NETAJI SUBHAS OPEN UNIVERSITY

Choice Based Credit System
(CBCS)

SELF LEARNING MATERIAL

HBT
BOTANY

Biomolecules, Plant Metabolism

CC-BT-10

Under Graduate Degree Programme

প্রাককথন

মহান দেশনায়ক সুভাষচন্দ্র বসুর নামাঙ্কিত এই মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের উন্মুক্ত শিক্ষাঙ্গনে আপনাকে স্বাগত। সম্প্রতি এই প্রতিষ্ঠান দেশের সর্বপ্রথম রাজ্য সরকারি মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয় হিসেবে ন্যাক (NAAC) মূল্যায়নে 'এ' গ্রেড প্রাপ্ত হয়েছে। বিশ্ববিদ্যালয় মঞ্জুরি কমিশন প্রকাশিত নির্দেশনামায় স্নাতক শিক্ষাক্রমকে পাঁচটি পৃথক প্রকরণে বিন্যস্ত করার কথা বলা হয়েছে। এগুলি হল—'কোর কোর্স', 'ডিসিপ্লিন স্পেসিফিক ইলেকটিভ', 'জেনেরিক ইলেকটিভ' এবং 'স্কিল' / 'এবিলিটি এনহ্যান্সমেন্ট কোর্স'। ক্রেডিট পদ্ধতির ওপর ভিত্তি করে বিন্যস্ত এই পাঠক্রম শিক্ষার্থীর কাছে নির্বাচনত্মক পাঠক্রমে পাঠ গ্রহণের সুবিধে এনে দেবে। এরই সঙ্গে যুক্ত হয়েছে যান্মাষিক মূল্যায়ন ব্যবস্থা এবং ক্রেডিট ট্রান্সফারের সুযোগ। শিক্ষার্থী কেন্দ্রিক এই ব্যবস্থা মূলত গ্রেড-ভিত্তিক যা অবিচ্ছিন্ন আভ্যন্তরীণ মূল্যায়নের মধ্য দিয়ে সার্বিক মূল্যায়নের দিকে এগোবে এবং শিক্ষার্থীকে বিষয় নির্বাচনের ক্ষেত্রে যথোপযুক্ত সুবিধা দেবে। শিক্ষাক্রমের প্রসারিত পরিসরে বিবিধ বিষয় চয়নের সক্ষমতা শিক্ষার্থীকে দেশের অন্যান্য উচ্চশিক্ষা প্রতিষ্ঠানের আন্তঃব্যবস্থায় অর্জিত ক্রেডিট স্থানান্তরে সাহায্য করবে। শিক্ষার্থীর অভিযোজন ও পরিগ্রহণ ক্ষমতা অনুযায়ী পাঠক্রমের বিন্যাসই এই নতুন শিক্ষাক্রমের লক্ষ্য।

UGC (Open and Distance Learning Programmes and Online Programmes) Regulations, 2020 অনুযায়ী সকল উচ্চশিক্ষা প্রতিষ্ঠানের স্নাতক পাঠক্রমে এই সি.বি.সি.এস. পাঠক্রম পদ্ধতি কার্যকরী করা বাধ্যতামূলক—উচ্চশিক্ষার পরিসরে এই পদ্ধতি এক বৈকল্পিক পরিবর্তনের সূচনা করেছে। আগামী ২০২১-২২ শিক্ষাবর্ষ থেকে স্নাতক স্তরে এই নির্বাচনভিত্তিক পাঠক্রম কার্যকরী করা হবে, এই মর্মে নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয় সিদ্ধান্ত গ্রহণ করেছে। বর্তমান পাঠক্রমগুলি উচ্চশিক্ষা ক্ষেত্রের নির্ণায়ক কৃত্যকের যথাবিহিত প্রস্তাবনা ও নির্দেশাবলী অনুসারে রচিত ও বিন্যস্ত হয়েছে। বিশেষ গুরুত্বারোপ করা হয়েছে সেইসব দিকগুলির প্রতি যা ইউ.জি.সি কর্তৃক চিহ্নিত ও নির্দেশিত।

মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের ক্ষেত্রে স্ব-শিক্ষা পাঠ-উপকরণ শিক্ষার্থী সহায়ক পরিষেবার একটি গুরুত্বপূর্ণ অংশ। সি.বি.সি.এস পাঠক্রমের এই পাঠ-উপকরণ মূলত বাংলা ও ইংরেজিতে লিখিত হয়েছে। শিক্ষার্থীদের সুবিধের কথা মাথায় রেখে আমরা ইংরেজি পাঠ-উপকরণের বাংলা অনুবাদের কাজেও এগিয়েছি। বিশ্ববিদ্যালয়ের আভ্যন্তরীণ শিক্ষকরাই মূলত পাঠ-উপকরণ প্রস্তুতির ক্ষেত্রে অগ্রণী ভূমিকা নিয়েছেন—যদিও পূর্বের মতই অন্যান্য বিদ্যায়তনিক প্রতিষ্ঠানের সঙ্গে সংযুক্ত অভিজ্ঞ বিশেষজ্ঞ শিক্ষকদের সাহায্য আমরা অকুণ্ঠচিত্তে গ্রহণ করেছি। তাঁদের এই সাহায্য পাঠ-উপকরণের মানোন্নয়নে সহায়ক হবে বলেই আমার বিশ্বাস। নির্ভরযোগ্য ও মূল্যবান বিদ্যায়তনিক সাহায্যের জন্য আমি তাঁদের আন্তরিক অভিনন্দন জানাই এই পাঠ-উপকরণ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়ের শিক্ষণ পদ্ধতি-প্রকরণে নিঃসন্দেহে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা নেবে। উন্মুক্ত শিক্ষাঙ্গনের পঠন প্রক্রিয়ায় সংযুক্ত সকল শিক্ষকের সদর্থক ও গঠনমূলক মতামত আমাদের আরও সমৃদ্ধ করবে। মুক্তশিক্ষাক্রমে উৎকর্ষের প্রশ্নে আমরা প্রতিশ্রুতিবদ্ধ।

পাঠ-উপকরণ প্রস্তুতির সঙ্গে সংশ্লিষ্ট সকলকে আমি আন্তরিক অভিনন্দন জানাই এবং এই উদ্যোগের সর্বাঙ্গীণ সাফল্য কামনা করি।

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

Netaji Subhas Open University
Under Graduate Degree Programme
Choice Based Credit System (CBCS)
নির্বাচন ভিত্তিক মূল্যমান ব্যবস্থা
বিষয় : সাম্মানিক উদ্ভিদবিদ্যা
Subject : Honours in Botany (HBT)
Course : Biomolecules, Plant Metabolism
Course Code : CC-BT-10

First Print : June, 2022
প্রথম মুদ্রণ : জুন, 2022

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

পরিচিতি

Netaji Subhas Open University

Under Graduate Degree Programme

Choice Based Credit System (CBCS)

নির্বাচন ভিত্তিক মূল্যমান ব্যবস্থা

বিষয় : সাম্মানিক উদ্ভিদবিদ্যা

Subject : Honours in Botany (HBT)

Course : জৈব অণু, উদ্ভিদ বিপাক (Biomolecules, Plant Metabolism)

Course Code : CC-BT-10

: বিষয় সমিতি :

সদস্যবৃন্দ

প্রফেসর (ড.) কাজল দে
(Chairperson)
Director, School of Sciences
NSOU

প্রফেসর (ড.) সঞ্জয় গুহ রায়
Professor of Botany
West Bengal State University

প্রফেসর (ড.) শমিত রায়
Professor of Botany
NSOU

ড. শ্যামল কুমার চক্রবর্তী
Retd. Associate Professor, WBES
Bidhannagar Govt. College

ড. স্বপন ভট্টাচার্য
Associate Professor of Botany
NSOU

প্রফেসর (ড.) অলোক ভট্টাচার্য্য
(Retd.) Professor of Botany
Burdwan University

শ্রী সন্দীপ দাস
Assistant Professor of Botany
NSOU

ড. সুশোভন বেরা
Associate Professor of Botany
Jogamaya Devi College

ড. শুভাশিস পান্ডা
Principal
Government General Degree College

রচনা

ড. ভারতী মুখোপাধ্যায়
Asssociate Professor of Botany
Bidhannagar College

সম্পাদনা

প্রফেসর (ড.) অলোক ভট্টাচার্য্য
(Retd.) Professor of Botany
Burdwan University

: বিন্যাস সম্পাদনা :

শ্রী সন্দীপ দাস
Assistant Professor, NSOU

প্রজ্ঞাপন

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

কিশোর সেনগুপ্ত
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

UG : Botany (HBT)

জৈব অণু (Biomolecules), উদ্ভিদ বিপাক (Plant Metabolism)
CC-BT-10

পর্যায় - I

জৈব অণু

একক 1 ■	কার্বোহাইড্রেটস্	9-18
একক 2 ■	লিপিড বা ফ্যাট	19-33
একক 3 ■	ট্রাইগ্লিসারল গঠন, কার্য ও বৈশিষ্ট্য, ফসফোগ্লিসারাইডস্	34-41
একক 4 ■	প্রোটিন	42-51
একক 5 ■	প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন ও প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা	52-56
একক 6 ■	নিউক্লিক অ্যাসিড	57-63
একক 7 ■	ডি.এন.এ ও আর.এন.এ অণুর গঠন ও প্রকারভেদ	64-89
একক 8 ■	শক্তি পরিবর্তনের জৈবিক অধ্যয়ন বা বায়োএনারজেটিক্স	90-98
একক 9 ■	অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট বা এ.টি.পি.	99-104

পর্যায় - II

উদ্ভিদ বিপাক

একক 10 ■ জীবরসায়নের ভূমিকা 107-117

একক 11 ■ জল, pH ও বাফার 118-125

একক 12 ■ অ্যামাইনো অ্যাসিড ও প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন 126-137

একক 13 ■ অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন, কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন 138-147

একক 14 ■ প্রোটিন 148-161

একক 15 ■ উৎসেচক 162-172

একক 16 ■ উৎসেচকের গঠন 173-177

একক 17 ■ উৎসেচকের শ্রেণীবিন্যাস ও কার্যপদ্ধতি 178-184

একক 18 ■ মাইকেলিস মেন্টেন সমীকরণ, উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় বাধাদানকারী বিভিন্নরকম বস্তুসমূহ, উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রকসমূহ 185-195

একক 19 ■ উদ্ভিদ রঞ্জক 196-200

একক 20 ■ রঞ্জকের আলোকশোষণ, ক্লোরোফিল ও ক্যারোটিনয়েডের রাসায়নিক গঠন 201-212

পর্যায় - I

জৈব অণু (Biomolecules)

একক 1 ❑ কার্বোহাইড্রেট

গঠন

1.0 উদ্দেশ্য
1.1 প্রস্তাবনা
1.2 কার্বোহাইড্রেট ও তার প্রকারভেদ
1.3 মনোস্যাকারাইড
1.4 ডাইস্যাকারাইড
1.5 পলিস্যাকারাইড
1.6 কার্বোহাইড্রেটের গুরুত্ব
1.7 সারাংশ
1.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
1.9 উত্তরমালা

1.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- কার্বোহাইড্রেটের বিভিন্ন প্রকারভেদ সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- ত্রিমাত্রিক গঠনের উপর ভিত্তি করে মনোস্যাকারাইডের শ্রেণিবিভাগ করতে পারবেন।
- ডাইস্যাকারাইড ও পলিস্যাকারাইড গঠন ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কার্বোহাইড্রেটের গুরুত্ব আলোচনা করতে পারবেন।

1.1 প্রস্তাবনা

কার্বোহাইড্রেট বা জল অঙ্গারের স্থূল সংকেত হল $Cn(H_2O)n$ তবে আধুনিক রসায়নবিদেরা কার্বোহাইড্রেটকে পলিহাইড্রক্সিঅ্যালডিহাইড বা পলিহাইড্রক্সিকিটোনরূপে অভিহিত করেছেন। স্যাকারাইড এককের উপর ভিত্তি করে কার্বোহাইড্রেটকে মনো, ডাই ও পলিস্যাকারাইডে বিভক্ত করা হয়। পারমাণবিক বিন্যাসের উপর ভিত্তি করে মনোস্যাকারাইডের অসংখ্য আইসোমার পাওয়া যায়। গ্লিসার‍্যালডিহাইড নামক অ্যালডোজ শর্করা ও ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেট নামক কিটো শর্করার থেকেই বিভিন্ন আইসোমারগুলি সৃষ্টি হয়। গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ উদ্ভিদদেহের প্রধান মনোস্যাকারাইড। দু'টি মনোস্যাকারাইড যুক্ত হয়ে ডাইস্যাকারাইড গঠন করে। মলটোজ ও সুক্রোজ প্রধান উদ্ভিদজাত ডাইস্যাকারাইড। অসংখ্য মনোস্যাকারাইডের সমন্বয়ে গঠিত হয় পলিস্যাকারাইড। স্টার্চ সঞ্চিত খাদ্যরূপে এবং সেলুলোজ কোষপ্রাচীরের মুখ্য উপাদানরূপে উদ্ভিদকোষে অবস্থান করে। গ্লুকোজ অণুই শ্বসনের প্রধান সাবস্ট্রেটরূপে ব্যবহৃত হয়। এছাড়া রাইবোজনিউক্লিক অম্ল সংশ্লেষে, কাইটিন ছত্রাকের কোষপ্রাচীর গঠনে এবং পেপটাইডোগ্লাইকন ও গ্লাইকোলিপিড জাতীয় সংযুক্ত শর্করা যথাক্রমে ব্যাকটেরিয়ার কোষপ্রাচীর ও কোষপর্দার মুখ্য উপাদানরূপে বর্তমান।

1.2 কার্বোহাইড্রেট ও তার প্রকারভেদ

কার্বোহাইড্রেট কথাটির অর্থ হাইড্রেট যুক্ত কার্বন। রাসায়নিক ভাবে প্রতিটি কার্বোহাইড্রেট C, H ও O পরমাণুর সমন্বয়ে গঠিত যাদের অনুপাত 1 : 2 : 1, এই কারণে কার্বোহাইড্রেটের স্থূল সংকেত হল $(CH_2O)_n$। তবে অনেক ক্ষেত্রেই এই গঠনীতি কার্যকরী হয় না। যেমন র‍্যামনোজ একটি কার্বোহাইড্রেট হওয়া সত্ত্বেও এর সংকেত হল $C_6H_{12}O_5$। অপরদিকে অ্যাসিটিক অম্ল কার্বোহাইড্রেট না হলেও এর সংকেত হল CH_3COOH বা $C_2H_4O_2$ যার স্থূল সংকেত কার্বোহাইড্রেটের মতন। আধুনিক রসায়নবিদদের মতে কার্বোহাইড্রেট হল পলিহাইড্রক্সিঅ্যালডিহাইড বা পলিহাইড্রক্সিকিটোন।

কার্বোহাইড্রেটকে প্রধানত তিনটি শ্রেণিতে ভাগ করা হয় :

A. মনোস্যাকারাইড — এরা সরলতম কার্বোহাইড্রেট যার মধ্যে একটি মাত্র স্যাকারাইড একক থাকে।

B. অলিগোস্যাকারাইড — এই ধরনের কার্বোহাইড্রেটে 2 – 10টি স্যাকারাইড একক থাকে। এদের মধ্যে প্রকৃতিতে ডাইস্যাকারাইডই সর্বাধিক পরিমাণে পাওয়া যায়।

C. পলিস্যাকারাইড — এই কার্বোহাইড্রেট শ্রেণিতে স্যাকারাইড এককের সংখ্যা 10 এর বেশী (সচরাচর অসংখ্য) হয়।

মনোস্যাকারাইড — একটিমাত্র স্যাকারাইড একক যুক্ত কার্বোহাইড্রেটকে মনোস্যাকারাইড বলে। মনোস্যাকারাইডের শ্রেণিবিন্যাস দু'টি পদ্ধতিতে করা যায় — A) কার্বন পরমাণুর সংখ্যার ভিত্তিতে B) অ্যালডোজ ও কিটোন বর্গের উপস্থিতির ভিত্তিতে।

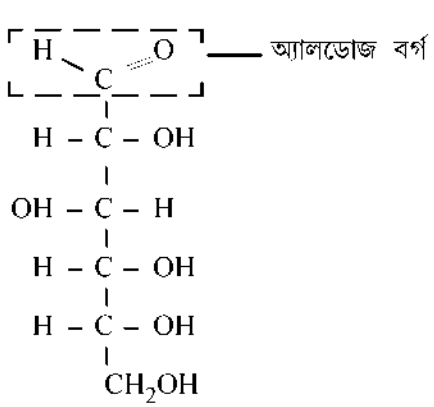
মনোস্যাকারাইডে কার্বন সংখ্যা ন্যূনতম 3 হয় এবং প্রকৃতিতে সচরাচর সর্বাধিক 7 কার্বনযুক্ত শর্করা দেখা যায়। একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে মনো ও অলিগোস্যাকারাইডকে শর্করা বলা হয় কারণ এরা জলে দ্রবণীয় ও স্বাদে মিষ্ট হয়।

প্রকৃতিতে প্রাপ্ত কয়েকটি মনোস্যাকারাইড :

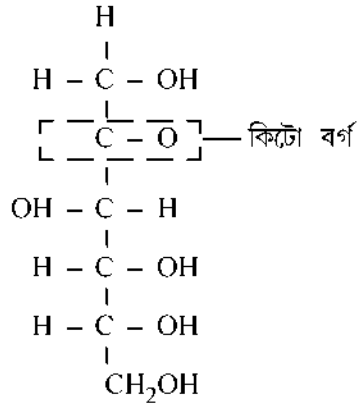
গোষ্ঠী	স্থূল সংকেত	নাম
ট্রায়োজ	3 কার্বনযুক্ত $C_3\ H_6\ O_3$	গ্লিসার‍্যালডিহাইড, ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন
টেট্রোজ	4 কার্বনযুক্ত $C_4\ H_8\ O_4$	এরিথ্রোজ, থ্রিয়োজ
পেন্টোজ	5 কার্বনযুক্ত $C_5\ H_{10}\ O_5$	রাইবোজ, রাইবুলোজ, অ্যারাবিনোজ, জাইলুলোজ
হেক্সোজ	6 কার্বনযুক্ত $C_6\ H_{12}\ O_6$	গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ, গ্যালাকটোজ
হেপ্টোজ	7 কার্বনযুক্ত $C_7\ H_{14}\ O_7$	সেডোহেপ্টুলোজ

1.3 মনোস্যাকারাইড

মনোস্যাকারাইডের দু'টি প্রধান আইসোমার থাকে—অ্যালডোজ ও কিটোজ। আইসোমারগুলির স্থূল সংকেত এক হলেও পরমাণবিক বিন্যাস পৃথক পৃথক হয়। গ্লুকোজ একটি অ্যালডোজ শর্করা এবং ফ্রুক্টোজ একটি কিটো শর্করা। নীচে এদের গঠনপ্রকৃতি লক্ষ্য করুন :



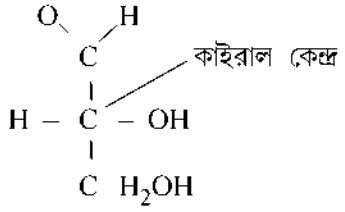
গ্লুকোজ অণু



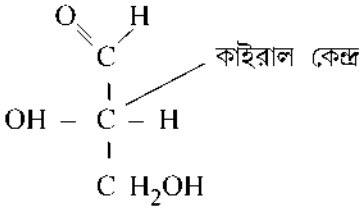
ফ্রুক্টোজ অণু

এইক্ষেত্রে গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজ — দু'টি হেক্সোজ গোষ্ঠীর মনোস্যাকারাইডের স্থূল সংকেত $C_6 H_{12} O_6$ তবে গ্লুকোজে অ্যালডিহাইড বর্গ (– CHO) থাকায় এটি একটি অ্যালডোজ শর্করা এবং ফ্রুক্টোজে কিটো বর্গ থাকায় এটি একটি কিটো (C = O) শর্করা।

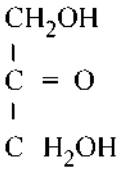
ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ছাড়া প্রতিটি মনোস্যাকারাইডে এক বা একাধিক অসম (Asymmetric) বা কাইরাল কার্বন পরমাণু থাকে। এই পরমাণুর বৈশিষ্ট্য হল এর ডান ও বাম দিকে H পরমাণু বা OH মূলক থাকতে পারে। H ও OH অবস্থানের উপর নির্ভর করে মনোস্যাকারাইডের এনানসিওমার (Enantiomer) গঠিত হয়। সরলতম অ্যালডোজ শর্করার মধ্যবর্তী কার্বনটি কাইরাল প্রকৃতির ও এর ফলে D গ্লিসার‍্যালডিহাইড ও L-গ্লিসার‍্যালডিহাইড গঠিত হয়।



D - গ্লিসার‍্যালডিহাইড
(অ্যালডোজ শর্করা)



L-গ্লিসার‍্যালডিহাইড
(অ্যালডোজ শর্করা)



ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন
(কিটো শর্করা যাতে
কোন কাইরাল কেন্দ্র নেই)

কোন মনোস্যাকারাইডে কাইরাল কেন্দ্রের সংখ্যা **n** হলে, আইসোমারের সংখ্যা 2^n হবে। গ্লিসার‍্যালডিহাইডে কাইরাল কেন্দ্রের সংখ্যা 1 বলে আইসোমারের সংখ্যা $2^1 = 2$। অনুরূপভাবে কোন হেক্সোজ শর্করায় কাইরাল কেন্দ্রের সংখ্যা 4 হওয়ায় (দ্বিতীয়, তৃতীয়, চতুর্থ ও পঞ্চম কার্বন) হেক্সোজ শর্করার আইসোমারের সংখ্যা $2^4 = 16$টি হবে এর মধ্যে 8টি D-শর্করা ও 8টি L-শর্করা হবে।

d-কথাটির অর্থ হল ডেক্সট্রোরোটেটরি এবং l-কথাটির অর্থ হল লিভোরোটেটরি। যে শর্করার কেলাসে পোলারাইজড

আলো পতিত আলোকরশ্মি ডান দিকে বেঁকে যায় তাদের ডেক্সট্রোরোটেটরি শর্করা (d বা +) বলে এবং আলোকরশ্মি বাম দিকে d বা (+) শর্করার সাথে সমপরিমাণ বেঁকে গেলে লিভোরোটেটরি শর্করা (l বা –) বলে। এই d বা l এর সাথে D ও L এর কোন সম্বন্ধ নেই। সমপরিমাণ d বা (+) শর্করার সাথে সমপরিমাণ l বা (–) শর্করার মিশ্রণ ঘটালে তাকে বলা হয় রেসিমিক (racemic)। একে ± দিয়ে চিহ্নিত করা হয়। এটি পোলারাইজ পতিত আলোকে কোনদিকে বাঁকাতে পারে না।

সমগ্র মনোস্যাকারাইড গোষ্ঠীটি দু'টি ভাগে বিভক্ত। একটি অ্যালডোজ শর্করা গ্লিসার‍্যালডিহাইড থেকে শুরু হয় এবং অপর বিভাগটি ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন নামক কিটো শর্করা থেকে শুরু হয়। গ্লিসার‍্যালডিহাইডের (3C যুক্ত শর্করা) একটি কাইরাল কেন্দ্র থাকায় দু'টি আইসোমার গঠন করে। স্বাভাবিকভাবে পরবর্তী অ্যালডোজ শর্করা (4C) থ্রিয়োজ ও এরিথ্রোজে দু'টি কাইরাল কেন্দ্র থাকায় প্রতিটি দু'টি করে মোট 4টি আইসোমার গঠন করে। যেহেতু অ্যালডোজ শর্করায় প্রথম ও শেষ কার্বনটি বাদে সব কটি কার্বনেই কাইরাল কেন্দ্র থাকে তাই অ্যালডোজ শর্করায় আইসোমারের সংখ্যা = 2^{n-2} (n = কার্বন সংখ্যা)

অপরদিকে, 3C যুক্ত কিটো শর্করা ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন ফসফেটে কোন কাইরাল কেন্দ্র না থাকায় এর কোন আইসোমার থাকে না। এরিথ্রোজ 4C যুক্ত কিটো শর্করা যার একটি কাইরাল কেন্দ্র থাকায় দু'টি আইসোমার (D এবং L) গঠিত হয়। যেহেতু কিটো শর্করায় প্রথম, দ্বিতীয় শেষ কার্বনটি ছাড়া অন্য কার্বনগুলিতে কাইরাল কেন্দ্র থাকে তাই কিটো শর্করায় আইসোমারের সংখ্যা = 2^{n-3} (n = কার্বন সংখ্যা)। এই কারণে 6 কার্বনযুক্ত ফ্রুক্টোজ শর্করায় আইসোমারের সংখ্যা $2^{6-3} = 2^3 = 8$টি।

যখন দু'টি আইসোমারের কোন কার্বনের সাথে যুক্ত H ও OH ডান ও বামদিকে স্থান বিনিময় করে তখন তাদের এপিমার (Epimer) বলে। যেমন দ্বিতীয় কার্বনটির পরিপ্রেক্ষিতে D-গ্লুকোজ ও D-ম্যানোজ এপিমার আবার চতুর্থ কার্বনটির পরিপ্রেক্ষিতে D-গ্লুকোজ ও D-গ্যালাকটোজ এপিমার (চিত্র 1.A ও 1.B দেখুন)।

আমরা এতক্ষণ যে আইসোমারের গঠন আলোচনা করলাম তাতে কার্বন পরমাণুগুলি রৈখিক শৃঙ্খলে (Straight Chain) বিন্যস্ত থাকে। দেখা গেছে যে প্রাকৃতিক অবস্থায় কার্বন পরমাণু পরস্পরের সঙ্গে বলয়াকারে সজ্জিত হয়ে চক্রাকার বা সাইক্লিক (Cyclic) যৌগ গঠন করে। এই ধরণের বলয়ে 5 টি বন্ধনী (Five membered) থাকলে তাকে ফুরানোজ (Furanose) এবং 6 টি বন্ধনী (Six membered) থাকলে তাকে পাইরানোজ (Pyranose) যৌগ বলে। হেক্সোজ শর্করাগুলি উভয়রূপেই অবস্থান করতে পারে যেমন ফ্রুক্টোজ অণু ফ্রুক্টোফুরানোজ বা ফ্রুক্টোপাইরানোজ রূপে অবস্থান করতে পারে। জলীয় দ্রবণে 67% ফ্রুক্টোজ পাইরানোজরূপে এবং 33% ফ্রুক্টোজ ফুরানোজ রূপে অবস্থান করে।

আর একটি বিষয় উল্লেখযোগ্য যে পাইরানোজ বা ফুরানোজের কার্বনিল কার্বনটি (প্রথম কার্বন বা C_1) অপ্রতিসম (Asymmetric) হয়। এই কার্বনটির নীচে – OH মূলক থাকলে তাকে α এবং উপরে – OH মূলক থাকলে β আইসোমার বলা হয় (চিত্র 2)। পাইরানোজ বা ফুরানোজের α ও β আইসোমারকে অ্যানোমার (Anomer) বলা হয়।

অনুশীলনী :

1. (a) কার্বোহাইড্রেটের শ্রেণিবিভাগ করুন ও প্রতিটি শ্রেণির অন্তর্ভুক্ত কার্বোহাইড্রেটের উদাহরণ দিন।
   (b) কার্বন সংখ্যার উপর ভিত্তি করে মনোস্যাকারাইডকে কয় ভাগে ভাগ করা যায়? প্রতিটি ক্ষেত্রে উদাহরণ দিন ও রাসায়নিক সংকেত লিখুন।
   (c) স্টিরিও কেমিস্ট্রির পরিপ্রেক্ষিতে মনোস্যাকারাইডের অন্তর্ভুক্ত বিভিন্ন যৌগগুলির সংকেত ও উদাহরণ লিখুন।
2. এক কথায় উত্তর দিন।
   (a) ক্ষুদ্রতম অ্যালডোজ ও কিটো শর্করার নাম উল্লেখ করুন।
   (b) একটি 7 কার্বনযুক্ত শর্করার নাম লিখুন।

(c) এমন একটি যৌগের নাম লিখুন যার স্থূল সংকেত $C_n (H_2O)_n$ কিন্তু সেটি শর্করা নয়।

(d) D ও L কথাটির অর্থ কি?

(f) পাইরানোজ ও ফুরানোজ বলয় কাকে বলে?

3. শূণ্যস্থান পূরণ করুন।

(a) _____ শর্করায় কাইরাল কার্বন পরমাণু থাকে না।

(b) d -গ্লুকোজে d কথাটির অর্থ হল _____।

(c) শর্করার α ও β আইসোমারকে _____ বলে।

(d) অলিগোস্যাকারাইডে শর্করা এককের সংখ্যা _____ থেকে _____ টি।

1.4 ডাইস্যাকারাইড

দু'টি মনোস্যাকারাইড যুক্ত হয়ে ও এক অণু জল মুক্ত করে ডাইস্যাকারাইড গঠিত হয়। প্রকৃতিতে অলিগোস্যাকারাইডের মধ্যে ডাইস্যাকারাইডই প্রধান, তাই এই এককে ডাইস্যাকারাইড সম্পর্কে আলোচনা করা হল।

প্রধান ডাইস্যাকারাইডগুলি হল—

(i) মলটোজ — দুই অণু গ্লুকোজের সমন্বয়ে মলটোজ গঠিত হয়। একটি পাইরানোজ গ্লুকোজের [α প্রকৃতি] প্রথম কার্বনের সাথে দ্বিতীয় পাইরানোজ গ্লুকোজের চতুর্থ কার্বনটি অক্সিজেন পরমাণুর সাহায্যে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী সৃষ্টি করে। তাই মলটোজকে α – D গ্লুকোপাইরানোসাইল (1 $\rightarrow$ 4) D – গ্লুকোপাইরানোজ বলা হয়।

(ii) সুক্রোজ — একটি α - D গ্লুকোপাইরানোজ শর্করার প্রথম কার্বনের সাথে ফুরানোজ প্রকৃতির ফ্রুক্টোজের দ্বিতীয় কার্বন, অক্সিজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত হয়ে সুক্রোজ গঠন করে। তাই সুক্রোজ হল α - D গ্লুকোপাইরানোসাল (1 $\rightarrow$ 2) – β – D ফ্রুক্টোফুরানোসাইড।

(iii) ল্যাকটোজ β - পাইরানোজ প্রকৃতির গ্যালাকটোজ β পাইরানোজ প্রকৃতির গ্লুকোজের সাথে যুক্ত হয়ে ল্যাকটোজ গঠন করে।

এছাড়াও উদ্ভিদদেহে আইসোমলটোজ, সেলোবায়োজ প্রভৃতি ডাইস্যাকারাইড পাওয়া যায়।

1.5 পলিস্যাকারাইড

অসংখ্য মনোস্যাকারাইড একক যখন পরস্পর যুক্ত ও নিবুদিত হয়ে জটিল কার্বোহাইড্রেট গঠন করে তাকে পলিস্যাকারাইড বলে। এদের স্থূল সংকেত $(C_6H_{10}O_5)_n$।

(i) সেলুলোজ — কোষপ্রাচীরের মুখ্য উপাদান যেখানে আনুমানিক 15000টি গ্লুকোজ অণু β(1 $\rightarrow$ 4) গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর সাহায্যে রৈখিক শৃঙ্খলযুক্ত (Linear Chain) পলিমার গঠন করে। এইরূপ প্রায় 40 টি শৃঙ্খল সমান্তরালভাবে বিন্যস্ত হয়ে সেলুলোজ তন্তু গঠন করে।

(ii) স্টার্চ — স্টার্চ হল উদ্ভিদের প্রধান সঞ্চিত খাদ্যবস্তু। এটি α - অ্যামাইলোজ ও অ্যামাইলোপেকটিন দুই ধরণের শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত। অ্যামাইলোজ শৃঙ্খলটি শাখাবিহীন যার মধ্যে অসংখ্য গ্লুকোজ অণু α(1 $\rightarrow$ 4) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। অপরদিকে অ্যামাইলো পেকটিন হল শাখাযুক্ত শৃঙ্খল এবং প্রতিটি শাখায় 24 থেকে 30টি গ্লুকোজ অণু α(1 $\rightarrow$ 4) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। যেই স্থান থেকে শাখাটি উৎপন্ন হয় সেখানকার গ্লুকোজ অণু দুটি α(1 $\rightarrow$ 6) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। স্টার্চ জলে অদ্রাব্য। স্টার্চ ও অ্যামাইলোজ উভয়েই আয়োডিনের উপস্থিতিতে নীল বর্ণ ধারণ করে। অ্যামাইলোপেকটিন জলে কোলয়েড দ্রবণ সৃষ্টি করে এবং আয়োডিনের উপস্থিতিতে লালচে বেগুনী বর্ণ ধারণ করে।

এছাড়া উদ্ভিদে ডেক্সট্রান, ছত্রাকের কোষপ্রাচীরে কাইটিন, ব্যাকটেরিয়া ও ইস্টে ম্যানান এবং প্রাণীকোষে গ্লাইকোজেন নামক পলিস্যাকারাইড থাকে। অধিকাংশ পলিস্যাকারাইড জলে অদ্রবণীয় ও স্বাদহীন হয়।

1.6 কার্বোহাইড্রেটের গুরুত্ব

1. জীবদেহে কার্বোহাইড্রেট প্রধান শক্তি সঞ্চয়ী খাদ্য। 1 গ্রাম অণু শর্করা থেকে 4.0 KCal শক্তি পাওয়া যায়।
2. সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন শর্করা গ্লুকোজ অণু ফ্রুক্টোজের সাথে যুক্ত হয়ে সুক্রোজরূপে উদ্ভিদ অঙ্গে ফ্লোয়েমের মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।
3. গ্লুকোজ অণু শ্বসনের মুখ্য সাবস্ট্রেট রূপে ব্যবহৃত হয়।
4. বিভিন্ন গ্লাইকোলিপিড কোষপর্দা গঠনে সহায়তা করে।
5. D - রাইবোজ নামক 5C যুক্ত মনোস্যাকারাইড ও ডিঅক্সিরাইবোজ DNA অণু গঠনে মুখ্য ভূমিকা পালন করে। এছাড়া রাইবোজ শর্করা ATP, NADP গঠন করে।
6. D - অ্যারাবিনোজ গদ জাতীয় বর্জ্য পদার্থের মুখ্য উপাদান।
7. ফলের রস ও মধুতে গ্লুকোজ, ফ্রুক্টোজ প্রভৃতি মনোস্যাকারাইড পাওয়া যায়। চিনি প্রধানত সুক্রোজ দিয়ে গঠিত এবং দুধের প্রধান ডাইস্যাকারাইড হল ল্যাকটোজ।
8. গ্লুকোজঅ্যামাইন নামক অ্যামাইনো শর্করা ব্যাকটেরিয়া কোষপ্রাচীরের সেলুলোজ, হেমিসেলুলোজ প্রভৃতি উদ্ভিদ কোষপ্রাচীরের কাইটিন ছত্রাক কোষপ্রাচীরের প্রধান উপাদান।
9. দিনের বেলায় সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন গ্লুকোজের অধিকাংশই শ্বসনে ব্যবহৃত হয়। উদ্বৃত্ত গ্লুকোজ স্টার্চরূপে উদ্ভিদকোষে সঞ্চিত হয়।

1.7 সারাংশ

জল অঙ্গার বা কার্বোহাইড্রেটের সাধারণ স্থূল সংকেত হল $C_n(H_2O)_n$। স্যাকারাইড বা শর্করা এককের সংখ্যার উপর ভিত্তি করে কার্বোহাইড্রেটকে মনো, ডাই ও পলিস্যাকারাইডে বিভক্ত করা হয়। মনোস্যাকারাইডে কার্বনের সংখ্যা 3 (ট্রায়োজ) থেকে 7 (হেপ্টোজ) পর্যন্ত হয়। গ্লিসার‍্যালডিহাইড এবং ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিট্রোন হল ক্ষুদ্রতম অ্যালডোজ ও কিটো শর্করা। গ্লুকোজ ও ফ্রুক্টোজের সমন্বয়ে সুক্রোজ ও দুটি গ্লুকোজ অণুর সমন্বয়ে মলটোজ তৈরী হয়। অ্যালডোজ ও কিটো শর্করায় কার্বনের সংখ্যা এবং কার্বন পরমাণুতে হাইড্রোজেন ও হাইড্রক্সিল বর্গের আপেক্ষিক অবস্থানের উপর ভিত্তি করে শর্করার অণুর স্টিরিও কেমিকাল গঠন নির্ণীত হয়। পলিস্যাকারাইডগুলি সচরার জলে অদ্রবণীয় হয়। উদ্ভিদের প্রধান পলিস্যাকারাইড হল স্টার্চ ও সেলুলোজ। স্টার্চ অণু অ্যামাইলোজ ও অ্যামাইলোপেকটিন শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত হয়।

1.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষেপে উত্তর দিন।

(a) কাইরাল কেন্দ্র কাকে বলে?

(b) গ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোনের পরমাণবিক বিন্যাসের প্রভেদ কি?

(c) কিটো শর্করা থেকে অ্যালডোজ শর্করার সংখ্যা বেশী কেন?

(d) স্টার্চ অণুর গঠন কি কি শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত?

2. A - স্তম্ভের সাথে B - স্তম্ভের মিল স্থাপন করুন।

3. শূন্যস্থান পূরণ করুন।

(a) চতুর্থ কার্বনের পরিপ্রেক্ষিতে D গ্লুকোজের এপিমার হল _____।

A - স্তম্ভ	B - স্তম্ভ
1. 5 কার্বন যুক্ত শর্করা হল	1. ফ্রুক্টোজ
2. সালোকসংশ্লেষে উৎপন্ন প্রথম শর্করাটি হল	2. গুলোজ
3. একটি কিটো শর্করার উদাহরণ হল	3. মলটোজ
4. আইডোসের এপিমার হল	4. গ্লিসার‍্যালডিহাইড
5. 2 টি গ্লুকোজ অণুর সমন্বয়ে গঠিত হয়	5. রাইবোজ

(b) ফ্রুক্টোজ শর্করায় আইসোমারের সংখ্যা _____।

(c) অ্যামাইলোপেকটিনের শাখাগুলিতে _____ লিংকেজ দেখা যায়।

(d) মিষ্টতম শর্করা হল _____।

1.9 উত্তরমালা

অনুশীলনী

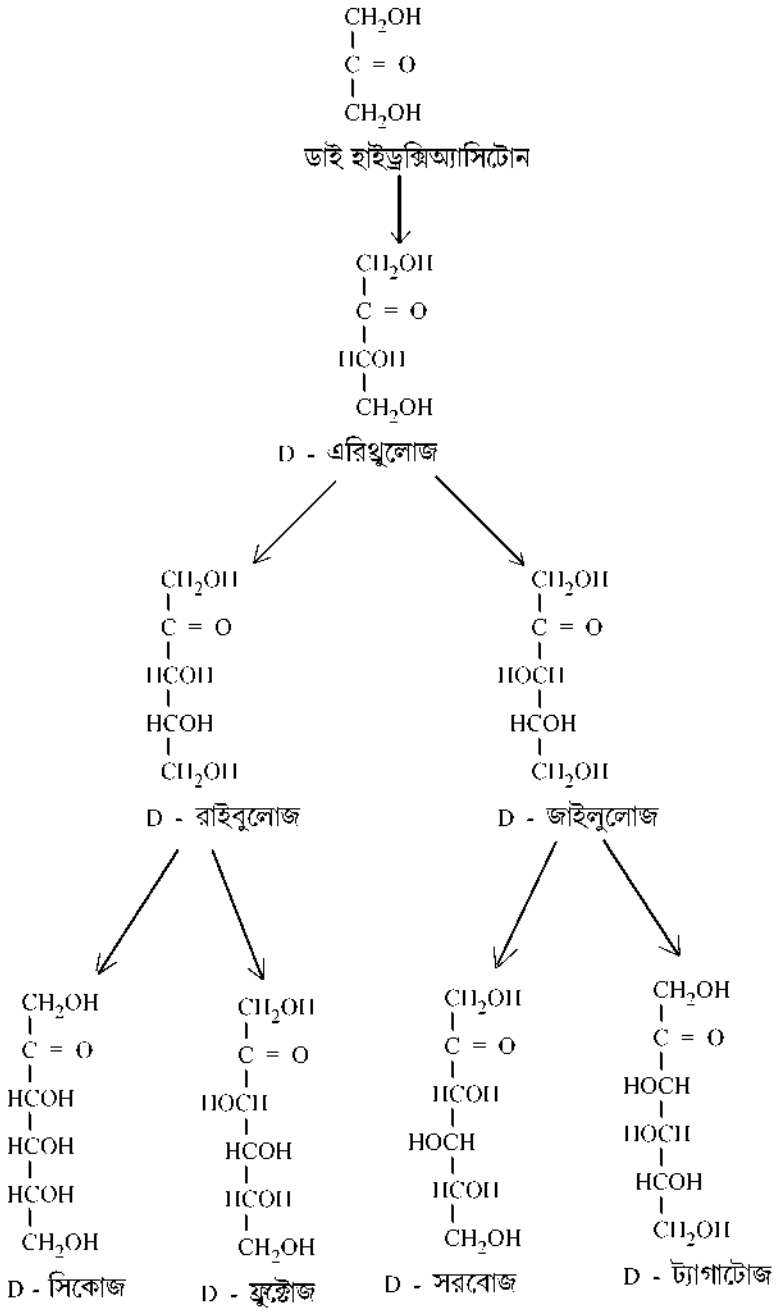
1. (a) 1.2 দ্রষ্টব্য 1 (b) 1.2 তে পাবেন 1 (c) 1.3 দেখুন।
2. (a) গ্লিসার‍্যালডিহাইড ও ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন।
   (b) সেডোহেপ্টুলোজ
   (c) অ্যাসিটিক অম্ল (CH_3 COOH)
   (d) ডেক্সট্রোরোটেটরি ও লিভোরোটেটরি
   (e) 1.3 দেখুন।
3. (a) ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোন
   (b) ডেক্সট্রোরোটেটরি।
   (c) অ্যানোমার
   (d) 2, 10.

সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

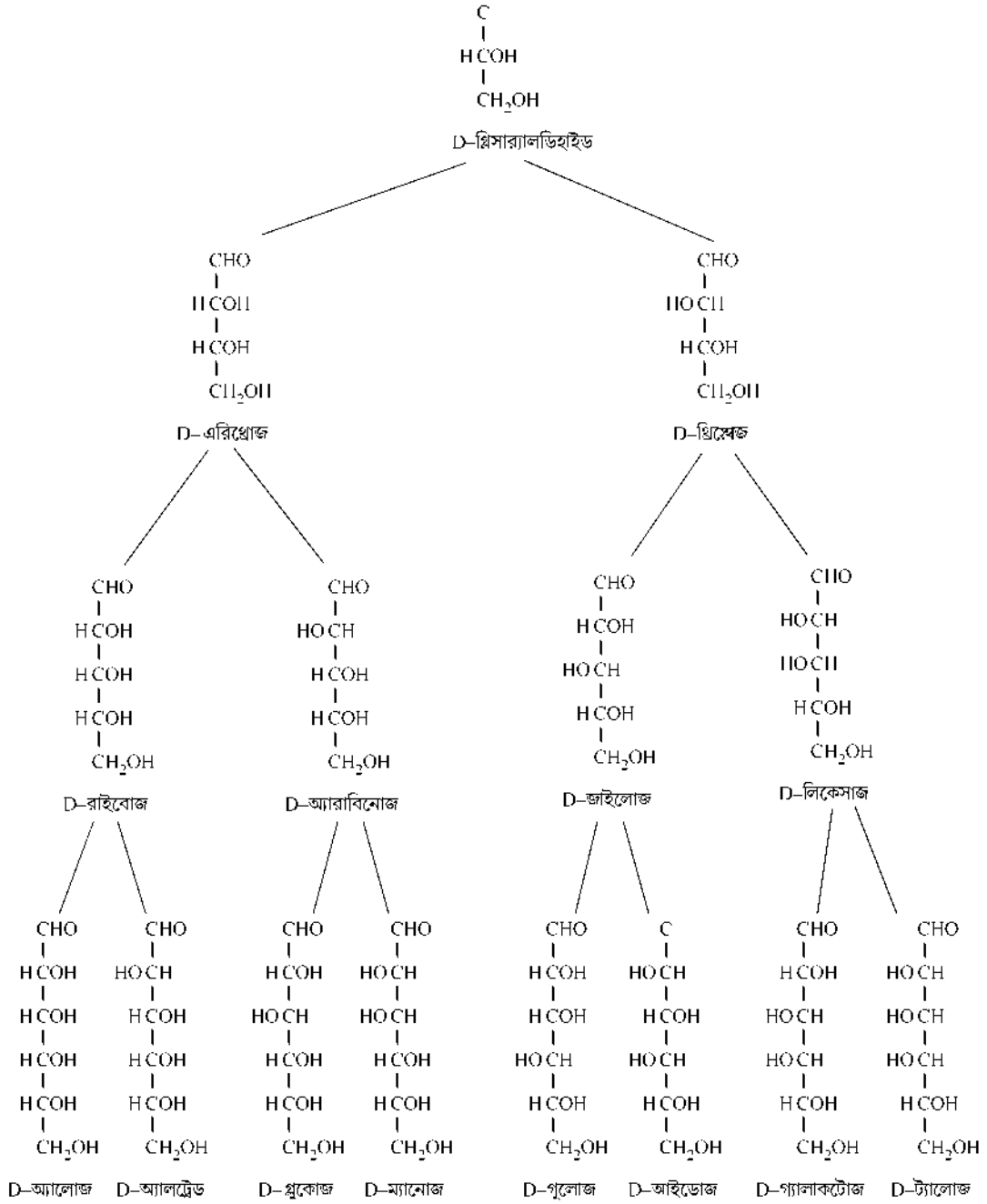
1 (a) 1.3 দেখুন (b) 1.3 তে পাবেন (c) কিটো শর্করার ক্ষুদ্রতম যৌগ ডাইহাইড্রক্সিঅ্যাসিটোনে কাইরাল কেন্দ্র থাকে না বলে— এই প্রসঙ্গে 1.3 দেখুন (d) অ্যামাইলোজ ও অ্যামাইলোপেকটিন।

2. (a) 1–5 (b) 2–4 (c) 3–1 (d) 4–2 (e) 5–3

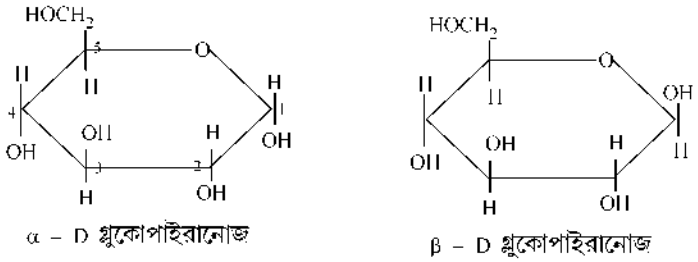
3. (a) D-গ্যালাকটোজ (b) 8 (c) α (1 $\rightarrow$ 6) (d) ফ্রুক্টোজ।



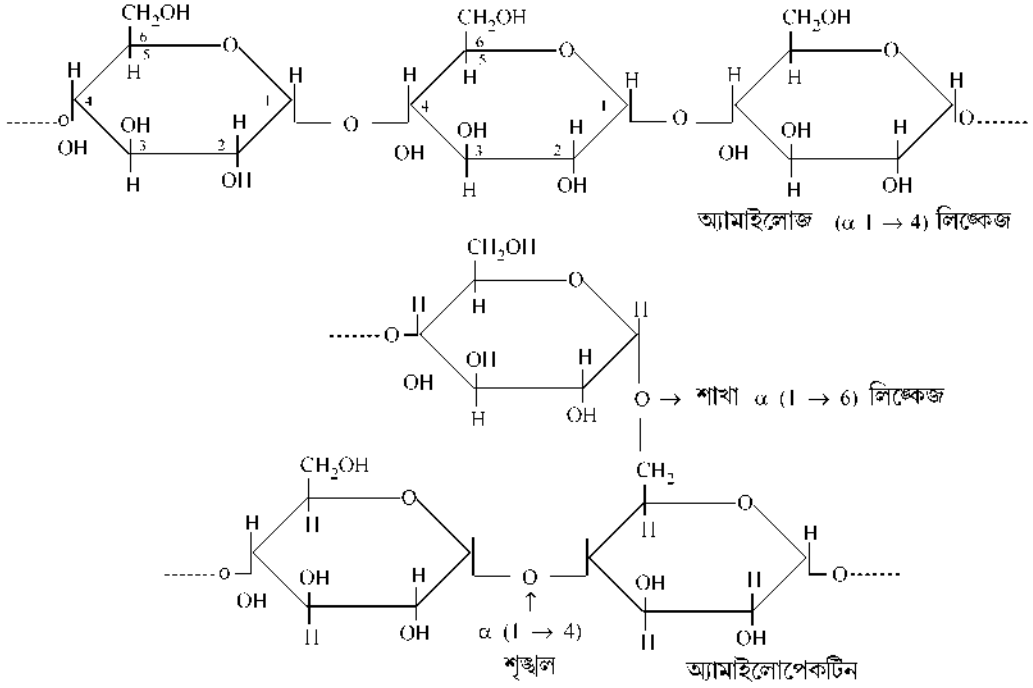
চিত্র 1.A : মনোস্যাকারাইডের কিটো পরিবার



চিত্র 1.B : মনোস্যাকারাইডের অ্যালডোজ পরিবার



চিত্র 2 : D - গ্লুকোপাইরানোজের α ও β রূপ।



চিত্র 3 : স্টার্চ অণুর গঠন — অ্যামাইলোজ ও অ্যামাইলোপেকটিনের গঠন দেখান হয়েছে।

একক 2 ❑ ফ্যাট বা লিপিড

গঠন

2.0 উদ্দেশ্য
2.1 প্রস্তাবনা
2.2 লিপিডের ধর্ম
2.3 লিপিডের শ্রেণিবিন্যাস
2.4 ফ্যাটি অম্ল - রাসায়নিক প্রকৃতি ও গঠন
2.5 অত্যাবশ্যকীয় ফ্যাটি অম্ল
2.6 লিপিডের কাজ
2.7 সারাংশ
2.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
2.9 উত্তরমালা

2.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- লিপিড বা স্নেহপদার্থের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মগুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন।
- ফ্যাটি অম্লের রাসায়নিক প্রকারভেদ সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- লিপিডের বিভিন্ন শ্রেণিগুলি সম্পর্কে অবহিত হবেন।
- লিপিডের শারীরবৃত্তীয় ও জৈবরাসায়নিক গুরুত্বগুলি বোঝাতে পারবেন।

2.1 প্রস্তাবনা

স্নেহপদার্থ বা লিপিড হল কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের সমন্বয়ে গঠিত বিশেষ যৌগ বা জলে অদ্রবণীয় এবং এই যৌগগুলিতে হাইড্রোজেনের তুলনায় অক্সিজেনের পরিমাণ অনেক কম থাকে। তেল, ঘি, মাখন, চিজ্ প্রভৃতি খাদ্য উপাদানগুলি স্নেহপদার্থ সমৃদ্ধ হয়। উদ্ভিদের স্নেহপদার্থ প্রধানত বীজ ও শস্যে সঞ্চিত থাকে। লিপিড বা স্নেহপদার্থ প্রধানত ফ্যাটি অম্ল ও গ্লিসারলের সমন্বয়ে গঠিত হয়। ফ্যাটি অম্লগুলি আবার সম্পৃক্ত বা অসম্পৃক্ত হতে পারে। অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লে কার্বন পরমাণুগুলির মধ্যে এক বা একাধিক দ্বি-বন্ধনী দেখা যায়। উদ্ভিজ্জ স্নেহ পদার্থ সচরাচর অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্ল দ্বারা গঠিত এবং সাধারণ উষ্ণতায় এরা তরল অবস্থায় থাকে। প্রকৃতিতে লিপিড সরল, যৌগিক বা পরিবর্তিত অবস্থায় থাকে। বিভিন্ন স্নেহপদার্থ কোষপর্দা গঠনে, কোষের সক্রিয় পরিবহনে সহায়তা করে। আমাদের দেহে লিপিড তাপনিরোধক পদার্থ হিসাবে কাজ করে। স্টেরল প্রকৃতপক্ষে লিপিড না হলেও এদের ধর্ম লিপিডের ন্যায় হয়। আমাদের দেহে কোলেস্টেরল সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ স্টেরল এবং উদ্ভিদে আর্গোস্টেরল, মাইকোস্টেরল, স্টিগমাস্টেরল প্রভৃতি স্টেরল যৌগ দেখা যায়। লাইপেজ উৎসেচকের মাধ্যমে লিপিড অণু বিশ্লিষ্ট হয়ে ফ্যাটি অম্ল ও গ্লিসারলে পরিণত হয়। ফ্যাটি অম্ল আবার β-জারণ পদ্ধতিতে বিশ্লিষ্ট হয়ে প্রচুর পরিমাণে ATP উৎপন্ন করে ও তাপশক্তি নির্গত করে।

2.2 লিপিডের ধর্ম

স্নেহ পদার্থ বা স্নেহপদার্থজাত যে উপাদানগুলি জলে অদ্রবণীয় কিন্তু মিথানল, ক্লোরোফর্ম প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয় এবং ক্ষারীয় হাইড্রোলিসিসের ফলে ফ্যাটি অম্ল ও গ্লিসারল উৎপন্ন করে তাদের লিপিড বলা হয়।

● **লিপিডের ভৌত ধর্মগুলি হল :**

1. ভৌত অবস্থা : সম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লবিশিষ্ট লিপিড সাধারণ তাপমাত্রায় কঠিন হয় কিন্তু অসম্পৃক্ত ফ্যাটি-অম্লের সমন্বয়ে যে লিপিড গঠিত হয় সেগুলি সাধারণ তাপমাত্রায় তরল হয়।

2. বর্ণ, গন্ধ ও স্বাদ : বিশুদ্ধ লিপিড বর্ণহীন ও গন্ধহীন হয় এবং দীর্ঘদিন উচ্চ তাপমাত্রায় বাতাসের সংস্পর্শে আসলে লিপিডের আর্দ্রবিশ্লেষণ ঘটে ও ফ্যাটি অম্লগুলি জারিত হয়। এই অবস্থায় লিপিডগুলি র‍্যানসিড (Rancid) ও দুর্গন্ধযুক্ত হয়।

3. দ্রবণীয়তা : লিপিড জলে অদ্রাব্য বা অতি সামান্য পরিমাণে দ্রাব্য কিন্তু ক্লোরোফর্ম, মিথানল, অ্যাসিটোন প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে দ্রাব্য। ফ্যাটি অম্লের শৃঙ্খলগুলি দৈর্ঘ্য যত বেশী হয় ততই তাদের দ্রবণীয়তা কমতে থাকে।

4. গলনাঙ্ক : লিপিডের গলনাঙ্ক ফ্যাটি অম্লের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। সম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লযুক্ত লিপিডের ক্ষেত্রে কার্বন পরমাণুর সংখ্যা যত বাড়ে তার গলনাঙ্ক তত বেড়ে যায়। অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লের ক্ষেত্রে কার্বন পরমাণু এবং দ্বিবন্ধনীর সংখ্যা (Double bond) বৃদ্ধি পেলে গলনাঙ্ক কমে যায়।

5. আপেক্ষিক গুরুত্ব : লিপিডের আপেক্ষিক গুরুত্ব সর্বদাই 1-এর কম এবং অধিকাংশ ক্ষেত্রেই 0.86-এর কাছাকাছি হয়।

6. অবদ্রব গঠন : স্নেহ পদার্থকে জল, ক্ষারীয় পদার্থ বা প্রোটিনের উপস্থিতিতে ঝাঁকালে বড় অণুগুলি ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অণুতে রূপান্তরিত হয়। এই ঘটনাকে অবদ্রব গঠন (Emulsification) বলে।

7. পৃষ্ঠটান : জলের উপর তরল স্নেহপদার্থকে ঢেলে দিলে সেটি জলস্তরের উপরে একটি সূক্ষ্ম স্তর গঠন করে এবং জলের পৃষ্ঠটানকে (surface tension) কমিয়ে দেয়।

● **লিপিডের রাসায়নিক ধর্মগুলি হল :**

1. আর্দ্র বিশ্লেষণ : লাইপেজ উৎসেচকের প্রভাবে লিপিড আর্দ্রবিশ্লিষ্ট হয়ে ফ্যাটি অম্ল ও 3 অণু গ্লিসারল উৎপন্ন করে।

2. স্যাপোনিফিকেশন : লিপিডকে ক্ষারের উপস্থিতিতে আর্দ্রবিশ্লেষণ করলে গ্লিসারল ও ফ্যাটি অম্লের লবণ উৎপন্ন হয়। এই প্রক্রিয়াকে স্যাপোনিফিকেশন (Saponification) বলে।

2.3 লিপিডের শ্রেণিবিন্যাস (Classification of Lipids)

1. সরল লিপিড (Simple Lipid) বা নিউট্রাল ফ্যাট (Neutral fat)

(a) অ্যাসাইল গ্লিসারল (acyl glycerol)

(i) ট্রাইগ্লিসারাইড বা ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল (Triglycerids or triacylglycerol)

(ii) ডাইগ্লিসারাইড বা ডাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল (Diglycerides or Diacylglycerol)

(iii) মোনোগ্লিসারাইড বা মোনোঅ্যাসাইল গ্লিসারল (Monoglyceride or monoacylglycerol)

(b) মোম বা ওয়াক্স (Wax)

2. জটিল লিপিড (Complex Lipid)

(a) ফসফোলিপিড (Phospholipid) বা ফসফাটাইডস (Phosphatides)

(b) গ্লাইকোলিপিড (Glycolipid) বা গ্লাইকোগ্লিসেরোলিপিড (glycoglycerolipid)

(c) স্ফিংগোলিপিড (Sphingolipid)

3. পরিবর্তিত ফ্যাট (Derived Lipid)

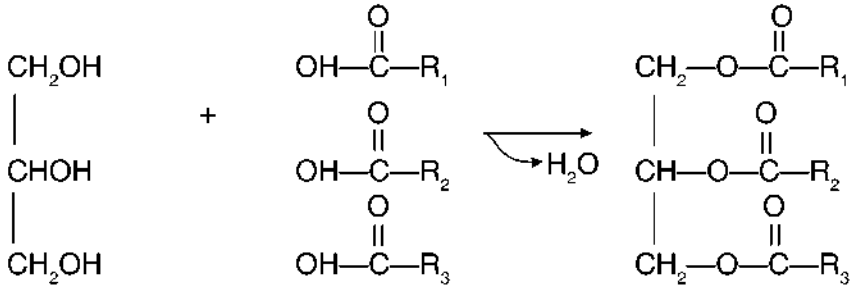
(a) টারপিনয়েড, স্টেরয়েড, ক্যারোটিনয়েড (Terpenoids, steroids, carotenoids)

(b) লাইপোপ্রোটিন (Lipoprotein)

(c) প্লাসমোজেন (Plasmogen)

■ 1.(a) অ্যাসাইল গ্লিসারল (Acyl Glycerol)

প্রকৃতিতে সবচেয়ে পরিচিত ফ্যাটটি হল ট্রাইগ্লিসারাইড বা ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল। একটি ট্রাইহাইড্রিক অ্যালকোহল অর্থাৎ গ্লিসারল [যাতে 3টি হাইড্রক্সিল মূলক (—OH) থাকে।] যদি 3টি ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়ে এস্টার তৈরী করে তবে তাকে ট্রাইগ্লিসারাইড বলে।

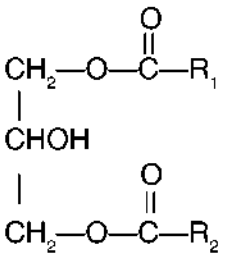


ট্রাইগ্লিসারাইড

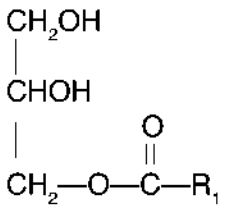
গ্লিসারল তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড

(R_1, R_2, R_3 একই হতে পারে বা ভিন্ন হতে পারে)

একটি গ্লিসারলের সাথে যদি দুটি ফ্যাটি অ্যাসিড যুক্ত থাকে তবে তাকে ডাইগ্লিসারাইড এবং একটি থাকলে তাকে মোনোগ্লিসারাইড বলা হয়।



ডাইগ্লিসারাইড



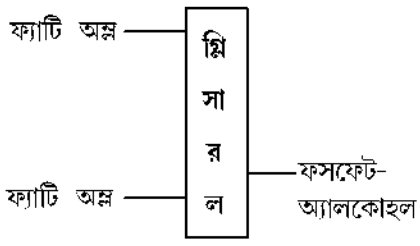
মোনোগ্লিসারাইড

প্রাণীজাত ট্রাইগ্লিসারাইডে বেশীর ভাগ ফ্যাটি অ্যাসিডই সংপৃক্ত (উদাহরণ— গোমাংসের 54% ফ্যাটি অ্যাসিডই সংপৃক্ত এবং 46% ফ্যাটি অ্যাসিড অসংপৃক্ত) কিন্তু উদ্ভিদজাত ট্রাইগ্লিসারাইডে বেশীর ভাগ ফ্যাটি অ্যাসিডই অসংপৃক্ত (উদাঃ অলিভ তেলে অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড 40% এবং সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড 20%) প্রতিদিনকার ব্যবহারের মাখনে শতকরা 11 ভাগ ফ্যাটি অ্যাসিডই মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড (অর্থাৎ কার্বনশৃঙ্খলগুলি ক্ষুদ্র) বলে ঘরের স্বাভাবিক উষ্ণতায় মাখন নরম। স্তন্যপায়ী প্রাণীর অ্যাডিপোজ কোষের (adipose cells) সাইটোপ্লাজমে প্রচুর ট্রাইগ্লিসারাইড সঞ্চিত থাকে এবং প্রয়োজনে শক্তির জোগান দেয়।

ট্রাইগ্লিসারাইডের কোভ্যালন্ট বন্ডটি অতিসংবেদনশীল। ফলে যদি একে একটি শক্তিশালী ক্ষারের (KOH বা NaOH) উপস্থিতিতে উত্তপ্ত করা হয় তবে তা কিছুক্ষণের মধ্যে ভেঙে গিয়ে গ্লিসারল ও ফ্যাটি অ্যাসিডের ক্ষারীয় লবণ তৈরী করে। এই পদ্ধতিকে বলা হয় **স্যাপোনিফিকেশন (Saponification)** বা সাবান তৈরী পদ্ধতি (Soap formation) এবং উৎপন্ন ফ্যাটি অ্যাসিডের লবণটিকে বলা হয় সাবান বা সোপ। আমাদের প্রতিদিনকার ব্যবহৃত সাবান এই পদ্ধতিতেই প্রস্তুত হয়।

■ 1.(b) মোম বা ওয়াক্স (Wax)

একটি লম্বাকার্বনশৃঙ্খলবিশিষ্ট মোনোহাইড্রিক অ্যালকোহল (উদাহরণ : পামিটোইল অ্যালকোহল অর্থাৎ 16টি কার্বন যুক্ত একটি অ্যালকোহল) একটি লম্বাদৈর্ঘের ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়ে ওয়াক্স বা মোম তৈরী করে। এই ফ্যাটি অ্যাসিডটিতে জোড় বা বিজোড় সংখ্যার কার্বন থাকতে পারে। ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি সাধারণত সংপৃক্ত বা একটি দ্বিবন্ধনীযুক্ত (মোনোইনয়িক ফ্যাটি অ্যাসিড) হয়। পাতার ও ফলের কিউটিকল বা আবরণ, মৌমাছির তৈরী মোম এধরনের ওয়াক্সএষ্টার দিয়ে তৈরী। তাছাড়া শৈবাল, ছত্রাক, ব্যাকটিরিয়া ও সামুদ্রিক প্রাণীরা এই ধরণের ওয়াক্সধর্মী ফ্যাট তৈরী করে।

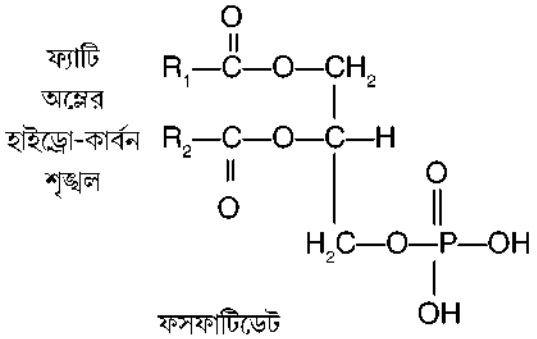


চিত্র 1 : ফসফোগ্লিসারাইডের গঠন

2. জটিল লিপিড (Complex Lipid)

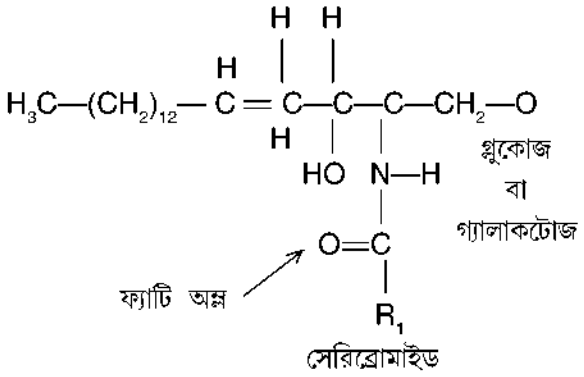
(a) ফসফোলিপিড (Phospholipid) বা ফসফাটাইডস্ (Phosphatide) ফসফোগ্লিসারাইড (Phosphoglyceride) বা গ্লিসেরোফসফোলিপিড (glycerophospholipid) নাম থেকে আমরা এর রাসায়নিক গঠনের আন্দাজ করতে পারি। অর্থাৎ ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসারলের সাথে একটি অজৈব ফসফেট, জৈব নাইট্রোজেন বেস বা পলিহাইড্রক্সি মূলকের সমন্বয়ে ফসফোলিপিড তৈরী হয়।

ফসফোলিপিডের ফ্যাটি অ্যাসিড অংশটি ননপোলার (nonpolar) অর্থাৎ জলবিরাগী কিন্তু ফসফেট ও নাইট্রোজেনসমন্বিত মিথাইল মূলকের প্রান্তটি জলানুরাগী (Hydrophilic)। এরকম দুধর্মী পদার্থ একই যৌগে বর্তমান বলে ফসফোলিপিডকে অ্যাম্পিপ্যাথিক (amphipathic) যৌগ বলে।



(ডাইএসাইল গ্লিসারল-3ফসফেট)

ফসফোলিপিড কোষপর্দার গঠনগত একক এবং এ সম্বন্ধে কোষপর্দার রাসায়নিক গঠন বর্ণনায় বিস্তারিত আলোচনা করা হয়েছে। **ফসফোটাইডেট** (Phospho-tidate) ফসফোলিপিডের মূল অণু। প্রকৃতিতে আমরা বিভিন্ন প্রকারের ফসফোলিপিড পেয়ে থাকি। ভিন্ন ভিন্ন প্রকারের মূলকের উপস্থিতির উপর ফসফোলিপিডকে বিভিন্ন প্রকারে ভাগ করা হয়। যেমন— (a) ফসফোটাইডিল কোলিন (সাধারণ নাম লেসিথিন, Lecithin); (b) ফসফোটাইডিল ইথানোলেমিন (অর্থাৎ সেফালিন, cephalin) (c) ফসফোটাইডিল ইনোসিটল (Phosphatidyl inositol) উদ্ভিদের বীজ ও পাতায় পাওয়া যায়। (d) ফসফোটাইডিল গ্লিসেরল (Phosphatidyl glycerol) ও (e) ফসফোটাইডিল সেরিন (Phosphatidyl serine)।



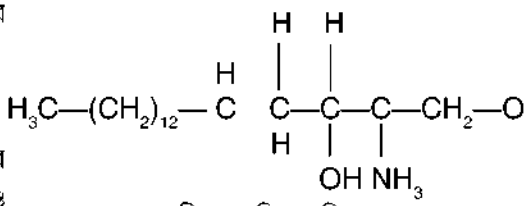
এগুলি সবই উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষের কোষপর্দা, শৈবাল ও ব্যাকটেরিয়ার কোষপর্দায় প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়। এছাড়াও ডাইফসফোটাইডিল গ্লিসেরল (অর্থাৎ কার্ডিওলিপিন) মাইটোক্রনড্রিয়ার অন্তকোষপর্দায় পাওয়া যায়।

■ 2.(b) গ্লাইকোলিপিড (Glycolipid)

পাতার মেসোফিল কোষের ক্লোরোপ্লাস্টে এই ফ্যাটটি প্রচুর পরিমাণে থাকে। গ্লাইকোলিপিডকে জল বিশ্লেষণ করলে আমরা গ্লিসারল, ফ্যাটি অ্যাসিড ও একটি কার্বোহাইড্রেট যৌগ পাই। কার্বহাইড্রেটটি গ্লুকোজ, গ্যালাকটোজ, ম্যানোজ, র‍্যামনোজ ইত্যাদি হতে পারে। ব্যাকটিরিয়াতেও এই কার্বহাইড্রেট সমন্বিত লিপিড পাওয়া যায়। সেরিব্রোসাইড (Cerebrosides) একটি কার্বহাইড্রেট অংশযুক্ত সরলতম গ্লাইকোলিপিড। আটা, আলু, আপেল ও কিছু ছত্রাকে সেরিব্রোসাইড পাওয়া যায়। অপরদিকে গ্যাংলিওসাইডস (gangliosides) 7 টি কার্বহাইড্রেট অংশযুক্ত জটিল গ্লাইকোলিপিড, গ্যাংলিওসাইড জীবজন্তুর নার্ভকোষে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়।

■ 2.(c) স্ফিংগোলিপিড (Sphingolipid)

এই লিপিডটিতে থাকে ফ্যাটি অ্যাসিড, গ্লিসারলের পরিবর্তে একটি লম্বা দৈর্ঘের অ্যামিন ($—NH_2$ মূলক) ও একটি অজৈব ফসফেট। স্ফিংগোলিপিডের মুখ্য যৌগটি একটি



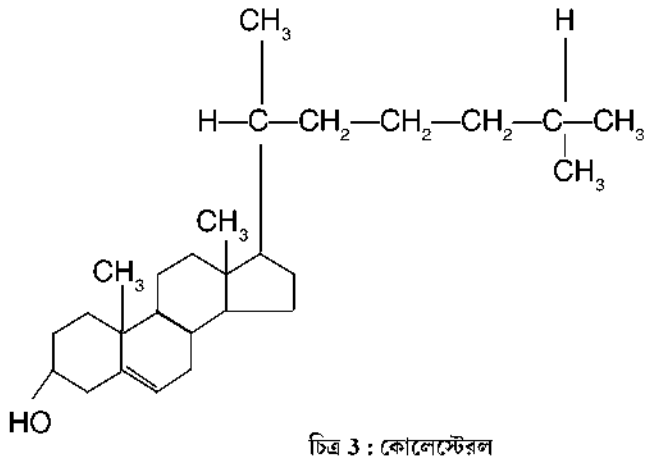
চিত্র 2 : স্ফিংগোসিন

নাইট্রোজেন সমন্বিত অ্যালকোহল যার নাম **স্ফিংগোসিন**। এই স্ফিংগোসিন পামিটিল-কো-এনজাইম (Palmityl CoA) ও সেরিন (Serine) অ্যামাইনো অ্যাসিডের রাসায়নিক বিক্রিয়ার ফলে তৈরী হয়ে থাকে। রক্তে ও স্নায়ুকলায় আমরা এই ধরণের লিপিড পেয়ে থাকি।

■ 3. পরিবর্তিত ফ্যাট (Derived lipid)

উপরিউক্ত লিপিডগুলি ছাড়াও প্রকৃতিতে বিভিন্ন প্রকারের পরিবর্তিত ফ্যাট পাওয়া যায়। যেমন টারপিনয়েড, স্টেরয়েড, ক্যারোটিনয়েড ইত্যাদি এগুলি সবই 5টি কার্বনবিশিষ্ট আইসোপ্রিন (Isoprene Unit) নামক যৌগের পরিবর্তিত রূপ। মেভালনিক অ্যাসিড থেকে (Mevalonic acid, সারণি 2B) 'আইসোপ্রিন' যৌগটি উদ্ভূত হয়। উদ্ভিদের থেকে আমরা যতরকম রেসিন (resin) ও বানতেল বা এসেনসিয়াল তেল (essential oil) যেমন— ইউক্যালিপটাস গাছের তেল, লেবুর তেল ইত্যাদি পাই তার বেশীরভাগই **টারপিনয়েড** ধর্মী যৌগ। Pinaceal, Umbelliferal, Myrtaceal, Lauraceal, Rutaceal, Labiatal ও Compositalগোত্রের প্রায় 40,000 প্রজাতির মধ্যে আমরা এই ধরণের জিনিস দেখতে পাই। আমরা কাঠের ফার্নিচার রং করার কাজে যে তার্পিন তেল ব্যবহার করি তা *Pinus* গাছের রেসিননালিকা থেকে সংগ্রহ করা হয়। এছাড়া *Trichothecium* নামের ছত্রাকেও এইরকম যৌগ দেখতে পাওয়া যায়।

স্টেরয়েড (Steroid) একটি বিশেষ ধরণের পরিবর্তিত ফ্যাট যাতে "Cyclopentanoperhydrophenanthrene" রিং নামে একটি টেট্রাসাইক্লিক হাইড্রোকার্বন (চিত্র-3) থাকে। এই রিংটি সবরকম স্টেরয়েড হরমোনগুলির (যেমন টেস্টোটেরন, প্রজেস্টেরন, ইস্ট্রোজেন) গঠনকাঠামো তৈরী করে। রক্তের কোলেস্টেরল, গাছের বিভিন্ন প্রকারের বর্জ্য পদার্থ অর্থাৎ অ্যালকোলয়েড (Alkaloid) ও গ্লাইকোসাইডস (glycosides) প্রায় সবই এই ধর্মী যৌগ। টারপিন ও স্টেরয়েড ননসেপোনিফায়াবল লিপিড অর্থাৎ ক্ষারের উপস্থিতিতে সাবান তৈরী করে না।



চিত্র 3 : কোলেস্টেরল

উদ্ভিদের প্রতিটি সজীব কোষের প্লাসটিডে প্রচুর পরিমাণে ক্যারোটিনয়েড (Carotenoids) পাওয়া যায়। ক্যারোটিন (Carotene) ও জ্যান্থফিল (Xanthophyll) উদ্ভিদের সালোকসংশ্লেষে ক্লোরোফিলের পাশাপাশি পরোক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে। বিভিন্নরকম ফলে, টমাটোতে, গাজরে অনেক রকম (যথা α, β, γ, δ carotene) ক্যারোটিন পাওয়া যায়।

উদ্ভিদজাত রবার (যেমন ***Hevea brasiliensis*** গাছ থেকে পাওয়া যায়), চিক্‌ল (***Achras sapota*** গাছ থেকে পাওয়া যায়; এর থেকে Chewing gum তৈরী হয়) সবই এই আইসোপ্রিন যৌগ সমন্বিত পরিবর্তিত ফ্যাট।

লাইপোপ্রোটিন (Lipoprotein) ও প্লাজমোজেন (Plasmogen)

লিপিডের সাথে একটি প্রোটিন অণু যুক্ত হয়ে যৌগ গঠন করলে তাকে লাইপোপ্রোটিন বলা হয়। লাইপোপ্রোটিনের লিপিড অংশটি ট্রাইগ্লিসারাইড, ফসফোলিপিড, কোলেস্টেরল (বা এর এস্টার) নিয়ে গঠিত। প্রোটিন অংশের ননপোলার অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি লিপিড অংশটিকে ধরে রাখে। নিউক্লিয়াস, এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম, মাইটোক্রনড্রিয়া, ক্লোরোপ্লাস্টের পদার্থ ও ব্যাকটিরিয়ার কোষপর্দায় প্রচুর লাইপোপ্রোটিন পাওয়া যায়।

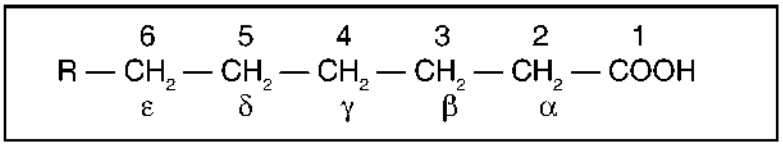
প্লাসমোজেন একটি বিশেষধর্মী লিপিড (ফ্যাটি অ্যাসিড, গ্লিসারল, ফস্‌ফেট, নাইট্রোজেন বেস ও একটি অ্যালডিহাইড নিয়ে গঠিত যৌগ) ব্রেন ও পেশীতে পাওয়া যায়।

এছাড়াও কোবালেমিন নামে লিপিড থাকে মাইটোক্রনড়িয়ার মেমব্রেন বা পর্দায়। সালফোলিপিড ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েড মেমব্রেনে পাওয়া যায়।

2.4 ফ্যাটি অম্ল - রাসায়নিক প্রকৃতি ও গঠন

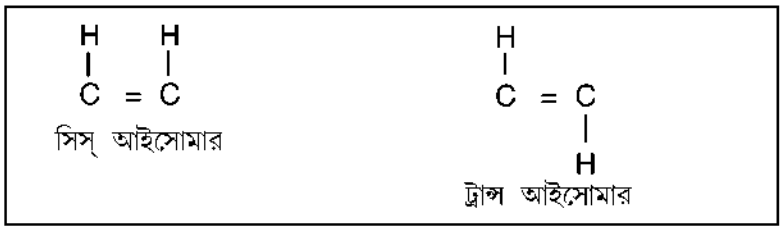
ফ্যাটি অম্লগুলি মূলত হাইড্রোকার্বনের দীর্ঘ শৃঙ্খল (4-30টি কার্বন পরমাণু সম্পন্ন) যাতে একটি কার্বক্সিল মূলক (–COOH) ও একটি দীর্ঘ হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খল থাকে। ফ্যাটি অম্লের নামকরণ ও শ্রেণিবিভাগ জেনোভিয়ান (Genevean system) পদ্ধতিতে করা হয়। এই পদ্ধতির মূল বৈশিষ্ট্যগুলি হল—

1. যে ফ্যাটি অম্লগুলিতে শুধু একক বন্ধনী (Single bond) থাকে তাদের সংপৃক্ত ফ্যাটি অম্ল (Saturated fatty acid) বলে এবং যে অম্লে এক বা একাধিক দ্বিবন্ধনী থাকে তাদের অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্ল (Unsaturated fatty acid) বলে।
2. ফ্যাটি অম্লের কার্বনগুলিকে সংখ্যা বা গ্রিক অক্ষর দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। অম্লের প্রান্তভাগে কার্বক্সিল মূলকের কার্বনকে C_1 এবং তার পরবর্তী কার্বন পরমাণুগুলিকে যথাক্রমে C_2, C_3 রূপে চিহ্নিত করা হয়। অপরদিকে কার্বক্সিলমূলকের পরবর্তী কার্বনটিকে α(2C কার্বন) এবং তার পরবর্তী কার্বনগুলিকে যথাক্রমে β, γ, δ, ও ε রূপে চিহ্নিত করা হয়। হাইড্রোকার্বন শৃঙ্খলের দৈর্ঘ্য যাই হোক না কেন, কার্বক্সিল মূলক থেকে সর্বাধিক দূরত্বের কার্বনকে w দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।
3. IUPAC-এর (International Union of Pure and Applied Chemistry) নিয়মানুসারে যে হাইড্রোকার্বন থেকে ফ্যাটি অম্লের সৃষ্টি হয় তার নামের সর্বশেষ (suffix) 'e'টি অপসারিত করে—'oic'কে সাফিক্সরূপে বসানো হয়। যেমন হেক্সেন (Hexane) থেকে উৎপন্ন ফ্যাটি অম্লটির নাম হেক্সানয়িক (Hexanoic) অম্ল।



চিত্র 4 : ফ্যাটি অম্লের কার্বনের চিহ্নিতকরণের পদ্ধতি

4. ফ্যাটি অম্লের নামকরণ কার্বন সংখ্যার ভিত্তিতে করা হয় এবং এই সংখ্যাগত নামকরণের পর অম্লটিতে কটি দ্বিবন্ধনী আছে তাও সংখ্যায় উল্লেখ করা হয়। যেমন হেক্সাডেকানয়িক অম্লকে 16:0 দ্বারা চিহ্নিত করা হয় অর্থাৎ এই অম্লে 16টি কার্বন আছে এবং কোন দ্বিবন্ধনী নেই।
5. অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লকে সিস্ (Cis) ও ট্রান্স (Trans) রূপে চিহ্নিত করা হয়। যেমন সিস্ Δ^9 অক্টাডেসিনয়িক অম্ল। এইক্ষেত্রে প্রথমে লক্ষ্য করুন যে দ্বিবন্ধনীযুক্ত অম্লের ক্ষেত্রে যদি একটি দ্বিবন্ধনী থাকে তাহলে সাফিক্স—enoic (এনোয়িক) এবং দু'টি দ্বিবন্ধনীর ক্ষেত্রে—dienoic (ডাইয়োনিক) এবং তিনটি দ্বিবন্ধনী থাকলে trienoic (ট্রাইয়োনিক) সাফিক্স ব্যবহার করা হয়। সুতরাং অক্টাডেসিনয়িক অম্লটিতে একটি মাত্র দ্বিবন্ধনী আছে। Δ^9 সংকেতের মাধ্যমে আমরা বুঝতে পারি যে অম্লের ডানদিক থেকে নবম এবং দশম কার্বনের মধ্যে দ্বিবন্ধনীটি উপস্থিত। আবার যে দু'টি কার্বন দ্বি-বন্ধনীযুক্ত হয় সেই কার্বন দুটির সঙ্গে যুক্ত হাইড্রোজেন পরমাণু দুটি যদি একই দিকে থাকে তাহলে 'সিস' এবং বিপরীত দিকে থাকলে 'ট্রান্স' প্রিফিক্স (Prefix) ব্যবহার করা হবে। 2c সারণি পাঠ করলেই এই বিষয়ে আপনারা বিস্তারিত ধারণা লাভ করবেন।



চিত্র 5 : ফ্যাটি অম্লের কার্বনের চিহ্নিতকরণের পদ্ধতি

2.5 অত্যাবশকীয় ফ্যাটি অম্ল (Essential Fatty Acids)

যে সকল ফ্যাটি অম্লগুলি আমাদের শরীরের জন্য আবশ্যক, কিন্তু আমরা তা প্রস্তুত করতে অক্ষম, তাদের অত্যাবশ্যকীয় ফ্যাটি অম্ল বলা হয়। এই অত্যাবশ্যকীয় ফ্যাটি অম্লগুলি আমাদের গ্রহণ করা অত্যন্ত জরুরী। এই জাতীয় ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি অসংপৃক্ত এবং পলিআনস্যাচুরেটেড হয়ে থাকে। দুটি অত্যবশ্যকীয় ফ্যাটি অম্ল হল আলফা-লিনোলেনিক অ্যাসিড বা ALA, একটি ওমেগা-3 (W-3) [18 : 3n-3] ফ্যাটি অম্ল এবং অপরটি লিনোলেয়িক অ্যাসিড বা LA, একটি ওমেগা-6 (W-6) [18 : 2n-6] ফ্যাটি অম্ল। একটি ডিমের মধ্যে 340 মিলিগ্রাম আলফা-লিনোলেনিক অম্ল পাওয়া যায়। এছাড়া সামুদ্রিক মাছ এবং উদ্ভিদ-জাত তেল ও বাদামে অত্যাবশ্যকীয় ফ্যাটি অম্ল পাওয়া যায়।

সারণি 2.A : শাখাবিহীন সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড

ক্রমিক সংখ্যা (Serial No.)	ট্রিভিয়াল নাম (Trivial Name)	IUPAC নির্বাচিত নাম (Systematic Name)	কার্বন সংখ্যা (Number of Carbon atom)	শৃঙ্খলদ্বিবন্ধের সংখ্যা (Number of double bond)	সংকেত (Formula)	গলনাঙ্ক (Melting point) °C
1.	অ্যাসিটিক অ্যাসিড (Acetic acid) [জলীয় দ্রবণ প্রতিদিনের ব্যবহৃত ভিনিগার]	ইথানয়িক অ্যাসিড (ethanoic acid)	2	O	CH_3COOH	16.6
2.	বিউটাইরিক অ্যাসিড (Butyric acid)	বিউটানয়িক অ্যাসিড (Butanoic acid)	4	O	$CH_3CH_2CH_2COOH$	–7.9
3.	ক্যাপরোয়িক অ্যাসিড (Caproic acid)	হেক্সানয়িক অ্যাসিড (Hexanoic acid)	6	O	$CH_3(CH_2)_4COOH$	–3.4
4.	ক্যাপরাইলিক অ্যাসিড (Caprylic acid)	অক্টানোয়িক অ্যাসিড (Octanoic acid)	8	O	$CH_3(CH_2)_6COOH$	16.3
5.	ক্যাপরিক অ্যাসিড (Capric acid)	ডেকানয়িক অ্যাসিড (Decanoic acid)	10	O	$CH_3(CH_2)_8COOH$	32
6.	লরিক অ্যাসিড (Lauric acid)	ডোডেকানয়িক অ্যাসিড (Dodecanoic acid)	12	O	$CH_3(CH_2)_{10}COOH$	44
7.	মাইরিসটিক অ্যাসিড (Myristic acid)	টেট্রাডেকানয়িক অ্যাসিড (Tetradecanoic acid)	14	O	$CH_3(CH_2)_{12}COOH$	54
8.	পামিটিক অ্যাসিড (Palmitic acid)	হেক্সাডেকানয়িক অ্যাসিড (Hexadecanoic acid)	16	O	$CH_3(CH_2)_{14}COOH$	63
9.	স্টিয়ারিক অ্যাসিড (Stearic acid)	অকটাডেকানয়িক অ্যাসিড (Octadecanoic acid)	18	O	$CH_3(CH_2)_{16}COOH$	69.6
10.	অ্যারাকিডিক অ্যাসিড (Arachidic acid)	আইকোসানয়িক অ্যাসিড (Eicosanoic acid)	20	O	$CH_3(CH_2)_{18}COOH$	75

সারণি 2.B : শাখান্বিত ফ্যাটি অ্যাসিড; হাইড্রক্সি ফ্যাটি অ্যাসিড

ক্রমিক সংখ্যা (Serial No.)	ট্রিভিয়াল নাম (Trivial Name)	IUPAC নির্বাচিত নাম (Systematic Name)	কার্বন সংখ্যা (Number of Carbon atom)	শৃঙ্খলদ্বিবন্ধের সংখ্যা (No. of double bond)	সংকেত (Formula)	গলনাঙ্ক (Melting point) ^{o}C
11.	আইসোবিউটাইরিক অ্যাসিড (Isobutyric acid)	2-মিথাইল প্রোপায়নিক অ্যাসিড (2-methyl propionic acid)	4	O	CH_3CH_2COOH CH_3	47
12.	আইসোভ্যালেরিক অ্যাসিড (Isovaleric acid)	3-মিথাইল বিউটানোয়িক অ্যাসিড (3-methyl butanoic acid)	5	O	$CH_3CH_2\,CH_2.COOH$ CH_3	37·6
13.	অ্যান্টাইসোভ্যালেরিক অ্যাসিড (Antisovaleric acid)	2-মিথাইল বিউটানোয়িক অ্যাসিড (2-methyl butanoic acid)	5	O	$CH_3.CH_2.CH_2.COOH$ CH_3	
14.	রিসিনোলেয়িক অ্যাসিড (Ricinoleic acid) (রেড়ির তেলে পাওয়া যায়।)	12-হাইড্রক্সি-9 অক্টাডেসিনোয়িক অ্যাসিড (12-hydroxy-9-octadecenoic acid)	18	1	$CH_3(CH_2)_5CH(OH)CH_2CH=CH(CH_2)_7COOH$ OH	5
15.	মেভালনিক অ্যাসিড (Mevalonic acid)	3, 5-ড্রাইহাইড্রক্সি- 3 মিথাইল পেন্টানয়িক অ্যাসিড	6	O		
16.	ল্যাকটোবেসিলিক অ্যাসিড (Lactobacillic acid) ল্যাকটোবেসিলাস ব্যাকটেরিয়া থেকে পাওয়া যায়।	(3,5-dihydroxy-3methyl pentanoic acid)	19	O	$H_2C.CH_2.C(OH).CH_2.COOH$ CH_3 $CH_3(CH_2)_5CH-CH_2(CH_2)_9COOH$ (CH$_2$ bridge)	28

সারণি 2.C : অসংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড

ক্রমিক সংখ্যা (Serial No.)	ট্রিভিয়াল নাম (Trivial Name)	IUPAC নির্বাচিত নাম (Systematic Name)	কার্বনসংখ্যা (Number of Carbon atom)	শৃঙ্খলদ্বিবন্ধের সংখ্যা (No. of double bond)	সংকেত (Formula)	গলনাঙ্ক (Melting point) ^0C
		একটি দ্বিবন্ধযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড				
17.	মাইরিসটোলেয়িক অ্যাসিড (Myristoleic acid)	Cis Δ^9-টেট্রাডেসিনোয়িক অ্যাসিড (Cis Δ9 tetradecenoic acid)	14	1	$CH_3(CH_2)_3\,C\overset{H}{=}\overset{Cis}{C}\,(CH_2)_7COOH$ (H on the other C)	18·5
18.	ওলিক অ্যাসিড (Oleic acid)	Cis Δ^9-অকটাডেসিনোয়িক অ্যাসিড (Cis Δ9 Octadecenoic acid)	18	1	$CH_3(CH_2)_7\,C\overset{H}{=}\overset{Cis}{C}\,(CH_2)_7COOH$ (H on the other C) (চিত্র - 2)	13·4
19.	এলাইডিক অ্যাসিড (Elaidic acid)	trans Δ^9-অক্টাডেসিনোয়িক অ্যাসিড (trans Δ9 Octadecenoic acid)	18	1	$CH_3(CH_2)_7\,C\overset{trans}{=}C\,(CH_2)_7COOH$ (H on each C)	45
		দুটি দ্বিবন্ধযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড				
20.	লিনোলেয়িক অ্যাসিড (Linoleic acid)	Cis, Cis $\Delta^9\,\Delta^{12}$-অক্টাডেকা-ডায়িনোয়িক অ্যাসিড (Cis, Cis $\Delta^9\ \Delta^{12}$ Octadeca-dienoic acid)	18	2	$CH_3(CH_2)_4(CH{=}CH\,CH_2)_2(CH_2)_6\,COOH$	–5
		তিনটি দ্বিবন্ধযুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড				
21.	লিনোলিনিক অ্যাসিড (Linolenic acid)	Cis, Cis, Cis $\Delta^9\,\Delta^{12}\ \Delta^{15}$ অক্টাডেকাট্রায়িয়নোয়িক অ্যাসিড Cis, Cis, Cis, $\Delta^9\,\Delta^{12}\,\Delta^{15}$ Octadecatrienoie acid)	18	3	$CH_3CH_2(CH{=}CH.\,CH_2)_3(CH_2)_6\,COOH$	–11

অনুশীলনী

উপরের অংশগুলি ঠিকমত পড়লে আপনি নীচের প্রশ্নগুলির সঠিক উত্তর দিতে পারবেন।

1. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

[a] কার্বহাইড্রেট জলানুরাগী কিন্তু লিপিড _____।

[b] লিপিডের গঠনগত একক হল _____।

[c] ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল 1 অণু _____ ও 3 অণু _____ নিয়ে গঠিত যৌগ।

[d] ফসফোলিপিড ফ্যাটি অ্যাসিড _____, _____, অজৈব নাইট্রোজেন বা পলিহাইড্রক্সি মূলক নিয়ে গঠিত যৌগ।

2. বাঁদিকের অংশের সাথে **ডানদিকের** অংশ সঠিকভাবে মেলান ঃ

(a) বিউটাইরিক অ্যাসিড	(i) $CH_3(CH_2)_3COOH$
(b) ডেকানয়িক অ্যাসিড	(ii) —3·4°C
(c) ভেলেরিক অ্যাসিড	(iii) $CH_3CH_2CH_2COOH$
(d) ক্যাপরোয়িক অ্যাসিডের গলনাঙ্ক	(iv) $CH_3(CH_2)_8COOH$
(e) পামিটিক অ্যাসিডের গলনাঙ্ক	(v) 63°C

3. নিম্নলিখিত ফ্যাটি অ্যাসিডগুলির গঠন ও সংকেত লিখুন।

[1] পামিটোলেয়িক অ্যাসিড।

[2] 1-stearo—2,3—dipalmitin.

[3] 12-hydroxy 18:1 (9)

[4] 10—CH_3—18 : 0

[5] 20 : 4 (5, 8, 11, 14)

2.6 লিপিডের কাজ

1. লিপিড বা স্নেহপদার্থ উদ্ভিদ বা প্রাণীকোষের প্রধান সঞ্চিত খাদ্য। রেড়ি, বাদাম প্রভৃতি তৈলবীজে এবং প্রাণীদেহের মেদকলা স্নেহপদার্থের ভান্ডার।
2. লিপিড জারিত হলে সর্বাধিক পরিমাণে শক্তি নির্গত হয়। 1 গ্রাম লিপিড জারণের ফলে 9.3 কিলোক্যালরি তাপ সৃষ্টি হয়।
3. ফসফোলিপিড কোষপর্দার মুখ্য উপাদান।
4. স্নেহপদার্থ তাপের কুপরিবাহী। মেরু অঞ্চলের প্রাণীদের দেহে প্রচুর পরিমাণে স্নেহপদার্থ সঞ্চিত থাকে যা তাদের শৈত্যের হাত থেকে রক্ষা করে।
5. ফসফোলিপিড ফ্যাটি অম্লের শোষণ ও পরিবহণে সহায়তা করে।
6. ভিটামিন D, টেস্টোস্টেরন ও ইস্ট্রোজেনজাতীয় যৌন হর্মোন স্নেহজাত যৌগ।
7. ভিটামিন A, D, E, ও K স্নেহ পদার্থে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে।

8. বর্তমানে হাঙ্গরের রক্ত থেকে স্কুইল্যামিন (Squalamine) নামক একটি স্টেরয়েড পাওয়া গেছে যা অ্যান্টিবায়োটিক বা বীজাণুরূপে ব্যবহার করা যায়।
9. লেসিথিন জাতীয় যৌগ সক্রিয় পরিবহণে অংশগ্রহণ করে।

2.7 সারাংশ

কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের সমন্বয়ে গঠিত যে জৈব যৌগ জলে অদ্রবণীয় কিন্তু জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয় তাদের লিপিড বা স্নেহপদার্থ বলে। লিপিড সচরাচর বর্ণহীন হয় এবং এদের আপেক্ষিক গুরুত্ব জলের চেয়ে কম হয়। ফ্যাটি অম্ল ও গ্লিসারলের সমন্বয়ে লিপিড গঠিত হয়। যে ফ্যাটি অম্লগুলির কার্বন পরমাণুদের মধ্যে দ্বিবন্ধনী নেই তাদের সংপৃক্ত ও যাদের দ্বিবন্ধনী আছে তাদের অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্ল বলে। ফ্যাটি অম্ল শাখাযুক্ত বা চক্রাকারও হতে পারে।

দ্বিবন্ধের উপস্থিতির ও সংখ্যার উপর ফ্যাটি অ্যাসিডের গলনাঙ্ক নির্ভর করে। অপেক্ষাকৃত কম কার্বনসংখ্যাবিশিষ্ট ফ্যাটি অ্যাসিডগুলি (C_2–C_8) কোষে মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় বলে এদের **মুক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড** বা free fatty acid বলে। ফ্যাটি অ্যাসিড অন্য একটি রাসায়নিক যৌগের সাথে মিলিত হয়ে ফ্যাট বা লিপিড তৈরী করে। ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত রাসায়নিক যৌগের প্রকৃতি অনুযায়ী লিপিডকে কয়েকটি ভাগে ভাগ করা যায়। **যেমন সরল, জটিল** ও **পরিবর্তিত** ফ্যাট। ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে গ্লিসারল যুক্ত হয়ে যে লিপিড তৈরী করে তাকে বলা হয় অ্যাসাই গ্লিসারড বা নিউট্রাল ফ্যাট, ট্রাইগ্লিসারাইড, ডাইগ্লিসারাইড, মোনোগ্লিসারাইড এই গোত্রীয় লিপিড। ওয়াক্স বা মোমে ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে একটি লম্বাদৈর্ঘের অ্যালকোহল যুক্ত থাকে। ফসফোলিপিড, গ্লাইকোলিপিড, স্ফিংগোলিপিড হল জটিল লিপিড। ফসফোলিপিড কোষপর্দার গঠনগত একক, ফসফোলিপিডে গ্লিসারল, ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে অজৈব ফসফেট ও জৈব নাইট্রোজেন বা পলিহাইড্রক্সি মূলক যুক্ত থাকে। গ্লাইকোলিপিডে গ্লিসারল, ফ্যাটি অ্যাসিড ও কার্বহাইড্রেট যৌগ যুক্ত থাকে। স্ফিংগোলিপিডে গ্লিসারলের পরিবর্তে এক লম্বাদৈর্ঘের অ্যামিন যুক্ত থাকে। এছাড়াও আমরা বিভিন্নপ্রকার পরিবর্তিত ফ্যাট প্রকৃতিতে পেয়ে থাকি। যেমন, টারপিনয়েড যৌগ, স্টেরয়েড, ক্যারোটিনয়েড, রবার, লাইপোপ্রোটিন, প্লাজমোজেন ইত্যাদি। টারপিনয়েড, স্টেরয়েড, ক্যারোটিনয়েড ও রবার একটি বিশেষ 5 কার্বনবিশিষ্ট যৌগ নিয়ে গঠিত হয় যাকে 'আইসোপ্রিন' নামে অভিহিত করা হয়। লাইপোপ্রোটিনে লিপিডের সাথে একটি প্রোটিন অণু যুক্ত থাকে। প্লাসমোজেনে ফ্যাটি অ্যাসিড গ্লিসারল, ফসফেট ও নাইট্রোজেন ছাড়াও একটি অ্যালডিহাইড যুক্ত থাকে।

2.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) স্নেহ পদার্থের ভৌত ও রাসায়নিক বৈশিষ্ট্যগুলি উল্লেখ করুন।

(b) সম্পৃক্ত ও অসম্পৃক্ত ফ্যাটি অম্লগুলিকে কিভাবে IUPAC অনুসারে নামকরণ করা হয়।

(c) লিপিডের শ্রেণিবিন্যাস করুন ও প্রতিটি শ্রেণির লিপিডের বৈশিষ্ট্য ও উদাহরণ লিখুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

(a) আদর্শ সরল লিপিডের উদাহরণ হল _____।

(b) _____ যৌগ সক্রিয় পরিবহণে সহায়তা করে।

(c) _____ অম্ল থেকে আইসোপ্রিন যৌগটি উৎপন্ন হয়।

3. ডান স্তম্ভের সাথে বাম স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন।

(a) একটি দ্বিবন্ধনীযুক্ত ফ্যাটি অম্লের ক্ষেত্রে সাফিক্স (suffix) হল।	(i) অ্যামাইল CoA জারণের সময়।
(b) কার্বন পরমাণু একই দিকে H পরমাণু থাকলে তাকে বলা হয়	(ii) সিস্ আইসোমার।
(c) সেরিব্রোমাইড হল একটি	(iii) এনোয়িক।
(d) কোষপর্দার গঠনগত একক হল	(iv) ফসফোলিপিড
(e) FAD ব্যবহৃত হয়।	(v) কার্বোহাইড্রেটযুক্ত সরলতম গ্লাইকোলিপিড।

2.9 উত্তরমালা

অনুশীলনী

1. [a] জলবিরাগী (Hydrophobic)

[b] ফ্যাটি অ্যাসিড

[c] ফ্যাটি অ্যাসিড, গ্লিসারল।

[d] গ্লিসারল ও অজৈব ফসফেট।

2. [a] (iii)

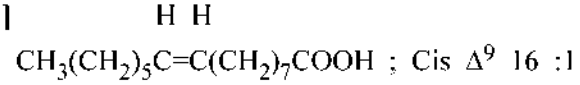
[b] (iv)

[c] (i)

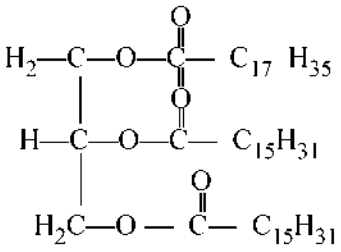
[d] (ii)

[e] (v)

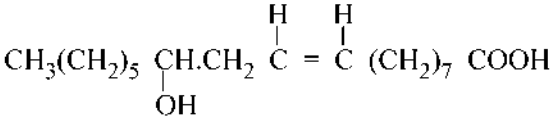
3. [1]



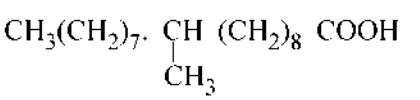
[2]



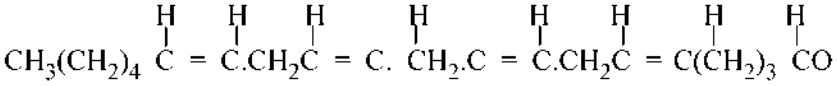
[3]



[4]



[5]



সর্বশেষ প্রশ্নাবলী—2

1. (a) 2.2 দ্রষ্টব্য।

(b) 2.4 দ্রষ্টব্য।

(c) 2.3 অনুচ্ছেদে দেখুন।

2. (a) ট্রাইগ্লিসারাইড।

(b) লেসিথিন।

(c) মেভালনিক অম্ল।

3.

(a) — (iii)

(b) — (ii)

(c) — (v)

(d) — (iv)

(e) — (i)

একক 3 ❑ ট্রাসগ্লিসারল গঠন, কার্য ও বৈশিষ্ট্য, ফসফোগ্লিসারাইডস্

গঠন

3.0 উদ্দেশ্য
3.1 প্রস্তাবনা
3.2 ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল বা ট্রাইগ্লিসারাইডের গঠন
3.3 ট্রাইগ্লিসারাইডের কার্য
3.4 ট্রাইগ্লিসারাইডের বৈশিষ্ট্য
3.5 ফসফোগ্লিসারাইড
3.6 ফসফোলিপিডের কার্য
3.7 সারাংশ
3.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
3.9 উত্তরমালা

3.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল বা ট্রাইগ্লিসারাইড-এর গঠন জানতে পারবেন।
- ট্রাইগ্লিসারাইড-এর ধর্ম এবং কার্যকারিতা সম্পর্কে ধারণা লাভ করবেন।
- ফসফোগ্লিসারাইড সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

3.1 প্রস্তাবনা

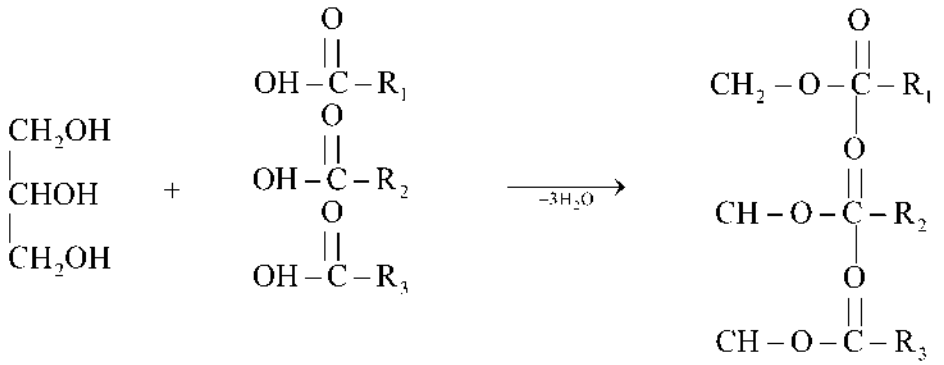
লিপিড বা স্নেহপদার্থ কার্বন (C), হাইড্রোজেন (H) এবং অক্সিজেন (O)-এর সমন্বয়ে গঠিত এবং এক্ষেত্রে অক্সিজেনের সংখ্যা সর্বদাই হাইড্রোজেন অপেক্ষা কম। জলে অদ্রবণীয় এবং একাধিক যৌগে দ্রবীভূত এরূপ পদার্থকেই আমরা লিপিড বলে থাকি। একক 2-এ আপনারা জেনেছেন যে লিপিড প্রধানত স্নেহদ্রব্য (fats) এবং তেল (oils) রূপে প্রকৃতিতে পাওয়া যায়। জৈব অ্যাসিডের কার্বক্সিল (COOH) মূলকে অবস্থিত হাইড্রোজেন পরমাণু অ্যালকাইল মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ গঠন করে, তাকে আমরা বলি এস্টার। স্নেহদ্রব্য বা লিপিড এইরকম ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসারল বা অ্যালকোহল দ্বারা গঠিত একপ্রকার এস্টার।

3.2 ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল বা ট্রাইগ্লিসারাইডের গঠন

সাধারণ হাইড্রোকার্বনে বিদ্যমান এক বা একাধিক কার্বনের সঙ্গে যুক্ত হাইড্রোজেন পরমাণুকে হাইড্রক্সিল মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপন করলে যে যৌগ পাওয়া যায়, তাকে অ্যালকোহল বলে। হাইড্রক্সি মূলকের সংখ্যা অনুযায়ী অ্যালকোহলের নামকরণ করা হয়ে থাকে। একটি –OH মূলক অ্যালকোহলকে মনোহাইড্রিক, দুটি –OH মূলক যুক্ত অ্যালকোহলকে ডাইহাইড্রিক এবং তিনটি –OH মূলক যুক্ত অ্যালকোহলকে ট্রাইহাইড্রিক অ্যালকোহল বলা হয়।

C_2H_5OH	CH_2OH | CH_2OH	CH_2OH | $CHOH$ | CH_2OH
মনোহাইড্রিক অ্যালকোহল (যথা—ইথাইল অ্যালকোহল)	ডাইহাইড্রিক অ্যালকোহল (যথা—গ্লাইকল)	টাইহাইড্রিক অ্যালকোহল (যথা—গ্লিসারল)

প্রকৃতিতে সবচেয়ে পরিচিত সরল লিপিডটি হল ট্রাইঅ্যাসাইল গ্লিসারল বা ট্রাইগ্লিসারাইড। একটি গ্লিসারল বা ট্রাইহাইড্রিক অ্যালকোহল (যাতে তিনটি হাইড্রক্সিল মূলক থাকে) যখন তিনটি পৃথক ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয় এবং এস্টার গঠন করে, তখন সেটিকে ট্রাইগ্লিসারাইড বলা হয়।



গ্লিসারল তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড ট্রাইগ্লিসারাইড বা ট্রাইঅ্যাসাইল অ্যালকোহল

(এখানে R_1, R_2 এবং R_3 একই হতে পারে বা ভিন্নও হতে পারে)

এখানে জেনে রাখা ভাল যে একটি গ্লিসারল যদি একটি ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয় তাকে মোনোগ্লিসারাইড বলে এবং অনুরূপভাবে একটি গ্লিসারল যদি দুইটি ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়, তাকে ডাইগ্লিসারাইড বলা হয়ে থাকে।

মোনোগ্লিসারাইড ডাইগ্লিসারাইড

3.3 ট্রাইগ্লিসারাইডের কার্য

সবরকম লিপিডের মধ্যে অন্যতম লিপিডটি হল ট্রাইগ্লিসারাইড। আমরা যত ফ্যাট বা লিপিড খাদ্য হিসাবে গ্রহণ করে থাকি তার ৯৪%ই হল এই ট্রাইগ্লিসারাইড এবং এর অধিকাংশই প্রাণী বা উদ্ভিদে সঞ্চিত হয়। প্রাণীদেহে ফ্যাট কোষ বা অ্যাডিপোসাইটের সাইটোপ্লাজমে এই ট্রাইগ্লিসারাইড প্রচুর পরিমাণে সঞ্চিত হয় এবং প্রয়োজনে শক্তির জোগান দিয়ে থাকে। শুধু যে সঞ্চিত থাকে তাই নয়, প্রয়োজনের সময় এরা সঞ্চিত কার্বোহাইড্রেট অপেক্ষা প্রায় দ্বিগুণ পরিমাণ শক্তি উৎপাদনে সক্ষম হয়ে থাকে। মেরুপ্রদেশে থাকা জীবজন্তু যেমন তিমি, সীল, সিন্ধুঘোটক বা পেঙ্গুইনের দেহে প্রচুর পরিমাণে এই ট্রাইগ্লিসারাইড সঞ্চিত থাকে। এই ট্রাইগ্লিসারাইড এই প্রাণীগুলিকে শুধু যে শক্তি সরবরাহ করে তাইই নয়, এরা তাপ-নিরোধক (insulator) হিসাবে এই অতিরিক্ত কম তাপমাত্রায় তাদের রক্ষা করে থাকে, একজন 70 কেজি পূর্ণবয়স্ক মানুষের দেহে তার দেহের শতকরা 10 থেকে 20 শতাংশ ওজনই লিপিডের, এর অধিকাংশটাই ট্রাইগ্লিসারাইডের। মানবদেহের অ্যাডিপোজ কোষের সাইটোপ্লাজমে 90% ট্রাইগ্লিসারাইড থাকে, যারা প্রয়োজনে আমাদের শক্তি সরবরাহ করে থাকে। খাদ্য হিসাবে আমরা কার্বোহাইড্রেট, প্রোটিন বা ফ্যাট জাতীয় খাবার গ্রহণ করে থাকি। কিন্তু আমরা প্রয়োজনের অতিরিক্ত ক্যালোরি গ্রহণ করে থাকলে সেটি এই ট্রাইগ্লিসারাইড রূপে অ্যাডিপোজ কোষে জমা থাকে। কাজেই বোঝা যাচ্ছে ট্রাইগ্লিসারাইড ছাড়া আমাদের শক্তি জোগানো অসম্ভব।

3.4 ট্রাইগ্লিসারাইডের বৈশিষ্ট্য

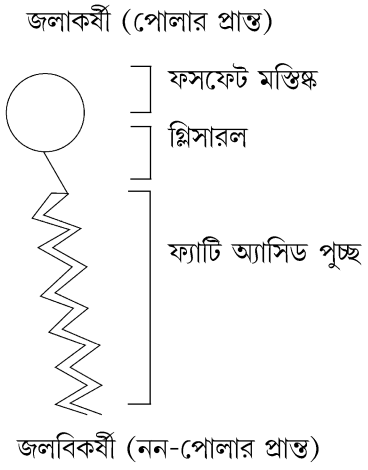
ট্রাইগ্লিসারাইড তিনটি ফ্যাটি অ্যাসিড দিয়ে গঠিত। এদের গঠন অনেকটা কোষপর্দার ফসফোলিপিডের মতন হলেও ট্রাইগ্লিসারাইড সম্পূর্ণরূপে হাইড্রোফোবিক অর্থাৎ জল-বিকর্ষী হওয়ায় তারা কখনই কোষ-পর্দায় প্রবেশ করতে পারে না এবং যেহেতু জলে দ্রবীভূত হতে পারে না, তাই এরা বিশেষ প্রোটিন যাকে লাইপোপ্রোটিন বলা হয় তার সাথে যুক্ত হয়ে সরাসরি রক্তের মধ্যে বাহিত হয়।

প্রাণীজাত ট্রাইগ্লিসারইডে বেশিরভাগ ফ্যাটি অ্যাসিডই সংপৃক্ত, কিন্তু উদ্ভিজাত ট্রাইগ্লিসারাইডে অধিকাংশ ফ্যাটি অ্যাসিডই অসংপৃক্ত। এই কারণেই প্রাণীজাত ফ্যাট সাধারণ তাপমাত্রায় কঠিন অবস্থায় এবং উদ্ভিদজাত ফ্যাট (তেল) সাধারণ তাপমাত্রায় তরল অবস্থায় পাওয়া যায়। কারণ আমরা পূর্বেই জেনেছি যে গলনাঙ্ক (melting point), একটি হাইড্রোকার্বন চেনে যত বেশি কার্বন থাকে তার সাথে বৃদ্ধি পায় এবং সংপৃক্ত ফ্যাটি অ্যাসিড যত বেশি থাকে তত বৃদ্ধি পেয়ে থাকে।

3.5 ফসফোগ্লিসারাইড

ফসফোগ্লিসারাইড বা ফসফোলিপিড বা ফসফাটাইডস্ বা গ্লিসারোফসফোলিপিড হল একধরনের জটিল (complex) লিপিড। এরা হল কোষপর্দার গঠনগত একক। একটি সজীব কোষে প্রোটোপ্লাজমকে আবৃত করে যে অতি সূক্ষ্ম অভেদক ভেদ্য পর্দা (Selectively permeable membrane) থাকে তাকেই কোষপর্দা বলা হয়। সিঙ্গার ও নিকলসন (1972)-এর মতে এই কোষপর্দার দ্বিস্তরী ফসফোলিপিড স্তরটি অর্ধতরল ও অবিচ্ছিন্ন। এই লিপিড স্তরের মধ্যে গ্লোবিউলার প্রোটিনগুলি নিমজ্জিত বা ভাসমান থাকে এবং প্রোটিন অণুগুলি যে শুধুমাত্র ভাসমান তাই

নয়, কোষপর্দার ফসফোলিপিড অণুগুলির মধ্যেও পার্শ্বীয় চলন লক্ষ্য করা যায়। এই কোষপর্দার সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ লিপিড হল ফসফোলিপিড এবং এর নাম থেকে আমরা এর রাসায়নিক গঠন সম্বন্ধে একটা ধারণা করতে পারি। সাধারণভাবে বলতে গেলে এই ফসফোলিপিড তৈরি হয় একটি ফসফেট মস্তিষ্ক (head) এবং দুটি ফ্যাটি অ্যাসিড পুচ্ছ বা লেজ (tail) দিয়ে।



চিত্র 1 : একটি ফসফোলিপিড অণুর গঠন

কোষপর্দায় ফসফোলিপিড দ্বিস্তরী গঠন হিসাবে অবস্থান করে। প্রতিটি স্তরে লিপিড অণু দুইটি অংশ দ্বারা গঠিত হয়। (i) মস্তিষ্ক বা head, যা জলাকর্ষী (hydrophilic) এবং পোলার প্রকৃতির এবং (ii) দুইটি পুচ্ছ বা tail যা জলবিকর্ষী (hydropholbic)। এইরকম দুধর্মী পদার্থ একই যৌগে বর্তমান থাকায় ফসফোলিপিডকে অ্যাম্ফিপ্যাথিক (amphipathic) যৌগ বলা হয়। কোষপর্দার দ্বিস্তরী লিপিডর উভয়পার্শ্বে মস্তিষ্ক অবস্থান করে, আর লেজগুলি উলম্বভাবে একে অপরের অভিমুকে মাঝবরাবর উপস্থিত থাকে। দ্বিস্তরী এই ফসফোলিপিড স্তরে অপ্রতিসাম্যতা লক্ষ্য করা যায়।

এই দ্বিস্তরী ফসফোলিপিড কোষপর্দার অভ্যন্তরে ঘনসন্নিবিষ্ট ভাবে প্রোথিত থাকে। কোষপর্দার 20% ফসফোলিপিড অ্যাসিডিক প্রকৃতির হয় এবং এগুলি ঋণাত্মক চার্জযুক্ত হওয়ায় লিপিড-প্রোটিন আন্তঃক্রিয়ার দ্বারা প্রোটিনের সঙ্গে সংযুক্ত থাকে। অন্যান্য ফসফোলিপিডগুলির মধ্যে ইনোসিটল খুব অল্প পরিমাণে কোষপর্দায় পাওয়া যায়। এই ইনোসিটল কোষীয় সিগন্যালিং (cell signaling) প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

ভিন্ন ভিন্ন প্রকারের মূলকের উপস্থিতির উপর ভিত্তি করে ফসফোলিপিডকে বিভিন্ন প্রকারে ভাগ করা যায়। যেমন—

(a) ফসফোটাইডিল কোলিন, সাধারণ নাম লেসিথিন,

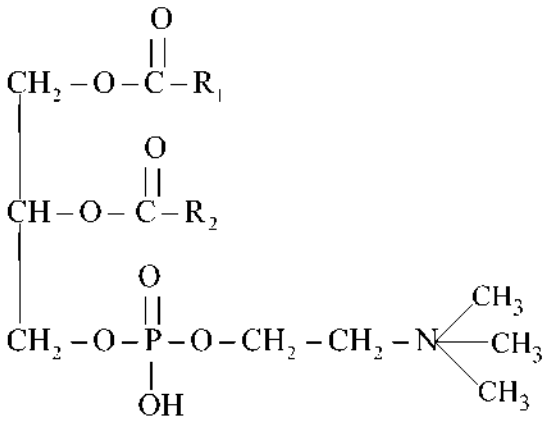
(b) ফসফোটাইডিল ইথানোলেমিন, সাধারণ নাম সেফালিন,

(c) ফসফোটাইডিল ইনোসিটল,

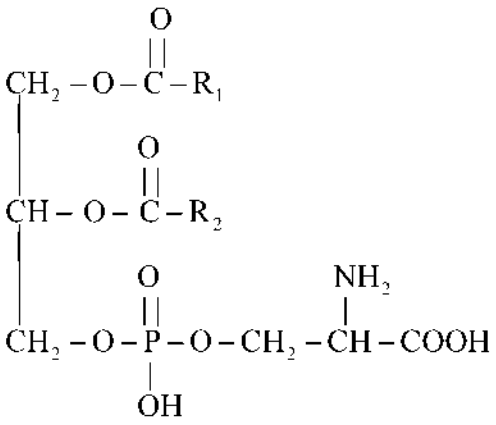
(d) ফসফোটাইডিল গ্লিসারল,

(e) ফসফোটাইডিল সেরিন

এই সকল ফসফোলিপিডরাই যে বিষয়ে একইরকম তা হল, এদের সকলেরই গ্লিসারলের প্রথম ও দ্বিতীয় কার্বনের সঙ্গে এস্টার গঠন করে এবং তৃতীয় কার্বনের সঙ্গে ফসফেট যুক্ত থাকে।



চিত্র 2 : লেসিথিন (ফসফোটাইডিল কোলিন)



চিত্র 2 : সেফালিন (ফসফোটিল সেরিন)

3.6 ফসফোলিপিডের কার্য

1. প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় ফসফোলিপিড কোষপর্দার ভেদ্যতা নিরূপণ করে।
2. মাইটোকন্ড্রিয়ায় অবস্থিত ফসফোলিপিড ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রের বাহকগুলির মধ্যে ইলেকট্রন পরিবহন করতে সাহায্য করে এবং শ্বসনে সাহায্য করে।
3. অন্ত্রে (intestine) ফ্যাট শোষণে সাহায্য করে।
4. ফসফোলিপিড বিভিন্ন ধরনের লাইপোপ্রোটিন সংশ্লেষে সাহায্য করে এবং লিপিড পরিবহনে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।
5. এরা লিভারে ফ্যাট না জমতে সাহায্য করে (lipotropic factor)
6. সেফালিন ফসফোলিপিডটি থ্রম্বোপ্লাসটিন প্রস্তুত করে, যেটি আমাদের রক্ত তঞ্চনে (clotting)-এ একান্ত জরুরী।
7. মাইলিন সীদে অবস্থিত ফসফোলিপিড নার্ভ তন্তুগুলিকে অন্তরিত (insulation) করে থাকে।
8. ডাইপলমিটোইল লেসিথিন, সার্ফেকট্যান্ট (surfactant) রূপে কাজ করে।
9. লেসিথিন ফ্যাটকে ভেঙে ছোট ছোট মাইসিলি (micelle) তে রূপান্তরিত করে।
10. ইনোসিটল, একধরনের ফসফোলিপিড যা কোষীয় সিগন্যালিং (cell signaling) প্রক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

3.7 সারাংশ

কার্বন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেনের সমন্বয়ে গঠিত যে জৈব যৌগ জলে অদ্রবণীয় কিন্তু জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয় তাদের লিপিড বলা হয়। ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে গ্লিসারল যুক্ত হয়ে যে লিপিড তৈরি হয়, তা সরল লিপিড এবং এটিকে বলা হয় ট্রাইগ্লিসারাইড। এই ট্রাইগ্লিসারাইড ফ্যাট কোষ বা অ্যাডিপোসাইটের সাইটোপ্লাজমে প্রচুর পরিমাণে সঞ্চিত হয় এবং প্রয়োজনীয় শক্তি সরবরাহ করে থাকে। অপরপক্ষে ফসফোলিপিড একধরনের জটিল লিপিড ও এরা হল কোষপর্দার গঠনগত একক। ট্রাইগ্লিসারাইডের মতো এরা কোষে সঞ্চিত হয় না। সজীব কোষের প্রোটোপ্লাজমকে আবৃত করে যে কোষপর্দা বা প্লাজমামেমব্রেন থাকে যেটি দ্বিস্তরবিশিষ্ট এবং অবিচ্ছিন্ন ফসফোলিপিড দ্বারা নির্মিত। ফ্যাটি অ্যাসিড ও গ্লিসারলের সাথে অজৈব ফসফেট, জৈব নাইট্রোজেন বেস বা পলিহাইড্রক্সি মূলকের সমন্বয়ে একটি ফসফোলিপিড গঠিত হয়। কোষপর্দায় ফসফোলিপিড দ্বিস্তরী গঠন হিসাবে অবস্থান করে। প্রতিটি স্তরে লিপিড অণুগুলি অ্যাম্ফিপ্যাথিক প্রকৃতির এবং দুটি অংশ দ্বারা গঠিত। প্রথমটি মস্তিষ্ক (head) যা জলাকর্ষী এবং পোলার প্রকৃতির এবং দ্বিতীয়টি লেড (tail) যা জলবিকর্ষী। কোষপর্দা অর্ধতরল (semifluid) পদার্থের হওয়ায় লিপিড ও পর্দামধ্যস্থ প্রোটিন সহজেই পর্দার মধ্যে চলাচল করতে সক্ষম হয়।

3.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :**

   (a) ট্রাইগ্লিসারাইডের গঠন বর্ণনা করুন।

   (b) ট্রাইগ্লিসারাইডের কার্য সংক্ষেপে বলুন।

   (c) একটি ফসফোলিপিড অণুর গঠন বর্ণনা করুন।

   (d) দুইটি পরিচিত ফসফোলিপিডের নাম বলুন ও তাদের গঠন লিখুন।

   (e) ফসফোলিপিডের কার্যকারিতা বর্ণনা করুন।

   (f) ফসফোলিপিডকে অ্যাম্ফিপ্যাথিক বলার কারণ কি?

2. **শূন্যস্থান পূরণ করুন :**

   (a) জৈব অ্যাসিডের কার্বক্সিল মূলকে অবস্থিত হাইড্রোজেন, অ্যালকাইল মূলক দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়ে যে যৌগ গঠন করে, তাকে _____ বলে।

   (b) তিনটি মূলক যুক্ত অ্যালকোহলকে _____ অ্যালকোহল বলা হয়।

   (c) একটি গ্লিসারল যদি একটিমাত্র ফ্যাটি অ্যাসিডের সাথে যুক্ত হয়, তাকে _____ বলে।

   (d) প্রাণীদেহে অ্যাডিপোসাইটের _____ ট্রাইগ্লিসারাইড সঞ্চিত হয়।

   (e) প্রাণীজাত ট্রাইগ্লিসারাইডে অধিকাংশ ফ্যাটি অ্যাসিডই _____।

   (f) উদ্ভিদজাত ট্রাইগ্লিসারাইডে বেশিরভাগ ফ্যাটি অ্যাসিডই _____।

   (g) প্রাণীজাত ফ্যাট সাধারণ অবস্থায় _____ ও উদ্ভিদজাত ফ্যাট সাধারণ অবস্থায় _____ রূপে পাওয়া যায়।

   (h) ফসফোলিপিড হল _____ গঠনগত একক।

   (i) ফসফোলিপিড তৈরি হয় একটি _____ মস্তিষ্ক এবং দুটি _____ পুচ্ছ দিয়ে।

   (j) একধরনের ফসফোলিপিড _____ কোষীয় সিগন্যালিংয়ে সাহায্য করে।

3. **ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন।**

(a)	থ্রম্বোপ্লাসটিন তৈরি করে	(i)	লেসিথিন
(b)	ফসফোলিপিডের গঠন	(ii)	মোনোহাইড্রিক
(c)	ট্রাইগ্লিসারাইড	(iii)	সেফালিন
(d)	ফসফোটাইডিল কোলিন	(iv)	জল-বিকর্ষী
(e)	একটি OH মূলক অ্যালকোহল	(v)	একটি মস্তিষ্ক ও দুটি লেজবিশিষ্ট

3.9 উত্তরমালা

1. (a) 3.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 3.3 দ্রষ্টব্য

   (c) 3.5 অংশে চিত্র 1 দেখুন

   (d) 3.5 অংশে চিত্র 2 এবং 3 দেখুন

   (e) 3.6 দ্রষ্টব্য

   (f) 3.5 দ্রষ্টব্য

2. (a) এস্টার

   (b) ট্রাইহাইড্রিক

   (c) মোনোগ্লিসারাইড

   (d) সাইটোপ্লাজম

   (e) সংপৃক্ত

   (f) অসংপৃক্ত

   (g) কঠিন, তরল

   (h) কোষপর্দার

   (i) ফসফেট, ফ্যাটি অ্যাসিড

   (j) ইনোসিটল

3. (a) — (iii)

   (b) — (v)

   (c) — (iv)

   (d) — (i)

   (e) — (ii)

একক 4 ❑ প্রোটিন

গঠন

4.0 উদ্দেশ্য

4.1 প্রস্তাবনা

4.2 অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন

4.3 প্রোটিনের গঠন

4.3.1 প্রাথমিক গঠন

4.3.2 গৌণ গঠন

4.3.3 প্রগৌণ গঠন

4.3.4 উপ-প্রগৌণ গঠন

4.4 সারাংশ

4.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

4.6 উত্তরমালা

4.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- প্রোটিনের গঠনগত একক অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন জানতে পারবেন।
- প্রোটিন অণুর চারধরনের গঠন সম্বন্ধে বিস্তারিত ভাবে জানবেন।

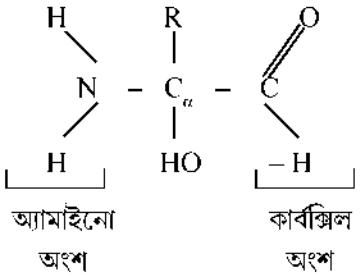
4.1 প্রস্তাবনা

উদ্ভিদ বা প্রাণীদেহে যতরকম জৈব যৌগ পাওয়া যায়, প্রোটিন তার মধ্যে অন্যতম। প্রোটিন কার্বন (C), হাইড্রোজেন (H), অক্সিজেন (O) এবং নাইট্রোজেন (N)-এর একপ্রকার জটিল যৌগ। এই কয়টি উপাদান ছাড়াও প্রোটিনে সালফার (S), ফসফরাস (P) প্রভৃতি উপাদান মিশ্রিত থাকতে পারে। প্রোটিনের আণবিক ওজন অত্যন্ত বেশি। প্রোটিনের গঠনমূলক একক হল অ্যামাইনো অ্যাসিড। ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি শৃঙ্খলিত হয়ে এই বৃহৎ প্রোটিন অণু গঠন করে। এই বৃহৎ প্রোটিন অণুকে অম্ল-আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলো আবার পৃথক হয়ে যায়। পরপর দুই বা ততোধিক অ্যামাইনো অ্যাসিড পেপটাইড বন্ধনী (peptide linkage) দ্বারা যুক্ত হয়ে একটি প্রোটিন অণু গঠন করে। প্রোটিন অণুতে চার ধরনের গঠন লক্ষ্য করা যায় — এগুলি হল, প্রাথমিক, গৌণ, প্রগৌণ এবং উপ-প্রগৌণ।

4.2 অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন

অ্যামাইনো অ্যাসিড হল প্রোটিনের গঠনমূলক একক। ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি শৃঙ্খলিত হয়ে বৃহৎ প্রোটিন-অণু গঠন করে। এই বৃহৎ প্রোটিন-অণুকে অম্ল আর্দ্র-বিশ্লেষণ করলে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলো আবার পৃথক হয়ে যায়।

অ্যামাইনো অ্যাসিড একটি জৈব অম্ল যার মধ্যে একটি অ্যামাইনো গ্রুপ ($-NH_2$) এবং একটি কার্বক্সিল গ্রুপ (—COOH) থাকে। অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠনটি নিম্নরূপ :



চিত্র 1 : অ্যামাইনো অ্যাসিডের মৌলিক গঠন

অ্যামাইনো অ্যাসিডের আণবিক সংকেত $RCHNH_2COOH$। এর প্রথম কার্বনটি কার্বক্সিল গ্রুপের অংশবিশেষ। অ্যামাইনো গ্রুপটি যে কার্বনটির সাথে যুক্ত থাকে তাকে α (আল্‌ফা) কার্বন বলে। এই আল্‌ফা কার্বনটি কোভ্যালেন্ট বন্ধনী দ্বারা চারটি বিভিন্ন গ্রুপ বা অংশের সঙ্গে যুক্ত থাকে। যাদের মধ্যে একটি হল হাইড্রোজেন এবং অন্যটি R বা পার্শ্বশৃঙ্খল বা Side Chain। R গ্রুপটি হাইড্রোজেন বা মিথাইল বা আরও জটিল কোন যৌগ হতে পারে। R গ্রুপটি হাইড্রোজেন হলে এই অ্যামাইনো অ্যাসিডকে গ্লাইসিন বলে, যা সবথেকে সরল অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রকৃতিতে মাত্র 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিড বর্তমান।

4.3 প্রোটিনের গঠন

প্রোটিনের গঠনকে চারটি ভিন্ন ভিন্ন স্তরের সংগঠন বা organisation দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। প্রতিটি স্তরের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যে পারস্পরিক বিক্রিয়ার ধরণ ভিন্ন ভিন্ন। এই চারটি সাংগঠনিক স্তরকে যথাক্রমে প্রাথমিক (Primary) গৌণ (Secondary), প্রগৌণ (tertiary) এবং উপ-প্রগৌণ (Quaternary) রূপে ভাগ করা যায়।

4.3.1 প্রাথমিক গঠন (Primary Structure)

প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন বলতে বোঝায় অ্যামাইনো অ্যাসিডের যতিবিহীন, অবিচ্ছিন্ন, রৈখিক সজ্জা বিন্যাসকে যা একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল গঠন করে। 20 টি বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের সমন্বয়ে গঠিত এইরকম

শৃঙ্খলের ধরণ কত হতে পারে? এটা নির্ভর করবে শৃঙ্খল প্রতি অ্যামাইনো অ্যাসিড সংখ্যার উপর। অর্থাৎ একক পলিপেপটাইডে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যা হল 20^n (যেখানে **n** = অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যা) । যেহেতু **n** সংখ্যা অনির্দিষ্ট অতএব কার্যতঃ পলিপেপটাইডের বৈচিত্র কার্যতঃ অসীম। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সজ্জাক্রম জীবের জীবনে কোডগুলির সজ্জাক্রমের উপর নির্ভরশীল।

প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপ :

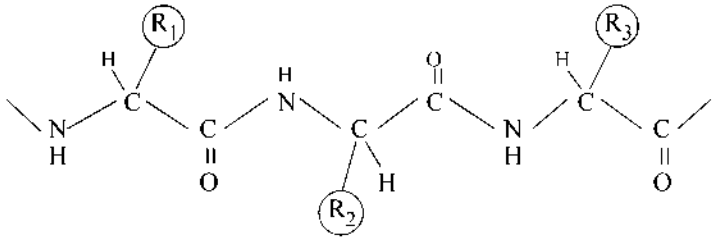
(a) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনটি হল n সংখ্যক (n-এর মান অনির্দিষ্ট) অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত একটি রৈখিক (linear) শৃঙ্খল।

(b) শৃঙ্খলটি গঠিত হল দুটি পারস্পরসংলগ্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডদ্বয়ের মধ্যে একটির α - কার্বক্সিল মূলক অপরটি α - অ্যামাইনো মূলকের সঙ্গে পেপটাইড বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হবার ফলে।

(c) এই পেপটাইড বন্ধনী-টি তাপ-গতিবিদ্যার পরিপ্রেক্ষিতে অত্যন্ত স্থায়ী। একটি পলিপেপটাইডে পেপটাইড বন্ধনীর সংখ্যা স্বাভাবিকভাবেই অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। যেহেতু পেপটাইড বন্ধনী সৃষ্টি হওয়া একটি জল অপসারী বিক্রিয়া সেহেতু এটি একটি শক্তিগ্রাহী প্রক্রিয়া অর্থাৎ এতে কোষীয় শক্তি ব্যয় হয়।

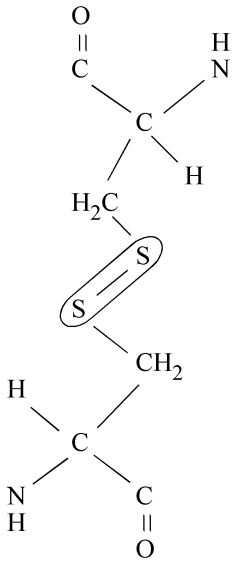
(d) একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল হল সুনির্দিষ্ট মেরুবর্ত্তী অণু। এর একপ্রান্তে মুক্ত α - অ্যামাইনো মূলক থাকে (N প্রান্ত) ও অপর প্রান্তে α কার্বক্সিল (C - প্রান্ত) থাকে।

(e) একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের দুটি অংশ। একটি অংশ, যাকে বলে কাঠামো বা backbone, তা বৈচিত্রহীন ও পৌনপুনিক। অপর অংশ, যা অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির R-মূলক বা পার্শ্বীয় শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত তা হল বৈচিত্রময়।



উপরের চিত্রটি লক্ষ্য করুন। এখানে তিনটি অ্যামাইনো অ্যাসিড যে ক্ষুদ্র শৃঙ্খলটি তৈরী করেছে তার বৈচিত্রময় অংশ কেবল বৃত্ত দ্বারা চিহ্নিত R-মূলক গুলি। বাকী অংশ পর্যায়ক্রমিক অ্যামাইনো (– NH) ও কার্বনিল (– CO) মূলক দ্বারা গঠিত।

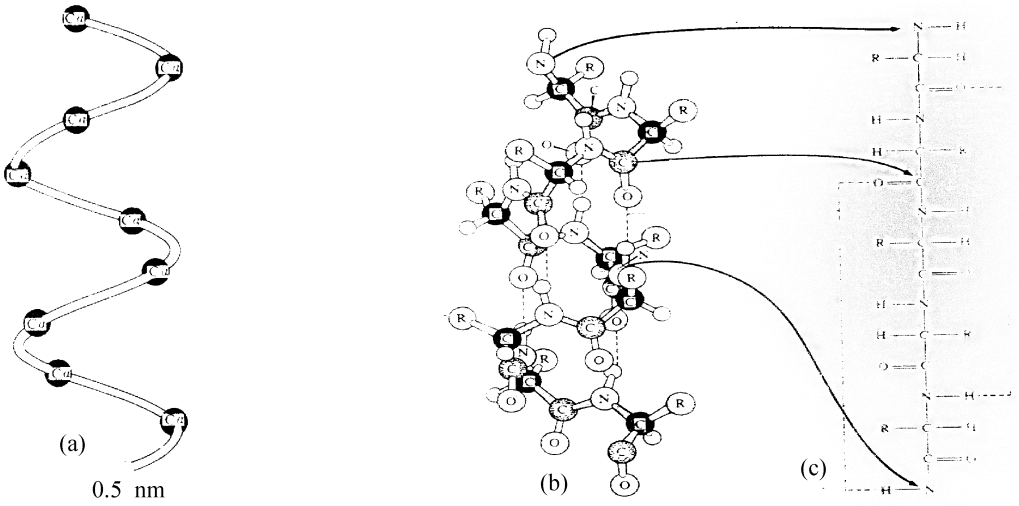
(f) কোন কোন প্রোটিনে রৈখিক অ্যামাইনো অ্যাসিড শৃঙ্খলগুলির মধ্যে পেপটাইড বন্ধনী ছাড়াও দ্বিতীয় অপর এক প্রকার বন্ধনী দেখা যায়। একে বলে ক্রস লিঙ্ক (Cross link)। দুটি পরস্পর সংলগ্ন সিসটিন দ্বারা গঠিত একটি শৃঙ্খলে জারন প্রক্রিয়ার ফলে ডাইসালফাইড বন্ধনী গঠিত হয়। ফলে দুটি পরস্পর সংযুক্ত বা ক্রসলিংকড সিসটিন দ্বারা গঠিত ডাইপেপটাইডকে বলে সিসটাইন (cystine)।



ডাইসালফাইড বন্ধনী

4.3.2 গৌণ গঠন (Secondary structure)

প্রোটিন অণু মাত্রই বহু সংখ্যক অণুর মধ্যে গড়ে ওঠা বহু সংখ্যক বন্ধনীর সমন্বয়। স্বাভাবিকভাবেই এর গঠন অত্যন্ত জটিল। যেহেতু বস্তু মাত্রেরই একটি ত্রিমাত্রিক বহিঃপ্রকাশ আছে সেহেতু প্রোটিনেরও একটি



Ca = α - কার্বন সম্পূর্ণ α - গড়ন H - বন্ধনীর ধরণ

চিত্র 2 : α - গড়ন (a) এক একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের α - কার্বন অণুকে বৃত্তের আকারে দেখানো হয়েছে।
(b) একটি সম্পূর্ণ α - শৃঙ্খল
(c) H - bond-এর ধরণ। একটি α - কার্বন তার চার একক পরে স্থিত α - কার্বনের সঙ্গে H - Bond দ্বারা যুক্ত।

ত্রিমাত্রিক বহিঃরূপ আছে বলে ধরে নেওয়া যায়। একে আমরা **গড়ণ** বা conformation বলতে পারি। প্রোটিনের গৌণ গঠন বলতে এই **গড়ণ**-কে বোঝায়। 1951 খৃষ্টাব্দে লিনাস পাউলিং (Linus Pauling) এবং রবার্ট কোরে (Robert Corey) দুটি গড়ণ প্রস্তাবিত করেন–যথাক্রমে α - গড়ণ (α - helix) ও β - গড়ণ (β - helix)। গড়ণগুলি প্যাঁচ সৃদশ, তাই helix নামে পরিচিত।

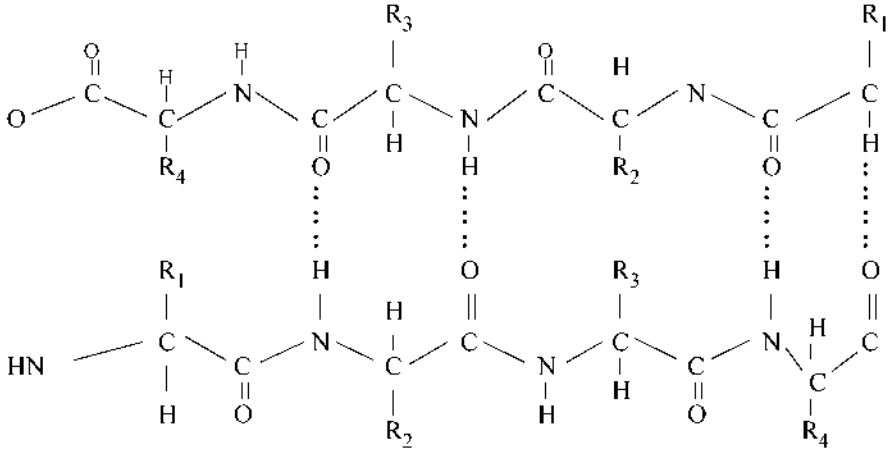
(a) α - গড়ন (α - helix) : এটি হল একটি দণ্ডাকার গড়ণ। দণ্ডাকৃতি এই গঠনের অর্ন্তদেশ অত্যন্ত দৃঢ়ভাবে প্যাঁচানো কাঠামো বা backbone অংশ দ্বারা গঠিত। পরিধি অংশে বর্হিমুখীভাবে বিন্যস্ত আছে বৈচিত্রময় R - শৃঙ্খলগুলি।

সুতরাং α - গড়নকে স্থায়ীত্ব দান করে অর্ন্তদেশের NH ও CO মূলকের মধ্যে গড়ে ওঠা হাইড্রোজেন বন্ধনী। লক্ষ্যণীয় এই যে একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল (CO) মূলক তার থেকে চারটি একক পূর্ববর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অ্যামাইনো (NH) মূলকের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। সুতরাং কেবলমাত্র প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি ছাড়া আর সমস্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডই α - গড়ণে পরস্পরের সঙ্গে H - বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। একটি একক পার্শ্ববর্ত্তী এককের তুলনায় 1.5^0 উত্থিত অবস্থায় থাকে। তাদের মধ্যে কৌণিক দূরত্ব 100^0। অর্থাৎ একটি সম্পূর্ণ প্যাঁচে (360^0) মোট অ্যামাইনো অ্যাসিড সংখ্যা হল 3.6 টি। প্রকৃতিতে এক α - গড়ণের দৈর্ঘ্য 45 Å এর মত। তবে দুই বা ততোধিক α - শৃঙ্খল পরস্পর সংযুক্ত হয়ে 1000Å বা তার থেকেও দীর্ঘ পলিপেপটাইড তৈরী করতে পারে। এর উদাহরণ হল পেশির প্রোটিন মায়োসিন, ট্রোপোমায়োসিন ইত্যাদি।

(b) **β - গড়ণ** (β - helix) ঃ β - গড়ণ বা β - Sheet ও α - গড়ণের মধ্যে পার্থক্যগুলি হল :

(i) α - গড়ণ যেখানে অত্যন্ত ঘনসংবদ্ধ প্যাঁচ, β - গড়ণ সেখানে যতদূর সম্ভব ছড়ানো।

(ii) α - গড়ণ বিশিষ্ট প্রোটিনের দুটি সমীপবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে দূরত্ব হল 1.5 Å। সেখানে β - গড়ণে এই দূরত্ব 3.5 Å

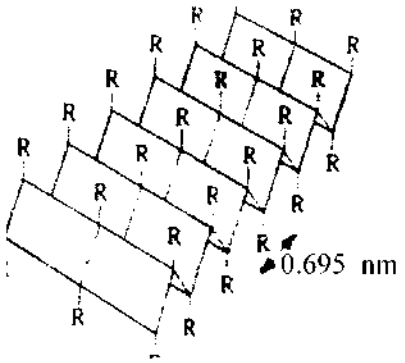


চিত্র 3 : β - গড়ণ দুটি প্রতি সমান্তরাল β - শৃঙ্খল প্রদর্শিত হয়েছে। ⇌ COO^- থেকে NH মুক্ত প্রান্তের অভিমুখ .... H - বন্ধনী।

(iii) β - গড়ণ সম্পন্ন প্রোটিনে NH ও CO মূলকের মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধনী স্থাপিত হয় ঠিকই কিন্তু α - গড়ণের মতো একই শৃঙ্খলের অন্তর্গত দুটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে কখনই নয়। এক্ষেত্রে একটি শৃঙ্খলের মুক্ত CO-মূলক অপর একটি শৃঙ্খলের NH-মূলকের সঙ্গে যুক্ত হয় (চিত্র 3 দেখুন)।

প্রকৃতিতে দু'ধরণের β - গড়ণ দেখতে পাওয়া যায় :

(i) **সমান্তরাল β - গড়ণ (Parallel β - Sheet)** : একটি প্রোটিনের অন্তর্গত সব কয়টি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল যদি এমনভাবে সজ্জিত হয় যে প্রতিটি শৃঙ্খলের N - প্রান্ত একই দিকে এবং প্রতিটিরই C - প্রান্ত



চিত্র **4** : সমান্তরাল β - শৃঙ্খল। এই ধরণের গড়ণকে β - পাত (β - sheet) বলে থাকে।

ঠিক তার বিপরীত দিকে অবস্থান করে তখন সেই β - গড়ণকে বলা হয় সমান্তরাল বা Parallel গড়ণ। (চিত্র 4)।

(ii) **প্রতি-সমান্তরাল (antiparallel) গড়ণ** : এক্ষেত্রে একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের N এবং C প্রান্ত পরবর্ত্তী শৃঙ্খলের N ও C প্রান্তের তুলনায় বিপরীত মুখে অবস্থান করে। অর্থাৎ একটি β - প্রোটিন যদি 6 টি পরস্পর বিন্যস্ত পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত হয় তবে প্রথম, তৃতীয় ও পঞ্চম শৃঙ্খলের N ও C প্রান্ত সমান্তরাল। অপরপক্ষে দ্বিতীয় চতুর্থ এবং ষষ্ঠ শৃঙ্খলের N ও C প্রান্ত এদের তুলনায় বিপরীতমুখী এবং পরস্পরের সঙ্গে সমান্তরাল (চিত্র 3 দেখুন)।

β - গড়ণসম্পন্ন গৌণ গঠন দেখতে পাওয়া যায় বিভিন্ন গঠনগত প্রোটিনে (যেমন, রেশমের ফাইব্রোনিন) অথবা গ্লোবিউলার প্রোটিন (যেমন, লাইসোজাইম বা কার্বক্সিপেপটাইডেজ ইত্যাদি)।

α এবং β - গড়ণ ছাড়াও আরও কয়েকরকম গৌণ গড়ণ দেখতে পাওয়া যায়। এদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য হল **র‍্যানডম কয়েল** (Random coil) এবং γ - গড়ণ। যখন কোন পলিপেপটাইড শৃঙ্খল পরস্পর সংলগ্ন আধানযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের (যেমন গ্লুটামিক বা অ্যাসপারটিক অ্যাসিড) বিকর্ষণের ফলে এলোমেলো শৃঙ্খলাহীন গঠন ধারণ করে তখন তাকে বলে র‍্যানডম কয়েল। γ - গড়ণ হল অপেক্ষাকৃত অস্থায়ী গৌণ গড়ণ যাতে α বা β গড়ণ অপেক্ষা অধিকতর H বন্ধনী দেখা যায়।

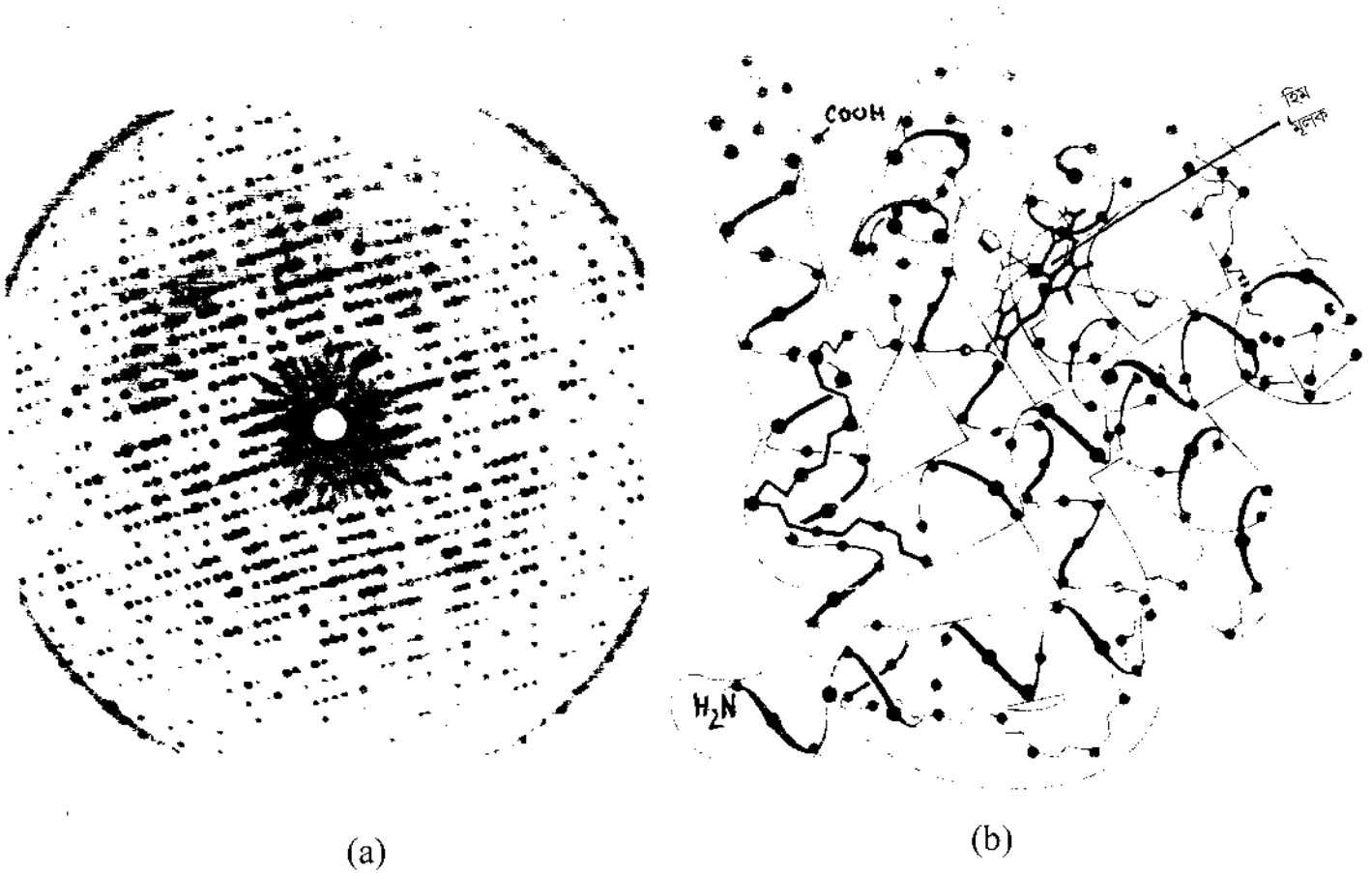
4.3.3 প্রগৌণ গঠন (Tertiary structure)

গৌণ গঠনের পরবর্ত্তী স্তরের সাংগঠনিক বিন্যাস হল প্রগৌণ গঠন। এই দুটি সাংগঠনিক সতরের মধ্যে পার্থক্য নির্ধারণ সম্ভব হয় কেবল মাত্র সুনির্দিষ্ট পরীক্ষা পদ্ধতি দ্বারা। X-ray কেলাসচিত্র (Crystallography) এরকম একটি পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে কোন প্রোটিনের একটি কেলাসকে X - রশ্মি দ্বারা বিকিরিত করলে প্রোটিনের অণুগুলি থেকে ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ ঘটে। এই বিচ্ছুরণ একটি ফটোগ্রাফি ফিল্মের উপর আঘাত করলে অণুগুলির বিন্যাস একটি স্থিরচিত্রের মত সেই ফিলমের উপর ধরা পড়ে। এই পদ্ধতিতে প্রোটিনের দুটি প্রগৌণ গঠন চিনতে পারা যায়। যথাক্রমে দণ্ডাকৃতি **ফাইব্রাস** (Fibrous) প্রোটিন এবং প্রায় গোলাকৃতি **গ্লোবিউলার** (globular) প্রোটিন। কোষবহিস্থ সমস্ত গঠনগত প্রোটিন (যেমন কোলাজেন) হল ফাইব্রাস প্রোটিন আর কোষ অভ্যন্তরের প্রায় সমস্ত প্রোটিনই হল গ্লোবিউলার প্রোটিন। মায়োগ্লোবিন হল প্রথম প্রোটিন যার প্রগৌণ গঠন X-ray কেলাসচিত্র থেকে স্থাপন করা সম্ভব হয়েছিল। দেখা গেল যে মায়োগ্লোবিন হল 153 টি অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত একটি প্রোটিন। এদের মধ্যে 75% α - শৃঙ্খল রূপে বিন্যস্ত। এক্ষেত্রে কোন β - শৃঙ্খল দেখতে পাওয়া যায় না। 7 থেকে 24টি অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত 8টি α - শৃঙ্খল মায়োগ্লোবিন গঠন করে। এই পর্যন্ত বললে যা বোঝা যায় তা হল মায়োগ্লোবিনের গৌণ গঠন। X - ray চিত্র থেকে এরপর যা জানা গেল তা হল প্রতিটি মায়োগ্লোবিনের কেন্দ্রে একটি জলবিরোধী (hydrophobic) R - মূলক দ্বারা আবৃত কেন্দ্রে এই মায়োগ্লোবিন প্রোটিনের **হিম** (heme) মূলকের অবস্থান। শৃঙ্খলগুলির মধ্যে কোন ডাইসালফাইড বন্ধনী দেখা যায় না। সুতরাং শৃঙ্খলগুলি পরস্পরের সঙ্গে নন-কোভ্যালেন্ট সংযোগী বল (non co-valent interaction) দ্বারা যুক্ত। কেন্দ্রস্থ হিম মূলকের চারপাশের R - মূলকগুলি যেমন আধানবিহীন তেমনই প্রোটিনটির পরিধিস্থ অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির R - মূলকগুলির মধ্যে কিছু আধানযুক্ত ও কিছু আধানবিহীন। এই সমস্ত বৈশিষ্ট্য মায়োগ্লোবিনকে একটি কুণ্ডলীকৃত আকার প্রদান করে যা প্রোটিনটির প্রগৌণ গঠন রূপে পরিচিত। চিত্র 5-তে মায়োগ্লোবিনের X-ray চিত্র এবং সেখান থেকে নির্ধারিত প্রোটিনটির প্রগৌণ গঠন দেখান হল।

4.3.4 উপ প্রগৌণ গঠন (Quaternary structure)

যে সমস্ত প্রোটিনের গঠনে একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দেখতে পাওয়া যায় তাদের ক্ষেত্রে একটি পলিপেপটাইড অপর একটি পলিপেপটাইডের সঙ্গে একাধিক সমন্বায়ক বল দ্বারা যুক্ত। দুটি শৃঙ্খলের মধ্যে এই বল তেমন একটি সাদামাটা হাইড্রোজেন বা ডাইসালফাইড বন্ধনী হতে পারে, তেমনই অত্যন্ত জটিল জলনিরোধী বল (hydrophobic interaction) বা আয়নিক বন্ধনী (ionic bond) হতে পারে। উপ প্রগৌণ গঠন বলতে বস্তুতপক্ষে একটি প্রোটিনের অন্তর্গত সবকয়টি পলিপেপটাইডের মধ্যেকার পারস্পরিক আন্তঃক্রিয়াকে বোঝায়।

উপ-প্রগৌণ গঠন স্বাভাবিকভাবেই নির্ভর করে পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের সংখ্যার উপর। এক একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলকে উপ-এককও বলা হয়ে থাকে। সরলতম উপ-প্রগৌণ গঠন হল দুটি উপ এককবিশিষ্ট



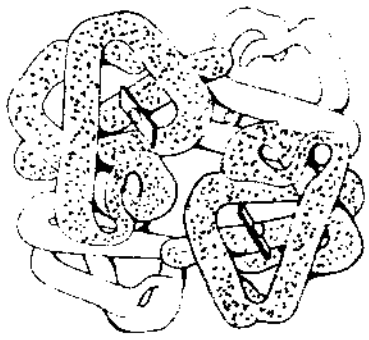
চিত্র 5 : প্রগৌণ গঠন (a) মায়োগ্লোবিনের X-ray বিচ্ছুরণ কেলাসচিত্র।
(b) তা থেকে নির্ণীত মায়োগ্লোবিনের 3D গঠন।

ডাইমার (dimer)। λ ফাজের cro প্রোটিন হল এই ধরণের ডাইমারের উদাহরণ। তেমনই চারটি উপ-একক বা পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত প্রোটিনের উপ-প্রগৌণ গঠনকে বলা হল টেট্রামার (tetramer)। হিমোগ্লোবিন হল একটি টেট্রামার যার দুটি উপএককে বলা হয় α এবং অপর দুটি উপ-এককে বলা হয় β। তাই হিমোগ্লোবিনকে উপ-প্রগৌণ গঠন অনুযায়ী বলা হয় একটি α_2 β_2 প্রোটিন। (চিত্র 6)

পরিশেষে উপসংহাররূপে বলা যায় যে প্রোটিনের গঠনে চারটি স্তরের বিন্যাসক্রম দেখতে পাওয়া যায়।

প্রাথমিক গঠন বলতে বোঝায় মুখ্যত প্রোটিন গঠনকারী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সজ্জাক্রম।

গৌণ গঠন বলতে বোঝায় নিকটবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার পারস্পরিক সংযোগসাধনকারী অবস্থানগত বৈশিষ্ট্যকে।



চিত্র 6 : উপপ্রগৌণ গড়ণ। এখানে দুটি α - শৃঙ্খল ও দুটি β - শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত হিমোগ্লোবিনের গড়ণ দেখানো হয়েছে।

প্রগৌণ গঠন বলতে বোঝায় দূরবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার সংযোগসাধনকারী বৈশিষ্ট্যকে।

উপ-প্রগৌণ গঠন বলতে বোঝায় একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত প্রোটিনের উপ এককগুলির মধ্যে সংযোগকারী বৈশিষ্ট্যকে।

4.4 সারাংশ (Summary)

প্রোটিন মাত্রেই 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের ভাণ্ডার থেকে আহরিত এককগুলি দ্বারা গঠিত শৃঙ্খল। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি পরস্পরের সঙ্গে পেপটাইড বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হয়ে গঠন করে প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন। শৃঙ্খলাবদ্ধ পলিপেপটাইড শৃঙ্খল α অথবা β গড়ণরূপে গড়ে তোলে প্রোটিনের গৌণ গঠন। জলে দ্রাব্য প্রোটিনের গঠনের বৈশিষ্ট্য হল এই যে এর কেন্দ্রটি গড়ে ওঠে অমেরুবর্ত্তী বা আধানবিহীন একটি কোর (core) দ্বারা, এভাবে গড়ে ওঠে প্রোটিনের প্রগৌণ গঠন। একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গড়ে ওঠা প্রোটিনের গঠনকে বলা হয় তার উপ-প্রগৌণ গঠন। সব মিলিয়ে এটা বলা যায় যে প্রোটিনের ত্রিমাত্রিক গঠনটি তার বিভিন্ন স্তরের সাংগঠনিক স্তরবিন্যাসের ফলশ্রুতি।

4.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(a) অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন ব্যাখ্যা করুন।

(b) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনের বৈশিষ্ট্যগুলি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

(c) প্রোটিনের গৌণ গঠন বলতে কি বোঝেন? α গড়ন ও β গড়নের মধ্যে পার্থক্য নিরূপণ করুন।

(d) প্রোটিনের প্রগৌণ এবং উপ-প্রগৌণ গঠন বলতে কি বোঝেন লিখুন। মায়োগ্লোবিন অণুর পরিপ্রেক্ষিতে প্রোটিনের প্রগৌণ গঠনটি আলোচনা করুন

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

(a) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন হল একটি _____ শৃঙ্খল।

(b) পেপটাইড বন্ধনী গঠন হল একটি _____ প্রক্রিয়া।

(c) β গড়নের পরস্পর সংলগ্ন দুটি এককের মধ্যে দূরত্ব _____।

(d) প্রোটিনের _____ গঠনটি তার বিভিন্ন স্তরের সাংগঠনিক বিন্যাসের ফলশ্রুতি।

4.6 উত্তরমালা

1. (a) 4.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 4.3.1 দ্রষ্টব্য

   (c) 4.3.2 দ্রষ্টব্য

   (d) 4.3.3 ও 4.3.4 দ্রষ্টব্য

2. (a) রৈখিক

   (b) শক্তিবাহী

   (c) 3.5°A

   (d) ত্রিমাত্রিক

একক 5 ❑ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন ও প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা

গঠন

5.0 উদ্দেশ্য

5.1 প্রস্তাবনা

5.2 প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন

5.3 প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা

5.4 সারাংশ

5.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

5.6 উত্তরমালা

5.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- কিভাবে প্রোটিনের ডিন্যাচুরেশন ঘটে জানতে পারবেন।
- প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকাগুলি কি কি সে বিষয় অবগত হবেন।

5.1 প্রস্তাবনা

জীবজ প্রক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় জটিল যৌগুলির মধ্যে অন্যতম হল প্রোটিন। জীবজগতে নাইট্রোজেন প্রধানত প্রোটিনরূপে বিদ্যমান। উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহের গঠন ও জীবজ কার্যকারিতার জন্য প্রোটিন অপরিহার্য। পূর্বের এককে আমরা জেনেছি যে দুই বা ততোধিক অ্যামাইনো অ্যাসিড পেপটাইড বন্ধনীর (peptide linkage) দ্বারা যুক্ত হয়ে বৃহৎ প্রোটিন অণু গঠন করে। প্রতিটি পেপটাইড বন্ধনীতে একটি অ্যামাসানো অ্যাসিডের অ্যামাইনো (NH_2) মূলক অপর একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বাক্সিন (COOH) মূলকের সঙ্গে যুক্ত হয়ে এক অণু জল মুক্ত করে এবং এর ফলে ডাইপেপটাইড (dipeptide) সৃষ্টি হয়। এই ডাইপেপটাইড-এর পর ঘনীভবন (condensation) প্রক্রিয়ায় পলিপেপটাইড, পেপটোন, প্রোটিয়োজ এবং সর্বশেষে প্রোটিন প্রস্তুত করে। বিভিন্ন কারণে এই প্রোটিন তার কর্মক্ষমতা হারিয়ে ফেলে এবং প্রোটিনের এই স্বাভাবিক গঠন নষ্ট হওয়ার এই পদ্ধতিতে প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলা হয়।

5.2 প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন

পরিবেশের তাপমাত্রা, pH ইত্যাদির অতিরিক্ত পরিবর্তনের ফলে প্রোটিন তার গঠন ও কর্মক্ষমতা হারিয়ে ফেলে।

যে পদ্ধতিতে প্রোটিনের স্বাভাবিক গঠন (প্রাথমিক গঠন, গৌণ গঠন, প্রগৌণ গঠন এবং উপ-প্রগৌণ গঠন) নষ্ট হয়ে যায় এবং এবং এর ফলে প্রোটিন তার নিজস্ব কর্মক্ষমতা পুরোপুরি হারিয়ে ফেলে, তাকেই প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলা হয়।

কিছু কিছু প্রোটিন আছে যারা ডিন্যাচিওর হবার পর আবার পুরানো কার্যকরী স্থিতাবস্থায় ফেরৎ যেতে পারে। এই পদ্ধতিকে বলা হয় প্রোটিন রিন্যাচুরেশন (renaturation)। তবে অধিকাংশ প্রোটিনই একবার ডিন্যাচুওর হয়ে গেলে আর রিন্যাচুওর হতে পারে না।

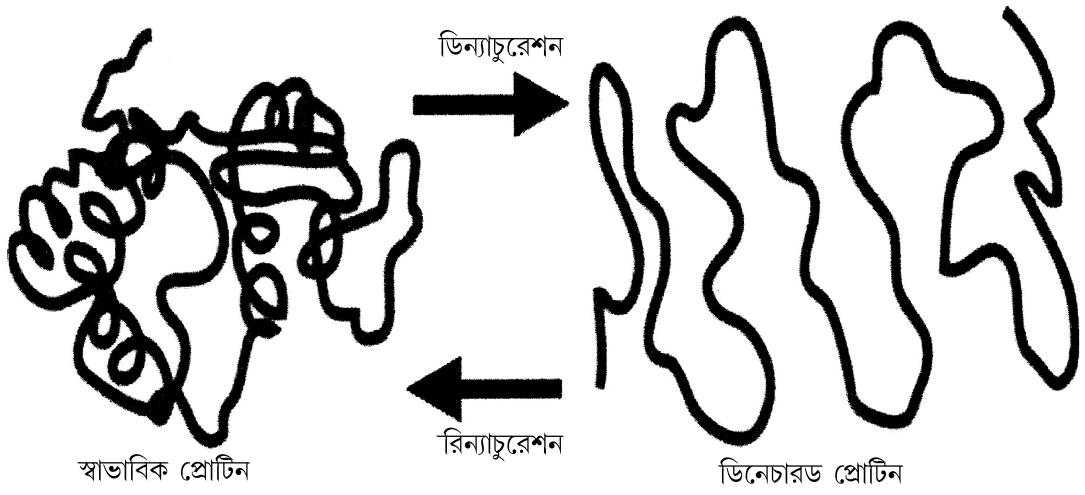
যে সমস্ত রাসায়নিক পদার্থ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে বলা হয় ডিন্যাচুর‍্যান্ট (denaturant)। যেমন ইউরিয়া (সাধারণতঃ 8M) এবং গুয়ানিডিয়াম হাইড্রোক্লোরাইড (6M GuHCl)। ভারী ধাতব মৌল, যেমন— Ag^{+}, Pb^{2+}, Hg^{2+} ইত্যাদিও প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়।

প্রোটিনের কর্মক্ষমতা নির্ভর করে তার 3D গঠনের ওপর। মূলতঃ হাইড্রোজেন বন্ধনীর মাধ্যমে এই গঠন সুনির্দিষ্টভাবে হয়ে থাকে। pH-এর পরিবর্তন অথবা তাপমাত্রার অস্বাভাবিক হ্রাস বা বৃদ্ধিতে এই হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি ভেঙে যায় এবং এর ফলে প্রোটিন তার স্বাভাবিক অবস্থা এবং কর্মক্ষমতা হারিয়ে ডিন্যাচিওর হয়ে পড়ে। ডিন্যাচুরেশনে আলফা-গড়ন এবং বিটা-গড়নের অন্তর্গত পরস্পর সংলগ্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার বন্ধনীগুলি চূর্ণবিচূর্ণ হয়ে যায়, ফলে প্রোটিনের স্বাভাবিক গুণ পরিবর্তন হয়ে যায়।

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনের কয়েকটি উদাহরণ হল—

১। সিদ্ধ করা ডিম, যেখানে ডিমের অ্যালবুমিন (বা সাদা অংশ) জমে যায়।

২। দুধ জমে গিয়ে দই তৈরি হয়ে যায়।



চিত্র 1 : প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন

5.3 প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা

(1) পুষ্টিগত ভূমিকা — উদ্ভিদ এবং প্রাণীদেহে প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড, নাইট্রোজেন এবং সালফার সরবরাহ করে থাকে।

(2) অণুঘটকগত (catalytic) ভূমিকা — সকল উৎসচেকই প্রোটিন। কাজেই অণুঘটক রূপে প্রোটিনের ভূমিকা অনন্য।

(3) হরমোনগত (hormonal) ভূমিকা — বেশিরভাগ হরমোন, যেমন গ্রোথ বা বৃদ্ধিসহায়ক হরমোন, ইনস্যুলিন এবং সকল রিসেপ্টরই প্রোটিন।

(4) আত্মরক্ষামূলক (defensive) ভূমিকা — অ্যান্টিবডি (ইমিউনোগ্লোবুলিন), যারা শরীরে রোগ প্রতিষেধকমূলক কাজ করে থাকে, তারা সকলেই প্রোটিন।

(5) কিছু প্রোটিন শরীরে প্রতিরোধমূলক কাজ করে থাকে। যেমন চুল, নখ এবং ত্বকে অবস্থিত কেরাটিন ত্বককে রাসায়নিক বিক্রিয়া থেকে রক্ষা করে।

(6) কোলাজেন জাতীয় প্রোটিন জীবদেহে সহায়ক (supportive রূপে কাজ করে।

(7) হিমোগ্লোবিন একটি প্রোটিন, যা রক্তে অক্সিজেন পরিবহন করে।

(8) অ্যাক্টিন ও মায়োসিন সংকোচী প্রোটিনরূপে পেশীকে সক্রিয় রাখতে সাহায্য করে।

(9) প্রোটিনের অন্তর্গত অ্যামাইনো অ্যাসিড বিভিন্ন প্রকার প্রয়োজনীয় নাইট্রোজেন জাত পদার্থ (ক্রিয়েটিন, হিস্টামিন, হিম, পিউরিন ও পিরিমিডিন) উৎপাদন করে থাকে।

(10) জৈবিক ঝিল্লি (biological membrane) তৈরি হয় দ্বিস্তরবিশিষ্ট ফসফোলিপিড এবং নানা প্রকার প্রোটিনের সংমিশ্রণে, যার মাধ্যমে সংবেদন কোষ থেকে কোষান্তরে যায়।

(11) কোহেসিন (Cohesin) প্রোটিন কোষ বিভাজনের সময় ক্রোমোজোমের গঠন নিয়ন্ত্রণ করে।

(12) প্লাজমা মেমব্রেনে অবস্থিত প্রোটিনগুলি (চ্যানেল, কেরিয়ার, পাম্প প্রোটিন) কোষীয় পরিবহন নিয়ন্ত্রণ করে।

(13) ক্রোমোজোম গঠন (নিউক্লিওজোম) বা তার প্রতিলিপিকরণে প্রোটিন অণুগুলি পরস্পরের সাথে এবং অন্য জৈবিক অণুর সঙ্গে জটিল সম্পর্ক স্থাপন করে।

(14) প্রোটিনই নিয়ন্ত্রণ করে বৃদ্ধি (growth) এবং বিকাশের (development) বিভিন্ন পর্যায়।

5.4 সারাংশ

জীবজগতে সবচেয়ে বহুমুখী উপযোগিতাসম্পন্ন যৌগুলির মধ্যে অন্যতম হল প্রোটিন। প্রোটিনের গঠনগত একক হল অ্যামাইনো অ্যাসিড। প্রকৃতিতে মাত্র 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিড আছে যারা একে অপরের সাথে পেপটাইড বন্ধনীর মাধ্যমে যুক্ত হয়ে প্রোটিন গঠন করে। পরিবেশের তাপমাত্রা, PH ইত্যাদির অতিরিক্ত পরিবর্তনের ফলে প্রোটিন তার গঠন ও কর্মক্ষমতা হারিয়ে ফেলে। এর ফলে প্রোটিন তার প্রাথমিক, গৌণ, প্রগৌণ এবং উপ-প্রগৌণ গঠন হারিয়ে ফেলে ও তার জন্য প্রোটিনের কর্মক্ষমতা সম্পূর্ণভাবে নষ্ট হয়ে যায়। প্রোটিনের এই স্বাভাবিক গঠন নষ্ট হয়ে যাবার পদ্ধতিতেই প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলা হয়। সিদ্ধ করা ডিমে যে সাদা অংশটি জমে যায় বা দুধ জমে দই হয়ে যায় — এই ঘটনাগুলি প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনের দৃষ্টান্ত।

5.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলতে কী বোঝেন?

(b) আমাদের দৈনন্দিন জীবনে প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনের দুইটি উদাহরণ দিন।

(c) প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) _____ গঠনগত একক হল অ্যামাইনো অ্যাসিড।

(b) দুইটি অ্যামাইনো অ্যাসিড _____ বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হয়ে এক অণু _____ মুক্ত করে এবং ডাইপেপটাইড সৃষ্টি করে।

(c) ডাইপেপটাইড _____ প্রক্রিয়ায় পলিপেপটাইড তৈরি করে।

(d) যে সমস্ত রাসায়নিক পদার্থ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে _____ বলে।

(e) ভারী ধাতব মৌল যেমন _____, _____ ও _____ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়।

3. ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :

(a) ডিন্যাচুর‍্যান্ট	(i) ডিন্যাচুরেশনের উদাহরণ
(b) প্রোটিন	(ii) 8M ইউরিয়া
(c) সেদ্ধ করা ডিম	(iii) অক্সিজেন পরিবহন করে
(d) কোহেসিন	(iv) কোষ বিভাজনে সাহায্য করে
(e) হিমোগ্লোবিন	(v) অ্যামাইনো অ্যাসিড

5.6 উত্তরমালা

1. (a) 5.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 5.2 দ্রষ্টব্য

   (c) 5.3 দ্রষ্টব্য

2. (a) প্রোটিনের

   (b) পেপটাইড, জল

   (c) ঘনীভবন বা কনডেনশেসন

   (d) ডিন্যাচুর‍্যান্ট

   (e) Ag^{+}, Pb^{2+}, Hg^{2+}

3. (a) — (ii)

   (b) — (v)

   (c) — (i)

   (d) — (iv)

   (e) — (iii)

একক 6 ❑ নিউক্লিক অ্যাসিড : নাইট্রোজেন বেসের গঠন, নিউক্লিওটাইডের গঠন এবং কার্য, নিউক্লিক অ্যাসিডের প্রকারভেদ

গঠন

6.0 উদ্দেশ্য

6.1 প্রস্তাবনা

6.2 নিউক্লিক অ্যাসিডের উপাদান

6.3 নাইট্রোজেন বেসের গঠন

6.4 নিউক্লিওটাইডের গঠন

6.5 নিউক্লিওটাইডের কার্যাবলি

6.6 নিউক্লিক অ্যাসিডের প্রকারভেদ

6.7 সারাংশ

6.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

6.9 উত্তরমালা

6.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- নিউক্লিক অ্যাসিডের উপাদানগুলি জানতে পারবেন।
- পিউরিন ও পিরিমিডিন নাইট্রোজেন বেস সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।
- নিউক্লিওটাইডের গঠন ও কার্যাবলি ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- নিউক্লিক অ্যাসিডের প্রকারভেদ বিষয়ে প্রাথমিক ধারণা লাভ করতে পারবেন।

6.1 প্রস্তাবনা

নিউক্লিক অ্যাসিড হল একধরনের বায়োপলিমার (biopolymer) যা জীবের বংশগত বৈশিষ্ট্যের ধারক ও বাহক। জীবের সমস্তরকমের প্রোটিনের গঠন কোষের নিউক্লিক অ্যাসিডের মধ্যে উপস্থিত নিউক্লিওটাইড সজ্জাক্রমের মধ্যে প্রোগ্রামিং (programming) করা থাকে। নিউক্লিক অ্যাসিড DNA (ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড) এবং RNA (রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড) জিনগত তত্ত্বের সঞ্চয় ভাণ্ডার হিসাবে কাজ করে।

6.2 নিউক্লিক অ্যাসিডের উপাদান

সমস্ত উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষে ডি.এন.এ এবং আর.এন.এ এই দুইপ্রকার নিউক্লিক অ্যাসিড থাকে। নিউক্লিক অ্যাসিডে মোট তিন ধরনের উপাদান থাকে। এগুলি হল যথাক্রমে (a) ফসফোরিক অ্যাসিড, (b) পেন্টোজ শর্করা এবং (c) নাইট্রোজেন বেস।

(a) ফসফোরিক অ্যাসিড (Phosphoric acid) : এর আণবিক সংকেত H_3PO_4 এর সঙ্গে তিনটি মনোভ্যালেন্ট হাইড্রক্সি-গ্রুপ ও একটি ডাইভ্যালেন্ট অক্সিজেন অণু উপস্থিত থাকে। এটি পেন্টাভ্যালেন্ট ফসফরাসের সঙ্গে যুক্ত থাকে।

(b) পেন্টোজ শর্করা (Pentose sugar) : পাঁচ কার্বনযুক্ত কিটোন শর্করার উপস্থিতির ভিত্তিতে নিউক্লিক অ্যাসিডকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়। যে নিউক্লিক অ্যাসিডে ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা উপস্থিত থাকে তাদের ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড বা DNA বলে এবং যে নিউক্লিক অ্যাসিডে রাইবোজ শর্করা থাকে, তাদের রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড বা RNA বলে। নিউক্লিক অ্যাসিডের পেন্টোজ শর্করা একটি নির্দিষ্ট নিয়ম মেনে চলে। এই শর্করার 3 নং এবং 5 নং কার্বনে উপস্থিত OH গ্রুপ সর্বদাই ফসফোরিক অ্যাসিডের এস্টার যৌগ গঠন করে থাকে। ওই দুই কার্বনের OH গ্রুপ পার্শ্ববর্তী পেন্টোজ শর্করার সঙ্গে $3^{/}$, $5^{/}$ - ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ থেকে নিউক্লিক অ্যাসিডের শৃঙ্খল রচনা করে।

(c) নাইট্রোজেন বেস (Nitrogen base) : নিউক্লিক অ্যাসিডে দু-ধরণের নাইট্রোজেন বেস পাওয়া যায় এবং এই বেসগুলি পেন্টোজ শর্করার C_1 এর সাথে শর্করা - শর্করা বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ থাকে। বেসগুলির মধ্যে অ্যাডেনিন ও গুয়ানিন পিউরিন এবং ইউরাসিল, থাইমিন ও সাইটোসিন পিরিমিডিন লব্ধ যৌগ।

6.3 নাইট্রোজেন বেসের গঠন

নিউক্লিক অ্যাসিডে দুধরনের নাইট্রোজেন বেস পাওয়া যায়। এইগুলি হল—

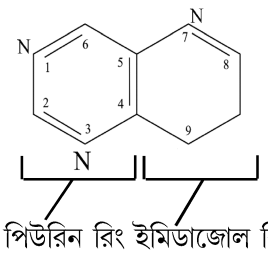
(a) পিউরিন লব্ধ যৌগ ও (b) পিউরিমিডিন লব্ধ যৌগ

(a) পিউরিন লব্ধ যৌগ : এর দুটি অংশ বর্তমান। একটি পিউরিন রিং, যার সাথে যুক্ত থাকে ইমিডাজোল রিং — যা হল দ্বিতীয় অংশ। প্রধান পিউরিন লব্ধ যৌগ দুটি হল যথাক্রমে অ্যাডেনিন ও গুয়ানিন।

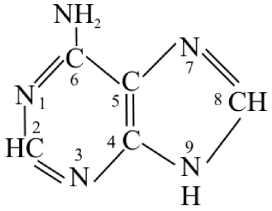
(i) **অ্যাডেনিন (Adenine) :** এটির আণবক সংকেত $C_5H_5N_5$ ও আণবিক গুরুত্ব 135.15 ডালটন।

(ii) **গুয়ানিন (Guanine) :** এটির আণবিক সংকেত $C_5H_5ON_5$ এবং আণবিক গুরুত্ব 151.15 ডালটন।

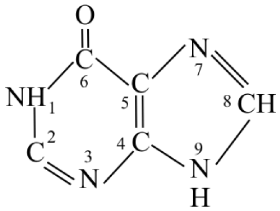
RNA এবং DNA উভয়প্রকার নিউক্লিক অ্যাসিডে এই দুটি নাইট্রোজেন বেস পাওয়া যায়।



পিউরিন রিং ইমিডাজোল রিং



অ্যাডেনিন বা
6-অ্যামোইনোপিউরিন



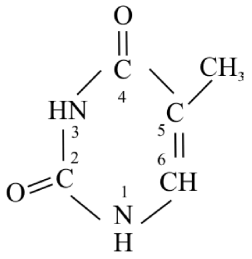
গুয়ানিন বা
2-অ্যামাইনো 6-অক্সিপিউরিন

(b) পিউরিমিডিন লব্ধ যৌগ (Pyrimidine derivatives) : এই যৌগে নাইট্রোজেন অণু এবং তিনটি দ্বিবন্ধী বর্তমান। তিনটি পিরিমিডিন লব্ধ যৌগ হল — থাইমিন, সাইটোসিন এবং ইউরাসিল।

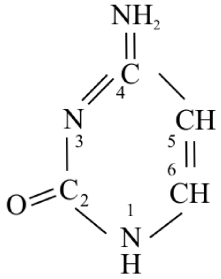
(i) **থাইমিন (Thymine) :** এটি কেবলমাত্র DNA-এর মধ্যে পাওয়া যায়। এটির আণবিক সংকেত $C_5H_6O_2N_2$ ও আণবিক গুরুত্ব 126.13 ডালটন।

(ii) **সাইটোসিন (Cytosine) :** এটি DNA এবং RNA উভয়েতেই উপস্থিত থাকে। এটির আণবিক সংকেত $C_4H_5ON_3$ ও আণবিক গুরুত্ব 111.12 ডালটন।

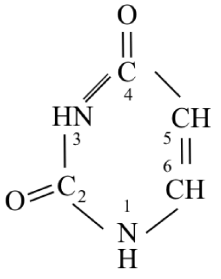
(iii) **ইউরাসিল (Uracil) :** এটি কেবলমাত্র RNA তে পাওয়া যায়। এটির আণবিক সংকেত $C_4H_4O_2N_2$ ও আণবিক গুরুত্ব 112.10 ডালটন।



থাইমিন বা
(5-মিথাইল, 2, 4-
ডাইঅক্সিপরিমিডিন



সাইটোসিন বা
(2-অক্সি 4-অ্যামিনো
পিরিমিডিন)

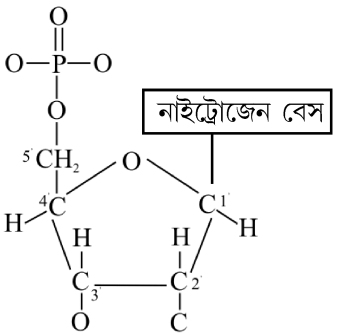


ইউরাসিল বা
(2, 4-ডাইঅক্সিপিরিমিডিন)

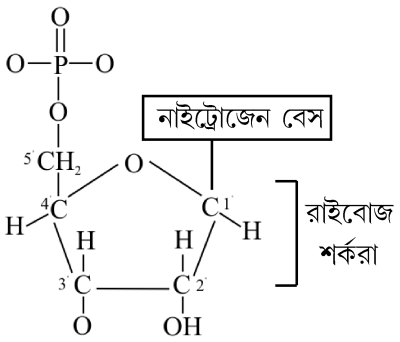
6.4 নিউক্লিওটাইডের গঠন

যে সকল যৌগে রাইবোজ বা ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার সঙ্গে নাইট্রোজেন বেস গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে, তাদের বলা হয় নিউক্লিওসাইড। নিউক্লিওসাইডের ফসফোরিক অ্যাসিড এস্টারকে বলে নিউক্লিওটাইড।

অর্থাৎ নিউক্লিওটাইডে শর্করা এককের সঙ্গে ফসফেটের এস্টারিভবন ঘটে থাকে। এইগুলি মুক্তভাবে বা নিউক্লিক অ্যাসিডের উপএকক হিসাবে থাকতে পারে।



DNAতে নিউক্লিওটাইড এককের গঠন



RNAতে নিউক্লিওটাইড এককের গঠন

6.5 নিউক্লিওটাইডের কার্যাবলি

(a) **শক্তির বাহক :** নিউক্লিওটাইডের 5′–OH গ্রুপের সাথে একটি, দুটি বা তিনটি ফসফেট গ্রুপ সংযুক্ত থাকে এবং এইভাবে মনো, ডাই এবং ট্রাইফসফেট গঠিত হয়। এদের মধ্যে নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেট আর্দ্রবিশ্লেষণের মাধ্যমে যে শক্তি উৎপাদন করে তা জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়া চালিত করতে সাহায্য করে। আমাদের জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়াগুলি সংগঠিত করতে যে নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেটটি সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত হয়, সেটি হল অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট বা ATP। ATP-র এস্টার বন্ধনীর আর্দ্রবিশ্লেষণে 14Kj/mol শক্তি নির্গত হয়।

(b) **উৎসেচকের সক্রিয়তা নিয়ন্ত্রণ :** অনেক নিউক্লিওটাইড কোষের বিভিন্ন গুরুত্বপূর্ণ বিপাকীয় উৎসেচকের কো-ফ্যাক্টর এবং কো-এনজাইমের উপাদান হিসাবে কাজ করে এবং উৎসেচকের সক্রিয়তা নিয়ন্ত্রণ করে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় NAD^+ এবং FAD প্রভৃতি গুরুত্বপূর্ণ কো-এনজাইমের ক্ষেত্রে অ্যাডেনিন নিউক্লিওটাইড গঠনগত উপাদানের ভূমিকা পালন করে।

(c) **রাসায়নিক দূত :** সিগ্‌নাল ট্রান্সডাকশান প্রক্রিয়ায় (Signal transduction) দ্বিতীয় দূত বা Second massenger হিসাবে যেসকল যৌগ গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে থাকে যেমন cAMP, cGMP ইত্যাদি, তাদের ক্ষেত্রেও নিউক্লিওটাইড গঠনগত উপাদান হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

6.6 নিউক্লিক অ্যাসিডের প্রকারভেদ

আমরা পূর্বে জেনেছি যে নিউক্লিওটাইড মনোমার দ্বারা গঠিত পলিমারকে নিউক্লিক অ্যাসিড বলা হয়। সকল উদ্ভিদ ও প্রাণীকোষ দুইপ্রকার নিউক্লিক অ্যাসিড থাকে। এই দুটি হল যথাক্রমে ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড বা DNA এবং রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড বা RNA।

ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (DNA) : নাইট্রোজেন বেস, ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা এবং ফসফেট — এই তিনটি উপাদান দিয়ে গঠিত হয় DNA পলিমার। নিউক্লিওটাইড এককগুলি পরস্পর সংযুক্ত হয়ে প্রথমে একতন্ত্রী পলিমার গঠন করে। এই একতন্ত্রী পলিমার পরবর্তী ধাপে দ্বিতন্ত্রী হেলিক্স (helix) গঠনের দ্বারা স্থায়িত্ব লাভ করে। তবে DNA সবসময়েই দ্বিতন্ত্রী (double helix) হয় না। বিজ্ঞানী রবার্ট সিনসীমার 1959 সালে øx174 নামক ভাইরাসে একতন্ত্রী DNA-এর উপস্থিতি আবিষ্কার করেন।

প্রধানত কোষের নিউক্লিয়াসে ক্রোমাটিনের মধ্যে DNA অবস্থান করে, এটি কখনই সাইটোপ্লাজম মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায় না। DNA অণুতে সর্বদা অ্যাডেনিন থাইমিনের সাথে এবং গুয়ানিন সাইটোসিনের সঙ্গে হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত থাকে। DNA জিনগত উপাদান হিসাবে কাজ করে এবং DNA প্রতিলিপিকরণের দ্বারা DNA এবং ট্রান্সক্রিপশন প্রক্রিয়ার দ্বারা RNA গঠন করে। একটি DNA অণুর শৃঙ্খলে পিউরিন বেসের সমষ্টিগত সংখ্যা সর্বদাই পিরিমিডিন বেসের সংখ্যার সমান হয়। নাইট্রোজেন বেসগুলির মধ্যে অ্যাডেনিন ও থাইমিনের মধ্যে দুটি হাইড্রোজেন বন্ধনী (A=T) এবং গুয়ানিন ও সাইটোসিনের মধ্যে তিনটি (G≡C) হাইড্রোজেন বন্ধনী থাকে।

রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (RNA) : আমরা আগেই জেনেছি যে জীবদেহে DNA ছাড়া আরো একটি নিউক্লিক অ্যাসিড থাকে, যার নাম রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড বা RNA। এই RNA আবার কোনো কোনো ভাইরাসের ক্ষেত্রে সরাসরি DNA-র মতন বংশগতির ধারক হিসেবে কাজ করে। RNA হল দীর্ঘ শাখাবিহীন ও সাধারণত একতন্ত্রী। এর মধ্যে নিউক্লিওটাইডগুলি $3'$–$5'$ ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে। RNA-এর মধ্যে উপস্থিত নিউক্লিওটাইডের সংখ্যা 75 থেকে কয়েক হাজার পর্যন্ত হতে পারে। তুলনামূলকভাবে DNA-তে নিউক্লিওটাইডের সংখ্যা 3-4 মিলিয়ন পর্যন্ত হয়ে থাকে। এর ফলে RNA-র আণবিক গুরুত্ব DNA-র আণবিক গুরুত্বর থেকে কম হয়।

অধিকাংশ RNA (প্রায় 90%) কোষের সাইটোপ্লাজমে অবস্থান করে। প্রায় 10% RNA কোষের নিউক্লিওলাসে অবস্থান করে। RNA সাইটোপ্লাজমে মুক্ত অবস্থায় থাকতে পারে যা DNA কখনই পারে না। RNA-এর নাইট্রোজেন বেসগুলি হল অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, সাইটোসিন ও ইউরাসিল। RNA-তে DNA-র মতন প্রতিলিপিকরণ এবং ট্রান্সক্রিপশন ঘটে না এবং মিউটেশনও ঘটে না।

6.7 সারাংশ

নিউক্লিওটাইড মনোমার দ্বারা গঠিত পলিমারকে নিউক্লিক অ্যাসিড বলা হয়। দুই প্রকার নিউক্লিক অ্যাসিড DNA ও RNA জীবদেহে জিনগত তত্ত্বের সঞ্চয় ভাণ্ডার হিসাবে কাজ করে। ফসফোরিক অ্যাসিড, পেন্টোজ শর্করা এবং নাইট্রোজেন বেস—এই তিন প্রকার উপাদান দিয়ে নিউক্লিক অ্যাসিড গঠিত হয়। পাঁচকার্বনযুক্ত কিটোন শর্করার উপস্থিতির ভিত্তিতে নিউক্লিক অ্যাসিডকে দুভাগে ভাগ করা যায়। ডিঅক্সিরাইবোজের উপস্থিতিতে DNA এবং রাইবোজের উপস্থিতিতে RNA তৈরি হয়। নাইট্রোজেন বেসগুলির মধ্যে অ্যাডেনিন ও গুয়ানিন পিউরিন লব্ধ যৌগ এবং থাইমিন, সাইটোসিন ও ইউরাসিল পিরিমিডিন লব্ধ যৌগ। DNAতে অ্যাডেনিন সর্বদা থাইমিনের সাথে এবং গুয়ানিন সাইটোসিনের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনী দিয়ে যুক্ত হয় এবং RNAতে অ্যাডেনিন ইউরাসিলের সাথে এবং

গুয়ানিন সাইটোসিনের সাথে যুক্ত হয়। নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেট যেমন ATP আর্দ্রবিশ্লেষণের মাধ্যমে যে শক্তি উৎপাদন করে সেটি জীবকোষে জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়া চালনা করতে সাহায্য করে। এছাড়াও NAD^+ এবং FAD নিউক্লিওটাইডগুলি কোষে গুরুত্বপূর্ণ কো-এনজাইম রূপে কাজ করে থাকে। সর্বোপরি উল্লেখ্য যে সিগনাল ট্রান্সডাকশান প্রক্রিয়ায় cAMP, cGMP ইত্যাদি নিউক্লিওটাইডগুলি দ্বিতীয় দূত বা সেকেন্ড মেসেন্জার হিসাবে গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

6.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) নিউক্লিক অ্যাসিডের উপাদানগুলি বর্ণনা করুন।

(b) পিউরিন ও পিরিমিডিন লব্ধ যৌগগুলি নাম ও চিত্রসহ গঠন লিখুন।

(c) নিউক্লিক অ্যাসিডের কার্যাবলী সম্বন্ধে যা জানেন লিখুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) নিউক্লিক অ্যাসিড _____ ও _____ জিনগত তত্ত্বের সঞ্চয় ভাণ্ডার হিসাবে কাজ করে।

(b) _____ ও _____ দুটি পিউরিন লব্ধ নাইট্রোজেন বেস।

(c) _____, _____ ও _____ এই তিনটি পিরিমিডিন লব্ধ নাইট্রোজেন বেস।

(d) যে নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেট কোষে সর্বাধিক ব্যবহৃত হয়, সেটি হল _____।

(e) _____ ভাইরাসে একতন্ত্রী DNA অণু পাওয়া যায়।

(f) প্রায় _____ % RNA কোষের সাইটোপ্লাজম অবস্থান করে।

3. ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :

(a) রাইবোজ শর্করা	(i) অ্যাডেনিন-এর সাথে যুক্ত হয়
(b) ইউরাসিল	(ii) নিউক্লিওটাইড
(c) শর্করা + নাইট্রোজেন বেস	(iii) দ্বিতীয় দূত বা সেকেন্ড মেসেঞ্জার
(d) শর্করা + ফসফরিক অ্যাসিড + নাইট্রোজেন বেস	(iv) RNA-তে পাওয়া যায়
(e) cAMP	(v) নিউক্লিওসাইড

6.9 উত্তরমালা

1. (a) 6.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 6.3 দ্রষ্টব্য

(c) 6.5 দ্রষ্টব্য

2. (a) DNA, RNA

(b) অ্যাডেনিন, গুয়ানিন

(c) থাইমিন, সাইটোসিন, ইউরাসিল

(d) ATP

(e) øx174

(f) 90%

3. (a) — (iv)

(b) — (i)

(c) — (v)

(d) — (ii)

(e) — (iii)

একক 7 ❑ ডি.এন.এ এবং আর.এন.এ অণুর গঠন ও প্রকারভেদ

গঠন

7.0 উদ্দেশ্য

7.1 প্রস্তাবনা

7.2 ডি.এন.এ-এর অবস্থান

7.3 ডি.এন.এ-এর রাসায়নিক গঠন

7.3.1 ওয়াটসন ও ক্রিকের মডেল

7.3.2 চারগাফের সূত্র

7.4 ডি.এন.এ-এর ভৌতধর্ম

7.5 ডি.এন.এ-এর প্রকারভেদ

7.6 আর.এন.এ-এর রাসায়নিক গঠন

7.7 আর.এন.এ-এর গঠনশৈলী

7.8 আর.এন.এ-এর প্রকারভেদ

7.9 ট্রান্সফার আর.এন.এ-এর গঠন

7.10 সারাংশ

7.11 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

7.12 উত্তরমালা

7.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি অধ্যয়ন করে আপনারা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে জানতে পারবেন,

- কোষের মধ্যে DNA অণুর অবস্থান।
- DNA অণুর গঠন।
- DNA অণুর রাসায়নিক ধর্ম।
- নানাধরনের DNA অণুর মধ্যে সুনির্দিষ্ট তফাৎগুলি কী?

7.1 প্রস্তাবনা

'জিন' হল ডি.এন.এ (DNA) নামক অণুর বিশেষ কোনো অংশ যা সাধারণত কোনো একটি বিশেষ গুণ বা ধর্মকে (character) চিহ্নিত করে এবং ওই বিশেষ বার্তাটি (information) ডি. এন. এ মারফত এক জনু থেকে পরের জনুতে বাহিত হয়। RNA ভাইরাসে অবশ্য RNA অণু জিন হিসাবে কাজ করে। অতএব

'জিন' কী তা জানতে হলে প্রথমে আমাদের DNA এর গঠন ও বৈচিত্রকে ভালোভাবে জানা প্রয়োজন। ডি. এন. এ কথাটির পুরো নাম ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (Deoxyribonucleic acid) প্রকৃতিতে ডি. এন. এ ছাড়াও আর একটি নিউক্লিক অ্যাসিড আমরা পাই। তাকে বলা হয় আর. এন. এ (RNA) যার পুরো নাম রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড (Ribonucleic acid)।

1953 খ্রিস্টাব্দে ওয়াটসন ও ক্রিক (James D. Watson ও Francis Crick) ডি. এন. এ অণুর ত্রিমাত্রিক রাসায়নিক গঠন বিশ্লেষণ করে নোবেল বিজয়ী হয়েছিলেন। প্রথিতযশা এই দুই বিজ্ঞানীর যুগান্তকারী আবিষ্কারই আজকের দিনের অণুজীববিদ্যা বা মলিকিউলার বায়োলজি (Molecular Biology) শাখার ভিত্তিপ্রস্তর।

7.2 ডি.এন.এ-এর অবস্থান

ইউক্যারিওটিকধর্মী উন্নত জীবকোষে আমরা সাধারণত নিউক্লিয়াসের ক্রোমোজোমের মধ্যে ডি.এন.এ-কে বদ্ধ অবস্থায় পাই। ডি. এন. এ অণুটি প্রোটিনের সমন্বয়ে সরু সুতোর মতো ক্রোমোজোম গঠন করে। এই ক্রোমোজোমই কোষ বিভাজনে প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে। নিউক্লিয়াস ছাড়াও ইউক্যারিওটিক কোষের মাইটোকনড্রিয়া ও ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যেও আমরা ডি. এন. এ পেয়ে থাকি। তবে এই ডি. এন. এ-এর প্রকৃতিটা একটু অন্যরকমের অর্থাৎ অনেকটা আদি বা প্রোক্যারিওটিক কোষের মতো।

আদি অর্থাৎ প্রোক্যারিওটিকধর্মী কোষে ডি. এন. এ অণুটি মুক্ত অবস্থায় সাইটোপ্লাজমে সূত্রাকারে ছড়িয়ে ছিটিয়ে থাকে, ক্রোমোজোম গঠন করে নিউক্লিয়াসের মধ্যে বদ্ধ অবস্থায় থাকে না।

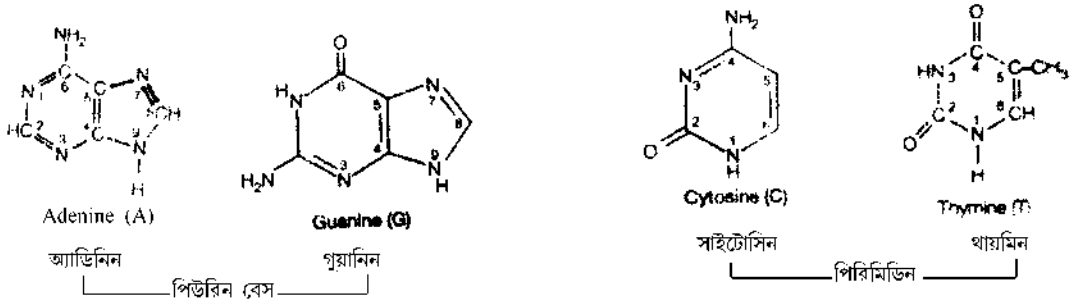
7.3 ডি.এন.এ-এর রাসায়নিক গঠন

ডি.এন.এ হল কার্বন (C), নাইট্রোজেন (N), হাইড্রোজেন (H), অক্সিজেন (O) ও ফসফরাস (P) সমন্বিত একটি বিশেষ ধরনের অণু যাকে সাধারণভাবে নিউক্লিক অ্যাসিড বলা হয়। জীবদেহে আরও এক রকমের নিউক্লিক অ্যাসিড অর্থাৎ আর. এন. এ (R. N. A) এর কথা আমরা বিস্তারিতভাবে জানব।

নিউক্লিক অ্যাসিড তা ডি. এন. এ ই হোক বা আর. এন. এই হোক নাইট্রোজেন বেস, পাঁচটি কার্বনের শর্করা ও ফসফেটের সমন্বয়ে গঠিত একটি বিশেষ ধরণের শৃঙ্খল।

(a) নাইট্রোজেন ঘটিত বেস : ডি. এন. এ নিউক্লিক অ্যাসিড শৃঙ্খলে আমরা চাররকমের হেটারোসাইক্লিক অ্যারোমেটিক চক্রযুক্ত বেস পাই। এই চক্রগুলিতে নাইট্রোজেনের উপস্থিতির জন্য এদের বলা হয় নাইট্রোজেন ঘটিত বেস (চিত্র 1)। এগুলি হল **অ্যাডিনিন** (Adenine), **গুয়ানিন** (Guanine), **সাইটোসিন** (Cytosine) ও **থায়ামিন** (Thiamine), অ্যাডিনিন ও গুয়ানিনকে একত্রে বলা হয় **পিউরিন** বেস (Purine) অপরদিকে সাইটোসিন ও থায়মিনকে একত্রে বলা হয় **পিরিমিডিন** বেস (Pyrimidine)। পিউরিন ও পিরিমিডিন বেসগুলির গঠনগত বৈসাদৃশ্য রয়েছে। পিউরিনে কার্বন-নাইট্রোজেন সমন্বিত দুটি চক্র বর্তমান কিন্তু পিরিমিডিনে একটি অ্যারোমেটিক চক্র থাকে। নাইট্রোজেন বেসগুলি নিম্নরূপ—

(b) শর্করা : ডি. এন. এ এর শর্করাটি পাঁচটি কার্বন বিশিষ্ট বলে একে বলা হয় পেন্টোজ শর্করা ('Penta' মানে পাঁচ)। রাইবোজ শর্করা এরকমই একটি পেন্টোজ শর্করা। ডি. এন. এ-এর শর্করাটি 'ডি-অক্সিরাইবোজ' শর্করা কারণ শর্করাটির ২নং কার্বনটিতে হাইড্রক্সিল মূলকের পরিবর্তে একটি হাইড্রোজেন পরমাণু থাকে অর্থাৎ



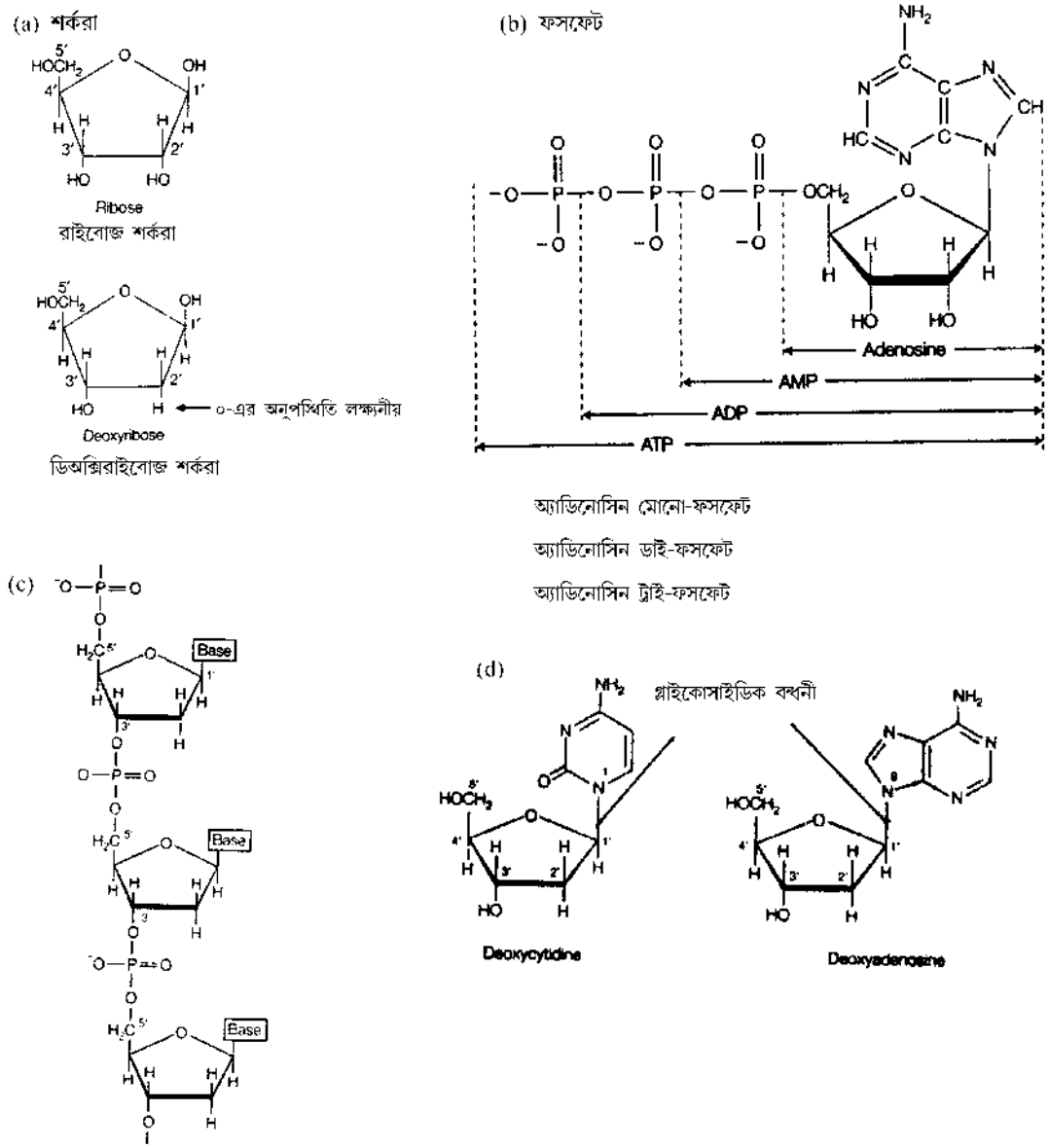
চিত্র 1 নাইট্রোজেন বেস

একটি অক্সিজেন পরমাণু কম থাকে বলে ["deoxy" — মানে 'অক্সিজেনবিহীন'] —একে ডি-অক্সিরাইবোজ শর্করা বলা হয়। (চিত্র 1)

যখন নাইট্রোজেন বেস ও ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা একসাথে যুক্ত হয় তখন তাকে বলা হয় **নিউক্লিওসাইড**। ডিঅক্সিরোইবোজ শর্করাটি পিউরিন বা পিরিমিডিন অর্থাৎ চারটি নাইট্রোজেন বেসের যে কোনো একটির সাথে যুক্ত থাকে। শর্করা ও বেস যুক্ত করার বন্ধনীটিকে বলা হয় গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী বা গ্লাইকোসাইডিক বন্ড (Glycosidic bond) শর্করার সাথে পিউরিন বেস যুক্ত থাকলে তা 9 নং নাইট্রোজেনের সাথে বন্ধনী তৈরি করে অপরপক্ষে শর্করার সাথে পিরিমিডিন বেস যুক্ত থাকলে তা 1 নং নাইট্রোজেনের সাথে বন্ধনী তৈরি করে। বেসগুলি সর্বদা শর্করার 1 নং কার্বনটির থাকে যুক্ত থাকে।

(c) ফসফেট : নিউক্লিওসাইডের (নাইট্রোজেন বেস ও শর্করা) সাথে ফসফেট যুক্ত হয়ে যখন এস্টার তৈরি করে তখন তাকে বলা হয় **নিউক্লিওটাইড**। ফসফেট গ্রুপ ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার 5 নং কার্বনের সাথে যুক্ত থাকে। সর্বাপেক্ষা তিনটি এবং ন্যূনতম একটি ফসফেট ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার সাথে যুক্ত হতে পারে। তিনটি ফসফেট যুক্ত থাকলে নাইট্রোজেনবেসের নামানুকরণে নিউক্লিওটাইডটির (nucleotide) নাম হয় যেমন অ্যাডিনোসিন-ট্রাই-ফসফেট বা সংক্ষেপে এ. টি. পি (ATP), দুটি ফসফেট থাকলে অ্যাডিনোসিন-ডাই-ফসফেট বা (ADP), একটি ফসফেট থাকলে অ্যাডিনোসিন-মোনো-ফসফেট বা (AMP)। এ. টি. পি.-কে আমরা সালোকসংশ্লেষ বা শ্বসন পদ্ধতিতে উৎপাদিত শক্তি হিসাবে পাই। একইভাবে আমরা dGTP, dCTP, dTTP প্রভৃতি নিউক্লিওটাইডগুলি পাই। ছোটো হরফে 'd' লেখার অর্থ শর্করাটি ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করা; তারপরে অক্ষরটি নাইট্রোজেন বেসের আদ্যক্ষর, (যেমন G – Guanine গুয়ানিন, C – Cytosine সাইটোসিন, T – Thiamine থায়ামিন ইত্যাদি); তৃতীয় 'T' অক্ষরটির অর্থ ট্রাই অর্থাৎ তিনটি এবং 'P' মানে ফসফেট এইভাবে অভিহিত করা হয়।

প্রতিটি নিউক্লিওটাইড (নাইট্রোজেন বেস + শর্করা + ফসফেট) ডি. এন. এ শৃঙ্খলের গঠনগত একক। ডি. এন. এ সংশ্লেষের সময় কেবল একটি মাত্র ফসফেট ডি. এন. এ শৃঙ্খলটিতে থাকে, বাকি দুটি ফসফেট ছিন্ন হয়ে যায়।



চিত্র 2 (a–d)

(a) শর্করা

(b) ফসফেট

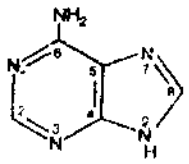
(c) নাইট্রোজেন বেস, শর্করা ও ফসফেটের সজ্জাবিন্যাস — যা ডি. এন. এ.-এর একটি তন্ত্রী গঠন করে।

(d) শর্করা ও বেস গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর মাধ্যমে যুক্ত থাকে।

একটি নিউক্লিওটাইড অপর আর একটি নিউক্লিওটাইডের সাথে ফসফেট গ্রুপের মাধ্যমে একটি বিশেষ নিয়মে যুক্ত থাকে। মধ্যবর্তী ফসফেটটি একটি নিউক্লিওটাইডের ডিঅক্সিরাইবোজশর্করার পঞ্চম (5 নং) কার্বনের সাথে যুক্ত থাকলে পরের নিউক্লিওটাইডের শর্করার 3 নং কার্বনটির সাথে যুক্ত থাকে। ফলে ফসফেট সমন্বিত এই বন্ধনীটিকে বলা হয় ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী (Phosphodiester bond)। 'ডাই' কথার অর্থ দুই, অর্থাৎ দুটি অণুর সাথে এস্টার তৈরি করে বলে ডাইএস্টার। ডি. এন. এ শৃঙ্খলের যে প্রান্তে ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার 5 নং কার্বনটি ফসফেটবিহীন হয় বা মুক্ত অবস্থায় থাকে সেই প্রান্তটিকে 5' বলে চিহ্নিত করা হয়। অপরদিকে যদি শৃঙ্খলে প্রান্তশর্করার 3 নং কার্বনটির ফসফেটবিহীন হয় বা মুক্ত থাকে তাহলে সেদিকটিকে 3' বলে চিহ্নিত করা হয়। লেখার সময় ডি. এন. এ শৃঙ্খলকে 5'–3' বা 3'–5' বলে দিকনির্দেশ করা হয়। ফসফেট পরমাণুটি pH7-এ ধনাত্মক চার্জবিশিষ্ট ফলে এটি অ্যাসিডধর্মী।

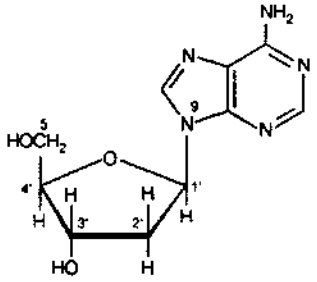
চারটি বেসের সাপেক্ষে নামগুলি নিম্নরূপ :

নাইট্রোজেনঘটিত বেস (Nitrogenous base)	নিউক্লিওসাইড (Nucleoside)	নিউক্লিওটাইড (Nucleotide)
অ্যাডিনিন	ডিঅক্সিঅ্যাডিনোসিন	ডিঅক্সিঅ্যাডিনাইলেট বা ডিঅক্সিঅ্যাডিনাইলিক অ্যাসিড
গুয়ানিন	ডিঅক্সিগুয়ানেসিন	ডিঅক্সিগুয়ানাইলেটা বা ডিঅক্সিগুয়ানাইলিক অ্যাসিড
সাইটোসিন	ডিঅক্সিসাইটিডিন	ডিঅক্সিসাইটিডাইলেট বা ডিঅক্সিসাইটিডাইলিক অ্যাসিড
থায়ামিন	ডিঅক্সিথায়ামিডিন	ডিঅক্সিথাইমিডাইলেট বা ডিঅক্সিথাইমিডাইলিক অ্যাসিড

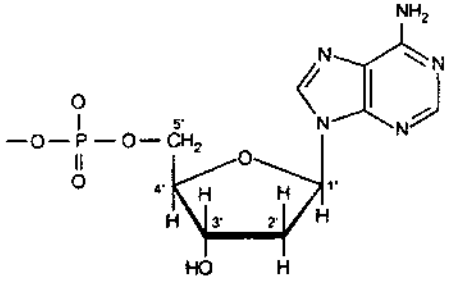


অ্যাডিনিন (A)

নাইট্রোজেন বেস

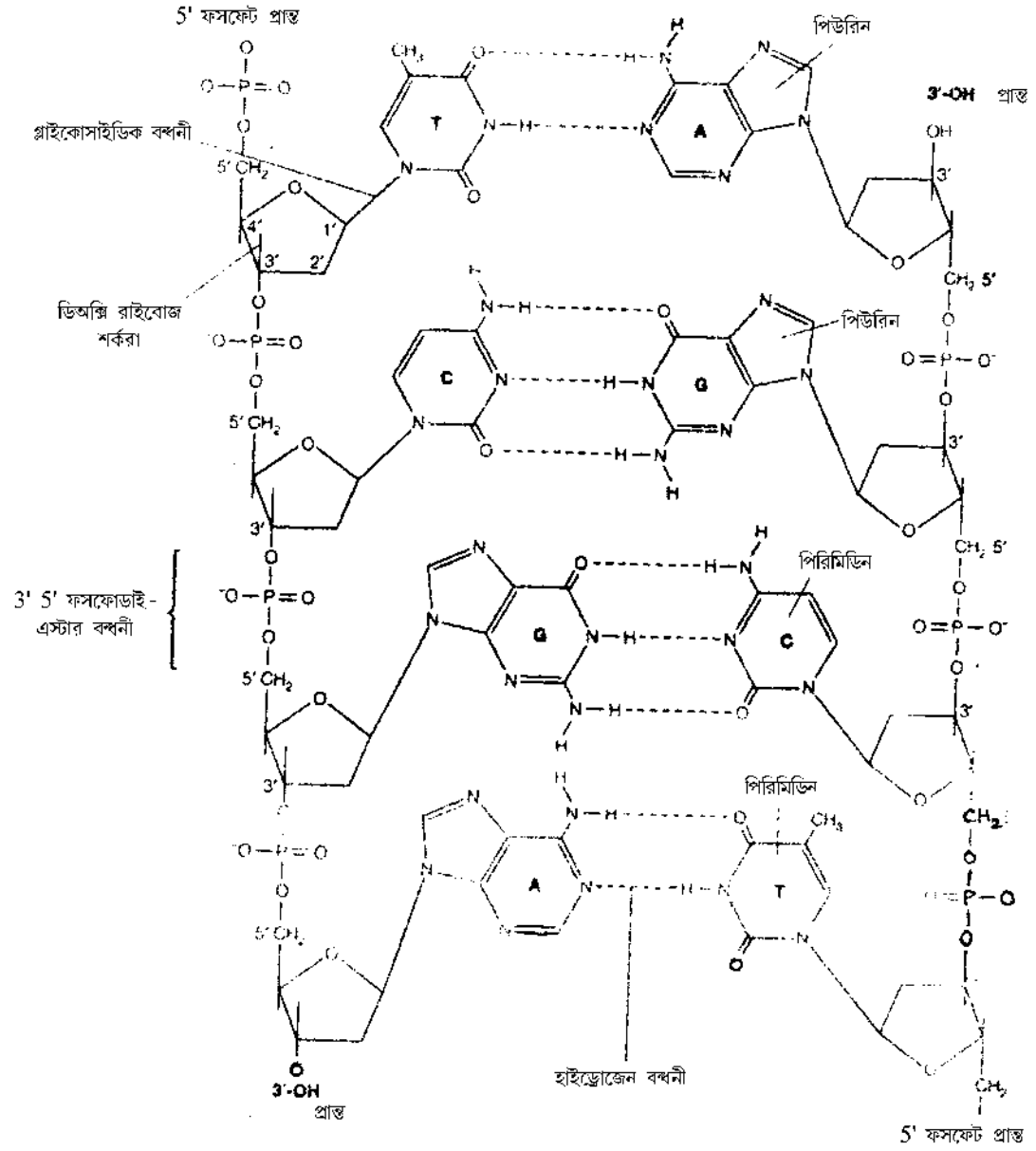


নিউক্লিওসাইড



নিউক্লিওটাইড

চিত্র 3 : বেস নিউক্লিওসাইড ও নিউক্লিওটাইড চিত্রের মাধ্যমে তুলনামূলক আলোচনা করা হল।



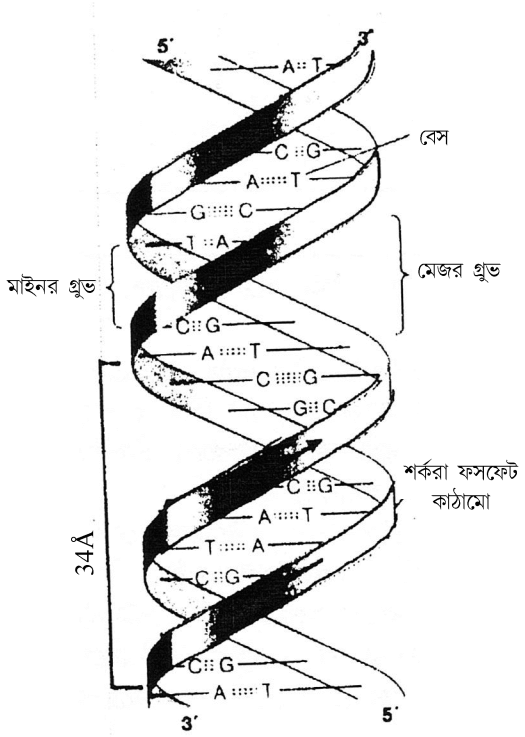
চিত্র **4 :** ডি. এন. এ. শৃঙ্খলের দুটি তন্ত্র এইভাবে পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে।

7.3.1 ওয়াটসন ও ক্রিকের মডেল

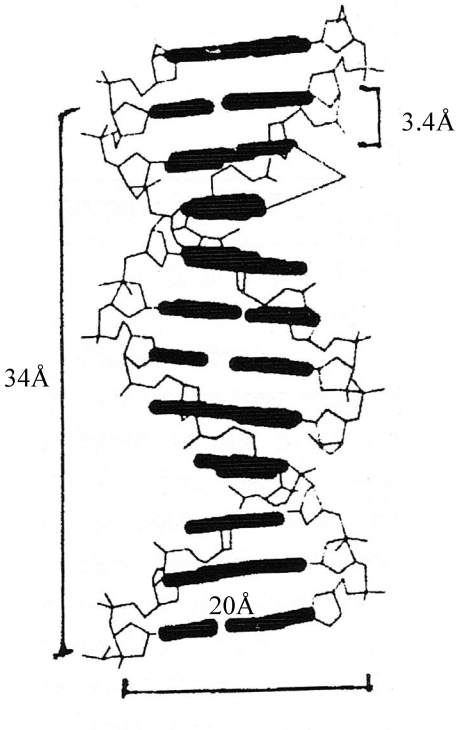
1953 সালে ওয়াটসন ও ডি. এন. এ-এর একটি ত্রিমাত্রিক গঠন বর্ণনা করেন। তাঁদের মডেল অনুযায়ী শৃঙ্খলটি নিম্নরূপ—

(1) ডি. এন. এ শৃঙ্খলটি দ্বিপাকচক্রী বা দ্বিতন্ত্রী (Double helix or double stranded) একটি তন্ত্রী আর একটি তন্ত্রীকে অক্ষ বরাবর বেষ্টন করে থাকে— অনেকটা ঘোড়ানো লোহার সিঁড়ি বা স্ক্রুয়ের মতো। বেষ্টিত তন্ত্রী অক্ষের সাপেক্ষে ডানমুখী (right handed)। তন্ত্রী দুটি পরস্পরের বিপরীত অভিমুখী (complementary) অর্থাৎ একটি তন্ত্রী 5' – 3' অভিমুখী হলে অন্যটি 3'–5'।

(2) মনে করা যাক্ যে সিঁড়ির ধাপগুলি নাইট্রোজেন বেস দিয়ে তৈরি। নাইট্রোজেন বেসগুলির একটি বিশেষ সজ্জাবিন্যাস আছে। একটি তন্ত্রীতে কোনো একটি পিউরিন থাকলে অপর তন্ত্রীতে ঐ ধাপে একটি পিরিমিডিন বেস থাকে। অর্থাৎ অ্যাডিনিন থায়ামিনের সাথে যুক্ত থাকবে আবার গুয়ানিন সাইটোসিনের সাথে জোড় বন্ধন করবে। সাধারণত এই নিয়মের ব্যতিক্রম হয় না-হলেও ডি. এন. এ শৃঙ্খল একটি বিশেষ পদ্ধতিতে তা শুধরে নিতে পারে। পদ্ধতিটিকে বলা হয় ডি. এন. এ রিপেয়ার (DNA repair mechanism) পদ্ধতি বা ডি. এন. এ শৃঙ্খল মেরামত পদ্ধতি।



চিত্র 5a: দ্বিতন্ত্রী ডি. এন. এ শৃঙ্খল তন্ত্রীদুটি বিপরীত অভিমুখী



চিত্র 5b: ওয়াটসন ও ক্রিকের ত্রিমাত্রিক ডি. এন. এ মডেলকে সামনে থেকে অনেকটা এরকম দেখায়।

7.3.2 চারগাফের সূত্র

1950 খ্রিস্টাব্দে বিজ্ঞানী এরউইন চারগাফ (Erwin Chargaff) ডি. এন. এ. শৃঙ্খলের গঠনশৈলীতে বিশেষ কতকগুলি নিয়ম লক্ষ্য করেন। এগুলিকে একত্রে বলা হয় "চারগাফের সূত্র" বা Chargaff's rule. নিয়মগুলি হল—

1. একটি শৃঙ্খলে পিউরিন বেসের সমষ্টিগত সংখ্যা সর্বদা পিরিমিডিন বেসের সমষ্টিগত সংখ্যার সমান হবে।

2. শৃঙ্খলে অ্যামাইনো বেসের সমষ্টি (অ্যাডিনিন ও সাইটোসিন) কিটোবেসের সমষ্টির সমান হবে (গুয়ানিন ও থায়ামিন) তবে কিছু কিছু ক্ষেত্রে এই নিয়মের ব্যাতিক্রম হয় যেমন গমের ডি. এন. এ-তে গুয়ানিন সাইটোসিনের থেকে বেশি পরিমাণে থাকে। তবে সেক্ষেত্রে সাইটোসিনের বদলে 5-মিথাইল-সাইটোসিন থাকে (5-methyl-cytosine) আবার ϕx 174 ভাইরাস বা ঐ ধরনের কলিফাজ ভাইরাসের ডি.এন.এ-তে অ্যাডিনিন থায়ামিনের সমপরিমাণে থাকে না আবার গুয়ানিন সাইটোসিনের সমপরিমাণে থাকে না।

3. অ্যাডিনিন-থায়ামিন (A–T) এবং গুয়ানিন-সাইটোসিনের (G–C) এর পরিমাণের উপর ভিত্তি করে DNA শৃঙ্খল দুধরনের এদের A–T সংখ্যাতিরিক্ত A–T rich ডি. এন. এ অথবা G–C সংখ্যাতিরিক্ত ডি. এন. এ (G–C rich) বলে অভিহিত করা হয়। দেখা যায় যে G–C এর পরিমাণের উপর ডি. এন. এ শৃঙ্খলের কিছু ভৌতধর্ম নির্ভর করে। যেমন সিজিয়াম ক্লোরাইড ($CsCl_2$) দ্রবণে ডি. এন. এ শৃঙ্খলের প্লাবিক ঘনত্ব (bouyant density)* নির্ভর করে ওই শৃঙ্খলের গুয়ানিন ও সাইটোসিনের পরিমাণের উপর।

4. বেসের তলটি অক্ষতলের অভিলম্ব বরাবর। শর্করাটি নাইট্রোজেন বেসের সাথে প্রায় সমকোণে আলম্ব থাকে। নাইট্রোজেন বেসগুলি অক্ষের দিকে বিন্যস্ত থাকে এবং ফসফেট ও শর্করাটি অক্ষের বাইরের দিকে থাকবে। ডি. এন. এ শৃঙ্খলটির ব্যাস প্রায় 20 Å (1Å = 10^{-10} m)। একটি বেস ও অপর আর একটি বেসের মধ্যবর্তী দূরত্ব প্রায় 3.4 Å। এরকম 10 টি বেস পরপর থাকলে ডি. এন. এ শৃঙ্খলটি অক্ষবরাবর 360° কোণে ঘুরে যায়। অর্থাৎ একবার ঘূর্ণনে 10 টি বেসের সমষ্টিগত দূরত্ব হয় প্রায় 34 Å। প্রতিবার 360° ঘূর্ণনের ফলে ডি. এন. এ শৃঙ্খলে দুটি খাঁজের সৃষ্টি হয়। বড় খাঁজটিকে বলা হয় **মেজর গ্রুভ** (Major Groove) এবং ছোটো খাঁজটিকে বলা হয় **মাইনর গ্রুভ** (Minor Groove)। বড়ো খাঁজটির মাপ 22 Å এবং ছোটো খাঁজটির মাপ 12 Å।

5. ডি.এন.এ শৃঙ্খলের একটি তন্ত্রীর নাইট্রোজেনবেস অপর তন্ত্রীর নাইট্রোজেন বেসের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে। অ্যাডিনিন ও থায়ামিনের মধ্যে দুটি হাইড্রোজেন বন্ধনী (A = T) এবং গুয়ানিন ও সাইটোসিনের মধ্যে তিনটি (G ≡ C) হাইড্রোজেন বন্ধনী থাকে। ওয়াটসন ও ক্রিকের প্রস্তাবিত ডি. এন. এ-কে বর্তমানে B-DNA (বি. ডি. এন. এ) বলে আখ্যা দেওয়া হয়েছে। বিংশ শতাব্দীর শেষের দিকে অন্য আরও কয়েকরকমের ডি. এন. এ আবিষ্কৃত হয়েছে। সেগুলি সম্পর্কে পরের পরিচ্ছদে আলোচনা করা হবে।

---

* প্লাবিক ঘনত্ব ঃ সিজিয়াম ক্লোরাইড একটি বিশেষ দ্রবণ। এই দ্রবণে দ্রাব্য পদার্থের মিশ্রণ নিয়ে যদি অতিরিক্ত অপকেন্দ্রিক বলে (Centrifigal force) ঘোরানো হয় তবে দেখা যায় যে দ্রাব্য পদার্থের ভরের উপর নির্ভর করে পদার্থগুলি বিভিন্ন স্তরে আলাদা হয়ে যায়। একইভাবে শৃঙ্খলের গুয়ানিন ও সাইটোসিনের পরিমাণের উপর নির্ভর করে বিভিন্নরকম DNA—কে এইভাবে আলাদা করা যায়।

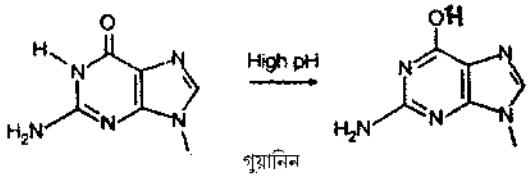
। অ্যাংস্ট্রম (1Å) = 10^{-10} মিটার দৈর্ঘের একভাগ।

। ন্যানোমিটার (1nm) = 10^{-9} মিটার দৈর্ঘের একভাগ।

7.4 ডি. এন. এ-এর ভৌত ধর্ম

(1) ডি. এন. এ শৃঙ্খলকে যদি জোড়ালো অম্ল যেমন পারক্লোরিক অ্যাসিড ($HClO_4$) দিয়ে 100^0C উত্তপ্ত করা যায় তাহলে নাইট্রোজেন বেস, শর্করা ও ফসফেট প্রভৃতি উপাদানগুলি বিচ্ছিন্ন হয়ে যায়। যদি ডি. এন. এ শৃঙ্খলকে কমগাঢ়ত্বের অম্ল দিয়ে (pH 3–4, dilute acid) বিক্রিয়া করানো হয় তবে নাইট্রোজেনবেস, ডিঅক্সিরাইবোজ ও ফসফেটগুলি বিশেষ বিশেষ অংশে বিচ্ছিন্ন হয়। যেমন পিউরিন ও ডিঅক্সিরাইবোজের মধ্যের গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীটি ছিন্ন হয়ে যায় এরকম পিউরিনাবিহীন ডি. এন. এ শৃঙ্খলকে অপিউরিনিক (apurinic) নিউক্লিক অ্যাসিড বলে। এই পদ্ধতি অনুসরণ করেই কোনো কোষে কত পরিমাণ ডি. এন. এ আছে তা মাপা হয়।

(2) ক্ষারের সংস্পর্শে ডি. এন. এ শৃঙ্খলের প্রতিক্রিয়া— ক্ষারের সংস্পর্শে ডি. এন. এ শৃঙ্খলের দ্বিতন্ত্রী অবস্থা ভেঙে গিয়ে একতন্ত্রী হয়ে যায় এই পদ্ধতিকে বলা হয় ডিনেচারেশন (denaturation)। এক্ষেত্রে যদি



চিত্র 6 a: গুয়ানিন বেসের কিটো গ্রুপটি (= CO) ইনোল (= C - OH) অবস্থায় পরিবর্তিত হয়েছে।

চিত্র 6 b : ডি. এন. এ দ্বিতন্ত্রী অবস্থা থেকে একতন্ত্রী অবস্থায় পরিণত হয়।

দ্রবণের pH 8.0 এর মতো হয় তাহলে গুয়ানিন চক্রের "কিটো" (Keto) অবস্থাটি "এনোল" (enol) অবস্থায় পরিবর্তিত হয়ে য়ায়। (চিত্র 6 a)

(3) ডি. এন. এ শৃঙ্খলকে 85–95°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করলেও দ্বিতন্ত্রী অবস্থা বিচ্ছিন্ন হয়ে একতন্ত্রীতে পরিণত হয়। এই অবস্থাকে ডিনেগরেশন বা গলন বলে (melting)। এই তাপমাত্রা সীমার মধ্যবিন্দুকে "গলন তাপমাত্রা" বা "melting temperature" বলা হয়, সংক্ষেপে "Tm" বলে অভিহিত করা হয়। এই Tm এর মান, শৃঙ্খলের নাইট্রোজেন বেসের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। যেমন যদি কোনো শৃঙ্খলে শতকরা 40 ভাগ গুয়ানিন থাকে তবে তার Tm হয় 87°C আবার যদি শতকরা 60 ভাগ গুয়ানিন থাকে তাহলে Tm হয় প্রায় 95°C।

(4) ডি. এন. এ. শৃঙ্খলের বিশেষ বৈশিষ্ট্য হল যে তন্ত্রী দুটিকে যেমন আলাদা করা যায় সেরকম যে কারণে তন্ত্রী দুটি বিচ্ছিন্ন হয়েছে সেই কারণটিকে সরিয়ে নিলে আবার পরস্পরের সাথে জুড়ে যায়। এই জুড়ে যাওয়ার পদ্ধতিতে বলা হয় রিনেচারেশন (Renaturation)। তবে মনে রাখা প্রয়োজন যে একটি তন্ত্রী অপর আর একটি তন্ত্রীর পরিপূরক বা Complementary হবে এবং অ্যাডিনিন সমসময় থায়মিনের সাথে

এবং গুয়ানিন সর্বদা সাইটোসিনের সাথে জোড় বাঁধবে। নাইট্রোজেন বেসগুলির পরস্পরের সাথে জুড়ে যাওয়াকে বলা হয় অ্যানিলিঙ (Annealing) এবং দুটি তন্ত্রীর এই জুড়ে যাওয়া অবস্থাকে বলা হয় হাইব্রিডাইজেশন বা Hybridzation.

7.5 ডি. এন. এ-এর প্রকারভেদ : A, B ও Z ধরণ

ওয়াটসন ও ক্রিকের মডেলের উপর ভিত্তি করে যে ডি. এন. এ সম্পর্কে এতক্ষণ আলোচনা করা হল তাকে প্রথাগতভাবে আমরা 'B'-ডি. এন. এ নামে অভিহিত করি। এছাড়াও প্রকৃতিতে আমরা বিভিন্নরকমের ডি. এন. এ পেয়ে থাকি। তবে বেশীরভাগ ক্ষেত্রেই প্রাকৃতিক বিপর্যয় বা কোনো বিশেষ কারণে যেমন কিছু জৈবদ্রবণে দ্রবীভূত থাকলে, গাঢ় লবণের দ্রবণে দ্রবীভূত থাকলে বা প্রোটিন মিশ্রিত দ্রবণে দ্রবীভূত হলে পরিচিত 'B' ধরন থেকে বিচ্যুত হয়ে শৃঙ্খলের কিছু কিছু গঠনগত পার্থক্য দেখা যায়। এই বৈচিত্র্যগুলি সাধারণত নিম্নলিখিত কারণে হয়—

(a) প্রতি আবর্তে নাইট্রোজেন বেস জোড়ার সংখ্যা (অর্থাৎ 10 এর থেকে কম বা বেশি)

(b) তন্ত্রী অক্ষের সাপেক্ষে নাইট্রোজেন বেসের ঘূর্ণনের কোণ

(c) একটি নাইট্রোজেন বেস জোড়া থেকে অপর আর একটি বেসজোড়ার মধ্যকার দূরত্ব।

ঘটনাটিকে এইভাবে তুলনা করলে বোধ হয় ভালো বোঝা যায়—

আপনি লোহার ঘোড়ানো সিঁড়ির ধাপ বরাবর উপরে উঠছেন, লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে একটি ধাপ সিঁড়ির অক্ষের সাথে একটি কোণ করে আছে যা B-DNA এর ক্ষেত্রে 34·6° — এটি হল অক্ষের সাপেক্ষে বেসের ঘূর্ণনের কোণ। B – ডি. এন. এ-তে এরকম 10.4 টি ধাপ অতিক্রম করলে এক আর্বতে 360° ঘোরা হয়ে যায়। আবার দেখা যায় যে এই কৌণিক আবর্তের সাথে সাথে এক ধাপ থেকে আর এক ধাপ উঠলে কিছুটা স্থানিক উন্নতি হয়— এটি হল একটি নাইট্রোজেন বেস জোড়া থেকে আর একটি বেসজোড়ার মধ্যেকার দূরত্ব।

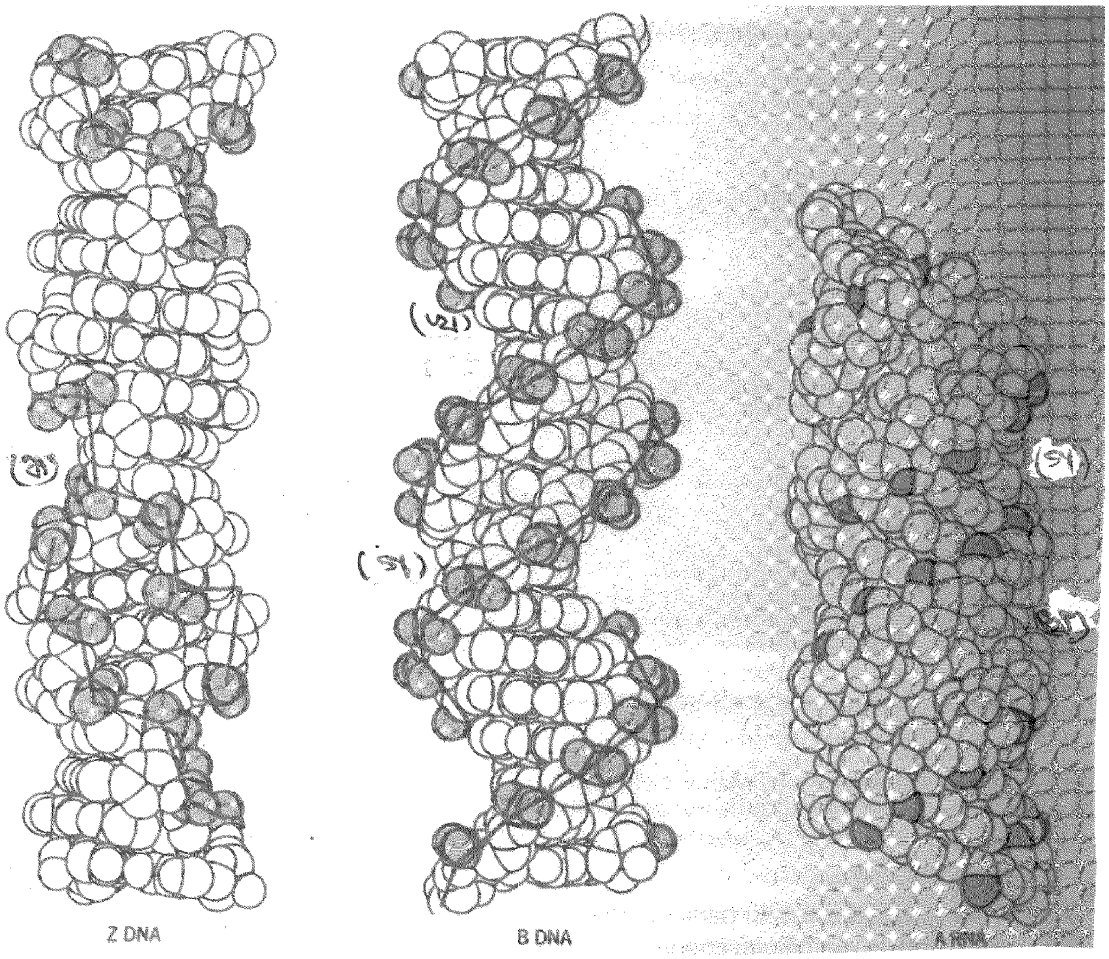
বিভিন্ন রকমের ডি. এন. এ শৃঙ্খলের বৈশিষ্ট্যগুলি নীচের সারণিতে উল্লেখ করা হল —

বিভিন্ন ধরন	অক্ষের সাপেক্ষে বেসজোড়ার ঘূর্ণনের কোণ	প্রতি আবর্ত বেসজোড়ার সংখ্যা	দুটি বেসজোড়ার মধ্যবর্তী দূরত্ব	তন্ত্রীর ব্যাস	অক্ষের সাপেক্ষে সমগ্র তন্ত্রীর আনত কোণ
B	$+ 34·6^0$	10·4	3·38 Å	19Å	0^0
A	$+ 34·7^0$	11	2·56 Å	23 Å	20^0
Z	$- 30·0^0$	12	5·71 Å	18 Å	—

সারণিতে '+' এর অর্থ শৃঙ্খলটি অক্ষের সাপেক্ষে দক্ষিণাবর্তী বা ডানমুখী (right-handed), '–' এর অর্থ বামাবর্তী বা বামমুখী (left handed)।

মনে হতে পারে সারণিতে ''প্রতি আবর্তে বেসজোড়ার সংখ্যাটি' ভগ্নাংশ কেন? ছবিতে শৃঙ্খলের ত্রিমাত্রিক গঠনটি পর্যবেক্ষণ করলে দেখা যায় যে একটি তন্ত্রী আর একটি তন্ত্রীর উপর দিয়ে জড়িয়ে আছে সেক্ষেত্রে এক আবর্তে 360^0 হতে গেলে বেসজোড়ার সংখ্যা ভগ্নাংশ হয়।

A – ডি. এন. এ — এই ধরনের ডি. এন. এ শৃঙ্খলটি অনেক বেশি ঘনসন্নিবেশিত (compact)। অক্ষের সাপেক্ষে বেসজোড়াগুলি 'B' ডি. এন. এ-এর মতো শায়িত থাকে না বরং কিছুটা আনত থাকে। A – ডি. এন. এ তে মাইনর গ্রুভ বা ছোটো খাঁজ এবং বড়ো খাঁজ বা মেজর গ্রুভের মধ্যে খুব পার্থক্য থাকে না ব্যাসও বেশি।



চিত্র 7 : বিভিন্ন রকমের ডি. এন. এ।
(ক) খাঁজ, (খ) বড় খাঁজ, (গ) ছোট খাঁজ

Z – ডি. এন. এ — এই ধরনটি বামমুখী, কিন্তু A ও B সবগুলিই ডানমুখী। ব্যাস সবচেয়ে কম। Z–ডি. এন. এ-তেও ছোটো খাঁজ বা মাইনর গ্রুভ থাকে না, কেবল একরকম খাঁজ থাকে। আমরা (9.3 পরিচ্ছেদে) জানি যে ডি. এন. এ ঋণাত্মক ধর্মী। তবে Z ডি. এন. এ B–ডি. এন. এ-এর তুলনায় অনেক বেশি ঋণাত্মক চার্জ বিশিষ্ট।

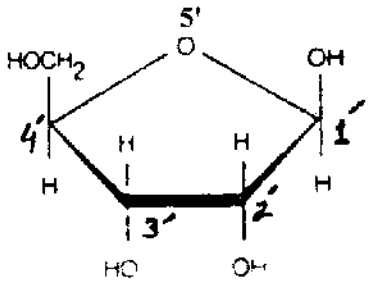
উপরিউক্ত ডি. এন. এ এর ধরনগুলি ছাড়াও আরও দুরকমের ডি. এন. এ আমরা পেয়ে থাকি। এগুলি হল D–ডি. এন. এ এবং E–ডি. এন. এ। এগুলিতে গুয়ানিন নাইট্রোজেন বেস থাকে না এবং এক আর্বতে এদের বেসজোড়ার সংখ্যাও কম— যেমন, D – ডি. এন. এ-এর ক্ষেত্রে 8টি E – ডি. এন. এ-এর ক্ষেত্রে 7·5 টি হয়। তবে এই ধরনটি সম্বন্ধে এখনও খুববেশি জানা যায় নি। বর্তমানে গবেষণা চলছে।

7.6 আর. এন. এ.-এর রাসায়নিক গঠন

আর. এন. এ, ডি. এন. এ-র মতোই, কার্বন (C), নাইট্রোজেন (N), হাইড্রোজেন (H) অক্সিজেন (O) ফসফরাস (P) সমন্বিত একটি বিশেষ ধরনের অণু থাকে আমরা বলি নিউক্লিক অ্যাসিড।

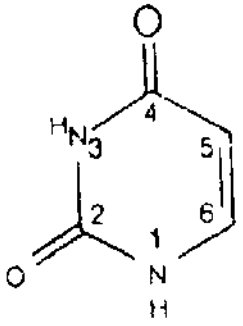
(a) নাইট্রোজেন বেস : আর. এন. এ চার রকমের নাইট্রোজেন বেস নিয়ে গঠিত শৃঙ্খল। এগুলি হল অ্যাডিনিন (Adenine), গুয়ানিন (Guanine), সাইটোসিন (Cytosine) এবং ইউরাসিল (Uracil) ডি. এন. এ-এর থায়ামিনের (Thyamine) এর পরিবর্তে আর. এন. এ.-তে থাকে ইউরাসিল। অ্যাডিনিন ও গুয়ানিন একত্রে পিউরিন এবং সাইটোসিন ও ইউরাসিলকে একত্রে বলা হয় পিরিমিডিন।

(b) শর্করা : আর. এন. এ. এর শর্করাটিও পাঁচটি কার্বনবিশিষ্ট রাইবোজ শর্করা। তবে 2নং কার্বনটিতেও হাইড্রক্সিল মূলকটি থাকে।



রাইবোজ

চিত্র – 8 : 5 কার্বনযুক্ত রাইবোজ শর্করা লক্ষণীয় বিষয় 2 নং কার্বনটিতে হাইড্রক্সিল মূলক বর্তমান।



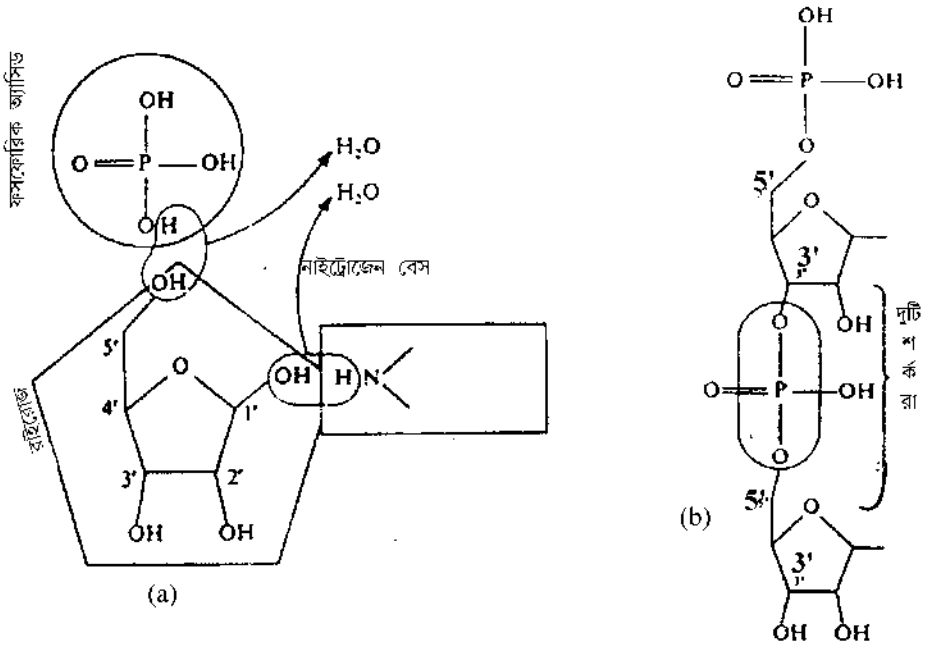
ইউরাসিল

চিত্র – 9 : ইউরাসিল নাইট্রোজেন বেস।

এখানে বোঝার সুবিধার জন্য বেস চক্রের নাইট্রোজেন ও কার্বনগুলিকে 1. 2. 3. 4 ..... ইত্যাদিতে প্রকাশ করা হয়, কিন্তু শর্করার কার্বনগুলি 1'. 2'. 3'..... ইত্যাদি প্রকাশ করা হল।

একটি নাইট্রোজেন বেস, একটি শর্করা অণুর সাথে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী বা বন্ডের মাধ্যমে যুক্ত হয় নিউক্লিওসাইড গঠন করে। ইউরাসিল সমন্বিত নিউক্লিওসাইডটির নাম ইউরিডিন (Uridine)। বাকি নাইট্রোজেন বেস সমন্বিত নিউক্লিওসাইডগুলির নাম আমরা আগেই জেনেছি। এখানে বলে রাখা ভালো যে, ইউরাসিল যেহেতু পিরিমিডিন সেহেতু ডি. এন. এ.-এর নিয়মেই চক্রের 1নং নাইট্রোজেনটি শর্করা 1নং কার্বনের সাথে গ্লাইকোসাইডিক বন্ড বা বন্ধনী গঠন করে।

(c) ফসফেট : আমরা আগেই জেনেছি যে ডি. এন. এ-এর মত নিউক্লিওসাইডটির শর্করার 3' ও 5' কার্বনের হাইড্রক্সিল মূলকটি ফসফেটের উপস্থিতিতে এস্টার তৈরি করে। একটি শর্করা অণুর 3' নং কার্বনের সাথে ফসফেট যুক্ত হলে সেই ফসফেটটিই পরের শর্করা-অণুর 5' কার্বনের সাথে যুক্ত হয়ে ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী তৈরি করে। এই অবস্থাকে নাইট্রোজেনবেসের সাপেক্ষে **নিউক্লিওটাইড** বলা হয়। যেমন, ইউরাসিল বেস সমন্বিত নিউক্লিওটাইডটির নাম ইউরিডিন 5' ফসফেট বা অন্যভাবে বলা যায় ইউরিডাইলিক অ্যাসিড (Uridylic acid)।

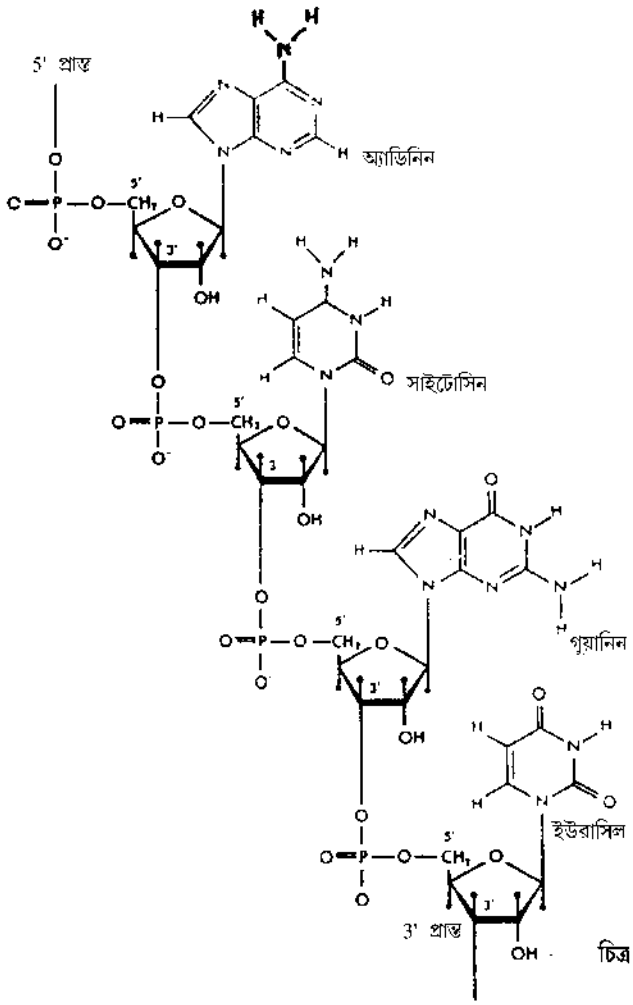


চিত্র – 10 :(a) শর্করার 5' কার্বনের হাইড্রক্সিল মূলক ফসফেটের উপস্থিতিতে জল অণু বার করে দিয়েকিভাবে এস্টার তৈরি করে দেখানো হল, একইভাবে নাইট্রোজেন বেসটি জলঅণু বার করে দিয়ে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী তৈরি করে।

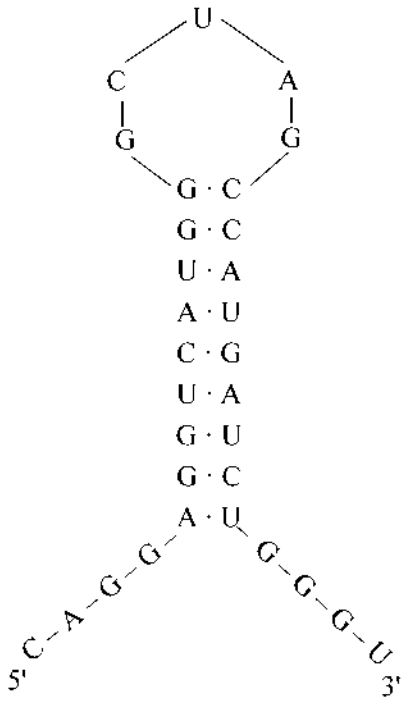
(b) দেখানো হল ফসফোডাইএস্টার ব্রীজটি তৈরি হয়েছে একটি শর্করার 3' নং কার্বন এবং অপর আর একটি শর্করার 5' কার্বনের মধ্যে।

7.7 আর. এন. এ-এর গঠনশৈলী

আর. এন. এ. **সাধারণত একতন্ত্রী** (Single Stranded)* তবে কোনো **বিশেষ অবস্থায়** নাইট্রোজেন বেসগুলি পরস্পরের সাথে জুড়ে দ্বিতন্ত্রী অবস্থা তৈরি করতে পারে কিন্তু **তা ক্ষণস্থায়ী**। সেক্ষেত্রে সাধারণত অ্যাডিনিন(A),



চিত্র – 11 : RNA পলিনিউক্লিওটাইডের কিছু অংশ।



চিত্র – 12 : আর. এন. এ.-এর একটি তন্ত্রী দুটি তন্ত্রীতে পরিণত হয়েছে, এক্ষেত্রে কখনও কখনও G, U-এর সাথে বন্ধনী তৈরি করতে পারে। (.) দ্বারা হাইড্রোজেন বন্ধনী দেখানো হল।

ইউরাসিলের (U) সাথে এবং গুয়ানিন (G), সাইটোসিনের (C) সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনীর দ্বারা যুক্ত হয় ও একইভাবে অ্যাডিনিন ও ইউরাসিলের মধ্যে দুটি হাইড্রোজেন বন্ধনী এবং সাইটোসিন ও গুয়ানিনের সাথে তিনটি হাইড্রোজেন

* কয়েকটি ভাইরাস দ্বিতন্ত্রী আর. এন. এ দেখা যায়। যেমন : রোটাভাইরাস, রিওভাইরাস, ϕ6-ফাজ ইত্যাদি।

বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে। এখানে মনে রাখতে হবে যে ডি. এন. এ. দ্বিতন্ত্রী গঠন করার সময় জোড়বন্ধনের ধরাবাঁধা নিয়ম (অর্থাৎ A = T এবং G = C) আর. এন. এ.-এর ক্ষেত্রে সবসময় খাটে না, কম হলেও অনেকসময় G = U এর সাথেও জোড় বাধতে পারে। নীচে এরকম একটি দ্বিচক্রী (double-helical) আর. এন. এ. দেখানো হয়েছে যেখানে একতন্ত্রীবিশিষ্ট একটি আর. এন. এ. নিজের অক্ষের সাপেক্ষে বিশেষ বন্ধনী তৈরী করে দ্বিচক্রীতে পরিণত হয়েছে। এই বিশেষধরণের বন্ধনীতে বলা হয় **হেয়ারপিন লুপ** (Hairpin loop) অর্থাৎ বন্ধনীটি চুলের কাঁটার মতো দেখতে। এরকম অবস্থায় A ও U এবং G ও C এর পরিমাণের অনুপাতে ভিন্নতা দেখা দেয়। ডি. এন. এ.-এর মতোই আর. এন. এ-কে 5' – 3' দিকনির্দেশ করেই লেখা হয়। আর. এন. এ. এর এইরকম প্রাথমিক গঠন (Primary Structure) ছাড়াও বহুরকম দ্বিমাত্রিক (Secondary Structure) ও ত্রিমাত্রিক (Tertiary Structure) গঠন দেখা যায়।

আর. এন. এ.-এর দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক গঠন : আর. এন. এ. একতন্ত্রী হওয়ার দরুন এতে স্বততঃই দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক গঠন তৈরি হয়। তন্ত্রীতে বেসগুলির পারস্পরিক **আকর্ষণ ও বিকর্ষণের ফলে** এই বিশেষ গঠনগুলি সৃষ্টি হয়ে থাকে। যেমন— (a) আর. এন. এ. এ যখন দ্বিতন্ত্রী অংশ তৈরি করে, এরকম দুটি বা তার বেশি দ্বিতন্ত্রী অংশ পরস্পরের সাথে জুড়ে যেতে পারে। এই বিশেষ অংশটি তখন হয় ত্রিমাত্রিক এবং একে বলা হয় **স্টেম জাংশন** (Stem junction)।

(b) আবার, যখন দ্বিতন্ত্রী অংশের সাথে একতন্ত্রী অংশের বেসগুলি বন্ধনী দ্বারা সম্পর্ক তৈরি করে, তখন তাকে বলা হয় **সিউডোনট্** (Pseudoknot) ইত্যাদি।

দেখা যায় যে, আর. এন. এ.-এর এই দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক গঠন কাঠামোকে নিয়ন্ত্রিত করে কতকগুলি বিশেষ ধরনের প্রোটিন যাদের বলা হয় **মলিকিউলার সেপেরন** (molecular chaperones) বা সেপেরন (chaperon) বা **সেপেরনিন** (Chaperonins) এই ধরনের প্রোটিন প্রথম আবিষ্কৃত হয় ড্রোসোফিলা মাছিতে। বর্তমানে এই সেপেরনগুলির গঠন ও কার্যকারিতা নিয়ে পৃথিবীব্যাপী বহু গবেষণা চলছে।

7.8 আর. এন. এ. এর প্রকারভেদ

কোষে বিভিন্ন রকমের আর. এন. এ. কোষে দেখা যায় যাদের সহযোহিতায় প্রোটিন সংশ্লেষিত হয়। এগুলি প্রধানত mRNA, tRNA এবং rRNA। এছাড়াও কোষে বিভিন্নরকমের আর. এন. এ. পাওয়া যায়, সেগুলি সম্বন্ধে পরে আলোচনা করব। সবরকম আর. এন. এ. লেখার সময় আদ্যক্ষরটিকে ছোট অক্ষরে লেখা হয়। মনে রাখা প্রয়োজন যে, **সবরকমের আর. এন. এ.— ডি. এন. এ. থেকে তৈরি হয়।**

মেসেঞ্জার আর. এন. এ. (Messenger RNA) m RNA	3 – 5%
রাইবোজোমাল আর. এন. এ. (Ribosonal RNA. rRNA)	80%
ট্রান্সফার আর. এন. এ. (transfer RNA. tRNA)	15%

চিত্র 13 : ইউক্যারিওটিক কোষে বিভিন্ন রকম আর. এন. এ.-এর শতকরা অনুপাত।

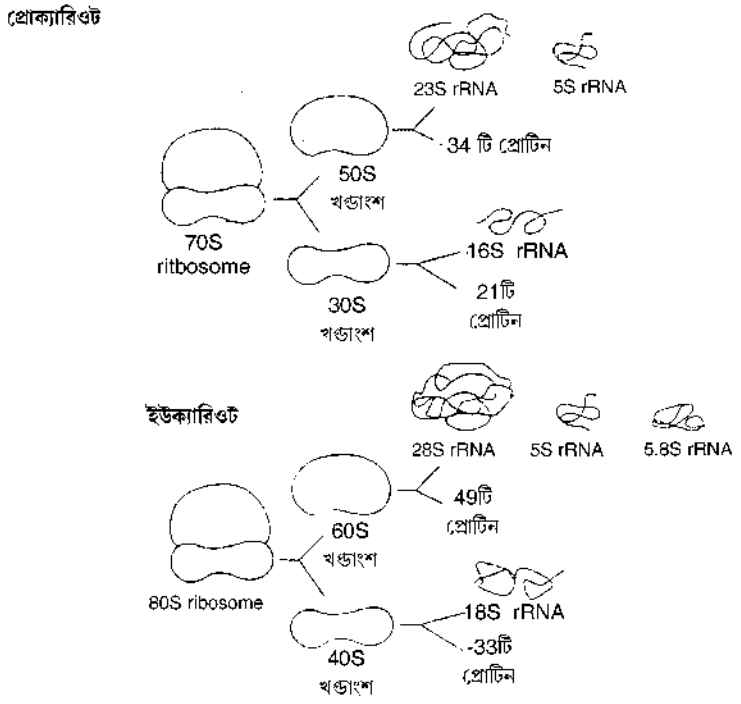
7.8.1 মেসেঞ্জার আর. এন. এ. (mRNA)

যে পদ্ধতিতে ডি. এন. এ. থেকে RNA তৈরি হয় তাকে বলা হয় **ট্রান্সক্রিপশন্**। ট্রান্সক্রিপশনের সময় ডি. এন. এ-এর দ্বিতন্ত্রী অবস্থাটি খুলে যায় এবং প্রতিটি তন্ত্রী আলাদাভাবে mRNA তৈরিতে সাহায্য করে, এক একটি তন্ত্রীকে এখন বলা হয় ছাঁচ বা টেমপ্লেট (Template) যার অনুকরণে বিপরীত ধর্মী (complementary) বেস পরপর মুক্ত হয়ে আর. এন. এ. সংশ্লেষিত হয়। অর্থাৎ ডি. এন. এ.-এর টেমপ্লেট তন্ত্রীটিতে যদি বেস থাকে ACTGA.....ইত্যাদি তাহলে সংশ্লেষিত নতুন m আর. এন. এ-এর বেসগুলি হবে UGACU। সাহায্যকারী এনজাইমটির নাম **আর. এন. এ. পলিমারেজ** (RNA polymerase) m আর. এন. এ. তৈরি হবার পর তা খুবই ক্ষণস্থায়ী— প্রোক্যারিওটিক কোষে (যেমন ব্যাকটিরিয়া) এটি কয়েকমিনিট থাকে; ইউক্যারিওটিক কোষে কয়েক ঘণ্টা বা কয়েকটি বিশেষ ক্ষেত্রে কয়েকদিন থাকে। ইউক্যারিওটিক কোষের নিউক্লিয়াসে সদ্য তৈরী আর. এন. এ.-কে বলা হয় হেটারোজেনাস নিউক্লিয়ার আর. এন. এ. (hn RNA) যা বিভিন্ন মাপের হয়। পরে তা বিশেষ কয়েকটি ধাপে রূপান্তরিত হয়ে নিউক্লিওপ্লাজম থেকে mRNA রূপে কোষের সাইটোপ্লাজমে জমা হয়। প্রোক্যারিওটিক কোষে এক রকমের আর. এন. এ. পলিমারেজ উৎসেচক mRNA, tRNA, rRNA তৈরি করে কিন্তু ইউক্যারিওটিক কোষে তিন রকমের আর. এন. এ.-এর জন্য তিনধরনের আর. এন. এ. পলিমরেজ দেখা যায় যাদের RNA পলিমারেজ I, II ও III নামে অভিহিত করা হয়। আর. এন. এ. পলিমারেজ II এবং III নিউক্লিওপ্লাজমে পাওয়া যায়। এই পলিমারেজ II এনজাইমটি mRNA তৈরিতে অংশগ্রহণ করে। নতুন আর. এন. এ.-টি সংশ্লেষিত হয় 5'–3' এই দিকনির্দেশ অনুযায়ী।

7.8.2 rRNA (রাইবোজোমাল আর. এন. এ.)

আমরা জেনেছি যে— rRNA সাইটোপ্লাজমের কয়েকটি প্রোটিনের সমন্বয়ে কোষের রাইবোজোমগুলি তৈরি

করে। এই রাইবোজোম অঙ্গানুটি প্রোটিন সংশ্লেষে প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে। কোষের নিউক্লিয়াসের ক্রোমোজোমগুলি নিউক্লিওলাস অঞ্চলে একসাথে জড়ো হয়ে **নিউক্লিওলার অরগ্যানাইজার** (Nucleolar Organiser) গঠন করে। rRNA এই নিউক্লিওলার অরগ্যানাইজার অঞ্চলে যুক্ত ক্রোমোজোমগুলির ডি. এন. এ. থেকে তৈরি হয়। নিউক্লিওলাসের আর. এন. এ. পলিমারেজ I এনজাইমটি rRNA তৈরিতে সাহায্য করে।



চিত্র – 14 : প্রোক্যারিওটিক ও ইউক্যারিওটিক কোষের (70S and 80S) রাইবোজোমের অংশগুলিও ইকোনিউক্লিওপ্রোটিনগুলি দেখানো হল।

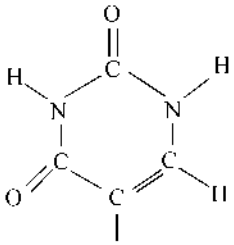
আমরা জানি, প্রোক্যারিওটিক রাইবোজোমগুলি 70S এবং ইউক্যারিওটিক রাইবোজোম 80S প্রকৃতির হয়। 14 চিত্রে রাইবোজোমের বড় ও ছোট অংশগুলি যেধরনের rRNA দিয়ে গঠিত তা দেখানো হল। তবে rRNA এর বৈশিষ্ট্য হল যে এর অংশবিশেষের বেসসজ্জা (base sequence; অর্থাৎ কোন বেসের পরে কোন বেস থাকবে, যেমন AUGCA ইত্যাদি) নির্দিষ্ট থাকে ***E. Coli*** (ব্যাকটিরিয়া) থেকে Elephant (উন্নত শ্রেণীর স্তন্যপায়ী) সবার ক্ষেত্রে। অভিব্যক্তি ধারাপথে এই বেসসজ্জা অপরিবর্তনশীল থাকাকে বিজ্ঞানের ভাষায় আমরা বলি "অতিরিক্ত সংরক্ষিত" বা "Highy conserved", বেসসজ্জা।

7.9 ট্রান্সফার আর.এন.এ.-এর গঠন

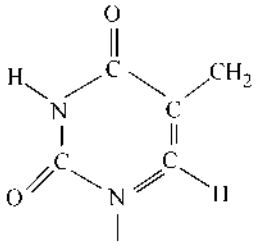
সাইটোপ্লাজমে ছড়িয়ে ছিটিয়ে থাকা অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে tRNA সংঘবদ্ধ করে রাইবোজোমে পরপর বিন্যস্ত করে পূর্ণাঙ্গ প্রোটিনের রূপ দেয়। ফলে প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের জন্য ভিন্ন ভিন্ন tRNA দেখা যায়। t RNA এর অস্তিত্ব প্রথম পর্যবেক্ষণ করেন Crick, পরে এর গঠন বিশ্লেষণ করেন হোয়াগল্যান্ড (Hoagland) 1955 সালে। 1965 সালে রবার্ট হোলে (Robert Holley) ইস্ট ছত্রাকের tRNA এর সমস্ত বেসসজ্জার (base sequence) চিত্র তুলে ধরেন এবং পরবর্তীকালে tRNA-এর দ্বিমাত্রিক মডেল বর্ণনা করেন। এই দ্বিমাত্রিক আকারকে দেখতে অনেকটা ক্লোভার গাছের পাতার মতো দেখতে বলে একে "ক্লোভার লিফ মডেল" (clover leaf model) বলে আখ্যা দেওয়া হয়। পরবর্তীকালে t RNA-এর ত্রিমাত্রিক আকারও আবিষ্কৃত হয়। RNA-এর পলিমারেজ III উৎসেচকটি প্রত্যক্ষভাবে tRNA তৈরিতে সহায়তা করে।

t. আর. এন. এ-এর দ্বিমাত্রিক গঠন (ক্লোভার লিফ্ মডেল) :

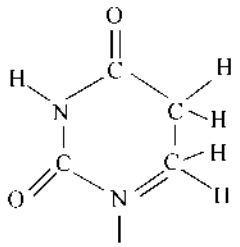
বেসগুলি হাইড্রোজেন বন্ধনীদ্বারা পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে এই মডেল তৈরি করে। tRNA বৈশিষ্ট্য হল স্বাভাবিক বেসগুলি ছাড়াও ওই বেসগুলি থেকেই তৈরি কিন্তু নতুনরকমের কিছু বেস এতে থাকে। যেমন, সিউডোইউরাসিল, রাইবোথায়ামিন, ডাইহাইড্রোইউরিডিন ইত্যাদি।



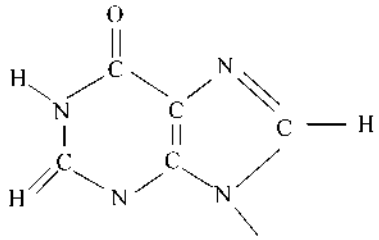
সিউডোইউরাসিল (ψ)



রাইবোথায়ামিন (T)



ডাইহাইড্রোইউরাসিল (D)



ইনোসিন (I)

চিত্র – 15 : tRNA এ তে কিছু অন্যরকম কয়েকটি বেস থাকে— সেগুলি দেখানো হল।

"S" মানে "Svedberg Unit"

t RNA-এর বাহু তিনটিতে বেসগুলি নিম্নরূপ—

(a) **অ্যান্টিকোডনলুপ** [**"কোডন"** হল তিনটি বেসসমন্বিত RNA-এর অংশ যা একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডকে চিহ্নিত করে। এই কোডন যদি GCC হয় তবে tRNA-এর বেসগুলি হবে বিপরীতধর্মী (complementary) অর্থাৎ CGG, এগুলিকেই বলা হয় অ্যান্টিকোডন]। প্রোটিন সংশ্লেষের ট্রান্সলেশন ধাপে tRNA-এর অ্যান্টিকোডনগুলি mRNA-এর কোডনগুলির সাথে জোড় বন্ধন করে। ইনোসিন (I) নামক বেসটি অনেকসময় অ্যান্টিকোডন লুপে থাকে, সেক্ষেত্রে পূর্বোক্ত অ্যাটিকোডনটি CGI হতে পারে।

(b) **D-লুপ বা DHU লুপ (Dihydrouracil) :** এই লুপটিতে ইউরাসিল পিরিমিডিন থেকে তৈরি ডাইহাইড্রোইউরাসিল বেসটি থাকে।

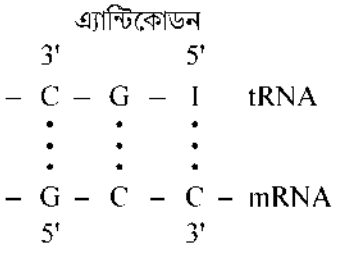
(C) **T-লুপ বা T ψ C লুপ :** এই লুপটিতে যথাক্রমে রাইবোথায়ামিন (ribrthymine)— সিউডোইউরাসিল (Pseudouracil) – সাইটোসিন (Cytosine)

এগুলি ছাড়াও কিছু নতুন বেস যেমন মিথাইলইনোসিন (methylinosin) অ্যান্টিকোডন লুপে থাকতে পারে।

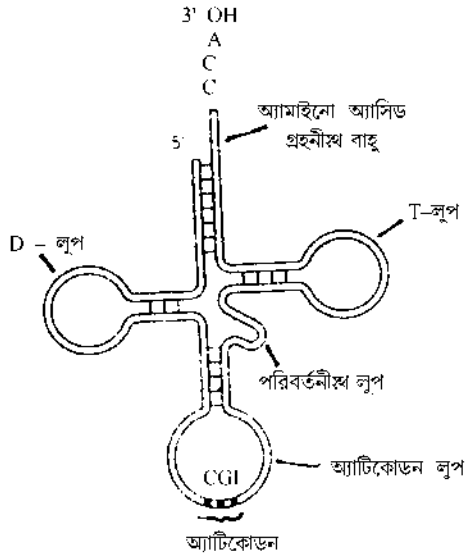
এছাড়া আরও কয়েকটি বৈশিষ্ট্য হল— t RNA-এর 3' OH মুক্ত প্রান্তের সঙ্গে অ্যামাইনো অ্যাসিড যুক্ত হতে পারে। এই প্রান্তে বেসগুলির বিন্যাসক্রম হল 3'–CCA।

t RNA-এর ত্রিমাত্রিক গঠন :

1947 সালে ইষ্ট ছত্রাকের ফিনাইল অ্যালনিন অ্যামাইনো অ্যাসিডটির t RNA পর্যবেক্ষণ করতে গিয়ে আলেজান্ডার রিচ্ (Alexander Rich) এবং আরন ক্লাগ্ (Aaron Klug) t RNA-এর ত্রিমাত্রিক গঠন বর্ণনা করেন। ক্রিস্টালোগ্রাফী (X-ray crystallography) পরীক্ষার মাধ্যমে দেখা যায় যে অণুটি অনেকটা "L" আকৃতি। যার কিছু কিছু প্রান্তে থাকে CCA বেসসজ্জাক্রম এবং অন্যদিকটিতে থাকে অ্যান্টিকোডন লুপ।

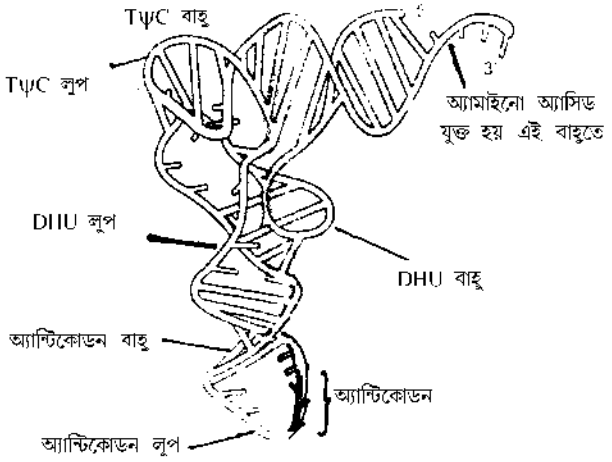


(a), (b), (c) লুপ ছাড়াও অতিরিক্ত আরএকটি লুপ tRNA এতে বর্তমান একটি **পরিবর্তনীয় লুপ** (Variable loop)। এই লুপটি 3–21 নিউক্লিওটাইড সমন্বয়ে গঠিত হয়।



চিত্র – 16 : tRNA এর দ্বিমাত্রিক গঠন (ক্লোভার লিফ্ মডেল)

TψC এবং DHU লুপ দুটি L এর কোনটিতে থাকে। 'L' এর একদিকে বেসগুলি অনুভূমিকভাবে পরস্পরের সাথে যুক্ত থাকে এবং অন্যদিকে বেসগুলি অভিলম্ব বরাবর যুক্ত থাকে।



চিত্র 17: tRNA-এর ত্রিমাত্রিক মডেল

বার্তাবহ আর. এন. এ. (mRNA), রাইবোজোমাল আর. এন. এ. (rRNA) ও ট্রান্সফার আর. এন. এ (tRNA) ছাড়া বেশ কয়েকপ্রকার আর. এন. এ-র কথা জানা গিয়েছে। নিম্নলিখিত সারণী থেকে তাদের সম্বন্ধে জানতে পারবো।

আর. এন. এ	কাজ
1. hn RNA হেটেরোজেনাস নিউক্লিয়ার আর. এন. এ.)	ডি. এন. এ থেকে তৈরি সদ্য mRNA-কে বলা হয় hnRNA. এই hnRNA বিভিন্ন ধাপের মধ্যে দিয়ে রূপান্তরিত হয়ে প্রোটিন সংশ্লেষ উপযোগী m RNA তৈরি করে। এই ধরনের RNA ইউক্যারিওটিও কোষের নিউক্লিয়াসে দেখা যায় এবং বিভিন্নমাপের হয়। এটি জিনের এক্সন (exon) ও ইনট্রন (intron) দুধরনের অংশ নিয়ে তৈরি। পরে ইনট্রন অংশগুলি ছিন্ন হয়ে গিয়ে mRNA তৈরি করে। যে পদ্ধতিতে **অকার্যকারী ইনট্রন কার্যকরী এক্সন** থেকে ছিন্ন হয় সে পদ্ধতিকে বলা হয় **আর. এন. এ. স্পলাইসিং** (RNA splicing)
2. Sn RNA (Small nuclear RNA) or U-RNA (uridine rich RNA)	কমাআনবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট, কম বেসসজ্জাসমন্বিত RNA যা নিউক্লিয়াসের ডি. এন. এ. থেকে তৈরি hnRNA-কে প্রোটিন সংশ্লেষে কার্যোপযোগী mRNA-তে পরিণত হতে সাহায্য করে। অর্থাৎ ইউক্যারিওটিক কোষের নিউক্লিওপ্লাজমের এই RNA ইনট্রনকে ছিন্ন করতে সাহায্য করে। এই SnRNA টিতে 'U'

আর. এন. এ	কাজ
	(ইউরাসিল) বেসটির প্রাচুর্য থাকে বলে এক ইউরিডিন-রিচ্ RNA বা URNA নামেও অভিহিত করা হয়।
3. Sc RNA (Small cytoplamic RNA)	খুব কম আনবিক-গুরুত্ব বিশিষ্ট এইসব আর. এন. এ. সাইটোপ্লাজমে দেখা যায় এবং বিভিন্ন রকম প্রোটিনের সাথে যুক্ত হয়ে রাইবোনিউক্লিওপ্রোটিন বা সংক্ষেপে ScRNP গঠন করে। তবে এদের কার্যকারিতা সম্বন্ধে বিশেষ কিছু জানা না গেলেও দেখা যায় যে, এইসব আর. এন. এ জিনের গুণাগুন প্রকাশকে (gene expression) নিয়ন্ত্রণ করে।
4. অ্যান্টিসেন্স আর. এন. এ. (Antisense RNA) বা mic-RNA (m-RNA interfering compla-mentary RNA.) antisense DNA	নতুন আবিষ্কৃত এই আর. এন. এ প্রোটিন সংশ্লেষকে নিয়ন্ত্রণ করে। এই আর. এন. এ-এর বেসসজ্জা mRNA এর বেসসজ্জার বিপরীতধর্মী (Complementary) হয় এবং mRNA এর সাথে যুক্ত হয়ে দ্বিতন্ত্রী গঠন করে†, কোনো একটি বিশেষ ধরনের প্রোটিনসংশ্লেষকে বাধা দিয়ে সংশ্লেষকে নিয়ন্ত্রণ করে। অনেকসময় mRNA এর বিপরীতধর্মী বেসসজ্জাবিশিষ্ট একতন্ত্রী DNA কেও প্রোটিন সংশ্লেষের নিয়ন্ত্রক হিসাবে ব্যবহার করা হয়, তখন তাকে antisense DNA নামে অভিহিত করা হয়। প্রকৃতিতে প্রধানত ব্যাকটিরিয়াতে এই antisense RNA প্রচুর পাওয়া যায়, তবে কৃত্রিমভাবে মাইক্রোইনজেক্শন্ পদ্ধতি বা বাহকের মাধ্যমে কোষে অ্যান্টিসেন্স প্রবেশ করিয়ে বিশেষ কোনো প্রোটিনের সংশ্লেষকে বন্ধ রাখা যায়। কৃত্রিমভাবে তৈরি অ্যান্টিসেন্স আর. এন. এ. গুলি সাধারণত 20টি অলিগোনিউক্লিওটাইড বিশিষ্ট হয়। বর্তমানে চিকিৎসাশাস্ত্রে এই অ্যান্টিসেন্স আর. এন. এ. ব্যবহার করে রোগ নিরাময়ের চেষ্টা চলছে। এই সংক্রান্ত গবেষণার জন্য 2006 খৃষ্টাব্দের নোবেল প্রাইজে ভূষিত হয়েছেন রাজার কর্ণবার্গ।
5. রাইবোজাইম (Ribozyme)	আর. এন. এ. যখন উৎসেচক রূপে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে তখন তাকে বলা হয় রাইবোজাইম। অর্থাৎ এক্ষেত্রে উৎসেচক প্রোটিন না হয়ে RNA নিজেই সেই কাজ করে। উদাহরণ, সদ্য তৈরি tRNA রাইবোজাইমের সাহায্যে বিভিন্নভাবে রূপান্তরিত হয়ে ট্রান্সক্লেষণের উপযোগী tRNA-তে পরিণত হয়।

আর. এন. এ	কাজ
	মাইটোক্রনডিয়ার মধ্যস্থ ডি. এন. এ.-এর সংশ্লেষেও কয়েকটি রাইবোজাইম অংশগ্রহণ করে। [ক্রোমোজোমের টেলোমিয়ার অঞ্চলের দৈর্ঘ্য বজায় রাখে টেলোমারেজ নামক একটি এনজাইম, সেটিও রাইবোজাইম গোত্রের।]
6. Sno RNA (Small nucleolar RNA)	এটি খুব কম আনবিক গুরুত্ব-বিশিষ্ট, অতিকম বেসসজ্জা সমন্বিত RNA যা নিউক্লিওলাসে তৈরি pre r RNA এর রূপান্তর ঘটিয়ে পরিণত r RNA তৈরিতে সাহায্য করে। এরকম কয়েকটি SNO আর. এন. এ. হল U_1 RNA_1 U_2 RNA_1 U_3 RNA, U_8 RNA, U_{22} RNA ইত্যাদি।
7. ইনিশিয়েটর আর. এন. এ. (initiator RNA)	স্বল্প বেসসজ্জা সমন্বিত আর. এন. এ যা ডি. এন. এ সংশ্লেষের পিছিয়ে থাকা (Lagging Stand) তন্ত্রীটিকে সংশ্লেষে অংশগ্রহণ করতে সাহায্য করে এবং শুরুতে প্রাইমার (Primer) হিসাবে কাজ করে।*
8. টিলোমারেজ আর. এন. এ. (Telomerase আর. এন. এ)	স্বল্পকয়েকটি বেসসজ্জা সমন্বিত RNA যা নিউক্লিয়াসের ক্রোমোজোমের টিলোমেয়ার তৈরিতে অংশগ্রহণ করে। আমরা জানি ক্রোমোজোমের টিলোমেয়ার অংশটিতে বেসসজ্জার পুনরাবৃত্তি (repeatative sequence) হয়। এই বিশেষ অংশটি তৈরি হয় RNA এর তন্ত্রীটিকে কাজে লাগিয়ে।
9. গাইড আর. এন. এ. (g-RNA or guide RNA)	mRNA রূপান্তরের সময়দেখা যায় যে কোনো একটি বেস (যেমন U) mRNA তন্ত্রীটিতে যোগ হয় বা ছিন্ন হয়ে যায়— এই পদ্ধতিকে বলা হয় আর. এন. এ. এডিটিং (RNA-editing)। বর্তমানে এই বিশেষ পদ্ধতিটি উদ্ভিদ, স্তন্যপায়ী প্রাণী, প্রোটোজোয়া প্রভৃতি কোষে আবিষ্কৃত হয়েছে। g-RNA এই বিশেষ পদ্ধতিটিতে প্রত্যক্ষভাবে অংশগ্রহণ করে।

† আমরা জানি, প্রোটিনসংশ্লেষের ট্রান্সক্রিপসনে ও ট্রান্সশ্লেষণে DNA ও RNA উভয়েই একতন্ত্রী অবস্থায় অংশগ্রহণ করে, ফলে দ্বিতন্ত্রী অবস্থা তৈরি হলে সংশ্লেষ ব্যবহৃত হয়।

* ডি. এন. এ. সংশ্লেষ ঃ এ সম্বন্ধে আপনারা বিস্তারিতভাবে অন্য অধ্যায়ে জানবেন। তবে সংশ্লেষের শুরুতে ডি. এন. এ. দ্বিতন্ত্রী অবস্থা খুলে যায় এবং তন্ত্রীদুটি আলাদা আলাদাভাবে সংশ্লেষে অংশ নেয়— একটি আগে এবং একটি পরে। পিছিয়ে থাকা তন্ত্রীটিকে বলা হয় ল্যাগিং স্ট্র্যান্ড (Lagging stand)

তবে মনে রাখা প্রয়োজন যে উপরে উল্লিখিত প্রায় সব RNA গুলিই স্বল্প বেসসজ্জা সমন্বিত, স্বল্পআনবিক গুরুত্ব বিশিষ্ট, কোষের ভিতর ক্ষণস্থায়ী এবং বিভিন্নরকম সংশ্লেষ পদ্ধতিতে অংশগ্রহণ করে। কেউ কেউ ডি. এন. এ সংশ্লেষে আবার বেশীরভাগই RNA সংশ্লেষ বা রূপান্তরে অংশ নেয়। যেমন— সংক্ষেপে,

m RNA রূপান্তরে — Sn RNA, g RNA

r RNA রূপান্তরে — Sno RNA

t RNA রূপান্তরে — রাইবোজাইম

এবং জিনের গুণাগুণ বহিঃপ্রকাশে ScRNA, antisense RNA নিয়ন্ত্রক হিসাবে কাজ করে।

7.10 সারাংশ

"জিন" কথাটির সাথে আমরা সবাই এখন অল্পবিস্তর পরিচিত। জিন হল ডি. এন. এ শৃঙ্খলের এমন একটি অংশ যা কোনো বিশেষ গুণকে প্রতিফলিত করে। এই গুণ বা বার্তাটি ডি. এন. এ শৃঙ্খল মারফত এক প্রজন্ম থেকে অন্য প্রজন্মে বাহিত হয়। ডি. এন. এ প্রোক্যারিওটিক কোষের সাইটোপ্লাজমে বিক্ষিপ্তভাবে ছড়িয়ে থাকে যাকে বলা হয় নিউক্লিওয়েড কিন্তু ইউক্যারিওটিক কোষে ক্রোমোজোম গঠন করে নিউক্লিয়ার পর্দা দ্বারা আবদ্ধ হয়ে থাকে। ডি. এন. এ শৃঙ্খলটি নাইট্রোজেন বেস, শর্করা ও ফসফেটের সমন্বয়ে গঠিত একটি বিশেষ ধরনের যৌগ অণু যাকে সাধারণভাবে বলা হয় নিউক্লিক অ্যাসিড। ডি. এন. এ ছাড়াও জীবজগতে আর একটি নিউক্লিক অ্যাসিড পাওয়া যায় যার নাম আর. এন. এ। এই ডি. এন. এ. এর পুরো নামটি হল ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড, ডিঅক্সিরাইবো অর্থাৎ শর্করাটি রাইবোজ শর্করা, ডি-অক্সি মানে শর্করাটিতে একটি অক্সিজেন কম থাকে। ডি. এন. এ নিউক্লিক অ্যাসিডটিতে চারটি নাইট্রোজেন বেস থাকে সেগুলি হল যথাক্রমে— অ্যাডিনিন (A), গুয়ানিন (G), সাইটোসিন (C) ও থায়ামিন (T)। অ্যাডিনিন ও গুয়ানিনকে একসাথে বলা হয় পিউরিন এবং সাইটোসিন ও থায়ামিনকে একসাথে বলা হয় পিরিমিডিন। নাইট্রোজেনবেসটি শর্করার সাথে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনীর মাধ্যমে এবং ফসফেটের সাথে ফসফোডাইএস্টার বন্ধনীর মাধ্যমে জুড়ে থাকে। বেস ও শর্করাকে একত্রে নিউক্লিওসাইড এবং বেস, শর্করা ও ফসফেটকে একত্রে বলা হয় নিউক্লিওটাইড। বেসের প্রকৃতির উপর নিউক্লিসাইড বা নিউক্লিওটাইডের নামকরণ হয়।

1953 সালে ওয়াটসন ও ক্রিক ডি. এন. এ শৃঙ্খলের ত্রিমাত্রিক গঠন বর্ণনা করেন। তারা বলেন ডি. এন. এ দ্বিতন্ত্রীবিশিষ্ট, তন্ত্রীদুটি একটি অপরটির বিপরীত সমান্তরাল মুখী (antiparallel) অর্থাৎ 5'–3' এবং 3'–5'। আমরা জানি যে, তন্ত্রীর কোনো একপ্রান্তের শেষ শর্করার 3 নং কার্বনটি যদি ফসফেটযুক্ত না হয় তাহলে ওই মুক্ত কার্বনের নম্বর অনুযায়ী ওই প্রান্তটির দিকনির্দেশ করা হয় 3', একইভাবে 5' দিকনির্দেশ করা 5 নং কার্বনের ভিত্তিতে। মডেলটি অনেকটা লোহার ঘোড়ানো সিঁড়ির অনুরূপ। সিঁড়ির ধাপগুলি নাইট্রোজেন বেস দিয়ে তৈরি। তন্ত্রীদুটি এক আবর্তে 360° ঘুরে যায়। একটি আবর্তের সামগ্রিক দৈর্ঘ্য 34 Å এবং একটি আবর্তের ফলে দুটি খাঁজ তৈরি হয়। ছোটো খাঁজটিকে বলা হয় মাইনর খাঁজ এবং বড় খাঁজটিকে বলা হয় মেজর খাঁজ বা গ্রুভ। ওয়াটসনের বিবৃত এই অক্ষের সাপেক্ষে ডানমুখী ডি. এন. এ কে এখন B-DNA নামে অভিহিত করা হয়। এই B-ডি. এন. এ শৃঙ্খলের ব্যাস প্রায় 20Å এবং একআবর্তে 10টি সিঁড়ির ধাপ বা নাইট্রোজেন জোড়া বর্তমান। নাইট্রোজেন বেসের সাথে শর্করাটি অভিলম্ব

বরাবর সজ্জিত থাকে এবং ফসফেটটি থাকে শৃঙ্খলের বাইরের দিকে। একটি তন্ত্রীর নাইট্রোজেন বেস যদি পিউরিন হয় তবে অপরতন্ত্রীর বেসটি হবে পিরিমিডিন। অর্থাৎ A = T, G ≡ C —এগুলি পরস্পরের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত থাকে।

1955 সালে বিজ্ঞানী চারগফ ডি. এন. এ-এর গঠনশৈলীর উপর কতকগুলি নিয়মাবলী বিবৃত করেন। এগুলিকে 'চারগফের সূত্র' বলা হয়। সূত্রটিতে বলা হয় যে— কোনো একটি শৃঙ্খলে পিউরিন বেসের সমষ্টিগত সংখ্যা ওই শৃঙ্খলের পিরিমিডিন বেসের সংখ্যার সমান হবে। শৃঙ্খলে অ্যাডিনিন ও সাইটোসিন একত্রে গুয়ানিন ও থায়ামিনের সমান। কিছু কিছু ক্ষেত্রে যে এই নিয়মের ব্যতিক্রম হয় না তা নয়। তবে কোনো শৃঙ্খলে A–T জোড় বা G–C জোড় সংখ্যার উপর ভিত্তি করে শৃঙ্খলটি "A–T সংখ্যাতিরিক্ত বা "G–C সংখ্যাতিরিক্ত শৃঙ্খল" হিসাবে সূচিত করা হয়।

বর্তমানে B-ডি. এন. এ ছাড়াও কয়েকপ্রকার ডি. এন. এ আবিষ্কৃত হয়েছে। কোনো বিশেষ অবস্থাতে এগুলির সৃষ্টি হয়। এগুলি হল যথাক্রমে C-DNA, A-DNA, Z-DNA, D-DNA, E-DNA প্রভৃতি। এগুলির গঠনশৈলীতে কিছু কিছু পার্থক্য দেখা যায় যেমন, প্রতি আবর্তে বেসজোড়ার সংখ্যা, অক্ষের সাপেক্ষে বেসের ঘূর্ণনের কোণ, পরপর দুটি বেসজোড়ার মধ্যেকার দূরত্ব ইত্যাদি। তবে এদের মধ্যে Z-DNA হল অক্ষের সাপেক্ষে বামমুখী। গবেষণার মাধ্যমে এগুলির নতুন নতুন ধর্ম আজও আবিষ্কৃত হচ্ছে।

জীবকোষের ডি. এন. এ ছাড়া অপর আর একটি নিউক্লিক অ্যাসিডের নাম আর. এন. এ (রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড)। আর. এন. এ. কার্বন, নাইট্রোজেন, হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন ও ফসফরাস নিয়ে গঠিত একতন্ত্রীবিশিষ্ট জৈবঅণু। তন্ত্রীতে চারটি নাইট্রোজেন বেস (যাদের দুটি পিউরিন এবং দুটি পিরিমিডিন) শর্করার সাথে গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হয়ে নিউক্লিওসাইড গঠন করে। শর্করাটি পাঁচটি কার্বনযুক্ত রাইবোজ শর্করা যার দুই ও তিন নম্বর কার্বনদুটিতেই হাইড্রক্সিল মূলক থাকে। তবে আর. এন. এ-তে থায়ামিন নাইট্রোজেন বেসের পরিবর্তে ইউরাসিল বেস থাকে। ফসফেট অণুটি একটি শর্করার 3' নং কার্বনের এবং অপর আর একটি শর্করা 5' নং কার্বনের মধ্যে ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী তৈরি করে। অ্যাডিনিন বেসটি ইউরাসিলের সাথে দুটি হাইড্রোজেন বন্ধনীদ্বারা এবং গুয়ানিন সাইটোসিনে সাথে তিনটি হাইড্রোজেন বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হয়।

আর. এন. এ. একতন্ত্রী হওয়ায় বেসগুলির পারস্পরিক আকর্ষণ ও বিকর্ষণের ফলে দ্বিমাত্রিক ও ত্রিমাত্রিক গঠনশৈলী দেখা যায়। দেখা যায় যে, অনেকসময় আর. এন. এর একতন্ত্রীটি নিজের অক্ষের সাপেক্ষে দ্বিতন্ত্রী হয়ে যায়। এরকম অবস্থার উদাহরণ হেয়ারপিন লুপ।

আমরা জানি যে কোনো একটি জিনে বিশেষ গুণাগুণ প্রকাশের জন্য প্রোটিনের সংশ্লেষ প্রয়োজন, কারণ প্রোটিনই কোষের গঠনগত ও কার্যকরী জৈব অণু। ডি. এন. এ থেকে তৈরি প্রধানত তিনরকমের আর. এন. এ mRNA, tRNA, rRNA প্রোটিন সংশ্লেষে অংশগ্রহণ করে।

এই তিনরকম আর. এন. এ. ছাড়াও কয়েকরকম স্বল্প আনবিকগুরুত্ব বিশিষ্ট, ক্ষণস্থায়ী আর. এন. এ কোষে তৈরি হয় যারা পরোক্ষভাবে বিভিন্নরকম সংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। এগুলি যেমন— hn RNA, Sn RNA, Sc RNA, antisense RNA, Ribozyme, Sno RNA, ইনিসিয়েটর RNA, টিলোমারেজ RNA, guide RNA ইত্যাদি। hn RNA টিকে প্রধানত ইউক্যারিওটিক কোষে আমরা পাই। এই hnRNA টি কার্যকরী জিন (exon) এবং অকার্যকরী জিন (intron) কে ছিন্ন করে ট্রান্সস্লেশণে অংশগ্রহণ করে। কিন্তু প্রোক্যারিওটিক কোষে সরাসরি কার্যকরী জিন (exon) তৈরি হয়, সেক্ষেত্রে অকার্যকরী জিন (intron) এর অস্তিত্ব নেই বলে পরবর্তী ধাপটির প্রয়োজন নেই।

7.11 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :**
   (a) ডি.এন.এ-এর রাসায়নিক গঠন বর্ণনা করুন।
   (b) ওয়াটসন ও ক্রিক প্রস্তাবিত ডি.এন.এ-এর ত্রিমাত্রিক গঠন বর্ণনা করুন।
   (c) চারগাফের সূত্রের নিয়মগুলি বলুন।
   (d) A, B, ও Z ডি.এন.এ-এর গঠন সম্বন্ধে যা জানেন বলুন।
   (e) আর.এন.এ.-এর রাসায়নিক গঠন বর্ণনা করুন।
   (f) ট্রান্সফার আর.এন.এ-এর ক্লোভার লিফ মডেল ব্যাখ্যা করুন।
2. **শূন্যস্থান পূরণ করুন :**
   (a) ডি.এন.এ শৃঙ্খল _____, _____ ও _____ নিয়ে গঠিত যৌগ অণু।
   (b) গুয়ানিন সমন্বিত নিউক্লিওসাইডটির নাম _____ ও নিউক্লিওটাইডটির নাম _____।
   (c) ওয়াটসন ও ক্রিকের মডেল অনুসৃত ডি.এন.এ-এর নাম _____।
   (d) অক্ষের সাপেক্ষে বামমুখী ডি.এন.এ-টির নাম _____।
   (e) রাইবোজ, ইউরাসিল ও ফসফেট সমন্বিত জৈব অণুটি হল _____।
   (f) _____ সাধারণভাবে একতন্ত্রী, তবে কখনো কখনো দ্বিতন্ত্রী হয়ে থাকে।
   (g) _____, এবং _____ এই তিনটি আর.এন.এ একটি পলিপেপটাইড তৈরি হওয়ার জন্য প্রয়োজন লাগে।
   (h) ডি.এন.এ থেকে আর.এন.এ তৈরি হবার পদ্ধতিকে বলে _____।
3. **ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :**

(a) শর্করা ও নাইট্রোজেন বেসের যুক্ত হওয়ার বন্ধনী	(i) ফসফোডাইএস্টার বন্ধনী
(b) দুটি নিউক্লিওটাইড পরস্পরের সাথে যুক্ত হওয়ার বন্ধনী	(ii) ট্রান্সফার আর.এন.এ
(c) অ্যাডেনিন ও থাইমিনের জোড় বন্ধন	(iiii) তিনটি হাইড্রোজেন বন্ধনী
(d) গুয়ানিন ও সাইটোসিনের জোড় বন্ধন	(iv) দুটি হাইড্রোজেন বন্ধনী
(e) ক্লোভার-লিফ মডেল	(v) গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী

7.12 উত্তরমালা

1. (a) 7.3 দ্রষ্টব্য

   (b) 7.3.1 দ্রষ্টব্য

   (c) 7.3.2 দ্রষ্টব্য

   (d) 7.5 দ্রষ্টব্য

   (e) 7.6 দ্রষ্টব্য

   (f) 7.9 দ্রষ্টব্য

2. (a) নাইট্রোজেন বেস, শর্করা, ফসফেট

   (b) গুয়ানোসিন, গুয়ানাইলেট

   (c) B-ডি.এন.এ

   (d) Z-ডি.এন.এ

   (e) আর.এন.এ

   (f) আর.এন.এ

   (g) m আর.এন.এ, r আর.এন.এ, t আর.এন.এ

   (h) ট্রান্সক্রিপশন।

3. (a) — (v)

   (b) — (i)

   (c) — (iv)

   (d) — (iii)

   (e) — (ii)

একক 8 ❑ শক্তি পরিবর্তনের জৈবিক অধ্যয়ন বা বায়ো-এনারজেটিক্স

গঠন

8.0 উদ্দেশ্য

8.1 প্রস্তাবনা

8.2 তাপগতিতত্ত্ব বা থার্মোডাইনমিক্স-এর গুরুত্ব ও প্রয়োগ

8.3 তাপগতিতত্ত্বের আইনসমূহ বা সূত্রাবলী

8.4 মুক্ত শক্তি

8.4.1 গীব্‌স মুক্ত শক্তি

8.4.2 হেলহোল্টজ মুক্ত শক্তি

8.4.3 এনট্রপি

8.4.4 এনথ্যাল্‌পি

8.5 এন্ডারগনিক ও এক্সআরগনিক বিক্রিয়া

8.6 রিডক্স বিক্রিয়া বা জারণ ও বিজারণ বিক্রিয়া

8.7 সারাংশ

8.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

8.9 উত্তরমালা

8.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- তাপগতিতত্ত্ব বা থার্মোডাইনামিক্স-এর উদ্দেশ্য জানতে পারবেন ও এই সংক্রান্ত আইনগুলি সম্পর্কে অবহিত হবেন।
- মুক্ত শক্তি, এনট্রপি ও এনথ্যালপি সম্বন্ধে ধারণা লাভ করবেন।
- এন্ডারগনিক, এক্সারগনিক বিক্রিয়া বিষয়ে জানতে পারবেন।
- রিডক্স বিক্রিয়া বিষয়ে অবগত হবেন।

8.1 প্রস্তাবনা

শক্তি পরিবর্তনের জৈবিক অধ্যয়ন বা বায়োএনারজেটিক্স বলতে আমরা বুঝি জীবের মধ্যে শক্তির রূপান্তর অধ্যয়ন করা। অন্যভাবে বলতে গেলে জীবিত কোষের অণুগুলিতে রাসায়নিক বন্ধন তৈরি এবং ভাঙার সাথে জড়িত জৈব রসায়নের একটি অংশ হল বায়োএনারজেটিক্স। একটি জীবিত কোষ তার বাইরের পরিবেশের মধ্যে শক্তি বিনিময় করে বেঁচে থাকে। এই বায়োএনারজেটিক্স-এর লক্ষ্য হল জীব জৈবিক কার্য সম্পাদন করার জন্য কিভাবে শক্তি অর্জন করে এবং তা রূপান্তরিত করে তা ব্যাখ্যা করা।

8.2 তাপগতিতত্ত্ব বা থার্মোডাইনমিক্স-এর গুরুত্ব ও প্রয়োগ

যুক্তিবিদ্যার সঠিক প্রয়োগ তাপগতিতত্ত্বে যে উচ্চমানে পৌঁছেছে, বিজ্ঞানের অন্য কোন শাখায় তা সম্ভব হয়নি। বিজ্ঞানী আইনস্টাইন এই কারণে বলেছেন "তাপগতিতত্ত্বের প্রস্তুতিতে যুক্তিবিদ্যার এমন সফল প্রয়োগ শ্রদ্ধা ও বিস্ময়ের উদ্রেক করে। কালে সনাতনী পদার্থবিদ্যার (classical physics) অনেক ক্ষেত্রে অনেক ত্রুটি দেখা যাবে, কোথাও সামান্য সংশোধনের প্রয়োজন দেখা দেবে, অনেক ক্ষেত্রে পুরানো চিন্তাধারা ত্যাগ করে নতুন পথে এগোতে হবে। কিন্তু তাপগতিতত্ত্বের গঠনতন্ত্রে যুক্তিবিদ্যার যে সঠিক প্রয়োগ হয়েছে তার ফলে সেক্ষেত্রে এমনটা হবার কোন আশঙ্কা নেই।" তাপগতিতত্ত্ব মূলতঃ ফলিত বিজ্ঞান (practical science), পদার্থবিদ্যা, রসায়ন ও কারিগরি বিজ্ঞানের (engineering science) বিভিন্ন শাখায় এর প্রয়োগ। প্রকৃতপক্ষে ব্যবহারিক জীবনের ধ্যান-ধারণা থেকেই তাপগতিতত্ত্বের সৃষ্টি।

8.3 তাপগতিতত্ত্বের আইনসমূহ বা সূত্রাবলী

প্রথম আইন : শক্তি এক রূপ থেকে অন্য রূপে রূপান্তরিত হতে পারে, তবে তা সৃষ্টি বা ধ্বংস করা যায় না। এই সূত্রটি এভাবে ব্যাখ্যা করা হয়।

$$\Delta U = Q — W$$

যেখানে ΔU একটি বদ্ধ সিস্টেমে আভ্যন্তরীন শক্তি পরিবর্তন উল্লেখ করে।

Q সরবরাহকৃত শক্তির পরিমাণ উল্লেখ করে এবং

W সম্পন্ন তাপগতীর কাজের পরিমাণ উল্লেখ করে।

দ্বিতীয় আইন : শক্তি যখন এক রূপ থেকে ভিন্ন রূপে পরিবর্তিত হয়, তখন স্থানান্তর প্রক্রিয়া শেষে শুরুর থেকে কম শক্তি পাওয়া যায় এবং সিস্টেমে এনট্রপি বৃদ্ধি পায়। পরিবর্তিত তাপমাত্রা, চাপ এবং ঘনত্বের পার্থক্য — কিছু সময় পরে অনুভূমিকভাবে বেরিয়ে আসে।

থার্মোডাইনামিক্সের এই দ্বিতীয় আইনটি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। কারণ এটি এনট্রপির বিষয়ে কথা বলে এবং একটি প্রক্রিয়া বা রাসায়নিক বিক্রিয়া স্বতঃস্ফূর্তভাবে ঘটছে কিনা তা এনট্রপি নির্দেশ করে। এই আইনটি বলে যে শক্তি

যেমন স্থানান্তরিত হয় বা রূপান্তরিত হয়, তত বেশি পরিমাণ অপচয় হয়। জেনে রাখা ভাল, যে মহাবিশ্বের এনট্রপি (চূড়ান্ত বিচ্ছিন্ন সিস্টেম) কেবল বৃদ্ধি পায়, কখনও হ্রাস পায় না।

তৃতীয় আইন : কোন একটি সিস্টেমে তাপমাত্রা নিখুঁত শূন্যের কাছাকাছি আসার সাথে সাথে সেই সিস্টেমের এনট্রপি একটি ধ্রুবক মানের কাছে পৌঁছায়।

পরম শূন্যে একটি সিস্টেমের এনট্রপি সাধারণতঃ শূন্য হয় এবং সমস্ত ক্ষেত্রে কেবল এটির বিভিন্ন সংখ্যা দ্বারা নির্ধারিত হয়। বিশেষতঃ নিখুঁত শূন্য তাপমাত্রায় খাঁটি স্ফটিক (crystal) উপাদান (নিখুঁত ক্রম)-এর এনট্রপি শূন্য।

8.4 মুক্ত শক্তি বা ফ্রি এনার্জি

মুক্ত শক্তি বলতে কোনও কাজ সম্পাদনের জন্য উপলব্ধ কোন থার্মোডায়ানামিক সিস্টেমের আভ্যন্তরীন শক্তির পরিমাণকে বোঝায়। থার্মোডায়ানমিকে মুক্ত শক্তির বিভিন্ন রূপ রয়েছে

8.4.1 গীবস্ মুক্ত শক্তি

এটি হল এমন এক শক্তি যা ধীরে ধীরে তাপমাত্রা এবং চাপে থাকে এমন কোনো সিস্টেমে কাজের মধ্যে রূপান্তরিত হতে পারে।

গীবস্ মুক্ত শক্তির সমীকরণটি হল—

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

যেখানে ΔG হল সিস্টেমের মুক্ত শক্তির পরিবর্তন

ΔH হল এনথ্যালপির পরিবর্তন

T হল পরম তাপমাত্রা এবং

ΔS হল এনট্রপির পরিবর্তন

কোন সিস্টেম স্বতঃস্ফূর্তভাবে সংঘটিত হতে গেলে গীবস্ মুক্ত শক্তির পরিবর্তন স্থির উষ্ণতা ও চাপে ঋণাত্মক হয়।

8.4.2 হেলহোল্টজ মুক্ত শক্তি

এটি হল এমন শক্তি যা ধ্রুবক তাপমাত্রা এবং আয়তনে কর্মে রূপান্তরিত হতে পারে এবং একটি বদ্ধ থার্মোডাইনামিক সিস্টেম থেকে প্রাপ্ত কাজকে পরিমাপ করতে পারে।

হেলহোল্টজ মুক্ত শক্তির সমীকরণটি হল :

$$A = U - TS$$

যেখানে A হল হেলহোল্টজ মুক্ত শক্তি

U হল সিস্টেমের আভ্যন্তরিন শক্তি

T হল পরম তাপমাত্রা

S হল সিস্টেমের এনট্রপি

হেলহোল্টজের মুক্ত শক্তি (A) হল এমন একটি তাপগতীয় অপেক্ষক, স্থির তাপমাত্রায় যার হ্রাস সিস্টেমের দ্বারা সর্বাধিক কৃতকার্যের সঙ্গে সমান।

8.4.3 এনট্রপি

যে তাপগতীয় অপেক্ষকের সাহায্যে কোনো সিস্টেমের বিশৃঙ্খলার মাত্রা পরিমাপ করা হয়, তাকে এনট্রপি বলে। কোন একটি সিস্টেমে T উষ্ণতায় সমোষ্ণ ও পরাবর্ত প্রক্রিয়ায় ΔQ পরিমাণ তাপ গ্রহণ বা বর্জন করলে $\frac{\Delta Q}{T}$ এর মান একটি অবস্থার অপেক্ষকের পরিবর্তন নির্দেশ করে। এই $\frac{\Delta Q}{T}$ হল সিস্টেমের এনট্রপির পরিবর্তন।

সুতরাং সিস্টেমের এনট্রপির পরিবর্তন $ds = \frac{\Delta Q}{T} =$

$$\frac{\text{সিস্টেম কর্তৃক সমোষ্ণ ও পরাবর্তভাবে গৃহীত বা বর্জিত অংশ}}{\text{যে উষ্ণতায় সিস্টেম তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে}}$$

8.4.4 এনথ্যাল্‌পি

বিভিন্ন মৌলিক এবং যৌগিক পদার্থের অণুগুলির মধ্যে পরমাণুগুলি বিভিন্ন ধরনের রাসায়নিক বন্ধন দ্বারা আবিষ্ট থাকে। রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় মৌলিক বা যৌগিক পদার্থের অণুগুলির বন্ধনের বিয়োজন ঘটে এবং নতুন ধরনের বন্ধন গঠন করে বিক্রিয়াজাত পদার্থে পরিণত হয়। একটি বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুগুলির বন্ধনশক্তির পার্থক্যই তাপশক্তি আকারে নির্গত বা শোষিত হয়। এই শোষিত বা নির্গত তাপই বিক্রিয়ায় তাপ বা বিক্রিয়ার এনথ্যালপির পরিবর্তন নামে পরিচিত। যে বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হয়, তাকে তাপ উৎপাদক বিক্রিয়া (exothermic reaction) বলে এবং যে বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয়, তাকে তাপশোষক বিক্রিয়া (endothermic reaction) বলে।

8.5 তাপ উৎপাদক বা এক্সোথার্মিক (Exothermic) এবং তাপশোষক বা এন্ডোথার্মিক (Endothermic) বিক্রিয়া

কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়া ঘটলে তাপের শোষণ বা নির্গমন ঘটে থাকে। এই শোষিত বা নির্গত তাপকে বিক্রিয়া তাপ বলা হয়। যে সমস্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপের উদ্ভব ঘটে, তাদের তাপ উৎপাদক বিক্রিয়া বা এক্সোথার্মিক বিক্রিয়া বলে। এই বিক্রিয়ায় ΔH এর মান সর্বদা ঋণাত্মক বা নেগেটিভ (–ve) হয়।

এই সমস্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $\sum H\text{product} < \sum H\text{reactans}$

অথবা $\sum H\,\text{product} - < \sum H\ \text{reactans} < 0$ বা ঋণাত্মক

উদাহরণ : $C + O_2 \rightarrow CO_2, Q = \Delta H = -94\,Kcal$, বা

$$HCl + NaOH \rightarrow NaCl + H_2O, Q = -137.0\,Kcal$$

পক্ষান্তরে যে সমস্ত রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তাপের শোষণ ঘটে, তাদের তাপশোষক বিক্রিয়া বা এন্ডোথার্মিক বিক্রিয়া বলা হয়। এই বিক্রিয়ায় ΔH এর সর্বদা ধনাত্মক বা পজিটিভ (+ve) হয়।

এই সমস্ত বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে $\sum H\text{product} < \sum H\text{reactans}$

অথবা $\sum H$ products - $\sum H$ reactants > 0 বা ধনাত্মক

উদাহরণ : $H_2 + I_2 \longrightarrow 2HI,\ Q = \Delta H = +5.9$ Kcal

$$N_2 + O_2 \longrightarrow 2NO,\ \ Q = \Delta H + 180\,Kj$$

8.6 রিডক্স বিক্রিয়া বা জারণ ও বিজারণ বিক্রিয়া

রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে জারণ ও বিজারণ খুবই গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। জারণ বলতে সেইসব বিক্রিয়া বোঝানো হয় যেখানে কোনো পদার্থের সঙ্গে অক্সিজেনের সংযোজন হয়, অথবা কোনো পদার্থ থেকে হাইড্রোজেন অপসৃত হয়। আবার যেসমস্ত বিক্রিয়ায় কোনো পদার্থের সঙ্গে হাইড্রোজেন সংযোজন হয় অথবা ওই পদার্থ থেকে অক্সিজেন অপসৃত হয়, তাকে বিজারণ বলে। বর্তমানে জারণ ও বিজারণের সংজ্ঞা ইলেকট্রনীয় তত্ত্বের মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা হয়ে থাকে।

ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুসারে যে বিক্রিয়ায় এক বা একাধিক ইলেকট্রন বর্জিত হয়, তাকে জারণ বলে এবং যে বিক্রিয়ায় এক বা একাধিক ইলেকট্রন গৃহীত হয়, তাকে বিজারণ বলে। অর্থাৎ সোজা কথায় জারণ হল ইলেকট্রন বর্জন এবং বিজারণ হল ইলেকট্রন গ্রহণ। উদাহরণস্বরূপ কপার (তামা) ও অক্সিজেনের বিক্রিয়া ধরা যাক। কপার ধাতু ও অক্সিজেনের বিক্রিয়া ঘটলে কিউপ্রিক অক্সাইড উৎপন্ন হয়।

$$Cu + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons CuO$$

(কপার) (অক্সিজেন) (কিউপ্রিক অক্সাইড)

এই বিক্রিয়াটিকে নিম্নলিখিত দুটি অর্ধ-বিক্রিয়ার মাধ্যমে লেখা যেতে পারে—

$Cu \longrightarrow Cu^{2+} + 2e$ (জারণ)

$\frac{1}{2}O_2 + 2e \longrightarrow O^{2-}$ (বিজারণ)

প্রথম অর্ধ বিক্রিয়াতে কপার পরমাণু দুটি ইলেকট্রন ত্যাগ করে Cu^{2+}-তে পরিণত হয়, অর্থাৎ এখানে কপার জারিত হয়ে Cu^{2+} আয়ন গঠন করে। দ্বিতীয় অর্ধ-বিক্রিয়াতে একটি অক্সিজেন পরমাণু দুটি ইলেকট্রন গ্রহণ করে O^{2-} আয়ন গঠন করে, অর্থাৎ অক্সিজেন বিজারিত হয়। এইভাবে জারণ ও বিজারণ একই বিক্রিয়ায় একই সঙ্গে ঘটে। এর কোনো একটি কখনও একাকী সংঘটিত হয় না।

8.6.1 জারক ও বিজারক দ্রব্য

ওপরের বিক্রিয়াটিতে দেখা যাচ্ছে যে কপার পরমাণু ইলেকট্রন বর্জন করে Cu^{2+} আয়নরূপে জারিত হয়। সুতরাং এই বিক্রিয়ায় কপার পরমাণু ইলেকট্রন ত্যাগ করছে, ফলে এটি একটি বিজারক পদার্থ বা রিডিউসিং এজেন্ট বা রিডাকট্যান্ট (reducing agent বা reductant) আবার কপার পরমাণু থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে অক্সিজেন পরমাণু O^{2-} আয়নরূপে বিজারিত হচ্ছে। এক্ষেত্রে অক্সিজেন ইলেকট্রন গ্রহণ করছে বলে এটি একটি জারক পদার্থ বা অক্সিডাইজিং এজেন্ট বা অক্সিড্যান্ট (oxidising agent বা oxidant)।

এর থেকে আমরা এই সিদ্ধান্তে আসতে পারি যে, যেসকল পদার্থ এক বা একাধিক ইলেকট্রন দান করে অন্য পদার্থকে বিজারিত করে এবং নিজে জারিত হয়, তাদেরকে বিজারক বা রিডাকট্যান্টি বলে। আবার অন্যদিকে যেসব পদার্থ বিজারক থেকে এক বা একাধিক ইলেকট্রন গ্রহণ করে অন্য পদার্থকে জারিত করে, কিন্তু নিজে বিজারিত হয়, তারা হল জারক পদার্থ বা অক্সিড্যান্ট। কাজে উপরের বিক্রিয়ায় কপার ধাতু বিজারক ও অক্সিজেন জারক।

আপনাদের বিষয়টি বোঝার সুবিধার জন্য অন্য একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার উদাহরণ দেওয়া হল। যেমন জিঙ্ক ধাতু (Zn)-এর সঙ্গে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড (HCl)-এর বিক্রিয়ার কথা ধরা যাক। এই বিক্রিয়ার ফলে জিঙ্ক ক্লোরাইড ও হাইড্রোজেন উৎপাদিত হয়। বিক্রিয়াটির সমীকরণটি হল :

$$Zn + 2HCl \longrightarrow ZnCl_2 + H_2 \uparrow$$

(জিঙ্ক) (হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিড) (জিঙ্ক ক্লোরাইড) (হাইড্রোজেন গ্যাস)

এখানে দেখা যাচ্ছে যে জিঙ্ক ক্লোরাইড Zn ধাতু Zn^{2+} রূপে বর্তমান। অর্থাৎ Zn পরমাণু 2টি ইলেকট্রন ত্যাগ করে Zn^{2+} আয়নে জারিত হয়েছে। সুতরাং এই বিক্রিয়ায় Zn ধাতু বিজারক। অপরদিকে হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের H^+ আয়ন, জিঙ্ক থেকে প্রদত্ত ইলেকট্রন গ্রহণ করে প্রশম হাইড্রোজেন পরমাণুতে এবং পরে H_2 অণুতে বিজারিত হয়েছে। সুতরাং এই বিক্রিয়ায় H^+ জারক।

এই বিক্রিয়াটিকে বোঝার সুবিধার জন্য দুটি অর্ধ বিক্রিয়ায় লেখা যায়—

$Zn \longrightarrow Zn^{2+} + 2e$ (জারণ)

(বিজারক)

$2H^+ + 2e \longrightarrow H_2$ বিজারণ)

(জারক)

ইলেকট্রন গ্রহণ ও বর্জনকারী উপরোক্ত বিক্রিয়াকে ইলেকট্রোড বিক্রিয়া বলা হয়, কারণ এই বিক্রিয়াগুলি ইলেকট্রোডে সংঘটিত হয়। তড়িৎ বিশ্লেষণ কোষ বা ইলেকট্রোলাইটিক সেল (electrolytic cell)-এর ক্ষেত্রে অ্যানোডে (ধনাত্মক বা পজিটিভ ইলেকট্রোড) জারণ ক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং ক্যাথোডে (ঋণাত্মক বা নেগেটিভ ইলেকটোড) বিজারণ ক্রিয়া সংঘটিত হয়।

8.6.2 কয়েকটি সুপরিচিত জারক ও বিজারক দ্রব্য :

কয়েকটি প্রয়োজনীয় জারক দ্রব্য হল ফ্লুরিন (F_2), অক্সিজেন (O_2), পটাসিয়াম পারম্যাঙ্গানেট ($KMnO_4$), নাইট্রিক অ্যাসিড (HNO_3), পটাসিয়াম ডাইক্রোমেট ($K_2Cr_2O_7$), সালফিউরিক অ্যাসিড (H_2SO_4), ক্লোরিন (Cl_2), ব্রোমিন (Br_2), হাইড্রোজেন পারঅক্সাইড (H_2O_2), ওজোন (O_3) ইত্যাদি। একইভাবে কয়েকটি প্রয়োজনীয় এবং পরিচিত বিজারক দ্রব্য হল — হাইড্রোজেন (H_2), হাইড্রোজেন সালফাইড (H_2S), হাইড্রোআয়োডিক অ্যাসিড (HI), স্ট্যানাস ক্লোরাইড ($SnCl_2$), সালফার ডাইঅক্সাইড (SO_2), কার্বন মনোক্সাইড (CO), সোডিয়াম থায়োসালফেট ($Na_2S_2O_3$)।

এখানে উল্লেখ করা প্রয়োজন যে, কোনো জারক সময় বিশেষে বিজারকের কাজ করে থাকে এবং অনেক বিজারক জারকের ভূমিকা পালন করে থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে নাইট্রাস অ্যাসিড (HNO_2) একটি বিজারক এবং এটি জারিত হয়ে নাইট্রিক অ্যাসিডে পরিণত হয়। কিন্তু অ্যাসিড দ্রবণে HNO_2, KI কে জারিত করে I_2 মুক্ত করে।

8.7 সারাংশ

জীবের মধ্যেকার শক্তির রূপান্তর বিষয়টিকে অধ্যয়ন করার নামই হল শক্তি পরিবর্তনের জৈবিক অধ্যয়ন বা বায়োএনারজেটিক্স। বায়োএনারজেটিক্স-এর লক্ষ্য হল জীব তার বিভিন্ন ধরনের জৈবিক কার্য সম্পাদন করার জন্য কিভাবে শক্তি অর্জন করে এবং সেই অর্জিত শক্তিকে রূপান্তরিত করে থাকে সেটি ব্যাখ্যা করা। তাপগতিতত্ত্বের (থার্মোডাইনামিক্সের) তিনটি সূত্র, যার প্রথম সূত্র অনুসারে শক্তির বিনাশ বা সৃষ্টি করা যায় না, কিন্তু কোনো সিস্টেমের আন্তঃশক্তির পরিবর্তন করা যায়। অর্থাৎ বিভিন্ন ধরনের শক্তির মধ্যে রূপান্তর সম্ভব। তাপগতিতত্ত্বের দ্বিতীয় সূত্রটি এনট্রপির বিষয়ে কথা বলে। এই এনট্রপি হল তাপগতীয় অপেক্ষক, যার সাহায্যে কোনো সিস্টেমের বিশৃঙ্খলার মাত্রা পরিমাপ করা যায়। আবার কোনো একটি রাসায়নিক বিক্রিয়ার সময় বিক্রিয়ক এবং বিক্রিয়াজাত পদার্থের অণুগুলির বন্ধনশক্তির পার্থক্য, যেটি তাপশক্তির আকারে নির্গত বা শোষিত হয় তাকেই সেই বিক্রিয়ার এনথ্যালপির পরিবর্তন বলে। যে বিক্রিয়ায় তাপ উৎপন্ন হয়, তাকে তাপ-উৎপাদক বা এক্সোথার্মিক বিক্রিয়া বলে এবং যে বিক্রিয়ায় তাপ শোষিত হয়, তাকে তাপশোষক বা এন্ডোথার্মিক বিক্রিয়া বলা হয়। যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে জারণ ও বিজারন অর্থাৎ অক্সিডেশন ও রিডাক্সন খুবই গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা গ্রহণ করে। ইলেকট্রনীয় তত্ত্ব অনুসারে যে বিক্রিয়ার ফলে এক বা একাধিক ইলেকট্রন বর্জিত হয় তাকে জারণ প্রক্রিয়া এবং যে বিক্রিয়ার ফলে এক বা একাধিক ইলেকট্রন গৃহীত হয়, তাকে বিজারণ প্রক্রিয়া বলে। দেখা গেছে যে জারণ ও বিজারণ একই বিক্রিয়ায় একই সাথে ঘটে, এর কোনো একটি কখনও একাকী সংঘটিত হয় না। একটি বিক্রিয়ায় যে পরমাণু

ইলেকট্রন ত্যাগ করে আমরা তাকে বিজারক পদার্থ বা রিডিউসিং এজেন্ট বলি, আবার সেই বিক্রিয়ায় যে পরমাণু ইলেকট্রন গ্রহণ করছে, আমরা তাকে জারক পদার্থ বা অক্সিডাইজিং এজেন্ট বলি।

8.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) তাপগতিতত্ত্বের সূত্রগুলি ব্যাখ্যা করুন।

(b) গীবস্-এর মুক্ত শক্তি বলতে কি বোঝেন?

(c) হেলহোল্টজ মুক্ত শক্তি বলতে কি বোঝেন?

(d) এনট্রপি ও এনথ্যালপি কাকে বলে বুঝিয়ে দিন।

(e) তাপ উৎপাদক ও তাপশোষক বিক্রিয়া উদাহরণযোগে ব্যাখ্যা করুন।

(f) রিডক্স বিক্রিয়া বলতে কি বোঝেন ব্যাখ্যা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) জীবের মধ্যে শক্তির রূপান্তরকে অধ্যয়ন করার নাম _____।

(b) শক্তি একরূপ থেকে অন্যরূপে রূপান্তরিত হতে পারে, তবে তা _____ বা _____ করা যায় না।

(c) শক্তি যখন একরূপ থেকে ভিন্নরূপে পরিবর্তিত হয়, তখন সিস্টেমে _____ বৃদ্ধি পায়।

(d) গীব্স মুক্ত শক্তির সমীকরণটি হল $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$ যেখানে T হল _____ _____

(e) এক্সোথার্মিক বিক্রিয়ায় ΔH-এর মান সর্বদা _____ হয়।

(f) যে বিক্রিয়ায় এক বা একাধিক ইলেকট্রন বর্জিত হয়, তাকে _____ বলে।

3. ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :

(a) ইলেকট্রন গ্রহণ	(i) জারক দ্রব্য
(b) অ্যানোড	(ii) বিজারণ
(c) নাইট্রিক অ্যাসিড	(iii) বিজারক দ্রব্য
(d) হাইড্রোজেন সালফাইড	(iv) জারণ

8.9 উত্তরমালা

1. (a) 8.3 দ্রষ্টব্য

   (b) 8.4.1 দ্রষ্টব্য

   (c) 8.4.2 দ্রষ্টব্য

   (d) 8.4.3 ও 8.4.4 দ্রষ্টব্য

   (e) 8.5 দ্রষ্টব্য

   (f) 8.6 দ্রষ্টব্য

2. (a) বায়োএনারজেটিক্স

   (b) সৃষ্টি, ধ্বংস

   (c) এনট্রপি

   (d) পরম তাপমাত্রা

   (e) ঋণাত্মক

   (f) জারণ

3. (a) — (ii)

   (b) — (iv)

   (c) — (i)

   (d) — (iii)

একক 9 ❑ অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট বা এ.টি.পি (ATP)

গঠন

9.0 উদ্দেশ্য

9.1 প্রস্তাবনা

9.2 ATP অণুর গঠন

9.3 ATP-এর কার্যাবলী

9.4 সারাংশ

9.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

9.6 উত্তরমালা

9.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

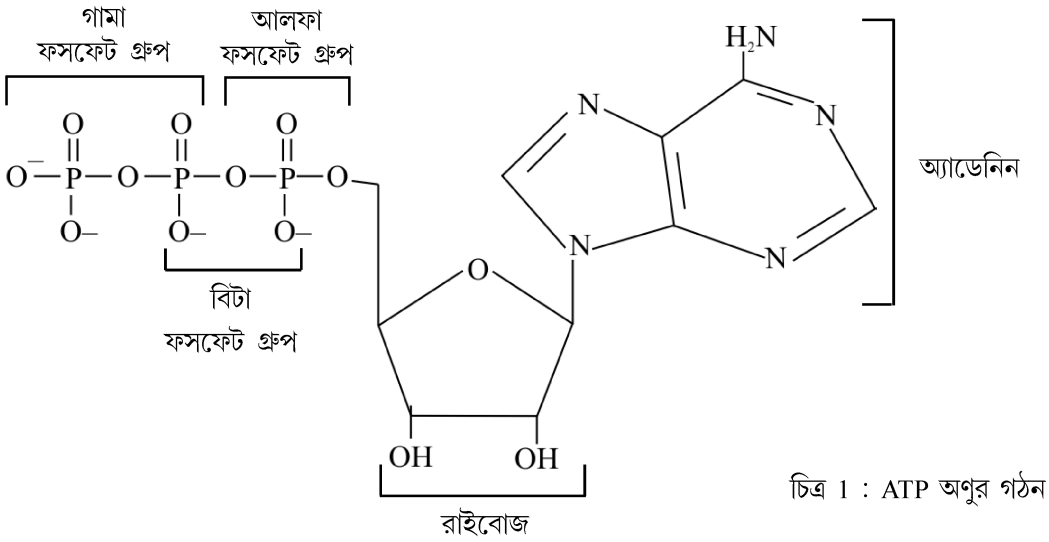
- ATP-এর গঠন সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- ATP-এর কার্যাবলি বিষয়ে অবগত হবেন।

9.1 প্রস্তাবনা

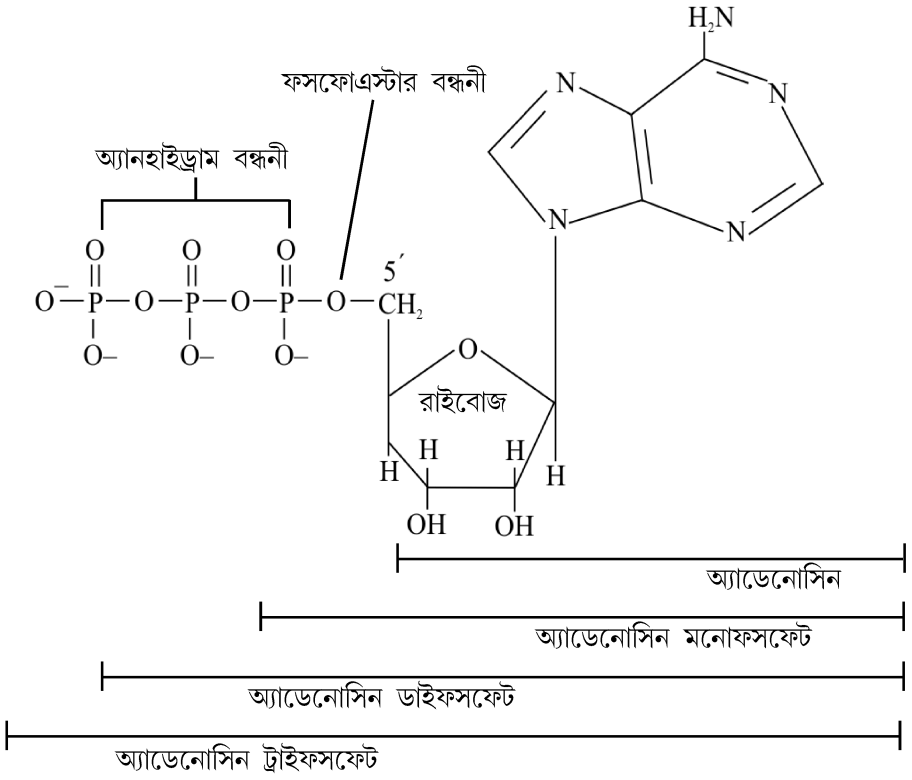
ATP বা অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট হল একটি বিশেষ ধরনের নিউক্লিওটাইড, যেটি গঠিত হয় একটি নাইট্রোজেন বেস — অ্যাডেনিন, একটি শর্করা — রাইবোজ এবং তিনটি ফসফেট যৌগের সমন্বয়ে। ATP অণুর এই লেজবিশিষ্ট ফসফেট অণুরাই শক্তির উৎস। শক্তির মাধ্যম রূপে ATP কার্য করে থাকে। জীবিত কোষগুলিতে বিভিন্ন যে প্রক্রিয়াগুলি সবসময় চালিত হতে থাকে, সেই সমস্ত কোষে আন্তঃ কোষীয় শক্তি প্রদান করে থাকে এই ATP। যেসকল শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ায় ATP উৎপাদিত হয় সেগুলির মধ্যে অন্যতম হল গ্লাইকোলাইসিস, ক্রেবস চক্র, বিটা অক্সিডেশন — যেখানে একটি কোষের মাইট্রোকনড্রিয়ায় ATP সংশ্লেষ হয়ে থাকে। এছাড়া সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদকোষের ক্লোরোপ্লাস্টে ফোটোফসফোরাইলেশনের মাধ্যমে ATP সংশ্লেষ হয়ে থাকে।

9.2 ATP অণুর গঠন

অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট জীবনের শক্তি মুদ্রা হিসাবে পরিচিত। ব্যাকটেরিয়া সহ সমস্তরকমের উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে ATP অবস্থান করে। এটি একটি উচ্চ শক্তিসম্পন্ন অণু যার রাসায়নিক সংকেত $C_{10}H_{16}N_5O_{13}P_3$। একটি এ.টি.পি অণুতে তিনটি প্রধান উপাদান পাওয়া যায়। এগুলি হল একটি রাইবোজ শর্করা, একটি অ্যাডেনিন নাইট্রোজেন বেস এবং তিনটি ফসফেট গ্রুপ। এই তিনটি ফসফেট গ্রুপ আল্‌ফা (α), বিটা (β) এবং গামা (γ) ফসফেট হিসাবে পরিচিত। এই ফসফেটগুলিস এটিপির ক্রিয়াকলাপের মূল চাবিকাঠি।



চিত্র 1 : ATP অণুর গঠন



চিত্র 2 : AMP, ADP এবং ATP অণুর গঠন

আমরা আগেই জেনেছি যে, যেসকল যৌগে রাইবোজ বা ডিঅক্সিরাইবোজ শর্করার সঙ্গে নাইট্রোজেন বেস β গ্লাইকোসাইডিক বন্ধনী দ্বারা সংযুক্ত থাকে, তাকে বলে নিউক্লিওসাইড। এই নিউক্লিওসাইডের ফসফোরিক অ্যাসিড এস্টারকে বলে নিউক্লিওটাইড। একটি নিউক্লিওটাইডে শর্করা এককের সঙ্গে ফসফেটের এস্টারিভবন ঘটে। নিউক্লিওটাইডের $5'$OH গ্রুপের সাথে 1টি, 2টি বা 3টি ফসফেট গ্রুপ সংযুক্ত হতে পারে এবং এভাবেই নিউক্লিওটাইড মনো, ডাই এবং ট্রাই-ফসফেট গঠিত হয়।

জৈব রাসায়নিক প্রক্রিয়ায় চালক শক্তি প্রদানে যে নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেট সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত হয়, সেটি হল অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট বা এ.টি.পি। এ.টি.পি-এর মধ্যে $5'$–OH গ্রুপের সঙ্গে যে ফসফেট সংযুক্ত থাকে, সেটি এস্টার বন্ধনীর দ্বারা সংযুক্ত থাকে। দ্বিতীয় এবং তৃতীয় ফসফেট গ্রুপ অ্যানহাইড্রাস বন্ধনীর দ্বারা আবদ্ধ হয়।

এ.টি.পি-এর এস্টার বন্ধনীর আর্দ্রবিশ্লেষণ 14Kj/mol শক্তি নির্গত হয় এবং প্রতিটি অ্যানহাইড্রাস বন্ধনীর বিয়োজনের ফলে 30Kj/mol শক্তি নির্গত হয়। অন্যান্য নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেটগুলির মধ্যে ইউরিডিনট্রাইফসফেট (UTP), গুয়ানোসিন ট্রাইফসফেট (GTP) এবং সাইটিডিন ট্রাইফসফেট (CTP) নির্দিষ্ট জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে।

9.3 ATP-এর কার্যাবলী

শক্তির উৎস : জীবজগতে সমস্ত উদ্ভিদ এবং প্রাণীর কাজ করবার জন্য অবিরত শক্তি সরবরাহের প্রয়োজন হয়। জীবকে বাঁচিয়ে রাখে এমন সমস্ত শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়া যেমন খাদ্যের বিপাক, অণু এবং আয়নের পরিবহন, গুরুত্বপূর্ণ অণুর সংশ্লেষ সহ একাধিক রাসায়নিক বিক্রিয়া চালনা করার জন্য প্রতিনিয়ত শক্তির প্রয়োজন। প্রাণীরা খাদ্য জারণের মাধ্যমে তাদের শক্তি অর্জন করে। উদ্ভিদেরা ক্লোরোফিল ব্যবহার করে সূর্যালোকের শক্তিকে আবদ্ধ করে এবং তার থেকে শক্তি অর্জন করে। তবে উদ্ভিদ বা প্রাণী উভয়েই শক্তি ব্যবহারের আগে এটিকে প্রথমে এমন একটা রূপে রূপান্তরিত করে থাকে যা থেকে সহজেই তারা এটি ব্যবহার করতে সক্ষম হয়। শক্তির এই বিশেষ বাহক হল অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট বা এ.টি.পি। এই এ.টি.পি সহজেই কোষের মধ্যে রাসায়নিক শক্তি সঞ্চয় করে এবং প্রয়োজনে সেটি পরিবহনও করে। সাধারণভাবে বলতে গেলে এ.টি.পি অণু রাসায়নিক ব্যাটারি হিসাবে কাজ করে, যখন প্রয়োজন হয় না, তখন শক্তি সঞ্চয় করে, আবার জীবের প্রয়োজনে তা মুক্তি দিতে সক্ষম হয়।

এ.টি.পি যখন হাইড্রোলাইসড হয় এবং অ্যাডিনোসিন ডাইফসফেট (এ.ডি.পি)-তে রূপান্তরিত হয় তখন শক্তি উৎপাদিত হয় এবং এর পরিমান হল 30 কিলোজুল প্রতি মোল। এই এ.ডি.পি থেকে পুনরায় এ.টি.পি. উৎপাদন হয় এবং এটি ঘটে আভ্যন্তরীন মাইটোকন্ড্রিয়ার কোষপর্দায় অবস্থিত এ.টি.পি সিন্থেজ (ATP Synthase) নামক এনজাইমের উপস্থিতিতে। এছাড়াও সাবস্ট্রেট লেভেল ফসফোরাইলেশন, অক্সিডেটিভ ফসফোরাইলেশন এবং ফোটোফসফোরাইলেশন এর মতো প্রক্রিয়াগুলিতেও এ.টি.পি-র উৎপাদন ঘটে।

$$ATP + H_2O \longrightarrow ADP + Pi + 30Kj/mole$$

- **ইন্ট্রাসেলুলার সিগন্যালিং :** এই প্রক্রিয়াটি সম্পূর্ণভাবে এ.টি.পি-র ওপর নির্ভরশীল। এ.টি.পি বাইন্ডিং প্রোটিন কাইনেজের সাবস্ট্রেট হিসাবে কাজ করে এই এ.টি.পি। কাইনেজের কার্যকলাপ ছাড়াও এ.টি.পি ইন্ট্রাসেলুলার বা আন্তঃকোষীয় ম্যাসেঞ্জার যেমন হরমোন, বিভিন্ন এনজাইম, নিউরোট্রান্সমিটার ইত্যাদির ক্রিয়াকলাপ নিয়ন্ত্রণ করে।

- **ডি.এন.এ এবং আর.এন.এ সংশ্লেষ :** ডি.এন.এ এবং আর.এন.এ সংশ্লেষণের জন্য এ.টি.পি দরকার হয়। কারণ আমরা জানি যে সংশ্লেষের সময় প্রয়োজনীয় চারটি নিউক্লিওটাইড ট্রাইফসফেট মনোমারগুলির মধ্যে একট হল এ.টি.পি।

- **নিউরোট্রান্সমিশন :** মস্তিষ্ক শরীরের এ.টি.পি-এর সর্বাধিক গ্রাহক। এটি উপলব্ধ মোট শক্তির প্রায় পঁচিশ শতাংশ ব্যয় করে। সাইন্যাপ্টিক ট্রান্সমিশন একটি শক্তি-দাবিদার প্রক্রিয়া এবং এই শক্তির অধিকাংশই সরবরাহ করে এ.টি.পি।

- **পেশী সংকোচন :** দৈনন্দিন হাঁটাচলার জন্য পেশী সংকোচন আবশ্যক এবং এইটি এ.টি.পি ব্যতীত ঘটতে পারে না। এটি পেশীকোষের মায়োসিনকে শক্তি সরবরাহ করে এবং অ্যাক্টিনকে একটি ক্রস-ব্রিজ গঠন করতে বাধ্য করে। একটি নতুন এ.টি.পি অণু মায়োসিনের সাথে আবদ্ধ হয় এবং এটি মায়োসিন ও অ্যাক্টিন ফিলামেন্টগুলির মধ্যে ক্রস-ব্রিজটি ভেঙে দেয়। এর ফলে মায়োসিন সঙ্কুচিত হয়। এ.টি.পি হাইড্রোলিসিস এই প্রতিটি প্রক্রিয়া চালনা করে। রক্ত সঞ্চালনের জন্য কার্ডিয়াক পেশীর সংকোচন, শরীর চলাচলের জন্য স্কেলিটাল পেশীর সঞ্চালন-এর মতো যান্ত্রিক কাজগুলি সম্পন্ন করার জন্য এ.টি.পি ব্যবহৃত হয়। ক্রোমোজোম এবং ফ্ল্যাজেলার চলাচল করার জন্যও এ.টি.পি অপরিহার্য।

- **অণু এবং আয়নের পরিবহন :** সক্রিয় পরিবহনের ক্ষেত্রে এ.টি.পি অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। সক্রিয় পরিবহন বলতে বোঝায় ঘনত্বের গ্রেডিয়েন্টের বিপরীতে আয়ন এবং অণুগুলির পরিবহন। প্রোটিন এবং লিপিডের মতন ম্যাক্রোমলিকুলগুলির কোষের ভিতরে বা কোষের বাইরে পরিবাহিত হবার জন্য এ.টি.পি-এর ভূমিকা অনস্বীকার্য। এ.টি.পি এন্ডোসাইটোসিস (কোষে অণু পরিবহন) এবং এক্সোসাইটোসিস (কোষের বাইরে পরিবহন) — এই দুই ধরনের পরিবহনেই হাইড্রোলেশনের মাধ্যমে শক্তি সরবরাহ করে থাকে।

9.4 সারাংশ

এ.টি.পি বা অ্যাডিনোসিন ট্রাই ফসফেট হল একটি জটিল অণু যা উদ্ভিদ এবং প্রাণীকোষে অহোরাত্র ঘটে এমন হাজারো প্রতিক্রিয়ায় শক্তি প্যাকেট বা রাসায়নিক ব্যাটারি হিসাবে কাজ করে। উদ্ভিদ ও প্রাণী ছাড়াও অণুজীবগুলিও (microbes) তাদের শক্তির প্রয়োজনের জন্য এ.টি.পি-এর ওপর নির্ভর করে। এ.টি.পি অণু একটি নাইট্রোজেন বেস, অ্যাডেনিন, একটি রাইবোজ শর্করা এবং তিনটি ফসফেট যৌগের সমন্বয়ে গঠিত। এই তিনটি ফসফেটই এ.টি.পি-এর ক্রিয়াকলাপের মূল চাবিকাঠি। ফসফেটগুলি অ্যানহাইড্রাস বন্ধনী এবং ফসফোএস্টার বন্ধনী দ্বারা যুক্ত

থাকে। এ.টি.পি-এর এস্টার বন্ধনীর আর্দ্রবিশ্লেষণ বা হাইড্রোলিসিস-এর ফলে 14Kj/mole শক্তি নির্গত হয় এবং প্রতিটি অ্যানহাইড্রাস বন্ধনীর বিয়োজনের ফলে 30 Kj/mol শক্তি নির্গত হয়। জীবজগতে উদ্ভিদ, প্রাণী এমনকি সকল অণুজীবকে বেঁচে থাকার জন্য যেসমস্ত কাজ করতে হয় তা সম্পন্ন করতে যে শক্তির প্রয়োজন তা এ.টি.পি-ই মূলতঃ সরবরাহ করে থাকে। এছাড়াও ইন্টারসেলুলার সিগ্‌নালিং, ডি.এন.এ ও আর.এন.এ-র সংশ্লেষ, নিউরোট্রান্সমিশন, পেশী সঞ্চালন এবং অণু ও আয়নের পরিবহনে এ.টি.পি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে।

9.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) এ.টি.পি অণুর গঠন বর্ণনা করুন।

(b) এ.টি.পি-র কার্যাবলী সংক্ষেপে লিখুন।

(c) এ.টি.পি-কে শক্তির আধার বলা হয় কেন ব্যাখ্যা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) এ.টি.পি-তে যে শর্করাটি থাকে যেটি _____ প্রকৃতির।

(b) উদ্ভিদ _____ প্রক্রিয়ার মাধ্যমে ক্লোরোপ্লাস্টে এ.টি.পি উৎপাদন করে।

(c) এ.টি.পি-তে বিটা ও গামা ফসফেট গ্রুপ _____ বন্ধনী দ্বারা যুক্ত।

(d) এ.টি.পি-এর আলফা ফসফেট গ্রুপ _____ বন্ধনী দিয়ে আবদ্ধ।

(e) এ.টি.পি থেকে এ.ডি.পি হাইড্রোলিসিসের সময় _____ শক্তি নির্গত হয়।

3. ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :

(a) গামা ফসফেট গ্রুপ	(i) ফসফোএস্টার বন্ধনী
(b) আলফা ফসফেট গ্রুপ	(ii) 14 Kj/mol
(c) এস্টার বন্ধনীর আর্দ্রবিশ্লেষণ	(iii) অ্যানহাইড্রাস বন্ধনী
(d) অ্যানহাইড্রাস বন্ধনীর বিয়োজন	(iv) 30 Kj/mol

9.6 উত্তরমালা

1. (a) 9.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 9.3 দ্রষ্টব্য

(c) 9.3 দ্রষ্টব্য

2. (a) রাইবোজ

(b) ফটোফসফোরাইলেশন

(c) অ্যানহাইড্রাস

(d) ফসফোএস্টার

(e) 30 কিলোজুল প্রতি মোল বা 30Kj/mol

3. (a) — (iii)

(b) — (i)

(c) — (ii)

(d) — (iv)

পর্যায় - II

উদ্ভিদ বিপাক (Plant Metabolism)

একক 10 ❑ জীবরসায়নের ভূমিকা

গঠন

10.0 উদ্দেশ্য

10.1 প্রস্তাবনা

10.2 জীবরসায়নবিদ্যা কি?

10.3 জীবরসায়ন — পরমাণু থেকে বৃহদাণু

10.4 জীবনের উৎস সন্ধানে জীবরসায়ন

10.5 জীবরসায়নের দৃষ্টিভঙ্গীতে কোষপর্দা

10.6 প্রাথমিক ও গৌণ বিপাকজাত পদার্থ

10.7 উৎসেচকবিদ্যা

10.8 জীবশক্তিবিদ্যা

10.9 আণবিক জীববিদ্যা

10.10 হর্মোন ও এলিসিটার

10.11 সারাংশ

10.12 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

10.13 উত্তরমালা

10.0 উদ্দেশ্য

জীবরসায়নের এই প্রারম্ভিক এককটি পাঠ করে আপনি,

- বিভিন্ন জীবঅণুগুলির (Biomolecules) গঠন কিভাবে নির্ণয় করা হয় সে বিষয়ে প্রাথমিক ধারণা লাভ করতে পারবেন।
- জৈবরাসায়নিক ক্রিয়ার মাধ্যমে কিভাবে বৃহদাণুগুলি (Macromolecules) সৃষ্টি হয়েছিল ও তাদের সাহায্যে প্রাণের সৃষ্টি হয়েছিল তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- কোষপর্দার জীবরসায়নিক ক্রিয়াপদ্ধতি বোঝাতে পারবেন।
- উদ্ভিদকোষের প্রাথমিক ও গৌণবিপাকজাত পদার্থগুলি সম্পর্কে পরিচিত হবেন।
- উৎসেচকবিদ্যা (Enzymology) ও তাপশক্তিবিদ্যার (Bioenergetics) গুরুত্ব উপলব্ধি করতে পারবেন।
- আণবিক জীববিদ্যায় (Molecular Biology) ও হর্মোনের ক্রিয়াপদ্ধতিতে জীবরসায়নের ভূমিকা সম্পর্কে জানতে পারবেন।

10.1 প্রস্তাবনা

জীবনের রসায়নই জীবরসায়ন (Biochemistry)। জীবন আসলে অসংখ্য জৈবরাসায়নিক ক্রিয়ার বহিঃপ্রকাশ মাত্র। প্রতিনিয়তই জীবদেহে নানাবিধ রাসায়নিক বিক্রিয়া হয়ে চলেছে তারই ফলস্বরূপ জীবকোষে শ্বসন সম্পন্ন হয়, ক্লোরোফিলের মাধ্যমে সবুজ উদ্ভিদ সালোকসংশ্লেষ ঘটায়, ATP নামক উচ্চশক্তিধর জৈব অণুর বিশ্লেষণ ঘটিয়ে যে শক্তি নির্গত হয় তা চলন, গমন, প্রজনন বা জোনাকি আলোক নিঃসরণের মতো জৈবনিক কাজে ব্যবহৃত হয়। জীবনের জন্মলগ্ন থেকে শুরু করে আজও এই জৈবনিক ক্রিয়াগুলি অব্যহত তবে বিবর্তনের সাথে সাথে তা সরল থেকে জটিল রূপ ধারণ করেছে।

জীবরসায়নের প্রাথমিক পাঠে আমরা জীবকোষে প্রাপ্ত বিভিন্ন যৌগগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করি। এরপর এই যৌগগুলি কিভাবে সংশ্লিষ্ট বা বিশ্লিষ্ট হয় এবং উৎপাদিত যৌগগুলি কি কি শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ায় ব্যবহৃত হয় সেই বিষয়ে শিক্ষালাভ করি। উৎসেচকের কার্যকারিতা, DNA অণুর মাধ্যমে ট্র্যান্সক্রিপশন ও ট্র্যান্সলেশন পদ্ধতিতে যথাক্রমে RNA ও প্রোটিনের সংশ্লেষ, হর্মোনের ক্রিয়াপদ্ধতি এ সবই জীবরসায়ন পাঠক্রমের অন্তর্ভুক্ত।

10.2 জীবরসায়নবিদ্যা কি?

আধুনিক বিজ্ঞানের একটি অন্যতম শাখা হল জীবরসায়ন (Biochemistry)। বিজ্ঞানের এই শাখাটি পদার্থবিজ্ঞান, রসায়ন ও জীববিজ্ঞানের সংমিশ্রণে সৃষ্ট যার প্রধান উদ্দেশ্য হল জীবদেহের বিভিন্ন রাসায়নিক ক্রিয়াপ্রক্রিয়া সম্পর্কে আলোচনা করা। একজন জীবরসায়নবিদ কোষ বা জীবদেহের রাসায়নিক প্রকৃতি সম্বন্ধেই শুধু আলোচনা করেন না, জীবনের উৎস সন্ধান করা থেকে উদ্ভিদ বা প্রাণীগোষ্ঠীর পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় ও জৈব অভিব্যক্তির বিভিন্ন ধারাগুলিও তার বৈজ্ঞানিক পর্যালোচনার অন্তর্ভুক্ত। জৈবরসায়ন থেকে উদ্ভূত এই আধুনিক বিজ্ঞানের উদ্দেশ্য হল আণবিক স্তরে কোষের কার্যকারিতা পর্যালোচনা করা।

জীবন সম্পর্কে জীববিজ্ঞানীদের থেকে জীবরসায়নবিদের দৃষ্টিভঙ্গী কিছুটা পৃথক। জীববিজ্ঞানীরা প্রধানত জীবের গঠনবৈচিত্র, শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়া ও পারস্পরিক সম্পর্ক সম্বন্ধে আলোচনা করেন কিন্তু জীবরসায়নবিদেরা জীবঅণুগুলি (Biomolecules) কিভাবে কোষীয় স্তরে কার্যকরী হয় সে বিষয়ে আলোচনা করেন। পরমাণু থেকে শুরু করে বৃহৎ অণুগুলির প্রকৃতি ও জৈবনিক স্তরে তাদের কার্যকারিতা আলোচনা করাই জীবরসায়নবিদের মূখ্য উদ্দেশ্য।

10.3 জীবরসায়ন — পরমাণু থেকে বৃহদাণু

একজন জীবরসায়নবিদের প্রাথমিক পাঠ হল পরমাণু থেকে শুরু করে বিভিন্ন জীবঅণুগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করা। প্রোটোপ্লাজমের মুখ্য উপাদানগুলি হল কার্বন, হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, নাইট্রোজেন, সালফার ও ফসফরাস। এই পরমাণুগুলির গঠনপ্রকৃতি বিশেষতঃ ইলেকট্রনের বিন্যাস না জানা থাকলে রাসায়নিক বিক্রিয়ায় তারা কিভাবে অংশগ্রহণ করবে সে বিষয়ে ধারণা করা সম্ভব নয়। এছাড়া তেজস্ক্রিয় (radioactive) মৌলগুলিকে ব্যবহার করে কোষে বিভিন্ন

মৌলগুলি কিভাবে বিভিন্ন যৌগে রূপান্তরিত হয় তা ট্রেসার পদ্ধতিতে (Tracer technique) আমরা জানতে পারি। বিজ্ঞানী রবিন হিল (Robin Hill) O^{18} আইসোটোপ ব্যবহার করে প্রমাণ করেছিলেন যে সালোকসংশ্লেষের ফলে উদ্ভুত অক্সিজেন, জল অণু থেকে সৃষ্টি হয় অথবা হারসে ও দেজ P^{32} আইসোটোপ ব্যবহার ক'রে প্রমাণ করেছিলেন যে DNA অণুই কোষের জিনগত পদার্থ। হিমোলাইটিক প্রক্রিয়ায় উৎপন্ন নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুক্ত মুক্ত মূলকগুলি (Free radicals) কিভাবে কোষপর্দা ও নিউক্লিক অম্লের ক্ষতিসাধন করে জীবরসায়নবিদেরা সে বিষয়ে আমাদের অবহিত করেছেন।

জীবরসায়নবিজ্ঞানে বিভিন্ন অণুগুলির গঠনপ্রকৃতি ও আণবিক বিন্যাস সম্পর্কেও আলোচনা করা হয়। জলের অণু কিভাবে ল্যাটিস গঠন করে, দ্বিতন্ত্রী DNA অণুর স্পাইরাল প্রকৃতি, প্রোটিনের প্রাথমিক, গৌণ ও প্রগৌণ গঠন সম্পর্কে বিজ্ঞানের এই শাখার মাধ্যমেই আমরা জ্ঞান লাভ করতে পারি। প্রতিটি জীব অণুর একটি ত্রিমাত্রিক আকৃতি থাকে যাকে স্টিরিওকেমিকাল গঠন বলা হয়। জীবরসায়নবিদেরা X-রশ্মি ক্রিস্টালোগ্রাফি (X-ray crystallography) ও নিউক্লিয়ার চুম্বকীয় অণুরনন (Nuclear magnetic resonance) পদ্ধতিতে বিভিন্ন জটিল অণুর পারমাণবিক বিন্যাস, বন্ধন কোণ্ ও বন্ধন দৈর্ঘ্য (Bond angle and bond length) নির্ণয় করে জটিল জীবঅণুগুলির গঠন বিন্যাস নির্ধারণ করেন। ত্রিমাত্রিক গঠনের মাধ্যমেই আমরা জানতে পারি একটি সাবস্ট্রেট কিভাবে উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে আবদ্ধ হয়, অ্যান্টিবডি কিভাবে অ্যান্টিজেনের সাথে যুক্ত হয়ে অনাক্রম্যতার (immunity) সৃষ্টি ক'রে, বিভিন্ন প্রজাতির tRNA (Species of tRNA) কিভাবে সুনির্দিষ্ট অ্যামাইনো অম্লকে বহন করে নিয়ে প্রোটিন সংশ্লেষ করে। জীবরসায়নবিদেরাই হিমোগ্লোবিন ও মায়োগ্লোবিনের ত্রিমাত্রিক গঠন বা ইনসুলিন নামক পলিপেপটাইড হর্মোনটির আণবিক গঠন আবিষ্কার করেছেন। পরবর্তীকালে এই তথ্যগুলিই জিনগত গবেষণায় এক নতুন দিগন্ত উন্মোচন করেছিল।

10.4 জীবনের উৎস সন্ধানে জীবরসায়ন

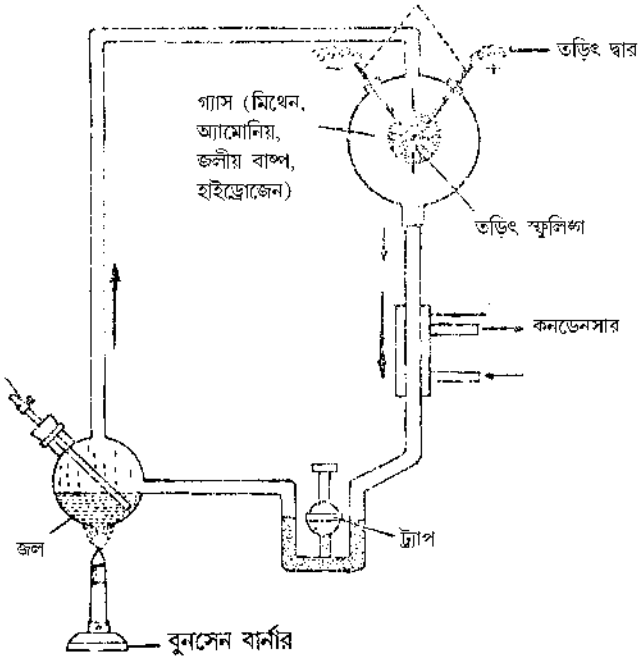
বিজ্ঞানী লুই পাস্তুর (Louis Pasteur) পরীক্ষা-নিরীক্ষার মাধ্যমে স্বতঃস্ফূর্ত জীব সৃষ্টির মতবাদকে নস্যাৎ করেন। তিনি প্রমাণ করেন যে পূববর্তী জীবের উৎস ছাড়া নতুন জীবের সৃষ্টি সম্ভব নয় কিন্তু পৃথিবীতে প্রথম জীবনের উৎপত্তি কিভাবে হয়েছিল সে বিষয়ে তিনি কোন ধারণা দিতে পারেন নি। বিজ্ঞানী আলেকজাণ্ডার ওপারিন (1920) বলেন যে পৃথিবীর শৈশব অবস্থায় পরিবেশে নাইট্রোজেন, কার্বন ডাই-অক্সাইড ও জলীয় বাষ্প ছাড়াও হাইড্রোজেন সালফাইড, অ্যামোনিয়া ও মিথেন জাতীয় বিজারণধর্মী গ্যাস ছিল। সৌরবিকিরন, আকাশে তড়িৎমোক্ষণের ফলে সৃষ্ট উচ্চ তাপ ও চাপ এবং অতিবেগুনী ও মহাজাগতিক রশ্মির প্রভাবে ধীরে ধীরে জৈব অণুগুলির সৃষ্টি হয়েছিল। ক্ষুদ্র জৈব অণুগুলির পারস্পরিক বিক্রিয়া ও সংযুক্তির মাধ্যমে প্রোটিন ও নিউক্লিক অম্লের সৃষ্টি হয়। এই সামগ্রিক প্রক্রিয়াকে রাসায়নিক বিবর্তন নামে অভিহিত করা হয়।

বিজ্ঞানী স্ট্যানলি মিলার ও হ্যারল্ড উরে (Stanley Miller and Harold Urey, 1953) একটি আবদ্ধ পাত্রে জলীয় বাষ্পের সাথে মিথেন, অ্যামোনিয়া ও হাইড্রোজেন 2 : 2 : 1 অনুপাতে রেখে তাতে তড়িৎস্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি করে দেখেন যে ল্যাকটিক অম্ল, গ্লাইসিন ও অ্যালানিন জাতীয় অ্যামাইনো অম্ল, ইউরিয়া ও ক্রেবস চক্রের বিভিন্ন অম্লগুলির (সাকসিনিক, অ্যাসপারটিক, গ্লুটামিক অম্ল) সৃষ্টি হয়েছে। পরবর্তী সময়ে জুয়ান ওরো (Juan Oro) হাইড্রোজেন

সায়ানাইড ও অ্যামোনিয়া মিশিয়ে একই পদ্ধতিতে অ্যামাইনো অম্ল ও অ্যাডেনিন উৎপন্ন করতে সক্ষম হন। জীবরসায়নবিদেরা এইভাবে আদিম পৃথিবীর পরিবেশকে অনুকরণ করে (Simulating the primitive earth condition) কৃত্রিম প্রক্রিয়ায় প্রাণ সৃষ্টির বিভিন্ন যৌগগুলি সৃষ্টি করতে সক্ষম হন। (চিত্র 1)।

বিজ্ঞানী ওপারিন মনে করেন যে জীব সৃষ্টির ইতিহাসে কোঅ্যাসারভেট ছিল প্রথম কোষীয় জীব। নিউক্লিক অম্লবিহীন এই অণুজীবটি লিপিড, প্রোটিন ও কার্বোহাইড্রেট দিয়ে গঠিত যা কোষপর্দার ন্যায় দ্বিস্তরীয় আবরণ দ্বারা আবৃত। পরবর্তীকালে বিজ্ঞানী এস. ডব্লু. ফক্স (S. W. Fox) আদিম অণুজীবের মাইক্রোস্ফিয়ার মডেলটির প্রবর্তন করেন।

জীবরসায়নবিদের মতে প্রাণের তথা জীবের উৎপত্তি পাঁচটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়েছিল— 1. জৈব রাসায়নিক সংশ্লেষ, 2. প্রোটিন ও নিউক্লিক অ্যাসিডের সংশ্লেষ, 3. কোষ পর্দার উদ্ভব, 4. নিউক্লিওপ্রোটিনের কোষপর্দার ভিতরে প্রবেশ, 5. প্রাথমিক কোষীয় জীবের আবির্ভাব।



চিত্র 1 : মিলার-উরের পরীক্ষা ব্যবস্থা।

10.5 জীবরসায়নের দৃষ্টিভঙ্গীতে কোষপর্দা

80 Å পুরুত্বযুক্ত লিপোপ্রোটিন নির্মিত দ্বিএকক কোষপর্দা বিগত তিন দশক ধরে জীবরসায়নবিদদের গবেষণার বস্তুরূপে আকৃষ্ট করেছে। কোষপর্দার তরল মোজাকি মডেল আবিষ্কার করেন সিঙ্গার ও নিকলসন (Singer and Nicolson, 1972)। এই আবিষ্কারের সময় থেকেই কোষপর্দার ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মগুলি যথার্থভাবে প্রকাশ পেতে শুরু করেছে। বর্তমানে কোষের যাবতীয় দ্বি-একক পর্দাকে জীবজ পর্দা (Biological membrane)

বলে নামাঙ্কিত করা হয় কারণ এই পর্দা শুধু প্রোটোপ্লাজমকেই আবদ্ধ রাখে না, রাইবোজোম ছাড়া অধিকাংশ কোষীয় অঙ্গাণুকে বেষ্টিত করে রাখে এবং এণ্ডোপ্লাজমীয় জালিকারূপে কোষের আভ্যন্তরীন কাঠামো (Cytoskeleton) গঠন করে।

জীবরসায়নের দৃষ্টিভঙ্গীতে কোষপর্দার কয়েকটি বিষয় এখানে উল্লেখ করা যেতে পারে :

1. পর্দার জৈবরাসায়নিক উপাদান : কোষপর্দার মুখ্য উপাদান প্রোটিন ও ফসফোলিপিড। এছাড়া গ্যালাক্টোলিপিড, কোলেস্টেরল ও মনোস্যাকারাইডের ক্ষুদ্র পলিমারও পর্দাস্থ লক্ষ্য করা যায়। প্রকৃতি অনুসারে প্রোটিন তিন ধরণের গঠনগত প্রোটিন, বাহক প্রোটিন ও উৎসেচক।

2. পরিবহণ প্রক্রিয়া : কোষপর্দার মাধ্যমেই পরিবেশ ও কোষের মধ্যে অণুর গমনাগমন সম্ভব হয়। কোষপর্দায় উপস্থিত লেসিথিন নামক ফসফোলিপিড এবং ট্র্যান্সলোকেস উৎসেচক পরিবহণে অংশ গ্রহণ করে। কোষপর্দাস্থিত Na^+K^+ATPase উৎসেচকটি সক্রিয় পরিবহণে সহায়তা করে। সাম্প্রতিককালে ইলেকট্রোকেমিকাল পদ্ধতিতে আয়ন পরিবহণের কয়েকটি চ্যানেল আবিষ্কৃত হয়েছে যাদের মধ্যে K^+ চ্যানেল, Ca^{2+} ভেদ্য চ্যানেল বিশেষ উল্লেখযোগ্য। এছাড়া অ্যাকোয়াপোরিন নামে বিশেষ চ্যানেলের মাধ্যমে কোষপর্দার মধ্য দিয়ে জল পরিবাহিত হতে দেখা যায়।

3. সিগন্যাল ট্র্যান্সডাকশন : পরিবেশ থেকে আগত বিভিন্ন ভৌত (আলো, তাপ প্রভৃতি) ও রাসায়নিক (ধাতব লবণ, হর্মোন, বিষাক্ত পদার্থ ইত্যাদি) উদ্দীপনাকে সিগন্যাল বলা হয়। যে পদ্ধতিতে এই সিগন্যালগুলি বিবর্ধিত ও পরিবাহিত করে কোষের অভ্যন্তরে নিয়ে যাওয়া হয় তাকে সিগন্যাল ট্র্যান্সডাকশন (Signal transduction) বলে। কোষপর্দায় উপস্থিত Ca^{2+} আয়ন, কোষপর্দার তড়িৎবিভব, G-প্রোটিন প্রভৃতি এই প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে।

4. ATP উৎপাদন : মাইটোকনড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় ও ক্লোরোপ্লাস্টের থাইলাকয়েডে উপস্থিত $F_0 - F_1$ নামক জটিল প্রোটিন অণুর মাধ্যমে ATP সিন্থেজ (ATP synthase) উৎসেচকের প্রভাবে প্রোটনচালক বলের সহায়তায় (Proton motive force) উচ্চ শক্তিধর যৌগ ATP উৎপন্ন হয়।

10.6 প্রাথমিক ও গৌণ বিপাকজাত পদার্থ

সালোকসংশ্লেষ, শ্বসন, লিপিড, প্রোটিন ও নাইট্রোজেনের বিপাককে প্রাথমিক বিপাক (Primary metabolism) বলে। সালোকসংশ্লেষ, প্রোটিন বা লিপিড সংশ্লেষ প্রভৃতি উপচিতিমূলক ক্রিয়া এবং শ্বসন বা ফ্যাটি অ্যাসিডের β-জারণ অপচিতি মূলক ক্রিয়ার উদাহরণ। সালোকসংশ্লেষের ফলে প্রধানত ফসফোগ্লিসার‍্যালডিহাইড, এরিথ্রোজ, পেন্টোজ শর্করা রাইবোজ ও রাইবুলোজ এবং হেক্সোজ শর্করা গ্লুকোজ উৎপন্ন হয়। গ্লুকোজ অণু শ্বসনের মুখ্য উপাদান হিসাবে ব্যবহৃত হয় অথবা গ্লুকোজের পলিমার সেলুলোজ কোষপ্রাচীর গঠনে এবং স্টার্চ সঞ্চিত খাদ্যরূপে ব্যবহৃত হয়। কেলভিন চক্রে উৎপন্ন জাইলুলোজও কোষপ্রাচীরে সঞ্চিত হয় এবং রাইবোজ নিউক্লিক অম্ল গঠনের কাজে লাগে। শ্বসনের ফলে উৎপন্ন টারটারিক, সাইট্রিক প্রভৃতি অম্ল টকজাতীয় ফলের মুখ্য উপাদান। মোমজাতীয় লিপিড বহিঃস্তরের কিউটিকিলে (Cuticle) পাওয়া যায় এবং বাদাম, নারকেল প্রভৃতি ফলে বিভিন্ন ধরণের ফ্যাটি অ্যাসিড পাওয়া যায়।

প্রাথমিক বিপাক ছাড়া জীবরসায়নিক প্রক্রিয়ায় উদ্ভিদে যে যৌগগুলি উৎপন্ন হয় তাদের গৌণবিপাকজাত পদার্থ (Secondary metabolic product) বলে। এরা উদ্ভিদের পুষ্প ও ফলে বর্ণ প্রদান করে, পুষ্প ও অন্যান্য অঙ্গে সুগন্ধ সৃষ্টি করে এবং উদ্ভিদের রোগ প্রতিরোধে সহায়তা করে। এই পদার্থগুলিকে অনেক সময় প্রাকৃতিক উপাদান (Natural product) বলা হয়। বর্তমানে উদ্ভিদদেহ থেকে প্রায় 25,000টি গৌণ বিপাকজাত পদার্থ পাওয়া গেছে যার মধ্যে 12,000টি উপক্ষার ও 8000টি ফেনলিক যৌগ।

কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ গৌণ বিপাকজাত পদার্থ হ'ল :

1. গ্লাইকোসাইড : ডিজিটালিস জাতীয় গ্লাইকোসাইড হৃৎপিণ্ডের ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে। এছাড়া অ্যান্থোসায়ানিন নামক জলদ্রাবী রঞ্জক (water soluble pigment) পুষ্পের বর্ণসম্ভার সৃষ্টি করে।

2. উপক্ষার : নাইট্রোজেনযুক্ত এই যৌগগুলি ওষধি হিসাবে ব্যবহৃত হয়। যেমন, সর্পগন্ধার রেসারপিন রক্তচাপ নিয়ন্ত্রণে, আফিং গাছের মরফিন বেদনাশক রূপে ব্যবহৃত হয়।

3. ট্যানিন : চা, হরিতকি প্রভৃতি গাছে ট্যানিন থাকে।

4. টারপিনয়েড : ইউক্যালিপটাস তেল, পাইন তেল, তারপিন তেল প্রভৃতি টারপিনয়েড যৌগ।

5. ফ্ল্যাভোনয়েড : এই যৌগগুলি বর্ণযুক্ত ও গাছের বল্কলে সর্বাধিক পরিমাণে পাওয়ায়। ফুলের পাপড়িতেও লিউকোপেলারোগনিডিন জাতীয় ফ্ল্যাভোনয়েড লক্ষ্য করা যায়। যার থেকে অ্যান্থোসায়নিন উৎপন্ন হয়।

6. ফেনলিকস : হাইড্রক্সিবেনজিনধর্মী বিভিন্ন ফেনলিকস নানা ধরনের গন্ধের সৃষ্টি করে যেমন ক্যাপসাইসিন লঙ্কার ঝাঁঝালো গন্ধ, ভ্যানিলিন ভ্যানিলার গন্ধ উৎপন্ন করে।

বিভিন্ন গৌণ বিপাকজাত পদার্থগুলি উদ্ভিদের শ্রেণিবিন্যাসকরণের মূল্যবান উপকরণ। রাসায়নিক পদার্থের উপর ভিত্তি করে উদ্ভিদের শ্রেণিবিন্যাসকে কেমোট্যাক্সোনমি (Chemotaxonomy) বলা হয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে কিউপ্রেসেসী ও পাইনেসী — এই দুটি ব্যক্তবীজী উদ্ভিদ গোত্রে ফেনলিক যৌগগুলি পৃথক প্রকৃতির হয়, সিউডোসুগা (Pseudotsuga) বিভিন্ন প্রজাতিগুলিতে পৃথক পৃথক অলিওরেজিন থাকে, লরেসী, নিম্ফিসী ও মনিমিয়েসী গোত্রগুলিতে বেনজাইল আইসোকুইনোলিন জাতীয় উপক্ষার থাকে।

10.7 উৎসেচকবিদ্যা

জীবরসায়নের যে বিশেষ শাখায় উৎসেচকের গঠন, শ্রেণিবিন্যাস, ক্রিয়াপদ্ধতি ও বিশুদ্ধীকরণ সম্পর্কে আলোচনা করা হয় তাকে উৎসেচকবিদ্যা বলা হয়। সজীব কোষ থেকে নিঃসৃত প্রোটিনধর্মী যে জৈব অনুঘটক কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে প্রভাবিত করে কিন্তু বিক্রিয়ার শেষে নিজে অপরিবর্তিত থাকে তাকে উৎসেচক বলে।

জীবদেহে প্রায় সমস্ত জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়াই উৎসেচকের উপর নির্ভরশীল।

উৎসেচকগুলিকে বিক্রিয়া পদ্ধতির উপর ভিত্তি করে 6 টি শ্রেণিতে (অক্সিডোরিডাকটেজ, ট্রান্সফারেস, হাইড্রোলেজ, লায়াসেস, আইসোমারেস ও লাইগেজ) ভাগ করা হয়। প্রতিটি উৎসেচক আবার সাবস্ট্রেটের কোন অংশের সাথে ক্রিয়া করে এবং সহউৎসেচকের উপস্থিতির উপর ভিত্তি করে উপশ্রেণি এবং উপ-উপশ্রেণিতে (sub class and sub subclass) বিভক্ত করা হয়।

জীবরসায়নবিজ্ঞানে উৎসেচকবিদ্যা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ স্থান অধিকার করে আছে কারণ :

1. কোষের যাবতীয় বিপাকপদ্ধতি উৎসেচক দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।
2. রিকম্বিনেন্ট DNA টেক্‌নোলজিতে (Recombinant DNA technology) DNA-এর নির্দিষ্ট অংশকে রেস্‌ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ উৎসেচকের মাধ্যমে কর্তিত করা হয়।
3. পেপসিন, ডায়াসটেজ প্রভৃতি উৎসেচকগুলি পরিপাককারী ওষুধরূপে ব্যবহার করা হয়।
4. চিকিৎসাবিজ্ঞানে উৎসেচককে রোগনির্ণয়ের জন্য ব্যবহার করা হয়। যেমন, অগ্ন্যাশয়জনিত রোগ নির্ণয়ের জন্য অ্যামাইলেজ, যকৃতের অবস্থা নির্ণয়ের জন্য γ গ্লুটামাইল ট্র্যান্সপেপটাইডেজ, ভাইরাল হেপাটাইটিস নির্ণয়ের জন্য অ্যালানিন অ্যামাইনো ট্র্যান্সফারেজ উৎসেচকের ক্রিয়ার হার পরিমাপ করা হয়।
5. যখন একটি উৎসেচকগোষ্ঠীর ক্রিয়াপদ্ধতি একই রকম হয় কিন্তু আণবিক ওজন পৃথক পৃথক হয় তখন তাদের আইসোএনজাইম বা আইসোজাইম বলে। মানবদেহে ল্যাকটেট ডিহাইড্রোজেনেসের পাঁচটি আইসোজাইম পাওয়া গেছে। ইলেকট্রোফোরেসিস পদ্ধতিতে আইসোজাইমগুলি পৃথক করে তাদের সংখ্যা ও আণবিক ওজন নির্ণয় করা হয়। জিনের প্রকৃতি অনুসারে আইসোজাইমগুলি পরিবর্তিত হয়। আইসোজাইমের সংখ্যা ও প্রকৃতি নির্ণয় করে উদ্ভিদ প্রজাতিগুলির পারস্পরিক সম্পর্ক নির্ণয় করা যায়। জিনগত গবেষণাতেও আইসোজাইমের প্রকৃতি নির্ধারণ করা হয়।

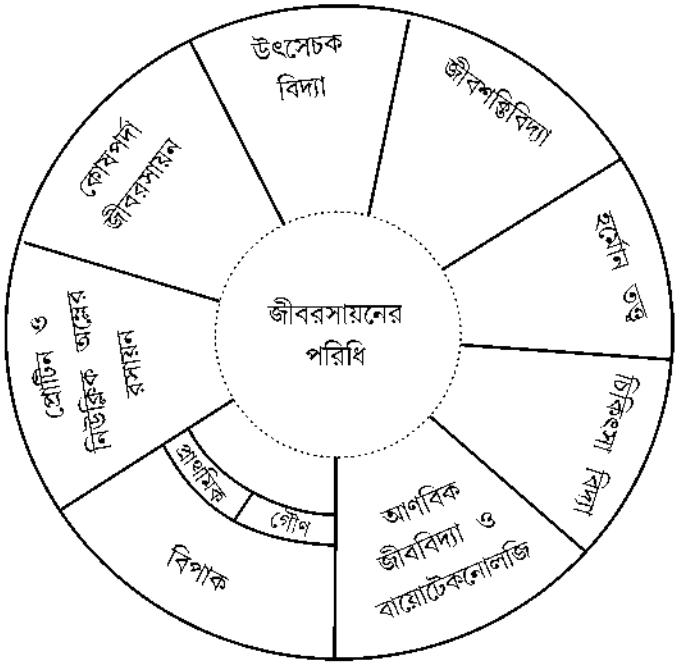
10.8 জীবশক্তিবিদ্যা

জীবশক্তিবিদ্যা (Bioenergetics) প্রধানত তাপগতিবিদ্যার (Thermodynamics) সূত্র মেনে চলে। নির্দিষ্ট তাপ ও চাপে কার্যক্ষম শক্তির পরিমাণকে গিবসের মুক্ত শক্তি (Gibbs free energy বা $\underline{G}$) বলা হয়। শক্তি নির্গমনকারী বিক্রিয়ার (Exergonic) ফলে সিস্টেমে মুক্ত শক্তির পরিমাণ কমতে থাকে বলে মুক্ত শক্তির পরিবর্তনকে ($\Delta \underline{G}$) ঋণাত্মক ধরা হয় এবং শক্তিগ্রহণকারী (Endergonic) বিক্রিয়ায় সিস্টেমে মুক্ত শক্তির পরিমাণ বৃদ্ধি পাওয়াতে $\Delta \underline{G}$ কে ধনাত্মক ধরা হয়। কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় উৎপাদিত যৌগগুলির মুক্ত শক্তি এবং বিক্রিয়ার পূর্বে বিকারকগুলির মুক্ত শক্তির বিয়োগফলকে $\Delta \underline{G}^{0'}$ রূপে চিহ্নিত করা হয় এবং এর মান সচরাচর KJ/moleএ প্রকাশ করা হয়। কোন বিক্রিয়ায় যত তাপশক্তি নির্গত হয় $\Delta \underline{G}^{0'}$ এর মান তত ঋণাত্মক হয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে গ্লুকোজ অণুর জারণের ফলে $\Delta \underline{G}^{0'}$ এর মান –2840 KJ/mole হয় কিন্তু পামিটিক অম্ল অনেক বেশী তাপশক্তি নির্গত করে বলে এই মান –9770 KJ/mole হয়। জীবশক্তিবিদ্যার মাধ্যমে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া কি পরিমাণ শক্তি বা তাপ গ্রহণ বা বর্জন করে তা নির্ণয় করা যায়। ইলেকট্রন পরিবহনতন্ত্রের মাধ্যমে নির্গত মুক্ত শক্তি কিভাবে উচ্চশক্তি সম্পন্ন ATP অণু উৎপাদনে ব্যবহৃত হয় জীব-শক্তিবিদ্যার সাহায্যে আমরা তা গাণিতিকভাবে নির্ণয় করতে পারি।

10.9 আণবিক জীববিদ্যা

কোষের জৈবনিক ক্রিয়াগুলিকে আণবিক স্তরে আলোচনা করাই আণবিক জীববিদ্যার মুখ্য উদ্দেশ্য। প্রকৃতপক্ষে, আণবিক জীববিদ্যার প্রধান আলোচ্য বিষয় হল জিন ও তার কার্যকারিতা।

এই পদ্ধতির প্রাথমিক পর্যায়ে জিনকে সনাক্ত করার জন্য জীবরসায়নবিদের সহায়তা আবশ্যক। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে ইনসুলিন নামক পলিপেপটাইড হর্মোনটির অ্যামাইনো অম্ল ক্রমান্বয় (Amino acid sequence)



চিত্র 2 : জীবরসায়নের বিভিন্ন শাখা

জীবরসায়নবিদেরা নির্ণয় করেন। এরপর জেনেটিক কোডের অভিধান (Dictionary of genetic code) ব্যবহার করে এই পলিপেপটাইড সংশ্লেষের জন্য নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইডগুলির সজ্জারীতি নির্ধারণ করা হয়। এরপর কোন্ ক্রোমোজোমের DNA অণুতে ঐ সজ্জারীতি আছে তা দেখে ইনসুলিনের জিনটিকে সনাক্ত করা হয়। এর পরে রেসট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েস উৎসেচকের মাধ্যমে জিনটিকে DNA থেকে কর্তিত করা যায় এবং PCR (Polymerase Chain Reaction) পদ্ধতিতে বা বিভিন্ন ভেক্টর বা বাহক ব্যাকটেরিয়ায় প্রবেশ করিয়ে ঐ জিনের অনেকগুলি প্রতিলিপি গঠন করা সম্ভব হয়। বিজ্ঞানী ডিকসন ও পোস্টগেট (Dixon and Postgate) প্রায় অনুরূপ

পদ্ধতিতে নাইট্রোজেনেস উৎসেচক উৎপাদনকারী nif জিনকে *রাইজোবিয়াম* থেকে পৃথক করে ***E. coli*** নামক ব্যাকটেরিয়ায় প্রবেশ করিয়ে নাইট্রোজেন সংবন্ধনকারী ***E. Coli*** তৈরী করতে সক্ষম হন। অ্যান্থোসায়ানিন রঞ্জকটি অনেক ফুলের বর্ণবৈচিত্রের জন্য দায়ী। জীবরাসায়নিক গবেষণায় প্রমাণিত হয়েছে যে চ্যালকোন সিন্থেটেজ (Chalcone synthetase) উৎসেচকটি অ্যান্থোসায়ানিনের সংশ্লেষ ঘটায়। এই তথ্যের উপর ভিত্তি করেই আণবিক জীববিদেরা এই উৎসেচক সৃষ্টিকারী জিনটিকে সনাক্ত ও পৃথক করে পিটুনিয়া (*Petunia*) উদ্ভিদে প্রবেশ করিয়ে রংবেরংএর ফুল ফুটিয়েছেন।

10.10 হর্মোন ও এলিসিটর

প্রাণীবিদ্যা ও চিকিৎসাবিদ্যায় এণ্ডোক্রিনোলজি (Endocrinology) নামক বিশেষ শাখায় হর্মোন সংক্রান্ত বিষয়ে আলোচনা করা হয়। উদ্ভিদবিজ্ঞানে এরূপ সুনির্দিষ্ট কোন শাখা না থাকলেও জীবরসায়নবিদেরা উদ্ভিদ হর্মোন নিয়েও প্রচুর গবেষণা করে চলেছেন।

রাসায়নিকভাবে হর্মোনকে দু'টি শ্রেণিতে ভাগ করা হয়। নাইট্রোজেনযুক্ত হর্মোন যার মধ্যে অক্সিন ও সাইটোকাইনিন অন্তর্ভুক্ত এবং নাইট্রোজেনবিহীন হর্মোন, যেমন জিব্বারেলিন, অ্যাবসিসিক অম্ল ও ইথিলিন। এছাড়া ফ্লোরিজেন পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করলেও এদের রাসায়নিক ধর্ম এখন অজ্ঞাত— তাই একে প্রকল্পিত হর্মোন (Hypothetical hormone) বলে।

জীবরসায়নিক গবেষণায় বিভিন্ন হর্মোনগুলির সংশ্লেষ পথতি আবিষ্কৃত হয়েছে। ট্রিপ্টোফ্যান ও মিথিওনিন নামক অ্যামাইনো অম্ল থেকে যথাক্রমে অক্সিন (IAA) ও ইথিলিনের সংশ্লেষ ঘটে। টারপিনজাতীয় যৌগ মেভালনিক অম্ল পথে (Mevalonic acid pathway) জিব্বারেলিন ও অ্যাবসিসিক অম্লের সৃষ্টি করে। অপরদিকে, অ্যাডিনোসিন S' মনোফসফেট (S'AMP) থেকে সাইটোকাইনিন হর্মোনগোষ্ঠীর সংশ্লেষ ঘটে।

জীবরসায়নবিদ্যার সাহায্যে এই হর্মোনগুলি কিভাবে উদ্ভিদের বৃদ্ধি ও বিপাকক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে সে বিষয়ে আমরা ধারণা লাভ করি। জীবরসায়ন পাঠ করে আমরা জানতে পারি যে অক্সিন কিভাবে β-1, 3 গ্লুকানেজের সংশ্লেষ ঘটিয়ে কোষপ্রাচীরকে শিথিল করে এবং অভিস্রবণ চাপ বৃদ্ধি ক'রে কোষের আয়তন বাড়িয়ে দেয় এবং GA দানাশস্যের অ্যালুউরোন স্তরে α-অ্যামাইলেজের সংশ্লেষ ঘটিয়ে স্টার্চকে গ্লুকোজে রূপান্তরিত ক'রে প্রয়োজনীয় পুষ্টি প্রদান করে।

জীবরসায়নবিদেরা উদ্ভিদে এমন কয়েকটি যৌগ আবিষ্কার করেছেন যেগুলি কয়েকটি নির্দিষ্ট শারীরবৃত্তীয় ও বিপাকপথতিকে নিয়ন্ত্রণ করে। সমস্ত উদ্ভিদে এদের উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায় না। এই ধরণের বিশেষ যৌগদের এলিসিটার (Elicitor) বলে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে সরষে গোত্রীয় উদ্ভিদের ব্রাসিনোস্টেরয়েড আলোক প্রভাবিত রূপান্তর (Photomorphogenesis), জ্যাসমোনিক অম্ল রোগ প্রতিরোধে, স্যালিসাইলিক অম্ল পুষ্প প্রস্ফুটনে সহায়তা করে (চিত্র 2)।

10.11 সারাংশ

জীবরসায়ন বিদ্যা জীবনবিজ্ঞানের একটি আধুনিক শাখা। এই বিজ্ঞানচর্চার মাধ্যমে আমরা কোষের রাসায়নিক ক্রিয়াপ্রতিক্রিয়াগুলি সম্পর্কে ধারণা লাভ করি। 300 মিলিয়ন বছর আগে যখন পৃথিবীতে প্রাণের স্পন্দন শুরু হয়েছিল তখন থেকে শুরু করে জীবরসায়নিক ক্রিয়ার মাধ্যমেই কোষের বিভিন্ন জৈবনিক ক্রিয়াগুলি সম্পন্ন হয়। Na^+ K^+ ATPase উৎসেচকের মাধ্যমে কোষপর্দার মধ্য দিয়ে সক্রিয় পরিবহণ সম্পন্ন হয় এবং G প্রোটিন নামক অলিগোমারিক বা বহুপলিপেপটাইডযুক্ত প্রোটিন কোষের সিগ্‌ন্যাল ট্রান্সডাকশন নিয়ন্ত্রণ করে। উৎসেচক কোষের বিভিন্ন রাসায়নিক বিক্রিয়ার হার নিয়ন্ত্রণ করে। সামগ্রিক বিপাক পদ্ধতি গঠনাত্মক উপচিতি ও ধ্বংসাত্মক অপচিতিমূলক ক্রিয়ায় বিভক্ত। সালোকসংশ্লেষ, শ্বসন, লিপিড ও প্রোটিন বিপাকের ফলে উৎপন্ন পদার্থগুলিকে প্রাথমিক বিপাকজাত পদার্থ বলে। এছাড়াও কোষে উপক্ষার, রেসিন, টারপিনয়েড প্রভৃতি গৌণ বিপাকজাত পদার্থ সৃষ্টি হয় যাদের নানাবিধ অর্থনৈতিক গুরুত্ব আছে। জীবরসায়নবিদেরাই নিউক্লিক অম্লের গঠন, প্রোটিন সংশ্লেষ পদ্ধতি ও জিনের ক্রিয়াপদ্ধতি সম্বন্ধে নানাবিধ ধারণা দেন এবং এই তথ্যগুলির উপর ভিত্তি করেই আণবিক জীববিদ্যা, বায়োটেকনলজি প্রভৃতি আধুনিক বিজ্ঞানের সৃষ্টি হয়েছে।

10.12 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) প্রাকৃতিক পরিবেশকে অনুসরণ করে জীবরসায়নবিদেরা কিভাবে প্রাণের সন্ধান পেয়েছিলেন?
(b) কোষ পর্দার দু'টি কাজ উল্লেখ করুন যা রাসায়নিক প্রক্রিয়ার মাধ্যমে নিয়ন্ত্রিত হয়।
(c) উদ্ভিদের কয়েকটি গৌণ বিপাকজাত পদার্থের নাম ও কাজ উল্লেখ করুন।
(d) কেমোট্যাক্সোনমি কি? জৈব যৌগগুলি কিভাবে বিজ্ঞানের এই শাখাকে সহায়তা করে?
(e) উৎসেচকের প্রধান গুরুত্বগুলি উল্লেখ করুন।
(f) ট্রেসার পদ্ধতি কি?

2. শূণ্যস্থান পূরণ করুন :

(a) অনাক্রম্যতার সৃষ্টি হয় —— ও —— এর বিক্রিয়ার মাধ্যমে।
(b) নিঃসঙ্গ ইলেকট্রনযুক্ত মূলকগুলিকে —— বলে।
(c) সর্পগন্ধার —— একটি উপক্ষারের উদাহরণ।
(d) অ্যান্থোসায়ানিন সংশ্লেষের মুখ্য উৎসেচকটি হল ——
(e) যে উৎসেচক DNA অণুকে নির্দিষ্ট অঞ্চলে কর্তিত করে তার নাম —— ——।
(f) —— অণুজীবের মাইক্রোস্ফিয়ার মডেলটির প্রবর্তন করেন।
(g) শক্তি নির্গমনকারী বিক্রিয়ায় ΔG এর মান —— হয়।

3. এক কথায় উত্তর দিন :

(a) আণবিক গঠন নির্ণয়ের জন্য দুটি বৈজ্ঞানিক পদ্ধতির নাম করুন।

(b) G প্রোটিনের কাজ কি?
(c) উৎসেচকের ছয়টি শ্রেণির নাম লিখুন।
(d) এলিসিটর কি?
(e) জ্যাসমোনিক অম্ল কি কাজ করে?
(f) কোন্ বিপাকীয় পথে জিব্বারেলিন ও অ্যাবসিসিক অম্লের সৃষ্টি হয়?

10.13 উত্তরমালা

1. (a) 10.4 অনুচ্ছেদ দেখুন।
   (b) সক্রিয় পরিবহণ ও সিগন্যাল ট্র্যান্সডাকশন।
   (c) 10.6 দ্রষ্টব্য
   (d) 10.6 অনুচ্ছেদ দেখুন
   (e) 10.7 দ্রষ্টব্য
   (f) তেজস্ক্রিয় মৌলগুলিকে ব্যবহার করে কোষে বিভিন্ন যৌগের উপস্থিতি ও বিপাকপ্রক্রিয়ার বিভিন্ন পর্যায়কে সন্ধান করার পদ্ধতিকে ট্রেসার পদ্ধতি বলে।
2. (a) অ্যান্টিজেন ও অ্যান্টিবডি
   (b) মুক্ত মূলক।
   (c) রেসারপিন।
   (d) চ্যালকোন সিন্থেটেজ
   (e) রেসট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ
   (f) ফকস।
   (g) ঋণাত্মক
3. (a) X-রশ্মি ক্রিস্টালোগ্রাফি ও নিউক্লিয়ার ম্যাগনেটিক রেসোনেন্স (NMR) পদ্ধতি।
   (b) সিগন্যাল ট্র্যান্সডাকশন।
   (c) 10.7 দেখুন।
   (d) 10.10 দ্রষ্টব্য।
   (e) উদ্ভিদের রোগ প্রতিরোধে সহায়তা করে।
   (f) মেভালনিক অম্লপথ।

একক 11 ❑ জল, pH ও বাফার

গঠন

11.0 উদ্দেশ্য

11.1 প্রস্তাবনা

11.2 জলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম

11.3 উদ্ভিদজীবনে জলের গুরুত্ব

11.4 pH কি?

11.5 pH এর গাণিতিক নির্ণয়

11.6 pH এর গুরুত্ব

11.7 বাফার

11.8 সারাংশ

11.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

11.10 উত্তরমালা

11.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- জলের আণবিক গঠন ও উদ্ভিদজীবনে জলের প্রয়োজনীয়তা সম্বন্ধে ধারণা লাভ করবেন।
- pH-এর মান কিভাবে গাণিতিকভাবে নির্ণয় করা হয় তা শিখতে পারবেন ও বাফারের কার্যকারিতা জানতে পারবেন।

11.1 প্রস্তাবনা

জল কোষের সবচেয়ে প্রয়োজনীয় উপাদান। অন্যান্য দ্রাবকের তুলনায় জলের তাপগ্রাহীতা, বাষ্পীভবনের লীন তাপ, দ্রবণীয়তা বেশী হওয়ায় কোষীয় পরিবেশে এই দ্রাবকটিই সবচেয়ে বেশী গ্রহণযোগ্য হয়েছে। কোষে 70-80 শতাংশই জল এবং প্রোটোপ্লাজমের সক্রিয়তা জলের অনুপস্থিতিতে বিনষ্ট হয়। জলীয় মাধ্যমেই উদ্ভিদ খনিজ লবণ ও খাদ্যের পরিবহণ করে, হর্মোন ও বিপাকীয় ক্রিয়ার ফলে উদ্ভুত বর্জ্যপদার্থগুলি উৎপত্তিস্থান থেকে স্থানান্তরিত করে। হাইড্রোলেজ শ্রেণির উৎসেচক জলের উপস্থিতিতে কার্যকরী হয়। দেহের অতিরিক্ত জল উদ্ভিদ বাষ্পমোচনের মাধ্যমে নির্গত করে এবং এই প্রক্রিয়ার সময় পাতা বাষ্পীভবনের লীনতাপ ত্যাগ করে শীতল হয়।

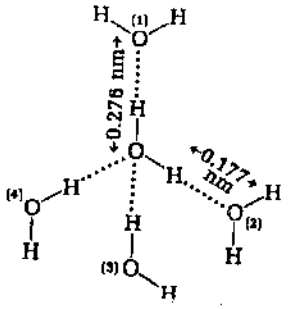
উদ্ভিদকোষে বিপাকীয় কার্যগুলি অম্লত্ব ও ক্ষারত্বের উপর নির্ভরশীল। অম্ল বা ক্ষারের তীব্রতাকে pH স্কেলের

মাধ্যমে নির্ধারণ করা হয়। pH হল H^+ আয়ন ঘনত্বের ঋণাত্মক লগারিদম। pH স্কেলটির মান 0 থেকে 14 পর্যন্ত বিস্তৃত হয়। প্রশম (neutral) মাধ্যমের pH 7 হয় এবং অম্লের তীব্রতা বৃদ্ধির সাথে সাথে pH এর মান কমতে থাকে ও ক্ষারের তীব্রতা যত বৃদ্ধি পায় pH এর মান তত বাড়তে থাকে। বাফার হল একটি দ্রবণ বা মাধ্যম যাতে অম্ল বা ক্ষার বাইরে থেকে প্রয়োগ করলে pH-এর বিশেষ পরিবর্তন হয় না।

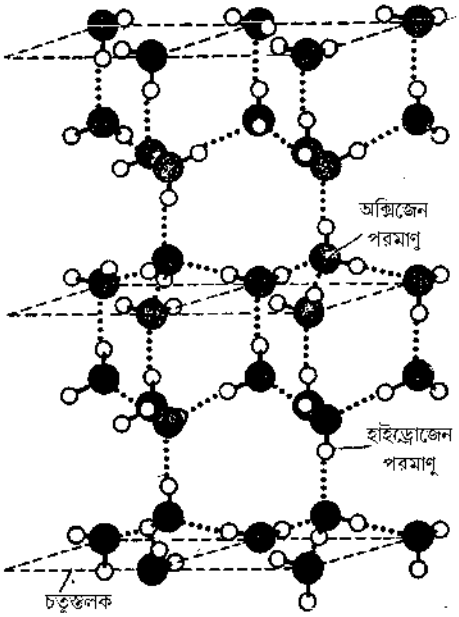
11.2 জলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্ম

প্রতিটি কোষের অত্যাবশ্যক উপাদান হল জল। সৌরমণ্ডলে পৃথিবীতেই জলের উপস্থিতি লক্ষ্য করা গেছে যা জীবের উৎপত্তির ক্ষেত্রে সহায়ক উপাদান হিসাবে কার্যকরী হয়েছিল। জলের কয়েকটি ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মের জন্য জীবদেহ জলকে প্রয়োজনীয় উপাদান হিসাবে গ্রহণ করেছে।

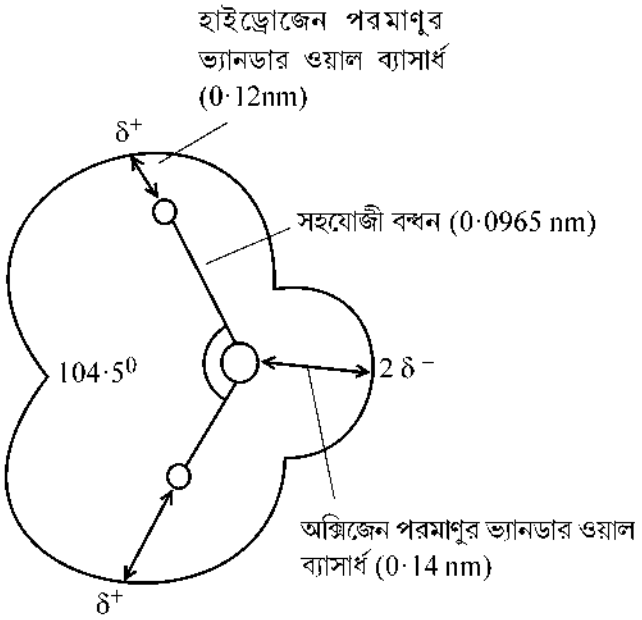
1. জল একটি অত্যন্ত সরল যৌগ যেখানে একটি অক্সিজেন পরমাণু দুটি হাইড্রোজেন পরমাণুর সাথে যুক্ত থাকে।
2. জলের আণবিক ওজন 18, বাষ্পীয় ঘনত্ব 9, আপেক্ষিক গুরুত্ব 1।
3. স্পেক্ট্রোস্কোপি ও X-রশ্মি প্রয়োগের মাধ্যমে দেখা গেছে যে O – H এর বন্ধনী দূরত্ব (Bond distance) 0.958 $\mathring{A}$ এবং $^{-}$H – O – H এর বন্ধনী কোণের (Bond angle) মান 104.5°।
4. জলের অক্সিজেন পরমাণু তড়িৎ ঋণাত্মক হওয়ায় পার্শ্ববর্তী দুটি হাইড্রোজেন পরমাণু থেকে আংশিকভাবে একটি করে ইলেকট্রন গ্রহণ করে আংশিক ঋণাত্মক অবস্থায় থাকে ($2\delta^-$) এবং একই কারণে হাইড্রোজেন পরমাণু দু'টি (δ^+) রূপে অবস্থান করে।
5. জলের অণুতে H বন্ধনীর শক্তি সহযোজী বন্ধনীর (Covalent bond) তুলনায় অনেক কম। হাইড্রোজেন বন্ধনীর শক্তি ~ 20 KJ/ মোল যেখানে সহযোজী বন্ধনীর শক্তি 460 KJ/মোল।
6. জলের অণু ভ্যান ডার ওয়ালস্ (van dar waals) আবরণী দ্বারা আবৃত থাকে (1) অক্সিজেন পরমাণুর ভ্যান ডার ওয়ালস্ ব্যাসার্ধ হল 1.4 $\mathring{A}$ এবং হাইড্রোজেন পরমাণুর ভ্যান ডার ওয়ালস্ ব্যাসার্ধ হল 1.2 $\mathring{A}$ (চিত্র 3)।
7. জলের ঘনত্ব 0° C তাপমাত্রায় 1 গ্রাম / মিলি, কিন্তু জল বরফে পরিণত হলে চতুস্তলক নকশা (Tetrahedral lattice) গঠন করে ও এর ফলে বরফের ঘনত্ব কমে 0.92 গ্রাম/মিলি হয়। জল ঘনীভূত হওয়ায় বরফে পরিণত হলে ঘনত্ব কমে যাওয়ার অস্বাভাবিক ঘটনাকে ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলে।
8. জলের তাপগ্রাহীতা অন্যান্য দ্রাবকের তুলনায় অনেক বেশী। 1 গ্রাম জলের 1° C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে 1 Calorie (Cal) তাপ লাগে যেখানে অধিকাংশ জৈব দ্রাবকের ক্ষেত্রে আপেক্ষিক তাপ 0.5 Cal এর বেশী হয় না।
9. জলের বাষ্পীভবনের লীন তাপ 540 Cal / গ্রাম কিন্তু অন্য জৈব দ্রাবকের বাষ্পীভবনের লীন তাপ 100 Cal / গ্রামের বেশী হয় না।



চিত্র 1 : জল অণুর পারমাণবিক বিন্যাস



চিত্র 2 : বরফে জল অণুর চতুস্তলক নক্সা



চিত্র 3 : 3 জলের অণুতে H ও O পরমাণুর ভ্যান ডার ওয়াল ব্যাসার্ধ

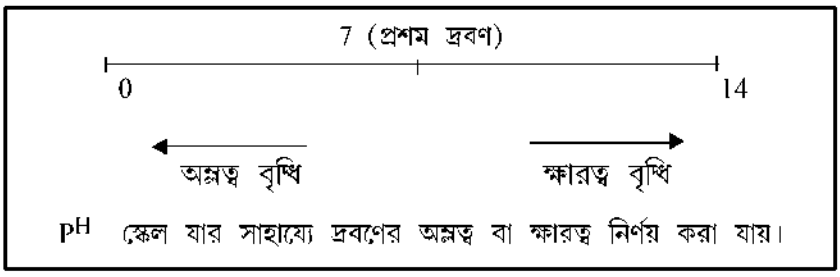
11.3 উদ্ভিদজীবনে জলের গুরুত্ব

উদ্ভিদদেহে জলের প্রয়োজনীয় ভূমিকাগুলি হল :

1. অভিব্যক্তিবিদেরা প্রমাণ করেছেন যে সমুদ্রের অন্তত 10 মিটার গভীরে প্রথম প্রাণের সৃষ্টি হয়েছিল কারণ জলের ঐ গভীরতায় DNA বিনাশকারী অতিবেগুণী রশ্মি প্রবেশ করতে পারে না। নীলাভ সবুজ শৈবাল ও অন্যান্য শৈবালেরও জন্মস্থান ছিল জল — কাজেই জলকে উদ্ভিদের উৎপত্তিস্থান বলা হয়।
2. সজীব কোষের প্রোটোপ্লাজমে 70 – 80% জল থাকে যা প্রোটোপ্লাজমকে সিক্ত ও সজীব রাখে এবং বিপাকীয় ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।
3. জলীয় মাধ্যমে কোষান্তর ব্যাপন ও অভিস্রবণ ক্রিয়া নিয়ন্ত্রিত হয়।
4. জলীয় দ্রবণের সাহায্যে মৃত্তিকাস্থিত খনিজ লবণ উদ্ভিদ দেহে পরিবাহিত হয়।
5. উদ্ভিদ বাষ্পমোচন প্রক্রিয়ায় অতিরিক্ত জল নির্গত করে এবং এর ফলে পত্রতল থেকে যে লীনতাপ গৃহীত হয় তা উদ্ভিদকে শীতল রাখতে সাহায্য করে।
6. বিভিন্ন হাইড্রোলেজ উৎসেচকগুলি জলের উপস্থিতিতেই জটিল খাদ্যবস্তুগুলি বিশ্লিষ্ট করে সরল ও গ্রহণযোগ্য উপাদানে পরিণত করে।
7. উদ্ভিদদেহে তাপ শোষণ, তাপ পরিবহণ প্রভৃতি ভৌতক্রিয়াগুলি মূলত জলের দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।
8. বীজের অঙ্কুরোদগমের জন্য জল একটি অত্যাবশ্যক উপাদান।
9. সালোকসংশ্লেষের ফলে উৎপন্ন খাদ্যবস্তু জলীয় মাধ্যমে ফ্লোয়েমের সীভনলের মধ্য দিয়ে পরিবাহিত হয়।
10. হর্মোন, বিপাকজাত বর্জ্য পদার্থ জলীয় মাধ্যমে স্থানান্তরে পরিবাহিত হয়।

11.4 pH কি?

জৈব রাসায়নিক পরীক্ষায় প্রায়ই এমন সব দ্রবণ ব্যবহার করতে হয় যাদের সঠিক অম্লত্ব বা ক্ষারত্ব জানা বিশেষ প্রয়োজন। সেই কারণে দ্রবণের অম্লত্ব ও ক্ষারত্বকে সঠিক স্কেল বা এককে প্রকাশ করা প্রয়োজন। সাধারণভাবে যে স্কেলের সাহায্যে অম্লত্ব বা ক্ষারত্বের তীব্রতা নির্ণয় করা হয় তাকে pH স্কেল বলে। pH কে বলা হয় হাইড্রোজেন আয়নের ঘনত্বের ঋণাত্মক লগারিদম। pH-এর স্কেলের মান 0 থেকে 14 পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে। জল বা প্রশম দ্রবণের pH = 7 এবং pH যত কমতে থাকে দ্রবণের অম্লত্ব তত বৃদ্ধি পায়। পক্ষান্তরে pH এর মান 7 এর বেশী হলে দ্রবণটির ক্ষারীয় ধর্মের নির্দেশ করে এবং pH এর মান 7 এর থেকে যত বেশী হয় দ্রবণটি তত ক্ষারীয় হয়।



pH স্কেল যার সাহায্যে দ্রবণের অম্লত্ব বা ক্ষারত্ব নির্ণয় করা যায়।

11.5 pH-এর গাণিতিক নির্ণয়

আপনারা ইতিমধ্যেই জেনেছেন যে pH হল H^+ আয়নের ঘনত্বে ঋণাত্মক লগারিদম $\left[-10g_{10}(H^+)\right]$। এই পর্যায়ে আমরা আলোচনা করব যে গাণিতিক ভাবে pH এর এই সংজ্ঞা কিভাবে নিরুপণ করা হয়।

বিশুদ্ধ জল তড়িৎ-এর কুপরিবাহী হলে এই জলও সামান্য পরিমাণে আয়নিত অবস্থায় থাকে।

$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

ভরক্রিয়া সূত্রের পরিপ্রেক্ষিতে এই বিক্রিয়ার সাম্য ধ্রুবক বা

$$K = \frac{[H^+][OH^-]}{[H_2O]}$$

যেখানে $[H^+]$, $[OH^-]$ এবং H_2O যথাক্রমে H^+ আয়ন, OH^- আয়ন ও অবিয়োজিত জলের আণবিক ঘনত্ব। বিশুদ্ধ জলে H^+ ও OH^- এর ঘনত্ব নগণ্য। এক্ষেত্রে

$K[H_2O] = [H^+][OH^-] = Kw$ (ধ্রুবক)

25^0C তাপমাত্রায়, $Kw = [H^+] \times [OH^-] = 1 \times 10^{-14}$

বিশুদ্ধ জলে $[H^+] = [OH^-]$

$\therefore Kw = [H^+].[OH^-] = 10^{-14}$

অথবা $[H^+].[H^+] = 10^{-14}$ ($\because H^+ = OH^-$)

$\therefore [H^+]^2 = 10^{-14}$

অর্থাৎ $H^+ = \sqrt{10^{-14}} = 10^{-7}$

এই কারণে বিশুদ্ধ জলে $H^+ = OH^- = 10^{-7}$ গ্রাম-আয়ন/লিটার ঋণাত্মক লগারিদমে এই মানকে প্রকাশ করলে pH = 7 হয়।

যে কোন অম্লিক দ্রবণে $[H^+] > 10^{-7}$ গ্রাম আয়ন/লিটার, অর্থাৎ pH এর মান 7 এর থেকে কম হবে আবার ক্ষারীয় দ্রবণে $[H^+] < 10^{-7}$ অর্থাৎ pH এর মান 7 এর থেকে বেশী হবে।

মোলার বা তুল্যাঙ্ক এককেও pH এর মান প্রকাশ করা যায় যেমন $\frac{M}{10}HCl$ এর pH 1 হবে এবং মোলারটি 10 ভাগ কমে গেলে অর্থাৎ $\frac{M}{100}HCl$ এর pH এর মান 2 হবে।

11.6 pH এর গুরুত্ব

1. pH-এর সাহায্যে কোন দ্রবণের সঠিক অম্লত্ব বা ক্ষারত্ব নির্ণয় করা যায়।
2. মৃত্তিকার উর্বরতা নির্ণয় করার জন্য pH এর মান লক্ষ্য করা একান্ত আবশ্যক।
3. প্রতিটি উৎসেচকই একটি নির্দিষ্ট pH এ সর্বাধিক কার্যকরী হয়, যেমন পেপসিন pH 2 এবং ট্রিপসিন pH 8 এ সবচেয়ে বেশী ক্রিয়াশীল হয়।
4. অধিকাংশ বিপাকীয় কার্যই প্রোটোপ্লাজমের pH এর উপর নির্ভরশীল।

11.7 বাফার

যে বিশেষ মিশ্রণ, দ্রবণে প্রয়োগ করলে বাইরে থেকে সামান্য অম্ল বা ক্ষার মেশালেও দ্রবণের pH অপরিবর্তিত থাকে তাকে বাফার (Buffer) বলে।

সাধারণভাবে দেখা যায় যে কোন দ্রবণে সামান্য অম্ল বা ক্ষার প্রয়োগ করলেই pH দ্রুত পরিবর্তিত হয়। pH-কে অপরিবর্তিত রাখার জন্য মৃদু অম্ল ও তার কোন লবণ অথবা মৃদু ক্ষার ও তার কোন লবণ একত্রে মিশিয়ে দিলে দ্রবণের pH সহজে পরিবর্তিত হয় না। মৃদু অম্ল বা ক্ষার ও তার লবণের মিশ্রণকেই বাফার বলা হয়। অ্যাসিটিক অ্যাসিড ও সোডিয়াম অ্যাসিটেট মিশ্রণ এইরূপ একটি আদর্শ বাফার যাকে অ্যাসিটেট বাফার বলা হয়। জৈব রাসায়নিক ক্রিয়াগুলি যেন মিশ্রণের অম্লত্ব বা ক্ষারত্বের জন্য পরিবর্তিত না হয় তার জন্য অ্যাসিটেট বাফার ছাড়াও সাইট্রেট বাফার, ফসফেট বাফার ($Na_2H\ PO_4$ ও $NaH_2\ PO_4$ এর মিশ্রণ) ট্রিস বাফার (ট্রিস নামক জৈব যৌগ ও মৃদু HCl এর মিশ্রণ) ব্যবহার করা হয়।

একটি নির্দিষ্ট উদাহরণের সাহায্যে (যেমন অ্যাসিটিক অম্ল ও সোডিয়াম অ্যাসিটেটের মিশ্রণের ফলে সৃষ্ট বাফার) বাফার দ্রবণের ক্রিয়া কৌশল ব্যাখ্যা করা যায়।

CH_3COOH মৃদু অম্ল হওয়ায় এটি দ্রবণে অল্প পরিমাণে বিয়োজিত হয় কিন্তু এর লবণ সোডিয়াম অ্যাসিটেট (CH_3COONa) সম্পূর্ণভাবে বিয়োজিত হবে।

$$CH_3COOH \rightleftharpoons H^+ + CH_3COO^-$$ (স্বল্প বিয়োজন)

$$CH_3COONa \rightleftharpoons Na^+ + CH_3COO^-$$ (সম্পূর্ণ বিয়োজন)

অ্যাসিটেট বাফার দ্রবণে H^+ বা OH^- প্রয়োগ করলে (অম্ল বা ক্ষার হিসাবে) নিম্নলিখিত উপায়ে H^+ ও OH^- এর প্রভাব প্রতিহত হয়।

$CH_3COO^- + H^+ \rightarrow CH_3COOH$ (অবিয়োজিত অ্যাসিটিক অ্যাসিড)

$CH_3COOH + OH^- \rightarrow CH_3COO^- + H_2O$

উভয় ক্ষেত্রেই মাধ্যমে pH এর কোন পরিবর্তন হবে না।

বাফারের উপযোগিতা :

1. উৎসেচক ও অন্যান্য জৈব রাসায়নিক পদার্থের ক্রিয়া নির্ণয়ের জন্য বাফার ব্যবহার করা হয় যাতে মাধ্যমে pH এর কোন পরিবর্তন হবে না।
2. কৃষিজাত ফল ও ফলজাত দ্রব্য সংরক্ষণের জন্য বাফার ব্যবহার করা হয়।

11.8 সারাংশ

সজীব কোষের মুখ্য উপাদান হল জল। একটি অক্সিজেন পরমাণুর সাথে দু'টি হাইড্রোজেন পরমাণু যুক্ত হয়ে এই যৌগ গঠিত হয়। অন্যান্য যৌগের তুলনায় জলের অণুর H বন্ধনীর শক্তি অনেক কম হওয়ায় জল সহজেই রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করে। এছাড়া জলের তাপগ্রাহিতা ও বাষ্পীভবনের লীন তাপ অন্যান্য জৈব দ্রাবকের চেয়ে অনেক বেশী। জল সালোকসংশ্লেষ, খাদ্য ও খনিজ লবণ পরিবহণ ও বীজের অঙ্কুরোদগমে সক্রিয় ভূমিকা গ্রহণ করে। pH স্কেলের মাধ্যমে আমরা অম্লত্ব বা ক্ষারত্বের মাত্রা নির্ধারণ করি। প্রশম মাধ্যমের pH হল 7 এবং দ্রবণের অম্লত্বের মাত্রা যত বাড়ে pH-এর মান তত কমে যায় এবং ক্ষারত্বের তীব্রতা বাড়ার সাথে সাথে pH এর মান বেড়ে যায়। মাটিতে কোন গোষ্ঠীর উদ্ভিদ জন্মাবে তা মৃত্তিকার pH এর উপর নির্ভরশীল এবং বিপাকক্রিয়া নিয়ন্ত্রণকারী উৎসেচকগুলি pH সুবেদী হয়। মৃদু অম্ল বা ক্ষার ও তার লবণের মিশ্রণকে বাফার বলা হয়। বিভিন্ন জৈব রাসায়নিক গবেষণায় বাফার ব্যবহার করা হয় কারণ বাফার ব্যবহার করলে মাধ্যমের আকাঙ্খিত pH অপরিবর্তিত থাকে।

11.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) জলের ভৌত ও রাসায়নিক ধর্মগুলি ব্যাখ্যা করুন।

(b) উদ্ভিদজীবনে জলের গুরুত্ব কি?

(c) জলের pH যে 7 হয়, তা গাণিতিক নির্ণয় করে দেখান।

(d) বাফার দ্রবণ ব্যবহারের গুরুত্ব উল্লেখ করুন।

(e) একটি জল অণুর পারমাণবিক বিন্যাস অঙ্কন করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) অম্ল ও ক্ষারের তীব্রতাকে _____ স্কেলের মাধ্যমে নির্ধারণ করা হয়।

(b) জলের আণবিক ওজন _____ ও আপেক্ষিক গুরুত্ব _____।

(c) জলের বাষ্পীভবনের লীনতাপ _____।

(d) pH যত কমতে থাকে, দ্রবণের _____ তত বৃদ্ধি পায়।

(e) $\frac{M}{100}HCl$ এর pH এর মান _____।

3. **ডানদিকের স্তম্ভের সাথে বামদিকের স্তম্ভের অর্থবহ সংযোগ স্থাপন করুন :**

(a) হাইড্রোজেন বন্ধনীর শক্তি হল	(i) ফসফেট বাফার
(b) Na_2HPO_4 ও NaH_2PO4	(ii) 7
(c) জলের আণবিক ওজন	(iii) 3
(d) প্রশম দ্রবণের pH-এর মান	(iv) 20 Kj
(e) M/1000 HCl এর pH হবে	(v) 18

11.10 উত্তরমালা

1. (a) 11.2 দ্রষ্টব্য
   (b) 11.3 দ্রষ্টব্য
   (c) 11.5 দ্রষ্টব্য
   (d) 11.7 দ্রষ্টব্য
   (e) 11.2 অংশের চিত্র 1 দেখুন
2. (a) pH
   (b) 18.1
   (c) 540 ক্যালরি/গ্রাম
   (d) অম্লত্ব
   (e) 2
3. (a) — (iv)
   (b) — (i)
   (c) — (v)
   (d) — (ii)
   (e) — (iii)

একক 12 ❑ অ্যামাইনো অ্যাসিড ও প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন

গঠন

12.0 উদ্দেশ্য

12.1 প্রস্তাবনা

12.2 আমাইনো অ্যাসিড

12.3 পরিবর্তিত অ্যামাইনো অ্যাসিড

12.4 ননপ্রোটিন অ্যামাইনো অ্যাসিড

12.5 প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড

12.6 পেপটাইড বন্ধনী ও পেপটাইড

12.7 পলিপেপটাইড

12.8 প্রোটিন গঠনে অন্যান্য বন্ধনীর ভূমিকা

12.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

12.10 উত্তরমালা

12.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি অধ্যয়ন করলে আপনি,

- প্রোটিনের গঠনগত একক অ্যামাইনো অ্যাসিড সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির রাসায়নিক গঠন ও ধর্মাবলী সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- অ্যামাইনো অ্যাসিড এককগুলি কিভাবে প্রোটিন গঠন করে সেই সম্বন্ধে জানতে পারবেন।

12.1 প্রস্তাবনা

গি. জে. মুল্ডার এবং জে. জে. বার্জেলিাস 1838 সালে প্রথম প্রোটিন শব্দটির উল্লেখ করেন। গ্রীক ভাষায় প্রোটিওস (Proteios) শব্দটির অর্থ প্রাথমিক। 1964 সালে হোয়াইট, হ্যান্ডলার এবং স্মিথ নামক তিন বিজ্ঞানী প্রোটিনকে বর্ণনা করেন এইভাবে— "জীবের গঠন ও কার্যে কেন্দ্রীয় উপস্থিতি প্রোটিনের। তারা কোষের সমস্ত জৈবনিক ক্রিয়াকর্ম অর্থাৎ ভৌত ও রাসায়নিক কার্যে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ দায়িত্ব পালন করে।"

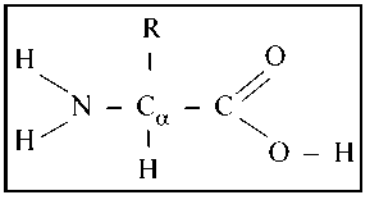
প্রোটিনের কাজের যে বিশাল বিভিন্নতা, তার মধ্যে রয়েছে একদিকে কোষ ও কলার গঠনগত পরিকাঠামো নির্ধারন, অন্যদিকে অসংখ্য ছোট বড় গুরুত্বপূর্ণ দায়িত্ব। যেমন, কোষীয় সঞ্চয়, পরিবহন, ক্ষরণ, পেশির সংকোচন, প্রসারণ; রক্ত তঞ্চন; অনাক্রম্যতা; অন্তঃ ও আন্তঃ কোষীয় সমন্বয় স্থাপন (হরমোন); পরিপাক ও বিপাক (উৎসেচক) ইত্যাদি। সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ বিষয় হল জিনের মধ্যে নিহিত থাকা বংশগতির তথ্য প্রোটিনের মাধ্যমেই কোষ ও কলায় প্রকাশিত হয়।

প্রোটিনের কার্যের এই বহুমুখী বিভিন্নতার জন্যই বোধহয় তাকে অত্যন্ত জটিল গঠনবিন্যাসে সংগঠিত হতে হয়েছে। প্রত্যেকটি প্রোটিনের তার নিজস্ব কার্যের সাথে সাযুজ্য রেখে নির্দিষ্ট গঠনশৈলী রয়েছে। আপাতদৃষ্টিতে দেখলে এই জটিল গঠনশৈলী আমাদের বিস্মিত করলেও, কার্যকারণ বিবেচনা করলে বা সেই গঠনশৈলীর মূলনীতিকে পর্যালোচনা করলে আমরা দেখব, যে সেই জটিলতা অত্যন্ত বাস্তবধর্মী ও নীতিনিষ্ঠ।

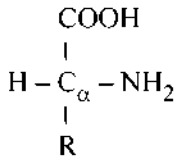
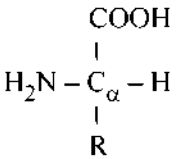
আমরা এই এককে প্রথমে আলোচনা করব প্রোটিনের গঠনশৈলীর রাসায়নিক একক অ্যামাইনো অ্যাসিড (Amino acid) সম্বন্ধে।

12.2 অ্যামাইনো অ্যাসিড

প্রত্যেকটি প্রোটিনই পলিমার (Polymer), অর্থাৎ একটি শৃঙ্খল (Chain) ধর্মী অণু যার মধ্যে অনেকগুলি মনোমার (Monomer) একক, অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি যৌগিক বন্ধনে সংযুক্ত থাকে। অ্যামাইনো অ্যাসিড একটি জৈব অম্ল যার মধ্যে একটি অ্যামাইনো গ্রুপ ($-NH_2$) ও একটি কার্বক্সিল ($-COOH$) গ্রুপ থাকে। অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন নিম্নরূপ :



এর প্রথম কার্বনটি কার্বক্সিল গ্রুপের অংশবিশেষ। অ্যামাইনো গ্রুপটি যে কার্বনের সঙ্গে যুক্ত থাকে তাকে α-কার্বন বলে। তাই প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিডকেই α-অ্যামাইনো অ্যাসিড নামেও অবহিত করা হয়। এই α-কার্বনটি কোভ্যালেন্ট (Covalent) বন্ধনী দ্বারা 4টি বিভিন্ন গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত থাকে। যাদের মধ্যে একটি হল হাইড্রোজেন পরমাণু ও অন্যটিকে বলে পার্শ্ব শৃঙ্খল (Side chain) বা R গ্রুপ। এই R গ্রুপটি প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে বিভিন্নরূপে থাকে। যেমন এটি একটি হাইড্রোজেন পরমাণুও হতে পারে আবার মিথাইল ($-CH_3$) গ্রুপ বা আরো জটিল কোন যৌগ হতে পারে।

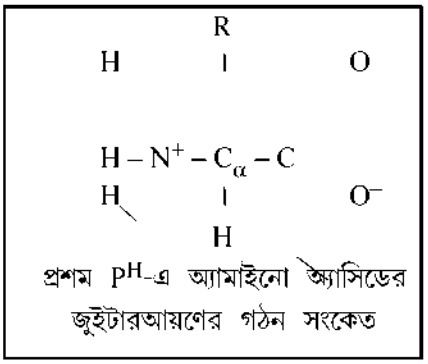
	
D - অ্যামাইনো অ্যাসিড	L - অ্যামাইনো অ্যাসিড

এই কারণে এই α-কার্বনটি সকল অ্যামাইনো অ্যাসিডেই অনিয়মিত বা Asymmetric। এই কারণে এরা আলোক ঘূর্ণনে (Optical Rotation) সক্ষম এবং সেই বিচারে এরা দুইভাবেই প্রকৃতিতে বিদ্যমান। অ্যামাইনো গ্রুপটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের ডানদিকে অবস্থান করলে আলোক ঘূর্ণনের নীতি অনুযায়ী তাদের D-অ্যামাইনো অ্যাসিড এবং বামদিকে অবস্থান করলে তাকে L-অ্যামাইনো অ্যাসিড বলে। এই ভাবে এই অনিয়মিত কার্বন পরমাণুটিকে কাইরাল (Chiral) কার্বন বলে।

1956 সালে রবার্ট কহেন, ক্রিষ্টোফার ইনগোল্ড ও ভলাদিমির জিলোগ RS নোটেশন চালু করেন। সে পদ্ধতি অনুযায়ী বর্তমান জীবরসায়নে D-কে 'R' (ল্যাটিন rectus অর্থ দক্ষিণ) এবং L-কে 'S' (ল্যাটিন sirister অর্থ বাম) বলে অভিহিত করা হয়।

প্রতিলিপি : যে অণুর মধ্যে অনিয়মিত বা Assymetric পরমাণু (যেমন α কার্বন) থাকে, তাদের 2টি **স্টিরিও আইসোমার** (Stereoisomer) গঠন পাওয়া যায়। যেহেতু এই দু'টি গঠন অপ্রতিস্থাপনীয় প্রতিচ্ছবি (nonsuper imposable mirror images) গঠন করে, তাই এদের **এনানসিওমার** -ও (Enantiomer) বলে। আলোক ঘূর্ণনের নীতি অনুযায়ী অবশ্য এদের **অপটিক্যাল আইসোমার** (Optical Isomer) -ও বলা চলে।

অ্যামাইনো অ্যাসিডে একটি আম্লিক (– COOH) ও একটি ক্ষারীয় (– NH_2) গ্রুপ থাকায় শারীরবৃত্তীয় P^H (অম্লত্ব ও ক্ষারত্বের মাত্রা)-এ, যা প্রায়শঃ প্রশম (Neutral) মাত্রায় (6.5 – 8.0) থাকে, সেখানে কার্বক্সিল গ্রুপটি একটি প্রোটন (হাইড্রোজেন পরমাণু) ত্যাগ করে এবং অ্যামাইনো গ্রুপটিতে একটি প্রোটন যুক্ত হয়। এইভাবে কার্বক্সিলেট (COO^-) এবং অ্যামোনিয়াম (NH_3^+) আয়ণ তৈরী হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের এই দুই মেরুধর্ম (dipolar nature) অর্থাৎ একই অণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান অবস্থান করার জন্য তাকে **জুইটারআয়ন** (Zwitterion) বলে। যেহেতু শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়ায় অ্যামাইনো অ্যাসিড এইরূপেই অংশগ্রহণ করে তাই অ্যামাইনো অ্যাসিডকে প্রথাগত ভাবে নিম্নরূপেই বর্ণনা করা হয়।



প্রশম P^H-এ অ্যামাইনো অ্যাসিডের জুইটারআয়ণের গঠন সংকেত

যে কোন অ্যাসিডের তীব্রতা (Strength) কে তার P^{Ka} (বিয়োজন ধ্রুবক, dissociation constant) দ্বারা নিরূপন করা হয়। এটি প্রতিটি অ্যাসিডের ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট। এই P^{ka}-এর মান যত কমবে অ্যাসিডের তীব্রতা তত বাড়বে। আবার P^{Ka}-এর মান বাড়লে আসিডের তীব্রতা কমে। এইভাবে অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল ও অ্যামাইনো অ্যাসিডের P^{Ka} মান যথাক্রমে 2 এবং 10। অ্যামাইনো অ্যাসিডে বিয়োজনধর্মী – COOH এবং – NH_3^+ গ্রুপ ছাড়াও পার্শ্বশৃঙ্খলের অর্থাৎ R গ্রুপের জন্যও একটি অতিরিক্ত P^{Ka} মান থাকতে পারে।

জীবজগতের সকল প্রাণীর ও উদ্ভিদের মধ্যে সাধারণভাবে 20 প্রকার অ্যামাইনো অ্যাসিড পাওয়া যায়। এদের গঠনগুলির সংকেত এবং বিশেষ বৈশিষ্ট্যগুলি সারণি 12A তে দেওয়া হল।

সারণি 12A : অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির বৈশিষ্ট্য, সংকেত ও ভর

নাম	সংক্ষিপ্ত নাম	রাসায়নিক গঠন ও আণবিক ভর(Mr)	pK_1 (COOH)	pK_2 (NH_2)	pK R Group	প্রোটীনে উপস্থিতি (%)
অ্যালিফাটিক (Aliphatic) অ্যামাইনো অ্যাসিড এই সকল অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিতে অ্যালিফ্যাটিক বা অ্যালকেন (Alkane) পার্শ্বশৃঙ্খল থাকে। এরা জল বিকর্ষী (Hydrophobic)						
গ্লাইসিন Glycine	Gly – G	$H-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 75D*	2.4	9.8		7.5%
অ্যালানিন Alanine	Ala – A	$CH_3-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 89 D	2.4	9.9		9%
ভ্যালিন Valine	Val – V	$(H_3C)_2CH-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 117D	2.2	9.7		6.9%
লিউসিন Leucine	Leu – L	$(H_3C)_2CH-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 131 D	2.3	9.7		7.5%
আইসো লিউসিন Isoleucine	Ile – I	$H_3C-CH_2-CH(H_3C)-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 131D	2.3	9.8		4.6%
হাইড্রক্সি (Hydroxy) অ্যামাইনো অ্যাসিড এই সকল অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিতে পার্শ্বশৃঙ্খলে হাইড্রক্সিল গ্রুপ থাকে। এরা জল - আকর্ষী (Hydrophilic)						
সেরিন Serine	Ser - S	$HO-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 105 D	2.2	9.2	~ 13	7.1%
থ্রিওনিন Threonine	Thr - T	$H_3C-CH(HO)-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 119 D	2.1	9.1	~ 13	6.0%

* Mr – এর একক হল ডালটন (Dalton)

সালফার যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড : এদের পার্শ্বশৃঙ্খলে সালফার থাকে। এদের মধ্যে **সিস্টিন** জল আকর্ষী (Hydrophilic) কিন্তু মিথিওনিন জল বিকর্ষী (Hydrophobic)

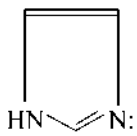
সিস্টিন Cysteine	Cys - C	$HS-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 121 D	1.9	10.8	8.3	2.8%
মিথিওনিন Methionine	Met- M	$H_3C-S-(CH_2)_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 149 D	2.1	9.3		1.7%

অ্যাসিডিক অ্যামাইনো অ্যাসিড ও তাদের অ্যামাইড (Amides) : পার্শ্বশৃঙ্খলেও COOH গ্রুপ থাকা অ্যাসপারটিক ও গ্লুটামিক অ্যাসিড শারীরবৃত্তীয় P^H-এও অম্লধর্মী। অ্যাসপারাজিন ও গ্লুটামিন হল এদের অ্যামাইড যাদের পার্শ্বশৃঙ্খল আধানহীন (Uncharged)। এরা সবাই জল-আকর্ষী।

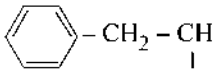
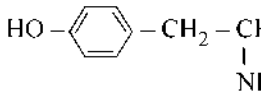
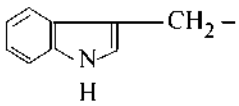
অ্যাসপারটিক অ্যাসিড Aspartic Acid	Asp - D	$HOOC-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 133 D	2.0	9.9	3.9	5.5%
অ্যাসপারাজিন Asparagine	Asn - N	$H_2N-C(=O)-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 132 D	2.1	8.8		4.4%
গ্লুটামিক অ্যাসিড Glutamic Acid	Glu - E	$HOOC-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 147 D	2.1	9.5	4.1	6.2%
গ্লুটামিন Glutamine	Gln - Q	$H_2N-C(=O)-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 146 D	2.2	9.1		3.9%

বেসিক (ক্ষারধর্মী) অ্যামাইনো অ্যাসিড : এদের পার্শ্বশৃঙ্খলে বেসিক গ্রুপ থাকে। এরা জল-আকর্ষী। এদের মধ্যে হিস্টিডিন হল সর্বাপেক্ষা কম ক্ষারধর্মী।

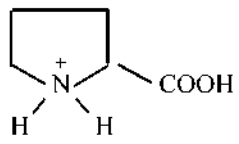
আর্জিনিন Arginine	Arg - R	$HN-CH_2-CH_2-CH_2-CH(NH_2)-COOH$ $C(=NH)-NH_2$ Mr = 174 D	1.8	9.0	12.5	4.7%
লাইসিন Lysine	Lys - K	$H_2N-(CH_2)_4-CH(NH_2)-COOH$ Mr = 146 D	2.2	9.2	10.8	7.0%

হিস্টিডিন Histidine	His - H	 Mr = 154 D	1.8	9.2	6.0	2.1%

অ্যারোমেটিক (Aromatic) অ্যামাইনো অ্যাসিড : এদের পার্শ্বশৃঙ্খলে বেঞ্জিন রিং থাকে। এরা আলোকের অতিবেগুণী (UV) রশ্মিকে শোষন করতে পারে। মূলত জল-বিকর্ষী।

ফিনাইল অ্যালানিন Phenylalanine	Phe - F	 Mr = 165 D	2.2	9.2		3.5%
টাইরোসিন Tyrosine	Tyr - Y	 Mr = 181 D	2.2	9.1	10.1	3.5%
ট্রিপ্টোফ্যান Tryptophan	Trp - W	 Mr = 204 D	2.4	9.4		1.1%

সাইক্লিক অ্যামাইনো অ্যাসিড : এদের পার্শ্বশৃঙ্খলে একটি সাইক্লিক রিং থাকে। তবে এর অনেক বৈশিষ্ট্য অ্যালিফ্যাটিক অ্যামাইনো অ্যাসিডের সঙ্গে মেলে। এই রিং যদিও খুবই দৃঢ় প্রকৃতির তাই প্রোলিন প্রোটিনের folding-এ বাধা প্রদান করে।

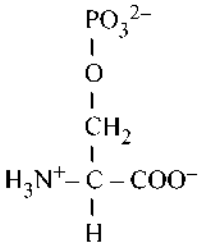
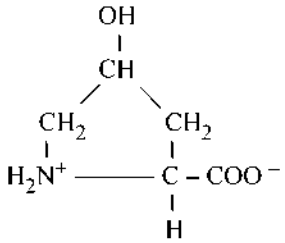
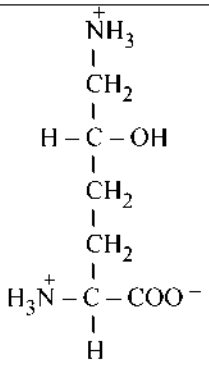
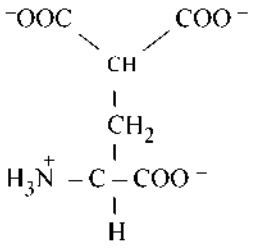
প্রোলীন Proline	Pro - P	 Mr = 115 D	2.0	10.6		4.6%

12.3 পরিবর্তিত (Modified) অ্যামাইনো আসিড

আমরা যে 20 টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন ও ধর্ম আলোচনা করলাম সেগুলি জিন অর্থাৎ DNA দ্বারা নির্ধারিত (coded) হয় এবং সরাসরি প্রোটিনে সংযুক্ত হয়।

কিছু অ্যামাইনো অ্যাসিড আবার রাসায়নিক পরিবর্তনের পরও প্রোটিনে যুক্ত হয়। নীচের সারণিতে এদের একটি তালিকা দেওয়া হল।

সারণি 12 B : পরিবর্তিত অ্যামাইনো অ্যাসিড

নাম	আনবিক সংকেত	উপস্থিতি
ফসফোসেরিন (Phosphoserine)		উদ্ভিদ প্রোটিনে গ্লাইসিন থেকে সেরিন উৎপন্ন হওয়ার সময় ফসফোসেরিন একটি মধ্যবর্তী অবস্থা।
4 - হাইড্রক্সিপ্রোলীন (4 - Hydroxyproline)		কোলাজেন (collagen) নামক অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ প্রাণী প্রোটিনের 12% উপাদান।
δ - হাইড্রক্সিলাইসিন (δ - Hydroxylysine)		কোলাজেন প্রোটিনের 1% উপাদান
γ - কার্বক্সিগ্লুটামিক অ্যাসিড (γ - Carboxyglutamic acid)		প্রোথ্রম্বিন (Prothrombin) নামক রক্তজঞ্চনকারী প্রোটিন

12.4 নন প্রোটিন (Non-protein) অ্যামাইনো অ্যাসিড

বহু সংখ্যক অ্যামাইনো অ্যাসিড আবার কোনও প্রোটিনে সংযুক্ত হয় না কিন্তু নানাবিধ কার্য সম্পন্ন করে। এদের মধ্যে β - অ্যালানিন, D - অ্যালানিন, γ - অ্যামিনোবিউটাইরিক অ্যাসিড (γ - Aminobutyric acid), D - গ্লুটামিক অ্যাসিড, L - হোমোসেরিন, L - অর্নিথিন (L - Ornithine), সারকোসিন (Sarcosine), L - থাইরক্সিন (L - Thyroxine), ক্রিয়েটিন (Creatin) ইত্যাদি উল্লেখযোগ্য।

উচচশ্রেণীর উদ্ভিদে এইরকম ননপ্রোটিন অ্যামাইনো অ্যাসিডের আধিক্য দেখা যায়। নীচের সারণিতে এদের কয়েকটি উদাহরণ দেওয়া হল।

সারণি 12C : নন প্রোটিন আমাইনো অ্যাসিড

নাম	উৎপত্তি	উপস্থিতি
L - অ্যাজেটিডিন - 2 কার্বক্সিলিক অ্যাসিড (L - Azetidine - 2 Carboxylic acid	প্রোলীন	সলোমন সীল উদ্ভিদ *(Polygonatum multiflorum)*-এর রাইজোম (Rhizome) -এর 50% উপাদান
অরসিল L-অ্যালানিন (Orcyl - L - alanine)	ফিনাইল অ্যালানিন	কর্নককল (Corncockle) উদ্ভিদ *(Agrostemma gitnago)*-এর বীজ
অ্যালো-থ্রিওনিন (Allo-threonine)	থ্রিওনিন	*Amanita phalloides*-এর টক্সিন (toxin)

12.5 প্রয়োজনীয় (Essential) অ্যামাইনো অ্যাসিড

জীবজগতে অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষ করার ক্ষমতা সকল জীবের সমান নয়। অনেক ব্যাকটেরিয়া এবং প্রায় সকল উদ্ভিদ 20 টি অ্যামাইনো অ্যাসিড-ই নিজদেহে সংশ্লেষ করতে পারে। কিন্তু স্তন্যপায়ী প্রাণীরা মাত্র অর্ধেক সংখ্যক অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষিত করতে পারে। সুতরাং বাকী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির প্রয়োজন মেটাতে তাদের খাদ্য থেকে ঐগুলি সংগ্রহ করতে হয়। উদ্ভিজ্জ প্রোটিন থেকে মানুষ তার ঐ প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো আসিডগুলির অধিকাংশই পেয়ে যায়। উদ্ভিজ্জ প্রোটিনে শুধু লাইসিন, মিথিওনিন ও ট্রিপটোফ্যানের উপস্থিতি কম থাকে। নীচের সারণিতে মানুষের প্রয়োজনীয় এবং অপ্রয়োজনীয় (অর্থাৎ মানুষ এইগুলির সংশ্লেষ সক্ষম) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির তালিকা দেওয়া হল।

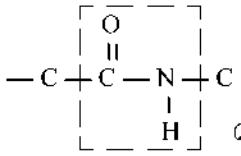
সারণি 12D : প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড

প্রয়োজনীয়	অপ্রয়োজনীয়
আর্জিনিন, হিষ্টিডিন, আইসোলিউসিন, লিউসিন, লাইসিন, মিথিওনিন, ফিনাইল-অ্যালানিন, থ্রিওনিন, ট্রিপটোফ্যান ও ভ্যালিন	অ্যালানিন, অ্যাসপারাজিন, অ্যাসপ্যারটিক অ্যাসিড, সিষ্টিন, গ্লুটামিক অ্যাসিড, গ্লাইসিন, প্রোলীন, সেরিন, টাইরোসিন

12.6 পেপটাইড বন্ধনী ও পেপটাইড

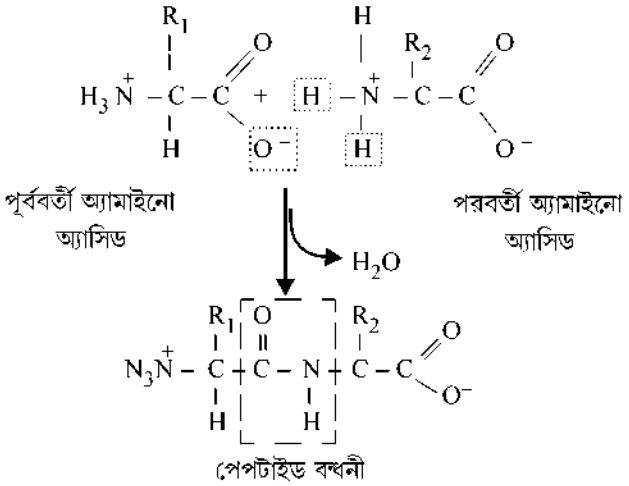
প্রোটিনের প্রাথমিক স্তরের গঠন বা Primary Structure, যাকে জীবরসায়নবিদ্‌রা 1^0 গঠন বলেন, সম্পন্ন হয় অ্যামাইনো অ্যাসিড এককগুলির পরপর সংযুক্তির মাধ্যমে পলিমার গঠনে।

একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের α - অ্যামাইনো গ্রুপ পূর্ববর্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডটির কার্বক্সিল গ্রুপের সহিত একটি বিশেষ ধরনের অ্যামাইড (Amide) বন্ধনী (Bond) দ্বারা যুক্ত হয়, যাকে পেপটাইড বন্ধনী বলে। ইহা একটি কোভ্যালেন্ট বন্ধনী।



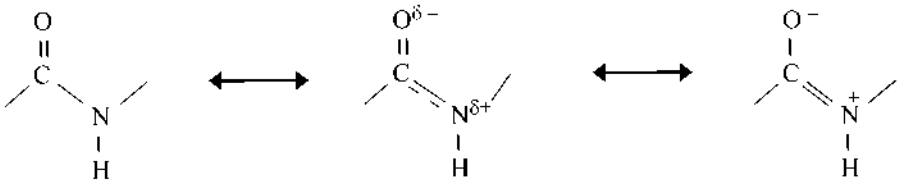
পেপটাইড বন্ধনী

এই পেপটাইড বন্ধনী সৃষ্টি হওয়ার সময় এক অণু H_2O বেরিয়ে যায় নিম্নরূপে :



পর পর এইভাবে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি সংযুক্ত হয় বলে প্রোটিনের 1^0 গঠন সৃষ্টিকে অনেকে পর্যায়ক্রমে জল বিয়োজন বিক্রিয়া (Serial dehydration reaction) বলে।

এই পেপটাইড বন্ধনীর C = O গ্রুপের মধ্যে আবার ইলেকট্রন (electron) স্থানান্তরিত (delocalization) হয়। ফলে মধ্যবর্তী আংশিক ডাইপোল (Partial Dipol) গঠিত হয়। ফলে রেসোনেন্স (Resonance) সৃষ্টি হয় এবং পেপটাইড বন্ধনীটি দ্বি-বন্ধন (Double bond) যুক্ত হয়ে যায়। এইভাবে পেপটাইড বন্ধনীর এক বন্ধনী থেকে দ্বি-বন্ধনী হয়ে যাওয়াকে আংশিক দ্বিবন্ধনী (avasi double bond) বৈশিষ্ট্য বলে।



একক বন্ধনী যুক্ত পেপটাইড বন্ড আংশিক ডাইপোল দ্বি-বন্ধনী যুক্ত পেপটাইড বন্ড

12.7 পলিপেপটাইড

প্রোটিনের 1^0 গঠনে 2টি, 3টি, 3 থেকে 10 টি বা 10 টির অধিক অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযুক্ত হয়ে পলিমার গঠন করলে তাদের যথাক্রমে ডাইপেপটাইড (Dipeptide), ট্রাইপেপটাইড (Tripeptide), অলিগোপেপটাইড (Oligopeptide) এবং পলিপেপটাইড (Polypeptide) বলে।

পলিপেপটাইডগুলি সাধারণতঃ 40 থেকে 4000 অ্যামাইনো অ্যাসিড একক সংযুক্তির ফলে তৈরী হয় এবং জীবদেহে প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনে মূলতঃ পলিপেপটাইডই থাকে। আরও সঠিকভাবে বলতে গেলে একটি বিশিষ্ট (Typical) প্রোটিনে কমপক্ষে 100 টি অ্যামাইনো অ্যাসিড থাকে। আবার আমরা আগেই জেনেছি যে বেশীর ভাগ প্রোটিন 20 ধরনের অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা তৈরী। সুতরাং অঙ্কের হিসাবে নূনতমপক্ষে 20^{100} অর্থাৎ $1{\cdot}27 \times 10^{130}$ টি সম্ভাব্য পলিপেপটাইড শৃঙ্খল এইভাবে সৃষ্টি হতে পারে। এক্ষেত্রে আলোচনার সাপেক্ষে তুলনা করা যেতে পারে যে এই ব্রহ্মাণ্ডে মোট অণুর সংখ্যা 9×10^{78}-এর চেয়ে প্রোটিনের সম্ভাব্য সংখ্যা অনেক অনেক গুণ বেশী। আবার অধিকাংশ প্রোটিনে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যা 100-র চেয়ে অনেক বেশী থাকে। এর থেকে প্রোটিনের গঠনগত ও কার্যগত বৈশিষ্ট্যের বিভিন্নতার ধারনা করা যেতে পারে।

12.8 প্রোটিন গঠনে অন্যান্য বন্ধনীর ভূমিকা

যে কোন পেপাটাইডের প্রাথমিক বন্ধনীটি পেপটাইড বন্ধনী হলেও আরও কিছু বন্ধনী প্রোটিনের প্রাথমিক (1^0) ও দ্বিমাত্রিক (2^0) বা তদুর্ধ্ব গঠনে অংশ গ্রহন করে।

যেমন পলিপেপটাইড শৃঙ্খলে পরস্পরের মধ্যে কিছু দূরত্বে থাকলেও সিষ্টিন (Cystine) অ্যামাইনো অ্যাসিড এককগুলি নিজেদের মধ্যে ডাইসালফাইড (Disulfide) নামক বন্ধনী সৃষ্টি করে। যাকে – S – S – বন্ধনী বলে। এছাড়াও পরবর্তী পর্যায়ের প্রোটিন গঠনে হাইড্রোজেন বন্ধনী, হাইড্রোফোবিক বন্ধনী, আয়ণিক বন্ধনী ইত্যাদি নন-কোভ্যালেন্ট বন্ধনী সৃষ্টি হয়।

12.9 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

A. শূন্যস্থান পূরণ করুণ :

1. —— প্রথম প্রোটিন শব্দটির উল্লেখ করেন।
2. প্রোটিনের রাসায়নিক একক হল ——।

3. α-কার্বনটি সকল অ্যামাইনো অ্যাসিডেই ——।
4. 2টি অণুর আণবিক গঠন অপ্রতিস্থাপনীয় প্রতিচ্ছবি গঠন করলে তাদের —— বলে।
5. একই অণুতে ধনাত্মক ও ঋণাত্মক আধান অবস্থান করলে তাকে —— বলে।
6. —— হল একটি সাইক্লিক অ্যামাইনো অ্যাসিড।
7. পেপটাইড বন্ধনীটি একটি —— দ্বিবন্ধনী যুক্তবন্ধনী।
8. যে পেপটাইডে 3 থেকে 10 টি অ্যামাইনো অ্যাসিড সংযুক্ত থাকে, তাকে —— বলে।

B. ডান ও বামদিকের সমন্বয় সাধন করুন :

বাম দিক	ডান দিক
1. স্টিরিও আইসোমার	1. ডাইসালফাইড বন্ধনী
2. লিউসিন	2. কোলাজেন
3. থ্রিওনিন	3. অ্যামাইড
4. সিস্টিন	4. ক্ষারধর্মী অ্যামাইনো অ্যাসিড
5. গ্লুটামিন	5. অ্যারোমেটিক অ্যামাইনো অ্যাসিড
6. আর্জিনিন	6. আলোক ঘূর্নন
7. টাইরোসিন	7. হাইড্রক্সি অ্যামাইনো অ্যাসিড
8. হাইড্রক্সিপ্রোলীন	8. অ্যালিফ্যাটিক পার্শ্ব শৃঙ্খল

C. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

1. অ্যামাইনো অ্যাসিডের রাসায়নিক গঠন বর্ণনা করুন।
2. প্রোলীনের গঠন বর্ণনা করুন।
3. জল-বিকর্ষী (Hydrophobic) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির নাম উল্লেখ করুন।
4. 2 টি ননপ্রোটিন অ্যামাইনো অ্যাসিডের নাম করুন যাদের উদ্ভিদে পাওয়া যায়।
5. প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির নাম লিখুন।
6. পেপটাইড বন্ধনী গঠনের বর্ণনা দিন।

12.10 উত্তরমালা

A. 1. মুল্ডার ও বার্জেলিয়াস
2. অ্যামাইনো অ্যাসিড

3. অনিয়মিত
4. এনানসিওমার
5. জুইটারআয়ণ
6. প্রোলীন
7. আংশিক
8. অলিগোপেপটাইড।

B.

বাম দিক	ডান দিক
(1)	(6)
(2)	(8)
(3)	(7)
(4)	(1)

বাম দিক	ডান দিক
(5)	(3)
(6)	(4)
(7)	(5)
(8)	(2)

C.
1. 12·2 দ্রষ্টব্য
2. সারণি 12 A দ্রষ্টব্য
3. সারণি 12 A দ্রষ্টব্য
4. 12·4 দ্রষ্টব্য
5. সারণি 12D দ্রষ্টব্য
6. 12.6 দ্রষ্টব্য

একক 13 ❑ অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন, কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন

গঠন

13.0 উদ্দেশ্য

13.1 প্রস্তাবনা

13.2 অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন

13.3 কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন

13.4 সারাংশ

13.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

13.6 উত্তরমালা

13.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি অধ্যয়ন করলে আপনি,

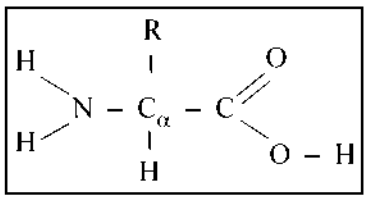
- অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন জানতে পারবেন।
- জুইটার আয়ন কাকে বলে তা সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- কুড়ি প্রকার অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন জানতে পারবেন।

13.1 প্রস্তাবনা

অ্যামাইনো অ্যাসিড হল প্রোটিনের গঠনগত একক। একাধিক অ্যামাইনো অ্যাসিড পরপর একটি শৃঙ্খল তৈরি করে, যেটি থেকে প্রোটিন তৈরি হয়। এই প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিড একটি যৌগিক বন্ধনে সংযুক্ত থাকে। অর্থাৎ প্রত্যেকটি অ্যামাইনো অ্যাসিড মোনোমার পরস্পর সংযুক্ত হয়ে প্রোটিন পলিমার তৈরি করে। এই বৃহৎ প্রোটিন-অণুকে আর্দ্র বিশ্লেষণ করলে প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিড পৃথক হয়ে যায়। অ্যামাইনো অ্যাসিড নামটি থেকে বোঝা যায় যে অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে একটি অ্যামাইনো ($—NH_2$) গ্রুপ এবং একটি কার্বাক্সিল (—COOH) গ্রুপ থাকা আবশ্যক। জীবজগতে সকল উদ্ভিদ এবং প্রাণীর মধ্যে সাধারণভাবে 20 প্রকার অ্যামাইনো অ্যাসিড পাওয়া যায়।

13.2 অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন

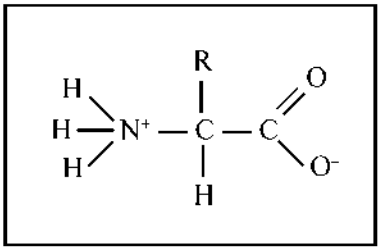
অ্যামাইনো অ্যাসিড একটিজৈব অম্ল, যার মধ্যে একটি অ্যামাইনো ($—NH_2$) গ্রুপ এবং একটি কার্বক্সিল (—COOH) গ্রুপ বর্তমান। একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন নিম্নরূপ—



চিত্র 1 : অ্যামাইনো অ্যাসিডের মৌলিক গঠন

অ্যামাইনো অ্যাসিডের আণবিক সংকেত R—CH—NH_2—COOH। এর প্রথম কার্বনটি কার্বক্সিল গ্রুপের অংশবিশেষ। অ্যামাইনো গ্রুপটি যে কার্বনটির সাথে যুক্ত, তাকে আল্‌ফা (α) কার্বন বলে। এই আল্‌ফা কার্বনটি কোভ্যালেন্ট বন্ধনী দ্বারা চারটি বিভিন্ন গ্রুপের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এই চারটি গ্রুপের একটি হল হাইড্রোজেন, একটি অ্যামাইনো গ্রুপ, একটি কার্বাক্সিল গ্রুপ এবং একটি R বা পার্শ্বশৃঙ্খল (Side chain)। এই R গ্রুপটি হাইড্রোজেন হতে পারে, মিথাইল (—CH_3) গ্রুপ হতে পারে বা আরও জটিল কোন যৌগ হতে পারে।

অ্যামাইনো অ্যাসিডে একটি আম্লিক (—COOH) গ্রুপ এবং একটি ক্ষারীয় (—NH_2) গ্রুপ থাকায় শারীরবৃত্তীয় pH (অম্লত্ব ও ক্ষারত্বের মাত্রা) সাধারণভাবে প্রশম (nentral) মাত্রায় থাকে (pH 6.5 থেকে 8.0)। যেখানে কার্বাক্সিল গ্রুপটি একটি প্রোটোন (হাইড্রোজেন পরমাণু বা H^+) ত্যাগ করে এবং অ্যামাইনো গ্রুপটিতে একটি প্রোটোন (H^+) যুক্ত হয়। এইভাবে কার্বক্সিলেট (COO^-) এবং অ্যামোনিয়াম (NH_3^+) আয়ন তৈরি হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের এই দুই মেরুধর্ম (dipolar nature) অর্থাৎ একই অণুতে ধনাত্মক ঋণাত্মক আধান অবস্থান করার জন্য একে জুইটার আয়ন (Zwitterion) বলে।



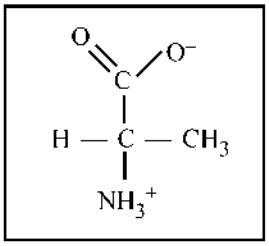
চিত্র 2 : প্রশম pH এ অ্যামাইনো অ্যাসিডের জুইটার আয়নের গঠন সংকেত

13.3 কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন

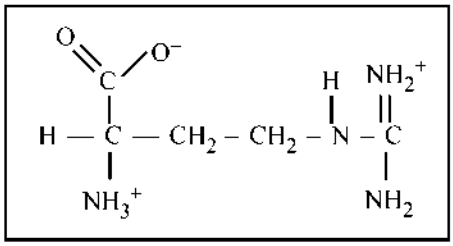
বেঁচে থাকার জন্য মানুষের কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রয়োজন হয়। প্রাপ্তবয়স্কদের অত্যাবশ্যক নয়টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রয়োজন হয়, যা তারা সংশ্লেষ করতে পারে না এবং অবশ্যই এটি তাদের খাদ্যের মাধ্যমে গ্রহণ করতে হয়। অন্য এগারোটি আমাদের দেহের মধ্যে তৈরি হয়। এই 9টি অত্যাবশকীয় (essential) অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি হল : হিস্টিডিন, আইসোলিউসিন, লিউসিন, লাইসিন, মেথিওনিন, ফেনাইল অ্যালানাইন, থ্রিওনাইন, ট্রিপটোফ্যান ও ভ্যালাইন। এই 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিড ছাড়াও প্রকৃতিতে অল্প পরিমান কয়েকটি অ্যামাইনো

অ্যাসিড পাওয়া যায়। তবে উদ্ভিদ ও প্রাণীদেহে এই 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডকে স্ট্যান্ডার্ড (standard) অ্যামাইনো অ্যাসিড বলে। এদের গঠনগুলি নীচে দেওয়া হল।

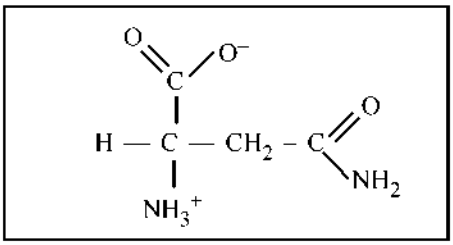
1. অ্যালানাইন (ala)



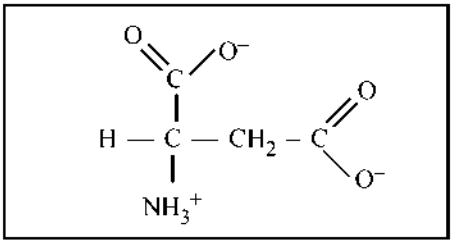
2. আরজেনিন (arg)



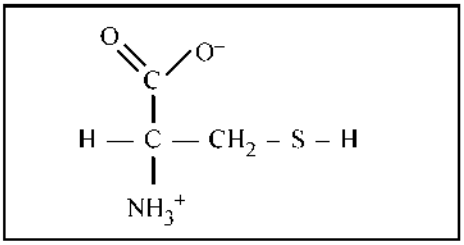
3. অ্যাসপারাজিন (asn)



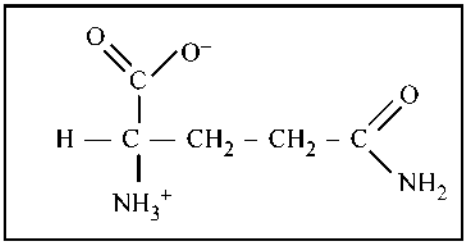
4. অ্যাসপারটিক অ্যাসিড (asp)



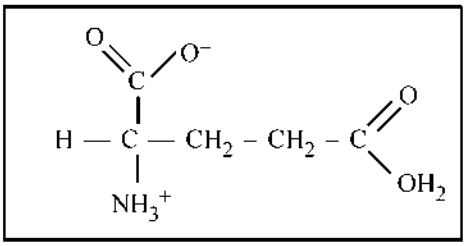
5. সিস্‌টিন (cys)



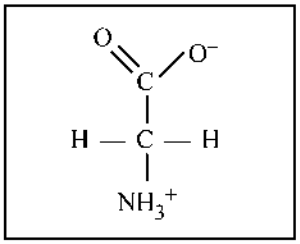
6. গ্লুটামিন (gln)



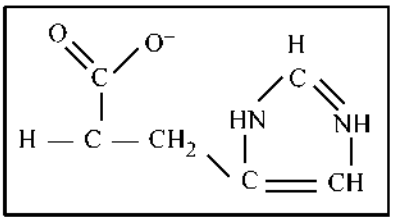
7. গ্লুটামিক অ্যাসিড (glu)



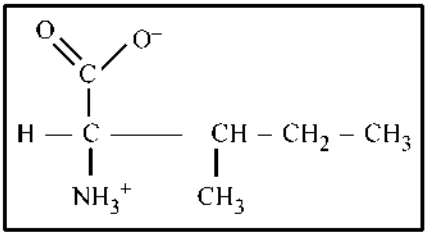
8. গ্লাইসিন (gly)



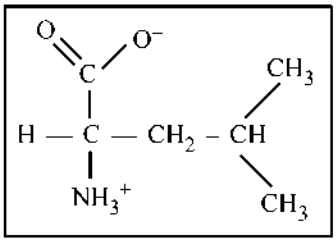
9. হিস্টিডিন (his)



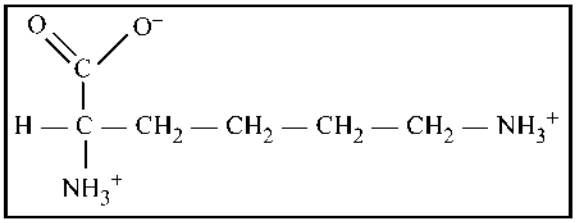
10. আইসোলিউসিন (ile)



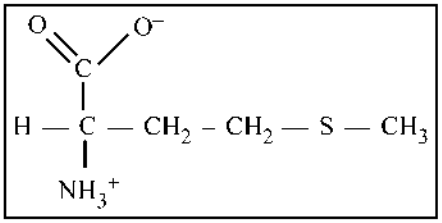
11. লিউসিন (leu)



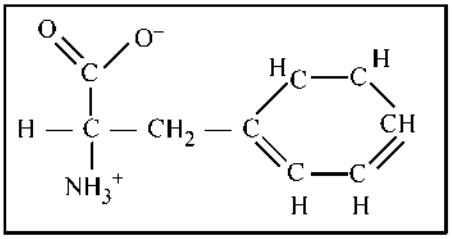
12. লাইসিন (lys)



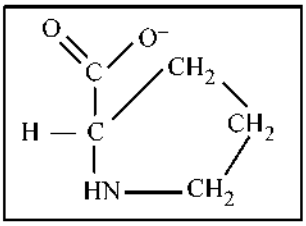
13. মেথিওনাইন (met)



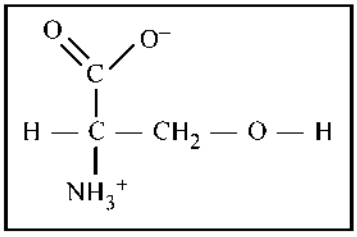
14. ফিনাইলঅ্যালানিন (phe)



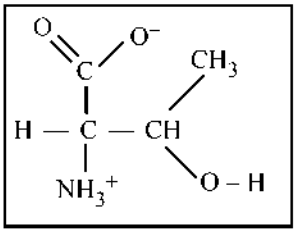
15. প্রোলিন (pro)



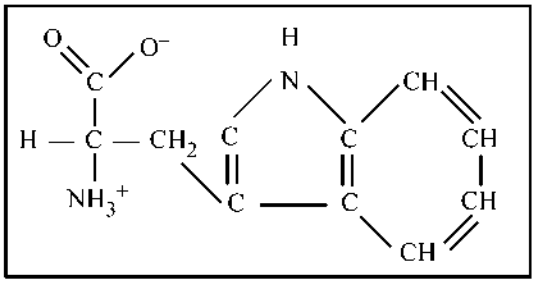
16. সেরিন (ser)



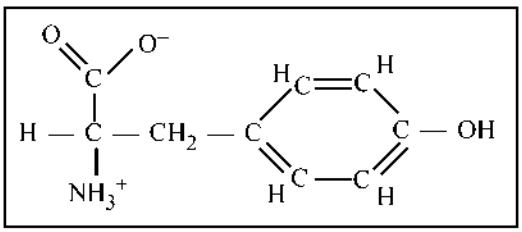
17. থ্রিওনাইন (thr)



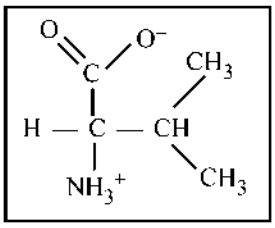
18. ট্রিপ্টোফ্যান (trp)



19. টাইরোসিন (tyr)



20. ভ্যালিন (val)



পার্শ্বশৃঙ্খলের উপস্থিতির উপর ভিত্তি করে এই কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডকে আবার সাতটি ভাগে বিভক্ত করা হয়। এগুলি হল—

(a) অ্যালিফেটিক—অ্যালানিন, গ্লাইসিন, আইসোলিউসিন, লিউসিন, প্রোলিন, ভ্যালিন।

(b) অ্যারোমেটিক—ফিনাইলঅ্যালানিন, ট্রিপ্‌টোফ্যান, টাইরোসিন।

(c) অ্যাসিডিক—অ্যাসপারটিক অ্যাসিড, গ্লুটামিক অ্যাসিড।

(d) বেসিক—আরজিনিন, হিস্টিডিন, লাইসিন।

(e) হাইড্রক্সিলিক—সেরিন, থ্রিয়োনাইন।

(f) সালফার-যুক্ত—সিস্টিন, মিথিয়োনাইন।

(g) অ্যামাইডিক (যাদের অ্যামাইড গ্রুপ আছে)—অ্যাসপারজিন, গ্লুটামিন।

নিচে এই 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের আণবিক সংকেত (molecular formula) ও রৈখিক সংকেত (linear formula) দেওয়া হল—

	অ্যামাইনো অ্যাসিড	আণবিক সংকেত	রৈখিক সংকেত
1.	অ্যালানিন	$C_3H_7NO_2$	$CH_3—CH(NH_2)—COOH$
2.	আরজেনিন	$C_6H_{14}N_4O_2$	$HN=C(NH_2)—NH—(CH_2)_3\ CH(NH_2)COOH$
3.	অ্যাসপারাজিন	$C_4H_8N_2O_3$	$H_2N—CO—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
4.	অ্যাসপারটিক অ্যাসিড	$C_4H_7NO_4$	$HOOC—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
5.	সিস্টিন	$C_3H_7NO_2S$	$HS—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
6.	গ্লুটামিন	$C_5H_{10}N_2O_3$	$H_2N—CO—(CH_2)_2—CH(NH_2)—COOH$
7.	গ্লুটামিক অ্যাসিড	$C_5H_9NO_4$	$HOOC—(CH_2)_2—CH(NH_2)—COOH$
8.	গ্লাইসিন	$C_2H_5NO_2$	$NH_2—CH_2—COOH$
9.	হিস্টিডিন	$C_6H_9N_3O_2$	$NH—CH=N—CH=C—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
10.	আইসোলিউসিন	$C_6H_{13}NO_2$	$CH_3—CH_2—CH—(CH_3)—CH(NH_2)—COOH$
11.	লিউসিন	$C_6H_{13}NO_2$	$(CH_3)_2—CH—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
12.	লাইসিন	$C_6H_{14}N_2O_2$	$H_2N—(CH_2)_4—CH(NH_2)—COOH$
13.	মেথিওনাইন	$C_5H_{11}NO_2S$	$CH_3—S—(CH_2)—CH(NH_2)—COOH$
14.	ফিনাইল অ্যালানিন	$C_9H_{11}NO_2$	$Ph—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
15.	প্রোলিন	$C_5H_9NO_2$	$NH—(CH_2)_3—CH—COOH$
16.	সেরিন	$C_3H_7NO_3$	$HO—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
17.	থ্রিওনাইন	$C_4H_9NO_3$	$CH_3—CH(OH)—CH(NH_2)—COOH$
18.	ট্রিপ্টোফ্যান	$C_{11}H_{12}N_2O_2$	$Ph—NH—CH—C—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
19.	টাইরোসিন	$C_9H_{11}NO_3$	$HO—Ph—CH_2—CH(NH_2)—COOH$
20.	ভ্যালিন	$C_5H_{11}NO_2$	$(CH_3)_2CH—CH(NH_2)—COOH$

ওপরে বর্ণিত এই চার্টে বলতে Ph বলতে অ্যারোমেটিক রিং সংযুক্ত হওয়া বোঝাচ্ছে। তিনটি অ্যারোমেটিক অ্যামাইনো অ্যাসিড (ফিনাইল অ্যালানিন, ট্রিপ্টোফ্যান ও টাইরোসিন-এর গঠন লক্ষ্য করলেই ব্যাপারটা আপনারা বুঝতে পারবেন।

আমরা যে 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন আলোচনা করলাম, সেগুলি ডি.এন.এ দ্বারা নির্ধারিত (coded)

হয় এবং সরাসরি প্রোটিনে সংযুক্ত হয়। এই 20টি ছাড়া এমন কিছু অ্যামাইনো অ্যাসিড আছে যারা রাসায়নিক পরিবর্তনের পরেও প্রোটিনে যুক্ত হয়ে থাকে। এদের পরিবর্তিত বা মডিফায়েড (modified) অ্যামাইনো অ্যাসিড বলা হয়। যেমন ফসফোসেরিন, যেটি গ্লাইসিন থেকে সেরিন উৎপাদনের সময়ে মধ্যবর্তী অবস্থায় তৈরি হয়। আবার হাইড্রক্সিপ্রোলিন অপর একটি পরিবর্তিত অ্যামাইনো অ্যাসিড, যেটি কোলাজেন প্রোটিনে পাওয়া যায়।

13.4 সারাংশ

অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রোটিনের গঠনগত একক। প্রকৃতিতে মাত্র কুড়ি প্রকারের অ্যামাইনো অ্যাসিড পাওয়া যায়, যেগুলি বিভিন্নভাবে পেপটাইড বন্ধনী দ্বারা পরস্পরের সাথে যুক্ত হয়ে নানারকম প্রোটিন গঠন করে। প্রোটিনের আর্দ্র বিশ্লেষণে পেপটাইড বন্ধনী ভেঙে যায় এবং অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি পৃথক হয়ে যায়। অ্যামাইনো অ্যাসিডে একটি আম্লিক (—COOH) কার্বক্সিল গ্রুপ এবং একটি ক্ষারীয় (—NH_2) অ্যামাইনো গ্রুপ থাকায় সাধারণ অবস্থায় এরা প্রশম (nentral) থাকে। এই কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে নয়টি অ্যামাইনো অ্যাসিড প্রাপ্তবয়স্ক মানুষের দৈনন্দিন জীবনে আবশ্যক, কিন্তু এগুলি তারা সংশ্লেষ করতে পারে না এবং খাদ্যের মাধ্যমে এগুলি গ্রহণ করতে হয়। এদের অত্যাবশ্যকীয় (essential) অ্যামাইনো অ্যাসিড বলা হয়। বাকি এগারোটি অ্যামাইনো অ্যাসিড অত্যাবশ্যকীয় নয় (non essential) এবং এগুলি আমাদের দেহে তৈরি হয়ে থাকে। এই স্ট্যান্ডার্ড (standard) কুড়িটি অ্যামাইনো অ্যাসিড ডি.এন.এ দ্বারা নির্ধারিত (coded) হয় এবং সরাসরি প্রোটিনে সংযুক্ত হয়। এছাড়া কয়েকটি অ্যামাইনো অ্যাসিড আছে যারা রাসায়নিক পরিবর্তনের পরে প্রোটিনে যুক্ত হয়। এদের পরিবর্তিত (modified) অ্যামাইনো অ্যাসিড বলা হয়।

13.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) অ্যামাইনো অ্যাসিডের সাধারণ গঠন বর্ণনা করুন।

(b) জুইটারআয়ন কাকে বলে ব্যাখ্যা করুন।

(c) অত্যাবশ্যকীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড বলতে কি বোঝেন উদাহরণ দিয়ে ব্যাখ্যা করুন।

(d) দুইটি অ্যারোমেটিক ও দুইটি সালফার যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন বর্ণনা করুন।

(e) পার্শ্ব-শৃঙ্খলের উপর ভিত্তি করে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলিকে কিভাবে বিভক্ত করা যায় তা লিখুন।

(f) পরিবর্তিত অ্যামাইনো সম্বন্ধে যা জানেন বর্ণনা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) অ্যামাইনো অ্যাসিড _____ গঠনগত একক।

(b) অ্যামাইনো অ্যাসিডে অ্যামাইনো গ্রুপটি যে কার্বনের সাথে যুক্ত তাকে _____ কার্বন বলে।

(c) সাধারণ অবস্থায় অ্যামাইনো অ্যাসিড _____ মাত্রায় থাকে।

(d) সবচেয়ে সাধারণ অ্যামাইনো অ্যাসিডটি হল _____।

(e) _____ একটি সালফার-যুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড।

13.6 উত্তরমালা

1. (a) 13.2 অনুচ্ছেদে চিত্র 1 দ্রষ্টব্য।

   (b) 13.2 অনুচ্ছেদে চিত্র 2 সহযোগে ব্যাখা করুন।

   (c) 13.3 দ্রষ্টব্য

   (d) 13.3 অনুচ্ছেদ দেখুন

   (e) 13.3 দ্রষ্টব্য

   (f) 13.3 অনুচ্ছেদের শেষ অংশ দেখুন

2. (a) প্রোটিনের

   (b) আল্‌ফা

   (c) প্রশম

   (d) গ্লাইসিন

   (e) সিস্টিন/মিথিওনাইন

একক 14 ❑ প্রোটিনের গঠন

গঠন

14.0 উদ্দেশ্য
14.1 প্রস্তাবনা
14.2 প্রোটিনের গঠনগত ধর্ম
14.3 প্রোটিনের গঠনগত একক
14.4 প্রোটিনের গঠন
14.4.1 প্রাথমিক গঠন
14.4.2 গৌণ গঠন
14.4.3 প্রগৌণ গঠন
14.4.4 উপ-প্রগৌণ গঠন
14.5 প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন
14.6 প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা
14.7 সারাংশ
14.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
14.9 উত্তরমালা

14.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি অধ্যয়নের পর আপনি জানতে পারবেন,

- অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন
- পেপটাইডের গঠন
- প্রোটিনের বহুমুখী ভূমিকাসাধক ধর্মগুলি কি কি?
- প্রোটিন গঠনকারী একক উপাদান কি?
- প্রোটিনের প্রাথমিক, গৌণ ও প্রগৌণ গঠন বলতে কি বোঝায়?
- প্রোটিনের ত্রি-মাত্রিক গঠন বলতে কি বোঝায়?

14.1 প্রস্তাবনা

জীবজগতের সবচাইতে বহুমুখী উপযোগিতা সম্পন্ন বৃহদাণু (macromolecule) হল প্রোটিন। জীবের জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়াসমূহে তারা যেমন অনুঘটকরূপে কাজ করে তেমনই কোষীয় পরিবহনে তারা সাহায্য করে। প্রোটিন যেমন অক্সিজেন সংবন্ধনের জন্য দায়ী তেমনই দেহকে প্রতিরক্ষা প্রদানের জন্য দায়ী। প্রোটিন অণুগুলির

মাধ্যমেই সংবেদন কোষ থেকে কোষান্তরে যায়; প্রোটিনই নিয়ন্ত্রন করে বৃদ্ধির ও বিকাশের বিভিন্ন পর্যায়। পাঠক্রমের এই পর্যায়ে আমরা প্রোটিন অণুর গঠন সম্পর্কে আলোচনা করব।

14.2 প্রোটিনের গঠনগত ধর্ম

নিম্নলিখিত ধর্মগুলি প্রোটিন অণুকে বহু ভূমিকাসাধক গঠনগত বৈশিষ্ট্য প্রদান করে :

● প্রোটিন হল রেখাকৃতি (linear) বৃহদাণু যা **অ্যামাইনো অ্যাসিড** নামক বহুসখ্যক একক অণু দ্বারা গঠিত। প্রোটিনের কাজের সঙ্গে অ্যামাইনো অ্যাসিডের রৈখিক বিন্যাস ঠিক কতটা সম্পর্কিত? মনে রাখতে হবে প্রোটিনের কাজের বিশিষ্টতা নির্ভর করে সেটির ত্রিমাত্রিক (3D) গঠনের উপর। প্রোটিন অণু রেখাকৃতি হলেও তা নিজে থেকেই 3D গঠন গড়ে নিতে সক্ষম। এই 3D গঠনের বিশিষ্টতা নির্ভর করে অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির বিন্যাসের উপর।

● **প্রোটিন অণুতে বহু রকমের কার্যকরী মূলক থাকে।** এই মূলকগুলি অ্যালকোহল, ইথার, কার্বক্সিল ইত্যাদি নানারকম হতে পারে। কার্যকরী মূলকের বিভিন্নতা প্রোটিনকে বিবিধ রাসায়নিক বিক্রিয়ার অংশ নিতে সাহায্য করেছে।

● **প্রোটিন অণুগুলি পরস্পরের সঙ্গে এবং অন্য জৈব অণুর সঙ্গে জটিল সম্পর্ক স্থাপনে সক্ষম।** এর সুন্দর উদাহরণ হল ক্রোমোজোমের গঠন (নিউক্লিওজোম) বা তার প্রতিলিপিকরণ (রেপ্লিজোম, ট্রানস্ক্রিপটোজোম) ইত্যাদি।

● **প্রোটিন যেমন দৃঢ় তেমনই নমনীয়।** দৃঢ় গঠন বিশিষ্ট প্রোটিনগুলি সাইটোস্কেলিটন (Cytoskeleton) বা কোষকাঠামো গঠন করে। আবার প্রোটিন অণুর মধ্যে উপস্থিত কব্জার মত অংশ। লিভারের (lever) মত অংশ তাকে নমনীয়তা প্রদান করে।

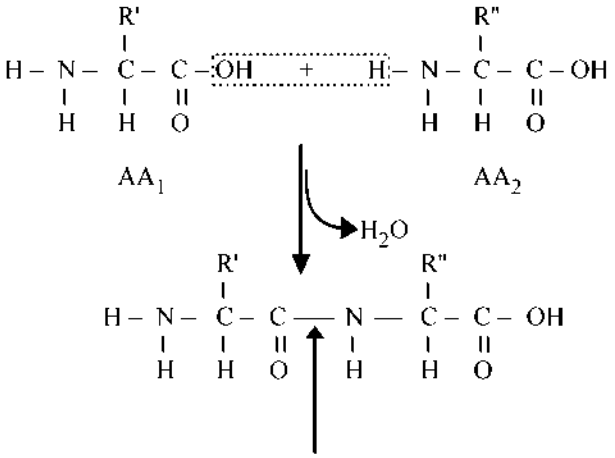
14.3 প্রোটিন গঠনের একক

প্রোটিন গঠনের একক উপাদান হল অ্যামাইনো অ্যাসিড। অ্যামাইনো অ্যাসিডের গঠন সম্পর্কে পূর্ববর্তী অধ্যায় থেকে আপনাদের সবিশেষ ধারণা জন্মেছে আশা করা যায়। মনে রাখতে হবে এই যে :

● কেবলমাত্র L - অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি প্রোটিন গঠনে অংশগ্রহণ করে।

● প্রোটিন সংশ্লেষের সময় প্রতিটি অ্যামাইনো অ্যাসিড তার সংলগ্ন দুটি অপর অ্যামাইনো অ্যাসিডের সঙ্গে যুক্ত হয়ে দীর্ঘ, অবিচ্ছিন্ন এবং অশাখা (unbranched) বৃহদাণু গঠন করে। দুটি পরস্পরের সমীপবর্তী অ্যামাইনো অ্যাসিড **পেপটাইড বন্ধনী** দ্বারা সংযুক্ত হয়।

একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল মূলক যখন পার্শ্ববর্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অ্যামাইনো মূলকের সঙ্গে একটি জলের অণু অপসারণের মাধ্যমে যুক্ত হয় তখনই গঠিত হয় পেপটাইড বন্ধনী। নীচে প্রদত্ত বিক্রিয়াটি লক্ষ্য করুন :



এখানে AA_1 ও AA_2 হল দুটি ভিন্ন ভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিড যারা কনডেনসেশন বিক্রিয়ার মাধ্যমে পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত হবার দরুন একটি জলের অণু অপসারিত হয়। বিনিময়ে একটি পেপটাইড বন্ধনী গঠিত হয়। এক্ষেত্রে AA_1 এর কার্বক্সিলমূলক এবং AA_2 এর অ্যামাইনোমূলকদ্বয় এই বিক্রিয়ায় অংশ গ্রহণ করেছে।

গড়ে 450 টি এভাবে পরস্পরসংযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা এক একটি প্রোটিন অণু গঠিত। তাই প্রোটিনকে অন্যভাবে **পলিপেপটাইড** বলা হয়ে থাকে। পেশির প্রোটিন **টাইটিন** (titin) হল এরকম সবচাইতে বড় পলিপেপটাইড যা 30,000 অ্যামাইনো অ্যাসিড নিয়ে গঠিত। এভাবে গঠিত একটি পলিপেপটাইডের তাহলে দুটি প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড দু-ধরণের মুক্ত মূলক ধারণ করে। যে প্রান্তের অ্যামাইনো অ্যাসিডটির মুক্ত মূলকটি হল অ্যামাইনো মূলক তাকে বলে পলিপেপটাইডের N – প্রান্ত। অপরপক্ষে যে প্রান্তের অ্যামাইনো অ্যাসিডটি মুক্ত কার্বক্সিল মূলক ধারণ করে তাকে বলে পলিপেপটাইডের C – প্রান্ত।

অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি ছাড়াও অনেক প্রোটিনে ভিন্নতর উপাদান দেখা যায়। যেমন **গ্লাইকো প্রোটিন** কার্বহাইড্রেট অণুর সঙ্গে যুক্ত অথবা **মেটালোপ্রোটিন** ধাতব মূলকের সঙ্গে যুক্ত, ইত্যাদি।

14.4 প্রোটিনের গঠন (Structure of Protein)

প্রোটিনের গঠনকে চারটি ভিন্ন ভিন্ন স্তরের সংগঠন বা organisation দ্বারা ব্যাখ্যা করা যায়। প্রতিটি স্তরের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যে পারস্পরিক বিক্রিয়ার ধরণ ভিন্ন ভিন্ন। এই চারটি সাংগঠনিক স্তরকে যথাক্রমে প্রাথমিক (Primary) গৌণ (Secondary), প্রগৌণ (tertiary) এবং উপ-প্রগৌণ (Quaternary) রূপে ভাগ করা যায়।

14.4.1 প্রাথমিক গঠন (Primary Structure)

প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন বলতে বোঝায় অ্যামাইনো অ্যাসিডের যতিবিহীন, অবিচ্ছিন্ন, রৈখিক সজ্জা বিন্যাসকে যা একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল গঠন করে। 20 টি বিভিন্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডের সমন্বয়ে গঠিত এইরকম শৃঙ্খলের ধরণ কত হতে পারে? এটা নির্ভর করবে শৃঙ্খল প্রতি অ্যামাইনো অ্যাসিড সংখ্যার উপর। অর্থাৎ একক পলিপেপটাইডে অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যা হল 20^n (যেখানে n = অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যা)। যেহেতু n সংখ্যা অনির্দিষ্ট অতএব কার্যতঃ পলিপেপটাইডের বৈচিত্র কার্যতঃ অসীম। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সজ্জাক্রম জীবের জীবনে কোডগুলির সজ্জাক্রমের উপর নির্ভরশীল।

প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনের বৈশিষ্ট্যগুলি নিম্নরূপ :

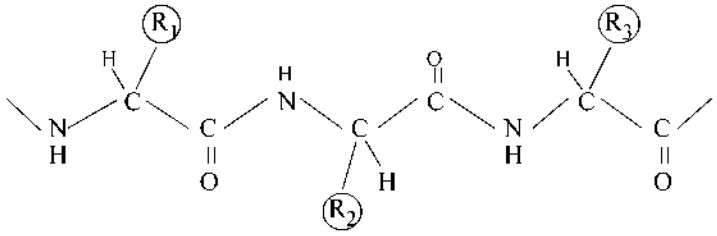
(a) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনটি হল n সংখ্যক (n-এর মান অনির্দিষ্ট) অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত একটি রৈখিক (linear) শৃঙ্খল।

(b) শৃঙ্খলটি গঠিত হল দুটি পরস্পরসংলগ্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডদ্বয়ের মধ্যে একটির α - কার্বক্সিল মূলক অপরটি α - অ্যামাইনো মূলকের সঙ্গে পেপটাইড বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হবার ফলে।

(c) এই পেপটাইড বন্ধনী-টি তাপ-গতিবিদ্যার পরিপ্রেক্ষিতে অত্যন্ত স্থায়ী। একটি পলিপেপটাইডে পেপটাইড বন্ধনীর সংখ্যা স্বাভাবিকভাবেই অ্যামাইনো অ্যাসিডের সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। যেহেতু পেপটাইড বন্ধনী সৃষ্টি হওয়া একটি জল অপসারী বিক্রিয়া সেহেতু এটি একটি শক্তিগ্রাহী প্রক্রিয়া অর্থাৎ এতে কোষীয় শক্তি ব্যয় হয়।

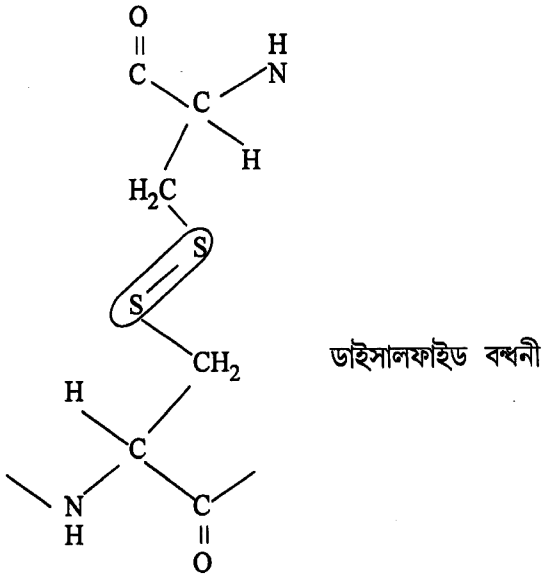
(d) একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল হল সুনির্দিষ্ট মেরুবর্ত্তী অণু। এর একপ্রান্তে মুক্ত α - অ্যামাইনো মূলক থাকে (N প্রান্ত) ও অপর প্রান্তে α কার্বক্সিল (C প্রান্ত) থাকে।

(e) একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের দুটি অংশ। একটি অংশ, যাকে বলে কাঠামো বা backbone, তা বৈচিত্রহীন ও পৌনপুনিক। অপর অংশ, যা অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির R-মূলক বা পার্শ্বীয় শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত তা হল বৈচিত্রময়।



উপরের চিত্রটি লক্ষ্য করুন। এখানে তিনটি অ্যামাইনো অ্যাসিড যে ক্ষুদ্র শৃঙ্খলটি তৈরী করেছে তার বৈচিত্রময় অংশ কেবল বৃত্ত দ্বারা চিহ্নিত R-মূলক গুলি। বাকী অংশ পর্যায়ক্রমিক অ্যামাইনো (– NH) ও কার্বনিল (– CO) মূলক দ্বারা গঠিত।

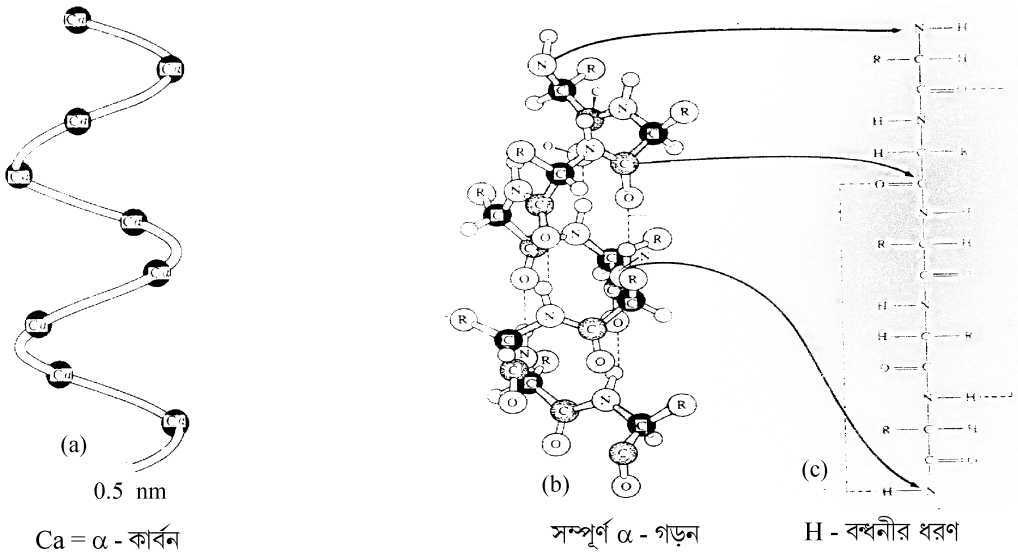
(f) কোন কোন প্রোটিনে রৈখিক অ্যামাইনো অ্যাসিড শৃঙ্খলগুলির মধ্যে পেপটাইড বন্ধনী ছাড়াও দ্বিতীয় অপর এক প্রকার বন্ধনী দেখা যায়। একে বলে ক্রস লিঙ্ক (Cross link)। দুটি পরস্পর সংলগ্ন সিসটিন দ্বারা গঠিত একটি শৃঙ্খলে জারন প্রক্রিয়ার ফলে ডাইসালফাইড বন্ধনী গঠিত হয়। ফলে দুটি পরস্পর সংযুক্ত বা ক্রসলিংকড সিসটিন দ্বারা গঠিত ডাইপেপটাইডকে বলে সিসটাইন (cystine)।



14.4.2 গৌণ গঠন (Secondary Structure)

প্রোটিন অণু মাত্রই বহু সংখ্যক অণুর মধ্যে গড়ে ওঠা বহু সংখ্যক বন্ধনীর সমন্বয়। স্বাভাবিকভাবেই এর গঠন অত্যন্ত জটিল। যেহেতু বস্তু মাত্রেরই একটি ত্রিমাত্রিক বহিঃপ্রকাশ আছে সেহেতু প্রোটিনেরও একটি ত্রিমাত্রিক বহিঃরূপ আছে বলে ধরে নেওয়া যায়। একে আমরা **গড়ণ** বা conformation বলতে পারি। প্রোটিনের গৌণ গঠন বলতে এই **গড়ণ**-কে বোঝায়। 1951 খৃষ্টাব্দে লিনাস পাউলিং (Linus Pauling) এবং রবার্ট কোরে (Robert Corey) দুটি গড়ণ প্রস্তাবিত করেন—যথাক্রমে α - গড়ণ (α - helix) ও β - গড়ণ (β - helix)। গড়ণগুলি প্যাঁচ সৃদশ, তাই helix নামে পরিচিত।

(a) α - গড়ন (α - helix) : এটি হল একটি দণ্ডাকার গড়ণ। দণ্ডাকৃতি এই গঠনের অর্ন্তদেশ অত্যন্ত দৃঢ়ভাবে প্যাঁচানো কাঠামো বা backbone অংশ দ্বারা গঠিত। পরিধি অংশে বর্হিমুখীভাবে বিন্যস্ত আছে বৈচিত্রময় R - শৃঙ্খলগুলি।



চিত্র 2 : α - গড়ন (a) এক একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের α - কার্বন অণুকে বৃত্তের আকারে দেখানো হয়েছে।
(b) একটি সম্পূর্ণ α - শৃঙ্খল
(c) H - bond-এর ধরণ। একটি α - কার্বন তার চার একক পরে স্থিত α - কার্বনের সঙ্গে H - Bond দ্বারা যুক্ত।

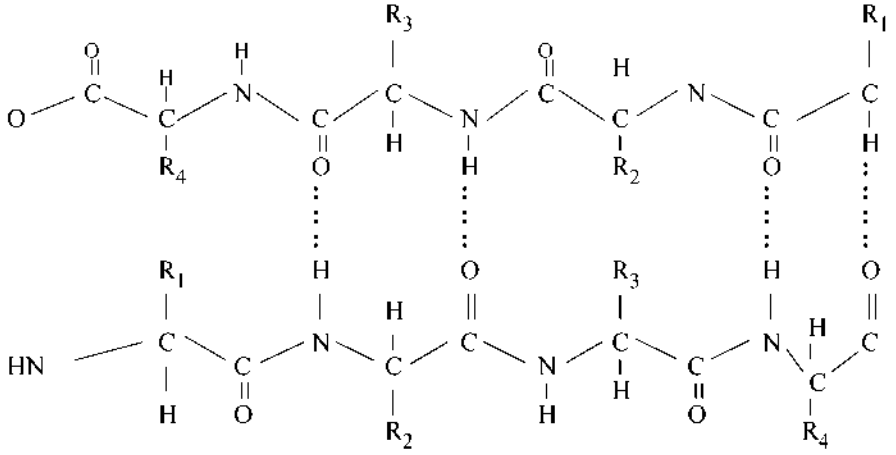
সুতরাং α - গড়নকে স্থায়ীত্ব দান করে অর্ন্তদেশের NH ও CO মূলকের মধ্যে গড়ে ওঠা হাইড্রোজেন বন্ধনী। লক্ষ্যণীয় এই যে একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের কার্বক্সিল (CO) মূলক তার থেকে চারটি একক পূর্ববর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডটির অ্যামাইনো (NH) মূলকের সাথে হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। সুতরাং কেবলমাত্র প্রান্তীয় অ্যামাইনো অ্যাসিডটি ছাড়া আর সমস্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডই α - গড়ণে পরস্পরের সঙ্গে H - বন্ধনী দ্বারা যুক্ত। একটি একক পার্শ্ববর্ত্তী এককের তুলনায় 1.5^0 উত্থিত অবস্থায় থাকে। তাদের মধ্যে কৌণিক দূরত্ব 100^0। অর্থাৎ একটি সম্পূর্ণ প্যাঁচে (360^0) মোট অ্যামাইনো অ্যাসিড সংখ্যা হল 3.6 টি। প্রকৃতিতে এক α - গড়ণের দৈর্ঘ্য 45 Å এর মত। তবে দুই বা ততোধিক α - শৃঙ্খল পরস্পর সংযুক্ত হয়ে 1000Å বা তার থেকেও দীর্ঘ পলিপেপটাইড তৈরী করতে পারে। এর উদাহরণ হল পেশির প্রোটিন মায়োসিন, ট্রোপোমায়োসিন ইত্যাদি।

(b) β - গড়ণ (β - helix) : β - গড়ণ বা β - Sheet ও α - গড়ণের মধ্যে পার্থক্যগুলি হল :

(i) α - গড়ণ যেখানে অত্যন্ত ঘনসংবদ্ধ প্যাঁচ, β - গড়ণ সেখানে যতদূর সম্ভব ছড়ানো।

(ii) α - গড়ণ বিশিষ্ট প্রোটিনের দুটি সমীপবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে দূরত্ব হল 1.5 Å। সেখানে β - গড়ণে এই দূরত্ব 3.5 Å

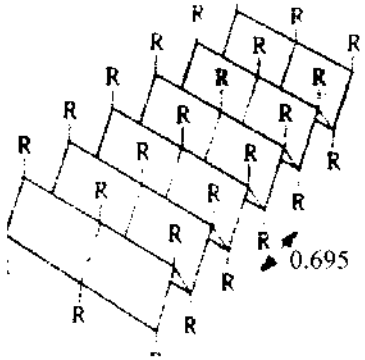
(iii) β - গড়ণ সম্পন্ন প্রোটিনে NH ও CO মূলকের মধ্যে হাইড্রোজেন বন্ধনী স্থাপিত হয় ঠিকই কিন্তু α - গড়ণের মতো একই শৃঙ্খলের অন্তর্গত দুটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের মধ্যে কখনই নয়। এক্ষেত্রে একটি শৃঙ্খলের মুক্ত CO-মূলক অপর একটি শৃঙ্খলের NH-মূলকের সঙ্গে যুক্ত হয় (চিত্র 3 দেখুন)।



চিত্র 3 : β - গড়ণ দুটি প্রতি সমান্তরাল β - শৃঙ্খল প্রদর্শিত হয়েছে। ⇌ COO^- থেকে NH মুক্ত প্রান্তের অভিমুখ .... H - বন্ধনী।

প্রকৃতিতে দু'ধরণের β - গড়ণ দেখতে পাওয়া যায় :

(i) সমান্তরাল β - গড়ণ (Parallel β - Sheet) : একটি প্রোটিনের অন্তর্গত সব কয়টি পলিপেপটাইড শৃঙ্খল যদি এমনভাবে সজ্জিত হয় যে প্রতিটি শৃঙ্খলের N - প্রান্ত একই দিকে এবং প্রতিটিরই C - প্রান্ত ঠিক তার বিপরীত দিকে অবস্থান করে তখন সেই β - গড়ণকে বলা হয় সমান্তরাল বা Parallel গড়ণ। (চিত্র 4)।



চিত্র 4 : সমান্তরাল β - শৃঙ্খল। এই ধরণের গড়ণকে β - পাত (β - sheet) বলে থাকে।

(ii) **প্রতি-সমান্তরাল (antiparallel) গড়ণ** : এক্ষেত্রে একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের N এবং C প্রান্ত পরবর্ত্তী শৃঙ্খলের N ও C প্রান্তের তুলনায় বিপরীত মুখে অবস্থান করে। অর্থাৎ একটি β - প্রোটিন যদি 6 টি পরস্পর বিন্যস্ত পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত হয় তবে প্রথম, তৃতীয় ও পঞ্চম শৃঙ্খলের N ও C প্রান্ত সমান্তরাল। অপরপক্ষে দ্বিতীয় চতুর্থ এবং ষষ্ঠ শৃঙ্খলের N ও C প্রান্ত এদের তুলনায় বিপরীতমূখী এবং পরস্পরের সঙ্গে সমান্তরাল (চিত্র 3 দেখুন)।

β - গড়ণসম্পন্ন গৌণ গঠন দেখতে পাওয়া যায় বিভিন্ন গঠনগত প্রোটিনে (যেমন, রেশমের ফাইব্রোনিন) অথবা গ্লোবিউলার প্রোটিন (যেমন, লাইসোজাইম বা কার্বক্সিপেপটাইডেজ ইত্যাদি)। (চিত্র 3 ও 4 দেখুন)

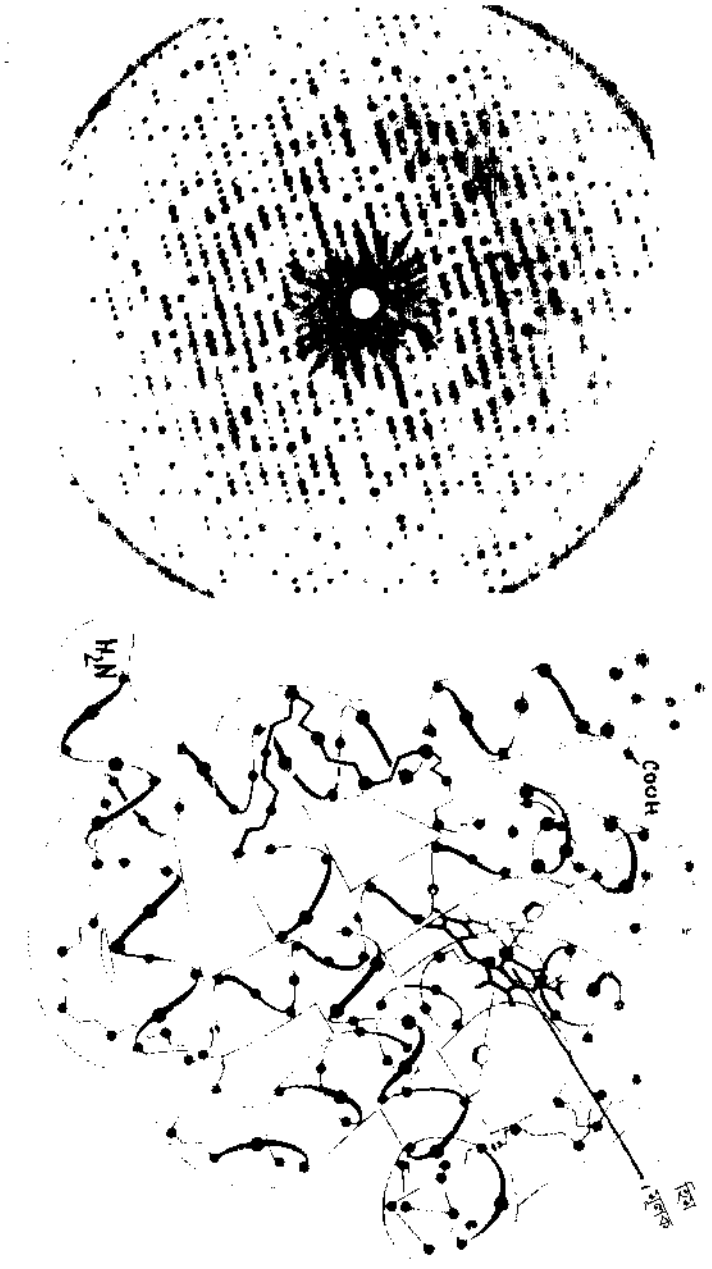
α এবং β - গড়ণ ছাড়াও আরও কয়েকরকম গৌণ গড়ণ দেখতে পাওয়া যায়। এদের মধ্যে উল্লেখযোগ্য হল **র‍্যানডম কয়েল** (Random coil) এবং γ - গড়ণ। যখন কোন পলিপেপটাইড শৃঙ্খল পরস্পর সংলগ্ন আধানযুক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডের (যেমন গ্লুটামিক বা অ্যাসপারটিক অ্যাসিড) বিকর্ষণের ফলে এলোমেলো শৃঙ্খলাহীন গঠন ধারণ করে তখন তাকে বলে র‍্যানডম কয়েল। γ - গড়ণ হল অপেক্ষাকৃত অস্থায়ী গৌণ গড়ণ যাতে α বা β গড়ণ অপেক্ষা অধিকতর H বন্ধনী দেখা যায়।

14.4.3 প্রগৌণ গঠন (Tertiary Structure)

গৌণ গঠনের পরবর্ত্তী স্তরের সাংগঠনিক বিন্যাস হল প্রগৌণ গঠন। এই দুটি সাংগঠনিক সতরের মধ্যে পার্থক্য নির্ধারণ সম্ভব হয় কেবল মাত্র সুনির্দিষ্ট পরীক্ষা পদ্ধতি দ্বারা। X-ray কেলাসচিত্র (Crystallography) এরকম একটি পদ্ধতি। এই পদ্ধতিতে কোন প্রোটিনের একটি কেলাসকে X - রশ্মি দ্বারা বিকিরিত করলে প্রোটিনের অণুগুলি থেকে ইলেকট্রনের বিচ্ছুরণ ঘটে। এই বিচ্ছুরণ একটি ফটোগ্রাফি ফিল্মের উপর আঘাত করলে অণুগুলির বিন্যাস একটি স্থিরচিত্রের মত সেই ফিলমের উপর ধরা পড়ে। এই পদ্ধতিতে প্রোটিনের দুটি প্রগৌণ গঠন চিনতে পারা যায়। যথাক্রমে দন্ডাকৃতি **ফাইব্রাস** (Fibrous) প্রোটিন এবং প্রায় গোলাকৃতি **গ্লোবিউলার** (globular) প্রোটিন। কোষবহিস্থ সমস্ত গঠনগত প্রোটিন (যেমন কোলাজেন) হল ফাইব্রাস প্রোটিন আর কোষ অভ্যন্তরের প্রায় সমস্ত প্রোটিনই হল গ্লোবিউলার প্রোটিন।

মায়োগ্লোবিন হল প্রথম প্রোটিন যার প্রগৌণ গঠন X-ray কেলাসচিত্র থেকে স্থাপন করা সম্ভব হয়েছিল। দেখা গেল যে মায়োগ্লোবিন হল 153 টি অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত একটি প্রোটিন। এদের মধ্যে 75% α - শৃঙ্খল রূপে বিন্যস্ত। এক্ষেত্রে কোন β - শৃঙ্খল দেখতে পাওয়া যায় না। 7 থেকে 24টি অ্যামাইনো অ্যাসিড দ্বারা গঠিত 8টি α - শৃঙ্খল মায়োগ্লোবিন গঠন করে। এই পর্যন্ত বললে যা বোঝা যায় তা হল মায়োগ্লোবিনের গৌণ গঠন। X - ray চিত্র থেকে এরপর যা জানা গেল তা হল প্রতিটি মায়োগ্লোবিনের কেন্দ্রে একটি জলবিরোধী (hydrophobic) R - মূলক দ্বারা আবৃত কেন্দ্রে এই মায়োগ্লোবিন প্রোটিনের **হিম** (heme) মূলকের অবস্থান। শৃঙ্খলগুলির মধ্যে কোন ডাইসালফাইড বন্ধনী দেখা যায় না। সুতরাং শৃঙ্খলগুলি পরস্পরের সঙ্গে নন-কোভ্যালেন্ট সংযোগী বল (non co-valent interaction) দ্বারা যুক্ত। কেন্দ্রস্থ হিম মূলকের চারপাশের R - মূলকগুলি যেমন আধানবিহীন তেমনই প্রোটিনটির পরিধিস্থ অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির R - মূলকগুলির মধ্যে কিছু আধানযুক্ত ও কিছু আধানবিহীন। এই সমস্ত বৈশিষ্ট্য মায়োগ্লোবিনকে একটি কুণ্ডলীকৃত

আকার প্রদান করে যা প্রোটিনটির প্রগৌণ গঠন রূপে পরিচিত। চিত্র 5-এ মায়োগ্লোবিনের X-ray চিত্র এবং সেখান থেকে নির্ধারিত প্রোটিনটির প্রগৌণ গঠন দেখান হল।



চিত্র 5 : প্রগৌণ গঠন (a) মায়োগ্লোবিনের X-ray বিচ্ছুরণ কেলাসচিত্র।
(b) তা থেকে নির্ণীত মায়োগ্লোবিনের 3D গঠন।

14.4.4 উপ প্রগৌণ গঠন (Quaternary Structure)

যে সমস্ত প্রোটিনের গঠনে একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দেখতে পাওয়া যায় তাদের ক্ষেত্রে একটি পলিপেপটাইড অপর একটি পলিপেপটাইডের সঙ্গে একাধিক সমন্বায়ক বল দ্বারা যুক্ত। দুটি শৃঙ্খলের মধ্যে এই বল তেমন একটি সাদামাটা হাইড্রোজেন বা ডাইসালফাইড বন্ধনী হতে পারে, তেমনই অত্যন্ত জটিল জলনিরোধী বল (hydrophobic interaction) বা আয়নিক বন্ধনী (ionic bond) হতে পারে। উপ প্রগৌণ গঠন বলতে বস্তুতপক্ষে একটি প্রোটিনের অন্তর্গত সবকয়টি পলিপেপটাইডের মধ্যেকার পারস্পরিক আন্তঃক্রিয়াকে বোঝায়।

উপ-প্রগৌণ গঠন স্বাভাবিকভাবেই নির্ভর করে পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের সংখ্যার উপর। এক একটি পলিপেপটাইড শৃঙ্খলকে উপ-এককও বলা হয়ে থাকে। সরলতম উপ-প্রগৌণ গঠন হল দুটি উপ এককবিশিষ্ট ডাইমার (dimer)। λ ফাজের cro প্রোটিন হল এই ধরণের ডাইমারের উদাহরণ। তেমনই চারটি উপ-একক বা পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত প্রোটিনের উপ-প্রগৌণ গঠনকে বলা হল টেট্রামার (tetramer)। হিমোগ্লোবিন হল একটি টেট্রামার যার দুটি উপএককে বলা হয় α এবং অপর দুটি উপ-এককে বলা হয় β। তাই হিমোগ্লোবিনকে উপ-প্রগৌণ গঠন অনুযায়ী বলা হয় একটি α_2 β_2 প্রোটিন (চিত্র 6)।

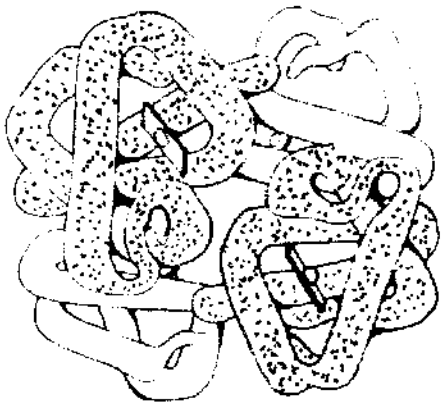
পরিশেষে উপসংহাররূপে বলা যায় যে প্রোটিনের গঠনে চারটি স্তরের বিন্যাসক্রম দেখতে পাওয়া যায়।

প্রাথমিক গঠন বলতে বোঝায় মুখ্যত প্রোটিন গঠনকারী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সজ্জাক্রম।

গৌণ গঠন বলতে বোঝায় নিকটবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার পারস্পরিক সংযোগসাধনকারী অবস্থানগত বৈশিষ্ট্যকে।

প্রগৌণ গঠন বলতে বোঝায় দূরবর্ত্তী অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার সংযোগসাধনকারী বৈশিষ্ট্যকে।

উপ-প্রগৌণ গঠন বলতে বোঝায় একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত প্রোটিনের উপ এককগুলির মধ্যে সংযোগকারী বৈশিষ্ট্যকে



চিত্র 6 : উপপ্রগৌণ গড়ণ। এখানে দুটি α - শৃঙ্খল ও দুটি β - শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত হিমোগ্লোবিনের গড়ণ দেখানো হয়েছে।

14.5 প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন

পরিবেশের তাপমাত্রা, pH ইত্যাদির অতিরিক্ত পরিবর্তনের ফলে প্রোটিন তার গঠন ও কর্মক্ষমতা হারিয়ে ফেলে। যে পদ্ধতিতে প্রোটিনের স্বাভাবিক গঠন (প্রাথমিক গঠন, গৌণ গঠন, প্রগৌণ গঠন এবং উপ-প্রগৌণ গঠন) নষ্ট হয়ে যায় এবং এর ফলে প্রোটিন তার নিজস্ব কর্মক্ষমতা পুরোপুরি হারিয়ে ফেলে, তাকেই প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলা হয়। কিছু কিছু প্রোটিন আছে যারা ডিন্যাচিওর হবার পর আবার পুরানো কার্যকরী স্থিতাবস্থায় ফেরৎ যেতে পারে। এই পদ্ধতিকে বলা হয় প্রোটিন রিন্যাচুরেশন (renaturation)। তবে অধিকাংশ প্রোটিনই একবার ডিন্যাচুওর হয়ে হলে আর রিন্যাচুওর হতে পারে না।

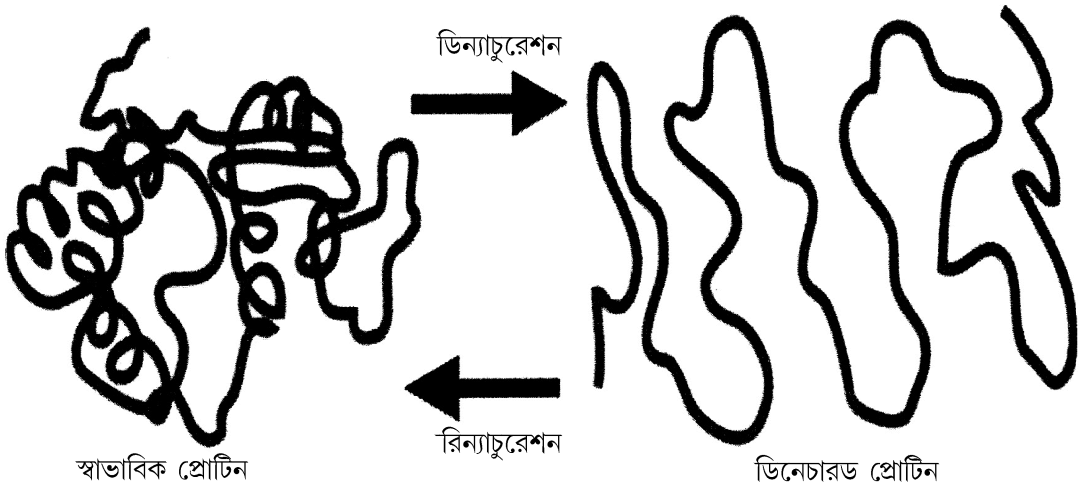
যে সমস্ত রাসায়নিক পদার্থ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে বলা হয় ডিন্যাচুর‍্যান্ট (denaturant)। যেমন ইউরিয়া (সাধারণতঃ 8M) এবং গুয়ানিডিয়াম হাইড্রোক্লোরাইড (6MGuHCl)। ভারী ধাতব মৌল, যেমন— Ag^{+}, Pb^{2+}, H_9^{2+} ইত্যাদিও প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়।

প্রোটিনের কর্মক্ষমতা নির্ভর করে তার 3D গঠনের ওপর। মূলতঃ হাইড্রোজেন বন্ধনীর মাধ্যমে এই গঠন সুনির্দিষ্টভাবে হয়ে থাকে। pH-এর পরিবর্তন অথবা তাপমাত্রার অস্বাভাবিক হ্রাস বা বৃদ্ধিতে এই হাইড্রোজেন বন্ধনীগুলি ভেঙে যায় এবং এর ফলে প্রোটিন তার স্বাভাবিক অবস্থা এবং কর্মক্ষমতা হারিয়ে ডিন্যাচিওর হয়ে পড়ে। ডিন্যাচুরেশনে আলফা-গড়ন এবং বিটা-গড়নের অন্তর্গত পরস্পর সংলগ্ন অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির মধ্যেকার বন্ধনীগুলি চূর্ণবিচূর্ণ হয়ে যায়, ফলে প্রোটিনের স্বাভাবিক গুণ পরিবর্তন হয়ে যায়।

আমাদের দৈনন্দিন জীবনে প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনের কয়েকটি উদাহরণ হল—

১। সিদ্ধ করা ডিম, যেখানে ডিমের অ্যালবুমিন (বা সাদা অংশ) জমে যায়।

২। দুধ জমে গিয়ে দই তৈরি হয়ে যায়।



চিত্র 1 : প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন

14.6 প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা

(1) পুষ্টিগত (nutritional) ভূমিকা — উদ্ভিদ এবং প্রাণীদেহে প্রয়োজনীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড, নাইট্রোজেন এবং সালফার সরবরাহ করে থাকে।

(2) অণুঘটকগত (catalytic) ভূমিকা — সকল উৎসেচকই প্রোটিন। কাজের অণুঘটক রূপে প্রোটিনের ভূমিকা অনন্য।

(3) হরমোনগত (hormonal) ভূমিকা — বেশিরভাগ হরমোন, যেমন গ্রোথ বা বৃদ্ধি-সহায়ক হরমোন, ইনস্যুলিন এবং সকল রিসেপ্টরই প্রোটিন।

(4) আত্মরক্ষামূলক (defensive) ভূমিকা — অ্যান্টিবডি (ইমিউনোগ্লোবুলিন), যারা শরীরে রোগ প্রতিষেধমূলক কাজ করে থাকে, তারা সকলেই প্রোটিন।

(5) কিছু প্রোটিন শরীরে প্রতিরোধমূলক কাজ করে থাকে। যেমন— চুল, নখ এবং ত্বকে অবস্থিত কেরাটিন ত্বককে রাসায়নিক বিক্রিয়া থেকে রক্ষা করে।

(6) কোলাজেন জাতীয় প্রোটিন জীবদেহে সহায়ক (supportive) রূপে কাজ করে।

(7) হিমোগ্লোবিন একটি প্রোটিন, যা রক্তে অক্সিজেন পরিবহন করে।

(8) অ্যাক্টিন ও মায়োসিন সংকোচী প্রোটিনরূপে পেশীকে সক্রিয় রাখতে সাহায্য করে।

(9) প্রোটিনের অন্তর্গত অ্যামাইনো অ্যাসিড বিভিন্ন প্রকার প্রয়োজনীয় নাইট্রোজেন জাত পদার্থ (ক্রিয়েটিন, হিস্টামিন, হিম, পিউরিন ও পিরিমিডিন) উৎপাদন করে থাকে।

(10) জৈবিক ঝিল্লি (biological membrane) তৈরি হয় দ্বিস্তরবিশিষ্ট ফসফোলিপিড এবং নানা প্রকার প্রোটিনের সংমিশ্রণে, যার মাধ্যমে সংবেদন কোষ থেকে কোষান্তরে যায়।

(11) কোহেসিন (cohesin) প্রোটিন কোষ বিভাজনের সময় ক্রোমোজোমের গঠন নিয়ন্ত্রণ করে।

(12) প্লাজমা মেমব্রেনে অবস্থিত প্রোটিনগুলি (চ্যানেল, কেরিয়ার, পাম্প প্রোটিন) কোষীয় পরিবহন নিয়ন্ত্রণ করে।

(13) ক্রোমোজোম গঠন (নিউক্লিওজোম) বা তার প্রতিলিপিকরণে প্রোটিন অণুগুলি পরস্পরের সাথে এবং অন্য জৈবিক অণুর সঙ্গে জটিল সম্পর্ক স্থাপন করে।

(14) প্রোটিনই নিয়ন্ত্রণ করে বৃদ্ধি (growth) এবং বিকাশের (development) বিভিন্ন পর্যায়।

14.7 সারাংশ

প্রোটিন মাত্রেই 20টি অ্যামাইনো অ্যাসিডের ভাণ্ডার থেকে আহরিত এককগুলির দ্বারা গঠিত একটি শৃঙ্খল। অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি পরস্পরের সঙ্গে পেপটাইড বন্ধনী দ্বারা যুক্ত হয়ে গঠিত হয় প্রোটিনের প্রাথমিক গঠন।

শৃঙ্খলাবদ্ধ পলিপেপটাইড শৃঙ্খল আলফা (α) অথবা বিটা (β) গড়ন রূপে গড়ে তোলে প্রোটিনের গৌণ গঠন। জলে দ্রাব্য প্রোটিনের গঠনের বৈশিষ্ট্য হল এই যে এর কেন্দ্রটি গড়ে ওঠে অমেরুবর্তী বা আধানবিহীন একটি কোর (core) দ্বারা, এভাবে গড়ে ওঠে প্রোটিনের প্রগৌণ গঠন। একাধিক পলিপেপটাইড শৃঙ্খল দ্বারা গঠিত প্রোটিনের গঠনকে বলা হয় তার উপ-প্রগৌণ গঠন। সব মিলিয়ে বলা যায় যে প্রোটিনের ত্রিমাত্রিক গঠনটি তার বিভিন্ন স্তরের সাংগঠনিক স্তরবিন্যাসের ফলশ্রুতি। পরিবেশের তাপমাত্রা, pH ইত্যাদির অতিরিক্ত পরিবর্তনের ফলে প্রোটিন তার প্রাথমিক, গৌণ, প্রগৌণ এবং উপ-প্রগৌণ গঠন হারিয়ে ফেলে ও এই কারণে প্রোটিনের কর্মক্ষমতা সম্পূর্ণভাবে নষ্ট হয়ে যায়। প্রোটিনের এই স্বাভাবিক গঠন নষ্ট হয়ে যাবার পদ্ধতিতে প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন (denaturation) বলা হয়। সিদ্ধ করা ডিমে যে সাদা অংশটি জমে যায় বা দুধ জমে দই হয়ে যায় — এই ঘটনাগুলি প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন-এর জন্যই ঘটে থাকে।

14.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনের বৈশিষ্ট্যগুলি লিখুন। উপযুক্ত বিক্রিয়া সহযোগে পেপটাইড বন্ধনী গঠনের প্রক্রিয়াটি দেখান।

(b) প্রোটিনের গৌণ গঠন বলতে কি বোঝেন? α গড়ন ও β গড়নের মধ্যে পার্থক্য নিরূপণ করুন।

(c) প্রোটিনের প্রগৌণ এবং উপ-প্রগৌণ গঠন বলতে কি বোঝেন? মায়োগ্লোবিন অণুর পরিপ্রেক্ষিতে প্রোটিনের প্রগৌণ গঠনটি আলোচনা করুন।

(d) প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন বলতে কি বোঝেন?

(e) প্রোটিনের জৈবিক ভূমিকা সম্বন্ধে বিস্তারিত আলোচনা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) প্রোটিনের প্রাথমিক গঠনটি হল একটি শৃঙ্খল।

(b) β গড়নের পরস্পর সংলগ্ন দুইটি এককের মধ্যে দূরত্ব _____।

(c) প্রোটিনের _____ গঠনটি তার বিভিন্ন স্তরের সাংগঠনিক বিন্যাসের ফলশ্রুতি।

(d) যেসকল রাসায়নিক পদার্থ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশনে ব্যবহৃত হয়, তাদেরকে _____ বলে।

(e) ভারী ধাতব মৌল যেমন _____, ও _____ প্রোটিন ডিন্যাচুরেশন ব্যবহৃত হয়।

14.9 উত্তরমালা

1. (a) 14.4.1 দ্রষ্টব্য

   (b) 14.4.2 দ্রষ্টব্য

   (c) 14.4.3 ও 14.4.4 অংশ দেখুন

   (d) 14.4.2 দ্রষ্টব্য

   (e) 14.4.2 দ্রষ্টব্য

2. (a) রৈখিক

   (b) 3.5°A

   (c) ত্রিমাত্রিক

   (d) ডিন্যাচুর‍্যান্ট

   (e) Ag^{+}, Pb^{2+}, H_9^{2+}

একক 15 ❑ উৎসেচক

গঠন

15.0 উদ্দেশ্য
15.1 প্রস্তাবনা
15.2 উৎসেচক কী?
15.3 উৎসেচকের ধর্ম
15.4 উৎসচেক অনুঘটিত বিক্রিয়ায় প্রতিরোধক বা বাধাদানকারী বস্তুসমূহ
15.5 অ্যালোস্টারিক উৎসেচক
15.6 সারাংশ
15.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
15.8 উত্তরমালা

15.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- উৎসেচক কাকে বলে জানতে পারবেন।
- উৎসেচকের ধর্ম সম্বন্ধে জ্ঞানলাভ করবেন।
- উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ার বাধাদানকারী বস্তুসমূহ সম্বন্ধে ধারণা করবেন।
- অ্যালোস্টেরিক উৎসেচক বলতে কি বোঝায় তা জানবেন।

15.1 প্রস্তাবনা

যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অণুঘটকের (catalyst) উপস্থিতি বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করে এ কথা আমাদের জানা আছে। যে কোনো জৈব-রাসায়নিক বিক্রিয়ায় ঠিক তেমনই অণুঘটকের প্রয়োজনীয়তা রয়েছে। শারীরবৃত্তীয় অবস্থায় এই বিক্রিয়াগুলিকে ত্বরান্বিত করাই হল উৎসেচক (engyme) এর কাজ। কোষের জটিল পরিমণ্ডলে যাবতীয় কাজকর্মই উৎসেচক দ্বারা অণুঘটিত হয়।

15.2 উৎসেচক কী?

প্রতিটি সজীব কোষে প্রতিনিয়ত বিভিন্ন গঠনমূলক ও ভাঙনমূলক বিপাক ক্রিয়া ঘটে চলেছে। এইসব বিপাক ক্রিয়াগুলি বিশেষ একধরনের জৈব যৌগ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। এই জৈব যৌগগুলি নিজেরা সরাসরি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করে না, তবে বিক্রিয়াগুলির হার (rate) বাড়াতে বা কমাতে সাহায্য করে। এই জৈব যৌগগুলি, যা অণুঘটক রূপে বিভিন্ন বিপাকীয় ক্রিয়াগুলি নিয়ন্ত্রণ করে, তাদের উৎসেচক বা এনজাইম (enzyme) বলা হয়।

ধরা যাক একটি জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ায় A হল বিক্রিয়ক (substrate), P হল বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থ (product) এবং B, C, D হল অন্তর্বর্তী জৈব যৌগ তাহলে এভাবে আমরা লিখতে পারি—

$$A \xrightarrow{e_1} B \xrightarrow{e_2} C \xrightarrow{e_3} D \xrightarrow{e_4} P$$

এখানে e_1, e_2, e_3 এবং e_4 হল বিভিন্ন ধাপে ক্রিয়ারত উৎসচেক। অর্থাৎ A বিক্রিয়ক যথাক্রমে B, C ও D অন্তর্বর্তী যৌগের মাধ্যমে P বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থ উৎপাদন করছে। এই কাজটি সম্পাদন করতে উৎসেচকগুলি (e_1, e_2, e_3, e_4) বিভিন্ন ধাপে অণুঘটক রূপে কাজ করছে এবং বিক্রিয়া শেষে তারা অপরিবর্তিত থাকছে। এর থেকে আমরা উৎসচেকের সংজ্ঞা এভাবে দিতে পারি যে — সজীব কোষে উৎপন্ন যে প্রোটিনধর্মী জৈব অণুঘটক জৈবরাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে নিয়ন্ত্রিত করে, কিন্তু বিক্রিয়ার শেষে নিজে অপরিবর্তিত থাকে, তাদেরকে এনজাইম বা উৎসচেক বলা হয়।

এখানে মনে রাখা দরকার যে প্রতিটি উৎসেচকই একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ক (substrate) এর ওপর কাজ করে এবং এর সক্রিয়তা একটি নির্দিষ্ট তাপমাত্রার ওপর নির্ভরশীল। বেশি তাপমাত্রায় উৎসেচক তঞ্চিত (clot) হয় ও নিষ্ক্রিয় (inactive) হয়ে যায়। সকল উৎসেচক প্রোটিনধর্মী হলেও সব প্রোটিন উৎসেচক নয়।

15.3 উৎসেচকের ধর্ম

(1) **কোলয়েড-ধর্মী (Colloidal Nature)** : উৎসেচকগুলি কোলয়েড ধর্মী হওয়ায় বৃহৎ তল আয়তন বা Surface Area পায়, যা তার কার্যকারিতায় অতিরিক্ত সুবিধা প্রদান করে। একই কারণে উৎসেচকগুলি জলাকর্ষী হয় এবং মুক্ত অবস্থায় হাইড্রোসল (Hydrosol) গঠন করে। এই কারণে উৎসেচকের অনুঘটক হিসাবে কাজ করতে সুবিধা হয়।

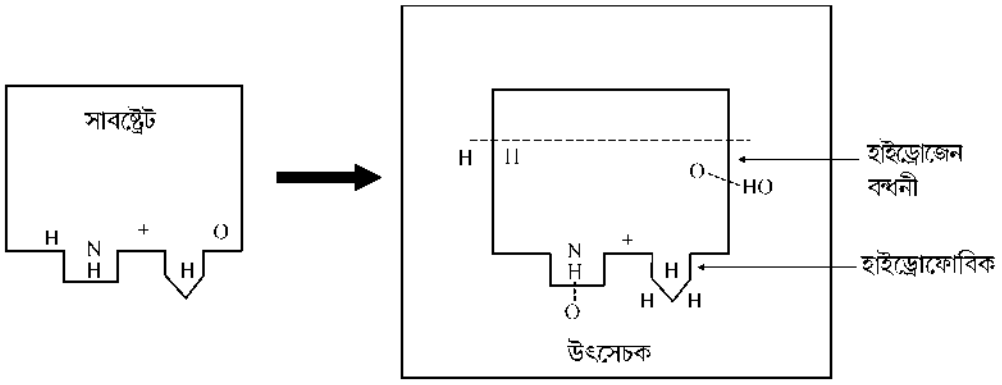
(2) **তাপ-গলন ধর্ম (Thermolabile)** : বেশীরভাগ উৎসেচক তাপ সংবেদনশীল (heat-sensitive)। ফলে উৎসেচকগুলি জলের স্ফুটনাঙ্কের অনেক নীচের তাপমাত্রায়ই কার্যকর। সাধারণভাবে বেশীরভাগ উৎসেচকই 37^0C-এ সবচেয়ে বেশী কার্যকর হয়। কিছু বিশেষ ধরণের উৎসেচক অনেক বেশী তাপমাত্রায়ও কার্যকর থাকে। যেমন উষ্ণপ্রস্রবনের ব্যাকটেরিয়া *Thermus aquaticus*-এর DNA পলিমারেজ 100^0C-এও কাজ করে।

(3) **pH সংবেদনশীল ধর্মী** : যেহেতু উৎসেচকগুলি প্রোটিন, তাই প্রোটিনের ধর্মের মতই এরাও pH-এর ওঠানামার দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। মানুষের পাকস্থলীর pH আম্লিক হওয়ায় পেপসিন নামক উৎসেচক সেখানেই কার্যকর কিন্তু অন্ত্রের pH ক্ষারীয়, তাই অন্ত্রে পেপসিন কাজ করতে পারে না।

(4) **সাবস্ট্রেট নির্দিষ্টতা** : যে সকল নন-কোভ্যালেন্ট বল দ্বারা উৎসেচক সাবস্ট্রেটের সঙ্গে যুক্ত হয়, তারা ধর্মের দিক দিয়ে প্রোটিনের গঠন সৃষ্টিকারী বন্ধনীগুলির সঙ্গে তুলনীয়। হাইড্রোজেন বন্ধনী, হাইড্রোফোবিক ইন্টারেকশন্, ইলেক্ট্রোস্ট্যাটিক বল, ভ্যান ডার ওয়ালের বল ইত্যাদি।

সাধারণতঃ, উৎসেচকের বহিঃতলে একটি রন্ধ্র (Cleft) বা ভাঁজ থাকে যার জ্যামিতিক গঠন সাবস্ট্রেটের গঠনের অনুপূরক (Complementary)। উৎসেচকের এই অংশটিকে সক্রিয় অংশ বা Active Site বলে। এই সক্রিয়

অংশের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি এমনভাবে সাজানো থাকে যে তারা অত্যন্ত আকর্ষনীয়ভাবে সাবস্ট্রেটের উৎসেচক বন্ধনের নির্দিষ্ট স্থানের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সাথে মিথস্ক্রিয়া (Interaction) করতে পারে।

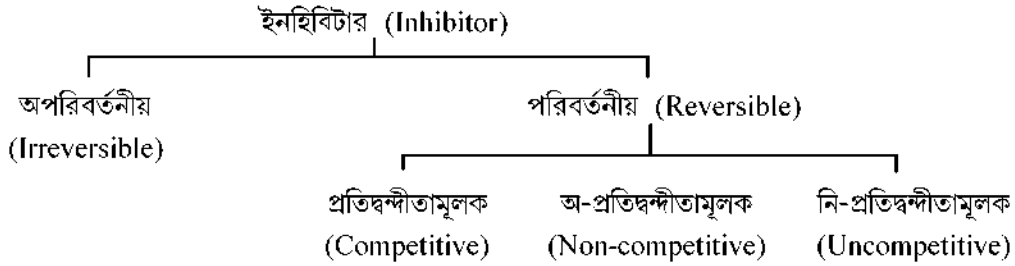


চিত্র 1 : উৎসেচক - সাবস্ট্রেট কমপ্লেক্সের জ্যামিতিক (Geometrical) ও ভৌত (Physical) অনুপূরকতা (Complementarity)

15.4 উৎসচেক অনুঘটিত বিক্রিয়ায় প্রতিরোধক বা বাধাদানকারী বস্তুসমূহ

অ্যালোস্টেরিক মড্যুলেটারগুলি যেমন কিছু উৎসেচকের কার্যকারিতাকে ত্বরান্বিত করতে প্রভাবিত করে, তেমনই অনেক যৌগ উৎসেচকের কার্যকারিতাকে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করে দেয়। এদেরকে ইনহিবিটার (Inhibitor) বলে। এদের কার্যকারিতা নানারকমের। কখনও কখনও এরা উৎসেচকের কার্যকারিতাকে অপরিবর্তনীয়ভাবে বন্ধ করে দেয়, কখনও কখনও অবশ্য এদের কার্যকারিতা পূর্বানুবৃত্তীয় বা Reversible। এই সব Inhibitor-দের উদাহরণ হল কিছু ঔষধি (drug), অ্যান্টিবায়োটিক (Antibiotics), বিষ (Poison), অ্যান্টিমেটাবোলাইট (antimetabolite) ইত্যাদি।

Inhibitor-দের একটি শ্রেণিবিন্যাস নীচে দেওয়া হল :



15.4.1 অপরিবর্তনীয় (Irreversible)

এরা উৎসেচকের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সাথে কোভ্যালেন্ট নামক দৃঢ় বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হয়। এইভাবে তারা সক্রিয় অংশের সহিত সাবস্ট্রেট বন্ধনে যান্ত্রিক বাধার সৃষ্টি করে।

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons E + P$$
$$+$$
$$I \text{ (inhibitor)}$$
$$\downarrow$$
$$EI$$

প্রায় প্রতিটি Irreversible Inhibitor বিষাক্ত (Toxic)। তারা প্রাকৃতিক বা সিন্থেটিক (Synthetic)। এদের কোনভাবেই লঘুকরণ (Dilution) প্রক্রিয়ায় বা অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় ডায়ালিসিস (Dialysis)-এর মাধ্যমে উৎসেচক থেকে সরানো যায় না।

কয়েকটি অপরিবর্তনীয় Inhibitor

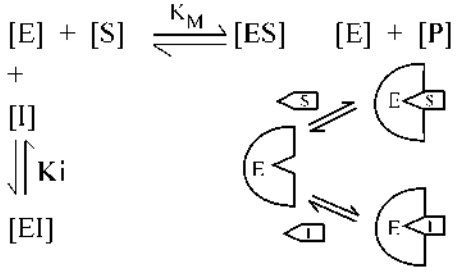
নাম	উৎস	কার্যকারিতা
সায়ানাইড	অ্যালমন্ড, দূষণ	উৎসেচকের কোফ্যাক্টর ধাতব আয়ন যেমন Fe, Zn, Cu-এর সাথে বিক্রিয়া করে। মূলতঃ শ্বসনশৃঙ্খল (Respiratory Chain) উৎসেচকগুলিকে নিষ্ক্রিয় করে
ডাইআইসোপ্রোপাইল ফ্লুওরোফসফেট (DFP)	সিন্থেটিক	যে সমস্ত উৎসেচকের সক্রিয় অংশে সেরিন (Serine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড আছে, যেমন অ্যাসিটাইল কোলিন এস্টারেজ তাদের নিষ্ক্রিয় করে।
সারিন	সিন্থেটিক নার্ভ গ্যাস	,,
ফাইসোস্টিগমিন	কালাবার বীন (Bean)	,,
প্যারাথিওন	সিন্থেটিক পতঙ্গনাশক (Insecticide)	DFP-র মত, মূলতঃ পতঙ্গের Ach-এষ্টারেজকে নিষ্ক্রিয় করে।
পেনিসিলিন	**পেনিসিলিয়াম** নামক ছত্রাক থেকে	ব্যাকটেরিয়ার কোষপ্রাচীর সৃষ্টিকারী উৎসেচকগুলির কার্যকারিতাকে বন্ধ করে।

15.4.2 পরিবর্তনীয় (Reversible)

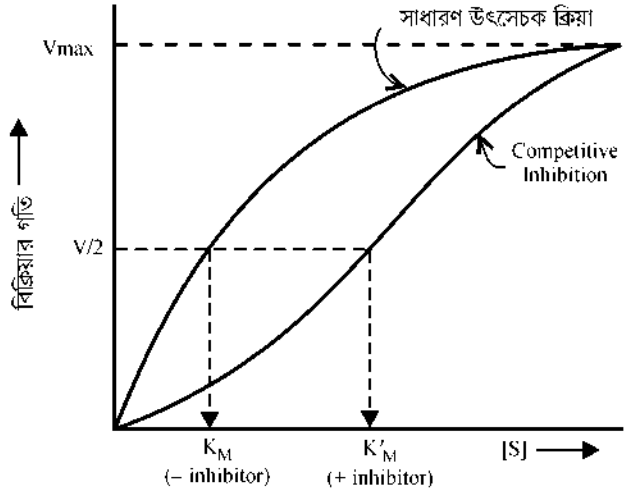
এক্ষেত্রে Inhibitor টি ননকোভ্যালেন্ট নামক মৃদু বন্ধনী সৃষ্টি করে এবং এদের সরিয়ে দিতে পারলেই উৎসেচকের নিষ্ক্রিয়তাকে সক্রিয়তায় পরিবর্তিত করা যায়। তবে এই পরিবর্তন অনেকক্ষেত্রেই শুধু কাগজে কলমে। ননকোভ্যালেন্ট বন্ধনীও অনেক সময় অপরিবর্তনীয় হয়ে উঠতে পারে।

(i) প্রতিদ্বন্দীতামূলক (Competitive)

Inhibitor-টি এক্ষেত্রে উৎসেচকের সাথে সংযুক্ত হয় কারণ সেটি গঠনগতভাবে সাবষ্ট্রেটের সাথে সাযুজ্য-যুক্ত। এই সাযুজ্যের জন্যই সাবষ্ট্রেট এবং ইনহিবিটার নিজেদের মধ্যে প্রতিদ্বন্দ্বীতা করে উৎসেচকের সক্রিয় অংশে যুক্ত হবার জন্য।



$Ki = \frac{[E][I]}{[EI]}$ যোনে [I] = মুক্ত ইনহিবিটারের ঘনত্ব কমপিটিটিভ ইনহিবিটারদের ক্ষেত্রে K_M-এর মান বেড়ে যায় কিন্তু উৎসেচক বিক্রিয়ার Vmax একই থাকে। নীচের রেখাচিত্রে এটি দেখানো হল।

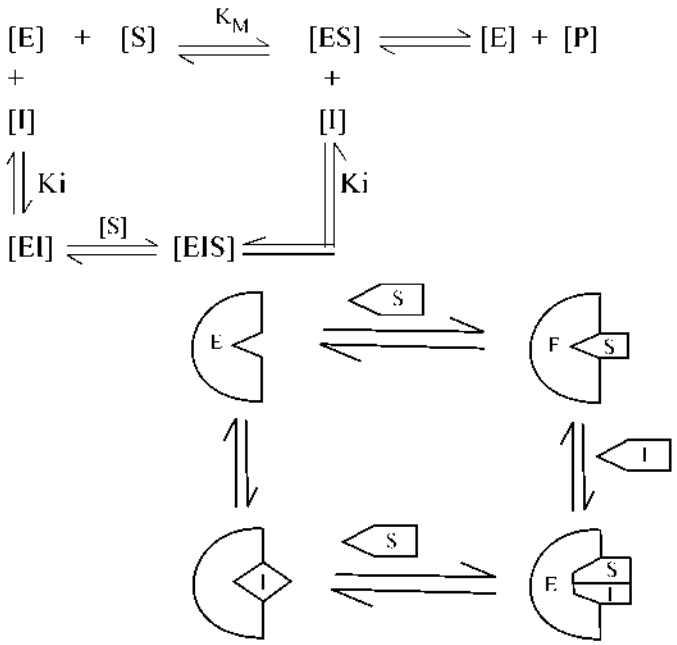


চিত্র 2 : প্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার দ্বারা K_M বৃদ্ধি

Competitive Inhibitor-দের উদাহরণ

উৎসেচক	সাবস্ট্রেট	প্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার
সাকসিনেট ডিহাইড্রোজিনেজ	সাকসিনেট	ম্যালোনেট
অ্যাকোনাইটেজ	সিস-অ্যাকোনাইটেট	ট্রান্স অ্যাকোনাইটেট
ল্যাকটেট ডিহাইড্রোজিনেজ	ল্যাকটেট	অক্সামেট

(ii) অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক (Non Competitive) : এই যৌগগুলি পরিবর্তনীয়ভাবে হয় উৎসেচকের সাথে অথবা উৎসেচক সাবস্ট্রেট কমপ্লেক্সের সাথে যুক্ত হয়। এই ধরণের বাধা অবশ্য সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব বৃদ্ধি করে সম্পূর্ণভাবে পরিবর্তন করানো যায় না।

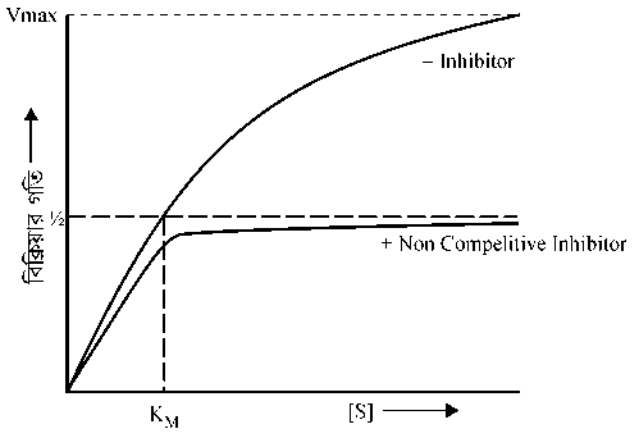


এই ধরণের Inhibitor দের ক্ষেত্রে উৎসেচক বিক্রিয়ার K_M অপরিবর্তিত থাকলেও Vmax কমে যায়। নীচে রেখচিত্রের (3) মাধ্যমে এটা দেখানো হল।

উদাহরণ :

(1) অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ — ইষ্টের এই উৎসেচকটি ইথানলের উপর ক্রিয়াশীল। CH_3CHO এর অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার।

(2) সাকসিনিল কো A সিন্থেটেজ — যা সাকসিনেটের উপর কাজ করে। সাকসিনিল কো-A-এর ইনহিবিটার।



চিত্র 3 : অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনাহিবিটারদের ক্ষেত্রে Vmax হ্রাস পায়

(iii) **নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক** (Uncompetitive)

এই যৌগগুলি কখনও মুক্ত উৎসেচকের সাথে সংযুক্ত হয় না। সর্বদা ES কমপ্লেক্সের সাথেই যুক্ত হয়। এদেরকেও বেশী সাবস্ট্রেট ঘনত্ব দ্বারা বিমুক্ত করা যায় না।

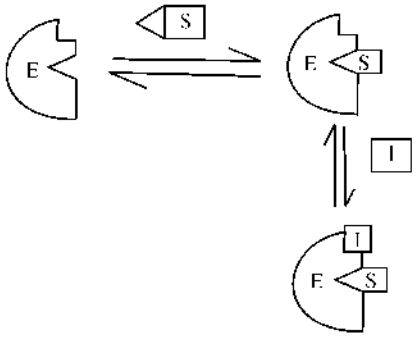
$$[E] + [S] \underset{}{\overset{K_M}{\rightleftharpoons}} [ES] \rightleftharpoons [E] + [P]$$

$$+$$

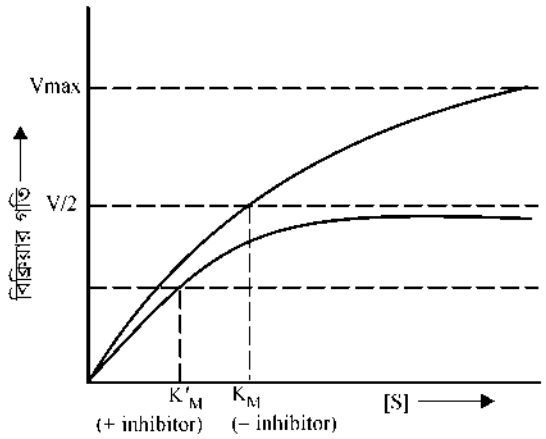
$$[I]$$

$$\Big\downarrow \uparrow K_i$$

$$[EIS]$$



গতিবিদ্যার নিরিখে দেখতে গেলে এদের ক্ষেত্রে Vmax, K_M দুই-ই কমে যায়।



চিত্র 4 : নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক ইনহিবিটারের ক্ষেত্রে K_M এবং Vmax দুই-ই হ্রাস পায়

উদাহরণ : কোএনজাইম A-র উপর ক্রিয়াশীল সাকসিনিল কোএনজাইম A-কে অজৈব ফসফেট নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলকভাবে বাধাদান করে।

15.5 অ্যালোস্টারিক উৎসেচক

নোবেল জয়ী বিজ্ঞানীদ্বয় জ্যাকব এবং মোনোড উৎসেচকের সক্রিয় অংশ (Active Site) ব্যতীত অন্য যে অংশে সাবস্ট্রেট ব্যতীত অন্য অণু সংযোজিত হয়ে উৎসেচকের কার্যকারিতাকে নিয়ন্ত্রণ করে তাদের

অ্যালোস্টারিক (গ্রীক ভাষায় **allos** অর্থ অন্য; **stereos** অর্থ স্থান) স্থান বলে অবিহিত করেন। যে বস্তুগুলি ঐসব স্থানে সংযোজিত হয় তাদের মড্যুলেটর (Modulator) বলে। যে সকল রেগুলেটারী (Regulatory) উৎসেচকের এইরূপ অ্যালোস্টারিক মড্যুলেটার থাকে, তাদের অ্যালোস্টারিক উৎসেচক বলে।

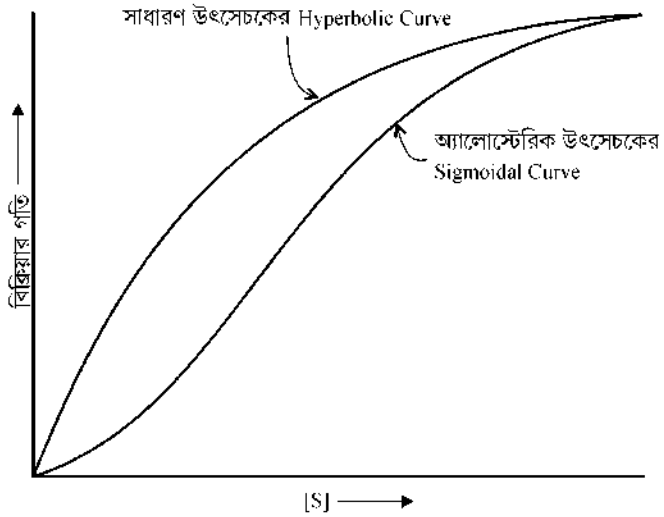
যখন Modulator এবং সাবস্ট্রেটের গঠন একইরকম হয় তখন সেইসব উৎসেচককে হোমোট্রপিক (Homotropic) এবং যখন তারা ভিন্ন গঠনবিশিষ্ট হয় তখন তাকে হেটেরোট্রাপিক (Heterotropic) বলে।

এই মডুলেশন এফেক্ট (Modulation Effect) ধনাত্মক (Positive) বা ঋণাত্মক (Negative) উভয়ই হতে পারে এবং তাদের দ্বারা উৎসেচকের কার্যকারিতা যথাক্রমে বৃদ্ধি ও হ্রাস পেতে পারে।

15.5.1 কার্যকারিতা

অ্যালোস্টারিক উৎসেচকরা গঠনগতভাবে সাধারণ নন-রেগুলেটারী উৎসেচক থেকে আলাদা হয়। এই উৎসেচকগুলিতে সক্রিয় অংশ বা Active Site ছাড়া এক বা একাধিক অ্যালোস্টারিক স্থান থাকে। যেমন সক্রিয় অংশটি সাবেস্ট্রেটের জন্য নির্দিষ্ট, তেমনই অ্যালোস্টারিক স্থানটি মড্যুলেটারের জন্য নির্দিষ্ট।

এদের কার্যকারিতার গতিবিদ্যাও (Kineties) সাধারণ উৎসেচকগুলির থেকে আলাদা। বিক্রিয়ার গতির সাথে সাবস্ট্রেটের ঘনত্বের সম্পর্কজনিত রেখাচিত্রে (b) আমরা হাইপ্যারাবোলার (Hyperbolic) মত চিত্র পেয়েছিলাম, অ্যালোস্টারিক উৎসেচকদের ক্ষেত্রে সেটি বদলে গিয়ে হবে S-আকৃতির বা সিগময়ডাল (Sigmoidal)।



চিত্র 5 : সাধারণ উৎসেচক ও অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের কার্যকারিতার তুলনার রেখাচিত্র

ধরা যাক কোন অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের 4টি লাইগ্যান্ড (Ligand) বন্ধনের স্থান আছে, সেক্ষেত্রে বিক্রিয়ার ক্রম এবং গতিবিদ্যার ধ্রুবকগুলি হবে

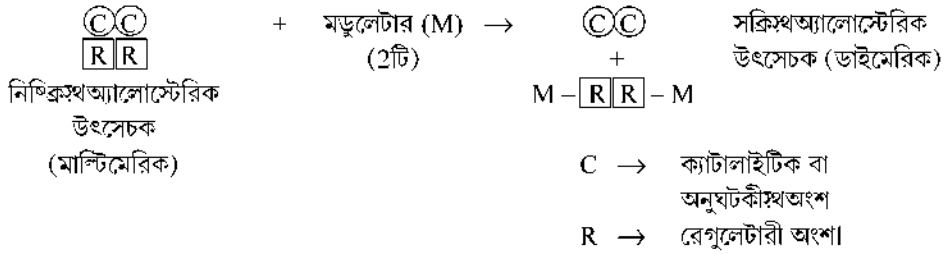
$$E + S \rightleftharpoons ES \qquad K_1 = 4K_1$$

$$ES + S \rightleftharpoons ES_2 \qquad K_2 = {}^3/_2\, K_1$$

$$ES_2 + S \rightleftharpoons ES_3 \qquad K_3 = {}^2/_3\, K_3$$
$$ES_3 + S \rightleftharpoons ES_4 \qquad K_4 = {}^1/_4\, K_4$$

হিমোগ্লোবিনের O_2 সংযুক্তির ক্ষেত্রে অ্যালোস্টারিক মড্যুলেশন আছে বলে গিলবার্ট অ্যাডেয়ার 1924 সালে এই ধরণের উৎসেচকদের গতিবিদ্যার সমীকরণ, অ্যাডেয়ার সমীকরণ প্রকাশ করেন।

সাধারণত এই ধরণের উৎসেচকগুলি মাল্টিমেরিক বা একাধিক অণুবিশিষ্ট হয়। যাদের সাথে Ligand সংযুক্ত হলে সমবায় ভিত্তিতে (Cooperative) বিক্রিয়ার গতি বেড়ে চলে। অর্থাৎ একটি সক্রিয় অংশে মড্যুলেটর যুক্ত হলে অন্য সক্রিয় অংশে যুক্ত হওয়ার সম্ভাবনা বেড়ে যায়। বিজ্ঞানীরা এই অণু সংযুক্তির বিভিন্ন মডেল যেমন পর্যায়ক্রমিক (Sequential), একত্রিত (concerted) নিয়মিত (Symmetry) মডেল বর্ণনা করেছেন। নীচে একটি অ্যালোস্টারিক উৎসেচক একটি মড্যুলেটর দ্বারা কিভাবে সক্রিয় হয় তা দেখানো হল।



15.5.2 উদাহরণ

(1) অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের একটি প্রকৃষ্ট উদাহরণ হল অ্যাসপারটেট কার্বামইলোট্রান্সফারেজ (Aspartate Carba moyltransferase) বা AT Case যা পাইরিমিডিন নিউক্লিওটাইড জৈব সংশ্লেষে কার্যকর। এই উৎসেচকটি ও বহু অণুবিশিষ্ট তার মধ্যে 6টি অনুঘটকীয় অংশ 6টি রেগুলেটারী অংশ থাকে। ATP এদের ক্ষেত্রে মড্যুলেটারের কাজ করে এবং CTP এদের কায়কারিতায় বাধা দেয়।

(2) প্রোটিন কাইনেজ ধর্মী উৎসেচকগুলি যেগুলি কোষ থেকে কোষান্তরে পরিবেশের পরিবর্তনে বার্তা বয়ে নিয়ে যায় অর্থাৎ Signal transduction করে তারা সকলেই অ্যালোস্টারিক ধর্মী। কোষাস্থিত দ্বিতীয় বার্তাবহ বা Second messenger তন্ত্র এদের উদ্দীপ্ত করে।

(3) হিমোগ্লোবিনের এই অ্যালোস্টারিক ধর্ম থাকার জন্য সমবায় পদ্ধতিতে O_2 বন্ধন করতে হিমোগ্লোবিনের সুবিধা হয়। এইজন্য অনেকে হিমোগ্লোবিনকে উৎসেচকের মর্যাদা দিয়েছেন।

15.6 সারাংশ

উৎসেচক একপ্রকার জৈব অণুঘটক, যা নিজে অবিকৃত থেকে যে কোন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করতে পারে। উৎসেচক যে বিক্রিয়কের উপর কাজ করে তাকে সাবস্ট্রেট বলে। উৎসেচকের সাবস্ট্রেট নির্দিষ্টতা উল্লেখযোগ্য। উৎসেচকের কার্যে কিছু পদার্থ বাধা প্রদান করে থাকে, যারা পরিবর্তনীয় বা

অপরিবর্তনীয়ভাবে উৎসেচকের কার্যকারিতাকে বাধা দেয়। এদেরকে প্রতিরোধক বা ইনহিবিটর (inhibitor) বলা হয়। উৎসেচকের কাজে বাধা সৃষ্টি দুরকমের হয়—

(i) **অপরিবর্তনীয় প্রতিরোধ (irreversible inhibition) :** এক্ষেত্রে প্রতিরোধী বস্তু উৎসেচকের সঙ্গে এমনভাবে আবদ্ধ হয় যে উৎসেচকের ক্রিয়া চিরতরে নষ্ট হয়ে যায়।

(ii) **পরিবর্তনীয় প্রতিরোধ (reversible inhibition) :** এক্ষেত্রে প্রতিরোধী বস্তু উৎসেচকের সঙ্গে আবদ্ধ হয়ে উৎসেচকের ক্রিয়া বন্ধ করলেও এই ব্যবস্থা চিরস্থায়ী হয় না এবং অবস্থা বিশেষে উৎসেচক পুনরায় তার সক্রিয়তা ফিরে পায়। এটি আবার দুই প্রকারের হয়— (a) **প্রতিযোগিতামূলক ইনহিবিটর (competetive inhibitor) —** এক্ষেত্রে প্রতিরোধী যৌগ সাবস্ট্রেটের অনুরূপ হওয়ায় এটি সাবস্ট্রেটের সক্রিয় স্থানে আবদ্ধ হয় এবং এর ফলে সাবস্ট্রেট উৎসেচকের সঙ্গে আর যুক্ত হতে পারে না — এভাবে উৎসেচকের কাজ হ্রাসপ্রাপ্ত হয়। (b) **প্রতিযোগিতাবিহীন ইনহিবিটর (non-competetive inhibitor) —** এক্ষেত্রে আবার ইনহিবিটারের গঠন মোটেই সাবস্ট্রেটের মতন হয় না। এটি উৎসেচকের সক্রিয় স্থানের বাইরে যুক্ত হয় এবং উৎসেচকের কর্মক্ষমতা হ্রাস করে।

যে উৎসেচকের সক্রিয় কেন্দ্র (active site) ছাড়াও একটি মডিউলের (modular) স্থান থাকে, যেখানে প্রভাবক অণু যুক্ত হলে সক্রিয় কেন্দ্রের গঠন পরিবর্তন হয়ে যায় এবং এরফলে উৎসেচকের বিক্রিয়ার হারও ত্বরান্বিত বা মন্দীভূত হয়, তাদের অ্যালোস্টারিক উৎসেচক বলে। সাধারণ উৎসেচকের শুধুমাত্র সক্রিয় কেন্দ্র থাকে, যেখানে সাবস্ট্রেট যুক্ত হয়। কিন্তু অ্যালোস্টারিক উৎসেচক এই সক্রিয় কেন্দ্র ছাড়াও একটি মডিউলেটর (modulator) বা অ্যালোস্টারিক অঞ্চল (allosteric site) থাকে। একটি বিশেষ প্রভাবক অণু (effector) মডিউলেটর অঞ্চলে যুক্ত হবার ফলে সক্রিয় কেন্দ্রটির ত্রিমাত্রিক গঠনের পরিবর্তন ঘটে। এই কারণে উৎসেচক ক্রিয়ার হার পরিবর্তিত হয়।

15.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) উৎসেচক বলতে কী বোঝেন?

(b) উৎসচেকের ধর্মগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

(c) উৎসেচক অণুঘটিত ক্রিয়ায় বিভিন্ন প্রকার প্রতিরোধকগুলি বর্ণনা করুন।

(d) প্রতিযোগিতামূলক ইনহিবিটর কাকে বলে বুঝিয়ে দিন।

(e) অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) উৎসচেক _____ রূপে বিভিন্ন বিপাকীয় ক্রিয়াগুলি নিয়ন্ত্রণ করে।

(b) যে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় _____ উপস্থিতি বিক্রিয়ার গতি ত্বরান্বিত করে।

(c) উৎসেচকগুলি মূলতঃ _____ ধর্মী।

(d) অপ্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক ইনহিবিটারের ক্ষেত্রে _____ অপরিবর্তিত থাকলেও Vmax কমে যায়।

(e) অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের সক্রিয় কেন্দ্র ছাড়া একটি _____ অঞ্চল থাকে।

15.8 উত্তরমালা

1. (a) 15.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 15.3 দ্রষ্টব্য

   (c) 15.4 দ্রষ্টব্য

   (d) 15.4 দ্রষ্টব্য

   (e) 15.5 দ্রষ্টব্য

2. (a) অণুঘটক

   (b) উৎসেচকের

   (c) প্রোটিন

   (d) K_M

   (e) মডিউলেটর বা অ্যালোস্টারিক।

একক 16 ❑ উৎসেচকের গঠন

গঠন

16.0 উদ্দেশ্য

16.1 প্রস্তাবনা

16.2 হলোএনজাইম

16.3 অ্যাপোএনজাইম

16.4 কো-ফ্যাক্টর

16.5 কো-এনজাইম

16.6 প্রস্থেটিক গ্রুপ

16.7 সারাংশ

16.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

16.9 উত্তরমালা

16.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

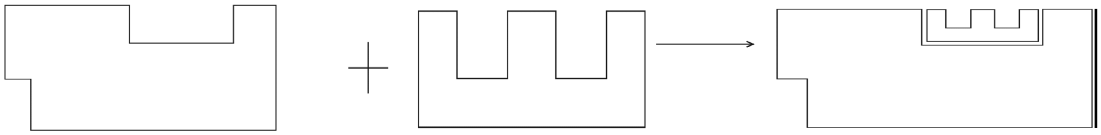
- হলোএনজাইম এবং অ্যাপোএনজাইম কাকে বলে জানতে পারবেন।
- কো-ফ্যাক্টর, কো-এনজাইম এবং প্রস্থেটিক গ্রুপ সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।

16.1 প্রস্তাবনা

আগের অধ্যায়ে আমরা জেনেছি যে শারীরবৃত্তীয় ক্রিয়াকলাপের জন্য প্রতিটি জীবিত কোষে প্রতিনিয়ত যে গঠনমূলক বা ভাঙনমূলক বিপাকক্রিয়া ঘটে চলে, তা একধরনের বিশেষ জৈব যৌগ দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। যে জৈব যৌগগুলি অণুঘটক রূপে বিভিন্নরকমের রাসায়নিক বিক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে, তাদের উৎসচেক বা এনজাইম বলে। কিছু সরল প্রোটিন অণু যেমন পেপসিন বা ট্রিপসিন এনজাইম রূপে কাজ করে। যেসব সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইমরূপে কাজ করে তাদের হলোএনজাইম (holoenzyme) বলে। হলোএনজাইমের দুটি অংশ — একটি প্রোটিন অংশ, যাকে অ্যাপোএনজাইম (apoenzyme) বলে। অপরটি অপ্রোটিন অংশ, যাকে প্রস্থেটিক গ্রুপ (prosthetic group) বলে। প্রোস্থেটিক গ্রুপ ধাতব আয়ন হলে তাকে কো-ফ্যাক্টর (cofactor) বলে আবার এটি জৈব অণু হলে একে কো-এনজাইম (co-enzyme) বলে। অর্থাৎ অ্যাপোএনজাইম + কো-ফ্যাক্টর বা কো-এনজাইম, হল হলোএনজাইম।

16.2 হলোএনজাইম

এটি একপ্রকার সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইম (conjugated protein enzyme)। হলোএনজাইমের দুটি অংশ থাকে। একটি প্রোটিন অংশ এবং একটি অপ্রোটিন অংশ। এটি একটি সম্পূর্ণ এনজাইম। এটি বিক্রিয়ক বস্তুর ওপর ক্রিয়াশীল, তাই উৎসেচক সক্রিয়তা দেখায়। হলোএনজাইমের প্রোটিন অংশটিকে বলে অ্যাপোএনজাইম। অপ্রোটিন অংশটিকে বলে প্রোস্থেটিক গ্রুপ। প্রোস্থেটিক গ্রুপটি ধাতব আয়ন (metalic ion) হতে পারে, যাকে বলে কো-ফ্যাক্টর (cofactor) যেমন Mn^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+} অথবা এটি কোনো জৈব অণু যেমন NAD (নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড) এবং FAD (ফ্ল্যাভিন অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড)ও হতে পারে। অ্যাপোএনজাইমের সাথে কো-ফ্যাক্টর বা কো-এনাইমের সংযোগের ফলে তৈরি হয় হলোএনজাইমের সাথে কো-ফ্যাক্টর বা কো-এনাইমের সংযোগের ফলে তৈরি হয় হলোএনজাইম, যা একটি সম্পূর্ণ উৎসেচক রূপে কাজ করে



অ্যাপোএনজাইম কো-ফ্যাক্টর হলোএনজাইম

হলোএনজাইমের উদাহরণ হল ডি.এন.এ পলিমারেজ, যেটি DNA সংশ্লেষে সহায়তা করে। এই এনজাইমটির একটি প্রোটিন অংশ থাকে, যেটির সাথে কো-ফ্যাক্টর হিসাবে ম্যাগনেসিয়াম আয়ন (Mg^{2+}) যুক্ত করে কার্যকরী এনজাইম প্রস্তুত হয়।

16.3 অ্যাপোএনজাইম

সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইমের কেবল প্রোটিন অংশকে অ্যাপোএনজাইম বলে। এটি অসম্পূর্ণ এনজাইম। এটি বিক্রিয়ক বস্তুর ওপর ক্রিয়াশীল হয় না, ফলে উৎসেচক সক্রিয়তা দেখাতে পারে না। প্রোস্থেটিক গ্রুপ, কো-এনজাইম বা কো-ফ্যাক্টরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে এরা সম্পূর্ণ এনজাইম বা হলোএনজাইম প্রস্তুত করে এবং সেটি উৎসেচক-সক্রিয়তা প্রদর্শন করে।

16.4 কো-ফ্যাক্টর

আমরা আগেই জেনেছি যে যেসব সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইম রূপে কাজ করে, তাদের হলোএনজাইম বলে। এই হলোএনজাইমের একটি প্রোটিন অংশ এবং একটি অপ্রোটিন অংশ থাকে। প্রোটিন এই অংশটিকে অ্যাপোএনজাইম বলে। যে সকল ধাতব আয়নের উপস্থিতিতে অ্যাপোএনজাইম সক্রিয় হয় তাদের কো-ফ্যাক্টর বলে। যেমন Fe^{2+},

Cu^{2+}, Mg^{2+} এগুলি হল কো-ফ্যাক্টর। এই ধাতব আয়নগুলি না যুক্ত হওয়া পর্যন্ত উৎসেচক কার্য করতে পারে না। এই ধাতব আয়নগুলি প্রোটিন অংশের সঙ্গে যুক্ত হয়ে উৎসেচকের রাসায়নিক বিক্রিয়াকে ত্বরান্বিত করে। যেমন Mg^{2+}-এর উপস্থিতিতে ফসফাটেজ উৎসেচক সক্রিয় হয়। আবার Zn^{2+} কার্বাক্সিপেপটাইডেজ A এর কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রণ করে।

16.5 কো-এনজাইম বা সহ-উৎসেচক

সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইমের যে প্রোটিনবিহীন অংশটি উৎসেচকের কাজকে উদ্দীপিত করে, তাদের কো-এনজাইম বলে। এই অপ্রোটিন অংশটি শিথিল ও অস্থায়ীভাবে উৎসেচকের সঙ্গে আবদ্ধ থাকে এবং উৎসেচকের সক্রিয়তা বাড়ায়। উৎসেচকের মতো সহউৎসেচক বা কোএনজাইম কোলয়েড প্রকৃতির হয় না এবং এর ফলে অধিক তাপমাত্রায় এটি সচরাচর নিষ্ক্রিয় হয় না। মনে রাখা জরুরী যে সহ উৎসেচক কখনই উৎসেচক ছাড়া কাজ করতে পারে না। অপ্রোটিন অংশ হওয়ায় এর আণবিক ওজন উৎসেচকের অপেক্ষা অনেক কম হয়। এনজাইমের সক্রিয় স্থান (active site) সৃষ্টিতে কো-এনজাইমের কোন ভূমিকা নেই। কো-এনজাইম দু-প্রকারের হয়— (i) হাইড্রোজেনবাহী কো-এনজাইম যেমন NAD^+, $NADP^+$ (ii) মূলকবাহী কো-এনজাইম যেমন ADP, ATP, ভিটামিন ইত্যাদি।

অধিকাংশ ক্ষেত্রেই ভিটামিন বা ভিটামিনজাত পদার্থগুলি সহ উৎসেচক রূপে কাজ করে এবং রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়ক থেকে কোনো একটি অংশকে স্থানান্তরিত করে। যেমন কো-এনজাইম A (CoA) অ্যাসাইল গ্রুপকে, FAD, NAD^+ ইলেকট্রনকে স্থানান্তরিত করে। যেসব ভিটামিন কো-এনজাইম রূপে কাজ করে তা হল—

(a) থিয়ামিন (vitamin B_1) — এটি থিয়ামিন পাইরোফসফেট (TPP) হিসেবে ডিকার্বক্সিলেজ উৎসেচকের সহ উৎসচেক।

(b) রাইবোফ্ল্যাভিন (vitamin B_2) — এটি ফ্ল্যাভিন মনোনিউক্লিওটাইড (FMN) এবং ফ্ল্যাভিন অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (FAD) রূপে ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সহ-উৎসেচক।

(c) পাইরিডক্সিন (vitamin B_6) — এটি পাইরিডক্সাল ফসফেট (PP) হিসেবে ডিকার্বাক্সিলেজ এবং ট্রান্স অ্যামাইনেজ উৎসেচকের সহ-উৎসেচক।

(d) নিকোটিনিক অ্যাসিড — এটি নিকোটিনামাইড অ্যাডেনিন ডাইনিউক্লিওটাইড (NAD) রূপে ডিহাইড্রোজিনেজ উৎসেচকের সহ-উৎসেচক।

16.6 প্রস্থেটিক গ্রুপ

উৎসেচকের যে অপ্রোটিন অংশটি অ্যাপোএনজাইমের সঙ্গে কোভ্যালেন্ট বা সহযোজী বন্ধনীর দ্বারা দৃঢ়ভাবে যুক্ত থাকে, তাদের প্রোস্থেটিক গ্রুপ (prosthetic group) বলা হয়। দৃঢ়ভাবে সংযুক্ত থাকার জন্য ডায়লিসিস (dialysis) করার পরও অ্যাপোএনজাইম থেকে প্রোস্থেটিক গ্রুপটি বিচ্ছিন্ন করা যায় না। উদাহরণ হিমোগ্লোবিন বা সাইটোক্রোম

প্রোটিনের হিম। প্রোস্থেটিক গ্রুপ অপ্রোটিন জৈব যৌগ বা ধাতব আয়ন হয়ে থাকে এবং এনজাইমের সক্রিয় স্থান (active site) সৃষ্টিতে এর বিশেষ ভূমিকা আছে। আশাকরি আপনারা বুঝতে পেরেছেন যে কো-এনজাইম ও প্রোস্থেটিক গ্রুপ উভয়েই একটি এনজাইমের অপ্রোটিন অংশ। তবে মনে রাখতে হবে যে কো-এনজাইম উৎসেচকের প্রোটিন অংশের সঙ্গে শিথিলভাবে যুক্ত থাকে, কিন্তু প্রোস্থেটিক গ্রুপ অত্যন্ত সুদৃঢ়ভাবে উৎসেচকের প্রোটিন অংশের সঙ্গে যুক্ত থাকে। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় যে ডি.এন.এ পলিমারেজ উৎসেচক Mg^{2+} প্রোস্থেটিক গ্রুপটি একটি কার্যকরী অংশ।

16.7 সারাংশ

যেসব সরল প্রোটিন অণু এনজাইমরূপে কাজ করে তাদের সরল প্রোটিন এনজাইম বলা হয়। যেমন পেপসিন, ট্রিপসিন। আবার যেসমস্ত সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইম রূপে কাজ করে তাদের হলোএনজাইম বলে। হলোএনজাইমের দুটি অংশ থাকে, একটি প্রোটিন অংশ বা অ্যাপোএনজাইম। অপরটি অপ্রোটিন অংশ। এই অপ্রোটিন অংশটি শিথিলভাবে বা সুদৃঢ়ভাবে এনজাইমের প্রোটিন অংশের সঙ্গে যুক্ত হয়ে এনজাইমটিকে কার্যকরী করে। এই অপ্রোটিন অংশটি ধাতব আয়ন হলে একে কোফ্যাক্টর বলে, যেমন Mn^{2+}, Fe^{2+}, Cu^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+} ইত্যাদি। এই অপ্রোটিন অংশটি একটি জৈব অণু হলে একে কোএনজাইম বলে। যেমন NAD এবং FAD হল হাইড্রোজেনবাহী কো-এনজাইম। আবার ADP, ATP, অধিকাংশ ভিটামিন (B_1, B_2, B_6, B_{12}) হল মূলকবাহী কো-এনজাইম। অর্থাৎ আমরা জানলাম যে অ্যাপোএনজাইমের সাথে কো-ফ্যাক্টর বা কো-এনজাইম যুক্ত হয়ে যে সম্পূর্ণ উৎসেচকটি তৈরি করে তাকেই বলা হয় হলোএনজাইম।

16.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) হলোএনজাইম কাকে বলে বুঝিয়ে বলুন।

(b) অ্যাপোএনজাইম বলতে কি বোঝেন বলুন।

(c) কো-ফ্যাক্টর কাদের বলা হয় ব্যাখ্যা করুন।

(d) কো-এনজাইম কাকে বলে বুঝিয়ে দিন।

(e) প্রোস্থেটিক গ্রুপ বলতে কি বোঝায় বলুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) ডিএনএ পলিমারেজ উৎসেচকটি একটি _____ এর উদাহরণ।

(b) সংযুক্ত প্রোটিন এনজাইমের শুধুমাত্র প্রোটিন অংশটি হল _____।

(c) যেসব ধাতব আয়নের উপস্থিতিতে অ্যাপোএনজাইম সক্রিয় হয় তাদের _____ বলে।

(d) অধিকাংশ ভিটামিন _____ রূপে কাজ করে।

(e) ডায়ালিসিস করার পরও অ্যাপোএনজাইম থেকে _____ _____ বিচ্ছিন্ন করা যায় না।

16.9 উত্তরমালা

1. (a) 16.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 16.3 দ্রষ্টব্য

   (c) 16.4 দ্রষ্টব্য

   (d) 16.5 দ্রষ্টব্য

   (e) 16.6 দ্রষ্টব্য

2. (a) হলোএনজাইম

   (b) অ্যাপোএনজাইম

   (c) কো-ফ্যাক্টর

   (d) কো-এনজাইম

   (e) প্রোস্থেটিক গ্রুপটি

একক 17 ❑ উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস ও কার্যপদ্ধতি

গঠন

17.0 উদ্দেশ্য

17.1 প্রস্তাবনা

17.2 উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস

17.3 উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি

17.3.1 উৎসেচকের সক্রিয়তা শক্তি

17.3.2 উৎসেচক ক্রিয়ার লক এবং কি (তালা-চাবি) মতবাদ

17.3.3 উৎসেচক ক্রিয়ার ইনডিউস্ড ফিট মতবাদ

17.4 সারাংশ

17.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

17.6 উত্তরমালা

17.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস কিভাবে করা হয় তা জানতে পারবেন।
- উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি এবং সক্রিয়তা শক্তি সম্বন্ধে অবগত হবেন।

17.1 প্রস্তাবনা

জীববিজ্ঞানের যে শাখায় উৎসেচকের সম্বন্ধে আলোচনা করা হয়, তাকে এনজাইমোলজি (enzymology) বলে। ঊনবিংশ শতাব্দীতে কোহল সন্ধান ও পরিপাক সংক্রান্ত গবেষণার ফলস্বরূপ এই বিজ্ঞানের জন্ম। সাধারণতঃ উৎসেচকের নামের শেষে 'এজ' (ase) যুক্ত করা হয়। অনেকক্ষেত্রে বিক্রিয়ক বা সাবস্ট্রেটের নাম অনুসারে উৎসেচকের নামকরণ করা হয়। যেমন অ্যামাইলেজ, সুক্রেজ, লাইপেজ ইত্যাদি। আবার উৎসেচক যে ধরনের বিক্রিয়া করে সেই অনুসারে তাদের নামকরণ হয়। যেমন জারণ বিক্রিয়ার জন্য অক্সিডেজ বা ডিহাইড্রোজিনেজ, বিজারণ বিক্রিয়ার জন্য রিডাক্টেজ, আর্দ্রবিশ্লেষণের জন্য হাইড্রোলেজ প্রভৃতি। তবে 196। খ্রিস্টাব্দে ইন্টারন্যাশনাল ইউনিয়ন অফ বায়োকেমিস্ট্রি (IUB)-এর সুপারিশে উৎসেচকগুলি সাবস্ট্রেট ও বিক্রিয়া অনুযায়ী চিহ্নিত করা হয় এবং এটিই আধুনিককালে গৃহীত হয়েছে। যেমন সাইটোক্রোম অক্সিডেজ, অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ, নাইট্রেট রিডাকটেজ ইত্যাদি। এছাড়াও উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি নিয়ে কয়েকটি মতবাদ আছে। আমরা আগেই জেনেছি যে উৎসেচক যেসমস্ত পদার্থের ওপর ক্রিয়া করে তাদের

বিক্রিয়ক বা সাবস্ট্রেট বলে। উৎসচেক সাবস্ট্রেটের সঙ্গে যুক্ত হয়ে এনজাইম-সাবস্ট্রেট যৌগ তৈরি করে এবং বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থ নির্গত হয় এবং এনজাইম মুক্ত হয় — এই কার্যের সময় শক্তির বাধা (energy barrier) অতিক্রম করতে হয়। এই বাধাকে অতিক্রম করতে সক্রিয়তা শক্তি (activation energy) ব্যয় হয়।

17.2 উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস

আন্তর্জাতিক জৈব রসায়ন সঙ্ঘ (International Union of Biochemistry, IUB) উৎসেচকগুলিকে এনজাইম কমিশন (Enzyme Commission) বা EC সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত করেছেন। এই নিয়ম অনুসারে প্রতিটি উৎসেচকের EC সংখ্যা চারটি। যার প্রথম সংখ্যাটি নির্দেশ করে উৎসেচকের শ্রেণি। এটি 1-6 এর মধ্যে যেকোন একটি শ্রেণির হয়। দ্বিতীয় সংখ্যাটি বোঝায় উপশ্রেণি। তৃতীয় সংখ্যাটি উপ-উপশ্রেণী এবং চতুর্থ সংখ্যাটি বোঝায় ঐ উপ-উপশ্রেণির অন্যান্য উৎসচেকগুলির তালিকায় ঐ উৎসেচকটির স্থান কত নম্বরে। যেমন ট্রিপসিনের EC সংখ্যা হল 3.4.21.4. যেখানে '3' দ্বারা বোঝানো হয় যে এটি হাইড্রোলেজ (Hydrolase), '4' দ্বারা বোঝানো হয় যে এটি একটি প্রোটিন বিয়োজক (Protease), '21' দ্বারা বোঝানো হয় যে এটি প্রোটিনের সেরিন (Serine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিডের ওপর ক্রিয়াশীল এবং শেষের '4' সংখ্যাটি দ্বারা বোঝানো হয় যে এই ধরনের অন্যান্য উৎসেচকের তালিকায় এর স্থান 4 নম্বরে।

আন্তর্জাতিক নিয়মানুসারে IUB উৎসেচকগুলিকে তাদের বহুমুখী কাজের ভিত্তিতে এবং EC নম্বর অনুসারে মোট 6টি শ্রেণিতে ভাগ করেছে। এগুলি হল—

শ্রেণী	নাম	অনুঘটিত বিক্রিয়ার ধরণ	উদাহরণ
1.	অক্সিডোরিডাক্টেজ (Oxydoreductase)	সাবস্ট্রেটের জারন - বিজারন (ইলেকট্রন স্থানান্তর)	ডিহাইড্রোজিনেজ ও অক্সিজিনেজ
2.	ট্রান্সফারেজ (Transferase)	সাবস্ট্রেট থেকে কার্যকর গ্রুপের স্থানান্তর	হেক্সোকাইনেজ, মিথাইল ট্রান্সফারেজ ইত্যাদি।
3.	হাইড্রোলেজ (Hydrolase)	সাবস্ট্রেটের আর্দ্রবিশ্লেষণ (Hydrohysis)	ট্রিপসিন, ফসফাটেজ ইত্যাদি
4.	লায়েজ (Lyase)	যৌগিক বন্ধনী ছিন্ন করে আর্দ্রবিশ্লেষণ ছাড়াই বিতাড়ণ (Elimination) বিক্রিয়ার সাহায্যে এবং দ্বিবন্ধনী (Double bond) বা রিং গঠন করে।	ডিকার্বক্সিলেজ, অ্যালডো-লেজ ইত্যাদি
5.	আইসোমারেজ (Isomerase)	সাবস্ট্রেটের মধ্যে গ্রুপ স্থানান্তর করে সাবস্ট্রেটের গঠন পরিবর্তন করলেও আণবিক গঠন অপরিবর্তিত রাখে অর্থাৎ আইসোমার গঠন করে।	সিস-ট্রানস (Cis-tram) আইসোমারেজ, মিউটেজ ইত্যাদি
6.	লাইগেজ (Ligase)	অ্যাডিনোসিন ট্রাইফসফেট (ATP)-এর আর্দ্রবিশ্লেষণের মাধ্যমে দুইটি অণুকে যুক্ত করে।	RNA লাইগেজ, সিন্থেটেজ ইত্যাদি

চিত্র 1 : উৎসেচকের শ্রেণিবিন্যাস

চিত্র : 2

চিত্র সংক্ষেপে উৎসেচকের কার্যকারিতা :

- অক্সিডোরিডাক্টেজ AH_2 (বিজারিত) + B (জারিত) $\xrightarrow{\text{উৎসেচক}}$ A (জারিত) + BH_2 (বিজারিত)
- ট্রান্সফারেজ $A\underset{\uparrow}{B}$ + C $\xrightarrow{\text{উৎসেচক}}$ A + $\underset{\uparrow}{B}C$
- হাইড্রোলেজ A – B + HOH (জল) $\xrightarrow{\text{উৎসেচক}}$ AH + B(OH)
- লায়েজ $R^1 - \overset{A}{\underset{|}{C}} - \overset{B}{\underset{|}{C}} - R^2 \xrightarrow{\text{উৎসেচক}} R^1 - C = C - R^2 + AB$
- আইসোমারেজ সাবস্ট্রেট $\xrightarrow{\text{উৎসেচক}}$ আইসোমার
- লাইগেজ Q + R + ATP $\xrightarrow{\text{উৎসেচক}}$ Q – R + ADP + Pi

চিত্র 2 : চিত্র সংক্ষেপে উৎসেচকের কার্যকারিতা

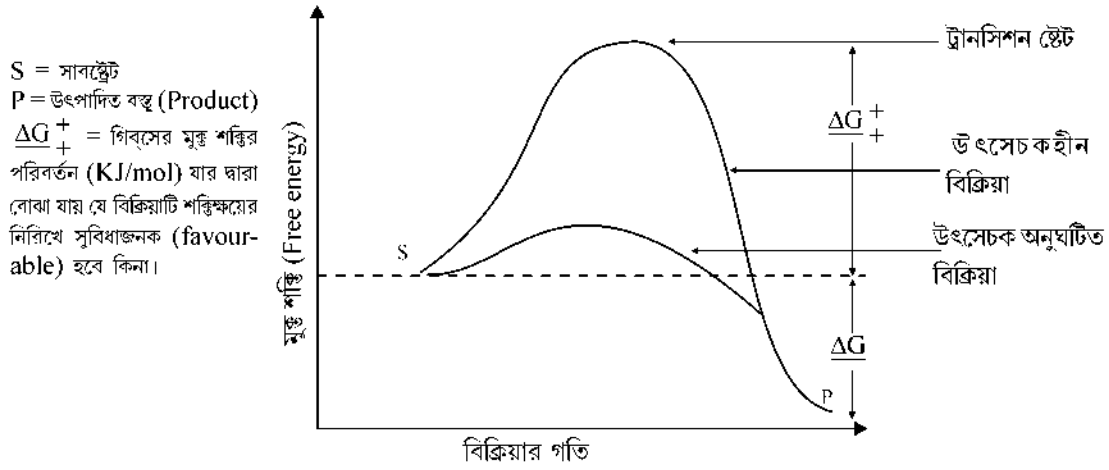
17.3 উৎসেচকের কার্যপদ্ধতি

আমরা আগেই জেনেছি যে উৎসেচকের কাজ সুনির্দিষ্ট এবং এক একটি উৎসেচক একটি নির্দিষ্ট বিক্রিয়ক (substrate)-এর ওপর কাজ করে। যেমন অ্যামাইলেজ কেবল শ্বেতসারের (starch) ওপর কাজ করে বা পেপসিন কেবল প্রোটিনের ওপর ক্রিয়া করে। উৎসেচক জৈব অণুঘটক রূপে এই কাজগুলি করে এবং বিক্রিয়ার শেষে নিজে অপরিবর্তিত থাকে, অর্থাৎ বিক্রিয়া শেষে উৎসেচকের কোনোরকম রাসায়নিক পরিবর্তন হয় না। দেখা গেছে যে এনজাইম বিক্রিয়া দুটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। প্রথম পর্যায়ে উৎসেচক বা এনজাইম (E) সাবস্ট্রেটের (S) সঙ্গে যুক্ত হয়ে এনজাইম-সাবস্ট্রেট যৌগ (ES) গঠন করে। দ্বিতীয় পর্যায়ে এই অন্তর্বর্তী যৌগ (EC) বিশ্লিষ্ট হয়ে বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থ (P) নির্গত হয় এবং এনজাইম (E) মুক্ত হয়। উৎসেচকের এই কার্যপদ্ধতি ব্যাখ্যা করা হয়েছে দুইটি মতবাদের মাধ্যমে। প্রথমটি এনজাইম ক্রিয়ার তালাচাবি বা লক এবং কি (Lock and Key) মতবাদ এবং অন্যটি ইনডিউস্‌ড ফিট মতবাদ (Induced Fit Hypotheses)।

17.3.1 উৎসেচকের সক্রিয়তা শক্তি

প্রত্যেকটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় বিক্রিয়কগুলিকে একটি শক্তির বাধা বা Energy Barrier অতিক্রম করতে হয়। এই পথেই থাকে বিক্রিয়ার একটি মধ্যবর্তী অবস্থা বা Transition state। এই অবস্থায় প্রতিটি বিক্রিয়কের মধ্যে সর্বোচ্চ মুক্ত শক্তি (Highest free energy) থাকে। সাবস্ট্রেট ও ট্রানসিশন স্টেটের মধ্যে মুক্ত শক্তির পার্থক্যকে

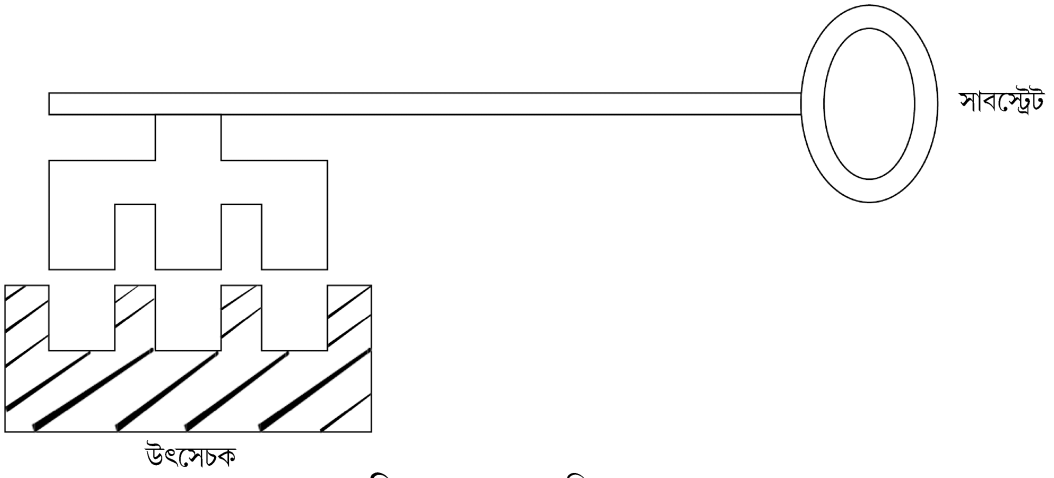
গিব্‌সের সক্রিয়তার মুক্ত শক্তি বা Gibbs free energy of activation বলে। একে $\underline{\Delta G}^{+}_{+}$ দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। উৎসেচকের কাজ হল এই মধ্যবর্তী অবস্থাকে স্থিতিশীল করা এবং এই $\underline{\Delta G}^{+}_{+}$ কে হ্রাস করা। এইভাবেই উৎসেচক রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিকে বৃদ্ধি করে। নীচের চিত্রে একটি উৎসেচক-অনুঘটিত এবং একটি উৎসেচকহীন বিক্রিয়ার মুক্ত শক্তি পরিবর্তনের তুলনা দেওয়া হল।



চিত্র 3 : উৎসেচক দ্বারা গিবসের মুক্ত শক্তি পরিবর্তনের হার হ্রাস।

17.3.2 উৎসেচক ক্রিয়ার লক এবং কি (তালা-চাবি) মতবাদ

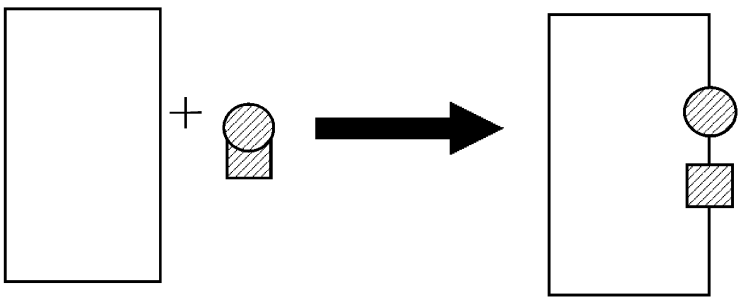
গ্লাইকোলিসিস পদ্ধতি পর্যবেক্ষণ করার সময় 1894 সালে এমিল ফিশার লক্ষ্য করেন যে এই পদ্ধতি চলাকালীন উৎসেচকগুলি শর্করার স্টিরিওআইসোমার (stereoisomen) গুলিকে নির্দিষ্টভাবে সনাক্ত করে থাকে। তিনি উৎসেচক সাবস্ট্রেটের নির্দিষ্টতার এই ধর্মকে তালা (lock) এবং চাবি (key)-এর সাথে তুলনা করেন। একটি তালা যেমন একটি নির্দিষ্ট চাবি দিয়ে খোলা যায় এবং তালাটি ঐ নির্দিষ্ট চাবিটি ছাড়া কাজ করতে অক্ষম, ঠিক সেইরকম ভাবে উৎসেচকও চিনতে পারে তার নির্দিষ্ট সাবস্ট্রেটকে। ফিসারের প্রবর্তিত এই মতটিকেই লক এবং কি মতবাদ (lock and key hypothesis) বলা হয়। এই মতবাদ অনুসারে এনজাইমের অনুঘটকীয় ধর্ম (catalytic property) তাদের অণুর পরিধির একটি নির্দিষ্ট স্থানে পরিলক্ষিত হয়। এই স্থানকে সক্রিয়ক স্থান (active site) বা অণুঘটকীয় স্থান (catalytic site) বলে। উৎসেচকের সক্রিয় স্থানের ত্রিমাত্রিক গঠন সাবস্ট্রেটের ত্রিমাত্রিক গঠনের সঙ্গে অনুরূপ হওয়ায় শুধুমাত্র সাবস্ট্রেটই উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে আবদ্ধ হয় এবং উৎসেচক-সাবস্ট্রেট কমপ্লেক্স (ES Complex) গঠন করে। পরে সাবস্ট্রেটটি বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থে (Product) বিশ্লিষ্ট হয়ে উৎসেচকের সক্রিয় স্থান থেকে মুক্ত হয়। উৎসেচকের এই সক্রিয় স্থানটি পূর্ব থেকেই নিধারিত থাকে। গঠনগত সামঞ্জস্যের জন্যেই উৎসেচককে তালা এবং সাবস্ট্রেটকে চাবির সাথে তুলনা করা হয়েছে এবং একে অন্যের সম্পূর্ণ অনুপূরক (perfectly complementary) বলে এই মডেলে ধারণা করা হয়েছে।



চিত্র 4 : লক এবং কি মডেল

17.3.3 উৎসেচক ক্রিয়ার ইনডিউস্‌ড ফিট মতবাদ

1958 সালে ড্যানিয়েল কোশল্যান্ড এই মডেলের প্রস্তাব দেন। এই মডেল অনুসারে এনজাইম সাবস্ট্রেট বন্ধনের সময় উৎসেচকের সক্রিয় অংশের মধ্যে একটি গঠনগত পরিবর্তন (conformational change) হয়। অথবা উৎসেচকের প্রভাবে সাবস্ট্রেটের মধ্যেও পরিবর্তন ঘটতে পারে। এই পরিবর্তনও নির্দিষ্ট এবং উৎসেচক সাবস্ট্রেট কমপ্লেক্স গঠনের সহযোগী হয়ে থাকে বলে এই মডেলকে ইনডিউস্‌ড ফিট (induced Fit) মডেল বলে। কোশল্যান্ডের মতে উৎসেচকের সক্রিয়কে স্থানগুলি যথেষ্ট নমনীয়। সক্রিয়ক স্থানের সঙ্গে প্রাথমিকভাবে সাবস্ট্রেট যুক্ত হবার পর উৎসেচকের সক্রিয়ক অংশের আকৃতি প্রয়োজন অনুসারে অন্তর্বর্তী সময়ে পরিবর্তিত হয়। কোশল্যান্ডের মত অনুসারে উৎসেচকের সক্রিয় স্থানে দুটি অংশ থাকে — বাট্রেসিং গ্রুপ (buttressing group) এবং ক্যাটালিটিক গ্রুপ (catalytic group)। বাট্রেসিং গ্রুপ সাবস্ট্রেটকে ধরে রাখে এবং ক্যাটালিটিক গ্রুপ সাবস্ট্রেটের বিভিন্ন বন্ডগুলোকে দুর্বল করে বিক্রিয়ালব্ধ পদার্থে (product) পরিণত হতে সাহায্য করে। এই ইনডিউস্‌ড ফিট মডেলটি বর্তমানে গ্রহণযোগ্য কারণ অ্যালোস্টেরিক উৎসেচকের ক্রিয়া এই মডেলের মাধ্যমেই ব্যাখ্যা করা যায়।



চিত্র 5 : ইনডিউস্‌ড ফিট মডেল

17.4 সারাংশ

উৎসেচক একপ্রকার জৈব অণুঘটক, যা নিজে অবিকৃত থেকে যে কোন জৈব রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিকে ত্বরান্বিত করে। উৎসেচক যে বিক্রিয়কের ওপর কার্যকর, তাকে সাবস্ট্রেট বলে। উৎসেচক সংক্রান্ত বিজ্ঞান এনজাইমোলজি নামে পরিচিত। প্রতিটি উৎসেচক যে সাবস্ট্রেটকে বিয়োজিত করে বা যে ধরনের কাজ করে তাদের নামের শেষে 'এজ' (–ase) শব্দটি যোগ করে উৎসেচকের নামকরণ করা হয়। আন্তর্জাতিক জৈব রসায়নক সঙ্ঘ (International Union of Biochemistry, IUB) উৎসচেকগুলিকে এনজাইম কমিশন (Engyme Commission) বা EC সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত করেছেন। আন্তর্জাতিক নিয়মানুসারে IUB উৎসেচকগুলিকে তাদের বহুমুখী কাজের ভিত্তিতে এবং EC নম্বর অনুসারে মোট 6টি শ্রেণিতে (class) বিভক্ত করেছেন। প্রত্যেকটি রাসায়নিক বিক্রিয়ায় যে শক্তির বাধা থাকে, উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় তা অনেকটাই কমে যায়। উৎসেচকের ক্রিয়া ব্যাখ্যা করতে দুটি মতবাদ আছে। একটি হল লক এবং কি বা তালাচাবি মতবাদ এবং অন্যটি হল ইনডিউস্ড ফিট মতবাদ। এই মতবাদ দুটির মধ্যে ইনডিউস্ড ফিট মতবাদটি বর্তমানে অধিক গ্রণযোগ্য। যেহেতু অ্যালোস্টারিক উৎসেচকের ক্রিয়া এই মডেলটির মাধ্যমে ব্যাখ্যা করা সম্ভবপর।

17.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) IUB নিয়মানুসারে উৎসেচকগুলির শ্রেণিবিন্যাস করুন।

(b) উৎসেচকের সক্রিয়তা শক্তি বলতে কি বোঝেন?

(c) চারটি EC সংখ্যার প্রথম ও শেষ সংখ্যাটি কি কি নির্দেশ করে বলুন।

(d) উৎসেচক ক্রিয়ার লক এবং কি বা তালাচাবি মতবাদটি বুঝিয়ে দিন।

(e) উৎসেচক ক্রিয়ার ইনডিউস্ড ফিট মডেলটি ব্যাখ্যা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) যে কোন রাসায়নিক বিক্রিয়ায় _____ উপস্থিতি বিক্রিয়ার গতি ত্বরান্বিত করে।

(b) সাবস্ট্রেটের আর্দ্রবিশ্লেষণ করে _____ উৎসেচক।

(c) লক এবং কি মতবাদের প্রবক্তা _____।

(d) ইনডিউস্ড ফিট মডেলের প্রবক্তা _____।

(e) সাবস্ট্রেট ও ট্রানসিশন স্টেটের মধ্যে মুক্ত শক্তির পার্থক্যকে _____ বলে।

17.6 উত্তরমালা

1. (a) 17.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 17.3.1 দ্রষ্টব্য

   (c) 17.2 দ্রষ্টব্য

   (d) 17.3.2 দ্রষ্টব্য

   (e) 17.3.3 দ্রষ্টব্য

2. (a) উৎসেচকের

   (b) হাইড্রোলেজ

   (c) এমিল ফিশার

   (d) ড্যানিয়েল কোশল্যান্ড

   (e) গিব্‌সের সক্রিয়তার মুক্ত শক্তি

একক 18 ❑ মাইকেলিস মেন্টেন সমীকরণ, উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় বাধাদানকারী বিভিন্ন রকমের বস্তুসমূহ, উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রণকসমূহ

গঠন

18.0 উদ্দেশ্য

18.1 প্রস্তাবনা

18.2 মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণ

18.3 উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় বাধাদানকারী বিভিন্নরকম বস্তুসমূহ

18.3.1 অপরিবর্তনীয় বাধাদানকারী বস্তুসমূহ

18.3.2 পরিবর্তনীয় বাধাদানকারী বস্তুসমূহ

18.4 উৎসচেকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রক সমূহ

18.5 সারাংশ

18.6 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

18.7 উত্তরমালা

18.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণটি জানতে পারবেন।
- উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ার বাধাদানকারী বিভিন্নরকম বস্তু সম্বন্ধে অবগত হবেন।
- উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রকসমূহ বিষয়ে জানবেন।

18.1 প্রস্তাবনা

আমরা আগেই জেনেছি যে জীবদেহে প্রস্তুত যেসব সক্রিয় জৈব পদার্থ রাসায়নিক বিক্রিয়ার গতিকে পরিবর্তিত করে এবং বিক্রিয়ান্তে নিজে অপরিবর্তিত থাকে, তাদের উৎসেচক বা এনজাইম বলা হয়। এরা জীবদেহে অণুঘটক (catalyst) হিসাবে কাজ করে থাকে। উৎসেচক প্রোটিনধর্মী এবং প্রতিটি কোষে কোলয়েড রূপে অবস্থান করে। যে কোনো রাসায়নিক বিক্রিয়ার হারকে গতিবিদ্যার (Kinetics) দ্বারা নিয়ন্ত্রণ করা যায়। 1913 সালে লিওনর মাইকেলিস ও ম্যান্ডে মেন্টেন বিক্রিয়া সহযোগে উৎসেচক অণুঘটিত কোনো বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি নিরূপণ করেন এবং তাঁদের এই সমীকরণটিকে মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণ (Michaelis-Menten Equation) বলা হয়। কিছু কিছু এমন যৌগ

আছে যারা উৎসেচকের কার্যকারিতাকে সম্পূর্ণ রূপে বন্ধ করে দিতে পারে। এদেরকে ইনহিবিটর বা বাধাদানকারী বস্তু বা প্রতিরোধক বলা হয়। কখনও কখনও এরা উৎসেচকের কাজকে অপরিবর্তনীয়ভাবে বন্ধ করে, আবার কখনও এই বাধাদান পরিবর্তনীয় হয়।

18.2 মাইকেলিস মেন্টেন সমীকরণ (Michaelis - Menten Equation)

অ্যাড্রিয়ান ব্রাউন (1902) ইষ্টের ইনভার্টেজ (invertase) নামক উৎসেচকের সুক্রোজের আর্দ্রবিশ্লেষণ বিক্রিয়ার ক্ষেত্রে দেখেন যে, যখন সাবষ্ট্রেটের ঘনত্ব উৎসেচকের থেকে অনেকগুণ বেশী হয় তখন সাবষ্ট্রেটের ঘনত্বের উপর এই বিক্রিয়া নির্ভরশীল হয় না। একে O ক্রম (Zeroth order) বিক্রিয়া বলে। তিনি বলেন এক্ষেত্রে [S]-এর চেয়ে [ES] কমপ্লেক্সের ঘনত্বই বিক্রিয়ার গতির নিয়ন্ত্রক বা Rate limiting factor.

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

এই বিক্রিয়ার গতিবিদ্যার রূপ

$$\frac{d[ES]}{dt} = K_1[E][S] - K_1[ES] - K_2[ES]$$

1913 সালে লিওনর মাইকেলিস ও ম্যান্ডে মেন্টেন মনে করেন $K - 1 >> K_2$ এবং বিক্রিয়ার প্রথম ধাপ তাই সাম্যাবস্থায় আছে।

একে সাম্যবস্থার অনুমান বা Assumption of Equillibrium বলে। তারা আরো একটি ধ্রুবক আনেন।

$$Ks = \frac{K_{-1}}{K_2} = \frac{[E][S]}{[ES]}$$

K_s কে বিক্রিয়াটির প্রথম ধাপের বিশ্লেষণ ধ্রুবক বা Dissociation Constant বলে।

এরপর ব্রিগস এবং হ্যালডেন 1925 সালে আরো একটি স্থিতাবস্থার অনুমান বা Steady State Assumption নিয়ে আসেন $\left(\frac{d[ES]}{dt} = O\right)$।

এইভাবে বিভিন্ন সমীকরণ ও অনুমানের উপর নির্ভর করে মাইকেলিস ধ্রুবক K_M -এ উপনীত হওয়া যায়, যেখানে— $K_M = \frac{K_{-1} + K_2}{K_1}$

আবার উৎসেচক অনুঘটিত কোনও বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি বা Vmax ও নিরূপন করা যায়। অতিরিক্ত সাবেষ্ট্রেট ঘনত্বে যেখানে উৎসেচক সম্পূর্ণভাবে সাবষ্ট্রেট দ্বারা সম্পৃক্ত (Saturated) থাকে তখন নিম্নলিখিত সমীকরণটি পাওয়া যায়।

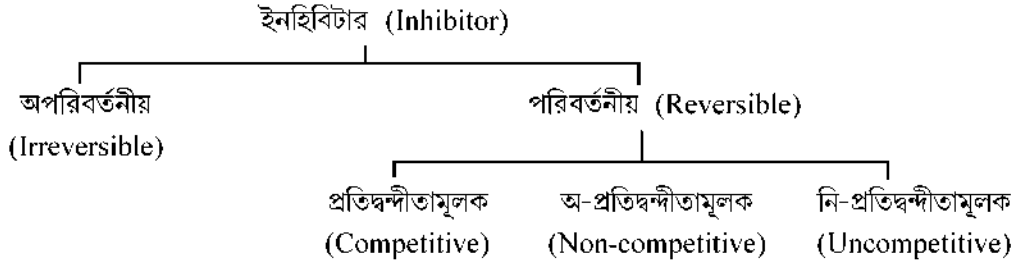
$$\boxed{Vo = \frac{V\max[S]}{K_M + [S]}}$$ (Vo = প্রাথমিক গতি যখন প্রায় 10% সাবষ্ট্রেট বিক্রিয়ায় অংশগ্রহণ করেছে)

এই সমীকরণটিকে মাইকেলিস মেন্টেন সমীকরণ বলে, যা উৎসেচক গতিবিদ্যার একটি প্রাথমিক সাধারণ সমীকরণ। এই সমীকরণ থেকে সহজেই অনুমেয় যে যখন সাবস্ট্রেট ঘনত্ব [S] = K_M, তখন $Vo = \frac{V\,max}{2}$। অর্থাৎ K_M হল সেই সাবস্ট্রেট ঘনত্ব যখন উৎসেচক অনুঘটিত বিক্রিয়াটির গতি হল সর্বোচ্চ গতির অর্ধেক। মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণের সাহায্যে উৎসেচক গতিবিদ্যা প্রকাশ করার সুবিধা হল এর মাধ্যমে বিক্রিয়াটি পরীক্ষাগারে পরিমাপযোগ্য।

18.3 উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় বাধাদানকারী বিভিন্নরকম বস্তুসমূহ (Inhibitors)

অ্যালোস্টেরিক মড্যুলেটারগুলি যেমন কিছু উৎসেচকের কার্যকারিতাকে ত্বরান্বিত করতে প্রভাবিত করে, তেমনই অনেক যৌগ উৎসেচকের কার্যকারিতাকে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করে দেয়। এদেরকে ইনহিবিটার (Inhibitors) বলে। এদের কার্যকারিতা নানারকমের। কখনও কখনও এরা উৎসেচকের কার্যকারিতাকে অপরিবর্তনীয়ভাবে বন্ধ করে দেয়, কখনও কখনও অবশ্য এদের কার্যকারিতা পূর্বানুবৃত্তীয় বা Reversible। এই সব Inhibitor-দের উদাহরণ হল কিছু ঔষধি (drug), অ্যান্টিবায়োটিক (Antibiotics), বিষ (Poison), অ্যান্টিমেটাবোলাইট (antimetabolite) ইত্যাদি।

Inhibitor-দের একটি শ্রেণিবিন্যাস নীচে দেওয়া হল :



18.3.1 অপরিবর্তনীয় (Irreversible)

এরা উৎসেচকের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলির সাথে কোভ্যালেন্ট নামক দৃঢ় বন্ধনীদ্বারা যুক্ত হয়। এইভাবে তারা সক্রিয় অংশের সহিত সাবস্ট্রেট বন্ধনে যান্ত্রিক বাধার সৃষ্টি করে।

$$E + S \rightleftharpoons ES \rightleftharpoons E + P$$

$$+$$

$$I \text{ (inhibitor)}$$

$$\downarrow$$

$$EI$$

প্রায় প্রতিটি Irreversible Inhibitor বিষাক্ত (Toxic)। তারা প্রাকৃতিক বা সিন্থেটিক (Synthetic)। এদের কোনভাবেই লঘুকরণ (Dilution) প্রক্রিয়ায় বা অভিস্রবন প্রক্রিয়ায় ডায়ালিসিস (Dialysis)-এর মাধ্যমে উৎসেচক থেকে সরানো যায় না।

কয়েকটি অপরিবর্তনীয় Inhibitor :

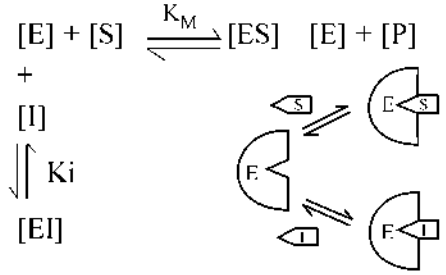
নাম	উৎস	কার্যকারিতা
সায়ানাইড	অ্যালমন্ড, দূষণ	উৎসেচকের কোফ্যাক্টর ধাতব আয়ন যেমন Fe, Zn, Cu-এর সাথে বিক্রিয়া করে। মূলতঃ শ্বসনশৃঙ্খল (Respiratory Chain) উৎসেচকগুলিকে নিষ্ক্রিয় করে
ডাইআইসোপ্রোপাইল ফ্লুওরোফসফেট (DFP)	সিন্থেটিক	যে সমস্ত উৎসেচকের সক্রিয় অংশে সেরিন (Serine) নামক অ্যামাইনো অ্যাসিড আছে, যেমন অ্যাসিটাইল কোলিন এস্টারেজ তাদের নিষ্ক্রিয় করে।
সারিন	সিন্থেটিক নার্ভ গ্যাস	,,
ফাইসোস্টিগমিন	কালাবার বীন (Bean)	,,
প্যারাথিওন	সিন্থেটিক পতঙ্গনাশক (Insecticide)	DFP-র মত, মূলতঃ পতঙ্গের Ach-এষ্টারেজকে নিষ্ক্রিয় করে।
পেনিসিলিন	**পেনিসিলিয়াম** নামক ছত্রাক থেকে	ব্যাকটেরিয়ার কোষপ্রাচীর সৃষ্টিকারী উৎসেচকগুলির কার্যকারিতাকে বন্ধ করে।

18.3.2 পরিবর্তনীয় (Reversible)

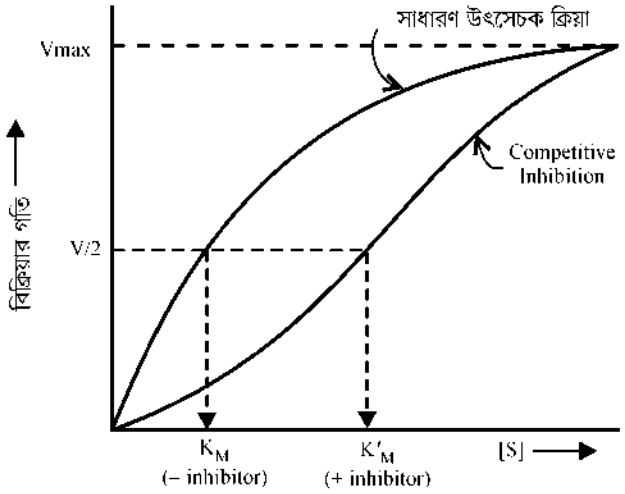
এক্ষেত্রে Inhibitor টি ননকোভ্যালেন্ট নামক মৃদু বন্ধনী সৃষ্টি করে এবং এদের সরিয়ে দিতে পারলেই উৎসেচকের নিষ্ক্রিয়তাকে সক্রিয়তায় পরিবর্তিত করা যায়। তবে এই পরিবর্তন অনেকক্ষেত্রেই শুধু কাগজে কলমে। ননকোভ্যালেন্ট বন্ধনীও অনেক সময় অপরিবর্তনীয় হয়ে উঠতে পারে।

(i) প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক (Competitive)

Inhibitor-টি এক্ষেত্রে উৎসেচকের সাথে সংযুক্ত হয় কারণ সেটি গঠনগতভাবে সাবষ্ট্রেটের সাথে সাযুজ্য-যুক্ত। এই সাযুজ্যের জন্যই সাবষ্ট্রেট এবং ইনহিবিটার নিজেদের মধ্যে প্রতিদ্বন্দ্বীতা করে উৎসেচকের সক্রিয় অংশে যুক্ত হবার জন্য।



$Ki = \frac{[E][I]}{[EI]}$ যোনে [I] = মুক্ত ইনহিবিটারের ঘনত্ব কমপিটিটিভ ইনহিবিটারদের ক্ষেত্রে K_M-এর মান বেড়ে যায় কিন্তু উৎসেচক বিক্রিয়ার Vmax একই থাকে। নীচের রেখাচিত্রে এটি দেখানো হল।



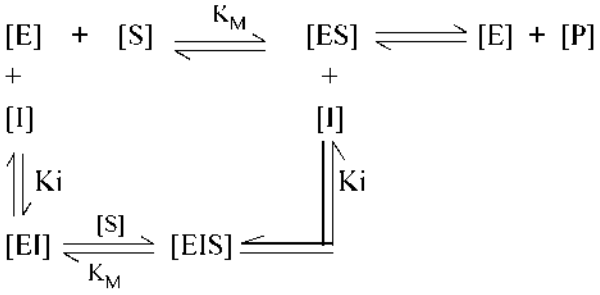
চিত্র 1 : প্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার দ্বারা K_M বৃদ্ধি

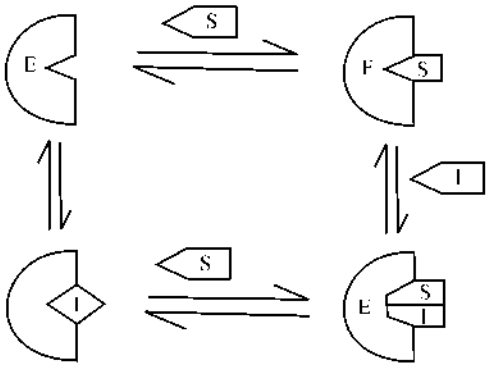
Competitive Inhibitor-দের উদাহরণ :

উৎসেচক	সাবষ্ট্রেট	প্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার
সাকসিনেট ডিহাইড্রোজিনেজ	সাকসিনেট	ম্যালোনেট
অ্যাকোনাইটেজ	সিস-অ্যাকোনাইটেট	ট্রান্স অ্যাকোনাইটেট
ল্যাকটেট ডিহাইড্রোজিনেজ	ল্যাকটেট	অক্সামেট

(ii) অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক (Non Competitive) :

এই যৌগগুলি পরিবর্তনীয়ভাবে হয় উৎসেচকের সাথে অথবা উৎসেচক সাবষ্ট্রেট কমপ্লেক্সের সাথে যুক্ত হয়। এই ধরণের বাধা অবশ্য সাবষ্ট্রেটের ঘনত্ব বৃদ্ধি করে সম্পূর্ণভাবে পরিবর্তন করানো যায় না।



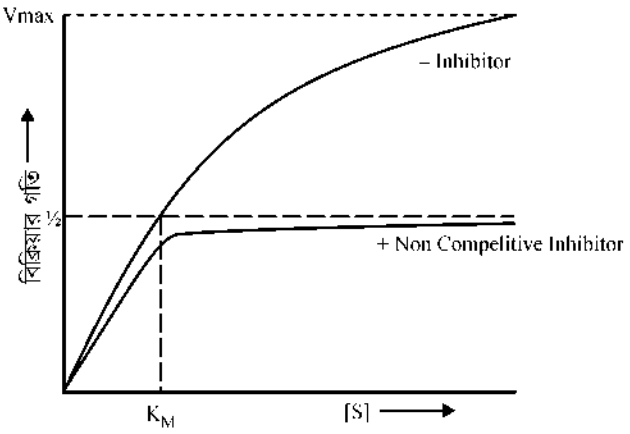


এই ধরণের Inhibitor-দের ক্ষেত্রে উৎসেচক বিক্রিয়ার K_M অপরিবর্তিত থাকলেও Vmax কমে যায়। নীচে রেখচিত্রের (চিত্র 2) মাধ্যমে এটা দেখানো হল।

উদাহরণ :

(1) অ্যালকোহল ডিহাইড্রোজিনেজ — ইষ্টের এই উৎসেচকটি ইথানলের উপর ক্রিয়াশীল। CH_3CHO এর অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনহিবিটার।

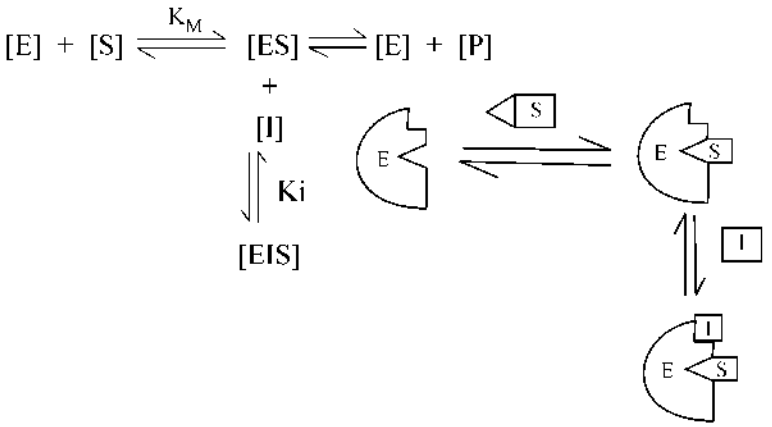
(2) সাকসিনিল কো A সিন্থেটেজ — যা সাকসিনেটের উপর কাজ করে। সাকসিনিল কো-A-এর ইনহিবিটার।



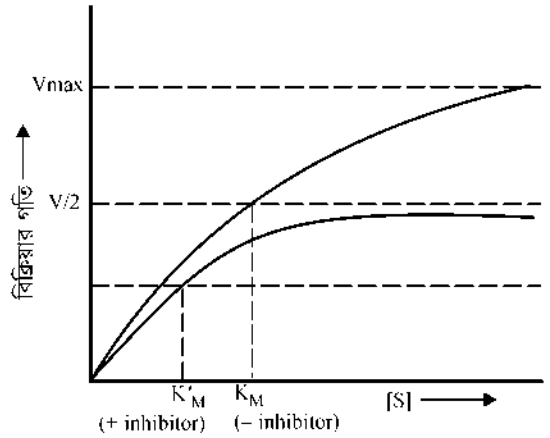
চিত্র 2 : অপ্রতিদ্বন্দীতামূলক ইনাহিবিটারদের ক্ষেত্রে Vmax হ্রাস পায়

(iii) নি-প্রতিদ্বন্দীতামূলক (Uncompetitive) :

এই যৌগগুলি কখনও মুক্ত উৎসেচকের সাথে সংযুক্ত হয় না। সর্বদা ES কমপ্লেক্সের সাথেই যুক্ত হয়। এদেরকেও বেশী সাবষ্ট্রেট ঘনত্ব দ্বারা বিমুক্ত করা যায় না।



গতিবিদ্যার নিরিখে দেখতে গেলে এদের ক্ষেত্রে Vmax, K_M দুই-ই কমে যায়।

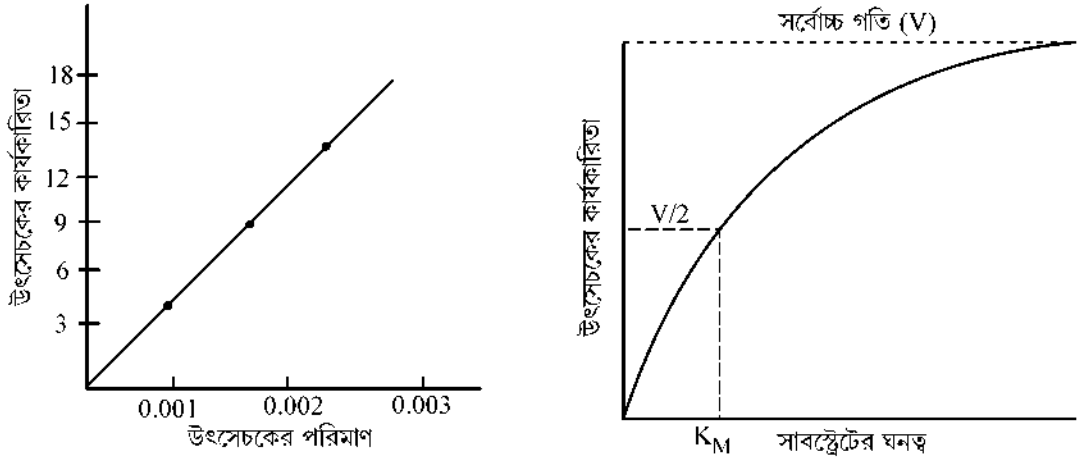


চিত্র 3 : নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক ইনহিবিটারের ক্ষেত্রে K_M এবং Vmax দুই-ই হ্রাস পায়

উদাহরণ : কোএনজাইম A-র উপর ক্রিয়াশীল সাকসিনিল কোএনজাইম A-কে অজৈব ফসফেট নি-প্রতিদ্বন্দীতামূলকভাবে বাধাদান করে।

18.4 উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রকসমূহ (Factors influencing enzyme activity)

(1) উৎসেচকের ঘনত্ব : উৎসেচক অনুঘটিত বিক্রিয়ার গতি সম্পূর্ণভাবে উৎসেচকের ঘনত্বের উপর নির্ভরশীল। যত উৎসেচক বাড়বে, বিক্রিয়ার গতিও ততই বৃদ্ধি পাবে।

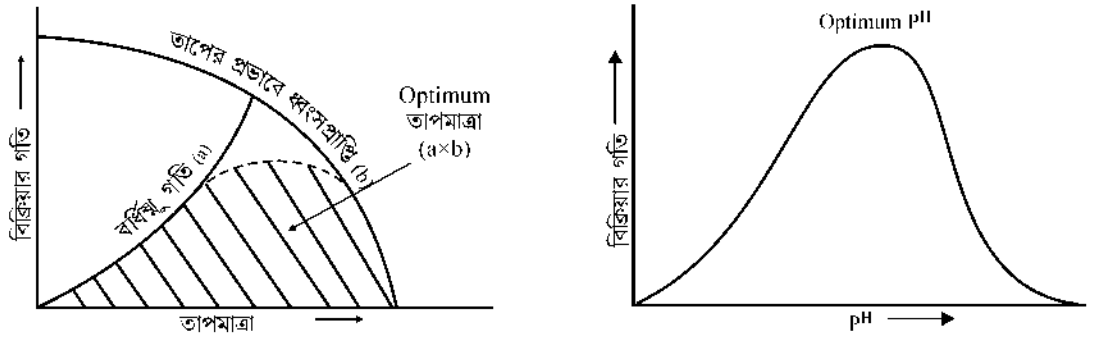


(a) উৎসেচকের কার্যকারিতায় উৎসেচকের পরিমাণের প্রভাব (b) উৎসেচকের কার্যকারিতায় সাবস্ট্রেটের ঘনত্বের প্রভাব

চিত্র 4 : উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রনের রেখচিত্র

(2) সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব : সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব বাড়ার সাথে সাথে উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত বিক্রিয়ার গতি বৃধ্বি পায়। তবে এই বৃধ্বি একটি বিশেষ মাত্রা পর্যন্ত, তারপরে এই গতিবৃধ্বিতে একটি উপত্যকার (Plateau) ন্যায় স্থিতাবস্থা আসে (চিত্র b), যখন উৎসেচক সাবস্ট্রেট দ্বারা সম্পূর্ণভাবে সম্পৃক্ত (Saturated) হয়ে যায়। আগেই বলা হয়েছে যে সাবস্ট্রেটের যে ঘনত্বে উৎসেচকের দ্বারা অনুঘটিত বিক্রিয়ার গতি সর্বোচ্চ গতির অর্ধেক হয় তাকে K_M বলে।

(3) তাপমাত্রার গুরুত্ব : উৎসেচক বিক্রিয়ার গতি প্রায় দ্বিগুণ বৃধ্বি পায় প্রতি 10^0C তাপমাত্রা বৃধ্বির সাথে সাথে যতক্ষণ না পর্যাপ্ত তাপমাত্রা বা Optimum Temperature-এ পৌঁছানো যাচ্ছে। Optimum তাপমাত্রায় উৎসেচক সর্বাধিক কার্যকারিতা দেখায়। প্রাণীদের ক্ষেত্রে এই তাপমাত্রা 37 – 50^0C হলেও উদ্ভিদের



(a) উৎসেচকের কার্যকারিতায় তাপমাত্রার প্রভাব (b) উৎসেচকের কার্যকারিতায় pH-এর প্রভাব

চিত্র 5 : উৎসেচকের কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রনের রেখাচিত্র।

ক্ষেত্রে তা প্রায়শঃই 50 – 60^0C। এই তাপমাত্রার উপরে অবশ্য উৎসেচকের কার্যকারিতা হ্রাস পায় কারণ, এইভাবে তাপমাত্রা বাড়তে থাকলেই উৎসেচকের প্রোটিন গঠন ধ্বংস হয়ে যায়। রেখাচিত্রে এই প্রভাব একটি ঘন্টা (Bell) আকৃতির চিত্র গঠন করে (চিত্র 5b)।

(4) pH-এর গুরুত্ব : উৎসেচক বিক্রিয়াকে তাপমাত্রার মতই pH-এর পরিবর্তন দ্বারা অর্থাৎ হাইড্রোজেন আয়নের ঘনত্বের তারতম্য ঘটিয়ে নিয়ন্ত্রন করা যায়। এক্ষেত্রেও একটি Optimum pH আছে, যার নীচে বা উপরে বিক্রিয়ার গতির রেখাচিত্রও ঘন্টা আকৃতির চিত্র গঠন করে। এক্ষেত্রে কয়েকটি উৎসেচকের Optimum pH হল নিম্নরূপ :

	pH
পেপসিন	2.0
মল্টেজ	7.0
পারঅক্সিডেজ	5.0
অ্যামাইলেজ	7.0

এই তালিকা থেকে সহজেই অনুমেয় যে, Optimum pH বিভিন্ন উৎসেচকের ক্ষেত্রে আলাদা। প্রত্যেকটি উৎসেচকের এই pH নির্দিষ্টতার পিছনে তাদের কোলয়েড ধর্ম, সক্রিয়কের ভূমিকা, কোষের বয়স এবং উৎসেচক সাবস্ট্রেট অনুপাতের প্রভাব থাকে।

(5) ধাতব পদার্থের প্রভাব : কোলয়েড ধর্মী হওয়ায় উৎসেচক অনেক অজৈব আয়ন, মূলতঃ ধাতুর সাথে যুক্ত হয়, যারা উৎসেচকের কার্যকারিতার হারকে বৃধ্বি করে। যেমন, Mg, CO, Mn, Ni ইত্যাদি। যে উৎসেচকগুলির ধাতব সক্রিয়ক (Activator) থাকে তাদের মেটালোএনজাইম (Metalloenzyme) বলে। যেমন— হেক্সোকাইনেজ।

অন্যদিকে কিছু ভারী ধাতু যেমন Pb, Cu, Pt ইত্যাদি উৎসেচকের কার্যকারিতার হার হ্রাস করে।

(6) জলের ভূমিকা : প্রায় সকল উৎসেচকের কাজে জলের উপস্থিতি প্রয়োজন। জল উৎসেচকের কার্য হারকে বৃধ্বি করে।

(7) উৎপাদিত বস্তুর ভূমিকা : উৎসেচক ঘটিত বিক্রিয়ার ফলে উদ্ভূত বস্তু বা Product যত বাড়তে থাকে বিক্রিয়ার গতি তত হ্রাস পায়।

(8) জৈব পদার্থের ভূমিকা : বেশ কিছু হরমোন ও ভিটামিন উৎসেচকের কার্যকে নিয়ন্ত্রিত করে। এই ব্যাপারে উদ্ভিদের জিব্বারেলিন হরমোনের উল্লেখ করা যায়।

(9) দূষণের ভূমিকা : জৈব অনুঘটক উৎসেচকের কার্যকারিতার উপর পরিবেশ দূষণের নেতিবাচক ভূমিকা অনস্বীকার্য। কিছু বিষাক্ত দূষণকারক যেমন, সায়ানাইড, ফ্লুওরাইড ইত্যাদি যে কোন প্রোটিনের মত উৎসেচকের পক্ষেও বিষ বা Poison-এর কাজ করে। ফলে উৎসেচকের স্বাভাবিক কার্যকারিতা হ্রাস পায়। আবার উচ্চ

শক্তিসম্পন্ন বিকীরণ যেমন UV, γ রশ্মি ইত্যাদি উৎসেচকের মধ্যস্থ বন্ধনীগুলির বিনাশ করে উৎসেচকের কার্যকারিতা ধ্বংস করে।

18.5 সারাংশ

উৎসেচকের কার্যকারিতার গতিবিদ্যা নির্ধারণ করেন মাইকেলিস ও মেন্টেন নামক দুই বৈজ্ঞানিক। তাঁদের সমীকরণ থেকে মাইকেলিস-মেন্টেন ধ্রুবক বা K_M সম্বন্ধে ধারণা করা যায়। এছাড়াও উৎসেচক অণুঘটিত যেকোনো বিক্রিয়ার সর্বোচ্চ গতি বা Vmax নিরূপণ করা সম্ভবপর হয়। দেখা গেছে কিছু কিছু যৌগ উৎসেচকের কাজকে সম্পূর্ণরূপে বন্ধ করে দিতে পারে। এই সমস্ত যৌগদের বাধাদানকারী বস্তুসমূহ বা প্রতিরোধক বা ইনহিবিটর বলা হয় এবং এই বাধাদান প্রক্রিয়াটিকেই বলা হয় প্রতিরোধন বা ইনহিবিশন। অপরিবর্তনীয় ইনহিবিটরগুলি সাধারণত বিষাক্ত হয়, ফলে এদের কোনোভাবেই লঘুকরণ করা যায় না। এমনকি ডায়ালিসিস প্রক্রিয়ার মাধ্যমেও এদের উৎসচেক থেকে সরানো সম্ভবপর নয়। আবার এমন কিছু ইনহিবিটর আছে যারা উৎসেচকের সঙ্গে মৃদু বন্ধনী সৃষ্টি করে এবং এদের সরিয়ে দিতে পারলেই উৎসেচকের নিষ্ক্রিয়তাকে সক্রিয়তায় পরিবর্তন করা সম্ভবপর হয়। পরিবর্তনীয় প্রতিরোধক প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক, অপ্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক বা নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক—এই তিন ধরনের হয়। উৎসেচকের কার্যকারিতার ওপর উৎসেচকের ঘনত্ব, সাবস্ট্রেটের ঘনত্ব, তাপমাত্রা, pH ও অন্যান্য নিয়ন্ত্রকের ভূমিকা অপরিসীম।

18.6 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণটি ব্যাখ্যা করুন।

(b) উৎসেচক অণুঘটিত বিক্রিয়ায় বাধাদানকারী বস্তু বলতে কি বোঝেন?

(c) কয়েকটি অপরিবর্তনীয় বাধাদানকারী বস্তুর উৎস ও কার্যকারিতা সংক্ষেপে বর্ণনা করুন।

(d) রেখাচিত্র সহযোগে উৎসেচকের ওপর পরিবর্তনীয় বাধাদানকারী বস্তুর প্রভাব দেখান।

(e) মাইকেলিস-মেন্টেনের সমীকরণ ও গ্রাফ সহযোগে অপ্রতিদ্বন্দ্বীমূলক ও নি-প্রতিদ্বন্দ্বীমূলক ইনহিবিশন ব্যাখ্যা করে দেখান।

(f) উৎসেচকের কার্যকারিতার নিয়ন্ত্রকসমূহ নিয়ে বিশদ আলোচনা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) মাইকেলিস-মেন্টেন সমীকরণে সাবস্টেট ঘনত্ব [S] = K_M হলে V_O = _____।

(b) সায়ানাইড একটি _____ ইনহিবিটর।

(c) সাবস্ট্রেট ঘনত্ব বাড়ার সাথে উৎসেচক নিয়ন্ত্রিত বিক্রিয়ার গতি _____ পায়।

(d) অপ্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক ইনহিবিটারের ক্ষেত্রে Vmax _____ পায়।

(e) নি-প্রতিদ্বন্দ্বীতামূলক ইনহিবিটারের ক্ষেত্রে _____ ও _____ দুই-ই হ্রাস পায়।

18.7 উত্তরমালা

1. (a) 18.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 18.3 দ্রষ্টব্য

   (c) 18.3.1 দ্রষ্টব্য

   (d) 18.3.2 দ্রষ্টব্য

   (e) 18.3.2 দ্রষ্টব্য

   (f) 18.4 দ্রষ্টব্য

2. (a) Vmax/2

   (b) অপরিবর্তনীয়

   (c) বৃদ্ধি

   (d) হ্রাস

   (e) K_M, Vmax

একক 19 ❑ উদ্ভিদ রঞ্জক

গঠন

19.0 উদ্দেশ্য
19.1 প্রস্তাবনা
19.2 প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক
19.3 ক্লোরোফিল
19.4 ক্যারোটিনয়েডস
19.5 ফাইকোবিলিন
19.6 অ্যান্থোসায়ানিন
19.7 সারাংশ
19.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী
19.9 উত্তরমালা

19.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জকগুলি কি কি তা জানতে পারবেন।
- ক্লোরোফিল, ক্যারোটিনয়েডস, ফাইকোবিলিন ও ফাইকোসায়ানিন সম্বন্ধে অবগত হবেন।

19.1 প্রস্তাবনা

উদ্ভিদকোষে যেসব যৌগ আলোক শোষণ করতে পারে, তাদেরই রঞ্জক পদার্থ বা পিগমেন্ট (pigment) বলা হয়। উদ্ভিদ কোষের ক্লোরোপ্লাস্ট বা ক্রোমোটোফোরে সঞ্চিত রঞ্জক পদার্থই সালোকসংশ্লেষের সময় আলোক শোষণ করে এবং এই আলোক শোষণের মাধ্যমেই সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতিটি শুরু হয়। সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক পদার্থগুলি দুই ধরনের হয় — প্লাস্টিড রঞ্জক (plastidial pigment) ও প্লাস্যিড বহির্ভূত রঞ্জক (non-plastidial pigment)। উদ্ভিদের প্রধান রঞ্জক কণাগুলি যেমন ক্লোরোফিল, ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল প্লাস্টিডে আবদ্ধ থাকে। অপরদিকে ফাইকোসায়ানিন, ফাইকোএরিথ্রিন ও অ্যান্থোসায়ানিন প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক।

19.2 প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক

সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদকোষের একটি গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গাণু হল প্লাস্টিড। সবুজ উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্লাস্টিডে ক্লোরোফিল রঞ্জক থাকায় এটিকে ক্লোরোপ্লাস্টিড বা সংক্ষেপে ক্লোরোপ্লাস্ট বলে। এই ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যে যে

চাকতির মতো অংশ দেখা যায় তাদের গ্রাণা (grana) বলে ও ক্লোরোপ্লাস্টের ভেতরের ধাত্রকে স্ট্রোমা (stroma) বলে। গ্রাণার মধ্যে পর্দাবৃত চ্যাপ্টা থলির মতো থাইলাকয়েড থাকে, যার মধ্যে রঞ্জককণাগুলি দেখা যায়। সায়ানোফাইসি নামক আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত শৈবালে সাইটোপ্লাজমে অবস্থিত বিচ্ছিন্ন থাইলাকয়েডে ক্লোরোফিল থাকে, কারণ এদের প্লাস্টিড থাকে না। অপরদিকে ফিওফাইসি, রোডোফাইসি প্রভৃতি শৈবালে পর্দাবৃত প্লাস্টিডের ন্যায় কোষীয় অঙ্গাণুতে থাইলাকয়েডগুলি পরস্পর সংযুক্ত হয়ে গ্রাণা গঠন করে না। এই ধরনের অঙ্গাণুকে ক্রোমাটোফোর (chromatophore) বলে এবং এরই মধ্যে রঞ্জক কণাগুলি সঞ্চিত থাকে। আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত ব্যাকটেরিয়াতেও বিক্ষিপ্তভাবে উপস্থিত থাইলাকয়েডের মধ্যে ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল ও ব্যাকটেরিওভিরিডন নামক ক্লোরোফিল জাতীয় রঞ্জককণা থাকে।

আমরা আগেই জেনেছি যে সালোকসংশ্লেষণকারী উদ্ভিদের প্রধান রঞ্জককণা হল ক্লোরোফিল, যা প্লাস্টিড অর্থাৎ ক্লোরোপ্লাস্টিডে আবদ্ধ থাকে। অন্য প্লাস্টিড অন্তর্গত রঞ্জক কণাগুলি হল ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল, যাদের একসাথে ক্যারোটিনয়েডস্ বলা হয়ে থাকে। প্লাস্টিডে থাকা এই রঞ্জকগুলি জলে অদ্রবণীয় কিন্তু ইথাইল অ্যালকোহল, ইথার, বেন্‌জিন, মিথাইল অ্যালকোহল জাতীয় জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয়। অপরদিকে ফাইকোসায়ানিন ও ফাইকোএরিথ্রিন রঞ্জক দুটি শৈবালের ফাইকোবিলিন প্রকৃতির রঞ্জক এবং এরা প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক। উন্নত উদ্ভিদে অ্যান্থোসায়ানিন ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক এবং এরা জলেও দ্রবণীয়।

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

19.3 ক্লোরোফিল

সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদের সবুজ বর্ণের মুখ্য রঞ্জককণাই হল ক্লোরোফিল। ক্লোরোফিল –a, –b, –c, –d এবং –e, ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল এবং ব্যাকটেরিও-ভিরিডিন নামক মোট সাত প্রকারের ক্লোরোফিল উদ্ভিদ কোষে বর্তমান। এদের মধ্যে সমস্ত প্রকার শৈবাল ও উচ্চশ্রেণির উদ্ভিদে প্রধান সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক পদার্থ হল ক্লোরোফিল-a। সবুজ শৈবাল ও উচ্চশ্রেণির উদ্ভিদে ক্লোরোফিল-b, ক্লোরোফিল-a এর সাথে মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। বাদামী শৈবাল ও ডায়াটমে ক্লোরোফিল -a এবং ক্লোরোফিল-c এবং লোহিত শৈবালে ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-d থাকে। ভাউচেরিয়া (*Vaucheria*) এবং ট্রাইবোনেমা (*Tribonema*) নামক শৈবালে ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-e উপস্থিত থাকে।

বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রে (Spectrophotometu) দেখা গেছে যে ক্লোরোফিল-a এবং ক্লোরোফিল-b আলোকের সাতটি বর্ণপ্রবাহের মধ্যে নীল-বেগুনী ও লাল অংশগুলিই সর্বাপেক্ষা অধিক শোষণ করে ও বর্ণালীর সবুজ অংশ সর্বাপেক্ষা কম শোষণ করে। দেখা গেছে যে নীল-বেগুনী এবং লাল অংশের আলোক শক্তিই সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় মুখ্য ভূমিকা গ্রহণ করে।

19.4 ক্যারোটিনয়েডস

লাল, কমলা, হলুদ, বাদামী প্রভৃতি বিভিন্ন বর্ণের রঞ্জক পদার্থ ক্লোরোপ্লাস্টে ক্লোরোফিলের সঙ্গে মিশে থাকে। এইসব রঞ্জক পদার্থকে একত্রে ক্যারোটিনয়েড বলা হয়। ক্যারোটিনয়েড প্রধানতঃ কমলা বর্ণের ক্যারোটিন (carotene) এবং হলুদ বর্ণের জ্যান্থোফিল (xanthophyll)-এর মিশ্রণে গঠিত। উদ্ভিদে প্রধানতঃ α, β, γ ও δ এই চার ধরনের ক্যারোটিন পাওয়া যায়। ক্যারোটিন নীলচে-বেগুনী আলো সর্বাধিক শোষণ করে। ক্যারোটিন জলে অদ্রবণীয় এবং ইথার, ক্লোরোফর্ম, বেনজিন জাতীয় জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয়। টমাটোতে লাল, বিভিন্ন ফুলে হলুদ এবং অ্যাভোক্যাডোতে সবুজ বর্ণের ক্যারোটিন পাওয়া যায়। অক্সিজেনযুক্ত ক্যারোটিনকেই জ্যান্থোফিল বলে। লিউটিন নামক জ্যান্থোফিল সবুজ উদ্ভিদে সবচেয়ে বেশি পাওয়া যায়। এছাড়াও টমাটোতে লাইকোজ্যান্থিন ও ভুট্টায় জিয়াজ্যান্থিন পাওয়া যায়। বিভিন্ন ধরনের শৈবালে প্রায় কুড়ি প্রকৃতির জ্যান্থোফিল পাওয়া যায়, যার মধ্যে ফিউকোজ্যান্থিন ও ভায়ালোজ্যান্থিন উল্লেখযোগ্য।

ক্যারোটিনয়েডস্ সালোকসংশ্লেষের হারকে বৃদ্ধি করে। ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল আলোক শোষণ করে উত্তেজিত হয় ও তাদের উত্তেজিত শক্তিকে ক্লোরোফিল-a অণুতে স্থানান্তরিত করে। এই কারণে ক্যারোটিনয়েডসকে সহায়ক রঞ্জক পদার্থ (accessory pigments) বলা হয়। এছাড়াও দেখা গেছে যে তীব্র আলোয় ক্লোরোফিলের আলোক-জারণ (photooxidation) হয়। ভায়োলাজ্যান্থিন, অ্যানথেরাজ্যান্থিন এবং জিয়াজ্যান্থিন—এই তিনটি জ্যান্থেফিল তীব্র আলোক শোষণ করে তাকে তাপীয় শক্তিতে রূপান্তরিত করে ও ক্লোরোফিলকে আলোক-জারণের হাত থেকে রক্ষা করে থাকে। এই প্রক্রিয়াকে ফটোকেমিকাল কোয়েন্চিং (photochemical quenching) বলে। এভাবে ক্যারোটিনয়েড সেফ্‌টি ভাল্ব (sfety valve) হিসাবে কাজ করে থাকে। এছাড়াও নানা বর্ণের ক্যারোটিনয়েড ফুল ও ফলের বর্ণ সৃষ্টি করে পরাগযোগ (pollination) ও বীজের বিস্তারে (dispensal) এ সহায়তা করে।

19.5 ফাইকোবিলিন

এই রঞ্জক পদার্থটি শুধুমাত্র শৈবালে পাওয়া যায়, এবং এটি জলে দ্রবণীয়। লাল বর্ণের ফাইকেবিলিনকে ফাইকোএরিথ্রিন (phycoerythrin) এবং নীল বর্ণের ফাইকোবিলিনকে ফাইকোসায়ানিন (phycocyanin) বলে। ফাইকোএরিথ্রিন প্রধানতঃ নীলাভ-সবুজ বর্ণের এবং ফাইকোসায়ানিন কমলা বর্ণের আলোক শোষণ করে। বিভিন্ন রকম শৈবাল গভীর জলে বসবাস করে যেখানে আলোর তীব্রতা কম হওয়ায় ক্লোরোফিল পর্যাপ্ত পরিমাণে আলো শোষণ করে সালোকসংশ্লেষ করতে পারে না। ফাইকোবিলিন দ্বারা শোষিত আলোক সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়ায় সরাসরি ব্যবহৃত হয় না। ফাইকোবিলিন জলের গভীরেও আলোক শোষণ করে ক্লোরোফিল-a তে সঞ্চালিত করে সালোকসংশ্লেষে সহায়তা করে। এই কারণে ফাইকোবিলিনকে সহায়ক রঞ্জক পদার্থ (accessory pigment) বলা হয়। ফাইকোবিলিন শুধুমাত্র নীলাভ-সবুজ শৈবালে ও লোহিত শৈবালে পাওয়া যায়।

19.6 অ্যান্থোসায়ানিন

অ্যান্থোসায়ানিন এক ধরনের ফ্যাভোনয়েড যৌগ এবং এরা ফুল ও ফলে উজ্জ্বল লাল, নীল, গোলাপি ও বেগুনি বর্ণের সৃষ্টি করে। এই ধরনের রঞ্জক জলে দ্রবণীয় এবং কোষ গহ্বরের কোষরসে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। অ্যান্থোসায়ানিনের বর্ণ কোষরসের pH এর অম্লত্ব বা ক্ষারত্বের ওপর নির্ভর করে। দেখা গেছে যে কোষরস আম্লিক হলে লালচে বর্ণ এবং ক্ষারীয় হলে নীলাভ বর্ণ হয়। অ্যান্থোসায়ানিন সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণ করে না, কিন্তু ফুল ও ফলে উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে পরাগযোগ (pollination) ও বীজের বিস্তারে (dispersal) সহায়তা করে।

19.7 সারাংশ

উদ্ভিদকোষে যে সমস্ত যৌগ আলোক শোষণ করতে পারে, তাদেরকেই রঞ্জক পদার্থ বা পিগমেন্ট (pigment) বলা হয়। সালোকসংশ্লেষীয় রঞ্জক পদার্থ দুই প্রকারের— (a) প্লাস্টিডিয়াল রঞ্জক (Plastidial pigment) যারা জলে অদ্রবণীয়, কিন্তু জৈব দ্রাবকে দ্রবীভূত হয় এবং রঞ্জকগুলি উদ্ভিদকোষের প্লাস্টিডে অবস্থান করে বলে এদের প্লাস্টিডিয়াল রঞ্জক বলা হয়। (b) প্লাস্টিড বহির্ভূত বা নন-প্লাস্টিডিয়াল রঞ্জক (Non-plastidal pigment) — এরা জলে দ্রবণীয়। শৈবালে অবস্থিত ফাইকোবিলিন এবং উন্নত উদ্ভিদের কোষরসে অবস্থিত অ্যান্থোসায়ানিন প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক। সবুজ উদ্ভিদে ছাড়াও ছত্রাক জাতীয় পরভোজী গোষ্ঠীতেও প্লাসিটড বহির্ভূত একাধিক রঞ্জক পদার্থের উপস্থিতি লক্ষ্য করা যায়। ক্যারোটিনয়েড এবং ফাইকোবিলিন রঞ্জককে সহায়ক রঞ্জক পদার্থ (accessory pigment) বলা হয়ে থাকে।

19.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) প্লাস্টিড ও প্লাস্টিড বহির্ভূত রঞ্জক পদার্থ বলতে কি বোঝেন?

(b) ক্লোরোফিল কত প্রকারের? ক্লোরোফিল a ও b আলোকের বর্ণপ্রবাহের কোন অংশ সর্বাপেক্ষা অধিক শোষণ করে থাকে বলুন।

(c) ক্যারোটিনয়েডস্ কিভাবে ক্লোরোফিলকে আলোক জারণের হাত থেকে রক্ষা করে?

(d) ফাইকোবিলিনকে সহায়ক রঞ্জক পদার্থ বলা হয় কেন ব্যাখ্যা করুন।

(e) দুটি প্লাস্টিডিয়াল ও দুটি নন-প্লাস্টিডিয়াল রঞ্জকের নাম লিখুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) উদ্ভিদকোষে যেসকল যৌগ _____ করতে পারে, তাদের রঞ্জক পদার্থ বলে।

(b) ক্লোরোপ্লাস্টের মধ্যে যে চাকতির মতো অংশ দেখা যায়, তাকে _____ বলে, যার মধ্যে _____ দেখা যায়।

(c) আদি নিউক্লিয়াসযুক্ত ব্যাকটেরিয়ায় _____ ও _____ রঞ্জকণা পাওয়া যায়।

(d) ক্যারোটিনয়েড প্রধানতঃ কমলা বর্ণের _____ ও হলুদ বর্ণের _____ এর মিশ্রণে গঠিত হয়।

(e) _____ রঞ্জকটি সালোকসংশ্লেষে অংশগ্রহণ করে না, কিন্তু ফুল ও ফলে উজ্জ্বল বর্ণের সৃষ্টি করে।

19.9 উত্তরমালা

1. (a) 19.2 দ্রষ্টব্য

   (b) 19.3 দ্রষ্টব্য

   (c) 19.4 দ্রষ্টব্য

   (d) 19.5 দ্রষ্টব্য

   (e) 19.7 দ্রষ্টব্য

2. (a) আলোক শোষণ

   (b) থাইলাকয়েড, রঞ্জককণাগুলি

   (c) ব্যাকটেরিওক্লোরোফিল, ব্যাকটেরিওভিরিডিন

   (d) ক্যারোটিন, জ্যান্থোফিল

   (e) অ্যান্থোসায়ানিন

একক 20 ❑ রঞ্জকের আলোক শোষণ, ক্লোরোফিল ও ক্যারোটিনয়েডের রাসায়নিক গঠন

গঠন

20.0 উদ্দেশ্য

20.1 প্রস্তাবনা

20.2 ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

20.3 ক্লোরোফিলের রাসায়নিক গঠন ও প্রকারভেদ

20.4 ক্যারোটিনের রাসায়নিক গঠন

20.5 জ্যান্থোফিলের রাসায়নিক গঠন

20.6 সারাংশ

20.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

20.8 উত্তরমালা

20.0 উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি,

- ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- ক্লোরোফিলের অণুর গঠন জানতে পারবেন ও তাদের প্রকারভেদ জানবেন।
- ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল অণুর গঠন বর্ণনা করতে পারবেন।

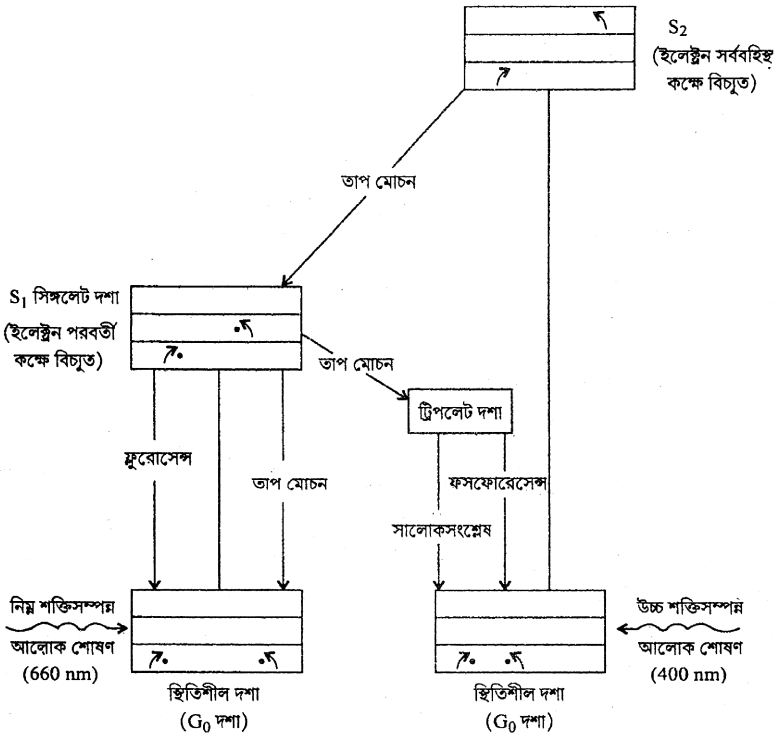
20.1 প্রস্তাবনা

উদ্ভিদকোষে যে-সব যৌগ আলোক শোষণ করতে সক্ষম, তাদেরকে রঞ্জকপদার্থ বা পিগমেন্ট (pigment) বলা হয়। সালোকসংশ্লেষের সময় উদ্ভিদকোষে ক্লোরোপ্লাস্টে বা ক্রোমাটোফোরে সঞ্চিত, রঞ্জকপদার্থরাই আলোক শোষণ করে থাকে। ক্লোরোপ্লাস্টে সবুজ ক্লোরোফিলের সঙ্গে মিশে লাল, কমলা, হলুদ, বাদামি জাতীয় যেসব রঞ্জকপদার্থ একসঙ্গে থাকে, তাদেরকে ক্যারোটিনয়েডস্ বলা হয়। ক্যারোটিনয়েডস্ মুখ্যত কমলা রঙের ক্যারোটিন (carotene) ও হলুদ রঙের জ্যান্থোফিল (xanthophyll)-এর মিশ্রণে তৈরি হয়। ক্লোরোফিল এবং ক্যারোটিনয়েভ উভয়প্রকার রঞ্জকই জলে অদ্রবণীয় এবং ইথার, বেঞ্জিন, অ্যালকোহল জাতীয় জৈব যৌগে দ্রবণীয়।

20.2 ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

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

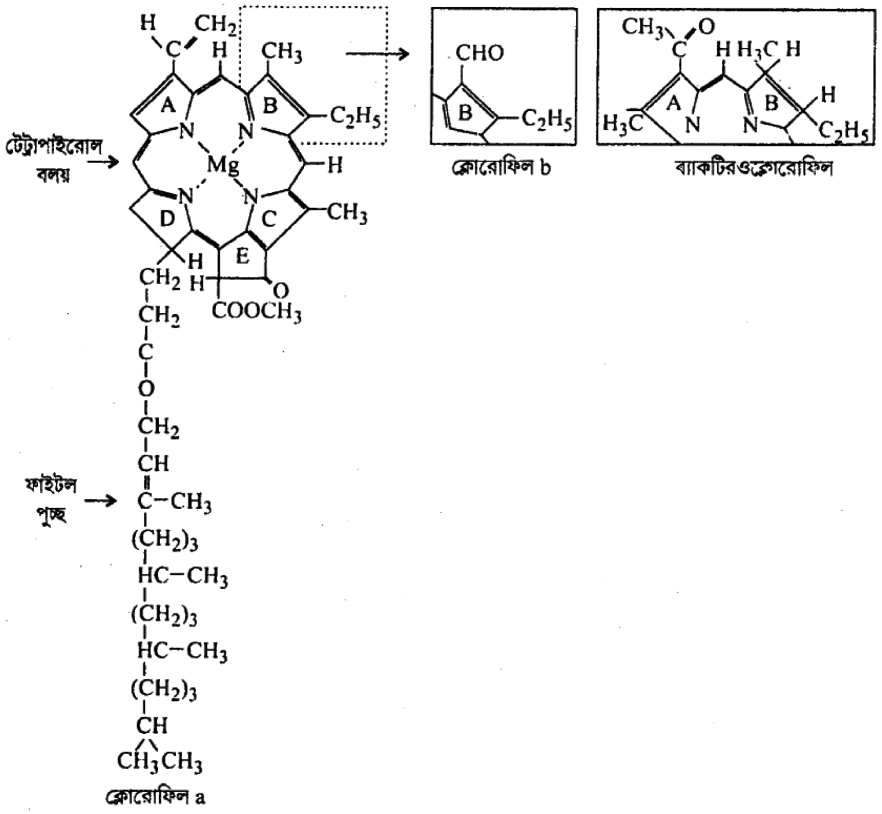
S_2 সিঙ্গলেট দশা থেকে তাপ নির্গত করে ক্লোরোফিল S_1 সিঙ্গলেট দশায় আসে। S_1 সিঙ্গলেট দশা থেকে তাপশক্তি নির্গত করে বা ফ্লুরোসেন্সের মাধ্যমে ক্লোরোফিল আবার নিষ্ক্রিয় দশায় (G_0 দশা) ফিরে আসে। S_1 সিঙ্গলেট দশা থেকে কিছু তাপশক্তি নির্গত করে ক্লোরোফিল ট্রিপলেট দশা নামক এক অন্তর্বর্তী দশায় এসে পৌঁছায়। এই অবস্থাতেই সালোকসংশ্লেষ বা ফসফোরেসেন্স ঘটিয়ে ক্লোরোফিল আবার G_0 অবস্থায় ফিরে আসে (চিত্র 1)।



চিত্র 1 : ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ প্রক্রিয়া

20.3 ক্লোরোফিলের রাসায়নিক গঠন ও প্রকারভেদ

বিজ্ঞানী ফিশার ও ব্রেটনার (Fischer and Breitner, 1936) ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক গঠন আবিষ্কার করেন। ক্লোরোফিলের গঠন বেশ জটিল। চারটি পাইরোল বলয় বৃত্তাকারে সজ্জিত হয়ে একটি পরফাইরিন যৌগ গঠন করে। এই পরফাইরিনের কেন্দ্রস্থলে একটি ম্যাগনেসিয়াম পরমাণু থাকে। পরফাইরিন যৌগকে ক্লোরোফিলের মস্তক বলা হয়। চতুর্থ পাইরোল বলয় থেকে একটি ফাইটল (Phytol) পুচ্ছ উৎপন্ন হয়। ফাইটল পুচ্ছকে রাসায়নিকভাবে একটি হাইড্রোজেনেটেড ক্যারোটিন ($C_{20}H_{39}OH$)। ক্লোরোফিলের পরফাইরিন মস্তকটি 15Å বর্গ আয়তনবিশিষ্ট এবং পুচ্ছটি 20Å লম্ব হয় (চিত্র 2)।



চিত্র 2 : ক্লোরোফিল অণুর রাসায়নিক গঠন

20.3.1 রাসায়নিক ধর্ম :

ক্লোরোফিলের রাসায়নিক ধর্মগুলি নীচে আলোচিত হল :

(1) ক্লোরোফিল অতি সূক্ষ্ম কেলাসাকার নীলাভ সুবজ কঠিন পদার্থ।

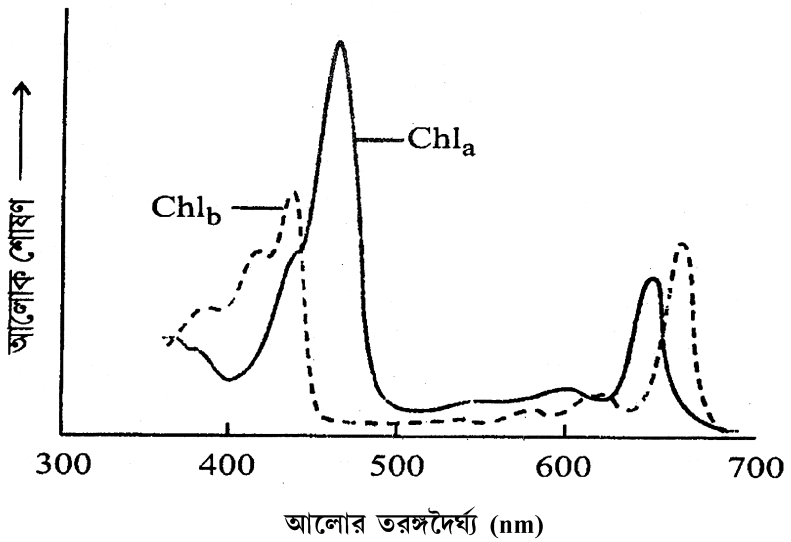
(2) এই রঞ্জক জলে অদ্রবণীয় কিন্তু ইথাইল অ্যালকোহল, ইথার, বেনজিন, মিথাইল অ্যালকোহল, ক্লোরোফিল প্রভৃতি জৈব দ্রাবকে দ্রবণীয়।

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

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

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

(6) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বর্ণালীবীক্ষণ যন্ত্রের (Spectroscope) সাহায্যে বিভিন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলোর পরিপ্রেক্ষিতে ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ ক্ষমতা পরিমাপ করা যায় এবং যে লেখচিত্রের মাধ্যমে তা প্রকাশ করা হয় তাকে শোষণ বর্ণালী (Absorbtion spectrum) বলে। দেখা গেছে যে ক্লোরোফিল a ও b উভয়ই নীল ও লাল আলো সর্বাধিক শোষণ করে। ক্লোরোফিল a 429 nm ও 642 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সবচেয়ে বেশি শোষণ করে এবং ক্লোরোফিল b 453 nm ও 660 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সবচেয়ে বেশি শোষণ করে। আবার ক্লোরোফিল b-এর নীল আলো শোষণ করার ক্ষমতা ক্লোরোফিল a-এর চেয়ে বেশি এবং ক্লোরোফিল a-এর লাল আলো শোষণ ক্ষমতা ক্লোরোফিল b-এর চেয়ে অনেক বেশি। ক্লোরোফিলের রং সবুজ হওয়ায় এই রঞ্জকের সবুজ আলো শোষণ ক্ষমতা সবচেয়ে কম। সালোকসংশ্লেষকারী রঞ্জক ক্লোরোফিল নীল ও লাল আলো সর্বাধিক পরিমাণে শোষণ করে বলেই এই দুটি বর্ণের আলোয় সালোকসংশ্লেষের হার সর্বাধিক হয় (চিত্র 3)।



চিত্র 3 : ক্লোরোফিলের শোষণ বর্ণালী

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

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

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

সারণী 1A বিভিন্ন ক্লোরোফিলের মুখ্য প্রাপ্তিস্থান ও রাসায়নিক প্রকৃতি

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

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

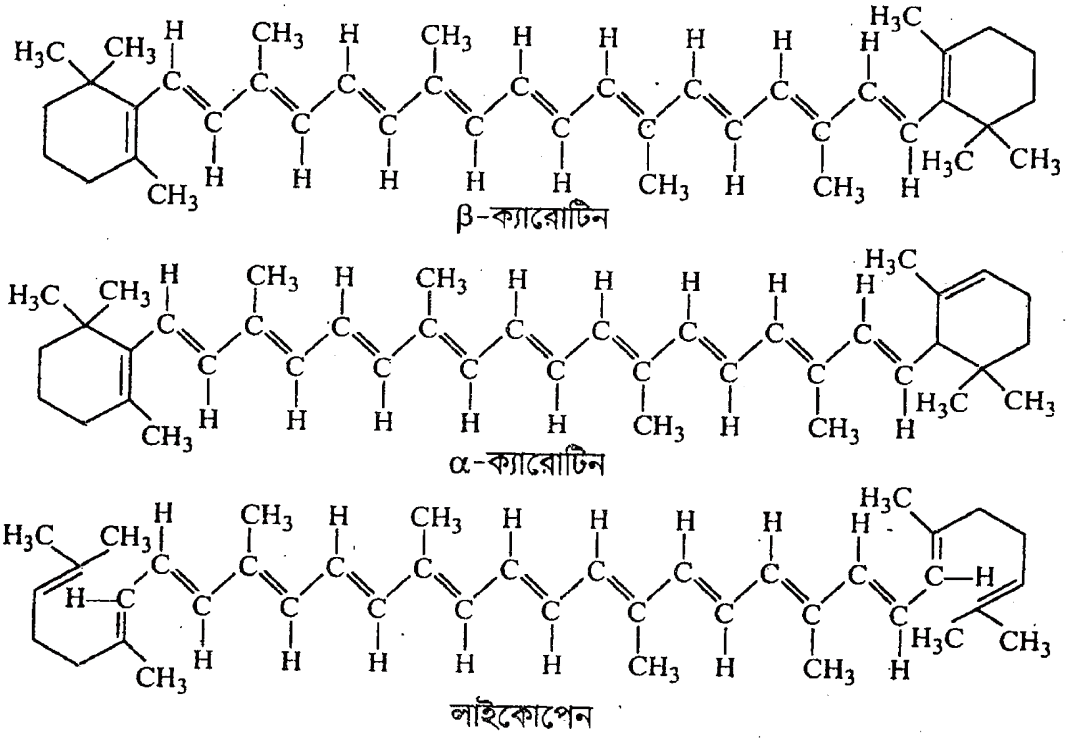
সারণী 1B ক্লোরোফিল a ও ক্লোরোফিল b-এর পার্থক্য

বৈশিষ্ট্য	ক্লোরোফিল a	ক্লোরোফিল b
1. প্রাপ্তিস্থান	সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদ	ক্লোরোফাইসি শ্রেণির সবুজ শৈবাল ও উন্নত শ্রেণির উদ্ভিদ।
2. স্থূল সংকেত	$C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$।	$C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$।
3. গঠনগত প্রভেদ	দ্বিতীয় পাইরোল বলয়ে $-CH_3$ গ্রুপ থাকে।	দ্বিতীয় পাইরোল বলয়ে $-CH_2$ গ্রুপটি –CHO দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়।
4. আণবিক ওজন	893 ডালটন	907 ডালটন।
5. বর্ণ	নীলাভ সবুজ।	হালকা সবুজ।
6. সালোকসংশ্লেষে ভূমিকা	স্বাধীনভাবে সালোকসংশ্লেষে সক্ষম।	ক্লোরোফিল a-এর অনুপস্থিতিতে সালোকসংশ্লেষ করতে পারে না। এই রঞ্জক আলোক শোষণ করে আলোকশক্তিকে ক্লোরোফিল a-তে পরিচালিত করে।
7. সর্বাধিক দ্রবণীয়তা	ইথারে।	মিথাইল অ্যালকোহলে।
8. শোষণ বর্ণালী	429 nm ও 642 mm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে।	453 nm ও 660 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যযুক্ত আলো সর্বাধিক শোষণ করে।

20.4 ক্যারোটিনের রাসায়নিক গঠন

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

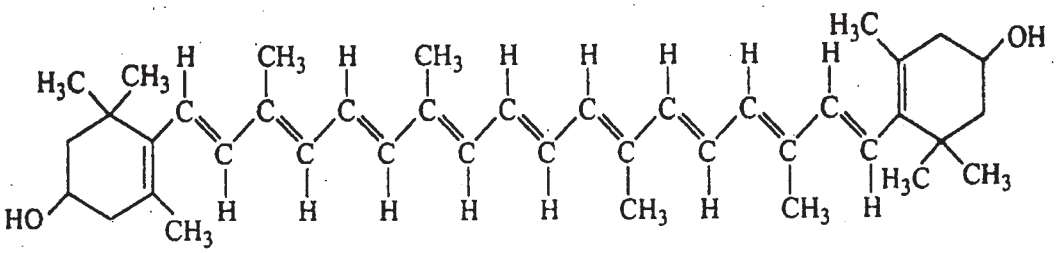
6. ক্যারোটিনের বর্ণবৈচিত্র্যে বিশেষ আকর্ষণীয়। টম্যাটোতে লাল, বিভিন্ন ফুলে হরিদ্রাভ, স্রিম্প (Shrimp) ফুলে গোলাপী, স্কুইডে (Squid) কালচে নীল এবং অ্যাভোক্যাডোতে সবুজ বর্ণের ক্যারোটিন পাওয়া যায়।



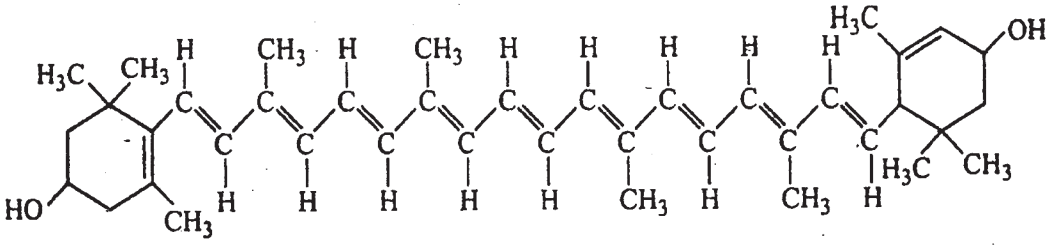
চিত্র 4 : কয়েকটি প্রধান ক্যারোটিনের রাসায়নিক গঠন

20.5 জ্যান্থোফিলের রাসায়নিক গঠন

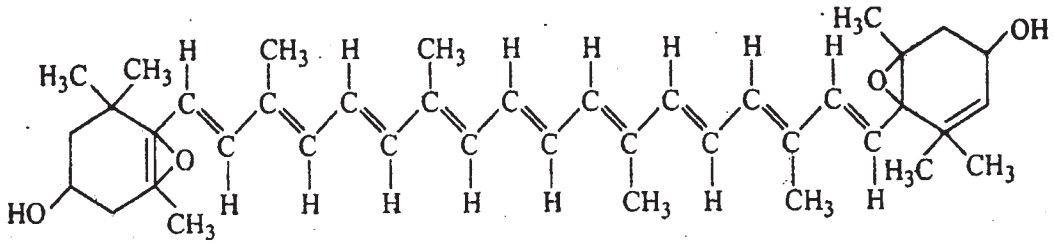
1. জ্যান্থোফিল হল ক্যারোটিনের জারিত অবস্থা। জ্যান্থোফিলের স্থূল সংকেত $C_{40}H_{56}O_2$ তবে জ্যান্থোফিলের বিভিন্ন উপজাত পদার্থগুলিও জ্যান্থোফিলের ন্যায় বর্ণ ও বৈশিষ্ট্য বহন করে—যেমন ফিওফাইসি বা বাদামি শৈবালের প্রধান রঞ্জক ফিউকোজ্যান্থল একটি জারিত ক্যারোটিনল ($C_{40}H_{60}O_6$)।
2. উদ্ভিদে অন্ততপক্ষে কুড়িটি জ্যান্থোফিল পাওয়া গেছে যাদের মধ্যে লিউটিন, জিয়াজ্যান্থিন, ফিউকোজ্যান্থিন, মিক্সোজ্যান্থিন, নিওজ্যান্থিন, ডায়াটোজ্যান্থিন প্রভৃতি অন্যতম। অধিকাংশ জ্যান্থোফিলই বিভিন্ন শ্রেণির শৈবালে পাওয়া যায়। উন্নত শ্রেণির উদ্ভিদের প্রধান জ্যান্থোফিল হল লিউটিন (চিত্র 5)।



জিয়াজ্যান্থিন



লিউটিন



ভায়োলাজ্যান্থিন

চিত্র 5 : কয়েকটি প্রধান জ্যান্থোফিলের রাসায়নিক গঠন

3. সপুষ্পক উদ্ভিদের পাতায় ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিলের অনুপাত 1 : 2।
4. জ্যান্থোফিল হেক্সেন ও ইথানলে সহজেই দ্রবীভূত হয়।
5. বিভিন্ন জ্যান্থোফিল 425–490 nm তরঙ্গদৈর্ঘ্যের আলো শোষণ করে।

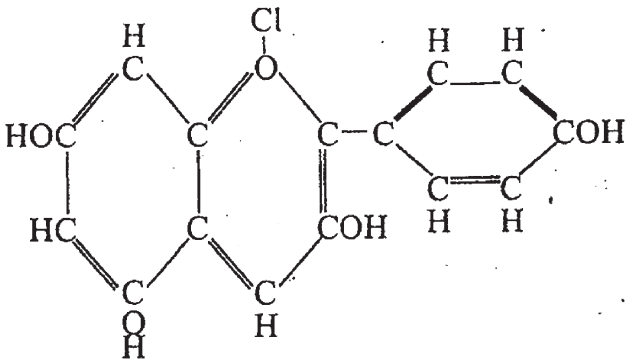
ক্যারোটিন ও জ্যান্থোফিল প্লাস্টিডের মধ্যে প্রোটিন অণুর সাথে নন্-কোভ্যালেন্ট (Non-covalent) বন্ধনীর সাহায্যে যুক্ত থাকে। এছাড়া, ফলত্বক, ফুলের পাঁপড়িতে উপস্থিত ক্রোমোপ্লাস্টিডেও ক্যারোটিনয়েড অবস্থান করে।

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

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

20.6 অ্যান্থোসায়ানিন

অ্যান্থোসায়ানিন একটি জলে দ্রবণীয় গ্লাইকোসাইডিক যৌগ যা কোষগহ্বরের রসে দ্রবীভূত অবস্থায় থাকে। অ্যান্থোসায়ানিনের রাসায়নিক প্রকৃতি লক্ষ্য করলে দেখা যায় যে গ্লুকোজ, র‍্যামনোজ প্রভৃতি মনোস্যাকারাইডের সাথে অ্যান্থোসায়ানিডিন নামক ফ্ল্যাভোন যৌগ যুক্ত হয়ে বিশেষ ধরনের গ্লাইকোসাইডটি গঠিত হয়। এই যৌগটির রাসায়নিক গঠন ও বর্ণ কোষরসের অম্লত্বের (pH) উপর নির্ভরশীল। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় সায়ানিন নামক অ্যান্থোসায়ানিন যৌগটি—আম্লিক pH-এ (pH = 3) লাল, সামান্য ক্ষারীয় মাধ্যমে (pH = 8.5) বেগুনী এবং তীব্র ক্ষারীয় মাধ্যমে (pH = 11) নীল বর্ণ ধারণ করে। কোষ গহ্বরের pH পরিবর্তিত হলে অ্যান্থোসায়ানিনের বর্ণও পরিবর্তিত হয় তাই অ্যান্থোসায়ানিনকে 'উদ্ভিদজগতের বহুরূপী' (Vegetative chameleon) বলা হয় (চিত্র 6)।



চিত্র 6 : সায়ানিডিন ক্লোরাইড—একটি অ্যান্থোসায়ানিন

20.7 সারাংশ

উদ্ভিদের ফুল ও ফল বর্ণবৈচিত্র্যের জন্য আমাদের আকৃষ্ট করে। উদ্ভিদের বিভিন্ন রঞ্জককণার মধ্যে সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ রঞ্জকটি হল সবুজবর্ণের ক্লোরোফিল, যা সালোকসংশ্লেষ প্রক্রিয়াকে নিয়ন্ত্রণ করে। ক্লোরোফিল a কে সার্বজনীন রঞ্জক বলে, কারণ নিম্নশ্রেণির শৈবাল থেকে সপুষ্পক উদ্ভিদ—সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদে এই

রঞ্জক উপস্থিত থাকে। রাসায়নিকভাবে ক্লোরোফিল বলয়াকারে সজ্জিত একটি টেট্রাপাইরল যৌগ যার কেন্দ্রে ম্যাগনেসিয়াম পরমাণু থাকে এবং চতুর্থ পাইরল বলয় থেকে একটি ফাইটল পুচ্ছ উৎপন্ন হয়। ক্লোরোফিল সূর্যালোকের ফোটন কণা শোষণ করে উত্তেজিত হয় এবং সালোকসংশ্লেষের মাধ্যমে শক্তি ব্যয় করে আবার স্থিতাবস্থায় ফিরে আসে। অসম্পৃক্ত হাইড্রোকার্বন ক্যারোটিনয়েড দুটি শ্রেণিতে বিভক্ত—লালচে কমলা বর্ণের ক্যারোটিন ও হলুদ বর্ণের জ্যান্থোফিল। ক্যারোটিনয়েড প্রত্যক্ষভাবে সালোকসংশ্লেষে করে না—কিন্তু আলোক শোষণ করে আলোকশক্তি ক্লোরোফিলকে প্রদান করে সালোকসংশ্লেষের হারকে বৃদ্ধি করে। এই কারণে ক্যারোটিনয়েডস্‌কে সহায়ক রঞ্জকপদার্থ (accessory plant pigment) বলা হয়। এছাড়াও ফুল ও ফলত্বকের বর্ণবৈচিত্র বিভিন্ন ক্যারোটিনয়েডের উপস্থিতির ওপর নির্ভর করে যা পরাগযোগ ও ফল বা বীজের বিস্তারে সহায়তা করে।

20.7 সর্বশেষ প্রশ্নাবলী

1. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন :

(a) ক্লোরোফিল কর্তৃক আলোক শোষণ প্রক্রিয়াটি বুঝিয়ে বলুন।

(b) ক্লোরোফিলের রাসায়নিক গঠন বর্ণনা করুন।

(c) ক্লোরোফিলের আলোক শোষণ বর্ণালী চিত্রসহযোগে ব্যাখ্যা করুন।

(d) ক্যারোটিনের রাসায়নিক গঠনটি বর্ণনা করুন।

(e) জিয়াজ্যান্থিনের রাসায়নিক গঠন বিস্তারিত আলোচনা করুন।

2. শূন্যস্থান পূরণ করুন :

(a) _____ রঞ্জকটি সমস্ত সালোকসংশ্লেষকারী উদ্ভিদে পাওয়া যায়।

(b) রাসায়নিকভাবে ক্লোরোফিল অণু একটি _____ বলয় ও _____ শৃঙ্খলের সমন্বয়ে গঠিত।

(c) উন্নত শ্রেণির উদ্ভিদে ক্লোরোফিল a ও ক্লোরোফিল b-এর অনুপাত _____ হয়।

(d) S_2 সিঙ্গলেট দশার স্থায়ীত্বকাল _____ সেকেন্ড।

(e) উন্নত শ্রেণির উদ্ভিদে প্রধান জ্যান্থোফিল হল _____।

20.8 উত্তরমালা

1. (a) 20.2 দ্রষ্টব্য

(b) 20.3 দ্রষ্টব্য

(c) 20.3 অংশের চিত্র 3 দেখুন

(d) 20.4 দ্রষ্টব্য

(e) 20.5 দ্রষ্টব্য

2. (a) ক্লোরোফিল-a

(b) টেট্রাপাইরল, ফাইটল

(c) 2.5:1

(d) 10^{-11}

(e) লিউটিন

গ্রন্থপঞ্জি

- Berg, J.M., Tymoczko, J.L., & Stryer, L., Bio-Chemistry, Latest Ed., Freeman Publ.
- Buchanon, Gruissen and Jones. Plant Physiology & Biochemistry: Biochemistry and Molecular Biology of plants, 2000, I.K. International.
- Chaudhuri, D., Kar, D.K., and Halder, S.A. Handbook of Plant Biosynthetic Pathways 2008, New Central Book Agencies.
- Hopkins, W.G. & Hiiner, N.P. Introduction to Plant Physiology (3rd ed.) 2004, John Wiley & Sons.
- Jain, V.K. Fundamental of Plant Physiology (7th ed.) 2004. S. Chand and Company.
- Lehninger Principles of Biochemistry. Sixth Edition. 2013. David L. Nelson, Michael M. Cox. Freeman, Macmillan.
- Lincoln Taiz, Eduardo Zeiger, Ian M. Meller, and Angus Murphy.Plant Physiology and Development. (6th ed.) Sinauer Associates.
- Mukherjee, S. & Ghosh, A. Plant Physiology (2nd ed.), 2005, New Central Book Agency.
- Panday, S.N. & Sinha, B.K. Plant Physiology (4th ed.), 2006, Vikas Publishing House Pvt. Ltd.
- Salisbury, F.B. & Ross, C.W. Plant Physiology (4th ed.), 19992, Wadsoworth Publishing Company.
- Sinha, R.K. Modern Plant Physiology, 2004, Narosa Publishing House.
- Taiz, L., & Zeiger, E. Plant Physiology (4th ed.), 2006, Sinauer Associates, Inc. Publishers.