিখুন ঃ

   a. প্রয়োজনীয় কোয়ান্টাম, b. হিলবিক্রিয়া, c. দৃশ্যমান আলোকবর্ণালী, d. সালোকসংশ্লেষ প্রতিরোধক,

   e. এমারসন প্রভাব, f. ওয়ারবার্গ এফেক্ট কী?

15.8 উত্তরমালা ঃ

অনুশীলনী ঃ 1

1. a > অক্সিজেন, b> রাসায়নিক শক্তি, c> জল, d> ক্রোমাটোফোর, e> 680 nm এর বেশী।

2. a> সালোকসংশ্লেষের সময় শর্করা উৎপন্ন হয়।

b> সালোকসংশ্লেষে সৌরশক্তি খাদ্যের মধ্যে রাসায়নিক শক্তিতে আবদ্ধ হয়।

c> সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদ CO_2 গ্রহণ করে ও O_2 ত্যাগ করে।

3. 1.5.3.5 এর প্রথম অংশ দেখুন।

২. 15.2.2 এর B. ক্যারোটিনসেড্ দেখুন।

3. 15.2.2 এর প্রথম অনুচ্ছেদ দেখুন।

4. 15.3.2.1 এর দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ দেখুন।

5. 15.3.2.1 এর শেষ অনুচ্ছেদ দেখুন।

6. 15.2.3 অংশে মাঝামাঝি অংশ দেখুন।

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী ঃ

উত্তরমালা ঃ

1. প্রস্থাবনা অংশটি দেখুন। 15.2.2 অংশটিতে চিত্রসহ বর্ণনা দেওয়া আছে।

2. প্রথম অংশের জন্য 15.3.1 দেখুন। দ্বিতীয় অংশের জন্য 15.3.2.1 অংশ দেখুন।

3. 15.3.2.1 এর দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ দেখুন। দ্বিতীয় অংশের জন্য 15.3.4 দেখুন।

4. 15.3.5.3 অংশটি দেখুন।

5. 15.3.6 অংশটি দেখুন।

6. 15.3.7.1 অংশটিতে বিশদ বর্ণনা রয়েছে।

7. 15.3.8.3 অংশটিতে বিশদ বর্ণনা রয়েছে।

8. 15.5.1 অংশটিতে আলোচনা করা হয়েছে।

9. a. 15.2.3 দেখুন b. 15.3.2.1 দেখুন c. 15.2.3 দেখুন d. 15.3.8.3 এর পরে উলিখিত আছে। e. 15.3.2.1 এ উল্লিখিত আছে। f. 15.5 অংশ দেখুন।

একক - 16 : শ্বসন

গঠন

16.1 প্রস্তাবনা

16.2 উদ্দেশ্য

16.3 শ্বসনের প্রকারভেদ

16.3.1 অবাত শ্বসন

16.3.2 সন্ধান শ্বসন

16.3.3 সবাত শ্বসন

16.4 গ্লাইকোলাইসিস

16.5 ক্রেবসের অম্ল চক্র

16.6 ইলেকট্রন পরিবহণতন্ত্র

16.7 পেন্টোজ ফসফেট পথ

16.8 শ্বাস অনুপাত

16.9 সারাংশ

16.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

16.11 উত্তরমালা

16.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য ঃ—

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।

16.2 উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- শ্বসনের প্রকারভেদ সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- গ্লুকোজ অণু কিভাবে গ্লাইকোলাইসিস প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিশ্লিষ্ট হয়ে পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে তা আলোচনা করতে পারবেন।
- ক্রেবসের অম্ল চক্রের বিভিন্ন পর্যাগুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- ইলেকট্রন পরিবহণতন্ত্র কিভাবে ATP উৎপাদন করে তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- শ্বসনের বিকল্প পথগুলির উদাহরণ দিতে পারবেন।
- বিভিন্ন খাদ্যবস্তুর জারণের সঙ্গে শ্বাস অনুপাতের সম্পর্ক নির্ণয় করতে পারবেন।
- পরিশেষে, শ্বসনের সার্বিক গুরুত্ব সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

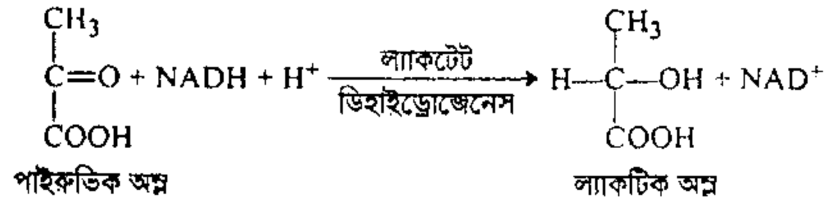
16.3 শ্বসনের প্রকারভেদ ঃ

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 প্রধানতঃ তিন ভাগে ভাগ করা হয়।

16.3.1 অবাত শ্বসন ঃ

উচ্চশ্রেণীর জীবে O_2 এর অনুপস্থিতিতে খাদ্যবস্তুর যে প্রক্রিয়ায় আংশিকভাবে জারিত হয়ে ল্যাকটিক অম্ল ও স্বল্প পরিমাণ তাপশক্তি নির্গত করে তাকে অবাত শ্বসন বলে।

একটি বিষয় আমাদের মনে রাখতে হবে যে সমস্ত প্রকার শ্বসনেই গ্লাইকোলাইসিস একটি সাধারণ 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 অম্লকে $NADH+H^+$ দিয়ে বিজারিত করে ল্যাকটিক অম্ল উৎপন্ন করে।



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 পরিমাণের O_2 পেলে সবাত শ্বসন শুরু করে এবং কোষ থেকে ধীরে ধীরে বিষাক্ত ল্যাকটিক অম্ল অপসারিত হয়।

16.3.2 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 16.1 ঃ বিভিন্ন সন্ধানকারী অণুজীবের নাম ও উৎপাদিত জৈব যৌগ

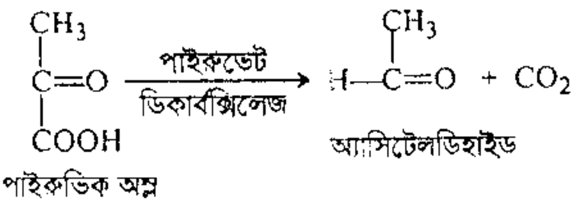
	অণুজীবের নাম	*উৎপাদিত জৈব যৌগ*
(i)	*Saccharomyces cerevisiae*	ইথাইল অ্যালকোহল
(ii)	*Bacillus sp., Lactobacillus sp.*	ল্যাকটিক অম্ল
(iii)	*Propionibacterium sp.*	প্রোপিয়োনিক অম্ল
(iv)	*Clostridium sp.*	বিউটিরিক অম্ল
(v)	*Escherichia coli*	অ্যাসিটিক অম্ল, ল্যাকটিক অম্ল, ফরমিক অম্ল

অ্যালকোহল সন্ধানের সামগ্রিক বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ ঃ

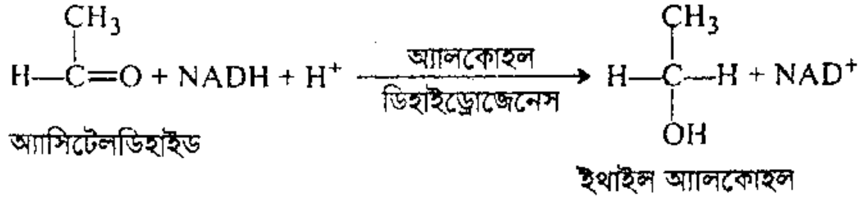
$$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2 + 27\ kcal$$

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

i)



ii)



যে সন্ধান প্রক্রিয়ায় কেবলমাত্র ল্যাকটিক অম্ল উৎপন্ন হয় তাকে হোমোল্যাকটিক সন্ধান বলে এবং যে পদ্ধতিতে ল্যাকটিক 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 লক্ষ্য করা যায়।

ii) O_2 এর উপস্থিতিতে অবাত শ্বসনকারী জীব সবাত শ্বসন শুরু করে কিন্তু 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 হওয়ার কোষে কোনো বিষক্রিয়া দেখা যায় না। এছাড়া সন্ধান প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন যৌগগুলিকে আমরা শিল্পজাত পদার্থরূপে ব্যবহার করতে পারি যা অবাত শ্বসনের ক্ষেত্রে সম্ভব নয়।

16.3.3 সবাত শ্বসন

কোষের সাইটোপ্লাজমে যে উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে গ্লুকোজ বা ফ্রাকটোজ জাতীয় ছয় 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 পর্যাগুলি নিম্নরূপ ঃ

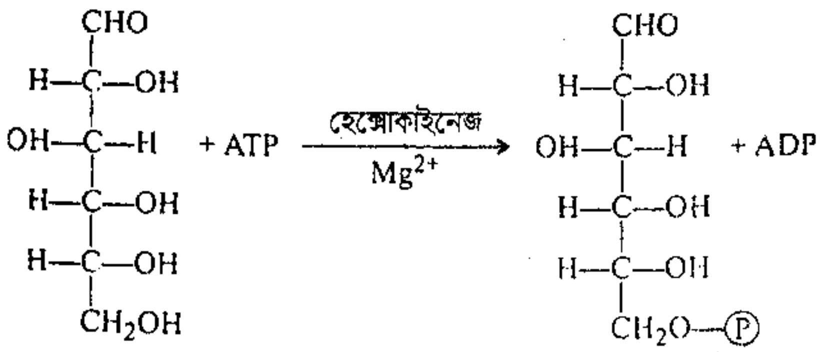
$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 673 \text{ kcal}$$

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

16.4 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 আদ্যক্ষর অনুসারে একে EMP পথও বলা হয়। গ্লুকোজ থেকে পাইরুভিক অম্ল উৎপাদনের পর্যায়গুলি নিম্নরূপ ঃ

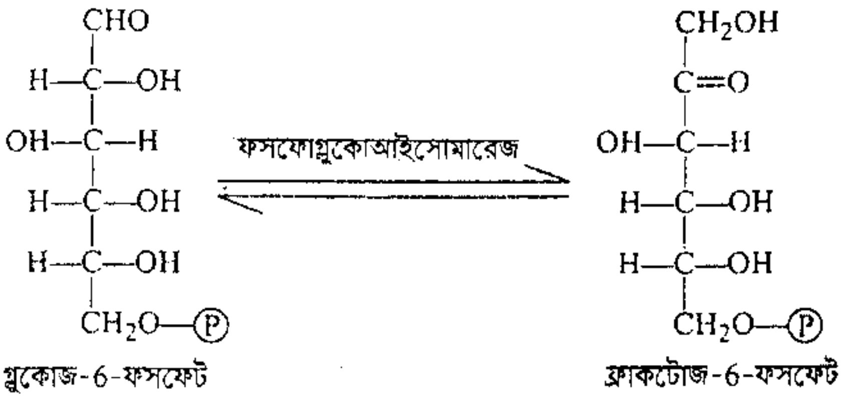
I) প্রথম পর্যায়ে গ্লুকোজ অণু একটি ATP অণুর সাথে যুক্ত হয়ে গ্লুকোজ-6 ফসফেট ও ADP উৎপন্ন করে। হেক্সোকাইনেজ উৎসেচকটি এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।



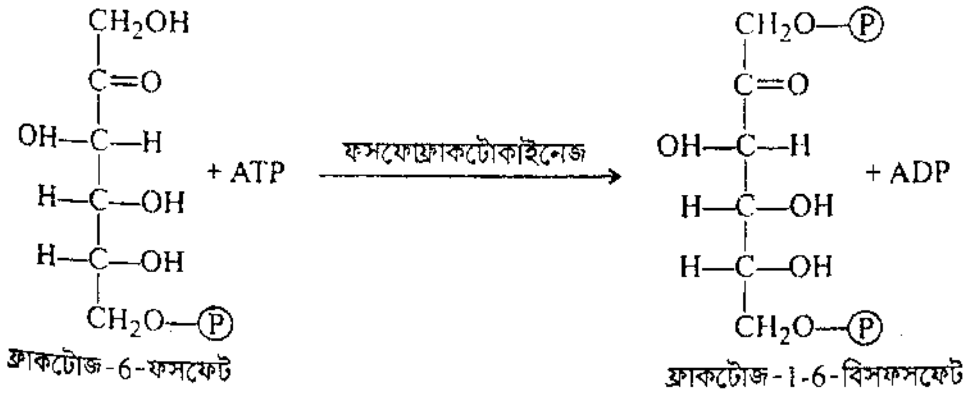
গ্লুকোজ গ্লুকোজ-6-ফসফেট

[P = H_2PO_3]

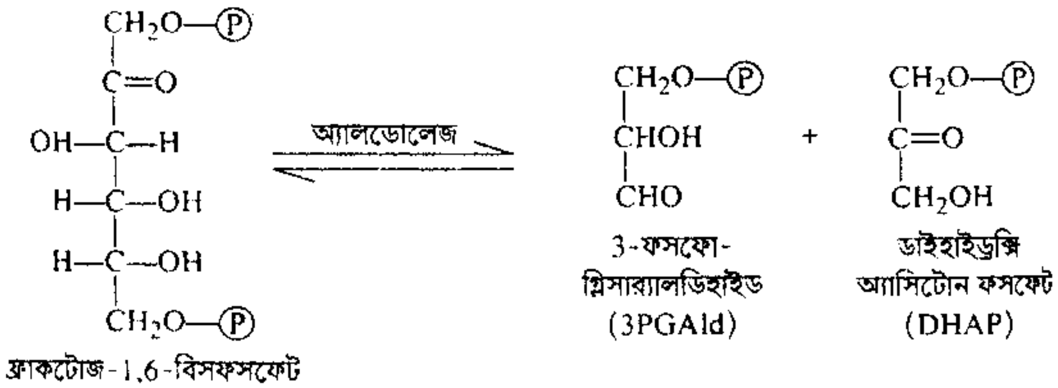
2) পরবর্তী পর্যায়ে গ্লুকোজ-6-ফসফেট, ফসফোগ্লুকোআইসোমারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে ফ্রাকটোজ-6-ফসফেটে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়ায় গ্লুকোজের অ্যালডোজ মূলক ফ্রাকটোজের কিটো মূলকে রূপান্তরিত হয়।



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।



4) গ্লাইকোলাইসিসের এই পর্যায়ে ফ্রাকটোজ -1-6 বিসফসফেট (6C) অ্যালডোলেজ উৎসেচকের মাধ্যমে বিশ্লিষ্ট হয়ে দু'টি তিন কার্বনযুক্ত যৌগ তৈরী করে। এই যৌগ দুটির একটি 3- ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড নাম অ্যালডোজ শর্করা ও অপরটি ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট নাম কিটো শর্করা ও অপরটি ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসফেট নাম কিটো শর্করা।



5) এই ধাপটি 3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সি অ্যাসিটোন ফসপেট নিজেদের মধ্যে রূপান্তরিত হয়। ফসফোট্রায়োজ আইসোমারেজ উৎসেচকের মাধ্যমে এই রূপান্তর ঘটে।

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

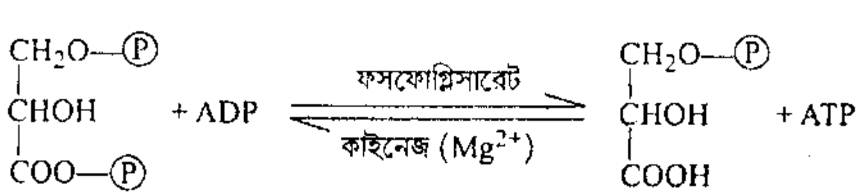
গ্লাইকোলাইসিসের পরবর্তী পর্যাগুলি 3PGALD থেকে সম্পন্ন হয়। একটি বিষয় মনে রাখা দরকার যে এক অণু গ্লুকোজ (6C) থেকে দু' অণু 3PGALD (3C) উৎপন্ন হয়। কাজেই 3PGALD থেকে পরবর্তী পর্যায়ে যে যৌগগুলি উৎপন্ন হবে এক অণু গ্লুকোজ থেকে হিসাব করলে তাদের পরিমাণ সর্বদাই দ্বিগুণ হবে।

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

$$\text{3-ফসফোগ্লিসার্যালডিহাইড} + NAD^+ + H_2PO_4$$
$$\rightleftharpoons \text{1, 3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল} + NADH + H^+$$

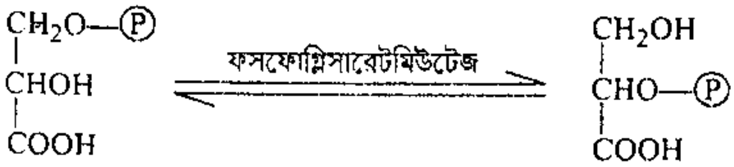
এই বিক্রিয়াটি দুটি পর্বে ঘটে। প্রথমে 3- ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারিত হয়ে 3- ফসফোগ্লিসারিক অম্ল তৈরি করে। এর পরের পর্বে এই জারণ প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত শক্তির কিছুটা অংশের সাহায্যে এক অণু H_3PO_4-এর সঙ্গে বিক্রিয়ার ফলে উচ্চশক্তিসম্পন্ন 1, 3 বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল প্রস্তুত হয়।

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



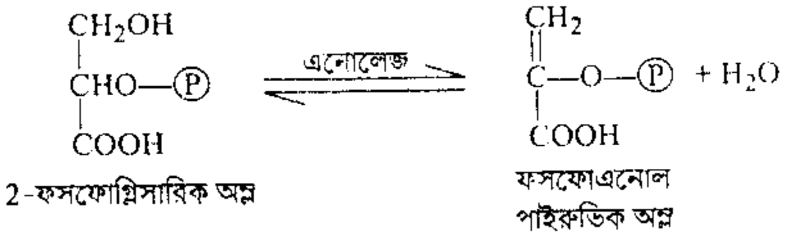
1,3-বিসফসফোগ্লিসারিক অম্ল   3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

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।

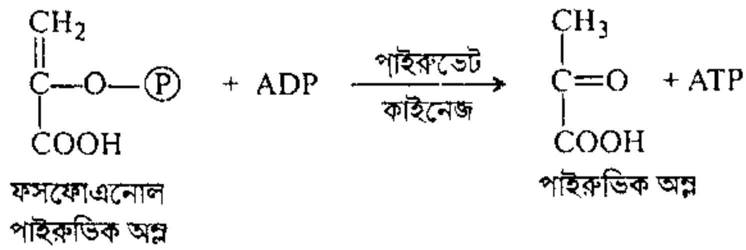


3-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল   2-ফসফোগ্লিসারিক অম্ল

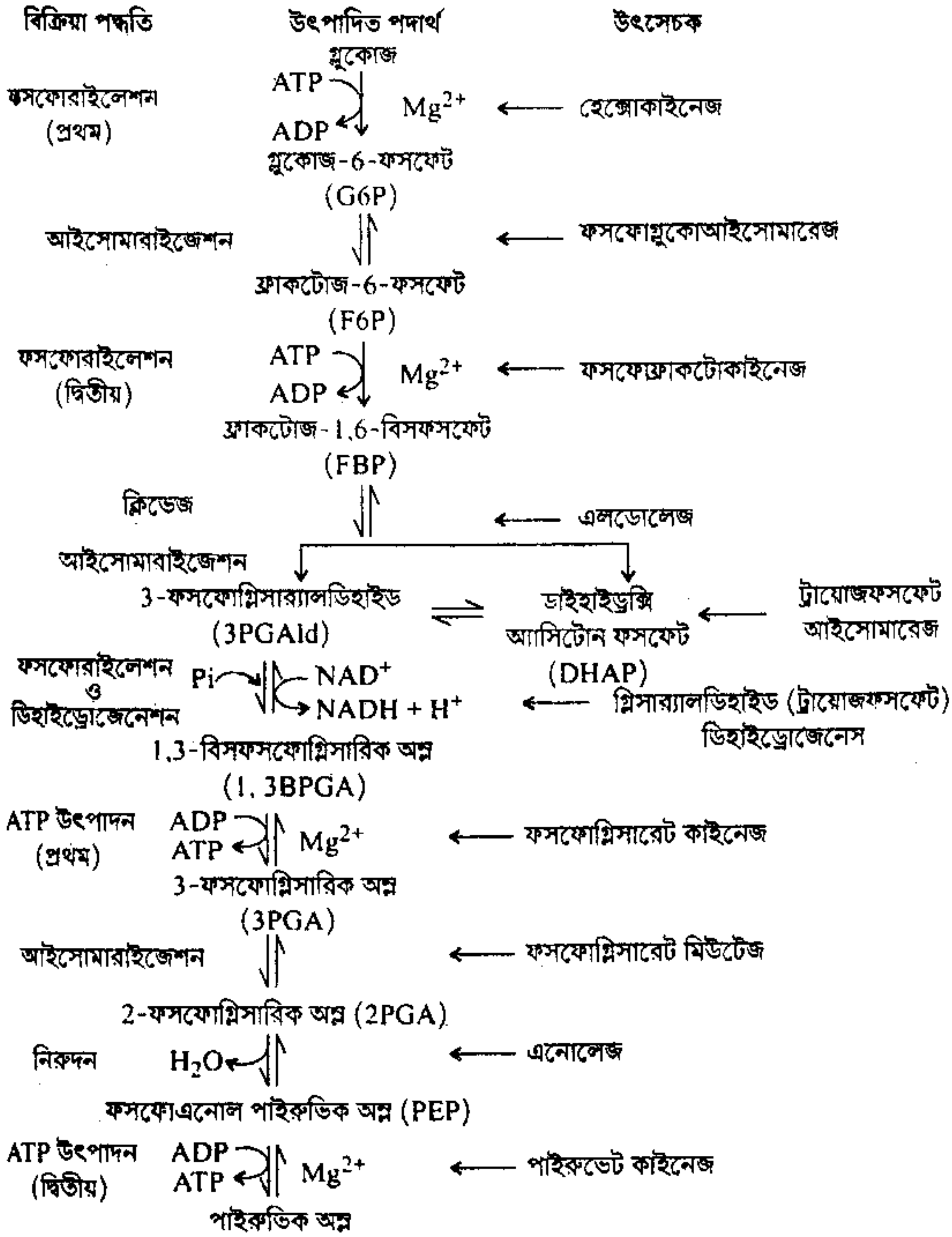
9) এনোলেজ উৎসেচকটি 2-ফসফোগ্লিসারিক অম্লকে নিরুদিত করে ফসফোএনোল পাইরুভিক অম্ল উৎপন্ন করে।



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



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



চিত্র ঃ 16.1 গ্লাইকোলাইসিসের ধারাবাহিক চিত্র

প্রশ্নাবলী ঃ

1. **সঠিক উত্তরের নিচে (✓) দান দিন ঃ**

   (ক) **হেটোরোল্যাকটিক 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 গ্লাইকোসাইসিসের 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 দু'টি অত্যাবশ্যক পর্যায় কি কি?

   (খ) অবাত শ্বসন কেন ক্ষতিকর প্রক্রিয়া?

   (গ) গ্লাইকোলাইসিসের চূড়ান্ত পর্যায়ে কোন্ উৎসেচক কার্যকরী হয়?

16.5 ক্রেবসের অম্ল চক্র ঃ—

সবাত শ্বসন সম্পাদিত করার জন্য পাউরুভিক 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 অ্যাসিটাইল 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 NAD কে বিজারিত করে নিজে পুনর্জারিত হয় এবং NAD বিজারিত করে NADH + H^+ উৎপন্ন করে।

(iv) বিজারিত লিপোইক অম্ল + FAD → লিপোইক অম্ল + $FADH_2$

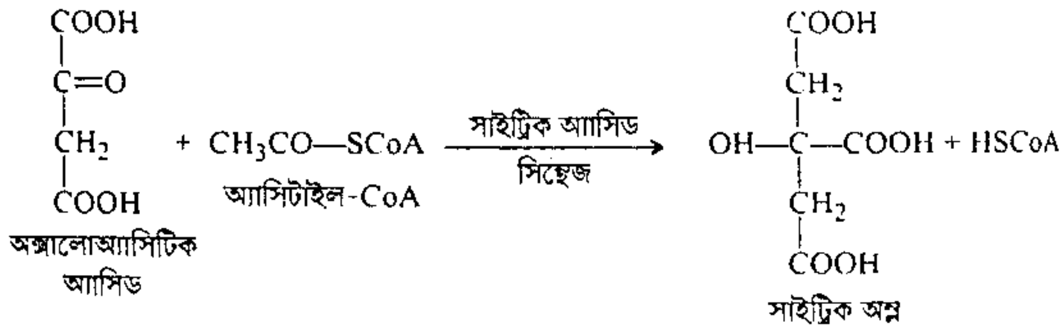
(v) $FADH_2 + NAD^+ \rightarrow FAD + NADH + H^+$

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

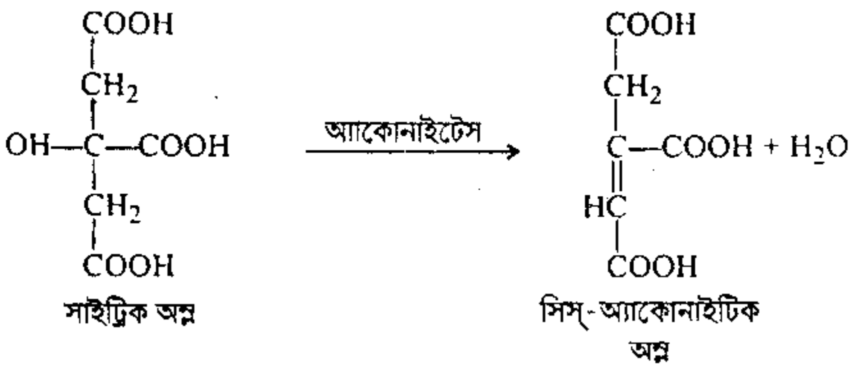
যে প্রক্রিয়ায় পাইরুভিক অম্ল অক্সিজেনের উপস্থিতিতে জারিত হয়ে চক্রাকার পদ্ধতিতে বিভিন্ন জৈব অম্ল সৃষ্টি করে তাকে ক্রেবস চক্র বলে। হ্যানস ক্রেবস (1937) এই চক্রাকার বিক্রিয়া পথটি আবিষ্কার করেন বলে একে ক্রেবস চক্র বলে। এই চক্রের প্রথম উৎপাদিত যৌগ সাইট্রিক অম্ল বলে একে সাইট্রিক অম্ল চক্র ও বলা হয়। আবার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

ক্রেবস চক্রের পর্যায়ক্রমিক বিক্রিয়াগুলি নিম্নরূপ ঃ

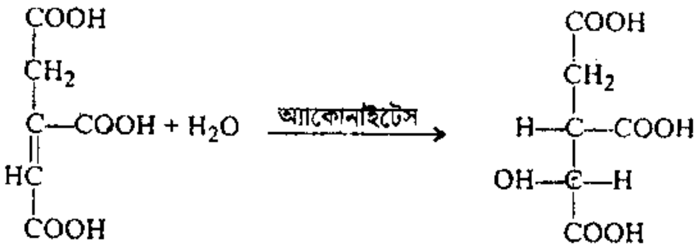
1) সর্বপ্রথম অ্যাসিটাইল CoA যৌগটি অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্লের সাথে যুক্ত হয়ে সাইট্রিক অম্ল গঠন করে এবং HSCoA কে মুক্ত করে।



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

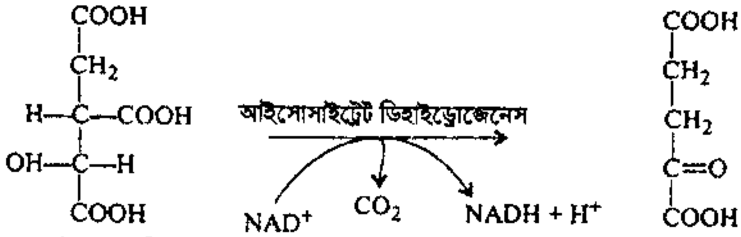


3) পরবর্তী পর্যায়ে সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল পুনরায় জল গ্রহণ করে আইসোসাইট্রিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়াটিও অ্যাকোনাইটেস উৎসেচক নিয়ন্ত্রণ করে।



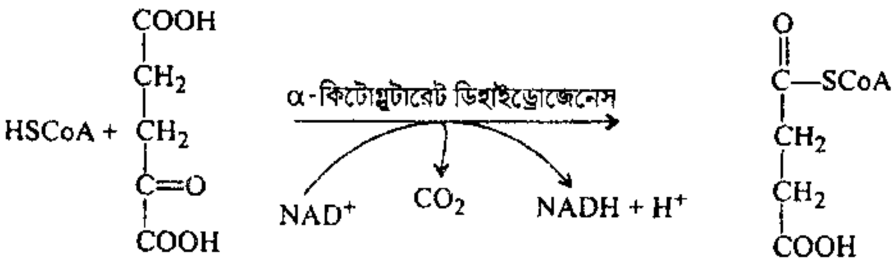
সিস্-অ্যাকোনাইটিক অম্ল   আইসোসাইট্রিক অম্ল

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।



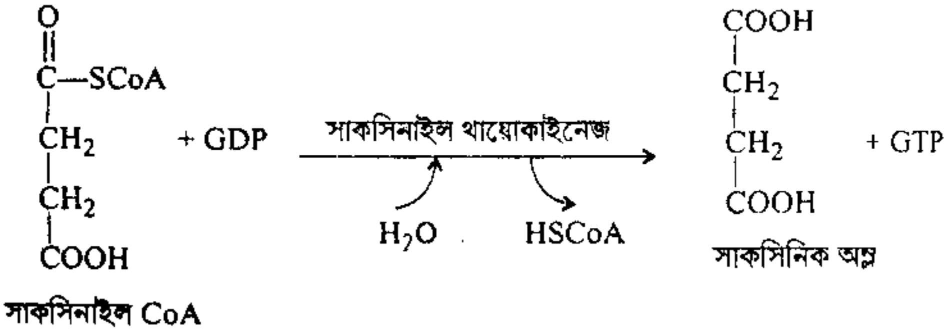
আইসোসাইট্রিক অম্ল   α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল

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



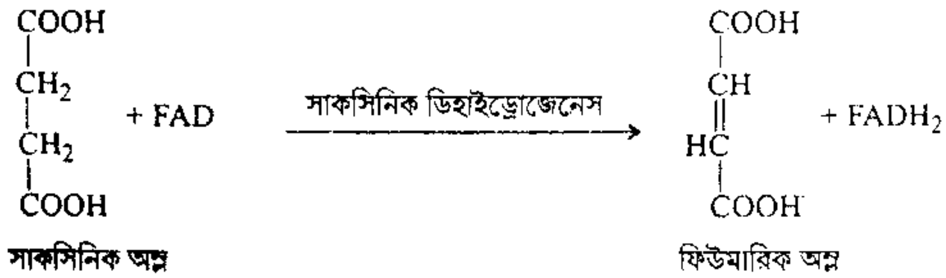
α-কিটোগ্লুটারিক অম্ল   সাকসিনাইল CoA

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 হয়ে ATP উৎপন্ন করে। সাকসিনাইল থায়োকাইনেজ এই বিক্রিয়াকে পরিচালিত করে।

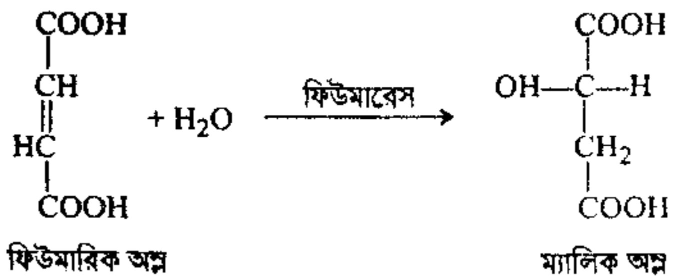


$$GTP + ADP \longrightarrow GDP + ATP$$

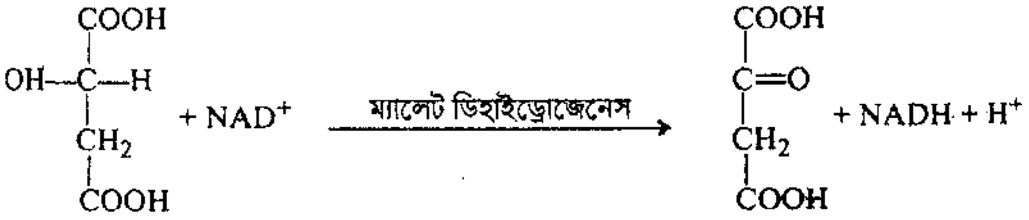
7) সাকসিনিক অম্ল FAD দ্বারা জারিত হয়ে ফিউমারিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। এই বিক্রিয়া সাকসিনাইল ডিহাইড্রোজেনেস উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।



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

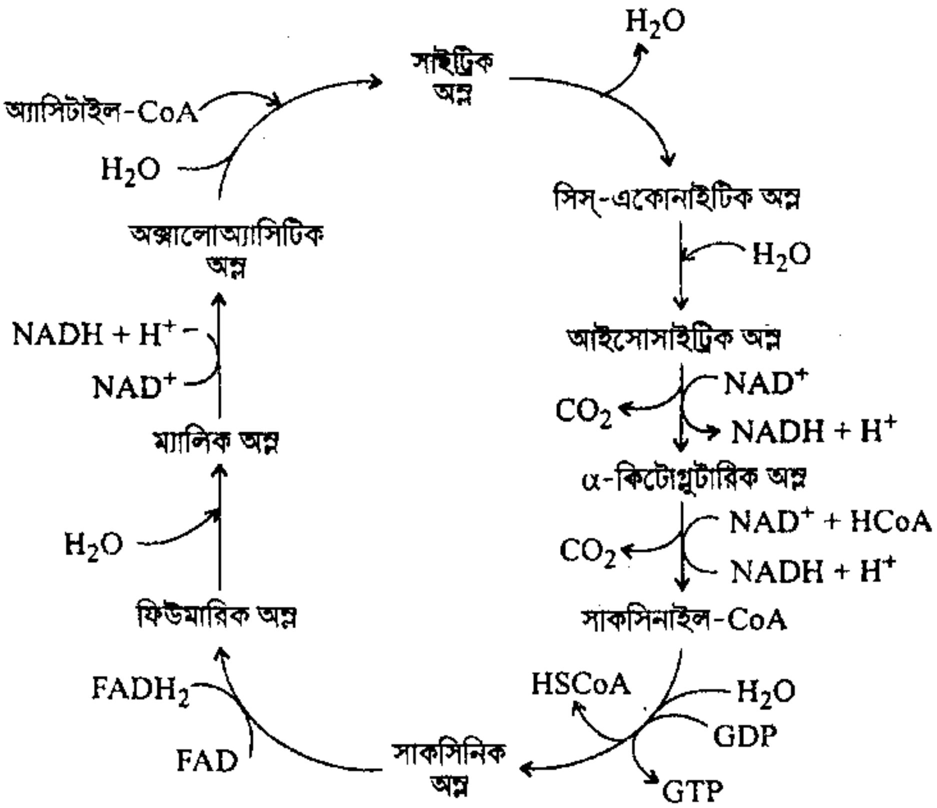


9) ক্রেবসের চক্রের পরবর্তী পর্যায়ে ম্যালিক অম্ল NAD^+ দ্বারা জারিত হয়ে অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্লে রূপান্তরিত হয়। ম্যালেট ডিহাইড্রোজেনেস এই বিক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।



ম্যালিক অম্ল অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্ল

10) অক্সালোঅ্যাসিটিক অম্ল পুনরায় অ্যাসিটাইল-CoA এ সাথে যুক্ত হয়ে আবার সাইট্রিক অম্ল গঠন করে। এই ভাবে চক্রাকার পথে ক্রেবসের অম্ল চক্র সম্পাদিত হয়।



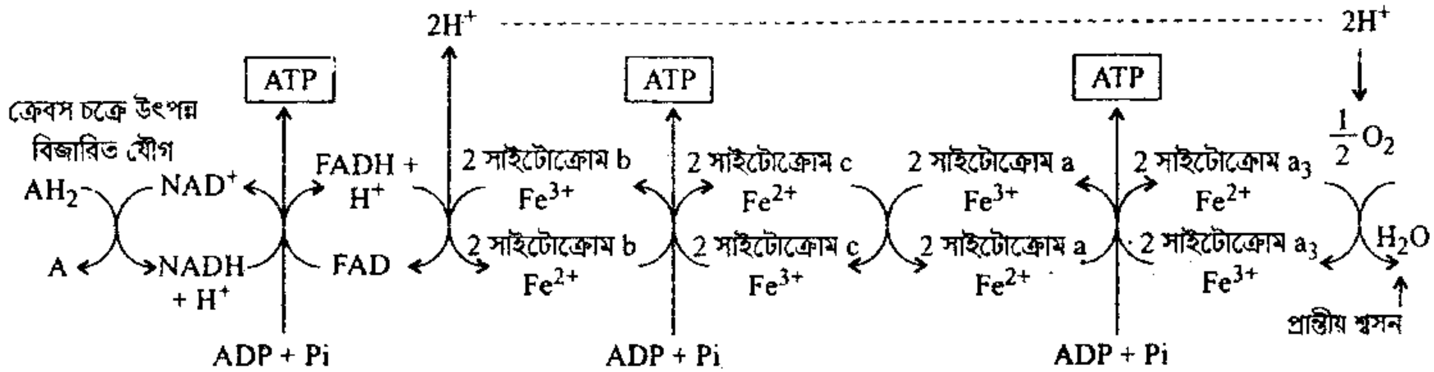
চিত্র ঃ 16.2 ক্রেবসের অম্ল চক্র

16.6 ইলেকট্রন পরিবহণতন্ত্র ঃ

গ্লাইকোলাইসিস ও ক্রেবস চক্রকে ভালোভাবে লক্ষ্য 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 বিরাজিত হয়ে $NADH + H^+$ বা $FADH_2$ তে পরিণত হয়। মাইটোকন্ড্রিয়াগুলি অন্তঃআবরিণীতে যে প্রক্রিয়ার মাধ্যমে বিজারিত সহ উৎসেচকগুলি কতগুলি ইকেকট্রন 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 পরিবহণতন্ত্রের (ETS) প্রধান বাহকগুলি হলো সাইট্রোক্রোম b(cyt b) সাইটোক্রোম c (cyt c), সাইটোক্রোম ও c (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 পরিবহণতন্ত্রে 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 উৎসেচকটি জারিত করে 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 তাকে এবং ইলেকট্রন এই বাহকগুলির মাধ্যমে নির্দিষ্ট পথে পরিবাহিত হয়। ETS এ উপস্থিত 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 দু'টি ইলেকট্রন (e^-) ও $\frac{1}{2}$ O_2-এর সাথে যুক্ত হয়ে H_2O গঠন করে। (পরের পাতায় চিত্র 11.3 দেখানো হল)।

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

ইলেকট্রন পরিবহণের 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 Phosphbryla-tion) বলে। বৈজ্ঞানিকেরা লক্ষ্য করেছেন যে মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃআবরণীতে উপস্থিত F_0-F_1 নামক কণায় ATPase উৎসেচকের মাধ্যমে এই ফসফোরাইলেশন সম্পন্ন হয়।



চিত্র ঃ 16.3 ইলেকট্রন পরিবহণতন্ত্র

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 ভেঙ্গে দেয় ও ADP এবং Pi উৎপন্ন করে। এই ADP 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 নামক এণ্টিবায়োটিক 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 উপাদন 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 প্রক্রিয়ায় 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) ফ্রাকটোজ-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

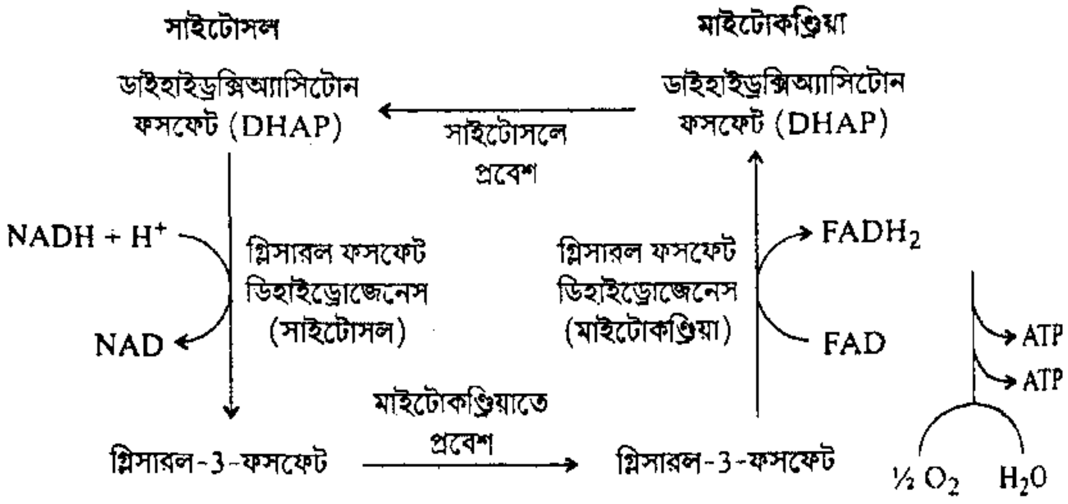
সুতরাং প্রকৃত ATP উৎপাদন (Net gain) = 8 – 2 = 6 অণু

তালিকা 16.3 ঃ 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 পরিবহণের মাধ্যমে NADH জারিত হয়ে NAD^+ তে পরিণত হওয়ার ফলে যে ATP উৎপন্ন হয়, তার সংখ্যায় একটা অসংগতি লক্ষ্য করা যায়। যখন NADH মাইটোকন্ড্রিয়ায় উৎপন্ন হয়, তখন এটি জারিত হয়ে তিনটি করে ATP প্রস্তুত করে। পক্ষান্তরে, সাইটোসলে উৎপন্ন NADH জারিত হওয়ার ফলে দু'টি মাত্র ATP প্রস্তুত হয়। এর কারণ গ্লাইকোলাইসিসে 3-ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড জারণের ফলে সাইটোপ্লাজমে উৎপন্ন NADH মাইটোকন্ড্রিয়াতে প্রবেশ করতে পারে না। মাইটোকন্ড্রিয়ার আবরণী 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 দু'টি ইলেকট্রন মাইটোকন্ড্রিয়ার ভিতর প্রবেশ করে এবং $FADH_2$ জারিত হওয়ার ফলে দু'টি করে ATP উৎপন্ন হয়। নিচে 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 পরিবহণতন্ত্রে জারিত হয়ে

(i) দুই অণু, (ii) চার অণু, (iii) তিন অণু ATP উৎপন্ন করে

(গ) ATP উৎপাদনের সাথে জড়িত উৎসেচকটি হল

(i) ডিহাইড্রোজেনস, (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) সাকসিনিক 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?

16.7 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 গ্লাইকোলাইসিসেরমতন গ্লুকোজ-6-ফসফেট (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) এইক্ষেত্রে 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।

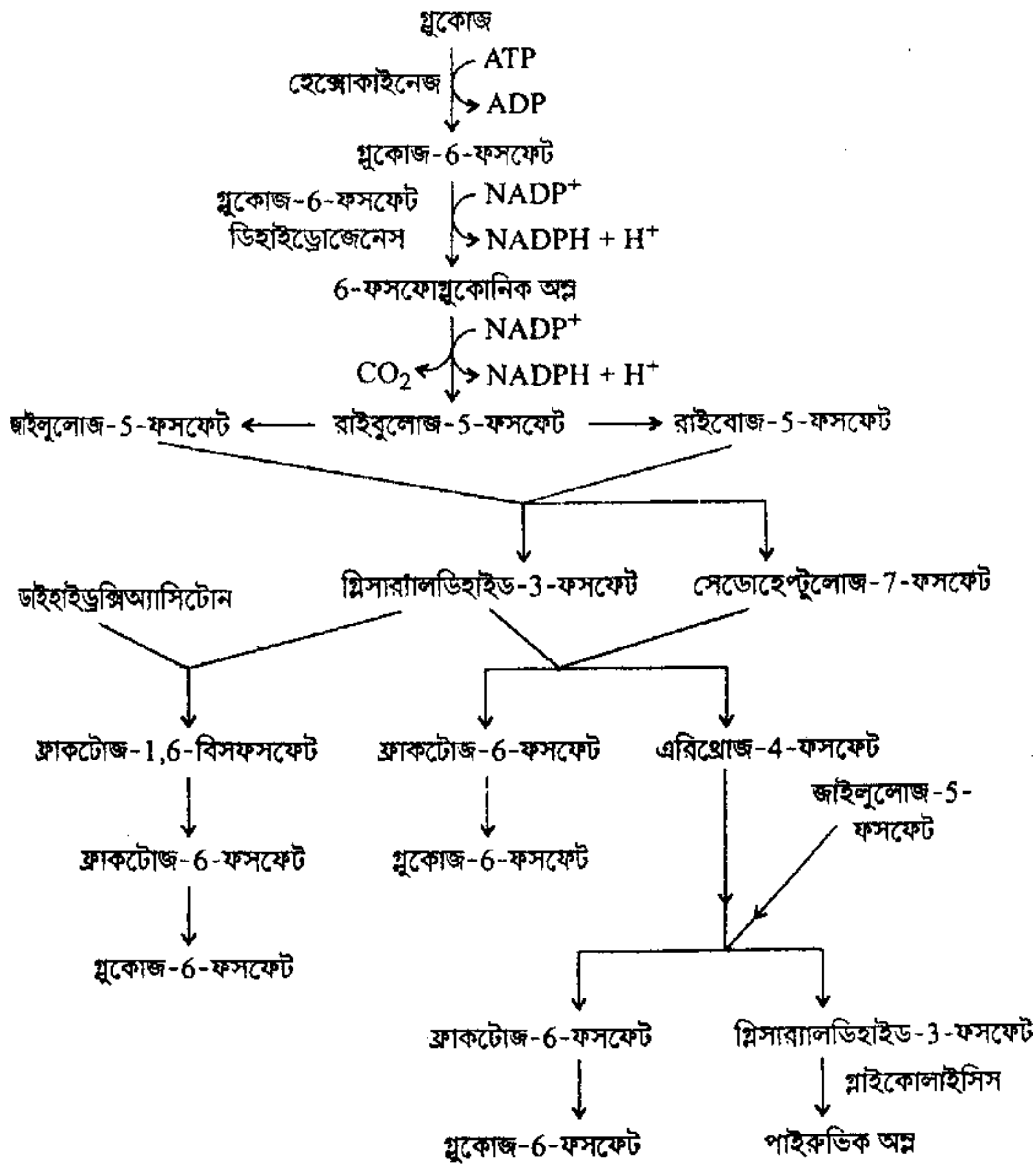
4) এই পথের মাধ্যমে রাইবোজ নামক যে 5C যুক্ত শর্করা উৎপন্ন হয় তা নিউক্লিক অম্ল উৎপাদনে ব্যবহৃত হয়।

5) এই প্রক্রিয়ায় সাধারণতঃ শক্তি সঞ্চিত হয়ে ATP উৎপন্ন হয় না।

6) প্রাণীদেহের পরিণত কোষে বিশেষত যকৃত ও অ্যাড্রিনাল কর্টেক্স 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 ঃ 16.4 ঃ পেণ্টোজ ফসফেট পথের বিভিন্ন পর্যায়

16.8 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 কিভাবে RQ এর মান পরিবর্তিত হয়

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

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

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

2) কোহল সন্ধানের ক্ষেত্রে ঃ গ্লুকোজজাতীয় খাদ্যবস্তু O_2 এর অনুপস্থিতিতে যখন ইথাইল অ্যালকোহল উৎপন্ন করে তখন $RQ = \alpha$ 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) শ্বসনপ্রক্রিয়ার 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।

$$2C_{51}H_{98}O_6 + 145O_2 \rightarrow 102CO_2 + 98H_2O$$

(ট্রাইপামেটিন)

$$RQ = \frac{102(CO_2)}{145(O_2)} = 0 \cdot 7$$

5) ক্রাসুলেসিয়ান অম্ল বিপাকে ঃ ক্যাকটাস জাতীয় রসাল উদ্ভিদে ক্রাসুলেসিয়ান অম্ল বিপাক লক্ষ্য করা যায়। এক্ষেত্রে গ্লুকোজ অণুর অসম্পূর্ণ জার 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 বেশী 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।

16.9 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 প্রক্রিয়াগুলিতে 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 ক্রেস চক্রের জারণ প্রক্রিয়াগুলি সম্পন্ন করে এবং নিজেরা বিজারিত হয়। এই বিজারিত যৌগগুলি পরিশেষে ইলেকট্রন সংবহনতন্ত্রে প্রবেশ করে বিভিন্ন ইলেকট্রন বাহকের মাধ্যমে নিজেরা জারিত হয় ও ATP অণুর সংশ্লেষ ঘটায়।

গ্লাইকোলাইসিসে 6 অণু ও ক্রেবস চক্রে 3030 অণু ATP উৎপন্ন হয় অর্থাৎ সবাত শ্বসনে . 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 পেণ্টোজ ফসফেট পথের মাধ্যমে অনেকগুলি প্রয়োজনীয় শর্করার সংশ্লেষ ঘটে।

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

16.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী ঃ

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ
   (ক) সন্ধান প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন দু'টি জৈব পদার্থের নাম উল্লেখ করুন যাদের বাণিজ্যিক মূল্য আছে।
   (খ) ক্রেবস চক্রের অপর একটি নাম লিখুন।
   (গ) দু'টি 5 কার্বনযুক্ত শর্করার নাম উল্লেখ করুন।
2. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ
   (ক) পেণ্টোজ 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 (✓) 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

16.11 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 - 17 : নাইট্রোজেন মেটাবলিজম্

17.1 প্রস্তাবনা

17.2 উদ্দেশ্য

17.3 উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের প্রয়োজনীয়তা

17.4 জৈব নাইট্রোজেন সংবন্ধনের ইতিহাস

  17.4.1 জৈব নাইট্রোজেন সংবন্ধনের ভাগ

17.5 Rhizobium এর নাইট্রোজেন সংবন্ধন

  17.5.1 অর্বুদ গঠন

  17.5.2 জৈব রাসায়নিক উপাদান

17.6 অ্যামোনিফিকেশান ও নাইট্রিফিকেশান

17.7 নাইট্রোজেন আত্তীকরণ

17.8 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের গুরুত্ব

17.9 সারাংশ

17.10 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

17.11 উত্তরমালা

17.1 প্রস্তাবনা ঃ

উদ্ভিদ জীবনের একটি অত্যাবশ্যকীয় উপাদান হল নাইট্রোজেন। কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের পর নাইট্রোজেন উদ্ভিদে অপরিসীম গুরুত্ব বহন করে। প্রোটিন, নিউক্লিক অ্যাসিড, বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক হরমোন ও ভিটামিনের গঠনগত উপাদান হিসাবে ইহা কার্য করে। বাতাসের 78% জুড়ে এই গ্যাস থাকলেও ইহা সহজে বিক্রিয়া করে না এবং উদ্ভিদ এই উপাদানটি সাধারণত মাটি হইতে গ্রহণ করে। খুব অল্পসংখ্যক জীব বর্তমান যারা বাতাসে উপস্থিত নাইট্রোজেনকে সরাসরি গ্রহণ করতে পারে এবং উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের এই আবদ্ধকরণ পদ্ধতিকে নাইট্রোজেন সংবন্ধন বলে। এই এককে আমরা উদ্ভিদের নাইট্রোজেন আত্তীকরণের বিভিন্ন প্রক্রিয়াগুলি সম্পর্কে আলোচনা করব।

17.2 উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি

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

17.3. উদ্ভিদদেহে নাইট্রোজেনের প্রয়োজনীয়তা ঃ

বিভিন্ন উৎসেচক, প্রোটিন, নিউক্লিক অম্ল, ক্লোরোফিল অণু, উপক্ষার, ভিটামিন ও কিছু হরমোনের (অক্সিন, মাইটোকাইনিন) প্রধান উপাদান হল নাইট্রোজেন, নাইট্রোজেন উদ্ভিদের বিভিন্ন অত্যাবশ্যকীয় ক্রিয়াকে প্রভাবিত করে।

17.4. জৈব নাইট্রোজেন সংবন্ধনের ইতিহাস

বহু যুগ আগে থেকেই কৃষকদের মধ্যে একটি ধারণা ছিল যে শিম্বিজাতীয় উদ্ভিদ মাটিতে চাষবাস করলে জমির উর্বরতা বৃদ্ধি পায়। প্রথমে এই ঘটনাটির বৈজ্ঞানিক কারণ অজানা ছিল। পরবর্তীকালে বিভিন্ন পরীকষার দ্বারা ইহা প্রমাণিত হয় যে শিম্বি জাতীয় উদ্ভিদের মূলের অর্বুদে অবস্থিত কিছু ব্যাকটিরিয়া বাতাসের নাইট্রোজেন আবদ্ধকরণে অংশগ্রহণ করে। এর ফলে বাতাসের মুক্ত নাইট্রোজেন কোন যৌগে পরিণত হয়ে উদ্ভিদের পক্ষে গ্রহণযোগ্য হয়ে ওঠে। নাইট্রোজেন সংবন্ধন ভৌত ও জৈব দুই প্রক্রিয়ায় ঘটে।

17.4.1. জৈব নাইট্রোজেন সংবন্ধনকে দুভাগে ভাগ করা যায়।

A> অমিথোজীবী

B> মিথোজীবী

A> অমিথোজীবী - বিভিন্ন স্বাধীনজীবী ব্যাকটিরিয়া, অ্যাকটিনোমাইসিটিস ও নীলাভ সবুজ শৈবাল বাতাসের মুক্ত নাইট্রোজেনকে আবদ্ধ করার ক্ষমতা রাখে। উইনোগ্রাডস্কি (Winogradsky) 1893 সালে সর্বপ্রথম লক্ষ্য করেন যে *Clostridium pasteurianum* নামক স্বাধীন অবাত (anaerobic)

a. ব্যাকটিরিয়া বাতাসের N_2 সংবন্ধনে সক্ষম।

ব্যাকটিরিয়া i> অবাতশ্বসনকারী সম্প্রদায় *Clostridium, pasteurianum, Klebsiella, pneumoniae*

ii> সালোকসংশ্লেষকারী সম্প্রদায় *(Rhodospirillum, Chromatium, Chlorobium, Rhodopseudomonas*

iii> সবাতশ্বসনকারী সম্প্রদায় *Azotobacter, Beijerinckia, Rhizobium*

iii> রাসায়নিরক সংশ্লেষকারী সম্প্রদায় *Thiobacillus, Desulphovibrio*

b. ছত্রাক *Pullularia* এবং ইস্ট

c. নীলাভ সবুজ শৈবাল i> এককোষী *gloeothece, Synechococcus*

ii> ফিতাকৃতি নন হেটেরোসিস্ট সম্প্রদায় *Oscillatoria erythraea*

iii> ফিতাকৃতি হেটেরোসিস্ট সম্প্রদায় *Nostoc, anabaena, Aulosira*

তেজস্ক্রিয় N^{15} ব্যবহার করে দেখা গেছে যে নীলাভ সবুজ শৈবাল অনুসূত্রের হেটেরোসিস্ট নামক বিশেষ কোষে N_2 সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পাদিত হয়। পশ্চিমবঙ্গ ও বাংলাদেশের মাটিতে বিভিন্ন ধানক্ষেতে *Anabaena gelatinosa, Aulosira festilisima* প্রভৃতি শৈবাল প্রচুর পরিমাণে N_2 আবন্ধ করে। বর্তমানে স্বাধীনজীবী ব্যাকটিরিয়া ও এই ধরনের শৈবালদের জীবজ সার রূপে (Biofertilizer) ব্যবহার করা হচ্ছে।

অ্যাকটিনোমাইসেটিস— Frankia নামক অ্যাকটিনোমাইসেটিস (Actinomycetes), *Myrica, Casuarina,* Alnus প্রভৃতি বহুবর্ষজীবী, গুপ্তবীজী কাষ্ঠল উদ্ভিদের মূলে অর্বুদ সৃষ্টি করতে পারে।

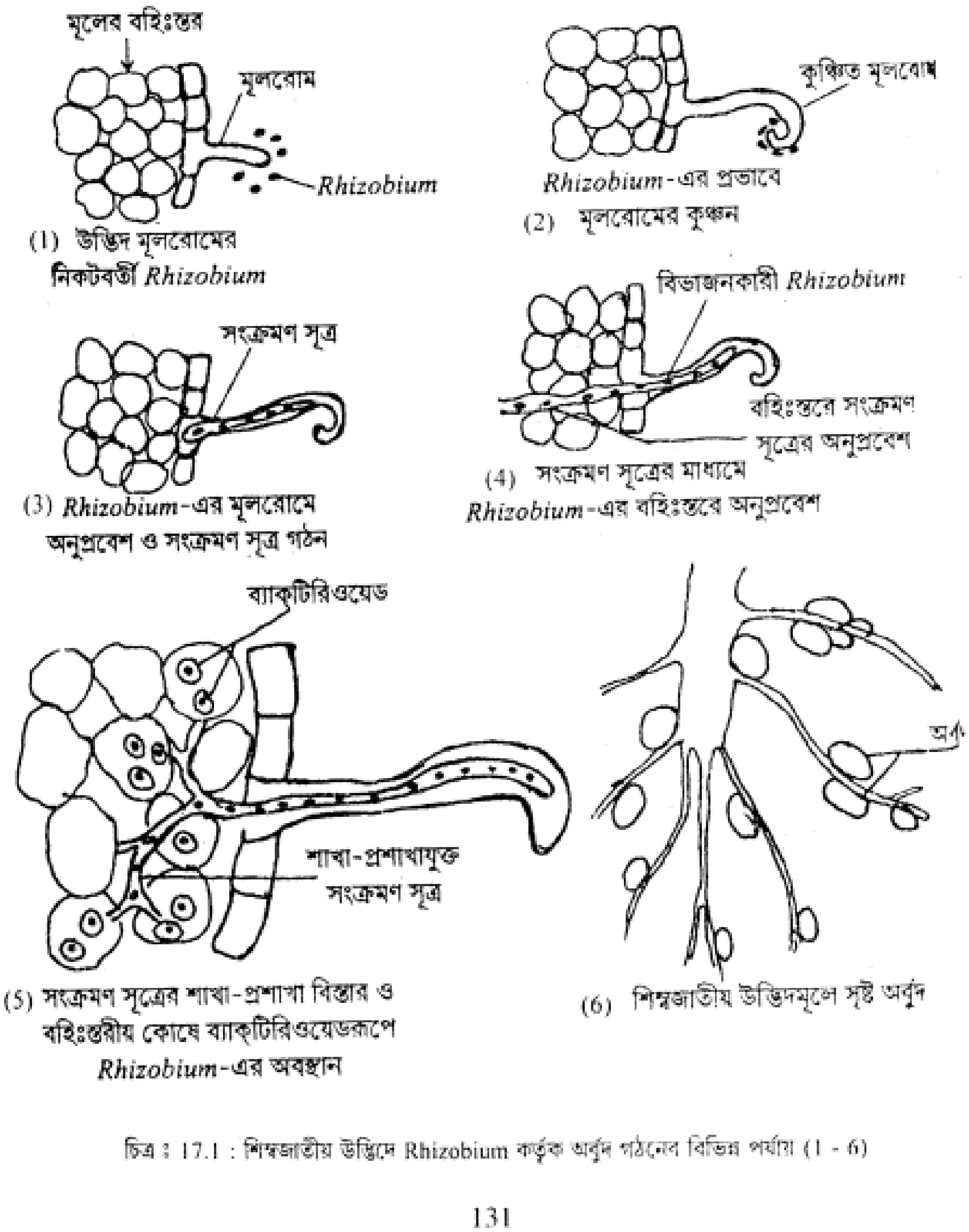
b> মিথোজীবী-শিম্বীগোত্রীয় উদ্ভিদের মূলের অর্বুদে অবসথানকারী ব্যাকটিরিয়া সমুহ সাধারণত মিথোজীবীত্বের প্রকৃষ্ট উদাহরণ, এদের মধ্যে সর্বাধিক পরিচিত ব্যাকটিরিয়াম হল রাইজোবিয়ম *(Rhizobium)*. ইহা মূলত গ্রাম নেগেটিভ (gram-ve) এবং বায়ুজীবী, দণ্ডাকার। মটরগাছের মূলে প্রাপ্ত ব্যাকটিরিয়ামটি *Rhizobium leguminosarum* প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য *Bradyrhizobium* সোয়াবীন, কাউ পী প্রভৃতি উদ্ভিদে এবং *Rhizobium* মটর, আলফালফা (Alfalfa) উদ্ভিদে N_2 সংবন্ধন করে। রাইজোবিয়ামের বিভিন্ন Strain এর মধ্যে *R. trifolii, R. meliloti* প্রমুখ দ্রুত বিভাজনক্ষম এবং *B. Japonicum* এবং *R lupini* প্রমুখ ধীর গতিতে বিভাজিত হয়।

17.5. Rhizobium এর নাইট্রোজেন সংবন্ধন

17.5.1. অর্বুদ গঠন ঃ

স্বাধীনজীবী রাইজোবিয়া (Rhizobia) মূলরোমে সংক্রমণ করে। ইহা প্রথমে মৃতজীবীরূপে বসবাস করে এবং উদ্ভিদের মূল থেকে নিঃসৃত লেক্টিন জাতীয় গ্রাহক (Receptor) পদার্থ নির্দিষ্ট প্রজাতির *Rhizobium* কে আকৃষ্ট করে। শিম্বীগোত্রীয় উদ্ভিদ নিঃসৃত ট্রিপটোফান (Tryptophan) মাটিতে *Rhizobium* কর্তৃক IAA

জাতীয় অক্সিনে পরিণত হয় ও উদ্ভিদ মূলরোম কুঞ্চিত হয়। এরপর *Rhizobium* মূলরোম থেকে বহিঃস্তরের দিকে যেতে থাকে। এই সময় ব্যাকটিরিয়ায় আক্রান্ত বহিঃস্তরের কোষগুলিতে গলগি বস্তুর ভেসিকলগুলি



চিত্র ঃ 17.1 : শিম্বজাতীয় উদ্ভিদে Rhizobium কর্তৃক অর্বুদ গঠনের বিভিন্ন পর্যায় (1 - 6)

(Vericle) যুক্ত হয়ে কোষ পর্দায় নলাকার উপবৃদ্ধি সৃষ্টি করে যাকে মূলের প্রস্থচ্ছেদে সূত্রাকার মনে হয়। বহিঃস্তরের যে পথ দিয়ে *Rhizobium* মূলের অভ্যন্তরে প্রবেশ করে সেই জায়গায় উপস্থিত সূত্রাকার অঞ্চলকে সংক্রমণ সূত্র (Infection thread) বলে। এই অঞ্চলে ব্যাকটিরিয়া দ্রুত বিভাজিত হয় এবং শাখান্বিত হয়ে সেলুলোজ আবরণে আবৃত হয়ে পোষক কোষের কর্টেক্স অঞ্চলে প্রবেশ করে। পরিমজ্জা (Cortex) অংশটি পলিপ্লয়েড এখানে অসংখ্য পেরিব্যাকটিরয়েড আবরণী আবৃত বড়, নিশ্চল বিভাজন অক্ষম ব্যাকটিরিওয়েড দেখা যায়। এই ব্যাকটিরয়েডগুলি কর্টেক্সের পলিপ্লয়েড কোষগুলিকে আরও বেশী বিভাজিত হতে সাহায্য করে ও ক্রমে ইহা অর্বুদের পরিমজ্জায় পরিণত হয়। এই অর্বুদে গোলাপী বর্ণের লেগ্ হিমোগ্লোবিন (leg haemo-globin) নামক রঞ্জক উপস্থিত থাকে যা O_2 পরিবহণে সক্ষম এবং একটি ত্রিযোজী Fe (trivalent Iron) এর উপস্থিতিতে খয়েরী বর্ণে পরিবর্তিত হয়।

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 পরিবহণে সক্ষম বলে একে লেগ্হিমোগ্লোবিন (Leghaemogolobin) বলা হয়। লেগ্হিমোগ্লোবিনের নিম্নলিখিত বৈশিষ্টগুলি উল্লেখযোগ্য ঃ

(i) এই রঞ্জকের আলোকশোষণ ক্ষমতা হিমোগ্লোবিনের অনুরূপ।

(ii) সক্রিয় অর্বুদে লেগ্হিমোগ্লোবিনের পরিমাণ বা ঘনত্ব $1{\cdot}5X10^{-4}$ M (মোলার)।

(iii) হিমোগ্লোবিনের মতন লেগ্হিমোগ্লোবিনে শতকরা 0·34% Fe থাকে।

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

(v) কেবলমাত্র শিম্বজাতীয় উদ্ভিদ ও *Rhizobium*-এর মিথোজীবিত্বের ফলেই লেগ্হিমোগ্লোবিন সৃষ্টি হয় অর্থাৎ পৃথক পৃথক উদ্ভিদ বা ব্যাক্টেরিয়া কেউই এই রঞ্জক কণা উৎপন্ন করতে পারে না। আরও লক্ষ্য 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।

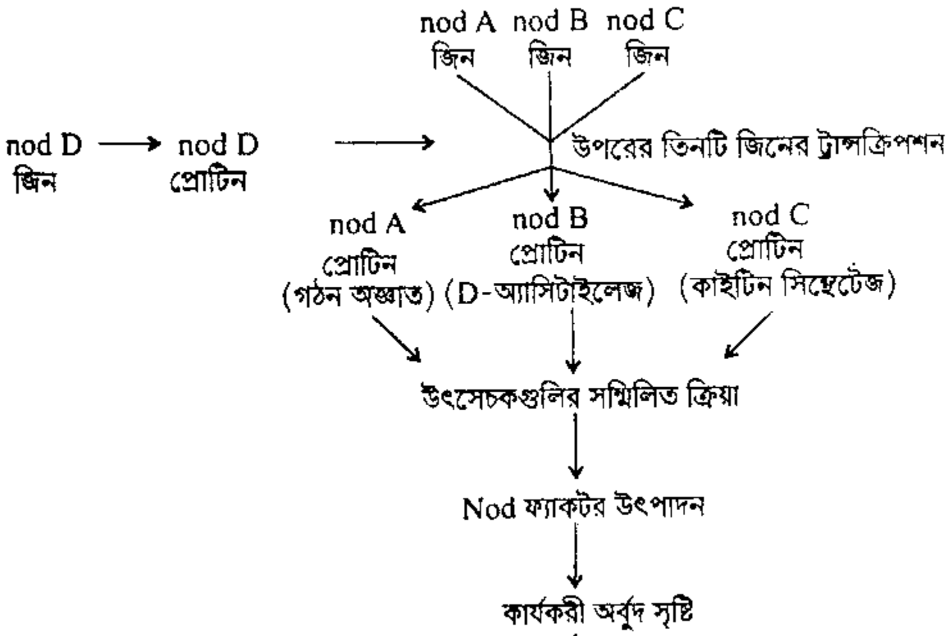
(viii) *Rhizobium* একটি বায়ুজীবী ব্যাক্টেরিয়াম অর্থাৎ এর শ্বসনকার্যের জন্য O_2 এর প্রয়োজন। অপরদিকে, N_2 সংবন্ধন একটি বিজারণধর্মী ক্রিয়া যা O_2 এর সংস্পর্শে বন্ধ হয়ে যায়। লেগ্হিমোগ্লোবিন বাতাসের O_2 কে আবদ্ধ করে সুনির্দিষ্টভাবে *Rhizobium* শ্বসনস্থানে নিয়ে যায় এবং এর ফলে ঐ ব্যাক্টেরিয়ার N_2 সংবন্ধনকারী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

17.5.2. জৈব রাসায়নিক উপাদান

এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে কিভাবে বাতাসের N_2 গ্যাস *Rhizobium*-এর সক্রিয়তার ফলে NH_3 তে রূপান্তরিত হয়। বর্তমানে বৈজ্ঞানিকেরা N_2 সংবন্ধনের বিভিন্ন পর্যায়গুলিকে বিস্তারিতভাবে ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হয়েছেন।

(ক) ব্যাক্টিরিয়া 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 কেমোট্যাক্সিস (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, ১৯৮৯)।

(খ) নড্ ফ্যাক্টর (Nod factor) **ঃ** উদ্ভিদমূলের নিকটবর্তী হওয়ার সাথে সাথে *Rhizobium* যে বিশেষ অর্বুদ উৎপাদনকারী উপাদানগুলি সৃষ্টি করে তাদের নডুইলেশন ফ্যাক্টরস্ বা নড্ ফ্যাক্টরস্ (Nodulation



factors or nod factors) বলে। এগুলি রাসায়নিকভাবে লাইপো-কাইটোঅলিগো-স্যাকারাইড অর্থাৎ কাইটিনের একটি উপজাত পদার্থ। কাইটিনে N-অ্যাসিটাইল-D-গ্লুকোজামাইন এককগুলি -1-4 গ্লাইকোসাইডিক 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 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 নডুলেশন 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, Bradyrhizobium*-এর সমস্ত প্রজাতিতেই পাওয়া যায়। 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 নড ফ্যাকটরগুলি উৎপন্ন করে। বিভিন্ন নড্ জিনগুলির কার্যকারিতা নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করা যায় ঃ

(ঘ) নাইট্রোজেনস ঃ কার্যকরী অর্বুদ সৃষ্টি হওয়ার পর অর্বুদের *Rhizobium* N_2সংবন্ধন 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।

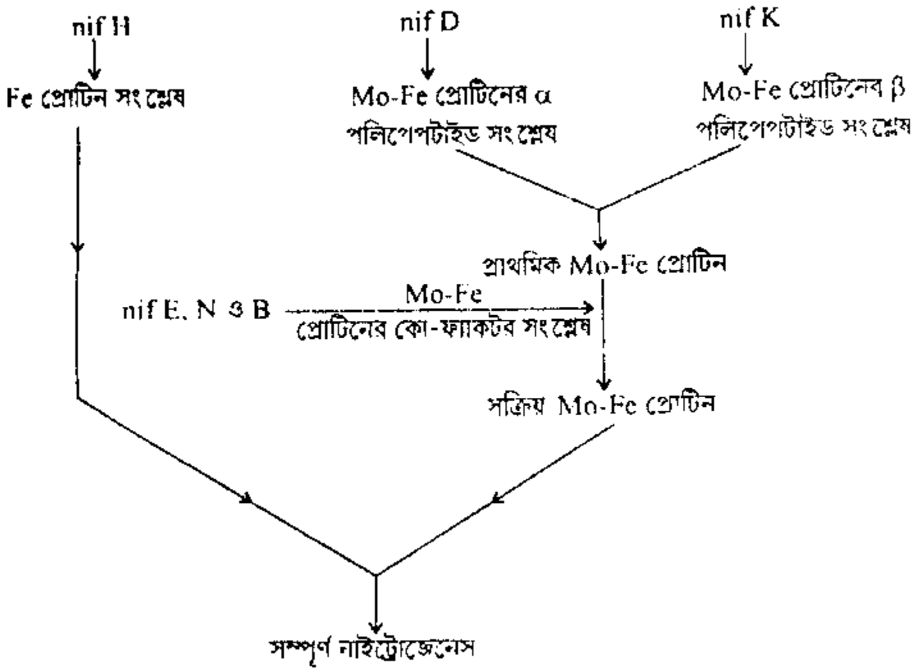
Fe প্রোটিনটি তুলনামূলকভাবে ক্ষুদ্র। এর আণবিক ওজন 57,674 *(Clostridium pasteurianum)* থেকে 73,000 *(Corynebacterium sp.)* অবধি হয়। Fe প্রোটিনে 4টি Fe পরমাণু ও 4টি S^{2-} লক্ষ্য করা যায়। প্রতিটি Fe প্রোটিন আবার দুটি সমধর্মী পলিপেপটাইড নিয়ে গঠিত ও প্রতিটি পলিপেপটাইডে 273টি অ্যামাইনো অম্ল থাকে। Fe প্রোটিন 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 নস্ট 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 32 টি Fe পরমাণু এবং Fe-র সমসংখ্যক S পরমাণু থাকে। Mo-Feপ্রোটিন একটি টেট্রামার অর্থাৎ 4টি পলিপেপটাইডের সমন্বয়ে

গঠিত। 4টি পলিপেপটাইডের দুটি শৃঙ্খল α, 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 অর্দ্ধক্ষয়কার প্রায় 10 মিনিট।

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

প্রধান nif জিনগুলি নিম্নলিখিত প্রক্রিয়ায় সম্মিলিতভাবে নাইট্রোজিনেজ উৎসেচকটির সংশ্লেষ করে ঃ



17.6 অ্যামোনিফিকেশান ও নাইট্রিফিকেশান ঃ

উদ্ভিদ ও প্রাণীর বর্জ্য পদার্থ হইতে প্রচুর পরিমাণে জৈব পদার্থ মৃত্তিকাতে অন্তর্ভুক্ত হয়। এই পদার্থগুলি প্রথমে পচনের মাধ্যমে অ্যামোনিয়ায় পরিণত হয় এই প্রক্রিয়াকে অ্যামোনিফিকেশান বলে। পরবর্তী পর্যায়ে এই

অ্যামোনিয়া জারিত হয়ে নাইট্রেটে পরিণত হয়। এই দ্বিতীয় পর্যায়টিকে বলে নাইট্রিফিকেশান। বিভিন্ন মৃতজীবি ব্যাকটিরিয়া যেমন *Bacillus. mycoides, B vulgaris* অ্যামোনিয়া (NH_3) নির্গমণে অংশগ্রহণ করে। ছত্রাক এবং অ্যাকটিনোমাইসেটিস পর্যায়ভুক্ত জীবগণও এই কার্যে সাহায্য করে।

নাইট্রিফিকেশানে অংশগ্রহণকারী ব্যাকটিরিয়াগুলির হল *Nitrosomonas* এবং *Nitrococcus* প্রভৃতি।

$2NH_3+3O_2$ *Nitrosomonas* and *Nitrococcus* $2HNO_2+2H_2O$

$2HNO_2+O_2$ *Nitrobacter* $2HNO_3$

এই প্রক্রিয়াগুলি কার্যকর হওয়ায় সময় নির্গত শক্তি ব্যাকটিরিয়াগুলি রাসায়নিক সংবন্ধন (Chemosynthesis) প্রক্রিয়ায় খাদ্য উৎপাদনে ব্যবহার করে পরোক্ষভাবে উপকৃত হয়।

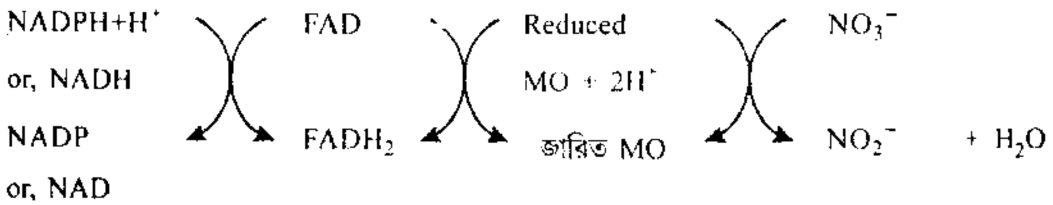
17.7 নাইট্রোজেন আত্তীকরণ ঃ

a) বায়ুমণ্ডলের নাইট্রোজেন যা মৃত্তিকায় নাইট্রেট রূপে সঞ্চিত থাকে তা উদ্ভিদের মাধ্যমে শোষিত হয়ে অ্যামোনিয়ায় পরিবর্তিত হয় এবং এই প্রক্রিয়ায় বিভিন্ন উৎসেচক অংশগ্রহণ করে।

Nitrate ⟶ Nitrite ⟶ Hyponitrite ⟶ Hydroxylamine ⟶ Ammonia

$N_2 \longrightarrow N \longrightarrow N^- \longrightarrow N_2O \longrightarrow (NOH)_2 \longrightarrow NH_2OH \longrightarrow NH_3$

প্রথম পর্যায় ঃ নাইট্রেট বিজারণ Evans এবং Naron (1954) দেখান উৎসেচকটির সঙ্গে FAD প্রস্থেটিক গ্রুপটি উপস্থিত থাকে যা হাইড্রোজেন গ্রহণ করে NADP অথবা NAD থেকে। এই বিজারণে কলিবডেনাস একটি ইলেকট্রন বাহক রূপে উপস্থিত থাকে।



দ্বিতীয় পর্যায় ঃ নাইট্রাইট বিজারণ Vaneco এবং Varner (1955) সালে দেখান যে আলোকের উপস্থিতিতে পাতায় নাইট্রাইট অ্যামাইনো নাইট্রোজেনে পরিবর্তিত হয়। অন্ধকারে প্রক্রিয়াটি অপেক্ষাকৃত ধীর গতিতে সম্পন্ন হয়।

$2HNO_2 + H_2O \longrightarrow 2NH_3 + 3O_2$

এই বিক্রিয়াটিতে NADH এবং NADPH হাইড্রোজেন গ্রহীতা হিসাবে কার্য করে এবং আয়রণ (Fe) ও কপার (Cu) বিশেষ ভূমিকা গ্রহণ করে।

তৃতীয় পর্যায় ঃ হাইড্রক্সিল অ্যামিনের বিজারণ টাকার এবং ন্যাসন (Tucker and Nason, 1955) *Newropora* এবং উন্নত উদ্ভিদ হইতে হাইড্রক্সিল অ্যামিন রিডাকটেজ (Hydroxyl amine reductase) নামক একটি উৎসেচক নিষ্কাসন করেন যা ম্যাঙ্গানীজের (Mn) উপস্থিতিতে কার্যকর হয়।

$$NH_2OH + NaDh + H^+ \longrightarrow NH_3 + NAD + H_2O$$

এই প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন NH_3 বিভিন্ন জৈব অ্যাসিডের সঙ্গে বিক্রয়া করে অ্যামাইনো অ্যাসিড গঠন করে।

b> **অ্যামাইনো অ্যাসিড বিপাক ঃ** উদ্ভিদে প্রাপ্ত বিভিন্ন ধরণের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যে গ্লাইমিন সর্বাপেক্ষা সকল। দুটি পদ্ধতিরে মাধ্যমে সাধারণত অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষিত হয়। প্রথম পদ্ধতিটি Reductive Amination এবং দ্বিতীয়টি Transamination.

Reductive amintion এই পদ্ধতিটিতে ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচক, হাইড্রোজেন দাতা এবং কোএনজাইম I ($NADH_2$) এর উপস্থিতিতে নাইট্রেট এবং বিজারণে উদ্ভুত NH_3 এর সঙ্গে জৈব অ্যাসিডের প্রত্যক্ষ বিক্রয়ায় অ্যামাইনো অ্যাসিড উৎপন্ন হয়। Ketoglutaric acid হইতে glutamic acid উৎপাদনের পদ্ধতিটি Reductive amination এর একটি গুরুত্বপূর্ণ উদাহরণ।

COOH			COOH		$NADH_2$	COOH
C = O			C = NH		⇌	CHNH$_2$
$(CH_2)_2$	$+NH_3$	⇌	$(CH_2)_2$	$+ H_2O$	glutamic dehydro-genase	$(CH_2)_2$
COOH			COOH			COOH
α -Ketoglutamic acid			α -iminoglutamic acid			glutamic acid +NAD

গ্লটামিক অ্যাসিড উৎপন্ন হয়ে যাওয়ার পর অন্যান্য অ্যাসিডগুলি Transamination বিক্রিয়ার মাধ্যমে সম্পন্ন হয়। Transmination পদ্ধতিটিতে Transminase উৎসেচকের উপস্থিতিতে অ্যামাইনো অ্যাসিডের অ্যামাইনো গ্রুপটি যে কোন জৈব অ্যাসিডে স্থানান্তরিত হয়।

COOH		COOH		COOH	COOH
CHNH$_2$		C = O		C = O	CHNH$_2$
$(CH_2)_2$	+	CH_2	transminase	$(CH_2)_2$	CH_2
COOH		COOH	⇌	COOH	COOH
glutamic acid		Oxloacetic acid		Ketoglutaric acid	Aspartic acid

পাইরিডক্সাল ফসফেট (pyridoyal phosphate) এবং পাইরিডক্সামিন ফসফেট (pyridoxamine phosphate) এই Transmination প্রক্রিয়ায় কো এনজাইম হিসাবে কার্য করে।

17.8 নাইট্রোজেন সংবন্ধনের গুরুত্ব ঃ

1. স্বাধীনজীবী ব্যাকটিরিয়া ও নীলাভ সবুজ শৈবাল এই পদ্ধতিতে N_2 আবদ্ধ করে মাটির উর্বরাশক্তি বাড়িয়ে দেয়। তেজস্ক্রিয় N^{15} ব্যবহার করে দেখা গেছে এই শৈবাল অনুসূত্রের হেটারোসিস্ট (heterocyst) নামক বিশেষ কোষে N_2 সংবন্ধন ক্রিয়া সম্পাদিত হয়।

2. *Azolla* নামক ছোট কচুরীপানায় *Anabaena*, বিভিন্ন লাইকেন ও *Anthoceres* নামক ব্রায়োফাইটে *Nastoc* অন্তঃবাসীরূপে বাস করে, *Cycas* নামক ব্যক্তবীজীতে *Anabaena* অন্তঃবাসী রূপে N_2 সংবন্ধন করে।

3. 1975 সালে Von Bulow এবং Dobereiner ভুট্টামূলে *Spirillum* নামক শৈবালের মাধ্যমে N_2 সংবন্ধনের কথা বলেন।

4. *Rhizobium* জাতীয় মিথোজীবী ব্যাকটিরিয়া শিম্বজাতীয় উদ্ভিদে সরাসরি সরবরাহ করে। এই মিথোজীবীত্বের মাধ্যমে পৃথিবীতে বছরে প্রায় $5{\cdot}46 \times 10^6$ টন আণবিক N_2 এর সংবন্ধন ঘটে।

5. C_3 উদ্ভিদে NH_3 থেকে অ্যাসপারটিক, অ্যালানিন প্রভৃতি অ্যামোইনো অম্ল সংশ্লেষিত হয়।

6. প্রোটোপ্লাজমে অঙ্গীভূত N_2 বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার মাধ্যমে নিউক্লিও অম্ল, অক্সিন জাতীয় হরমোন উৎপাদনে সহায়তা করে।

17.9 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 ইস্ট 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_2কে NH_3 তে রূপান্তরিত করে। এই উঠসেচকটি Fe প্রোটিন ও Mo-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।

17.10 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 প্রয়োজনীয় ATP ও H_2 পাওয়া যায়

(i) গ্লুটামেট থেকে গ্লুটামিন উৎপাদনের সময়ে; (ii) NH_4 থেকে ইউরাইড যৌগ গঠনের সময়ে; (iii) পাইরুভিক অম্ল অ্যাসিটেট উৎপাদনের সময়ে

4. সঠিক উত্তরটিতে দাগ দিন ঃ

(ক) *Azotobacter* একটি i> মিথোজীবী ব্যাকটিরিয়া, (ii) নীলাভ সবুজ শৈবাল, (iii) স্বাধীনজীবী ব্যাকটিরিয়া

(খ) নাইট্রোজেন সংবন্ধনের মাধ্যমে (i) ইউরিয়া উৎপন্ন হয়, (ii) অ্যামোনিয়া সৃষ্টি হয়, (iii) অ্যামাইনো অম্ল গঠিত হয়।

(গ) *Frankia* একটি (i) ছত্রাক (ii) অ্যাকটিনোমাইসিটিস (iii) ব্যাকটিরিয়া

(ঘ) Nod factor একটি (i) কাইটিন জাতীয় যৌগ, (ii) প্রোটিন জাতীয় যৌগ, (iii) শর্করা।

(ঙ) *Bradyrhizobium* (i) সোয়াবীন, (ii) মটর, (iii) আলফালফা গাছে N_2 সংবন্ধন করে।

(চ) *Rhizobium* একটি (i) অবায়ুজীবী, (ii) মৃতজীবী, (iii) বায়ুজীবী ব্যাকটিরিয়া।

17.11 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী ঃ

1. (ক) হেবার-এর পদ্ধতি, (খ) *Azotobacter agilis*, (গ) *Aulosira fertilisima*, (ঘ) 30-45 সেকেণ্ড।

2. (ক) হিস্টিডিন, (খ) 16 , (গ) ডাই-ইমাইন, হাইড্রাজিন, (ঘ) গ্লুটামিন সিন্থেটেজ।

3. (ক) লেকটিন, (খ) মূলের বহিঃস্তরে, (গ) পাইবুভিক অম্ল থেকে অ্যাসিটেট উৎপাদনের সময়ে

4. (ক) স্বাধীনজীবী, (খ) অ্যামোনিয়া তৈরী হয়, (গ) অ্যাকটিনোমাইসেটিস, (ঘ) প্রোটীন জাতীয়, (ঙ) সোয়াবীন, (চ) বায়ুজীবী ব্যাকটিরিয়া।

একক - 18 : উদ্ভিদ হরমোন

18.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

18.2 হরমোনের সরল শ্রেণীবিভাগ

18.3 বিভিন্ন হরমোনের কার্য

18.4 ফোটোপিরিওডিজম্

18.5 Vernalization

18.6 সারাংশ

18.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

18.8 উত্তরসংকেত

18.1 প্রস্তাবনা ঃ—

হরমোন শব্দটি একটি গ্রীক শব্দ Hormao থেকে উদ্ভূত যার অর্থ উত্তেজিত করা (to stimulate)। K.V.Thimann (1948) সর্বপ্রথম phytohormone বা উদ্ভিদ হরমোন কথাটি প্রয়োগ করেন। উদ্ভিদদেহে উৎপন্ন যে রাসায়নিক পদার্থ উৎপত্তি স্থান থেকে দূরবর্তী অঞ্চলে গিয়ে অতি অল্প পরিমাণে কার্যকরী হয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও অন্যান্য শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে তাদেরই সাধারণত উদ্ভিদ হরমোণ (phytohormone) বলে।

উদ্ভিদদেহে অক্সিন ও জিব্বরেলিন এই দুটি হরমোন মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করলেও সাইটোকাইনিন, ইথিলিন ও অ্যাবসাইসিক অ্যাসিডের ভূমিকাও বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। উদ্ভিদদেহে বৃদ্ধি, পরিস্ফুরণ প্রভৃতি উল্লেখযোগ্য কার্যগুলি উদ্ভিদ হরমোন কর্তৃক নিয়ন্ত্রিত হয়। উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটনের জন্য ফাইটোক্রম রঞ্জক এবং ফ্লোরিজেন নামক হরমোন মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। নিম্ন তাপমাত্রার (5°C) প্রভাবে পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াকে তরান্বিত করার প্রক্রিয়াকে বাসন্তীকরণ (vernalization) বলে। লাইসেনকো (Lysenko,1928) প্রথম vernalization কথাটি চালু করেন। ভার্নালিন (vernalin) নামক একটি প্রকল্পিত হরমোন এই বিষয়ে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

উদ্দেশ্য ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনি

- হরমোনের শ্রেণীবিভাগ সম্পর্কে একটি প্রাথমিক ধারণা লাভ করবেন।

- উদ্ভিদ বৃদ্ধি ও পরিস্ফুটনে জড়িত প্রধান হরমোনগুলির উদাহরণ দিতে পারবেন।
- বিভিন্ন হরমোনগুলির কার্যকারিতা ও ব্যবহারিক প্রয়োগ সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া এবং ফ্লোরিজেন হরমোণের ভূমিকা সম্পর্কে অবহিত হবেন।
- বাসন্তীকরণ প্রক্রিয়া এবং ভার্নালিন নামক প্রকল্পিত হরমোনটির বিষয়ে ধারণা লাভ করবেন।

18.2. হরমোনের শ্রেণীবিভাগ

রাসায়নিক গঠন ও ক্রিয়াপদ্ধতির ভিত্তিতে হরমোনকে নিম্নলিখিত ভাগে ভাগ করা যায় ঃ

উদ্ভিদ হরমোন

- প্রাকৃতিক (এই হরমোনগুলি উদ্ভিদদেহে পাওয়া যায়)
  - ইনডোল হরমোন (বেনজিন ও পাইরোলের সমন্বয়ে গঠিত জৈব যৌগকে ইনডোল বলে উদা ঃ ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড
  - ইনডোল বিহীন হরমোন
    - নাইট্রোজেন যুক্ত উদাঃ সাইটোকাইনিন (জিয়াটিন)
    - নাইট্রোজেন বিহীন উদা ঃ জিব্বারেলিন, ইথিলিন
- কৃত্রিম (এই যৌগগুলি উদ্ভিদে পাওয়া যায় না অর্থাৎ কৃত্রিমভাবে সংশ্লিষ্ট হয় কিন্তু এদের কার্যকারিতা প্রাকৃতিক হরমোনের মতন) উদা ঃ 1.NAA (ন্যাপথলিন অ্যাসিটিক অ্যাসিড) 2.2,4-D- ডাইক্লোরো ফেনক্সি অ্যাসিটিক অ্যাসিড
- প্রকল্পিত (এদের রাসায়নিক গঠন অজ্ঞাত হলেও ক্রিয়াশীলতা প্রমাণিত হয়েছে) উদাহরণ ঃ
  1. ফ্লোরিজেন
  2. ভার্নালিন
  3. ডরমিন

অক্সিন

অক্সিন নামক একটি বিশেষ রাসায়নিক পদার্থ উদ্ভিদের আলোকবৃত্তি চলনের জন্য দায়ী। বিজ্ঞান ডারউইন (1886) প্রথম এই রাসায়নিকটির উপস্থিতি সম্পর্কে ধারণা দেন এবং বিজ্ঞানী ওয়েন্ট যই (Oat) গাছের মুকুলাবরণীর (coleoptile) বক্রতাজনিত চলনের (Avena coloptile curvature test) জন্য এই রাসায়নিক

পদার্থটিকেই দায়ী করেন। উদ্ভিদদেহে প্রধান অক্সিনটি ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড (IAA) ট্রিপটোফ্যান নামক অ্যামাইনো অম্ল থেকে IAA উৎপন্ন হয়। ইহা সাধারণত বিটপের অগ্রভাগে সংশ্লিষ্ট হয় এবং নিম্নাভিমুখে পরিবাহিত হয়ে উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধিকে নিয়ন্ত্রণ করে। এই হর্মোনটি মেরুবর্তী (polar) চলন প্রদর্শন করে এবং সজীবকোষ দ্বারা সংবাহিত হয় কতকগুলি রাসায়নিক পদার্থ অক্সিনের এই প্রবাহে বাধা প্রদান করে ইহাদের অক্সিন বিরোধী বা Antiauxin বলে। যেমন 2, 3, 5 triodobenzoic acid (TIBA), napathylthalamic acid (NTA) প্রভৃতি।

অক্সিনের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলী ঃ

এই অংশে আপনি অক্সিনের প্রধান প্রধান শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলীগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।

A. উদ্ভিদের বৃদ্ধি

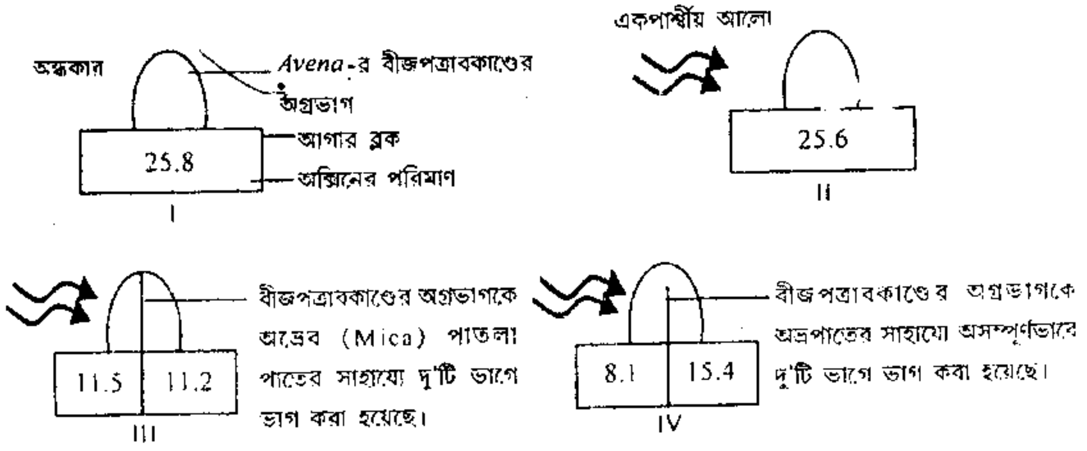
অক্সিন হল উদ্ভিদের বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রণকারী মুখ্য হরমোন। অক্সিন প্রধানত বিটপ অংশের অগ্রভাগে সংশ্লিষ্ট হয় এবং নিম্নাভিমুখে পরিবাহিত হয়ে উদ্ভিদের সামগ্রিক বৃদ্ধিকে নিয়ন্ত্রণ করে। অক্সিনের পরিমাণ বৃদ্ধি পেলে বিটপ অংশের বৃদ্ধি ত্বরান্বিত হয় কিন্তু অক্সিনের অধিক ঘনত্বে মূলের বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। অক্সিন ভাজক 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) Avena 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 আলোব প্রভাবে বিনষ্ট হয় না। C) পাতলা অভ্র (Mica) দিয়ে বীজপত্রাবকাণ্ডকে 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 18A-I-IV)

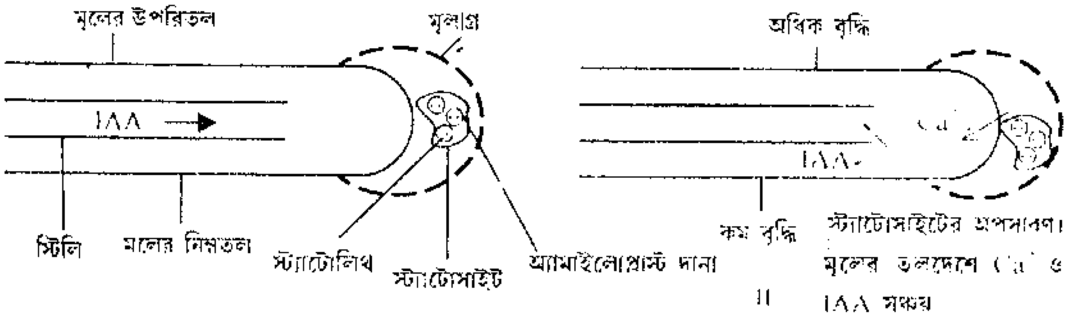


চিত্র ঃ 18A ঃ বীজপত্রাবকাণ্ডে আলোকনিয়ন্ত্রিত অক্সিন (IAA) সঞ্চয় ও পার্শ্বীয় সঞ্চালন

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 স্ট্যাটেলিথ 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 18B 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 (axe 1, aux 2 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 ঃ 18B ঃ মূলের অক্সিন নিয়ন্ত্রিত বক্রচলন

C. অগ্রস্থ প্রকটতা বা Apical dominance

বিজ্ঞানী স্কুজ ও 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 বৃদ্ধি 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 বৃদ্ধি প্রাপ্ত 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 অঙ্গাগুলির 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 অঙ্গাটিকে 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 গর্ভশয়টি ফলে পরিণত হয়। Gustafson (1936) লক্ষ করেছিলেন যে পরাগযোগের পূর্বে স্ত্রীস্তবকে অক্সিন (IAA) 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. ক্যালাস উৎপাদন

কৃষ্টি মাধ্যমে অক্সিন প্রয়োগ করলে (বিশেষত সাইটোকাইনিনের সমন্বয়ে) দ্রুত ক্যালাস (Callus) উৎপাদন ও ক্যালাস থেকে বিভিন্ন অঙ্গের পরিস্ফুরণ 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 (Spilelet) সংখ্যা বাড়তে দেখা গেছে।

H. আগাছা নিয়ন্ত্রণ

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

18.3.2 জিব্বারেলিন

ইহা গুরুত্বের বিচারে উদ্ভিদ হরমোনগুলির মধ্যে দ্বিতীয় স্থান অধিকার করে। 1926 সালে Kurosava এই হরমোনটি আবিষ্কার করেন। এটি প্রথম নিস্কাশিত হয় *Gibbesella fujikuroi* (Fusarium monilifome) নামক অ্যাসকোমাইসেটিস গোত্রের ছত্রাক হইতে। এই ছত্রাকটি ধানের বাকানি (Bakanae) রোগের জন্য দায়ী। আক্রান্ত গাছগুলি অস্বাভাবিক লম্বা, বীজহীন এবং হাল্‌কাবর্ণের। এই লক্ষণগুলি সাধারণত ছত্রাক নিঃসৃত কোন রাসায়নিক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। ছত্রাক হইতে এই পদার্থটি প্রথম নিষ্কাশন করেন Yabuta, Hayashi, এবং Kannbe এবং পদার্থটির নামকরণ করেন জিব্বারেলিন। Yabuta এবং Sumuki জিব্বারেলিনের দুটি প্রতিরূপ Gibberellin A এবং B এর কেলাস পৃথকভাবে নিষ্কাশন করেন।

জিব্বারেলিন মূলতঃ চক্রাকার ডাইটারপেন (ditespune) গোষ্ঠীর অন্তর্ভুক্ত। অন্ততঃ 137টি বিভিন্ন ধরণের GA_1, GA_2 ...... GA_{137} এ পর্যন্ত আবিষ্কৃত হয়েছে। ইহা মেভালনেট (Mevalnate) জাতীয় পদার্থ থেকে সংশ্লেষিত হয়। এই সংশ্লেষ প্রথমত অ্যাসিটাইল COA হইতে শুরু হয়। জিব্বারেলিন সহজেই বিভিন্ন দিকে ছড়িয়ে পড়তে পারে। সাধারণত কচি পাতা, মূল, অপরিণত বীজে বেশী মাত্রায় সংশ্লেষিত হয় এবং জাইলেম ও ফ্লোয়েম উভয় কলার মধ্যে দিয়ে ইহা পরিবাহিত হয়।

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। λ রশ্মি প্রয়োগ করলে কোষ বিভাজন বন্ধ হয়ে দেখা যায় কিন্তু এই অবস্থায় GA প্রাথমিক অবস্থায় কোষের বৃদ্ধিকে এবং পরবর্তী স্তরে কোষ বিভাজনের হারকে বাড়িয়ে দিয়ে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ঘটায়।

মিউট্যান্ট ভুট্টা গাছের পর্বমধ্য অর্ন্তত খর্ব হওয়ায় গাছগুলি রোজেট (Rosette) আকৃতির হয়। দেখা গেছে এই ধরণের 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_3 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 গাছে (Prunus ceraseus) স্বাভাবিক বৃদ্ধি ব্যাহত হয়। GA প্রয়োগ করলে গাছগুলি ভাইরাসমুক্ত হয়না 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} প্রভৃতি।

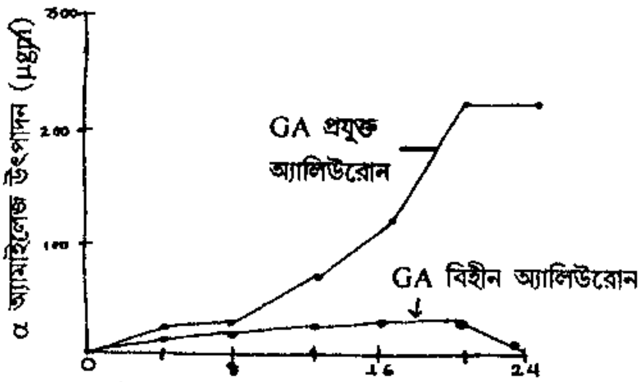
iii) মাঝারি ক্ষমতা সম্পন্ন—GA_2, GA_6, GA_{23} প্রভৃতি।

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

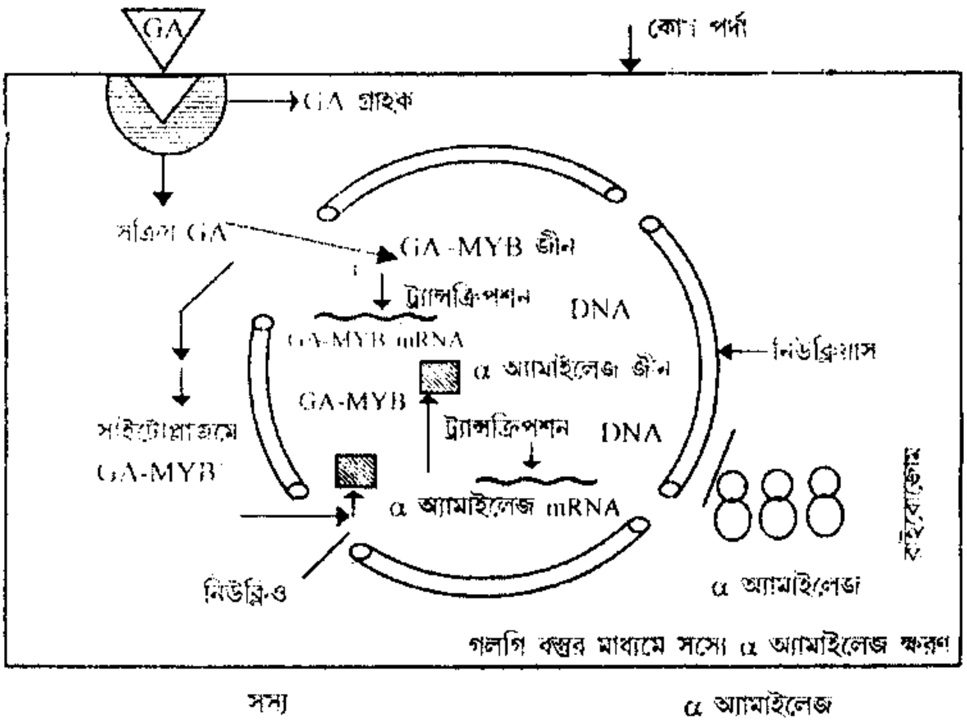
v) অত্যন্ত উচ্চ ক্ষমতা সম্পন্ন—GA_3, GA_7 প্রভৃতি।

B) বীজের অঙ্কুরোদগম—

GA এর প্রভাবে বীজের অঙ্কুরোদগম ত্বরান্বিত হয় কারণ GA হল অঙ্কুরোদগমের একটি প্রাথমিক এবং অত্যাবশ্যক উপাদান। দানাশস্যে (Cereal) GA এর প্রভাব বিশেষভাবে লক্ষণীয়। এই বীজগুলির ভ্রূণসস্য থেকে খাদ্যগ্রহণ করে। সস্যের চারিদিকে 2-4 স্তরযুক্ত অ্যালিউরোন স্তর থাকে। GA অ্যালিউরোন 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, চ্যান্ডলার (Higgins et al. 1976, Chandker 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, 18J নং ও 18K 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) GA প্রথমে অ্যালিউরোন কোষপর্দা সংলগ্ন একটি গ্রাহকের (Receptor) সাথে যুক্ত হতে অ্যালিউরোন কোষে প্রবেশ করে।

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

3) এই প্রোটিনটি আবার নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে অ্যামাইলেজ জিনকে উদ্দীপ্ত করে α অ্যামাইলেজ m-RNA গঠন করে। এই m-RNA রাইবোজোমে α অ্যামাইলেজ সংশ্লেষ করে ও গলজি 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 পুষ্প প্রস্পুটনকারী হর্মোনের সংশ্লেষ ঘটায়। হ্রস্ব দিবা উদ্ভিদে অবশ্য GA-এর প্রভাবে প্রতিকূল পর্যায়ে ফুল ফুটতে দেখা যায় না। বিজ্ঞানী জির্ভাট (Zeevart) মনে করেন যে GA প্রত্যক্ষ ভাবে পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে কারণ অনেক উদ্ভিদেই GA সংশ্লেষের প্রতিবন্ধকারী 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 কান্ডের 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 GA_5 অত্যন্ত দ্রুত সংশ্লিষ্ট হতে দেখা গেছে।

d) পার্থেনোকার্পি—

অনিষিক্ত ডিম্বকে GA প্রয়োগ করলে ডিম্বাশয়ের কোষ দ্রুত বিভাজিত হয় ফলে পরিণত হয় এবং ডিম্বক নিষিক্ত না হওয়ায় ফলটি বীজবিহীন (perthenocarpie) 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 এবং 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 (4^0C) 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 হরমোনটি 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) ক্ষেত্রে ও 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?

18.3.3 সাইটোকাইনিন ঃ—

উন্নত শ্রেণীর উদ্ভিদে সাইটোকাইনিন একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। Skoog (1955) প্রথম তামাক গাছের (Nicotiana tabaceum) মজ্জা (pith) কোষ থেকে ইহা পৃথক করেন এবং দেখান কৃষ্টি মাধ্যমে এই কোষগুলির বিভাজন কিছুদিন পরেই বন্ধ হয়ে যায়। ওই মাধ্যমে যদি IAA এর সাথে ইষ্ট নির্যাস মিশ্রিত করে দিলে ইহা পুনরায় বিভাজনক্ষম হয়ে ওঠে। এর থেকে ধারণা করা যায় উক্ত উদ্ভিদ নির্যাসে নিশ্চয়ই কোষবিভাজনের সহায়ক কিছু উপাদান থাকে। মিলার ও তাঁর সহকর্মীরা (Miller et al., 1956) হেরিং এ শুক্রানুর নিউক্লিক অম্ল থেকে কোষ বিভাজনকারী রাসায়নিক উপাদানটি পৃথক করেন। অ্যাডেনিন লব্ধ যে যৌগগুলি কোষবিভাজনে সহায়তা করে তাদের সাইটোকাইনিন গোষ্ঠীর হরমোনের মধ্যে অন্তর্ভুক্ত করা হয়। সাইটোকাইনের মূলত তিনটি প্রকারভেদ বর্তমান। প্রাকৃতিক সাইটোইনিন অর্থাৎ জিয়াটিন ভুট্টার সস্যে পাওয়া যায়। কৃত্রিম সাইটোকাইনিন যেমন, বেনজাইল অ্যামাইনো পিউরিন (BAP) উদ্ভিদদেহে অনুপস্থিত। সাইটোকাইনিন সদৃশ যৌগ বেনজিমিডাজোল প্রভৃতি পিউরিনবিহীন কিন্তু সাইটেকাইনিনের কার্যকারীতা প্রকাশ করে। হরমোনটি প্রকৃতিতে অ্যাডেনিন মোনো ফসফেট (AMP) হইতে সংশ্লেষিত হয়।

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 সাইকোইনিনের মিশ্রণ প্রয়োগ করলে দ্রুত ক্যালাস (Callus) উৎপন্ন হয়। নারকেল দুধ (Coconut milk) ক্যালাস মাধ্যমে প্রয়োগ করলে কোষ বিভাজনের হার দ্রুত হয় এবং ক্যালাসটি মূল, পাতা, প্রভৃতি অঙ্গে বিভেদিত হয়। দেখা গেছে যে নারকেল দুধে পর্যাপ্ত পরিমাণে সাইটোকাইনিন থাকে যা ক্যালাস উৎপাদন বা ক্যালাস থেকে পূর্ণাঙ্গ উদ্ভিদ গঠনে সহায়তা করে।

কোনো উদ্ভিদ Agrobacterium 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 IAA 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 বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। কাইনেটিনের প্রভাবে সুক্রোজ দ্রুত আর্দ্র বিশ্লেষিত হয়ে গ্লুকোজ 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—

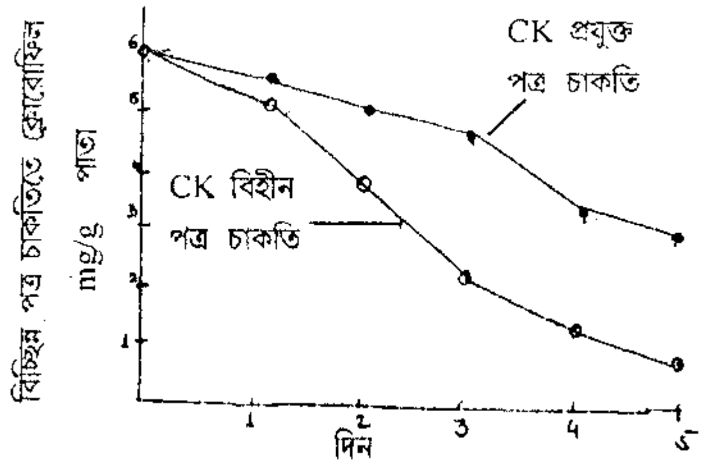
উদ্ভিদ অঙ্গের পরিস্ফুটনেও সাইটোকাইনিন অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। তামাক পাতার মজ্জা থেকে কলাকর্ষণ করা সময় IAA ও কাইনেটিন 2mg/লিটার ঃ 0.02mg/লিটার—এই অনুপাতে থাকলে দ্রুত কোষবিভাজনের মাধ্যমে ক্যালাস উৎপন্ন হয় বটে কিন্তু কেলাসটিতে উদ্ভিদ অঙ্গের সৃষ্টি হয় না। কৃষ্টি মাধ্যমে এই হরমোন দু'টি বিপরীত 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—

বয়েসের সাথে সাথে জীবদেহে যে ক্ষয়সূচক শারীরবৃত্তীয় ও জৈবরাসায়নিক পরিবর্তনগুলি পরিলক্ষিত হয় তাদের সামগ্রিকভাবে বার্ধক্যের সূচক (Index of senescence) বলে। রিচমণ্ড ও ল্যাং (Richmond and Lang, 1957) Xanthium পাতার বিচ্ছিন্ন চাকতিতে (Isolated leaf disc) 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 18M) 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 Lang effect বলা হয়।



চিত্র ঃ 8M ঃ সাইটোকাইনিন (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 উপস্থিতিতে ও পার্শ্বীয় মুকুলগুলি স্বাভাবিকভাবে বেড়ে ওঠে। এই পরীক্ষাটি প্রমাণ করে যে কাইনেটিন অগ্রস্থ প্রকটতাকে প্রতিহত করে পার্শ্বমুকুলের পরিস্ফুটন ঘটাতে সাহায্য করে।

E) প্লাসটিডের পরিস্ফুটণ ও ক্লোরোফিল সংশ্লেষ—

কোনো গাছকে অন্ধকারে দীর্ঘ রাখলে প্রোপ্লাসটিড প্লাসটিডে রূপান্তরিত হতে পারে না এবং ক্লোরোফিল সংশ্লেষও সম্ভব হয়না। এই ধরণের ক্লোরোফিলবিহীন (Etiolated Plast) উদ্ভিদে কাইনেটিন প্রয়োগ করলে দ্রুত ক্লোরোফিলের সংশ্লেষ ঘটে এবং ক্লোরোফিলবিহীন প্লাসটিড বা ইটিওপ্লাস্ট (Etioplast) ক্লোরোপ্লাসটিডে 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 অঙ্কুরোদগম সম্পন্ন হয়। পুরানো বীজে ABA এর মাত্রা বেড়ে যায় যা অঙ্কুরোদগমকে প্রতিহত করে কিন্তু সেই বীজে সাইটোকাইনিন প্রয়োগ করলে দেখা যায় যে এই হরমোন ABA এর ক্রিয়াকে আংশিকভাবে নিষ্ক্রিয় করে বীজের অঙ্কুরোদ্‌গম ঘটায়। দানাশস্যে GA এর মতন সাইটোকাইনিন ও α অ্যামাইলেজের ক্রিয়াকে বাড়িয়ে দিয়ে অঙ্কুরোদ্‌গমে সহায়তাকরে। এই কারণে সাইটোকাইনিনকে অঙ্কুরোদ্‌গমের 'promoting factor' বলা হয়।

18.4 ইথিলিন ঃ

প্রকৃতি ঃ—ইথিলিন একটি সরল অসম্পৃক্ত হাইড্রোকারবন ($CH_2=CH_2$) উদ্ভিদদেহে মিথিওনিন 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 যায় 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।কার্বক্সিলিক অম্ল—ইথিলিন উৎপাদনকারী যৌগ) প্রয়োগ করলে পাতার বার্ধক্য ত্বরান্বিত হয়।

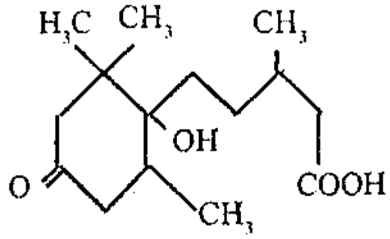
G) বীজের অঙ্কুরোদগম— বাদাম জাতীয় গাছে ইথিলিনের প্রভাবে বীজের সুপ্তাবস্থা ভঙ্গ হয় ও ভ্রূণ দ্রুত বৃদ্ধি লাভ করে।

18.5 অ্যাবসিসিক অম্ল ঃ

অ্যাবসিসিক অম্ল (ABA) একটি টারপিনয়েড যৌগ যা উদ্ভিদের প্রধান বৃদ্ধি প্রতিরোধক হরমোনরূপে 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 কার্বকিসসলিক মূলক (-COOH) থাকে এবং সাইক্লোহেক্সেন বলয়ের α ও β কার্বনস্থানে দ্বিবন্ধনী (Double bond) থাকে। ইহা মেভালনিক (Mevalonic) অম্ল থেকে উৎপন্ন হয়।

শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলি



চিত্র ঃ 8N ঃ ABA এর রাসায়নিক গঠন

A) বীজের সুপ্তাবস্থা আনয়নে— কোনো বীজকে দীর্ঘদিন ধরে ফেলে রাখলে ধীরে ধীরে তার অঙ্কুরোদ্গমের ক্ষমতা লোপ পায় এবং বীজটি সুপ্তাবস্থায় (Dormant) উপনীত হয়। দেখা গেছে যে বীজের বার্ধক্যের সাথে সাথে ABC এর পরিমাণ ধীরে ধীরে বাড়তে থাকে। এই হরমোনটি 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।

B) পত্ররন্ধ্রের নিমীলন ও বাষ্পমোচন রোধ— ABA এর প্রভাবে পত্ররন্ধ্র উন্মোচিত হয় না এবং এর ফলে বাষ্পমোচনের হারও কমে যায়। এই কারণে ABA কে বাষ্পমোচন প্রতিরোধ 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 1 μ mol 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।

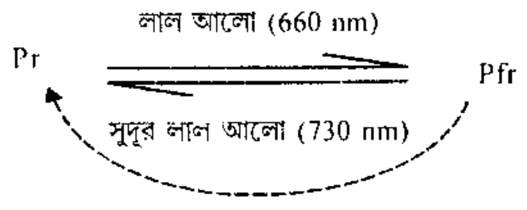
18.4 পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া ঃ

Garner এবং Allerd 1920 সালে সর্বপ্রথম তামাকের একটি পরিব্যক্তি সম্পন্ন জাত Manyland এর ক্ষেত্রে লক্ষ্য করেন হ্রস্ব দিবাকাল এবং দীর্ঘ রাত্রি পুষ্প পরিস্ফুটনের সহায়ক। প্রতিটি প্রজাতির পুষ্প পরিস্ফুটন একটি নির্দিষ্ট দিবা দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভরশীল যাকে সঙ্কট আলোককাল বা Critical photoperiod বলে। সঙ্কট আলোককালের উপর নির্ভর করে সমগ্র উদ্ভিদকুলকে পাঁচভাগে ভাগ করা যায়।

পুষ্প পরিস্ফুটনের উপর লাল (660 mm) ও সুদূরলাল আলোর (730 mm) উল্লেখযোগ্য ভূমিকা লক্ষ্য 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 বাধা প্রাপ্ত হয়।

18.4.1 বিজ্ঞানী Borthwick এবং Hendricks (1956) সালে সর্বপ্রথম প্রমাণ করেন যে গাছের পাতায় লাল (R) ও সুদূর লাল আলো (FR) গ্রহণকারী বিশেষ রঞ্জক পদার্থ আছে যাকে **ফাইটোক্রোম** নামে সনাক্ত করা হয়। লাল আলোক শোষণকারী ফাইটোক্রোমকে (Phytochrome) কে Pr এবং সুদূর লাল আলো শোষণ করে pfr রূপে রূপান্তরিত হয়। এই প্রক্রিয়াকে রাত্রিকালীন বিপাকীয় পরিবর্তন (Metabolic dark convession) বলে। Pr $\rightleftarrows$ Pfr এর রূপান্তর একটি উভমুখী প্রক্রিয়া এবং কয়েক মিলিসেকেণ্ডের মধ্যেই এই আইসোমারাইজেশন ঘটে। রাসায়নিকভাবে ইহা একটি নীলাভ ক্রোমোপ্রোটিন, এই যৌগের ক্রোমোফোর বা

বর্ণময় অঞ্চলটি একটি টেট্রাপাইরোল। এখানে চারটি পাইরোল বর্গ সরল বা রেখিক শৃঙ্খলে সজ্জিত থাকে এই অংশটিকে ফাইটোক্রোমোবিলিন বলে।



Pr এবং Pfr এর রূপান্তরভবন

ফাইটোক্রোমের অপর অংশটি অ্যাপোপ্রোটিন। 1128 টি অ্যামাইনো অম্লের দ্বারা অ্যাপোপ্রোটিন গঠিত এবং ইহার 321 নম্বর সিস্টিন অ্যামাইনো অম্লের সাথে থায়োএস্টার বন্ধনীর মাধ্যমে ক্রোমোফোর অঞ্চলটি যুক্ত থাকে। PHY-A উদ্ভিদ নিউক্লিয়াসকে PHY-A জিনটি অ্যাপোপ্রোটিন গঠন করে এবং প্লাস্টিডে টেট্রাপাইরোল ক্রোমোবিলিন রঞ্জকটির সংশ্লেষ ঘটে। এই দুটি অংশ সাইটোপ্লাজমে এসে ফাইটোক্রোম হলো (Holo) প্রোটিনটি তৈরী করে।

18.4.2 ফ্লোরিজেন

উদ্ভিদ সঠিক মাত্রায় আলোক পর্যাবৃত্তি জনিত উদ্দীপনা গ্রহণ করলে উদ্ভিদ পুষ্প প্রস্ফুটনের সার্বজনীন হরমোনটি সংশ্লেষিত হয়। ইহাকে ফ্লোরিজেন বলে। সুক্রোজ জাতীয় শর্করার উপস্থিতি এই হরমোনের সংশ্লেষকে প্রভাবিত করে, দীর্ঘ দিবা উদ্ভিদে কম আলোক প্রদান করলেও GA প্রয়োগে পুষ্প প্রস্ফুটন বেড়ে যায়। চাইলাখান প্রথম Xanthium গাছের হ্রস্বদিবাকালীন শ্রেণীর সঙ্গে দীর্ঘদিবাকাল সম্পন্ন গাছের কলমের মাধ্যমে সকলগাছগুলিকে হ্রস্ব দিবাকালে ফুট ফোটাতে সমর্থ করেন, এই পরীক্ষায় প্রমাণিত হয় যে ফ্লোরিজেন হরমোনটি দ্রুত প্রবাহিত হয়, এই হরমোনটি বিশুদ্ধীকরণ সম্ভব হয়নি বলে ইহার রাসায়নিক গঠন সম্পর্কে এখনও কিছু জানা সম্ভব হয়নি। অনেক বিজ্ঞানীর ধারণা ফ্লোরিজেন নামক হরমোনটি অত্যন্ত সংবেদনশীল ও ভঙ্গুর এবং নিষ্কাশনের কালে বিনষ্ট হয়ে যায়। অনেক বিজ্ঞানী মনে করেন উদ্ভিদে ফ্লোরিজেন নামক হরমোনের উপস্থিতি আদৌ নেই এবং GA, পর্যাপ্ত সুক্রোজ এবং C/N অনুপাতের ভারসাম্য পুষ্প পরিস্ফুটন নিয়ন্ত্রণ করে।

সাম্প্রতিককালে পুষ্পপ্রস্ফুটনে ফ্লোরিজেনের জীনগত প্রভাব সম্পর্কে জানা গেছে। ফ্লোরিজেন Flowering Locus C বা FLC এবং AGAMOUS LIKE 20 (AGL20) জিনকে প্রভাবিত করে পুষ্পস্তবক গঠনে মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

18.5.5 বাসন্তীকরণ (Vernalization)

নিম্নতাপমাত্রার প্রভাবে শীতকালীন বীজকে বসন্তকালে রোপণ করে পুষ্প প্রস্ফুটন ত্বরান্বিত করার প্রক্রিয়াকে Vernalization বা বাসন্তীকরণ বলে। গমজাতীয় উদ্ভিদের বীজকে সিক্ত অবস্থায় রেখে নিম্নতাপমাত্রা (5^oC) প্রয়োগ করলে উদ্ভিদের স্বাভাবিক ফলন লক্ষ্য করা যায়।

বাসন্তীকরণের শর্ত ঃ—

1) বীজকে বাসন্তীকরণের পূর্বে অবশ্যই সিক্ত অবস্থায় রাখতে হবে।
2) 5^oC তাপমাত্রাই সাধারণতঃ ইহার আদর্শ তাপমাত্রা।
3) Secale cereale জাতীয় উদ্ভিদে বাসন্তীকরণের সময়কাল বাড়িয়ে পুষ্প প্রস্ফুটন আরও ত্বরান্বিত করা গেছে।
4) O_2 এর উপস্থিতি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ।
5) বাসন্তীকরণের পর (25^o– 40^oC) তাপমাত্রায় বাসন্তীকরণের প্রভাব নষ্ট হয়ে যায়। এই প্রক্রিয়াকে নির্বাসন্তীকরণ (De vernalization) বলে।
6) উদ্ভিদ অঙ্গে সুক্রোজজাতীয় শর্করার পর্যাপ্ত উপস্থিতি আবশ্যক।
বিজ্ঞান মেলচার এবং ল্যাঙ (Melcher and Lang, 1966) দেখান শৈত্যপ্রয়োগের ফলে উদ্ভিদে পুষ্প প্রস্ফুটনের সহায়ক একটি হরমোন উৎপন্ন হয় যাকে ভার্নালিন বলে। GA এর উপস্থিতি ভার্নালিনের ক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে। ভার্নালিন পরোক্ষভাবে ফ্লোরিজেন হরমোনের ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। ভার্নালিনের রাসায়নিক অস্তিত্ব এখনও অবধি আবিষ্কৃত হয়নি তাই ভার্নালিনকে প্রকল্পিত হরমোন (Hypothetical Hormone) বলে।

বাসন্তীকরণের গুরুত্ব ঃ

1) উদ্ভিদকে বসন্তকালে অঙ্কুরিত করা যায়।
2) দ্বিবর্ষজীবী উদ্ভিদকে একবর্ষজীবী উদ্ভিদে রূপান্তরিত করা যায়।
3) উদ্ভিদের শৈত্য সহনশীলতা বেড়ে যায়।
4) উদ্ভিদের ছত্রাকঘটিত রোগের প্রতিরোধ ক্ষমতা বেড়ে যায়।
5) গ্রীষ্মপ্রধান দেশে শীতকালে অঙ্কুরোদগমের তেমন ব্যাঘাত ঘটে না বলে বাসন্তীকরণের তেমন গুরুত্ব নেই।

18.6 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 ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড বা অক্সিন উৎপন্ন হয় এবং এই হরমোনটি প্রধানত কোষের বিভাজন ও আয়তন বৃদ্ধিতে সহায়তা করে। উদ্ভিদের ট্রপিক চলন, অগ্রস্থ প্রকটতা প্রধানত এই হমোন 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 হরমোন বীজবিহীন ফল উৎপাদন ও পুষ্প প্রস্ফুটন নিয়ন্ত্রণ করে।

সাইটোকাইনিন হল অ্যাডিনিন-লব্ধ হর্মোনগোষ্ঠী যা দ্রুত কোষের বিভাজন ঘটায়। বিভিন্ন উদ্ভিদ অঙ্গের পরিস্ফুটন ও বীজের অঙ্কুরোদগমে এই হরমোন সহায়তা করে।

ইথিলিন উদ্ভিদদেহে প্রাপ্ত একমাত্র প্রাকৃতিক গ্যাসীয় হরমোন যা ফল পাকাতে সাহায্য করে। উদ্ভিদ অঙ্গের মোচন স্তরে অ্যাবসিসিক অম্ল সৃষ্টি হয় যা পাতা, ফুল ও ফলের অকালমোচন ঘটায়। এই হমোন অঙ্কুরোদগমে বাধাদান করে। খরাকালীন অবস্থায় রক্ষীকোষে এই হর্মোনটি দ্রুত সংশ্লিষ্ট হয় এবং পত্ররন্ধ্রকে নিমীলিত করে বাষ্পমোচন রোধ করে। উদ্ভিদের পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়াটি আলোর সময়কালের উপর নির্ভরশীল। প্রতিটি প্রজাতির একটি নির্দিষ্ট আলোককাল আছে যাকে সঙ্কট আলোককাল বলে। ফাইটোক্রোম নামক একটি আলোকসুবেদী রঞ্জক পুষ্পপরিস্ফুটনে অংশ নেয়। এই রঞ্জক P_r এবং P_{fr} দুটি রূপে অবস্থান করে। উদ্ভিদে সঠিক আলোক পর্যাবৃত্তির ফলে ফ্লোরিজেন নামে একটি হরমোন সংশ্লেষ ঘটে যা পাতা থেকে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে প্রবাহিত হয়ে পুষ্পমুকুলকে বিকশিত করে, নিম্নতাপমাত্রার (5^oC) প্রভাবেও পুষ্প প্রস্ফুটন প্রক্রিয়া ত্বরান্বিত হয় এবং ভার্নালিন নামক প্রকল্পিত হরমোন এই কার্যে সহায়তা করে।

18.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1 উদ্ভিদদেহে প্রধান অক্সিনটি কী?

2 অ্যান্টি অক্সিন কাকে বলে? একটি উদাহরণ দাও।

3 অগ্রস্থ প্রকটতা কী?

4 কোন ছত্রাক হইতে জিব্বীরেলিন সংশ্লেশিত হয়?

5 লিঙ্গ পরিবর্তনে কোন্ হরমোন গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে?

6 কোষ বিভাজনে কোন্ হরমোন কার্য্য করে?

7 ফলের অকালমোচন রোধ করে কোন্ হরমোন?

8 পত্ররন্ধ্রের নিমীলন ও বাষ্পমোচন রোধে কোন্ হরমোন কার্য্য করে?

9 ফাইটোক্রোম কী? ইহার কার্য্য পদ্ধতি বর্ণনা কর।

10 ফ্লোরিজেনের জীনতত্ত্বে গুরুত্ব কী?

11 বাসন্তীকরণ পদ্ধতিটি বর্ণনা কর। উদ্ভিদবিদ্যায় ইহার গুরুত্ব লেখ।

18.8 উত্তর সংকেত

1 ইনডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড

2 **18.3.1** এর প্রথম অনুচ্ছেদ দেখুন।

3 **18.3.1** এর অক্সিনের শারীরবৃত্তীয় কার্যাবলীর— C) অগ্রজ প্রকটতা অংশটি দেখুন।

4 **Gibberella Fujikuroi**

5. জিব্বেরালিন/ইথেলিন।

6. সাইটোকাইনিন।

7. ইথিলিন।

8. অ্যাবসাইসিক অ্যাসিড।

9. **18.4.1** অংশটি দেখুন।

10. **18.4.2** অংশটি দেখুন।

11. **18.5** অংশটিতে বর্ণনা করা হয়েছে।

একক - 19 : উদ্ভিদ কলাপোষণ (Plant Tissue Culture)

গঠন

19.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

19.2 কোষের পূর্ণজনন ক্ষমতা

19.3 ক্যালাস (callus) পোষণ পদ্ধতি

19.3.1 বৃদ্ধি মাধ্যম ও বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক

19.3.2 নির্বীজ করণ

19.3.3 পোষণ কৌশল

19.4 সাসপেন্সন পোষণ

19.5 শস্য উদ্ভিদের উন্নতিতে কলাপোষণের ব্যবহার

19.6 সারাংশ

19.7 অনুশীলনী ও প্রশ্নমালা

19.8 উত্তরমালা

19.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

উদ্ভিদ কলাপোষণ একটি ব্যবহার ভিত্তিক বিজ্ঞান শাখা, যা গত পাঁচ দশকে বিশেষভাবে বিকাশ লাভ করেছে। জৈব প্রযুক্তি বিদ্যায় কলাপোষণের গুরুত্ব অসীম। বর্তমানে কৃষির উন্নতিতে, উদ্যানচর্চায়, অরণ্যসৃজনে, উদ্ভিদ রাসায়নিকের উৎস হিসাবে এবং ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ সৃষ্টিতে উদ্ভিদ কলাপোষণ বিশেষ ভূমিকা নিয়েছে। তাই মানব কল্যানে উদ্ভিদ কলাপোষণের অবদান বহুমুখী। এই এককে আমরা উদ্ভিদকোষের এক বিশেষ ক্ষমতা, কলাপোষণের প্রাথমিক পদ্ধতি ও কৃষিতে উন্নতিতে কলাপোষণের ভূমিকা সংক্ষেপে আলোচনা করবো।

এই একক পাঠ করে আপনি —

- উদ্ভিদ কোষের বিশেষ ক্ষমতা-totipotency সম্পর্কে
- উদ্ভিদ কলাপোষণের প্রাথমিক শর্তাবলী এবং
- কৃষির উন্নতিতে কলাপোষণের বিভিন্ন ব্যবহার সম্পর্কে একটি প্রাথমিক ধারণা লাভ করবেন।

19.2 কোষের পূর্ণজনন ক্ষমতা (Totipotency of cell)

উদ্ভিদ কোষের একটি বিশেষ ক্ষমতা এই যে একটি কোষের মধ্যে একটি পূর্ণ উদ্ভিদে বিকশিত হবার ক্ষমতা সুপ্ত থাকে। একটি কোষের বিভাজন সাপেক্ষ একটি পূর্ণ উদ্ভিদে বিকশিত হওয়ার ক্ষমতাকে কোষের পূর্ণ জননক্ষমতা বা totipotency বলা হয়। এই totipotency-কে ভিত্তি করেই উদ্ভিদ কলাপোষণ বিজ্ঞানশাখা গড়ে উঠেছে। 1902 খ্রিঃ জার্মান বিজ্ঞানী Haberlandt (হাবারলান্ড) প্রথম ঘোষণা করেন যে একটি উদ্ভিদ কোষ পুণঃ পুণঃ বিভাজনের মাধ্যমে একটি পূর্ণ উদ্ভিদে বিকাশ পেতে পারে। এই তত্ত্ব প্রমাণের জন্য Haberlandt প্রথম কোষ পোষণে প্রচেষ্ট হন, কিন্তু নানা কারণে তিনি অসফল হন। সফল কলাপোষণের জন্য আরও কয়েক দশক গবেষণার প্রয়োজন হয়। Organogenesis মাধ্যমে কলাপোষণে কোষ থেকে পূর্ণ উদ্ভিদের বিকাশ কেবলমাত্র কয়েক দশক আগে সম্ভব হয়েছে। যে সমস্ত কোষের কোষপর্দা বর্তমান এবং সজীব নিউক্লিয়াস রয়েছে, সেই সমস্ত কোষ পূর্ণ জননক্ষম। একটি কোষ যদি পূর্ণতাপ্রাপ্ত হয়, কোষপোষণ মাধ্যমে প্রথমে সেটি dedifferentiated হয়ে বিভাজনক্ষম কোষে (meristematic) পরিণত হয় এবং বিভাজনের দ্বারা callus সৃষ্টি করে, পরে সেখান থেকে কোষীয় ভ্রূণ সৃষ্টি হয়, যা থেকে পূর্ণ একটি উদ্ভিদ বিকশিত হতে পারে। অবশ্যই এর জন্য উপযুক্ত পোষণ পদ্ধতি প্রয়োজন। সেই হিসাবে কোষীয় পূর্ণজননক্ষমতা বা totipotency-র Haberlandt প্রবর্তিত সঠিক সংজ্ঞা - 'কোষের সহজাত ক্ষমতা যার দ্বারা উপযুক্ত পোষণ মাধ্যমে ও পরিবেশে কোষ প্রথমে একটি ভ্রূণ ও পরে পূর্ণ উদ্ভিদে বিকশিত হতে পারে'।

19.3 ক্যালাস (Callus) পোষণ পদ্ধতি

যখন কোন উদ্ভিদ কলা পোষণ করা হয়, তখন কোষ-বিভাজনের মাধ্যমে বেশ কিছু অসংযুক্ত নির্দিষ্ট আকারশূন্য কোষের সৃষ্টি হয়, এগুলি পাতলা কোষপ্রাচীর বিশিষ্ট প্যারেনকাইমা কোষ। এই কোষসমষ্টি ক্যালাস হিসাবে পরিচিত। এই কলাপোষণের পদ্ধতি নীচে আলোচিত হবে।

19.3.1 পোষণে ব্যবহৃত বৃদ্ধিমাধ্যম

উদ্ভিদ কলা পোষণের প্রথম সর্ত উপযুক্ত পোষণমাধ্যম, যা থেকে কোষ সর্ব্বপ্রকার খাদ্য পেয়ে থাকে। 1934 খ্রীঃ White একটি সম্পূর্ণ পোষণমাধ্যম উদ্ভাবন করেন যার মধ্যে কিছু লবণ, চিনি, ভিটামিন ও কতিপয় অ্যামাইনো এসিড বর্তমান, এটি White's medium হিসাবে পরিচিত হয়, এটি একটি মূল মাধ্যম বা basal medium । বিভিন্ন প্রজাতির জন্য বিভিন্ন ধরণের মাধ্যমের প্রয়োজন হয়। বর্তমানে বহুল ব্যবহৃত মাধ্যমের মধ্যে রয়েছে Murashige and Skoog (MS) medium (1962), B5-মাধ্যম (Gamborg et al., 1968), NT মাধ্যম (Nagata & Takabe, 1972)। কিছু বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রকও মূল মাধ্যমের সঙ্গে যোগ করা হয়। সাধারণ ভাবে উদ্ভিদ কলাপোষণে অর্ধশক্ত মিডিয়া (semisolid) ব্যবহার করা হয়, যার জন্য মূলমাধ্যমে 0.8-1% Agar যোগ করা দরকার। অবশ্য কিছু ক্ষেত্রে পোষণের জন্য তরল মাধ্যমও ব্যবহার করা প্রয়োজন।

19.3.1.1 পোষণমাধ্যমের অজৈব দ্রব্য সমূহ

অজৈব দ্রব্যগুলির মধ্যে রয়েছে নাইট্রোজেন, ফসফরাস, পটাশিয়াম, ক্যালসিয়াম, ম্যাগনেসিয়াম, গন্ধক প্রভৃতির লবণ, যেগুলি অধিপুষ্টি বা macronutrient এবং বোরন, মলিবডেনাম, তামা, সিসা, লোহা, ম্যাংগানিজ, যেগুলি অণুপুষ্টি বা micronutrient নামে পরিচিত, কারণ প্রথমগুলি অধিক পরিমানে প্রয়োজন হয়, এবং পরের গুলি খুবই অল্প পরিমানে প্রয়োজন হয়।

19.3.1.2 জৈব দ্রব্য সমূহ (Organic supplements)

এর মধ্যে রয়েছে কয়েকটি ভিটামিন, শর্করা এবং কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিড, যেমন গ্লাইসিন, নিকোটিনিক অ্যাসিড, পাইরিডক্সিন HCl, থিয়ামিন HCl, ইনোসিটল প্রভৃতি।

19.3.1.3 বৃদ্ধিনিয়ন্ত্রক হর্মোন (Growth hormones)

উদ্ভিদ কলাপোষণে কয়েকটি বৃদ্ধি-নিয়ন্ত্রক হর্মোন যোগ করার প্রয়োজন হয়। এর মধ্যে রয়েছে কতগুলি অক্সিন যেমন - indole acetic acid (IAA-ইন্ডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড), indole butyric acid (IBA, ইন্ডোল বিউটারিক অ্যাসিড), 2-4 dichorophenoxyacetic acid (2, 4-D; 2, 4 ডাইক্লোরো ফেনক্সিঅ্যাসেটিক অ্যাসিড) প্রভৃতি। কলাপোষণে প্রয়োজনীয় আরো একটি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক হচ্ছে সাইটোকাইনিন (cytokinin), যার মধ্যে রয়েছে কাইনেটিন (kinetin), জিয়াটিন (zeatin) প্রভৃতি।

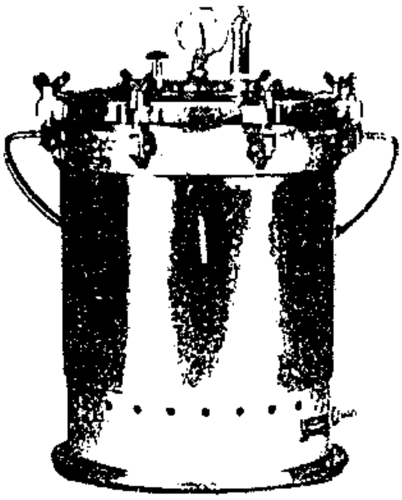
19.3.2 নির্বীজকরণ (Sterilization)

নির্বীজকরণ কলাপোষণের এক বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ সর্ত। যেসব পাত্র ও যন্ত্রপাতি ব্যবহৃত হবে সেগুলি, পোষণমাধ্যম, পোষণের জন্য প্রয়োজনীয় সমস্ত উদ্ভিদ কলা এবং পোষণক্ষেত্র নির্বীজ করণ অত্যন্ত জরুরি। কাঁচের পাত্র ও যন্ত্রপাতি 95% ethyl alcohol এ চুবিয়ে পরে বার্ণারের শিখায় পুড়িয়ে নিয়ে জীবাণুমুক্ত করা যায়, তরল পদার্থ ও পোষণ মাধ্যম অটোক্লেভ (autoclave, চিত্র 19.1) এর সাহায্যে নির্বীজকরা সম্ভব। Mercuric chloride (মারকিউরিক ক্লোরাইড), sodium hypochlorite (সোডিয়াম হাইপোক্লোরাইট) প্রভৃতি রাসায়নিক দ্রব্যের দ্রবণে চুবিয়ে উদ্ভিদের পোষণ যোগ্য কলা জীবাণুমুক্ত করা যায়। পোষণের জন্য জীবাণুবারক পরিবেশের জন্য laminar air flow cabinet (চিত্র-19.2) এর মধ্যে কলা বা ক্যালাস স্থাপন বা স্থানান্তরিত করা হয়ে থাকে।

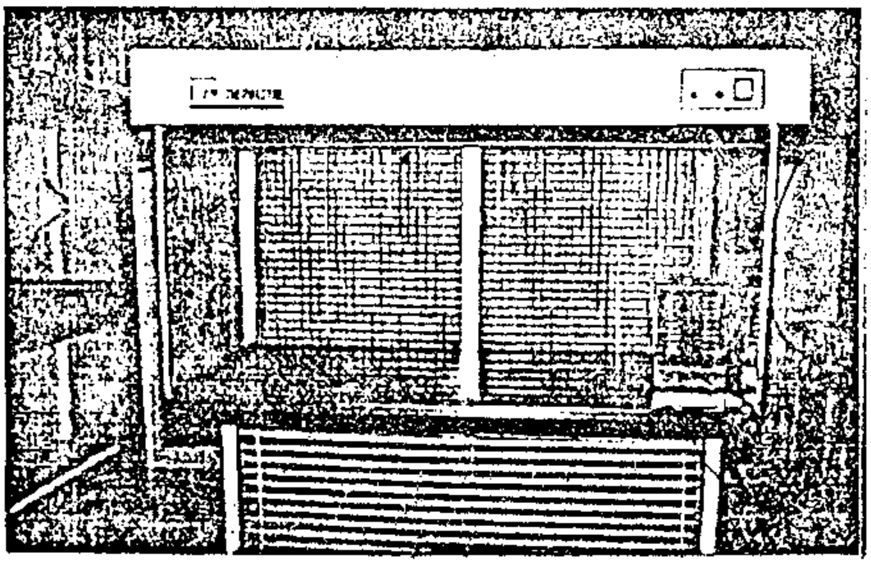
19.3.3 পোষণকৌশল

প্রাথমিক পোষণের জন্য যে উদ্ভিদ কলা বা কোষ সমষ্টি ব্যবহার করা হয়, সেটি explant হিসাবে পরিচিত। Explant হিসাবে সেই সব প্রত্যঙ্গ বাছা হয় যেখানে parenchymatous এবং meristematic কোষের আধিক্য থাকে। যেমন অগ্রমুকুল, মূলাগ্র, কন্দ জাতীয় কলা। জীবাণুমুক্ত এই সব কলার 2-5mm অংশ explant হিসাবে ব্যবহার করা হয়। Laminar air flow chamber-এর মধ্যে এক্সপ্লান্ট গুলি অর্ধশক্ত পুষ্টি মাধ্যমে (কাঁচের বয়াম বা ফ্লাস্ক বা কালচার টিউবের মধ্যে) 25°C-28°C এ 12 ঘন্টা পর্যায়ন্বিত আলো ও অন্ধকারে পোষণ করলে, explant গুলি কোষ বিভাজনের মাধ্যমে অসংযুক্ত ও নির্দিষ্ট আকার সম্পন্ন কোষসমষ্টি সৃষ্টি করে যা ক্যালাস হিসাবে পরিচিত।

এগুলি পাৎলা কোষপ্রাচীর বিশিষ্ট parenchyma কোষ। একই পোষণমাধ্যমে ও একই সর্তে ক্যালাস কোষ পোষণ করা চলে, অথবা প্রয়োজনে উপপোষণ করা হয়। ক্যালাস কোষ থেকে organogenesis এর মাধ্যমে বীটপ বা মূল পরিস্ফুটন সম্ভব। আবার ক্যালাস কোষ থেকে কোষীয় ভ্রূণ বা embryoid (embryo-নয়) এর মাধ্যমে একটি পূর্ণাঙ্গ উদ্ভিদ সৃষ্টি হতে পারে।



চিত্র 19.1 ঃ একটি বিদ্যুৎ চালিত অটোক্লেভ



চিত্র 19.2 ঃ একটি Laminar air flow chamber or cabinet

19.4 সাসপেন্সন (Suspension) কালচার

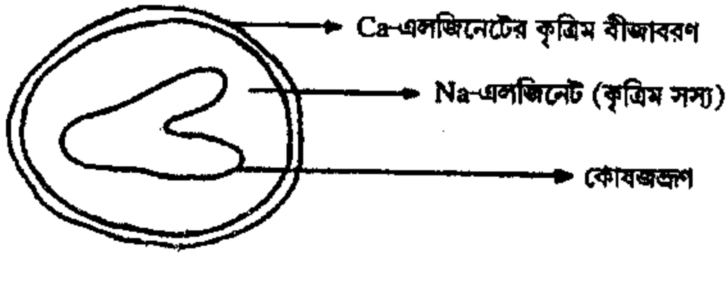
ক্যালাস এর কোষসমষ্টি তরল মাধ্যমে (agar শুন্য) উপপোষণে কোষের suspension পাওয়া সম্ভব, এর জন্য কালচার টিউব বা ফ্লাস্ক গুলি platform shaker এ রেখে অনবরত আন্দোলিত করা হয়। ফলে ক্যালাসের কোষগুলি পৃথক কোষ বা কোষসমষ্টিতে ভেঙ্গে যায়। তখন ঐ মুক্ত কোষ সাসপেন্সন কালচার এর জন্য ব্যবহার করা হয়। ক্যালাস পোষণের জন্য ব্যবহৃত মাধ্যম সাসপেন্সন পোষণের জন্যও ব্যবহার করা চলে, তবে এরজন্য পুষ্টিমাধ্যমে অ্যামাইনো অ্যাসিড ও ভিটামিন এর আধিক্য থাকে। এছাড়া মাধ্যমে কোষের প্রাথমিক ঘনত্ব $1 \times 10^{4/ml}$ হওয়া প্রয়োজন এবং ঘনত্ব 1×10^{6} হলে উপপোষণের প্রয়োজন হয়। সাসপেন্সনের মাধ্যমে 2, 4, -D অক্সিন (0.3-2.0 mg per L) ব্যবহার করা হয়।

19.5 কৃষির উন্নতিতে কলাপোষণের ব্যবহার

উদ্ভিদ কলাপোষণের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ ব্যবহার কৃষিতে ও উদ্যানচর্চায়। এই উদ্দেশ্যে কলাপোষণ বিভিন্ন ভাবে ব্যবহার করা হয়েছে, যেমন —

15A.5.1 অনুবিস্তার (Micropropagation)

এই পদ্ধতি অবলম্বনে অল্প সময়েই বহু সংখ্যক উদ্ভিদ উৎপাদন সম্ভব। কোষীয় ভ্রূণায়ণের মাধ্যমে কলাপোষণ করে এবং বহু সংখ্যক উদ্ভিদ পাওয়া যায়। বিভিন্ন অর্কিড, লিলি, গোলাপ এবং ফুল উৎপাদনকারী উদ্ভিদ কলা, আনারস প্রভৃতির বানিজ্যিকভাবে বংশবিস্তার সম্ভব হয়েছে। অর্কিড, কলা প্রভৃতির চাযে এই পদ্ধতি এক বিপ্লব ঘটিয়েছে। অণুবিস্তারের জন্য কৃত্রিম বীজও (artificial seeds) ব্যবহার করা হয়েছে। অনেক প্রজাতিতেই কৃত্রিম বীজ সৃষ্টি সম্ভব হয়েছে, যেমন *Daucus carotus, Gossypium hirsutum, Solanum melangena, Hordeum vulgare, Lactuca sativa* প্রভৃতিতে। একটি কোষীয় ভ্রূণ কে Na-alginate এর আস্তরণে আবৃত করে কৃত্রিম বীজ তৈরী করা হয়। (চিত্র-19.3)



চিত্র-19.3 ঃ একটি কৃত্রিম বীজ

19.5.2 Haploid and Dihaploid (হ্যাপ্লয়েড ও ডাইহ্যাপ্লয়েড)

উদ্ভিদ-কলাপোষণে পরাগ ও পরাগধানীর ব্যবহারে হ্যাপ্লয়েড উদ্ভিদ সৃষ্টি প্রায় রুটিন পর্যায়ে এসে দাঁড়িয়েছে। ক্রোমোসোমের দ্বিত্বকরণে হ্যাপ্লয়েড থেকে ডাইহ্যাপ্লয়েড পাওয়া যায়। এই পদ্ধতি চীনে প্রায় 50টি ধানের এবং 20টি গমের ভ্যারাইটি সৃষ্টি সম্ভব হয়েছে। অনিষিক্ত ভ্রূণপোষণেও হ্যাপ্লয়েড (ও ডাইহ্যাপ্লয়েড) উদ্ভিদ পাওয়া সম্ভব। এই পদ্ধতিতে বার্লি, ধান, তামাক, গম প্রভৃতিতে সাফল্য এসেছে। ডাইহ্যাপ্লয়েড উদ্ভিদ সমপ্রকরণ ও জীনগতভাবে বিশুদ্ধধারার অধিকারী এবং এগুলি প্রজননক্ষমও বটে।

19.5.3 ট্রিপ্লয়েড উদ্ভিদ সৃষ্টিতে কলাপোষণ

সস্য বা endosperm - পোষণ পদ্ধতিতে ট্রিপ্লয়েড উদ্ভিদ পাওয়া সম্ভব, এইসব উদ্ভিদের ফল বীজশূণ্য হয়, ফলে কয়েকক্ষেত্রে এরা বিশেষ অভিপ্রেত। কিছু ফল উদ্ভিদে যেমন - *Annona squamosa, Pyrus malus, Prunus persicus, Citrus grandis* প্রভৃতিতে এই পদ্ধতি বিশেষ সাফল্য এনেছে।

19.5.4 রোগ প্রতিরোধক্ষম শস্য সৃষ্টিতে কলাপোষণ

কলাপোষণে কোষীর সংকরায়ণের মাধ্যমে কর্ষিতক উদ্ভিদের সঙ্গে আদি বন্য প্রকরণগুলির সংকরীকরণ সহজ হয়েছে। যেমন *Solanum* এর বন্য প্রজাতি *S. brevidens* এর সঙ্গে কর্ষিতক প্রজাতি *S. tuberosum*-এর সংকরীকরণ সম্ভব হয়েছে। এই সংকর আলু leaf-roll virus এবং Y - ভাইরাস রোগ প্রতিরোধক্ষম। এগুলি কোষীয় সংকর (somatic hybrid) হিসাবে পরিচিত।

19.5.5 Stress tolerant (প্রেষ প্রতিরোধক্ষম)

রোগ প্রতিরোধক্ষম উদ্ভিদের ন্যায় প্রেষ প্রতিরোধক্ষম উদ্ভিদ সৃষ্টিতেও কলাপোষণ পদ্ধতির ব্যবহার রয়েছে। পোষণ মাধ্যমে toxin- যোগ করে প্রতিরোধক্ষমতা উদ্দীপ্ত করা হয়। এই ভাবে আগাছা-নাশক সহিষ্ণু Citrus, বার্লি, টোমাটো সৃষ্টি হয়েছে।

19.5.6 কলাপোষণের মাধ্যমে পরিব্যক্ত প্রকরণ

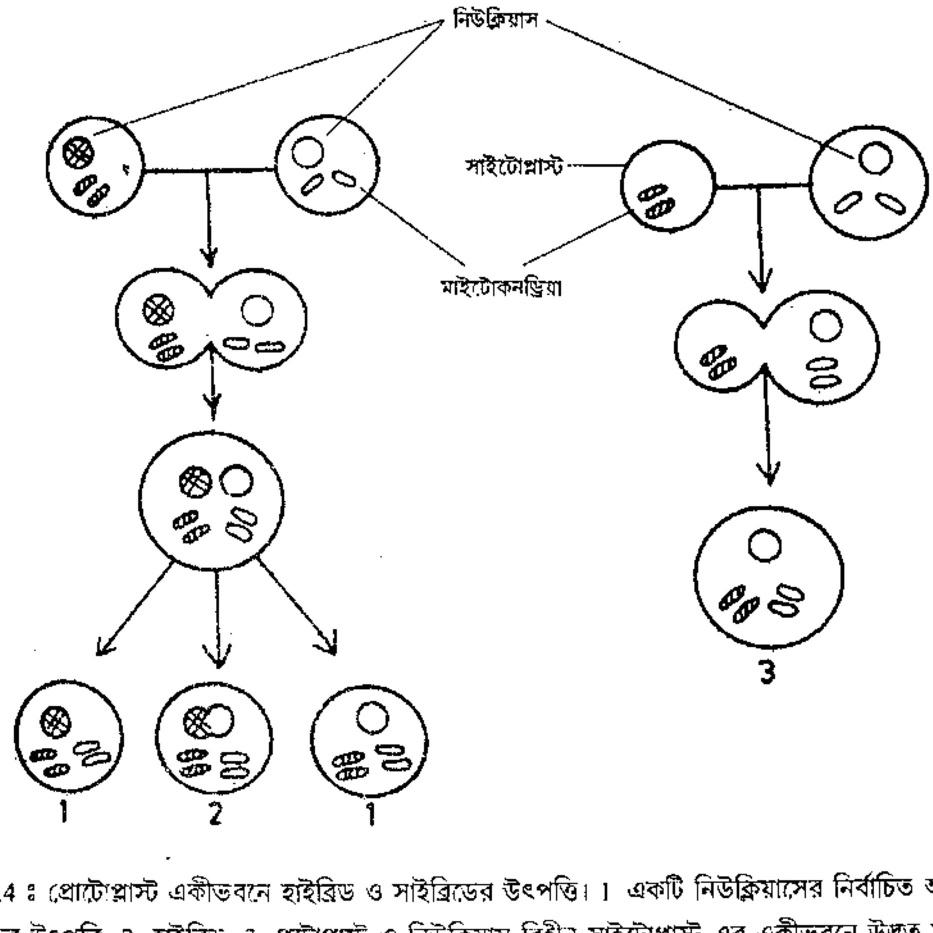
উদ্ভিদ কলাপোষণে কোনো কোনো ক্ষেত্রে যেমন দীর্ঘকালীন পোষণে অথবা পোষণ মাধ্যমে অক্সিন প্রভৃতির আধিক্যের কারণে পরিব্যক্তি বিশিষ্ট নতুন প্রকরণ সৃষ্টি সম্ভব। কৃত্রিম প্রক্রিয়াতেও পরিব্যক্তিজনিত নতুন কোষীয় প্রকরণ উদ্ভব হতে পারে। এই সকল প্রকরণের মধ্যে নির্বাচনে অনেক উন্নততর উদ্ভিদ সৃষ্টি সম্ভব হয়েছে, যেমন *Helminthosporium maydis* প্রতিরোধক্ষম *Zea mays*, Downy mildew ও Smut সহ্যশীল আখ, early ও late blight প্রতিরোধক্ষম আলু, অধিক ফলনশীল টোম্যাটো, লবন সহ্যশীল ধান ইত্যাদি।

19.5.7 কোষীয় হাইব্রিড (Somatic Hybrid) ও (Cybrid) সাইব্রিড

দুটি ভিন্ন ধরণের প্রোটোপ্লাস্ট এর কৃত্রিম পদ্ধতিতে একীভবনের মাধ্যমে কোষীয় সংকরীকরণ করা সম্ভব। এই পদ্ধতি অবলম্বনে দুটি জীনগত বা যৌনগত অসুসঙ্গত প্রজাতির প্রোটোপ্লাস্ট একীভবন করে, পরে ঐ সংকর কোষ থেকে উদ্ভুত উদ্ভিদে সংকর চরিত্র দেখা যায়। 1972 খ্রিঃ Carlson ও তার সহকর্মীরা এই পদ্ধতি অবলম্বন করে প্রথম

Nicotiana glauca X N. longsdorfii এর সংকর (somatic hybrid বা কোষীয় সংকর) তৈরি করেন। বহু উদ্ভিদে এই ধরনের সংকরীকরণ সম্ভব হয়েছে। এই ধরনের সংকর উদ্ভিদ সংকর তেজ বা hybrid vigour ও দর্শায়। সর্ষে, টোম্যাটো প্রভৃতিতে এই ধরণের কর্ষিতক তৈরি হয়েছে। তাছাড়া বন্য প্রজাতির রোগ প্রতিরোধ ক্ষমতা কর্ষিতক উদ্ভিদে বর্তান সম্ভব, যেমন Y - ভাইরাস ঘটিত leafroll প্রতিরোধক্ষম কর্ষিতক আলু। কোষীয় সংকর ও সাইব্রিড তৈরির পদ্ধতি চিত্র 19.4 এ দেখানো হল।

Somatic hybrid এর মতো প্রোটোপ্লাস্ট এর সংকরায়ণে সাইব্রিড তৈরি হয়, তবে এক্ষেত্রে একটি নিউক্লিয়াস যুক্ত প্রোটোপ্লাস্ট এর সঙ্গে একটি নিউক্লিয়াস বিহীন প্রোটোপ্লাস্ট এর সংকরায়ণ ঘটে। ফলে সাইব্রিডে একটি জনিতৃর কেবলমাত্র সাইটোপ্লাসমীয় গুনাবলীর প্রকাশ ঘটে, যেমন আলু, কপি, ধান প্রভৃতিতে মাইটোকনড্রিয়া বাহিত পুং-বন্ধ্যাত্ব। হাইব্রিড বীজ উৎপাদনে পুংবন্ধ্যা উদ্ভিদ বিশেষ প্রয়োজন। সাইটোপ্লাজম বাহিত অন্য চরিত্রের জন্যও সাইব্রিডের প্রয়োজন আছে, যেমন হিমাংক সহনশীল *Brassica* (chloroplast DNA বাহিত চরিত্র) প্রভৃতি।



চিত্র 19.4 ঃ প্রোটোপ্লাস্ট একীভবনে হাইব্রিড ও সাইব্রিডের উৎপত্তি। 1 একটি নিউক্লিয়াসের নির্বাচিত অবক্ষয়ে সাইব্রিডের উৎপত্তি, 2. হাইব্রিড, 3. প্রটোপ্লাস্ট ও নিউক্লিয়াস বিহীন সাইটোপ্লাস্ট এর একীভবনে উদ্ভূত সাইব্রিড

19.6 সারাংশ

Totipotency বা পূর্ণজনন ক্ষমতা উদ্ভিদ কোষের এক বিশেষ চরিত্র, এর জন্য কলাপোষণের মাধ্যমে একটি কোষ থেকে একটি পূর্ণ উদ্ভিদ সৃষ্টি সম্ভব। উদ্ভিদ কলাপোষণের বিশেষ সর্ত জীবানুবারক পরিবেশ এবং একটি সম্পূর্ণ পোষণমাধ্যাম। পোষণমাধ্যম ও সমস্ত ব্যবহৃত যন্ত্রপাতি জীবানুশূণ্য হওয়া প্রয়োজন। কলাপোষণের জন্য বিভিন্ন ধরণের পোষণমাধ্যম ব্যবহার করা হয়, এবং এদের মধ্যে থাকে কিছু অজৈব, কয়েকটি জৈব পদার্থ, শর্করা, এবং কয়েকটি বৃদ্ধি নিয়ন্ত্রক। উদ্ভিদের বিশেষ প্রত্যঙ্গ পোষণের জন্য পোষণমাধ্যমে বিশেষ ধরণের বৃদ্ধি-নিয়ন্ত্রক ব্যবহার করা হয়। উপযুক্ত তাপমাত্রায় ও photoperiod এ এই ধরনের explant থেকে কোষ বিভাজনের মাধ্যমে callus সৃষ্টি হয়, যা থেকে organogenesis বা ভ্রূণায়নের মাধ্যমে একটি সম্পূর্ণ উদ্ভিদ সৃষ্টি করা যায়। তরলমাধ্যমে callus কে shaker platform এ অনবরত আন্দোলিত করে মুক্ত কোষ বা কোষ সমষ্টি পাওয়া যায়, যেগুলি তরল পোষণমাধ্যমে suspension কালচার হিসাবে পোষণ করা হয়। বিভিন্ন কলাপোষণ পদ্ধতি অবলম্বনে কৃষিতে ব্যবহৃত অনেক উদ্ভিদ প্রজাতিতে বিভিন্ন রকমের উন্নতি সাধন করা সম্ভব হয়েছে। এই সব পদ্ধতির মধ্যে রয়েছে অণুবিস্তার, হ্যাপ্লয়েড, ডাইহ্যাপ্লয়েড বা ট্রিপ্লয়েড উদ্ভিদ সৃষ্টি; কোষীয় সংকর জাত উদ্ভিদ, রোগ প্রতিরোধক্ষম ও প্রেষপ্রতিরোধক্ষম উদ্ভিদ, সাইব্রিড বা কোষীয় পরিব্যক্ত উদ্ভিদ যেগুলি বিভিন্ন কৃষিশষ্যে বহুবিধ সাফল্য এনেছে।

19.7 অনুশীলনী প্রশ্নমালা

1. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন—

   ক) অর্ধশক্ত মাধ্যম তৈরির জন্য তরল পুষ্টিমাধ্যমে ———— যোগ করা হয়।

   খ) IAA (ইন্ডোল অ্যাসিটিক অ্যাসিড) একটি ————।

   গ) পোষণমাধ্যমে যে সমস্ত অজৈব দ্রব্য যোগ করা হয়, সেগুলি প্রধানতঃ দুই প্রকারের, ———— ও ————।

   ঘ) যে সমস্ত কোষে ———— বর্তমান এবং ———— উপস্থিত, সে সমস্ত কোষ পূর্ণজননক্ষম।

   ঙ) পরাগ পোষণ ———— এবং সস্যপোষণে ———— উদ্ভিদ পাওয়া সম্ভব।

2. ক) Totopotency কাকে বলে? ব্যাখ্যা করুন।

   খ) নির্বীজকরণ পদ্ধতি গুলি আলোচনা করুন।

   গ) Callus কিভাবে পাওয়া যায় এবং পোষণ করা হয় বিবৃত করুন।

   ঘ) Suspension কালচার কিভাবে করা হয়, আলোচনা করুন।

   ঙ) কৃষিতে উন্নতিতে উদ্ভিদ কলাপোষণের ভূমিকা সংক্ষেপে বর্ণনা করুন।

19.8 উত্তরমালা

1. (ক) agar, (খ) অক্সিন, (গ) অধিপুস্ট, (ঘ) কোষপর্দা, নিউক্লিয়াস, (ঙ) haploid, triploid

2. (ক) 9.2, (খ) 19.3.2, (গ) 19.3.3, (ঘ) 19.4, (ঘ) 19.5 দেখুন।

একক - 20 : Recombinant DNA Technology and Transgenic Plants (DNA পুনর্যোজন পদ্ধতি ও জীনপ্রতিস্থাপন জাত উদ্ভিদ)

গঠন

20.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

20.2 Recombinant DNA Technology বা DNA পুনর্যোজন পদ্ধতি

- **20.2.1** DNA বা জীন সংগ্রহ
- **20.2.2** জীন ক্লোনিং
- **20.2.3** উদ্ভিদ কোষে বিজাতীয় জীনের প্রতিস্থাপন পদ্ধতি

20.3 কয়েকটি ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ

20.4 উদ্ভিদ জীনপ্রযুক্তির কয়েকটি ভিন্নজাতীয় প্রয়োগ

20.5 জীনপ্রযুক্তি সংক্রান্ত বিতর্ক

20.6 সারাংশ

20.7 অনুশীলনী ও প্রশ্নমালা

20.8 উত্তরমালা

20.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

একবিংশ শতাব্দীকে জীন-প্রযুক্তির বা Genetic Engineering এর শতাব্দী হিসাবে ঘোষণা করা হয়েছে। আশা করা যায় এই শতাব্দীতে জীনপ্রযুক্তির বিশেষ বিকাশে মানবসমাজের খাদ্য সমস্যার প্রভূত সমাধান সম্ভব হবে। গত শতাব্দীতে সবুজ বিপ্লব এক আলোড়ণ এনেছিল, ফলে তৃতীয় বিশ্বের খাদ্য সমস্যা অনেক পরিমাণে দূরীভূত হয়েছিল। কিন্তু ক্রমবর্ধমান জনসংখ্যা বৃদ্ধি নতুন করে খাদ্য সমস্যা সৃষ্টি করেছে। বিশ্বব্যাপী বিপুল জনসমষ্টির খাদ্য চাহিদা মেটানোর জন্য জীবপ্রযুক্তি বিশেষ আশার সঞ্চার করেছে। অন্যদিকে জীন-প্রযুক্তি পরিবেষ দূষণ রোধ, ঔষধ ও অন্যান্য রাসায়নিক শিল্পে ইতিমধ্যে বিশেষ অবদান রেখেছে। জীন-প্রতিস্থাপন জাত উদ্ভিদ এবং Gene Manipulated (GM) খাদ্য বর্তমানে সংবাদ পত্রের শিরোনামে চলে এসেছে। 2006 খ্রিঃ পৃথিবীতে 247 মিলিয়ন একর জমিতে ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ চাষ হয়েছিল।

এই একক পাঠ করে আপনি —

- জীন-প্রযুক্তি কি জানতে পারবেন
- এই প্রযুক্তি সম্পর্কে সাধারণ জ্ঞাত লাভ করবেন
- কয়েকটি বিশেষ জীন-প্রতিস্থাপন জাত উদ্ভিদ সম্পর্কে জানবেন
- মানব কল্যাণে জীন-প্রযুক্তির বিভিন্ন অবদান এবং
- জীন-প্রযুক্তি কয়েকটি বিতর্ক সম্পর্কে জানতে পারবেন।

20.2 Recombinant DNA Technology বা DNA পুনর্যোজন পদ্ধতি

যখন একটি উদ্ভিদের বা অন্য জীবের DNA বা গবেষণাগারে প্রস্তুত DNA অনু বা জীন অন্য এক উদ্ভিদ বা জীবের কোষে স্থানান্তরিত করা হয়, এবং ঐ DNA - পোষক কোষের জিনোমে একীভূত হয়, তখন ঐ কোষ রূপান্তরিত বা transformed কোষ হিসাবে চিহ্নিত হয়। ঐ কোষ থেকে উদ্ভূত উদ্ভিদ (বা জীব) ট্রান্সজেনিক (transgenic) বা জীনপ্রতিস্থাপনজাত উদ্ভিদ (বা জীন) বা Gene Manipulated উদ্ভিদ (জীব) হিসাবে গণ্য হয়। এই বিশেষ পদ্ধতি জীন-প্রতিস্থাপন পদ্ধতি বা Recombinant DNA Technology হিসাবে পরিচিত।

20.2.1 DNA বা জীন সংগ্রহ

DNA অথবা নির্দিষ্ট জীন সংগ্রহের জন্য বিভিন্ন উপায় অবলম্বন করা হয়, যেমন—

- Endonuclease নামক বিশেষ উৎসেচকের সাহায্যে নির্দিষ্ট জীনের উভয় দিকের নিউক্লিওটাইড অনুক্রমে বিভাজন ঘটিয়ে জীন আলাদা করা সম্ভব,
- কোন জীনের mRNA কে পৃথক করে, reverse transcriptase নামক বিশেষ উৎসেচক (যা RNA থেকে বিপরীত transcription এর মাধ্যমে DNA তৈরি তে সাহায্য করে) এর সহযোগিতায় পরিপূরক জীন সৃষ্টি করে। সেই জন্য ঐ DNA কে cDNA বা complementary DNA বা পরিপুরক DNA ও বলা হয়। যদি কোন কোষের সমস্ত mRNA প্রজাতি পৃথক করা যায় এবং তাদের পরিপুরক DNA অনু এবং তাদের ক্লোন তৈরি করা যায়, ঐ সকল DNA অনু তখন একটি cDNA library তৈরি করে।

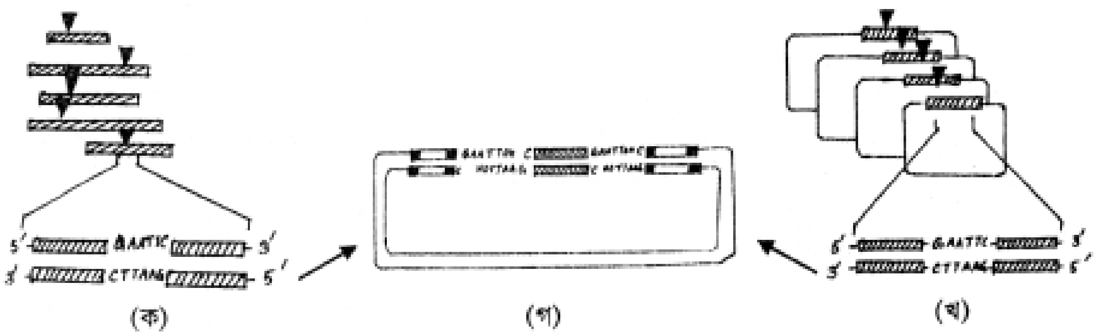
20.2.2 জীন ক্লোনিং

কোন পৃথকীকৃত জীন বা cDNA কে ব্যাকটেরিয়া বা তার প্লাসমিডের জিনোমে প্রতিস্থাপন করে ব্যাকটেরিয়ার কোষে ওই DNA অণুর স্ববিস্তার ঘটানো সম্ভব। Recombinant DNA technology তে প্রথম এই ধরণের transgenic bacteria সৃষ্টি হয়, যেগুলি বিভিন্ন ঔষধ ও শিল্পসামগ্রি তৈরিতে ব্যবহার করা হয়, যেমন *E. coli* ব্যাকটেরিয়া তে মানুষের insulin জীন স্থাপনের দ্বারা humulin বা human insulin তৈরি, recombinant DNA technology-র প্রথম সাফল্য। বর্তমানে পলিমারেজ চেইন বিক্রিয়া বা polymerase chain reaction (PCR)

পদ্ধতির মাধ্যমে জীন ক্লোনিং অনেক সহজ হয়েছে। এখানে একটি DNA অণুকে ছাঁচ হিসাবে ব্যবহার করে Taq polymerase উৎসেচকের সাহায্যে ঐ অণুর প্রচুর পরিমাণে স্ববিস্তার ঘটানো যায়।

20.2.3 উদ্ভিদ কোষে বিজাতীয় জীনের প্রতিস্থাপন পদ্ধতি

উদ্ভিদ কোষে বিজাতীয় জীনের প্রতিস্থাপন সরাসরিভাবে অথবা vector এর সাহায্যে ঘটানো হয়ে থাকে। এই উদ্দেশ্যে প্রোটোপ্লাস্টের বহুল ব্যবহার হয়ে থাকে, কারণ এর চারপাশে কোন প্রাচীর থাকে না, তাই বিজাতীয় জীনের অনুপ্রবেশ ঘটানো সহজ। Ohayama ও তার সহকারীরা (1972) খ্রিঃ fusogen এর সাহায্যে প্রথম প্রোটোপ্লাস্টে বিজাতীয় জীনের অনুপ্রবেশ ঘটান। এর জন্য DNA অনুকে লিপোসোম (liposome) বা lipid এর আস্তরণে আবৃত করা হয়। Electroporation পদ্ধতিতেও জীনের অনুপ্রবেশ ঘটানো সম্ভব। এছাড়া পরাগনালিকা বা পরাগকোষে DNA এর অনুপ্রবেশ ঘটানোর জন্য microinjection পদ্ধতির সাহায্য নেওয়া হয়। আবার ভ্রূণ বা অন্যান্য কোষের জন্য particle gun bombardment পদ্ধতি গ্রহণ করা হয়। তবে জীন প্রতিস্থাপনের জন্য প্রধানতঃ vector বা 'বাহক' এর সাহায্য নেওয়া হয়। এই পদ্ধতি অনেকবেশি নির্ভর যোগ্য এবং কিছু vector এর সাহায্যে gene cloning ও সম্ভব। উদ্ভিদে সাধারণ ভাবে *Agrobacterium tumefaciens* (যে ব্যাকটেরিয়া gall তৈরি করে) এর অন্তর্গত ব্যবহৃত হয়। টোম্যাটো, আলু, তামাক, সয়াবীন, পেটুনিয়া প্রভৃতিতে Ti-plasmid ব্যবহার করা হয়েছে। তবে legume জাতীয় উদ্ভিদ ও দানা শস্যে Ti-plasmid কাজ করে না, এসব ক্ষেত্রে কয়েকটি উদ্ভিদ DNA virus যেমন- Caulimovirus (cauliflower mosaic virus), gemini virus যেমন Wheat dwarf virus প্রভৃতি ব্যবহৃত হয়েছে। এছাড়াও জীন প্রতিস্থাপনে transposon (সচল DNA খন্ড - যা ক্রোমোসোমের মধ্যে স্থান পরিবর্তনে সক্ষম) ও ব্যবহার করা হয়েছে। সাধারণভাবে transposon DNA অনুর বেস অনুক্রমের পরিবর্তন এনে পরিব্যক্তি ঘটাতে পারে। ট্রান্সপোজনের সঙ্গে DNA অণু বা জীন যোগ করে একে vector হিসাবেও ব্যবহার করা চলে। চিত্র 20.1 এ recombinant DNA technology র ব্যবহার সহজ ভাবে দেখানো হল—



(সূত্র ঃ মলিকুলার বায়োলজি এণ্ড বায়োটেক্নোলজি সম্পাদনায় ওয়াকার এবং র‍্যাপলেয়, 2006)

চিত্র 20.1 : জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং পদ্ধতি সরলভাবে দেখানো হয়েছে ঃ ক) একটি দীর্ঘ DNA অংশকে এণ্ডোনিউক্লিয়েজ উৎসেচক দ্বারা একটি অভিপ্রেত জীন কেটে নেওয়া হল। খ) একই এণ্ডোনিউক্লিয়েজ ব্যবহারে প্লাসমিড বা অন্য Vector-এর DNA থেকে একটি অংশ বাদ দেওয়া হল। গ) অভিপ্রেত DNA খণ্ডটি Vector-এর DNA-র শূন্যস্থানে লাইগেজ (ligase) উৎসেচক দ্বারা 'সেলাই' করা হয় ঐ Vector-এর সাহায্যে ঐ DNA খণ্ড ব্যাকটিরিয়ার ক্রোমোজোম-এ সংস্থাপন ঐ ব্যাকটিরিয়া অভিপ্রেত জীন নির্ধারিত প্রোটিন সংশ্লেষে সক্ষম।

20.3 কয়েকটি transgenic বা জীন-প্রতিস্থাপনজাত উদ্ভিদ

1983 সালে Montagu & Schell উদ্ভিদ কোষে প্রথম ব্যাকটেরিয়ার জীন Neomycin phosphotransferase স্থানান্তরে সমর্থ হন। 1987 খ্রিঃ ব্যাকটেরিয়ার Bt জীন প্রতিস্থাপিত ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ সৃষ্টি হয়, ঐ একই সময় বাণিজ্যিক ভিত্তিতে ট্রানসজেনিক long shelf life টোম্যাটোর চাষ শুরু হয়। বর্তমানে বেশ কয়েকটি ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ বাণিজ্যিক ভিত্তিতে চাষ হচ্ছে, যার কয়েকটি সারণি 20.1 এ উল্লেখ করা হল

সারণি 20.1 কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ জীন-প্রতিস্থাপন-জাত উদ্ভিদ

উদ্ভিদ	উদ্ভাবক সংস্থা	পরিবর্তিত চরিত্র	বিজাতীয় জীনের উৎস
আলু	Monsanto	কীটপতঙ্গারোধসক্ষম	ব্যাকটেরিয়া
টোম্যাটো	Calgene	দীর্ঘ স্থায়িত্ব	anti-sense RNA
	DNA plant Technology	দীর্ঘ স্থায়িত্ব	Technology
তুলা	Dupont, Calgene	আগাছানাশক সহিষ্ণু	ব্যাকটেরিয়া
তুলা	Monsanto	কীটপতঙ্গারোধসক্ষম	ব্যাকটেরিয়া
ভুট্টা	Ceiba-Geigy	কীটপতঙ্গারোধসক্ষম	ব্যাকটেরিয়া
ভুট্টা	Plant Genetic System	আগাছানাশক সহিষ্ণু	ভাইরাস
সয়াবীন	Monsanto	আগাছানাশক সহিষ্ণু	বন্য সয়াবীন

জিন-প্রতিস্থাপন জাত উদ্ভিদগুলি ক্ষতিকারক হতে পারে কিনা, তা কঠোর বিশ্লেষণের পর নিরাপত্তাসূচক শংসাপত্র দেওয়া হয়। এই বিশ্লেষণে নির্ধারণ করা হয় ওই ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ মনুষ্যখাদ্য, পশুখাদ্য বা পরিবেশগত ভাবে নিরাপদ কিনা। নীচে আমরা দুটি বিশেষ ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ সম্পর্কে আলোচনা করবো —

1. দীর্ঘ-স্থায়ী টোম্যাটো-Flavr-savr

টোম্যাটো ইত্যাদি ফল উৎপাদন কেন্দ্র থেকে শহরের বিপননকেন্দ্রে আনার জন্য প্রচুর সময় লাগে এবং পরিবহনকালে অনেক ফল নষ্ট হয়। অনেকক্ষেত্রে পাকার আগেই ফল তুলে বাজারে আনা হয়, যার জন্য ফলের উৎকর্ষ নষ্ট হয়। সেই কারণে ফলের বিলম্বিত পক্কতা (delayed ripening) বা দীর্ঘস্থায়িত্বের (long shelf life) জন্য জীন-প্রযুক্তির ব্যবহার করা হয়েছে। ইতিমধ্যে বাজারে দু'ধরনের টোম্যাটো পাওয়া যাচ্ছে-Flavr-savr (উদ্ভাবক সংস্থা-Calgene) ও (উদ্ভাবক সংস্থা-DNA Plant Biotechnology)। প্রসঙ্গত Flavr-savr প্রথম বাণিজ্যিক জীন-প্রতিস্থাপনজাত উদ্ভিদ। এই টোম্যাটোতে polygalacturonase উৎসেচকের antisense technology ব্যবহার করা হয়েছে। ঐ উৎসেচক ফল পাকার পর সৃষ্টি হয় এবং ফলের কোষপ্রাচীরের পেক্টিন ভেঙ্গে দেয় এবং ফলের পচন শুরু হয়। Antisense-technology ব্যবহারের ফলে polygalacturanase এর mRNA এর পরিপূরক আরো একধরনের

mRNA তৈরি হয়, যা ঐ RNA এর সঙ্গে সংযুক্ত হয়ে ঐ RNA কে অনূদিত হতে বাধা দেয়, ফলে খুবই কম পরিমানে ঐ উৎসেচক তৈরি হয় এবং ঐ টোম্যাটো বহু দীর্ঘ shelf-life পায়।

2. Bt-cotton-Monsantoসংস্থার এই ট্রান্সজেনিক তুলা বহু আলোচিত। এই তুলায় *Bacillus thuringiensis* ব্যাকটেরিয়ার Bt জীনের ব্যবহার করা হয়েছে। ঐ ব্যাকটেরিয়ার spore এ একপ্রকার কেলাসিত প্রোটিন জাতীয় toxin পাওয়া যায়, যা insecticidal crystal protein বা ICP নামে পরিচিত। কীট-পতঙ্গের লার্ভা ঐ প্রোটিন খেলে তাদের midgut অসার হয়ে যায় এবং খাওয়া দাওয়া বন্ধ করে দেয়, অবশেষে মারা যায়। মানুষ বা উচ্চতর প্রাণীর ক্ষেত্রে এই toxin ক্ষতিকারক নয়। Bt জীনের নির্দিষ্ট খন্ডিত অংশ Ti-plasmid এর মাধ্যমে তুলোর জিনোমে স্থানান্তরিত করা হয়েছে, যার ফলে ঐ উদ্ভিদ বিভিন্ন কীটপতঙ্গ রোধে সক্ষম। তবে তুলার জিনোমে এই জীন সর্ব্বক্ষন কর্মক্ষম না থাকলে সমস্যার সৃষ্টি হয়।

> প্রাপ্তলিপি - 20.1
>
> Bt-ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ বিশেষভাবে অভিপ্রেত হলেও মনে রাখা দরকার যদি ঐ সমস্ত উদ্ভিদে পতঙ্গ-বিনাশের পূর্ণ ক্ষমতা না জন্মায় তবে পতঙ্গেরা অতি অল্প সময়েই বিবর্তনের মাধ্যমে প্রতিরোধক্ষমতা অর্জন করতে পারে এবং সেক্ষেত্রে ভয়াবহ পরিণতি আশংকা করা যায়, সেজন্য একই উদ্ভিদে দুটি ভিন্ন ধরণের পতঙ্গনাশক জীন প্রতিস্থাপন বাঞ্ছনীয়।

20.4 উদ্ভিদ জীনপ্রযুক্তির কয়েকটি ভিন্ন জাতীয় প্রয়োগ

উদ্ভিদ জীনপ্রযুক্তির কয়েকটি ভিন্ন ধরণের প্রয়োগ ও রয়েছে, যেমন এই প্রযুক্তির মাধ্যমে ডালজাতীয় শস্যে কিছু বিশেষ অ্যামাইনো অ্যাসিডের এবং দানা শস্যে Lysine বা tryptophan এর অভাব মেটানোর জন্য ঐ amino acid এর জীনের প্রতিস্থাপন। এই প্রসঙ্গে ট্রান্সজেনিক ধান Golden rice এর উল্লেখ দাবি রাখে। Golden rice এ beta carotene এর জীন এমনভাবে প্রতিস্থাপিত হয়েছে যাতে endosperm এ beta carotene জমা হয়, ফলে চাল সোনালি রঙের হয়। Beta-carotene, vitamin A তৈরিতে সাহায্য করে। আশা করা যায় golden rice তৃতীয় বিশ্বে শিশুদের মধ্যে vitamin A এর অভাব ঘুচিয়ে অন্ধত্ব প্রতিরোধে সক্ষম হবে।

এছাড়া বেশ কয়েকটি ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদকে "molecular farming" এ ব্যবহার করা হচ্ছে। যেমন rape seed (*Brassica napus*) উদ্ভিদে মানুষের neuropeptide - leu enkaphalin (লিউ-এনকাফেলিন) জীন প্রতিস্থাপিত হয়েছে। সেই রকম তামাকের মধ্যে ব্যাকটেরিয়া - ব্যাসিলাস লাইকেনিফরমিস (*Bacillus licheniformis*) এর α-amylase জীন প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। ঐ সমস্ত উদ্ভিদ থেকে ঐ বিশেষ পেপটাইড বা উৎসেচক বাণিজ্যিক ভাবে আহরিত হচ্ছে। এছাড়াও চিকিৎসা বিজ্ঞানে ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদের আরো অনেক অবদান রয়েছে। আলুর মধ্যে কলেরার

জীবাণুর enterotoxin এন্টিজেন (যা oral vaccine হিসাবে ব্যবহার করা চলে) জীন প্রতিস্থাপিত হয়েছে। ম্যালেরিয়ার epitope টোব্যাকো মোজেক ভাইরাসের কোট (coat) protein জীন এর সংলগ্নে প্রতিস্থাপন করা হয়েছে। ঐ পরিবর্তিত TMV আক্রান্ত তামাক গাছ থেকে প্রচুর পরিমাণে malarial epitope পাওয়া যেতে পারে, যা ম্যালেরিয়ার ভ্যাকসিন হিসাবে ব্যবহারের সম্ভবনা রয়েছে।

20.5 জীন প্রযুক্তি সম্পর্কে কয়েকটি বিতর্ক

আমরা উপরে যেসব উদাহরণ আলোচনা করেছি তা থেকে সাধারণভাবেই অনুমান করা যেতে পারে ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদ ও recombinant DNA technology ভবিষ্যতের খাদ্য সমস্যা মোকাবিলায় বিশেষ ভূমিকা নিতে চলেছে। তবে এই পদ্ধতি নিয়ে বহু বিতর্ক সৃষ্টি হয়েছে। অনেকে এই খাদ্যকে Franken Food আখ্যা দিয়েছেন। অনেক দেশেই GM (gene manipulated) উদ্ভিদ বয়কট করা হয়েছে। Bt-cotton একটি বিতর্কিত GM উদ্ভিদ। প্রথমতঃ Bt - জীন সম্পূর্ণ ভাবে প্রকাশ না পেলে পতঙ্গেরা সহজেই প্রতিরোধক্ষমতা অর্জন করতে পারে। তুলার পাতা, বীজ প্রভৃতি গবাদি পশুর খাদ্যে, আবার ঐ পশুর দুধ বা মাংস মানুষের খাদ্যে; সুতরাং Bt - জীনের প্রভাব গবাদি পশু বা মানুষের উপর কি হতে পারে তা আরো ভালো ভাবে জানা দরকার। আবার ঐ পতঙ্গ নাশক পরাগসংযোগকারী পতঙ্গের ক্ষতি করে, তাদের বিলুপ্তিসাধন ও করতে পারে, যা ভবিষ্যতে অত্যন্ত দুর্ভাগ্যজনক প্রমানিত হতে পারে। ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদে উপস্থিত kanamycin resistance জীন বিভিন্ন প্রাণীতে antibiotic resistance এর বৃদ্ধি ঘটাতে পারে। তাছাড়াও কিছু GM উদ্ভিদ মানুষের পক্ষে allergenic হতে পারে।

অন্যদিকে জীন-প্রযুক্তি তৃতীয় বিশ্বের অর্থনীতির উপর বিরূপ প্রতিক্রিয়া ফেলবে। Palm oil এর lauric acid জীন যদি rape seed এ প্রতিস্থাপন করা যায় (যা ইতিমধ্যেই সম্ভব হয়েছে) তাহলে সাবান বা ডিটারজেন্ট শিল্পে পাম তেলের প্রয়োজন কমবে এবং শিল্পোন্নত দেশগুলি তৃতীয় বিশ্বের palm oil আর কিনবে না। তাছাড়া recombinant DNA technology-র বিকাশ ও প্রয়োগ প্রভূতভাবে ধনীদেশ গুলির মধ্যে সীমাবদ্ধ, আবার ঐসব উদ্ভিদের জন্য প্রয়োজনীয় কীটনাশক, আগাছানাশক প্রভৃতির patent ও ঐসকল দেশের বাণিজ্যিক সংস্থাগুলির করায়ত্ত। ফলে এক ধরণের agricultural imperialism বা কৃষি সাম্রাজ্যবাদের প্রসার ঘটে চলেছে, যা তৃতীয় বিশ্বের অর্থনীতিকে গ্রাস করতে পারে।

20.6 সারাংশ

এই অধ্যায়ে আমরা recombinant DNA technology বা জীন প্রযুক্তি সম্পর্কে কিছু আলোচনা করেছি। জীন পৃথকীকরণ, cDNA তৈরি, DNA cloning, পদ্ধতি সম্পর্কে আলোকপাত করা হয়েছে। বিভিন্ন পদ্ধতিতে জীন কে নির্দিষ্ট উদ্ভিদ জিনোমে প্রতিস্থাপন করা যায়, যার মধ্যে রয়েছে- fusogen বা lipsome এর ব্যবহার, electroporation, particle gun bombardment, microinjection পদ্ধতি সমূহ। তবে vector হিসাবে Ti-plasmid এর ব্যবহার সবচেয়ে বেশি, অনেকক্ষেত্রে CaMV বা Gemine virus প্রভৃতি উদ্ভিদ DNA ভাইরাসের বা transposon এর সাহায্যও নেওয়া হয়েছে। জীন-প্রযুক্তি ব্যবহারে বেশ কয়েকটি শস্য-উদ্ভিদ সৃষ্টি হয়েছে, যে গুলি ইতিমধ্যে বাণিজ্যিক

ছাড়পত্র পেয়েছে, এদের মধ্যে রয়েছে কীটপতঙ্গরোধকারী Bt-উদ্ভিদ, দীর্ঘস্থায়ী টোম্যাটো ইত্যাদি, এদের সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করা হয়েছে। এছাড়া ও ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদের অন্য ব্যবহারও রয়েছে, যেগুলি সংক্ষেপে বিবৃত হয়েছে। পরিশেষে উদ্ভিদ-প্রযুক্তি ব্যবহার সম্পর্কে কিছু বিতর্কের উপর আলোকপাত করা হয়েছে।

20.7 অনুশীলনী

1. টীকা লিখুন

   (ক) cDNA, (খ) transposon, (গ) humulin, (ঘ) PCR, (ঙ) Golden rice

2. শূন্যস্থান পূর্ণ করুন—

   Ohayama ও তার সহকর্মীরা ———— খ্রিঃ ———— এর সাহায্যে প্রথম উদ্ভিদ প্রোটোপ্লাস্টে বিজাতীয় জীনের অনুপ্রবেশ ঘটান। এই উদ্দেশ্যে DNA অনুকে ———— এর আস্তরণে আবৃত করা হয়। ———— এবং ———— পদ্ধতিতেও জীনের অনুপ্রবেশ ঘটানো সম্ভব।

3. বিজাতীয় জীন উদ্ভিদ কোষে কীভাবে প্রতিস্থাপন করা হয়, আলোচনা করুন।
4. Bt-cotton কি ভাবে তৈরি হয়েছে সংক্ষেপে লিখুন।
5. কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ ট্রান্সজেনিক উদ্ভিদের উল্লেখ করুন।
6. Flavr-savr টোম্যাটো কী এবং কীভাবে তৈরি হয় লিখুন।
7. Molecular farming কী উদাহরণ সহ আলোচনা করুন।
8. জীন প্রযুক্তির সম্পর্কীয় বিতর্কের উকর সংক্ষেপে আলোকপাত করুন।

20.8 উত্তর সংকেত

1. (ক) 20.2.1, (খ) 20.2.3, (গ) 20.2.2, (ঘ) 20.2.2, (ঙ) 20.4
2. 1972, fusogen,, lipid, microinjection, particle gun bombardment
3. 20.2.3
4. 20.3 (2)
5. 20.3
6. 20.3 (1)
7. 20.4
8. 20.5