প্রাক্‌কথন

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

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

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

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

অধ্যাপক (ড.) শুভ শঙ্কর সরকার
উপাচার্য

তৃতীয় পুনর্মুদ্রণ ঃ ফেব্রুয়ারি, 2017

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

পরিচিতি

বিষয় : উদ্ভিদবিদ্যা **সাম্মানিক স্তর**

পাঠক্রম ঃ পর্যায়

EBT 13 ঃ 1

	রচনা	**সম্পাদনা**
একক 1-9	ড. শিবদাস ঘোষ	ড. অনাদি কুণ্ডু

EBT 13 ঃ 2

	রচনা	**সম্পাদনা**
একক 10	ড. শ্যামল কুমার চক্রবর্ত্তী	ড. অনাদি কুমার কুণ্ডু
একক 11	তুলিকা লাহিড়ি	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 12	সৌরভ চক্রবর্ত্তী	ড. শিবদাস ঘোষ
একক 13	ড. শান্তনু চক্রবর্ত্তী	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 14	সৌরভ চক্রবর্ত্তী	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 15	ড. শান্তনু চক্রবর্ত্তী	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 16	ড. শান্তনু চক্রবর্ত্তী	ড. রিতা কুণ্ডু
একক 17	ড. শান্তনু চক্রবর্ত্তী	ড. রিতা কুণ্ডু

প্রজ্ঞাপন

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

মোহন কুমার চট্টোপাধ্যায়
নিবন্ধক

নেতাজি সুভাষ মুক্ত বিশ্ববিদ্যালয়

EBT 13

কোষবিদ্যা ও আণবিক বংশগতিবিদ্যা
(স্নাতক পাঠক্রম)

পর্যায়
1
কোষবিদ্যা

একক 1	❑ কোষবিদ্যায় ব্যবহৃত মাইক্রোস্কোপ—যৌগিক ফেজ্‌কনাট্রাষ্ট, ফ্লুরোসেন্স ও ইলেকট্রন অনুবিক্ষণ যন্ত্র	7 – 15
একক 2	❑ ইউক্যারিওটিক কোষের বিন্যাস—কোষ অন্তস্থ অঙ্গাণুর প্রকৃতি ও রাসায়নিক গঠন	16 – 28
একক 3	❑ নিউক্লিয়াসের বিন্যাস ও সূক্ষ্ম গঠন, নিউক্লিওলাসের গঠন ও কার্যাবলি	29 – 38
একক 4	❑ রাইবোসোম ও লাইসোসোমের গঠন ও কার্যাবলি	39 – 47
একক 5	❑ মাইটোকনড্রিয়া	48 – 53
একক 6	❑ ক্লোরোপ্লাষ্ট	54 – 61
একক 7	❑ ক্রোমোসোমের রাসায়নিক সংস্থিতি ও গঠন	62 – 72
একক 8	❑ বিশেষ ক্রোমোসোম, ইউক্রোমাটিন ও হেটারোক্রোমাটিন	73 – 80
একক 9	❑ ক্রোমোসোমের বিন্যাস	81 – 87

পর্যায়
2
আণবিক বংশগতিবিদ্যা

একক 10 ❑ কোষ চক্র ও তার নিয়ন্ত্রণ 91 – 109

একক 11 ❑ মাইটোসিস ও মিয়োসিসের বিভিন্ন পর্যায়ের ঘটনাবলী এবং তাদের তাৎপর্য 110 – 124

একক 12 ❑ ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং পদ্ধতিসমূহ ও তাদের ব্যবহার 125 – 130

একক 13 ❑ অ্যান্টিবডি ও তার ব্যবহার 131 – 153

একক 14 ❑ জিন মিউটেশন ও তার আণবিক ভিত্তি 154 – 172

একক 15 ❑ প্লাসমিড ও ট্রান্সপোজেবল এলিমেন্টস 173 – 191

একক 16 ❑ রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ এবং রিকম্বন্যান্ট DNA টেকনোলজি 192 – 209

একক 17 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরি ও RFLP 210 – 228

একক 1 ❑ কোষবিদ্যায় ব্যবহৃত মাইক্রোস্কোপ—যৌগিক, ফেজ-কনট্রাষ্ট, ফ্লুরোসেন্স ও ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্র

গঠন

1.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য
1.2 যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্র
1.3 ফেজ-কনট্রাষ্ট অনুবীক্ষণ যন্ত্র
1.4 ফ্লুওরেসেন্স অনুবীক্ষণ যন্ত্র
1.5 ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্র
1.6 সারাংশ
1.7 প্রশ্নাবলী
1.8 উত্তরমালা

1.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

কোষ জীববিদ্যা (Cell biology) বা কোষবিদ্যার মাধ্যমে আমরা কোষ ও কোষ অন্তর্গত বিভিন্ন অঙ্গাণু (Organelle)-র গঠন ও কার্যাবলী সম্পর্কে জানতে পারি। যেহেতু কোষের আকার অতি ক্ষুদ্র, যা খালি চোখে দেখা যায় না, সেজন্য কোষ পরীক্ষায় সর্বপ্রথম অনুবীক্ষণ যন্ত্রের প্রয়োজন হয়। এর মাধ্যমে কোষের আকার বিবর্ধন করা যায়। এই জন্য অবশ্য বিভিন্ন প্রকার অনুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। এই অধ্যায়ে সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত কয়েকধরণের অনুবীক্ষণ যন্ত্র সম্পর্কে আমরা আলোচনা করবো। এই অধ্যায় পাঠে আপনারা—

(i) বিভিন্ন প্রকার অনুবীক্ষণ যন্ত্র সম্পর্কে জানতে পারবেন।

(ii) এদের কার্যক্ষমতা ও কার্যকারিতা সম্পর্কে কিছু ধারণা পাবেন।

(iii) বিভিন্ন ধরণের মাইক্রোস্কোপের প্রয়োজনীয়তা জানতে পারবেন।

1.2 যৌগিক (Compound) অনুবীক্ষণ যন্ত্র বা দৃশ্যমান আলোক মাইক্রোস্কোপ

ইউক্যারিওটিক কোষ সাধারণতঃ আকারে 10-50 μm (মাইক্রোমিটার বা মাইক্রন) হয়ে থাকে এবং প্রোক্যারিওটিক কোষ আরও ক্ষুদ্র (<1-10 μm)। ফলে তাদের খালি চোখে দেখা যায় না এবং তাদের পরীক্ষার

জন্য বিবর্ধনকারী মাইক্রোস্কোপের প্রয়োজন হয়ে পড়ে। আমরা পরে দেখবো মাইক্রোস্কোপ কেবলমাত্র বিবর্ধনই ঘটায় না, কোষ অঙ্গাণু বিভেদনেও (resolving) সাহায্য করে। অনুবীক্ষণ যন্ত্রের বিবর্ধন ক্ষমতা (magnifying power) আলোচনার আগে আমরা ক্ষুদ্র অঙ্গাণু প্রভৃতি মাপের জন্য ব্যবহৃত একক সম্পর্কে একটা ধারণা পেতে পারি সারণি 1.1 থেকে।

কোষ বা অঙ্গাণুর পরিমাপ থেকে আমরা কোষবিদ্যা অধ্যয়নে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের প্রয়োজনীয়তা সহজেই উপলব্ধি করতে পারি। প্রথমে আমরা সবচেয়ে বেশি ব্যবহৃত যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্র সম্পর্কে আলোচনা করবো।

সারণি 1.1-ক্ষুদ্র অঙ্গাণু মাপের একক

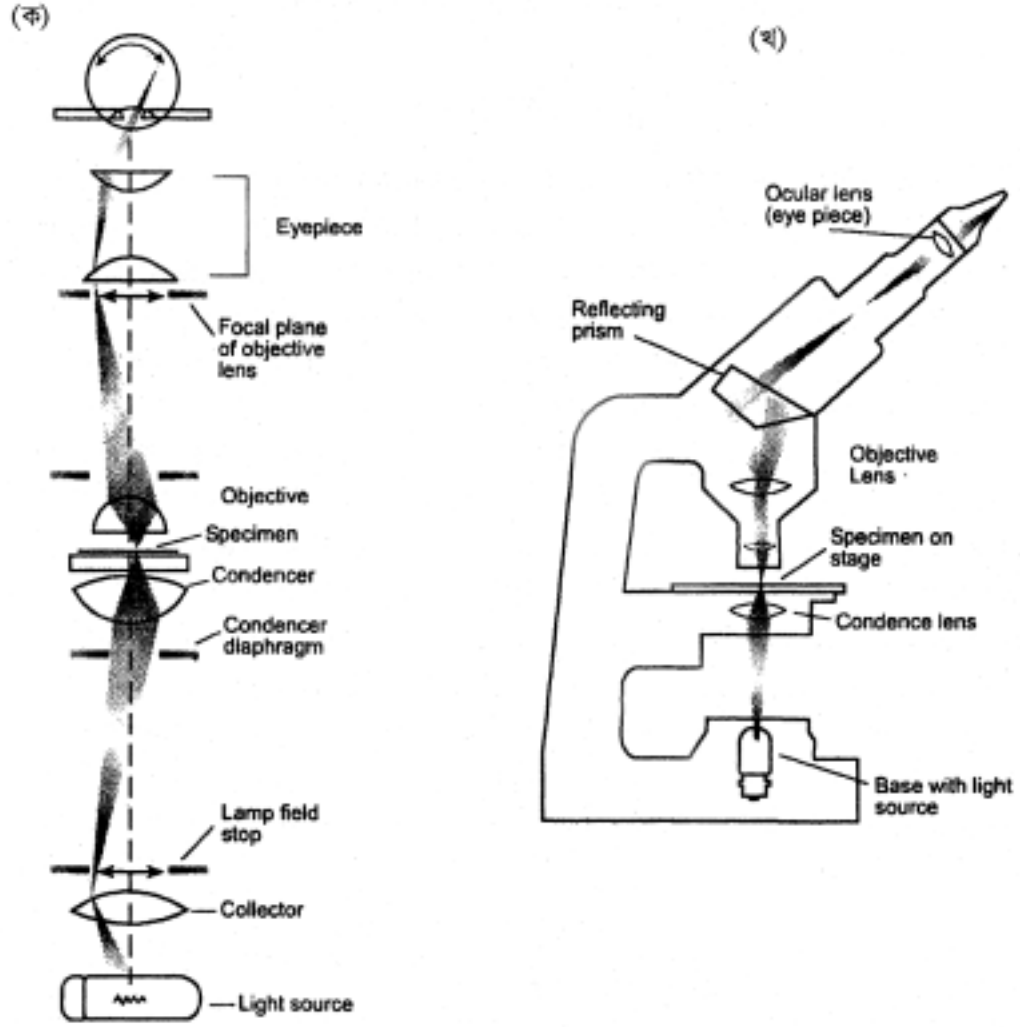
1 মিটার (meter)—m	=	1000 mm (মিলিমিটার millimeter)
1 মিলিমিটার—mm	=	1000 µm (মাইক্রোমিটার micrometer)
1 মাইক্রোমিটার বা মাইক্রন—µm	=	1000 nm (ন্যানোমিটার, nanometer)
1-ন্যানোমিটার—nm	=	10 Å (অ্যাংস্ট্রম, angstrom)

সপ্তদশ শতকে Antony van Leenwanhock (এন্টনিভ্যান লিউয়েনহুক) প্রথম Lens (লেন্স) ব্যবহার করে বিবর্ধন সম্ভব দেখান এবং Simple বা সাধারণ মাইক্রোস্কোপ আবিষ্কার করেন। 1665 খ্রীষ্টাব্দে নিউটনের সমকালীন বৈজ্ঞানিক রবার্ট হুক (Hooke) প্রথম একটি যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্র প্রস্তুত করে সর্বপ্রথম কোষ দর্শনে সক্ষম হন। অবশ্য তিনি প্রকৃতপক্ষে কোষ নয়, দেখেছিলেন Cork বা সোলার মৃত কোষ প্রাচীর। এর অনেক পরে Theodor Schwann (থিওডর সোয়ান) এবং Mathias Jacob Schleiden (ম্যাথিয়াস জ্যাকব স্লাইডেন) 1838--39 খ্রীষ্টাব্দে কোষ অধ্যয়ন করে কোষতত্ত্ব (Cell Theory) উপস্থাপন করেন।

প্রান্তলিপি 1.1 : কয়েকটি কোষ, কোষ অঙ্গাণুর (Cell organelle) প্রভৃতি আকার	
1. ইউক্যারিওটিক কোষ	10-50 µm
2. ইউক্যারিওটিক কোষ নিউক্লিয়াস	< 10 µm
3. জীবাণু	1-2 µm
4. মাইটোকনড্রিয়া	1-2 µm
5. রাইবোজোম	20 nm
6. প্রোটিন ও লিপিড্স্	1-10 nm
7. ক্ষুদ্র পরমাণু	< 1 nm
8. অণু	~0.1 nm (1 Å)

একটি যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রে কয়েকটি লেন্সের আপেক্ষিক অবস্থান কোন বস্তুর আকৃতির বিবর্ধন করতে পারে, যদি ঐ বস্তুর মধ্য দিয়ে আলোকরশ্মি প্রবাহিত হতে পারে। যে বস্তুটি পরীক্ষা করা হবে, সেটি বা তার

ছেদিত অংশ (যাতে আলোকরশ্মি তার মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত হতে পারে) একটি কাঁচের স্লাইডের (Slide) উপর রাখা হয় এবং ঐ স্লাইড মাইক্রোস্কোপের Stage (স্টেজ) এর উপর রাখা হয়। কোন আলোর উৎস থেকে আলোর রশ্মি (অথবা প্রতিফলিত আলোক রশ্মি) Condenser লেন্সের উপর ফেলা হয়, ঐ রশ্মি ঘনীভূত হয়ে স্টেজের উপরিস্থিত পরীক্ষা বস্তুর মধ্য দিয়ে এসে Objective লেন্সে ধরা পড়ে এবং রশ্মি কেন্দ্রতলে (focal plane) কেন্দ্রীভূত হয় (চিত্র 1.1)। Objective lens-এর মান বা গুণ অনুযায়ী পরীক্ষা



চিত্র 1.1 ঃ যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রের নক্শা।

বস্তুর বিবর্ধন ঘটে থাকে। যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রে ঐ রশ্মি বা প্রতিমূর্তি (image) Ocular lens বা eye piece দ্বারা পুণরায় বিবর্ধিত হয়। ফলে মোট বিবর্ধন দুই lens-এর মানের গুণিতকে দাঁড়ায়। যদি Objective lens এবং Ocular lens দুইয়েরই বিবর্ধন মান 10 × হয়, তবে ঐ যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রে

বিবর্ধন মান 10 × 10 = 100 দাঁড়াবে। তবে 100 × Objective lens ও ব্যবহার করা যায়। সেক্ষেত্রে বিবর্ধন মান দাঁড়াবে 1000 গুণ। সেক্ষেত্রে অবশ্য পরীক্ষা বস্তু ও Objective lens-এর মধ্যবর্তী স্থানে Oil (refractive index 1.5) ব্যবহার করা হয়, যা পরে আলোচনা করা হবে।

অনুবীক্ষণ যন্ত্রের ব্যবহার কেবলমাত্র বিবর্ধন বা magnification-এর জন্য নয়, এর উপযোগিতা তার বিভেদন (resolution) ক্ষমতার উপর ও নির্ভরশীল বটে। বিভেদন ক্ষমতা দুটি খুবই নিকটস্থিত বস্তুর বিভেদনে বা পৃথকীকরণে সাহায্য করে। কোন লেন্স এর বিভেদন ক্ষমতা দুটি ঘন সন্নিবেশিত বস্তুর ক্ষুদ্রতম দূরত্ব (D) নিম্নলিখিত ফর্মূলা দ্বারা প্রকাশ করা হয়—

$$D = \frac{0.61\lambda}{N \sin \alpha}$$

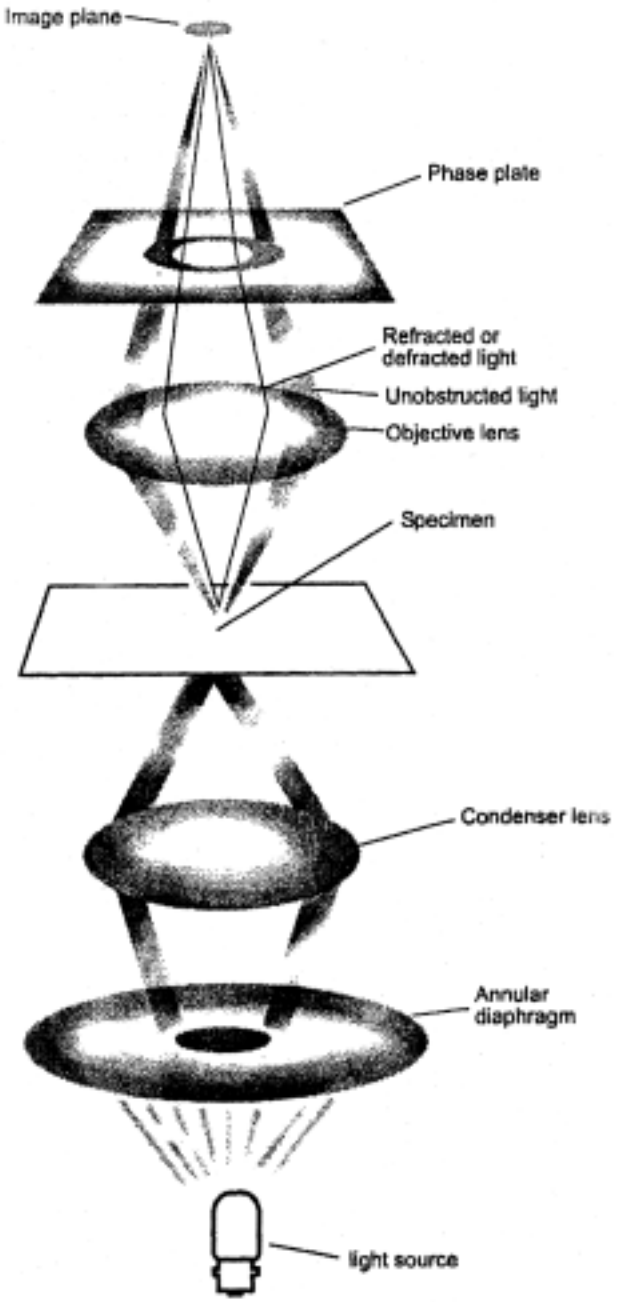
যেখানে λ -incident বা আপতিত রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য (Wave length), N-পরীক্ষা বস্তু এবং Objective lens-এর মধ্যবর্তী বাতাস বা অন্য তরল (Oil) এর refractive index বা প্রতিসরণ সূচক ও α (angular aperture) objective lens-এর বিস্তৃতি (width) এবং পরীক্ষা বস্তু থেকে objective lens এর-দূরত্বের উপর নির্ভর করে। সবচেয়ে ভাল objective lens-এর angular aperture 70° (sin 70° = 0.94); ফলে সাধারণ আলোয় (নীল আলোর λ = 450 nm) এবং বায়ু মাধ্যমে (N = 1.0) যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রের বিভেদন ক্ষমতা 292 nm/লক্ষ্যণীয় D-এর মান যত কম হবে মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা তত উন্নত। Immersion Oil এর N = 1.5, ফলে immersion oil ব্যবহারে বিভেদন ক্ষমতা বৃদ্ধি পায় এবং তা দাঁড়ায় প্রায় 200 nm। উৎস আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য কমিয়ে মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা আরও বাড়ানো যায়। এই উদ্দেশ্যে uv রশ্মি (λ = 200 nm) (uv = microscope এবং fluroescence microscope) বা electron ব্যবহারে (λ = .005 nm) বিভেদন ক্ষমতা প্রভূতভাবে বাড়ানো সম্ভব।

প্রসঙ্গত উল্লেখ্য যে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে কোষকে সরাসরি পর্যালোচনা বা পরীক্ষা করা যায় না। এর জন্য কোষকে প্রথমে সংবন্ধন (fixation) করা হয়। সংবন্ধক হিসাবে অ্যালকোহল, ফরমালডিহাইড (formaldehyde) প্রভৃতি ব্যবহার করা হয়। যেহেতু বেশির ভাগ কোষ-অঙ্গাণু একই প্রকার আলোক রশ্মি শোষণ করে, ফলে তাদের পৃথকভাবে দেখা সম্ভব হয় না। সেই কারণে বিশেষ রঞ্জক বা stain ব্যবহার করা হয়। Aceto-orecin, aceto-carmine প্রভৃতি রঞ্জক ব্যবহারে nucleus ও ক্রোমোজোম সহজেই দেখা যায়।

1.3 ফেজ কনট্রাস্ট অনুবীক্ষণ যন্ত্র

যদিও কোষ অভ্যন্তর অসমজীবীয় (heterogeneous), কিন্তু সাধারণ যৌগিক মাইক্রোস্কোপে সেগুলি পৃথকীকরণ সম্ভব নয়। তবে বিভিন্ন কোষ অঙ্গাণুর প্রতিসরণ ক্ষমতা (refractive index) ভিন্ন হওয়ার জন্য ফেজ কনট্রাস্ট অণুবীক্ষণ যন্ত্রে এদের সহজেই সনাক্তকরণ সম্ভব হয়। জীবন্ত কোষ পরীক্ষার জন্য ফেজ কনট্রাস্ট মাইক্রোস্কোপ অপরিহার্য।

ফেজ কনট্রাস্ট মাইক্রোস্কোপের মূলতত্ত্ব ক্ষুদ্রপরিমাণ প্রাবস্থা (phase)র পার্থক্যকে দৃশ্যমান আলোক রশ্মির প্রতিসরণ ক্ষমতার মাধ্যমে পৃথকীকরণ করা। ফেজ কনট্রাস্ট মাইক্রোস্কোপের গঠন যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্রের তুলনীয়, তবে এই মাইক্রোস্কোপে Objective lens-এর রশ্মিকেন্দ্রতলে (focal plane) একটি annular phase plate বসানো হয় এবং condenser lens-এর নিচে একটি annular diaphragm (চিত্র 1.2) থাকে। যে সব বস্তুর প্রতিসরণ ক্ষমতা বেশি, আলোক রশ্মি তাদের মধ্য দিয়ে অপেক্ষাকৃত ধীরে ভেদ করে। ফলতঃ ঐ রশ্মি প্রতিসরিত (refracted) বা অপসারিত (defracted) হতে পারে। দুটি বস্তুর প্রবস্থা ঐ বস্তুদ্বয়ের প্রতিসরণ ক্ষমতার উপর নির্ভরশীল। Annular phase plate-এর মাধ্যমে প্রবস্থার বৃদ্ধি ঘটানো সম্ভব। অপ্রতিসারিত আলোক রশ্মি পরীক্ষা বস্তু ভেদ করে objective lens পার হয়ে phase plate-এর অনুজ্জ্বল বলয়ে কিছু পরিমাণ রশ্মি শোষিত হয় এবং ভেদিত আলোক রশ্মির দশা (phase) তরঙ্গদৈর্ঘ্যের, এক চতুর্থাংশ পরিবর্তিত হয়। ফলে প্রাবস্থার উন্নতি ঘটে, অন্যদিকে প্রতিসারিত আলোক রশ্মি Phase plate-এর স্বচ্ছ অংশের ভিতর দিয়ে আসে। তখন উভয় রশ্মি মিলিত হয়ে image (প্রতিমূর্তি) সৃষ্টি করে।

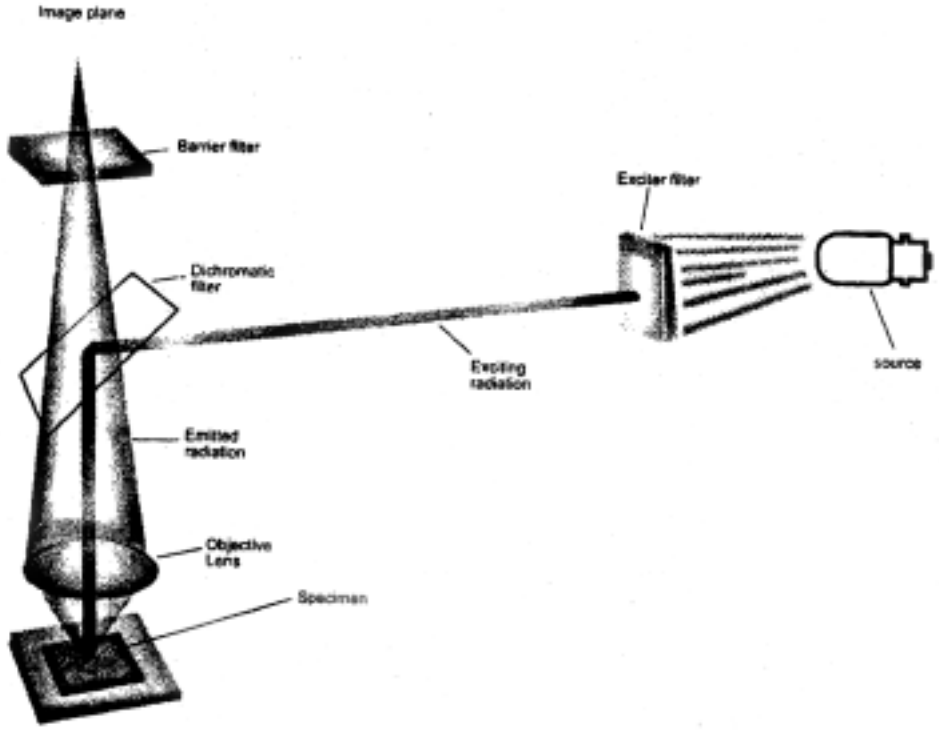


চিত্র 1.2 : ফেজ কনট্রাস্ট মাইক্রোস্কোপের কর্মপ্রণালীর নকশা।

1.4 Fluorescence (ফ্লুওরেসেন্স) মাইক্রোস্কোপ

আমরা জানি যে অনুবীক্ষণ যন্ত্রের বিভেদন ক্ষমতা, আলোর উৎসের উপর নির্ভর করে। ব্যবহৃত আলোর রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যত কম হবে, মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা ও তত বেশি হয়। সেইজন্য আলোর উৎস হিসাবে যদি অতিবেগুনি আলোক রশ্মি ব্যবহার করা যায় তবে ঐ মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা অনেক বৃদ্ধি পায়। uv রশ্মির তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 200 থেকে 400 nm (দৃশ্যমান অলোর ক্ষুদ্রতম তরঙ্গ দৈর্ঘ্য 450 nm), ফলে uv ব্যবহৃত মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা বেশি হয় (প্রায় 2 গুণ)। Fluorescence মাইক্রোস্কোপেও অতিবেগুনি বা uv রশ্মি ব্যবহার করা হয়।

কোন কোন বস্তুর উপর uv রশ্মি পতিত হলে, তাদের অণুদের মধ্যে বিশেষ উত্তেজনা সৃষ্টি হয়, ফলে ঐ সব অনু থেকে দৃশ্যমান আলোক নির্গত হয়। এই ঘটনাকে ফ্লুওরেসেন্স বা প্রতিপ্রভা বলা হয়। কোষ অন্তস্থ অনেক বস্তু যেমন ক্লোরোফিল স্বতস্ফূর্তভাবে প্রতিপ্রভা দেখিয়ে থাকে। অন্যথা কয়েকটি প্রতিপ্রভা রঞ্জক



চিত্র 1.3 ঃ ফ্লোরেসেন্স মাইক্রোস্কোপের কার্যপদ্ধতি নকশা।

যেমন Rhodamine (রোডামিন—যা থেকে লাল আলো নির্গত হয়) বা Fluorescein (ফ্লুওরেসিন যা সবুজ আলো নিঃসরণ করে) ব্যবহার করে কোষের মধ্যে পরীক্ষা নিরীক্ষা করা যায়। এই মাইক্রোস্কোপের বিশেষ ব্যবহার কোষ অন্তস্থ বিশেষ প্রোটিনের চিহ্নিতকরণ। এইজন্য ওই প্রোটিনের প্রতিপ্রভা রঞ্জক যুক্ত

antibody (এন্টিবডি) ব্যবহার করা হয়। ঐ antibody কেবল নিজস্ব antigen (এন্টিজেন) বা প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হবে, এবং প্রতিপ্রভা দর্শাবে। ফলে তাদের চিহ্নিতকরণ সহজ।

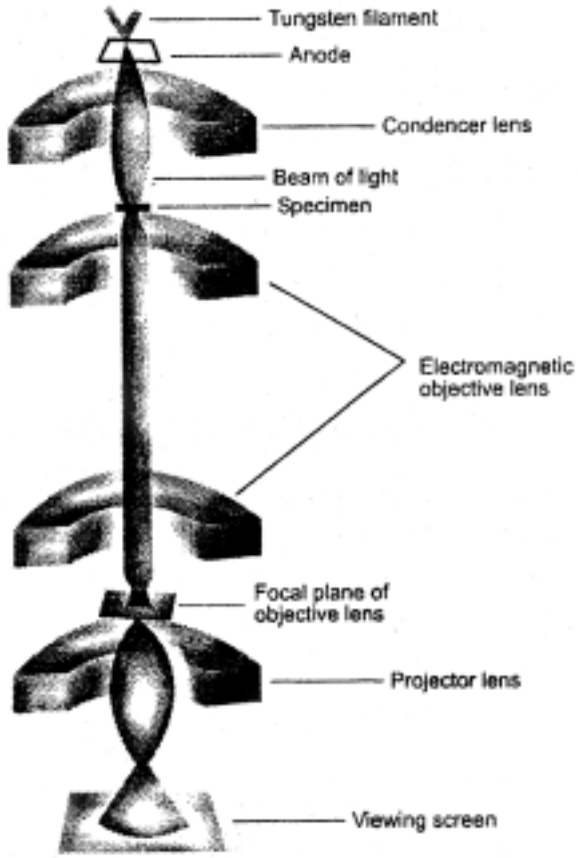
এই মাইক্রোস্কোপে আলোর উৎস থেকে উৎসারিত uv রশ্মি exciter filter এর মধ্য দিয়ে এসে dichromatic filter এ প্রতিসারিত হয়ে objective lens-এর মধ্য দিয়ে পরীক্ষা-বস্তুর উপর এসে পড়ে। Exciter filter কেবলমাত্র ঈপ্সিত তরঙ্গ দৈর্ঘ্যকে পার হতে দেয়। পরীক্ষা বস্তুর মধ্যে অঙ্গানু বা যুক্ত-রঞ্জকের উপর uv রশ্মি পতিত হয়ে দৃশ্যমান আলোক নিঃসরণ করে, যা Eye piece এ image সৃষ্টি করে। অবশ্য এর মধ্যে একটি Barrier filter থাকে, যা উৎসের uv-রশ্মিকে আটকে দেয়, ফলে কেবল দৃশ্যমান আলোক রশ্মি চোখে এসে পড়ে (চিত্র 1.3)।

1.5 Electron Microscope (ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্র)

এই microscope এ দৃশ্যমান আলোকরশ্মির পরিবর্তে electron ব্যবহার করা হয়। Electron-এর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য প্রায় 0.005 nm। ফলে এই মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা যৌগিক মাইক্রোস্কোপের থেকে প্রায় 40,000 গুণ বেশি হওয়ার কথা। তবে প্রযুক্তিগত প্রতিবন্ধকতার জন্য সাধারণভাবে এর বিভেদন ক্ষমতা 0.1 nm অর্থাৎ uv-মাইক্রোস্কোপের থেকেও 1000 গুণ বেশি পাওয়া যায়। যেহেতু electron-এর কোন বস্তুকে ভেদ করার ক্ষমতা খুবই সীমিত, সেই জন্য electron মাইক্রোস্কোপে পরীক্ষার জন্য অতি ক্ষুদ্র ছেদন (section) প্রয়োজন। Ultramicrotome-এর সাহায্যে এই ছেদন করা সম্ভব। ঐ microtome-এর বিশেষ পদ্ধতিতে একটি কোষ থেকে প্রায় 500টি ছেদন (50-100 nm পুরু) পাওয়া সম্ভব।

Electron মাইক্রোস্কোপ দুইপ্রকার হতে পারে, যেমন (i) ট্রান্সমিশন ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ—এখানে পরীক্ষা বস্তুর ভিতর দিয়ে electron প্রবাহিত হয় (ii) যার মাধ্যমে কোন বস্তুর উপরিতলই কেবল পরীক্ষা করা যায়। এই ক্ষেত্রে ছেদন প্রয়োজন হয় না, electron বস্তুটির উপরিতল থেকে প্রতিসরিত হয়। তবে সাধারণভাবে ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপ বলতে ট্রান্সমিশন ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ-কেই বোঝায়।

ট্রান্সমিশন ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ-এর গঠন প্রায় সাধারণ যৌগিক মাইক্রোস্কোপের অনুরূপ, কেবল দৃশ্যমান আলোর পরিবর্তে ইলেকট্রন ব্যবহার করা হয় (চিত্র 1.4)। Cathode-এর Tungsten filament থেকে electron উৎসারিত হয়ে ম্যাগনেটিক কনডেনসার লেন্স-এর মাধ্যমে কেন্দ্রীভূত হয়ে পরীক্ষা বস্তুর ভিতর দিয়ে এসে ইলেকট্রোম্যাগনেটিক অবজেকটিভ লেন্স-এর মাধ্যমে প্রথমে প্রজেকটর লেন্স এবং পরে একটি ধাতব চাদরের উপর প্রতিফলিত হয়ে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। যেহেতু electron দৃশ্যমান নয়। সেইহেতু ধাতব চাদরের উপর এর প্রতিবিম্ব সৃষ্ট করা হয়। ইলেকট্রনের গতিপথ যাতে বিঘ্নিত না হয়, সেইজন্য ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপের অভ্যন্তর বায়ুশূণ্য করা হয়। অন্যদিকে পরীক্ষা বস্তুও বিশেষভাবে প্রস্তুত করা হয়। মাইক্রোস্কোপের অভ্যন্তরের ভ্যাকুয়াম (vacuum) ঠিক রাখার জন্য পরীক্ষা বস্তু সম্পূর্ণভাবে জলশূণ্য (dehydrated) করা প্রয়োজন।



চিত্র 1.4 ঃ ট্রান্সমিশন ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের (TEM) নকশাগত প্রতিরূপ ও কার্যপদ্ধতি।

1.6 সারাংশ

কোষ পরীক্ষার প্রধান অন্তরায় কোষ ও কোষ-অঙ্গাণু সমূহের অতি ক্ষুদ্রাকৃতি ও স্বচ্ছতা। তাই কোষ পরীক্ষার জন্য প্রথম ও প্রধান প্রয়োজন অনুবীক্ষণ যন্ত্র যা বিবর্ধন ও বিভেদনে সক্ষম। সাধারণভাবে এই জন্য যৌগিক অনুবীক্ষণ যন্ত্র ব্যবহার করা হয়। ঐ মাইক্রোস্কোপ-এ দৃশ্যমান আলোক রশ্মি ব্যবহার করা হয়, এবং এর মাধ্যমে পরীক্ষার জন্য কোষ বা কলাসমূহকে সংবন্ধন ও বিশেষভাবে রঞ্জিত করা প্রয়োজন। কোষকে সরাসরি দেখবার জন্য, বিশেষতঃ জীবন্ত কোষ পরীক্ষার জন্য ফেজ কনট্রাষ্ট মাইক্রোস্কোপ ব্যবহার করা হয়। এই মাইক্রোস্কোপে কোষের বিভিন্ন বস্তুর ঘনত্বের ভিত্তিতে তরঙ্গ দৈর্ঘ্যের যে বিচ্যুতি ঘটে, তাকে ব্যবহার করা হয়। দৃশ্যমান আলোর তরঙ্গ দৈর্ঘ্য, অপেক্ষাকৃত বেশি হওয়ায় সাধারণ মাইক্রোস্কোপের বিভেদন ক্ষমতা সীমিত। ঐ ক্ষমতার বৃদ্ধির জন্য uv-rays বা ইলেকট্রন ব্যবহার করে বিভেদন ক্ষমতা যথাক্রমে দ্বিগুন এবং

কমপক্ষে 2000 গুণ বৃদ্ধি করা হয়েছে। প্রতিপ্রভাযুক্ত রঞ্জক ব্যবহার করে কোষের অণ্বাণু সমূহ বা ক্ষুদ্রতর উপাদান যেমন মাইক্রোটিউবিউল বা নির্দিষ্ট প্রোটিনের অবস্থান নির্ণয় করা যায়। এই উদ্দেশ্যে ফ্লুওরেসেন্স (fluorescence) মাইক্রোস্কোপ ব্যবহার করা হয়। ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ কোষের অতিক্ষুদ্র উপাদান সমূহ পরীক্ষায় অতিশয় প্রয়োজনীয়। তবে এটি খুবই ব্যয়বহুল এবং এর ব্যবহারও বেশ জটিল।

1.7 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

   (ক) সাধারণ মাইক্রোস্কোপের সর্বাধিক বিভেদন ক্ষমতা _____ mμ.

   (খ) বিভেদন ক্ষমতা আলোক রশ্মির _____ এবং objective lens-এর _____ উপর নির্ভরশীল।

   (গ) Rhodamine একটি _____ রঞ্জক।

   (ঘ) Cathode-এর _____ filament থেকে _____ উৎসারিত হয়।

2. টীকা লিখুন বা অল্পকথায় উত্তর দিন ঃ

   (ক) মাইক্রন, ন্যানোমিটার ও অ্যাংস্ট্রম এর মধ্যে সম্পর্ক।

   (খ) Ultramicrotome বা আলট্রামাইক্রোটোম।

   (গ) Fluorescence বা ফ্লুওরোসেন্স।

   (ঘ) ফেজ কনট্রাস্ট মাইক্রোস্কোপ।

3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সহজ উত্তর দিন ঃ

   (ক) ফ্লুওরোসেন্স মাইক্রোস্কোপ সম্বন্ধে সংক্ষেপে লিখুন।

   (খ) ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ কয়প্রকার? পার্থক্য কি? যৌগিক ও ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ এর গঠন এবং তুলনামূলক আলোচনা করুন।

1.8 উত্তরমালা

1. (ক) 1.2.1, (খ) 1.2.1, (গ) 1.4, (ঘ) 1.5।
2. (ক) 1.2, (খ) 1.5, (গ) 1.4, (ঘ) 1.3।
3. (ক) 1.4 দেখুন।

   (খ) 1.2 ও 1.5 দেখে তুলনামূলক আলোচনা করুন।

একক 2 ❑ ইউক্যারিওটিক কোষের বিন্যাস—কোষ অন্তস্থ অঙ্গাণুর প্রকৃতি ও রাসায়নিক গঠন

গঠন

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

2.2 ইউক্যারিওটিক কোষের গঠন ও বিন্যাস

2.2.1 কোষপর্দা

2.3 সাইটোপ্লাজমের বিভিন্ন উপাদান

2.3.1 এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা

2.3.2 রাইবোজোম

2.3.3 মাইটোকন্ড্রিয়া

2.3.4 গলগি বডি বা গলগি বা ডিক্টিওসোম

2.3.5 লাইসোজোম

2.3.6 প্লাস্টিড্স

2.3.7 অন্যান্য অঙ্গাণু

2.3.8 হায়ালোপ্লাজম বা সাইটোসল

2.4 নিউক্লিয়াস

2.5 সারাংশ

2.6 প্রশ্নাবলী

2.7 উত্তরমালা

2.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

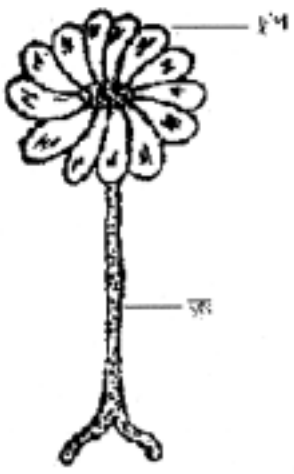
জীবজগত দুটি বৃহৎ গোষ্ঠীতে বিভক্ত, প্রোক্যারিওটিক ও ইউক্যারিওট। যে সব জীবের কোষে নিউক্লিয়াস বর্তমান তাদের ইউক্যারিওট বলে। মোটামুটি ব্যাকটেরিয়া ও ভাইরাস ব্যতীত অন্যসব জীবই ইউক্যারিওটের অন্তর্গত, ভাইরাস ও ব্যাকটেরিয়া প্রোক্যারিওট হিসাবে গণ্য হয়। কারণ এদের সংগঠিত নিউক্লিয়াস নেই। এছাড়াও অবশ্য ইউক্যারিওট ও প্রোক্যারিওটের মধ্যে অনেক মৌল পার্থক্য দেখা যায়।

প্রান্তলিপি 2.1 এ কয়েকটি পার্থক্যের উল্লেখ করা হল।

প্রান্তলিপি 2.1 : প্রোক্যারিওট ও ইউক্যারিওটের মধ্যে কয়েকটি পার্থক্য

বৈশিষ্ট্য	প্রোক্যারিওটিক কোষ	ইউক্যারিওটিক কোষ
1. পর্দা আবরিত নিউক্লিয়াস	নেই	আছে
2. আয়তন	খুবই ক্ষুদ্র, কয়েক মাইক্রণের বেশি নয়	10 থেকে 50 গুণ অথবা আরও বড়।
3. কোষ-অন্তস্থ অঙ্গাণু	নেই	আছে।
4. মাইক্রোটিউবিউল্, মাইক্রোফিলামেন্ট	নেই	আছে।
5. জেনেটিক উপাদান	DNA অথবা RNA যা নগ্ন অবস্থায় থাকে।	DNA, প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে chromatin তৈরি করে।
6. DNA-এর আকার	গোলাকার (সাধারণভাবে)	রৈখিক।
7. RNA-প্রক্রিয়াকরণ	খুব কম ক্ষেত্রে হয়	প্রভূতভাবে ঘটে।
8. রাইবোসোম	তিন প্রকার rRNA ও 80 অনু প্রোটিন দ্বারা গঠিত। অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রাকার (70S)।	চারপ্রকার rRNA ও 80 অনু প্রোটিন দ্বারা গঠিত। অপেক্ষাকৃতভাবে বড় (80S)।

যেহেতু আদিমতম ইউক্যারিওটিক যেমন প্রোটোজোয়া থেকে উচ্চতম প্রাণীর কোষ একইভাবে গঠিত, কোষ অন্তস্থ অঙ্গাণু সমূহের প্রকৃতি ও গঠন এবং কার্যাবলী একই প্রকারের, সেই কারণে সাধারণভাবে একটি ইউক্যারিওটিক কোষের বিন্যাস জানা বিশেষভাবে প্রয়োজন। আমরা পরবর্তী কয়েক অধ্যায়ে এই সম্বন্ধে কিছু কিছু আলোচনা করবো। বর্তমান অধ্যায় পাঠে আমরা কোষের প্রাথমিক গঠন সম্পর্কে জানতে পারবো এবং কোষ অন্তস্থ অঙ্গাণু সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা নেবো। পরবর্তী অধ্যায়ে বিশেষ কয়েকটি অঙ্গাণু সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করবো।

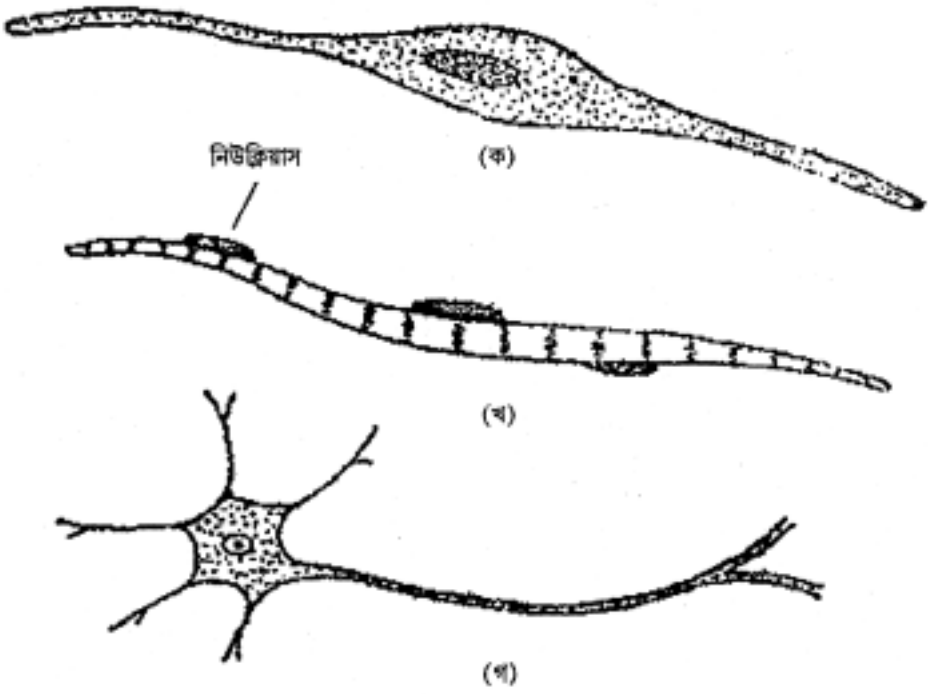


চিত্র 2.1 : এককোষী।

2.2 ইউক্যারিওটিক কোষের গঠন ও বিন্যাস

কোষকে জীবের গঠনগত ও কার্যগতভাবে যৌগ উপাদান হিসাবে গণ্য করা হয়। সাধারণভাবে ইউক্যারিওটিক কোষের আয়তন 10-50 μm, তবে ক্ষুদ্রতর বা বৃহৎ আকারের কোষও দেখা যায়। *Acetabularia* (এসিটাবুল্যারিয়া) একটি সামুদ্রিক এককোষী শৈবাল যেটি আকারে 10 cm ও হতে পারে (চিত্র 2.1)। মানুষের স্নায়ুকোষ শাখা প্রশাখাসহ 3 ফুটেরও বেশি লম্বা হতে পারে।

কোষের নির্দিষ্ট কোন আকৃতি নেই, তবে সাধারণভাবে উদ্ভিদ কোষ আয়তাকার এবং প্রাণীকোষ গোলাকার, তবে বিভিন্ন আকৃতিরও হতে পারে, যেমন স্নায়ুকোষ বা পেশি কোষ। পেশিকোষ সূচালো, স্নায়ুকোষ শাখাপ্রশাখা যুক্ত (চিত্র 2.2)।



চিত্র 2.2 ঃ (ক ও খ) পেশি কোষ (গ) নার্ভ কোষ।

একটি আদর্শ ইউক্যারিওটিক কোষের মধ্যে দুটি বিশেষ ভাগ দেখা যায়। কোষের মধ্যে কোষ অন্তস্থ গোলাকার নিউক্লিয়াস (nucleus) সুস্পষ্ট রূপে প্রতিভাত হয়; নিউক্লিয়াস ব্যতীত কোষের বাকি অংশ সাইটোপ্লাজ্‌ম্‌ (Cytoplasm) নামে পরিচিত। উদ্ভিদকোষে সাইটোপ্লাজ্‌মের বাইরে একটি শক্ত কোষ-প্রাচীর (Cell wall) পাওয়া যায়, যা কোষকে দৃঢ়তা প্রদান করে। কোষ প্রাচীর মৃত এবং কোষের বাইরের অংশ, কোষের জৈবিক কার্যাবলীকে অংশগ্রহণ করে না। কোষ প্রাচীরের গঠন ও অন্যান্য বিষয় শারীর গঠনতন্ত্র

(anatomy)-র অন্তর্গত, বর্তমানে আমরা এ বিষয়ে আলোচনা করবো না। প্রাণীকোষে কোষপ্রাচীর নেই। ছত্রাকে কোষপ্রাচীর পাওয়া যায় বটে, তবে তার গঠন উদ্ভিদ কোষ প্রাচীর থেকে ভিন্ন।

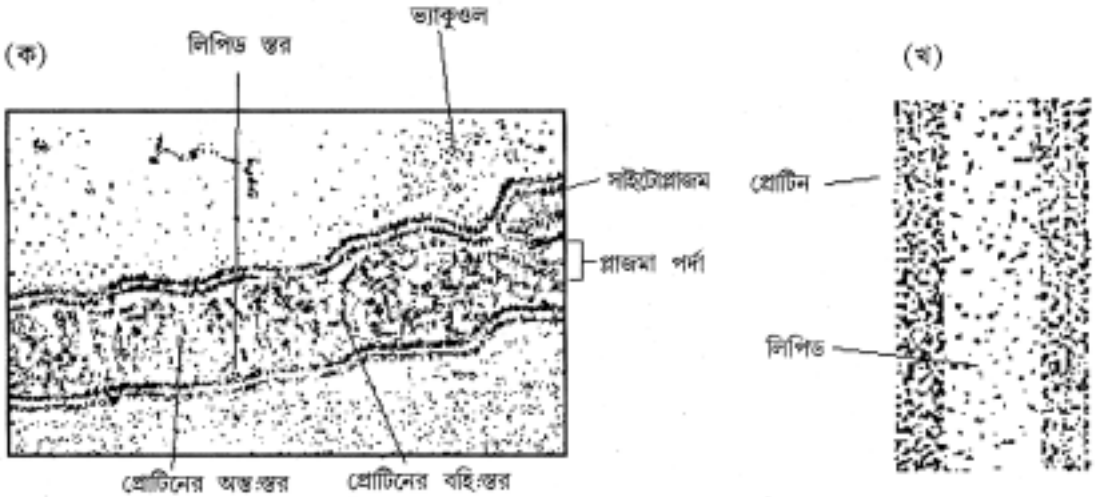
উদ্ভিদ বা প্রাণী, সকল কোষের সজীব অংশ অর্থাৎ প্রোটোপ্লাজম কোষপর্দা বা প্লাজমা পর্দা (cell membrane বা plasma membrane) দ্বারা আবৃত থাকে; উদ্ভিদকোষে কোষপর্দার বাইরে কোষপ্রাচীর থাকে।

2.2.1 কোষপর্দা

কোষপর্দা জীবন্ত নমনীয়, ছিদ্রযুক্ত অর্ধভেদ্য ঝিল্লি। কোষপর্দা 75-100 Å বেধবিশিষ্ট, যা কেবল ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপ ব্যবহারে দেখা যায়। কোষপর্দা দুটি প্রোটিন স্তর দ্বারা গঠিত এবং দুটি স্তরের মাঝখানে একটি লিপিড স্তর থাকে (চিত্র 2.3 ক, খ)। প্রোটিন স্তর দুটির বেধ 20-25 Å, এবং লিপিড স্তর 35 Å। প্রোটিনের ধনাত্মক (+) চার্জ এবং লিপিডের ঋণাত্মক (–) চার্জ স্থায়ী তড়িতের স্থায়িত্ব প্রদান করে। কোষপর্দার কোন কোন স্থানে 8-10 Å ব্যাস যুক্ত ছিদ্র দেখা যায়। এই পর্দা কোষের অভ্যন্তরস্থ বস্তুসমূহ রক্ষা করে। এর প্রধান কাজ কোষের বাইরে থেকে ভিতরে এবং তদ্বিপরীতে বিভিন্ন পদার্থের চলাচলকে নিয়ন্ত্রণ করা।

2.3 সাইটোপ্লাজমের বিভিন্ন উপাদান

কোষপর্দা আবরিত নিউক্লিয়াস ব্যতিরেকে কোষের সমস্ত অংশ সাইটোপ্লাজম নামে পরিচিত। সাইটোপ্লাজমের মধ্যে দুধরণের বস্তু দেখা যায়—(ক) কোষ অঙ্গাণু, যেমন মাইটোকন্ড্রিয়া, গলগি ইত্যাদি এবং (খ) প্রোত পদার্থ, যেমন সঞ্চিত খাদ্য, রঞ্জক ও বিভিন্ন জৈব ও অজৈব পদার্ধ। প্রোতপদার্থগুলি কোষের জীবন্ত উপাদান নয়।



চিত্র 2.3 ঃ প্লাজমা মেমব্রেণের সূক্ষ্ম গঠন।

2.3.1 এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা (Endoplasmic reticulum)

সাইটোপ্লাজমের মধ্যে অসংখ্য ঝিল্লিসদৃশ সূক্ষ্মনালিকা দেখা যায়। যা একটি জালিকা সৃষ্টি করে যেটি এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম নামে পরিচিত। ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা দৃশ্যগোচর হয়। এটিও কোষপর্দার ন্যায় প্রোটিন ও লিপিড দ্বারা তৈরি এবং কোষপর্দা থেকে নিউক্লিয় পর্দা পর্যন্ত বিস্তৃত, এবং কোন কোন স্থানে উভয় পর্দার সঙ্গে যোগও দেখা যায়। নালিকাগুলি অনেক সময় বাইরের দিকে রাইবোজোম কণা যুক্ত দেখা যায়। তখন ঐ জালিকাকে অমসৃণ বা rough বলে। অন্যথা এটি মসৃণ (smooth) হয়।

এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা প্রধানতঃ তিনটি ভিন্ন রূপে পাওয়া যায়, যেমন (i) cisternae or lamellae (সিস্টার্নি বা ল্যামেলি)—যেগুলি লম্বা ও চ্যাপ্টা 40-50 μm বেধ যুক্ত এবং সমান্তরালভাবে সজ্জিত থাকে। (ii) Vesicle (ভেসিক্‌ল্‌)—এগুলি সাধারণতঃ গোলাকার 25 থেকে 500 μm ব্যাসযুক্ত এবং (iii) টিউবিউল (tubules)—এগুলি বিভিন্ন আকার বিশিষ্ট (চিত্র 2.4)। বিভিন্ন ধরণের জালিকা একই কোষে পাওয়া যেতে পারে অথবা একই কোষের মধ্যে বিভিন্ন কার্য সমাধানের জন্য বিভিন্ন সময়ে এই বিভিন্ন রূপ দেখা যেতে পারে। Secretory কোষ সমূহে সাধারণতঃ সিস্টার্নির আধিক্য দেখা যায়।

এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলামের কার্যাবলী ভিন্ন প্রকার হতে পারে। কোষ অন্তস্থ ক্ষরিত পদার্থ (secretory products) ঐ নালিকার মধ্যে সঞ্চিত থাকতে পারে এবং ঐ নালিকা তন্ত্রের মাধ্যমে ঐ সমস্ত বস্তু কোষের একস্থান থেকে অন্যস্থানে পরিবাহিত হয়। লিপিড্‌ গ্লাইকোজেন প্রভৃতির সংশ্লেষণে প্রয়োজনীয় উৎসেচক সমূহ ও ঐ জালিকার দ্বারা পরিবাহিত হয়। এর মাধ্যমে কোষপর্দা থেকে কোষ অভ্যন্তরে উত্তেজনা প্রবাহ প্রবাহিত হতে পারে।

চিত্র 2.4 : এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম, Cisternae, Vesicles ও tubules।

2.3.2 রাইবোজোম (Ribosome)

এগুলি 100 থেকে 150Å ব্যাস যুক্তকণা যেগুলি প্রোটিন সংশ্লেষণের ফ্যাক্টরি হিসাবে গণ্য হয়। কিছু কিছু রাইবোজোম এন্ডোপ্লাসমিক জালিকার সঙ্গে যুক্ত থাকে। কিছু রাইবোজোম মুক্ত (free) অবস্থাতেও পাওয়া

পাওয়া যায়। প্রোক্যারিওটিক কোষে ও রাইবোজোম দেখা যায়। স্বভাবতই সেগুলি মুক্ত। প্রকৃত অর্থে রাইবোজোম কোষ অঙ্গাণু নয়, কারণ এগুলি পর্দা আবরিত নয়। রাইবোজোম কণা রাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড ও কিছু নির্দিষ্ট প্রোটিন দ্বারা গঠিত। রাইবোজোমের RNA গুলিও বিশেষ প্রকারের, এদের ribosomal RNA বা rRNA বলা হয়। rRNA চারটি বিশেষ প্রকারের হতে পারে, যেগুলি 28(26)S, 18(16)S, 5.5S ও 5S নামে পরিচিত। পরবর্তী এক অধ্যায়ে আমরা ribosome এর গঠন ও কার্যাবলী কিছু বিশদভাবে আলোচনা করবো। যেহেতু প্রায় সমস্ত রাইবোজোমাল RNA নিউক্লিওলাসে তৈরি হয়। সুতরাং নিউক্লিওলাস আলোচনা প্রসঙ্গেও রাইবোজোমের কিছু আলোচনা এসে পড়বে।

2.3.3 মাইটোকন্ড্রিয়া (Mitochondrion/mitochondria)

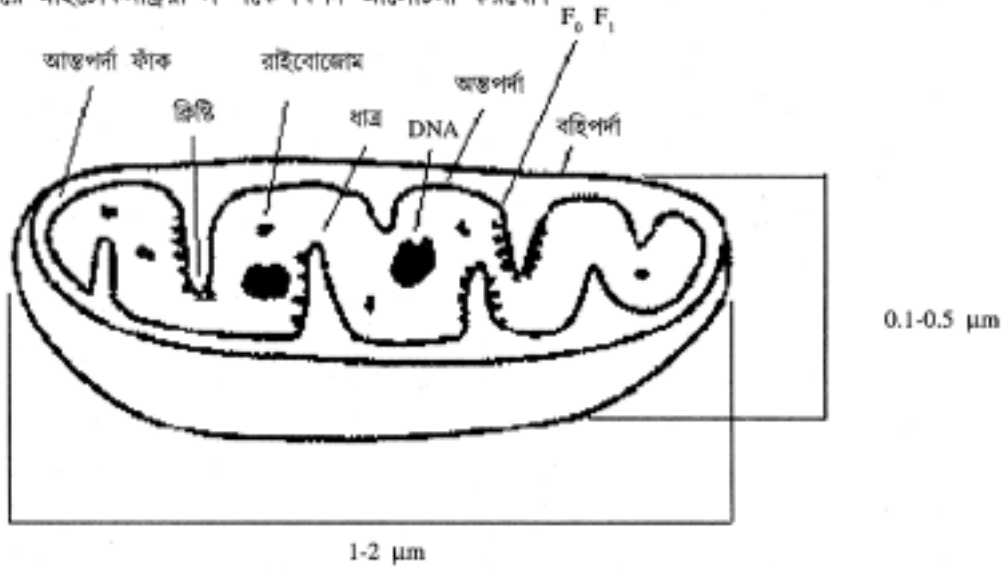
সাধারণ অনুবীক্ষণ যন্ত্রে বা ফেজ কনট্রাষ্ট অনুবীক্ষণ যন্ত্রে সাইটোপ্লাজমের মধ্যে বেশ কিছু সংখ্যক রড্ (rod বা দন্ড) আকারের অঙ্গাণু দেখা যায়, যেগুলি মাইটোকন্ড্রিয়া নামে পরিচিত। এগুলি সাধারণভাবে 2-8 μm লম্বা এবং 0.5 μm ব্যাস যুক্ত। Benda (বেন্ডা) 1898 খ্রীষ্টাব্দে এদের নামকরণ করেন মাইটোকনড্রিয়া।

ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে মাইটোকনড্রিয়ার গঠন সম্পর্কে অনেক তথ্য জানা গেছে। মাইটোকনড্রিয়ার গঠন সম্পর্কে অনেক তথ্য জানা গেছে। মাইটোকনড্রিয়া দুটি মেমব্রেন বা পর্দা দ্বারা আবৃত। এগুলি বহিপর্দা (Outer membrane) ও অন্তপর্দা (inner membrane)। পর্দাগুলি লিপিড ও প্রোটিন দ্বারা তৈরি এবং প্রতিটি পর্দা 75 Å বেধ যুক্ত। দুটি পর্দার মাঝখানে 20-60 Å ফাঁক থাকে যা অন্তপর্দা ফাঁক (inter membranous space) নামে পরিচিত। এই অঞ্চলে বিভিন্ন উৎসেচক পাওয়া যায়। অন্তপর্দা মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরের দিকে অঙ্গুলির ন্যায় অভিক্ষেপ প্রসারিত থাকে (চিত্র 2.5) যেগুলি Cristae (ক্রিষ্টি) নামে পরিচিত। মাইটোকনড্রিয়ার ভিতরের অংশকে ধাত্র বলে। ধাত্রের মধ্যে অন্তপর্দার ক্রিষ্টির সঙ্গে যুক্ত সারিবদ্ধ কণা রাশি দেখা যায়, যেগুলি F particle (কণা) নামে পরিচিত। এগুলির মধ্যে ATPase বা ATP synthatase উৎসেচক পাওয়া যায়। ক্রিষ্টি মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে উৎসেচকের ক্রিয়াকলাপের জন্য অতিরিক্ত স্থান সঙ্কুলান করে।

মাইটোকনড্রিয়ার বহিপর্দায় জারণ বা oxidation এর জন্য প্রয়োজনীয় উৎসেচক সমূহ এবং অন্তপর্দায় electron transfer এর সঙ্গে যুক্ত উৎসেচক সমূহ পাওয়া যায়। কোষের শ্বাসকার্যের জন্য এইসব উৎসেচক বিশেষভাবে যুক্ত। এইজন্য মাইটোকন্ড্রিয়াকে কোষের শক্তি উৎপাদন কারখানা বা power house বলা হয়।

মাইটোকনড্রিয়ার ধাত্রের মধ্যে DNA অনু পাওয়া যায়, যেগুলি—গোলাকার, প্রোক্যারিওটিক জেনেটিক উপাদানের মতো। মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে বিভিন্ন ধরনের RNA পাওয়া যায়। মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে নিজস্ব ribosome অনুও বর্তমান, যেগুলি prokaryotic কোষের অনুরূপ। এর মধ্যে কিছু প্রোটিন সংশ্লেষণে প্রয়োজনীয় উৎসেচক, এবং কয়েকটি প্রোটিনের সংশ্লেষণও দেখা যায়। এইজন্য মাইটোকনড্রিয়াকে আংশিক স্বশাসিত (semi autonomous) অঙ্গাণু বলা হয়। প্রোক্যারিওটিক কোষের সঙ্গে মাইটোকনড্রিয়ার অনেক সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। ধারণা করা হয় মাইটোকনড্রিয়াগুলি বিশেষ কোন প্রোক্যারিওটের বর্তমান রূপ যা

বিবর্তনের কোন ধাপে ইউক্যারিওটিক কোষের মধ্যে মিথোজীবিতা অর্জন করে। আমরা পরবর্তী কোন অধ্যায়ে মাইটোকনড্রিয়া সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করবো।



চিত্র 2.5 ঃ মাইটোকন্ড্রিয়ার ত্রিমাত্রিক নকশা।

2.3.4 গলগি বডি বা গলগি কমপ্লেক্স বা ডিক্টিওসোম (Golgi body/Golgi Complex/Dictyosome)

কোষের মধ্যে গলগি কম্প্লেক্স্ এর উপস্থিতি ক্যামিলো গলগি (Camillo Golgi) নামে এক ইতালিয় বৈজ্ঞানিক প্রথম লক্ষ্য করেন। সেই হিসাবে এদের এরূপ নামকরণ হয়। গলগি বডি বা Complex-এর উপস্থিতি সম্পর্কে একসময় বহু বিতর্ক সৃষ্টি হয় এবং এদের বিভিন্ন নাম দেওয়া হয়। তবে বর্তমানে এদের সাধারণভাবে গলগি বডি বা গলগি কমপ্লেক্স বলা হয়। অনেকক্ষেত্রে যেমন অমেরুদন্ডী প্রাণী কোষে এদের dictyosome নামে অভিহিত করা হয়।

যৌগিক মাইক্রোস্কোপে এদের চাক্তির ন্যায় দেখায়, তবে এদের বিন্যাস পরীক্ষার জন্য ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপ প্রয়োজন হয়। এগুলিকে তখন পর্দা আবরিত মুক্ত স্থানের মতো মনে হয়। পর্দা বা unit membrane 60 Å বেধযুক্ত ফসফোলিপিড্ ও প্রোটিন দ্বারা গঠিত। Endoplasmic recticulum এর মতো গলগি বডি ও ভিন্নরূপে দেখা যায়, যেমন (i) cisternae বা lamellae (ii) Vacuoles, (iii) Vesicles. Cisternae গুলি পরপর সাজানো (stacked) থাকতে পারে (চিত্র 2.6)। Cisternae-র এককগুলি বক্র বা নলাকার বা সুত্রবৎ হতে পারে। এদের মধ্যে 150 Å space বা ফাঁক থাকে। ভ্যাকুওলগুলি বৃহৎ আকারের থলির ন্যায় এবং সিস্টার্নির সঙ্গে সহাবস্থান করে; অন্যদিকে ভেসিক্ল্গুলি (vesicles) গুচ্ছাকার হয় এবং ক্ষুদ্র গহ্বরের ন্যায় দেখায়। ধারণা করা হয়, এগুলি সিস্টার্নির থেকে কর্তিত হয়ে সৃষ্ট হয়। ভেসিক্ল্গুলি 40-80 Å ব্যাসযুক্ত হয়।

গলগির সঙ্গে এন্ডোপ্লাজমিক জালিকার গঠনের মিল থেকে এবং এদের প্রত্যক্ষ সংলগ্নতা থেকে অনুমান করা হয় যে গলগি বডি ঐ জালিকা থেকে উৎপন্ন হয়। এদের কার্যপ্রণালীতেও সাদৃশ্য লক্ষ্য করা যায়। কিছু প্রোটিন বা উৎসেচক রাইবোসোমে গঠিত হবার পর এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা মাধ্যমে গলগি কম্‌প্লেক্সের মধ্যে দেখা দেয়, এগুলি পরে secretory ভেসিক্‌ল্‌ থেকে মুক্ত হয়ে কোষের যে স্থানে প্রয়োজন যেখানে নীত হয় এবং নিজস্ব কার্য সম্পাদন করে। গলগি বডির মধ্যে প্রোটিন ও লিপিড ও জমা থাকে এবং এরা শর্করা ও বিভিন্ন রকম হরমোন সংশ্লেষণে সাহায্য করে।

চিত্র 2.6 ঃ গলগির ত্রিমাত্রিক নকশা চিত্র।

2.3.5 লাইসোজোম (Lysosomes)

লাইসোজোম কোষের পাচনে সাহায্য করে। যৌগিক মাইক্রোস্কোপে এদের দেখা যায় না। এদের pericanalicular dense body বা নালিকা (পরিসীমাস্থ ঘন বস্তু) হিসাবে বর্ণনা করা হয়। 1955 খ্রীষ্টাব্দে ক্রিশ্চিয়ান ডি-ডিউভ (Christian de-Deuve) দেখালেন এরা উৎসেচক বহনকারী ক্ষুদ্রথলি বিশেষ এবং তিনি এদের নতুন নামকরণ করেন lysosome বা digestive body।

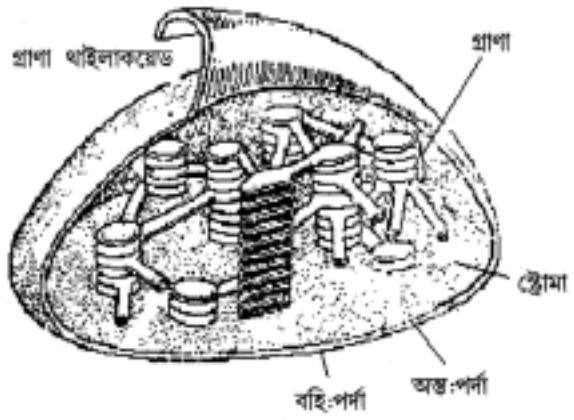
লাইসোজোমগুলি ক্ষুদ্র গোলাকার ভ্যাকুওলার (Vacuslar) অবয়ব যা লাইপো প্রোটিন পর্দা দ্বারা আবরিত থাকে। 24টি বিভিন্ন ধরনের আর্দ্রবিশ্লেষক (hydrolytic) উৎসেচক এর মধ্যে পাওয়া যায়। সাধারণভাবে লাইসোজোমের কার্যাবলী দুপ্রকারের। (1) কোষ-প্রবিষ্টকারী বৃহৎ অনু ও জীবানুগুলির পরিপাক (2) বিভিন্ন কারণে দেহস্থ মৃতকোষের পরিপাক। লাইসোজোমের গঠন ও কার্যাবলী আমরা পরবর্তী এক অধ্যায়ে আলোচনা করবো।

2.3.6 প্লাস্টিড্‌স্‌ (Plastids)

প্লাস্টিড্‌ অনুবীক্ষণীয় অঙ্গাণু যা কেবলমাত্র উদ্ভিদ কোষে দেখা যায় (ব্যতিক্রম *Euglena* প্রভৃতি এককোষী

প্রাণী)। প্লাস্টিড্ তিন প্রকারের হতে পারে, লিউকোপ্লাষ্টস্ (leucoplasts), ক্লোরোপ্লাষ্টস (chloroplasts) ও ক্রোমোপ্লাষ্টস্ (chromoplasts)। লিউকোপ্লাষ্ট বর্ণহীন, ষ্টার্চকণাবাহী, ক্লোরোপ্লাষ্ট সবুজ chlorophyll ও অন্যান্য রঞ্জক বহনকারী এবং ক্রোমোপ্লাষ্ট রঙিন প্লাষ্টিড। ক্লোরোপ্লাষ্ট উদ্ভিদ কোষের বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গাণু, কারণ ক্লোরোপ্লাষ্ট ব্যতিরেকে সালোকসংশ্লেষণ সম্ভব নয়। কোষের মধ্যে ক্লোরোপ্লাষ্টের সংখ্যা বিভিন্ন হতে পারে। ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে সবুজ পিগমেন্ট—ক্লোরোফিল A, ক্লোরোফিল B এবং আরও দুটি পিগমেন্ট Xanthophyll ও Carotene (জ্যান্থোফিল ও ক্যারোটিন) বর্তমান থাকে। Chloroplast কণা অর্ধভেদ্য দ্বিস্তরযুক্ত পর্দা আবরিত। পর্দাগুলি 150 Å বেধযুক্ত এবং প্রোটিন ও লিপিড দ্বারা গঠিত। ক্লোরোপ্লাষ্ট এর আকার ও আয়তন বিভিন্ন প্রকার হওয়া সম্ভব, তবে উচ্চতর উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এগুলি সাধারণতঃ 6 μm ব্যাসযুক্ত উপবৃত্তীয় বা লেন্স আকারের। ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে বর্ণহীন ধাত্র (matrix) দেখা যায়। ধাত্রের মধ্যে বর্ণহীন ষ্ট্রোমা (stroma) এবং সবুজ রঙের গ্রাণা (Grana) দেখা যায় (চিত্র 2.7)। একটি Chloroplast এ 40-60টি গ্রাণা পাওয়া যায়। এগুলি 0.4 μm থেকে 0.8 μm ব্যাস যুক্ত এবং একটির পর একটি সজ্জিত থাকে (stacked)। Grana গুলি প্রকৃতপক্ষে কতগুলি thylakoid vesicle এর সমন্বয়। থাইলাকয়েড ভেসিক্‌ল গুলি থাইলাকয়েড পর্দা পরিবেষ্টিত এবং ঐ পর্দার মধ্যে chlorophyll সহকারী রঞ্জক গুলি বর্তমান থাকে। আলোকশোষণে এই পর্দাই একমাত্র উপযোগী উপাদান। থাইলাকয়েড গুলি গ্রাণা লামেলা নামেও পরিচিত। এছাড়া ধাত্রের মধ্যে বর্ণহীন ষ্ট্রোমা lamella ও দেখা যায়।

মাইটোকনড্রিয়ার ন্যায় ক্লোরোপ্লাষ্টে ও গোলাকৃতি DNA অনু দেখা যায়। এরাও আংশিক স্বশাসিত অর্থাৎ ক্লোরোপ্লাষ্টের প্রয়োজনীয় কিছু প্রোটিন ও উৎসেচক ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যেই তৈরি হয়। মাইটোকনড্রিয়ার ন্যায় ক্লোরোপ্লাষ্টকেও অর্ধস্বশাসিত মিথোজীবি প্রোক্যারিওট হিসাবে গণ্য করা হয়। আমরা পরবর্তী কোন অধ্যায়ে ক্লোরোপ্লাষ্ট সম্পর্কে বিশেষ আলোচনা করবো।



চিত্র 2.7 : ক্লোরোপ্লাষ্টের ত্রিমাত্রিক গঠন

2.3.7 অন্যান্য অঙ্গাণু (Other Organelles)

সাইটোপ্লাজমীয় উপরোক্ত অঙ্গাণু ছাড়াও আরো কয়েকটি ক্ষুদ্র অঙ্গাণু যেমন peroxisome (পেরোক্সিসোম), glyoxysome (গ্লাইক্সিসোম) Centrosome (সেন্ট্রোসোম) প্রভৃতি কোষের মধ্যে পাওয়া যায়। অবশ্য Centrosome কেবলমাত্র প্রাণীকোষে এবং নিম্নবর্গীয় উদ্ভিদকোষে দেখা যায়। Centrosome থেকে কোষ বিভাজনের পূর্বে বিভাজনে সহায়তাকারী মাইক্রোটিবিউলস উৎপন্ন হয় (বোভারি, Boveri, 1888)। একটি Centrosome-এর মধ্যে দুটি centriole দেখা যায়। centriole থেকে Spindle apparatus তৈরি হয়, যা কোষ বিভাজনের সময় ক্রোমোসোমের বিচলনে সাহায্য করে।

2.3.8 হায়ালোপ্লাজম বা সাইটোসল (Hyaloplasm or Cytosol)

অঙ্গাণুগুলি বাদ দিয়ে Cytoplasm-এর বাকি অংশ হায়ালোপ্লাজম বা সাইটোসল নামে পরিচিত। এটি Colloid ধর্মী। এর মধ্যে প্রচুর পরিমাণ জল ও বিভিন্ন বস্তুকণিকা উপস্থিত থাকে, এবং কিছু বস্তু দ্রবীভূত অবস্থায় পাওয়া যায়, এবং কিছু থাকে প্রলম্বিত (suspended)। সাইটোসলের মধ্যে বিভিন্ন জৈব পদার্থ যেমন ষ্টার্চ, চর্বিজাতীয় পদার্থ, অ্যামাইনো অ্যাসিড, রাইবোপ্রোটিন, বিভিন্ন উৎসেচক প্রভৃতি পাওয়া যায়। এছাড়া কিছু অজৈব যেমন Na ও K এর লবণ, এবং কিছু ধাতব পদার্থও পাওয়া যায়। Hyaloplasm-কে অনেক ক্ষেত্রে ectoplasm (বাইরের অংশ) ও endoplasm (ভিতরের অংশ) হিসাবে ভাগ করা যায়। Hyaloplasm এর মধ্যে কিছু রঞ্জক যেমন melanin (প্রাণীর ক্ষেত্রে), anthocyanin (অ্যান্থোসিয়ানিন—উদ্ভিদে) পাওয়া যায়।

2.4 নিউক্লিয়াস (Nucleus)

কোষের সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ ও অপরিহার্য অঙ্গ নিউক্লিয়াস। (রক্তের red blood cell বা RBC তে nucleus থাকে না, তবে এটি একটি প্রান্তিক কোষ)। সাধারণতঃ কোষে একটি নিউক্লিয়াস থাকে, এবং কোষটি uninucleate বা mononucleate হিসাবে পরিচিত হয়। অনেক কোষে একাধিক নিউক্লিয়াস থাকে, তখন এরা binucleate বা multinucleate হিসাবে পরিচিত। নিউক্লিয়াস সাধারণতঃ গোলাকৃতি বা উপবৃত্তীয় হয়, তবে এর আকার ভিন্নরূপও হতে পারে। কোষের জেনেটিক উপাদানসমূহ, বার্তাবাহী ও অন্যান্য RNA নিউক্লিয়াসের মধ্যে সৃষ্ট হয়। নিউক্লিয়াসের মধ্যে একটি বিশেষ অবয়ব—নিউক্লিওলাস (nuclealus) দেখা যায়, যা রাইবোজোম জীবজনিতে কার্যকরী ভূমিকা নেয়। নিউক্লিয়াস একটি দ্বিস্তরীয় পর্দা আবরিত। কোষের স্বাভাবিক কার্যের প্রয়োজনে নিউক্লিয়াস ও সাইটোপ্লাজম্ পরস্পর গভীরভাবে নির্ভরশীল এবং সেইকারণে উভয়ের মধ্যে বিভিন্ন অণুর ও বার্তার আদান প্রদান ঘটে, যা নিউক্লিয় আবরণীর (nuclear envelope) ছিদ্র বা pore এর মাধ্যমে ঘটে থাকে। আমরা পরবর্তী কোন এক অধ্যায়ে নিয়ক্লিয়াস সম্পর্কে বিশদ আলোচনা করবো।

2.5 সারাংশ

ইউক্যারিওটিক কোষ সাধারণতঃ 10-50 μm আয়তনের হয়ে থাকে, এদের নির্দিষ্ট কোন আকার নেই, তবে প্রাণীকোষ সাধারণতঃ গোলাকার এবং উদ্ভিদকোষ আয়তাকার হয়। কোষ সাইটোপ্লাজম ও নিউক্লিয়াস দ্বারা গঠিত। উদ্ভিদকোষের বহির্ভাগে কোষপ্রাচীর থাকে। সাইটোপ্লাজম 70-100 Å বেধ বিশিষ্ট কোষপর্দা বা প্লাজমা পর্দা দ্বারা পরিবেষ্টিত। কোষের মধ্যে বিভিন্ন প্রকার অঙ্গাণু ও কলয়েড্‌ধর্মী হায়ালোপ্লাজম পাওয়া যায়। কোষপর্দা থেকে নিউক্লিয় আবরণী পর্যন্ত সমস্ত অঞ্চলে এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা বিস্তৃত দেখা যায়। কোষপর্দার ন্যায় এই জালিকাও প্রোটিন ও লিপিড সমন্বয়ে গঠিত। এই জালিকার বাইরে রাইবোজোম যুক্ত থাকলে এদের rough বা অমসৃণ বলা হয়, নতুবা এরা মসৃণ। তাছাড়াও এরা তিনটি ভিন্নরূপে পাওয়া যায়, যেমন cisternae বা lamellae, vesicle ও tubules। এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা থেকে সৃষ্ট গলগি বডি বা complex ও বিভিন্ন ধরনের হতে পারে, যেমন cisternae বা lamellae, vacuole ও vesicle type। রাইবোজোম সাধারণতঃ 150 Å ব্যাসযুক্ত, ribosomal RNA এবং প্রোটিন দ্বারা গঠিত এবং প্রোটিন সংশ্লেষণের ফ্যাক্টরি বলে পরিগণিত। রাইবোজোম উৎপন্ন প্রোটিন বা উৎসেচক এন্ডোপ্লাজমিক জালিকা দ্বারা পরিবাহিত হয়ে গলগি বডির মাধ্যমে সাইটোপ্লাজমের বিভিন্ন অংশে আনীত হতে পারে। এছাড়া আরও কিছু ক্ষুদ্র কোষ-অঙ্গাণু পাওয়া যায়, যেমন লাইসোজোম, পেরোক্সিসোম, গ্লাইক্সিসোম, সেন্ট্রোসোম প্রভৃতি। লাইসোজোমগুলি ক্ষুদ্র গোলাকার ভ্যাকুওলার অবয়ব যার মধ্যে 24টি বিভিন্ন ধরণের আর্দ্রবিশ্লেষক উৎসেচক পাওয়া যায়, যেগুলি বিভিন্ন ধরণের পরিপাকে সাহায্য করে। সেন্ট্রোসোম প্রাণীকোষে দেখা যায় এবং কোষ বিভাজনে প্রয়োজনীয় মাইক্রোটিউবিউল উৎপাদনে সাহায্য করে। সাইটোপ্লাজমের সবচেয়ে বিশিষ্ট অঙ্গাণু মাইটোকনড্রিয়া, যা কোষের power house বা শক্তি উৎপাদন কেন্দ্র হিসাবে পরিচিত। এগুলি 2-8 μm লম্বা রড্ আকৃতির বা সূত্রাকার এবং দ্বিস্তরীয় পর্দা আবৃত। অন্তর্পর্দা মাইটোকনড্রিয়ার অঙ্গুলির মতো প্রবেশ করে ক্রিস্টি সৃষ্টি করে। ক্রিস্টি গুলির সঙ্গে সারিবদ্ধ F-কণা যুক্ত দেখা যায়। শ্বসনকার্যে প্রয়োজনীয় বিভিন্ন উৎসেচক মাইটোকনড্রিয়ার বিভিন্ন অঞ্চলে পাওয়া যায়। মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে গোলাকার DNA, বিভিন্ন প্রকার RNA, ribosome পাওয়া যায় এবং এর মধ্যে কয়েকটি প্রোটিন সংশ্লেষণ হয়। মাইটোকনড্রিয়া ও ক্লোরোপ্লাষ্ট অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু মনে করা হয় মাইটোকনড্রিয় ও ক্লোরোপ্লাষ্ট উভয়েই মিথোজীবিতায় পরিবর্তিত প্রোক্যারিওটিক কোষ যা স্থায়ীভাবে আদি eukaryotic কোষে স্থান লাভ করে। ক্লোরোপ্লাষ্ট কেবল মাত্র সবুজ উদ্ভিদকোষেই দেখা যায়। এরাও দ্বিস্তরীয় পর্দা আবৃত। আরও একটি প্রোটিন জাতীয় অতিরিক্ত পর্দা ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে দেখা যায়, এটি থাইলাকয়েড পর্দা, এবং এটি উপবৃত্তীয় আকারের থাইলাকয়েড্ ভেসিক্‌ল্ তৈরি করে। থাইলাকয়েড্ পর্দায় ক্লোরোফিল বর্তমান থাকে। থাইলাকয়েড্ ভেসিক্‌ল্ পর পর সজ্জিত হয়ে গ্রাণা সৃষ্টি করে, যেগুলি ক্লোরোপ্লাস্ট-এর ধাত্রের মধ্যে দেখা যায়।

কোষের অঙ্গাণু সকল সাইটোপ্লাজমীয় ধাত্রের বা হায়ালোপ্লাজমের মধ্যে নিবিষ্ট থাকে। হায়ালোপ্লাজম কলয়েড্‌ধর্মী, এর মধ্যে জল, বিভিন্ন জৈব পদার্থ ও Na, K প্রভৃতির লবণ ইত্যাদি পাওয়া যায়।

কোষের সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গ নিউক্লিয়াস। এগুলি সাধারণতঃ গোলাকার বা উপবৃত্তীয়। জেনেটিক বস্তু নিউক্লিয়াসের মধ্যে পাওয়া যায় এবং বিভিন্ন প্রকার RNA ও নিউক্লিয়াসের মধ্যে সৃষ্ট হয়। নিউক্লিয়াসের মধ্যে একটি বিশেষ বস্তু nucleolus দেখা যায়, যা রাইবোজোমের জীবজনিতে সাহায্য করে। নিউক্লিয়াস দ্বিস্তরীয় নিউক্লিয় আবরণী দ্বারা আবৃত থাকে। নিউক্লিয়াস ও সাইটোপ্লাজম্ পরস্পরের উপর নির্ভরশীল এবং এদের মধ্যে আদান প্রদান নিউক্লিয় আবরণীস্থ ছিদ্রের মধ্য দিয়ে ঘটে থাকে।

2.6 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ
   (ক) Nucleus ব্যতীত কোষের বাকী অংশকে _____ বলে।
   (খ) উদ্ভিদ কোষের বাইরে একটি শক্ত _____ দেখা যায়, যা কোষকে _____ প্রদান করে।
   (গ) কোষপর্দা _____, _____, _____ ঝিল্লি।
   (ঘ) Endoplasmic জালিকার সঙ্গে যখন _____ ব্যাস যুক্ত _____ কণা যুক্ত থাকে, তখন এদের _____ বলা হয়।
   (ঙ) লিপিড, গ্লাইকোজেন প্রভৃতি সংশ্লেষে প্রয়োজনীয় _____ সমূহ _____ _____ মাধ্যমে পরিবাহিত হয়।
   (চ) _____ খ্রীষ্টাব্দে বেন্ডা _____ র নামকরণ করেন।
   (ছ) কণার মধ্যে _____ বা _____ উৎসেচক পাওয়া যায়।
   (জ) অমেরুদণ্ডী প্রাণীতে গলগিবডি _____ নামে পরিচিত।
   (ঝ) এর মধ্যে ২টি_____ দেখা যায়।
   (ঞ) এর মধ্যে কিছু রঞ্জক পাওয়া যায়, যেমন _____, _____।
2. অল্পকথায় উত্তর দিন ঃ
   (ক) কোষ পর্দার বিন্যাস চিত্রসহযোগে বর্ণনা করুন।
   (খ) এন্ডোপ্লাজমি রেটিকিউলাম কত প্রকার হ'তে পারে, চিত্র সহকারে বর্ণনা দিন।
   (গ) Hyaloplasm সম্পর্কে সংক্ষেপে লিখুন।
3. (ক) Endoplasmic reticulum-এর গঠন, বিন্যাস ও কার্যাবলীর বিবরণ দিন।
   (খ) গলগি বডি কি? কয়ধরণের গলগি বডি পাওয়া যায়? এদের উৎপত্তি ও কার্যাবলীর বর্ণনা দিন।

2.7 উত্তরমালা

1. (ক) Cytoplasm, (খ) কোষপ্রাচীর, দৃঢ়তা, (গ) জীবন্ত, নমনীয়, অর্ধভেদ্য, ছিদ্রযুক্ত, (ঘ) 150 Å, রাইবোজোম, অমসৃণ, (ঙ) উৎসেচক, এন্ডোপ্লাজমিক, জালিকা, (চ) 1898, মাইটোকনড্রিয়া, (ছ) ATPase, ATP-synthetase, (জ) dictyosome, (ঝ) Centriole , (ঞ) মেলানিন, অ্যানথোসায়ানিন।
2. (ক) 2.2.1, (খ) 2.3.1, (গ) 2.3.8।
3. (ক) 2.3.1 দেখুন, (খ) 2.3.4 দেখুন।

একক 3 ❑ নিউক্লিয়াসের বিন্যাস ও সূক্ষ গঠন, নিউক্লিওলাসের গঠন ও কার্যাবলী

গঠন

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

3.2 ইউক্যারিওটিক কোষের নিউক্লিয়াস

3.2.1 আকৃতি, সংখ্যা ও আয়তন

3.2.2 গঠন ও বিন্যাস

3.2.2.1 নিউক্লিয় আবরণী

3.2.2.1.1 নিউক্লিয় আবরণীর কার্যাবলী

3.2.2.2 নিউক্লিয় ধাত্র-জালিকা

3.2.2.3 ক্রোমাটিন

3.2.2.4 নিউক্লিওপ্লাজম

3.2.2.5 নিউক্লিওলাস

3.2.2.5.1 নিউক্লিওলাসের কার্য

3.3 প্রান্তলিপি

3.4 সারাংশ

3.5 প্রশ্নাবলী

3.6 উত্তরমালা

3.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

ইউক্যারিওটিক কোষে যাবতীয় কার্য নিউক্লিয়াস দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। কোষকে যদি একটি কারখানা হিসাবে কল্পনা করা যায়, তবে নিউক্লিয়াস তার মুখ্য পরিচালক। Brown (ব্রাউন) 1833 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম নিউক্লিয়াসের বিবরণ দেন। 1876 খ্রীষ্টাব্দে Balbiani (ব্যালবিয়ানি) নিউক্লিয়াসের মধ্যে দণ্ডাকৃতি বস্তু লক্ষ্য করেন, যেগুলি পরে Flemming (ফ্লেমিং) কর্তৃক chromatin হিসাবে বর্ণিত হয়। 1871 খ্রীষ্টাব্দে Miescher (মিশার) নিউক্লিয়াসে নিউক্লিন নামক বস্তু লক্ষ্য করেন। ফ্লেমিং দাবি করেন নিউক্লিন ক্রোমাটিনে বর্তমান।

নিউক্লিয়াসের মধ্যে জেনেটিক বস্তু সমূহ উপস্থিত থাকে, যা কেবলমাত্র বংশগতিকে নিয়ন্ত্রণ করে তা নয়, কোষের সমস্ত কার্যাবলীই জেনেটিক বস্তু দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়। তবে কোষের বিপাকক্রিয়া সমূহ অনেক পরিমাণে

সাইটোপ্লাজমে সাধিত হয় এবং নিউক্লিয়াস ও সাইটোপ্লাজমের মধ্যে এক ঘনিষ্ঠ সম্পর্ক থাকে, এবং পরস্পর পরস্পরের উপর নির্ভরশীল। আমরা বর্তমান অধ্যায়ে কোষ নিউক্লিয়াসের বিন্যাস, সূক্ষ্ম গঠন এবং কার্যাবলী পর্যালোচনা করবো। এই অধ্যায় পাঠে আপনারা নিম্নোক্ত বিষয় জানতে পারবেন—

(ক) কোষের মধ্যে নিউক্লিয়াসের সংখ্যা, আকৃতি ও আয়তন।

(খ) সাইটোপ্লাজম ও নিউক্লিয়াসের মধ্যে অবস্থিত নিউক্লিয় আবরণীর (nuclear envelope) গঠন ও কার্যাবলী।

(গ) নিউক্লিয়াসের মধ্যে জেনেটিক বস্তুসমূহের বিন্যাস।

(ঘ) নিউক্লিয়াসের অন্তর্গত বিশেষ অবয়ব—নিউক্লিওলাসের গঠন ও কার্যাবলী।

3.2 ইউক্যারিওটিক কোষ নিউক্লিয়াস

প্রাণীকোষে এবং উদ্ভিদের ভাজককলার কোষে নিউক্লিয়াস কোষের কেন্দ্রস্থলে দেখা যায় এবং সাইটোপ্লাজমের মধ্যে নিমজ্জিত থাকে, কিন্তু স্থায়ী উদ্ভিদ কোষে প্রায়শই প্রচুর সংখ্যক ভ্যাকুওল দেখা যায়, নিউক্লিয়াস কেন্দ্রে থাকে না। নিষ্ক্রিয় কোষে নিউক্লিয়াসকে প্রান্তবর্তী দেখা যায় এবং সাইটোপ্লাজমিক ষ্ট্রান্ড (Strand) দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে।

3.2.1 নিউক্লিয়াসের আকৃতি, সংখ্যা ও আয়তন ঃ

নিউক্লিয়াস সাধারণভাবে গোল ও ডিম্বাকৃতির হয়, তবে কিছু কোষে নিউক্লিয়াস খণ্ডিত (lobed), শাখাযুক্ত (branched) ও অনিয়তাকার হতে পারে যেমন পতঙ্গের লালাগ্রন্থির কোষ ও উচ্চতর প্রাণীর ক্যান্সার কোষ। একটি আদর্শ কোষে কেবলমাত্র একটি নিউক্লিয়াসই দেখা যায়, তবে কিছু নিম্নবর্গীয় উদ্ভিদের কোষে অনেক নিউক্লিয়াস দেখা যায়, যেমন কিছু ছত্রাক, শৈবাল (*Vaucheria*) প্রভৃতি। উচ্চতর উদ্ভিদের বৃদ্ধিশীল সস্যের কোষেও একাধিক নিউক্লিয়াস দেখা যায়। উদ্ভিদে এই ধরণের অবস্থা Coenocyte (সিনোসাইট) এবং প্রাণীর ক্ষেত্রে Syncytia (সিনচিটিয়া) নামে পরিচিত। পরীক্ষামূলকভাবেও বহু নিউক্লিয়াসযুক্ত কোষ সহজেই সৃষ্টি করা যায়। তখন তারা multinucleate নামে পরিচিত। মালটিনিউক্লিয়েট কোষে যখন সব নিউক্লিয়াসের জেনেটিক বস্তু একই প্রকার তখন তাদের homokaryon (হোমোক্যারিওন) এবং যখন ভিন্ন প্রকার তখন heterokaryon (হেটেরোক্যারিওন) বলা হয়।

সাধারণভাবে নিউক্লিয়াসের আয়তন 10-50 μm হয়, নিউক্লিয়াসের আয়তন প্রাথমিক ভাবে নিউক্লিয়াসস্থ ক্রোমোজোম সংখ্যা বা ক্রোমোটিন-এর পরিমাণের উপর নির্ভর করে। ফলে পলিপ্লয়েড নিউক্লিয়াসের আয়তন বড় হয়। আবার একই কোষে নিয়ক্লিয়াসের আয়তন সীমিত থাকে না। বিভাজনের শেষে দুটি নিউক্লিয়াস সৃষ্টির পর, তাদের আয়তন ক্ষুদ্রতম থাকে, কোষ চক্রের প্রগতির সঙ্গে নিউক্লিয়াসের আয়তনের পরিবর্তন ঘটে। বিভাজনের পূর্বে নিউক্লিয়াসের আয়তন সর্ববৃহৎ হয়। বিভাজনের সময় নিউক্লিয়াসের অস্তিত্ব থাকে না। তখন

জেনেটিক বস্তু Chromatin থেকে Chromosome এ রূপান্তরিত হয়। কোষ চক্রের যে দশায় নিউক্লিয়াস সংগঠিত থাকে, সেই দশাকে interphase (ইন্টারফেজ) বলা হয়।

3.2.2 নিউক্লিয়াসের গঠন ও বিন্যাস

নিউক্লিয়াসের প্রধান উপাদানগুলি হচ্ছে—(ক) একটি নিউক্লিয় আবরণী (nuclear envelope) যা সাইটোপ্লাজম থেকে নিউক্লিয়াসকে পৃথক রাখে। (খ) Nuclear matrix netwrok বা নিউক্লিয় ধাত্র জালিকা যা প্রোটিন জাতীয় তন্তু দ্বারা গঠিত, (গ) ক্রোমাটিন বা জেনেটিক বস্তু (ঘ) নিউক্লিওপ্লাজম্ বা nuclear sap এবং (ঙ) এক বা একাধিক নিউক্লিওলাস।

3.2.2.1 নিউক্লিয় আবরণী (Nuclear envelope)

এটি সাধারণ অনুবীক্ষণ যন্ত্রে দেখা যায় না। যদিও 1833 খ্রীষ্টাব্দেই ব্রাউন নিউক্লিয় আবরণীর উপস্থিতি সম্পর্কে সচেতন ছিলেন। 1882 খ্রীষ্টাব্দে Flemming দ্বিস্তরীয় নিউক্লিয় আবরণীর সম্ভাবনা উল্লেখ করেন। ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের প্রবর্তনের পর নিউক্লিয় আবরণী প্রথম প্রত্যক্ষ করা যায়। দেখা যায় যে, এই আবরণ দুটি সমকেন্দ্রিক পর্দা দ্বারা গঠিত। দুটি পর্দার মধ্যে থাকে 15-20 nm বেধ যুক্ত perinuclear space। পর্দা দুটি দ্বিস্তরীয় একক দ্বারা গঠিত, যেগুলি 7-8 nm পুরু। বহিপর্দার গায়ে অনেক সময় রাইবোজোম দেখা যায়। কিছু স্থানে বহিপর্দা ও অন্তপর্দা মিলিত হয়, ঐ অঞ্চলে ক্ষুদ্র pore বা ছিদ্র দেখা যায়, যেগুলি nuclear বা A নিউক্লিয় ছিদ্র নামে পরিচিত। ছিদ্রগুলি গোলাকৃতি বা অষ্টকোণী। নিউক্লিয় পর্দার প্রতি $1\mu m^2$ অঞ্চলে 40-145টি ছিদ্র পাওয়া যায়। ছিদ্রগুলির ন্যূনতম দূরত্ব 150nm। Amphibian Oocyte এবং অন্য কিছু কোষে নিউক্লিয় আবরণীর 20-30% অঞ্চল নিউক্লিয় ছিদ্র দ্বারা গঠিত। ছিদ্রগুলি একটি ইলেকট্রন ঘন বলয় annulus পরিবেষ্টিত। Annulus বাইরের দিকে সাইটোপ্লাজম এবং ভিতরের দিকে nucleoplasm এর সঙ্গে যুক্ত। Annulus আটটি অনু-একক বা subunit দ্বারা গঠিত (চিত্র 3.1)।

চিত্র 3.1 : পোর-কমপ্লেক্স সহ নিউক্লিয় আবরণীর (nuclear envelope) নকশা।

1952 খ্রিষ্টাব্দে Harris (হ্যারিস) ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে দেখালেন যে নিউক্লিয় আবরণীর অন্তপর্দার সঙ্গে কিছু প্রোটিন অনুতন্তু একটি বিশেষ অবয়ব সৃষ্টি করে যা fibrous lamina নামে পরিচিত। এই lamina তিনটি বিশেষ অম্লজাতীয় প্রোটিন, lamin a, b ও c দ্বারা গঠিত।

নিউক্লিয় আবরণীর পর্দাগুলি অন্যান্য পর্দার ন্যায় প্রোটিন ও লিপিড দ্বারা গঠিত (Harris 1978)। এর মধ্যে 60-75% প্রোটিন ও 17-35% লিপিড পাওয়া যায়। তাছাড়া অল্পপরিমাণ শ্বেতসারও উপস্থিত থাকে। পৃথকীকৃত নিউক্লিয় পর্দা থেকে 20টি বিভিন্ন প্রকার প্রোটিন পাওয়া যায়।

3.2.2.1.1 নিউক্লিয় আবরণীর কার্যাবলী

নিউক্লিয় আবরণী সাইটোপ্লাজমে উপস্থিত বিভিন্ন উৎসেচক থেকে জেনেটিক বস্তু সমূহকে আলাদা রাখে। তবে নিউক্লিয়পর্দা সতত পরিবর্তনশীল অবয়ব যা নিউক্লিয়াস ও সাইটোপ্লাজমের মধ্যে সংযোগ রক্ষা করে। সাইটোপ্লাজম থেকে ক্ষুদ্রঅনুযুক্ত কিছু বস্তু সরাসরি পর্দা অতিক্রম করে নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করতে পারে, তবে বেশিরভাগ সামগ্রিক চলাচলের জন্য বিশেষ সংকেতের উপর নির্ভরশীল এবং তা ছিদ্রপথে ঘটে থাকে। নিউক্লিয় পর্দা অর্ধভেদ্য। Fluorescein রঞ্জক সাহায্যে দেখানো সম্ভব হয়েছে যে 15000 dalton ভারী অনু ছিদ্রপথে সহজেই নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করতে পারে। তবে 60,000 dalton এর বড় কণা ছিদ্রপথে যাতায়াতে অক্ষম। আকারে 140 $\mathring{A}$ ব্যাসযুক্ত অনু সহজেই ছিদ্রপথে যাতায়াত করে।

নিউক্লিয়াসের মধ্যে DNA ও RNA সংশ্লেষণ হয়। কেবলমাত্র chromatin গঠনের জন্য প্রতি মিনিটে প্রতি ছিদ্রের ভিতর দিয়ে 100টি হিস্টোন অনু নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে। একটি Hela কোষে প্রতি মিনিটে 5,60,000 ribosomal প্রোটিন সাইটোপ্লাজম থেকে নিউক্লিয়াসে প্রবেশ করে এবং 14,000 রাইবোজোম উপ একক নিউক্লিয়াস থেকে সাইটোপ্লাজমে পরিবাহিত হয়। এই বিপুল পরিমাণ চলাচল নিউক্লিয় আবরণীর ছিদ্রগুলির মধ্য দিয়ে সংঘটিত হয়। এই পরিবহনে কতগুলি বিশেষ প্রোটিন যেমন exportin, importin α, β, nuclear transfer factor এবং কয়েকটি সংকেত বহনকারী প্রোটিন যেমন nuclear export signal (NES), nuclear localization signal (NLS) প্রভৃতি কাজ করে।

নিউক্লিয় আবরণীর কিছু আনুষঙ্গিক (secondary) কার্যাবলীও লক্ষিত হয়। সাইটোপ্লাজমস্থিত বিভিন্ন সূক্ষ্মাণুতন্তু (microfilamens) নিউক্লিয় আবরণীর সঙ্গে যুক্ত হয়ে প্রাণীকোষের আকৃতি বজায় রাখতে সাহায্য করে। অনেকে দাবী করেন যে, বিভাজনের সময় নিউক্লিয় আবরণী খণ্ড খণ্ড হয়ে এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকুলাম ইত্যাদি তৈরিতে সাহায্য করে। ফাইব্রাস ল্যামিনার সঙ্গে ক্রোমোজোমের টেলোমিয়র এবং অন্যান্য অংশ যুক্ত হয়ে নিউক্লিয়াসের মধ্যে ক্রোমোজোমগুলির আপেক্ষিক অবস্থান অক্ষুণ্ণ রাখতে সাহায্য করে (Stelly et. al. 1970)।

3.2.2.2 নিউক্লিয় ধাত্র জালিকা (Nuclear matrix network)

নিউক্লিয়াসের মধ্যে জেনেটিক বস্তু সম্পূর্ণভাবে পরিপাকের পর একটি প্রোটিন জাতীয় জালিকা দেখা যায়,

যা নিউক্লিয়াসের আকার রক্ষা করতে সাহায্য করে। 1974 খ্রীষ্টাব্দে Berezney ও Coffee (বেরেজ্‌নি ও কফি) এই জালিকাকে nuclear matrix network হিসাবে চিহ্নিত করেন। জালিকার প্রাথমিক অনুতন্তুগুলি 50 Å বেধযুক্ত Fibrous lamina-র মতো এই ধাত্রজালিকা ও তিনটি বিশেষ অম্লজাতীয় প্রোটিন lamin A, B ও C দ্বারা গঠিত। Nuclear matrix ক্রোমোসোম বা ক্রোমাটিনকে স্থানগত স্থিরতা প্রদান করে। Nucleus ও সাইটোপ্লাজমের মধ্যে পরিবহনেও এই জালিকা সাহায্য করে। এছাড়াও ক্রোমাটিন এর প্রতিলিপি করনে ও প্রতিলিপি গঠনেও নিউক্লিওধাত্র জালিকা নোঙ্গর হিসাবে কাজ করে।

3.2.2.3 ক্রোমাটিন (Chromatin)

নিউক্লিয়াসের মুখ্য উপাদান ক্রোমাটিন, যা নিউক্লিয়াসের মধ্যে ছড়িয়ে থাকে। ক্রোমাটিন-এর একক অনুতন্তুগুলি 300 Å বেধযুক্ত হয়, যেগুলিকে বিভিন্ন কার্যকারণে সক্রিয় ধারণা করা হয়। অনুতন্তুগুলি বিভিন্ন মাত্রায় কুণ্ডলিকৃত হয়ে বিভিন্ন বেধের অনুতন্তু সৃষ্টি করে। ক্রোমাটিনের নিষ্ক্রিয় অংশ কুণ্ডলী আকার ধারণ করে। ঘনসন্নিবন্ধ কুণ্ডলিকৃত ক্রোমাটিন গাঢ়ভাবে রঞ্জিত হয়, যেগুলি heterochromatin নামে পরিচিত। বিক্ষিপ্ত এবং সুবিস্তৃত ক্রোমাটিন euchromatin হিসাবে গণ্য হয়। পরবর্তী কোন অধ্যায়ে এ সম্বন্ধে বিস্তৃত আলোচনা করা হবে।

নিউক্লিয়াসের মধ্যে দুই প্রকার প্রোটিন ও দুইপ্রকার নিউক্লিক অ্যাসিড পাওয়া যায়। এগুলি হল বেসিক ও এসিডিক প্রোটিন এবং ডিঅক্সিরাইবো নিউক্লিক ও রাইবোনিউক্লিক অ্যাসিড। বেসিক প্রোটিনের মধ্যে histone-ই প্রধান, যা ক্রোমাটিন গঠনে অংশ নেয়। তাছাড়া কিছু কিছু ক্ষেত্রে যেমন প্রাণীর শুক্রকীটে protamine ও পাওয়া যায়। হিষ্টোনের মধ্যে বেশি পরিমাণ লাইসিন ও আরজিনিন বর্তমান থাকে। Acidic প্রোটিন গুলিকে non-histone প্রোটিনও বলা হয় যেগুলির মধো টাইরোসিন ও গ্লুটামিক অ্যাসিড প্রভৃতি অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রাধান্য দেখা যায়। বেশিরভাগ অ্যাসিডিক প্রোটিন হয় ক্রোমাটিন-এর কার্যাবলীর সঙ্গে যুক্ত নতুবা ঐ সকল কার্যাবলী নিয়ন্ত্রণ করে।

নিউক্লিয়াসের শুষ্ক ওজনের শতকরা 15-30 ভাগ নিউক্লিক অ্যাসিড দ্বারা গঠিত। তবে RNA এর পরিমাণ খুবই কম থাকে। প্রকৃতপক্ষে chromatin গঠনে RNA এর কোন ভূমিকা নেই। DNA প্রকৃত জেনেটিক বস্তু, যা eukaryotic কোষে histone প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্রোমাটিন গঠন করে। পরবর্তী এক অধ্যায়ে এ সম্বন্ধে আমরা বিস্তারিতভাবে আলোচনা করবো।

3.2.2.4 নিউক্লিওপ্লাজম্‌ (Nucleoplasm) বা ক্যারিওলিম্‌ফ্‌ (Karyolymph)

Nucleus এর মধ্যে যে তরল বস্তু পাওয়া যায় সেটিকে nucleoplasm বা Karyolymph বলে। এটিকে nuclear sap বা নিউক্লিয় sap হিসাবেও চিহ্নিত করা হয়। নিউক্লিওপ্লাজমে কিছু প্রোটিন, RNA অনু, বিভিন্ন প্রকার উৎসেচক, সহ উৎসেচক প্রভৃতি বর্তমান থাকে।

3.2.2.5 নিউক্লিওলাস (Nucleolus, বহুবচন nucleoli)

নিউক্লিয়াসের মধ্যে বিশেষভাবে প্রকট এক বা একাধিক অবয়ব দেখা যায়—যাদের নিউক্লিওলাস (ক্ষুদ্র নিউক্লিয়াস শব্দগত অর্থে) বলা হয়। নিউক্লিয়াসের মধ্যে RNA এর আধিক্য লক্ষ্য করা যায়। মন্টগোমারির (Montgomery, 1898) মতে 1781 খ্রীষ্টাব্দে Fontana (ফনটানা) প্রথম নিউক্লিওলাসের বর্ণনা দেন। 1931 খ্রীষ্টাব্দে Heitg (হাইৎস্) ক্রোমোসোম ও নিউক্লিওলাসের মধ্যে একটি সম্পর্ক লক্ষ্য করেন এবং দেখান যে ক্রোমোজোমের Secondary constriction বা গৌণ সঙ্কোচনের সঙ্গে nucleolus এর উৎপত্তির একটি সম্পর্ক রয়েছে। ক্রোমোজোমের যে অঞ্চল থেকে nucleolus এর উৎপত্তি হয়, সেই অঞ্চলটি Nucleolous Organizing Region বা NOR নামে আখ্যাত হয় (Mc Clintock, 1934) 1942 খ্রীষ্টাব্দে Gates ও Bhaduri (গেটস্ ও ভাদুড়ি) দেখালেন যে একটি প্রজাতির কোষে সর্বাধিক নিউক্লিওলাস সংখ্যা নির্দ্দিষ্ট এবং তা কোষের secondary constriction যুক্ত ক্রোমোজোম সংখ্যার উপর নির্ভরশীল। লক্ষ্যণীয় যে নিউক্লিওলাসের সংযুক্তির ফলে বিভিন্ন কোষে নিউক্লিওলাসের সংখ্যার তারতম্য দেখা যায়।

মেটাফেজ দশায় নিউক্লিওলাসের অস্তিত্ব থাকে না। কোষ বিভাজনের শেষে টিলোফেজ দশায় NOR এ নতুন নিউক্লিওলাস সৃষ্টির সূত্রপাত হয়। এই পদ্ধতিকে nucleologenesis (নিউক্লিওজেনেসিস) বলা হয়। কোষচক্রের সঙ্গে নিউক্লিওলাসের আয়তন বৃদ্ধি পায়। প্রফেজ দশায় পুণরায় নিউক্লিওলাসের বিলুপ্তির সূত্রপাত হয়।

সাধারণ অনুবীক্ষণ যন্ত্রে বিশেষ রঞ্জক ব্যবহারে নিউক্লিওলাস দেখা যায়, তবে সেখানে তাকে সমসত্ত্ব প্রতিভাত হয়। ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে নিউক্লিওলাসের নামের মধ্যে চারটি (4) বিশেষ অংশ দেখা যায়। এগুলি হল—(1) অনুতন্তুজ উপাদান বা fibrillar component—যা রাইবো নিউক্লিক প্রোটিন (RNP) দ্বারা গঠিত। এইসব RNP fibril গুলি 40-80 Å বেধ যুক্ত এবং 200-400 Å দীর্ঘ। এই উপাদান electron ঘন হওয়ার জন্য dense fibrillar component (DFC) হিসাবেও চিহ্নিত হয় (চিত্র 3.2) (2) Granular component বা কণিকাকার উপাদান যা RNP কণিকা দ্বারা গঠিত, কণিকাগুলি 150-200 Å ব্যাসযুক্ত। এগুলির আকার সাইটোপ্লাজমের রাইবোজোম কণার মতো। Nucleolus এর এই অংশ Pars amorpha (পার্স-এমোফা) নামেও পরিচিত (Estable ও Sotelo, 1951 এস্টেব্‌ল্ ও সোটেলো)। Estable ও Sotelo নিউক্লিওলাসের বাকী অংশ কে nucleolonema (নিউক্লিওলোনিমা) হিসাবে চিহ্নিত করেন। (3) নিউক্লিওলাস অন্তর্গত ক্রোমাটিন—নিউক্লিওলাসের মধ্যে বিভিন্ন প্রকার ক্রোমাটিন দেখা যায় যেমন নিউক্লিওলাসের প্রান্তে ঘন সন্নিবেশিত—nucleolus associated chromatin। এটি facultative heterochromatin জাতীয়। এছাড়াও নিউক্লিওলাসের মধ্যে সক্রিয় ক্রোমাটিন অনুতন্তু দেখা যায় (স্মেটানা ও সহকর্মীরা 1968)। (4) Fibrillar Centre বা Lacunae (ফিব্রিলার সেন্টার বা ল্যাকুইনি)—নিউক্লিওলাসের মধ্যে কিছু আপাতঃ গহ্বর দেখা যায়। বিশেষতঃ উদ্ভিদ কোষে এগুলি স্পষ্টভাবে দৃশ্যমান। অনেকের মতে এর মধ্যে সক্রিয় ক্রোমাটিন ও থাকে, তখন এরা ফিব্রিলার সেন্টার নামে পরিচিত (Goessense, 1976; গুইসেন্স্)।

নিউক্লিওলাসের মধ্যে সাধারণতঃ তিনপ্রকারের রাসায়নিক উপাদান দেখা যায়—যেমন RNA, protein এবং খুবই অল্প পরিমাণ DNA। তবে এটি মুখ্যত প্রোটিন দ্বারাই গঠিত (শুষ্ক ওজনের প্রায় 90 শতাংশ)। এই প্রোটিন acidic বা অম্লজাতীয়। নিউক্লিওলাসের মধ্যে যে সব RNA পাওয়া যায়, সেগুলি ribosome কণার মধ্যেও পাওয়া যায়, সেইজন্য এগুলি ribosomal RNA নামে পরিচিত। বিভিন্ন প্রকার rRNA (যেমন 35S, 32S, 28S, 18S প্রভৃতি) নিউক্লিওলাসের মধ্যে দেখা যায়। এছাড়া নিউক্লিওলাসের মধ্যে RNA polymerase I, ATPase, NAD synthetase প্রভৃতি উৎসেচকও পাওয়া যায়।

3.2.2.5.1 নিউক্লিওলাসের কার্য

নিউক্লিওলাসের কাজ বহুদিন অজ্ঞাত ছিল। 1950 খ্রীষ্টাব্দে Casperson (ক্যাসপারসন) প্রথম দেখান যে—যে সমস্ত কোষ প্রোটিন সংশ্লেষণে সক্রিয়, তাদের মধ্যে nucleolus আয়তনে অনেক বড়। Brown ও Gurdon (ব্রাউন ও গর্ডন, 1964) দেখালেন যে, যে সব ব্যাঙাচির কোষে নিউক্লিওলাস থাকে না, তারা রাইবোজোম সংশ্লেষণে অসমর্থ। ফলে রাইবোজোম সৃষ্টিতে nucleolus-এর ভূমিকা প্রমাণিত হয়। পরে নিউক্লিক অ্যাসিড সংকরীকরণের মাধ্যমে (nucleic acid hybridisation technique) এই ভূমিকা সমর্থিত হয়। দেখা যায় ribosomal RNA প্রতিলিপি করনে দায়ী জিন বা Cistron গুলি নিউক্লিওলাসের মধ্যে অবস্থিত (Pardue et al., 1970; পার্দু ও সহকর্মীরা)। পরে Philips (ফিলিপস্) ও সহকর্মীরা (1971) দেখালেন যে rDNA cistron গুলি ক্রোমোজোমের গৌণ শঙ্কর (Secondary constriction) অঞ্চলে সীমাবদ্ধ।

পৃথকীকৃত নিউক্লিওলাসের DNA অক্ষকে বিশেষ পদ্ধতিতে ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপে পরীক্ষা করে মিলার ও বিটি (Miller and Beatty 1969) দেখালেন যে এই DNA অক্ষ থেকে 45S rRNA প্রতিলিপিকরণ হয়ে থাকে। অর্থাৎ rRNA জিন ঐ DNA axis এ বর্তমান (চিত্র 3.3)। তারা আরও দেখালেন যে একটি জিন পরবর্তী জিন থেকে একটি spacer (বা জীনশূণ্য স্থান) দ্বারা বিচ্ছিন্ন। একটি 45S rRNA থেকে পরে নিউক্লিওলাসের মধ্যে 28S, 18S, 5.8S rRNA অনু সৃষ্টি হয়। এইসব অনুগুলি নিউক্লিয়াসের মধ্যে রাইবোজোমের উপ-একক দুটি (বৃহৎ ও ক্ষুদ্র উপ একক) সৃষ্টি করে, এবং নিউক্লিয়াসের বাইরে পরিবাহিত হয়ে সাইটোপ্লাজমে দুটি উপ এককে একত্রিত হয়ে রাইবোজোম সৃষ্টি করে। যেহেতু ribosome প্রোটিন তৈরি কারখানা হিসাবে গণ্য হয়, তাই প্রোটিন সংশ্লেষণে নিউক্লিওলাসের বিশেষ ভূমিকা রয়েছে।

3.3 প্রান্তলিপি (Ribosomal RNA Cistrons)

সাধারণতঃ প্রতিটি প্রোটিন বা উৎসেচকের জন্য একটিমাত্র Cistron থাকে, তাই বেশির ভাগ বার্তাবাহী RNA (mRNA) monocistronic। উল্লেখযোগ্য ব্যতিক্রম হিস্টোন, টিউবুলিন প্রভৃতির cistrons। এগুলি polycistronic। অন্যদিকে rRNA গুলি প্রচুর সংখ্যায় উপস্থিত থাকে, যেমন মানুষের ক্ষেত্রে 260টি বা পেঁয়াজে 13,000টি। তবে এদের মধ্যে খুব কম সংখ্যক Cistron নির্দিষ্ট কোন সময়ে সক্রিয় থাকে। একে জিন আতিশয্য বা gene redundancy বলা হয়। কখনও কখনও যে সব কোষে প্রচুর প্রোটিন সংশ্লেষণ

প্রয়োজন হয়, অর্থাৎ প্রচুর সংখ্যক রাইবোজোমের প্রয়োজন হয়, সেইসব কোষে নিষ্ক্রিয় rDNA cistron গুলি সাময়িকভাবে সক্রিয় হয়ে ওঠে। যেমন মেরুদণ্ডীপ্রাণীর Oocytes বা ডিম্বাণু কোষসমূহে। অন্যথা নিষ্ক্রিয় cistron গুলি ঘন সন্নিবদ্ধ হয়ে hetero chromatin তৈরি করে, তবে যেহেতু এরা প্রয়োজনে সক্রিয় হতে পারে, সেই জন্য এদের Facultative heterochrometin বলা হয়।

3.4 সারাংশ

নিউক্লিয়াস গোলাকার, ডিম্বাকৃতি, বা আয়তাকার। কিছু কিছু ক্ষেত্রে খণ্ডিত দানা যুক্ত বা অনিয়ত। প্রাণীকোষে ও বিভাজনক্ষম উদ্ভিদকোষে নিউক্লিয়াস কেন্দ্রিক ও সাইটোপ্লাজমে নিমজ্জিত, স্থায়ী উদ্ভিদকোষে নিউক্লিয়াস প্রান্তবর্তী, সাইটোপ্লাজমি strands দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে। সাধারণভাবে একটি কোষে একটি নিউক্লিয়াস থাকে, তবে নিম্নবর্গীয় জীবে অনেক ক্ষেত্রে বেশি নিউক্লিয়াস দেখা যায়। নিউক্লিয়াসের আয়তন কোষস্থিত ক্রোমোজোম সংখ্যা বা chromatin এর পরিমাণের উপর নির্ভরশীল। নিউক্লিয়াসের প্রধান উপাদানগুলি (ক) নিউক্লিয় আবরণী, (খ) নিউক্লিয় ধাত্র জালিকা, (গ) ক্রোমাটিন, (ঘ) নিউক্লিওপ্লাজম্, (ঙ) এক বা একাধিক নিউক্লিওলাস। নিউক্লিয় আবরণীতে থাকে দুটি পর্দা, গোল বা অষ্টকোনাকৃতি নিউক্লিয় ছিদ্র যেগুলি annulus দ্বারা আবৃত এবং অন্তপর্দার সঙ্গে যুক্ত fibrous lamina। পর্দাগুলি 7-8 nm পুরু এবং দুটি পর্দার মধ্যে 15-20 nm বিস্তৃত perinuclear Space বর্তমান। নিউক্লিয় ছিদ্রের সংখ্যা সক্রিয় কোষে প্রচুর হতে পারে। নিউক্লিয় আবরণী জেনেটিক বস্তুকে সাইটোপ্লাজমস্থিত উৎসেচক সমূহ থেকে পৃথক রাখে। তবে নিউক্লিয়াস ও সাইটোপ্লাজম পরস্পরের উপর নির্ভরশীল এবং উভয়ের মধ্যে আদান প্রদান নিউক্লিয় ছিদ্রের মধ্য দিয়া ঘটে থাকে। এই আদান প্রদানে কিছু প্রোটিন ও বার্তাবাহক কণা সক্রিয় অংশগ্রহণ করে।

নিউক্লিয় ধাত্র একটি প্রোটিন জাত জালিকা, যার অনুতন্তুগুলি 50 Å বেধ যুক্ত। এগুলি lamin A, B, C এই তিনপ্রকার অম্লজাতীয় প্রোটিন দ্বারা গঠিত। নিউক্লিয়াসের মুখ্য উপাদান ক্রোমাটিন। এর একক অনুতন্তু 300 Å বেধ যুক্ত; এরা কুণ্ডলায়িত হয়ে বিভিন্ন বেধের অনুতন্তু সৃষ্টি করে। বিশেষভাবে কুণ্ডলায়িত ঘন সন্নিবেশিত ক্রোমাটিন নিষ্ক্রিয় হেটোরোক্রোমাটিন তৈরি করে। ক্রোমাটিন এর মধ্যে দুধরনের প্রোটিন (basic ও acidic) ও দুধরণের nucleic অ্যাসিড (deoxyribo এবং ribonulceic acid) পাওয়া যায়। Chromatin গঠনে ribonucleic acid কোন অংশগ্রহণ করে না। নিউক্লিয়াসের মধ্যে যে তরল বস্তু পাওয়া যায় সেটি ক্যারিওলিম্বক্ বা নিউক্লিওপ্লাজম বা নিউক্লিয় স্যাপ নামে পরিচিত, এর মধ্যে বিভিন্ন প্রকার protein এবং কয়েকটি উৎসেচক বর্তমান।

নিউক্লিয়াসের মধ্যে একটি RNA-প্রধান অবয়ব দেখা যায়, যেটি নিউক্লিওলাস নামে জ্ঞাত। কোষের মধ্যে নিউক্লিওলাসের সংখ্যা NOR বহনকারী ক্রোমোসোমের সংখ্যার উপর নির্ভর করে। নিউক্লিওলাসের সূক্ষ গঠনে চারটি বিশেষ উপাদান দেখা যায় যেমন dense fibrillar component (DFC), Granular component (GC); nucleolar chromatin এবং lacunae বা fibrillar centre (FC)। Nucleolus এর মধ্যে

Ribosomal cistron গুলি সংবন্ধ থাকে এবং নিউক্লিওলাসের প্রধান কাজ ribosomal RNA তৈরি এবং তার প্রক্রিয়াকরণ। ফলে ribosomal RNA গুলি নির্দিষ্ট প্রোটিনের সংস্পর্শে মিশে রাইবোজোমের উপ-একক গুলি সৃষ্টি হয়, যেগুলি সাইটোপ্লাজমে এসে পূর্ণ রাইবোজোম তৈরি করে।

3.5 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

(ক) স্থায়ী উদ্ভিদকোষে নিউক্লিয়াস _____ _____ দ্বারা নির্দিষ্ট স্থানে আবদ্ধ থাকে।

(খ) কিছু নিম্নবর্গীয় উদ্ভিদকোষে একাধিক নিউক্লিয়াস দেখা যায়, যেমন _____ এ, এ ধরণের কোষকে _____ বলা হয়।

(গ) দুটি নিউক্লিয় পর্দা একটি _____ _____ দ্বারা পৃথকীকৃত থাকে, এর বেড় _____ nm।

(ঘ) নিউক্লিয় অন্তপর্দার ভিতরের দিকে একটি প্রোটিন অনুতন্তু বিশিষ্ট অবয়ব দেখা যায়, যা _____ _____ নামে পরিচিত, এটি 1952 খ্রীষ্টব্দে _____ প্রথম আবিষ্কার করেন।

(ঙ) নিউক্লিয় ধাত্রের ক্ষুদ্রতম অনুতন্তুগুলি _____ Å বেধ যুক্ত এবং এগুলি তিনটি বিশেষ অম্লজাতীয় প্রোটিন _____ a, b, c দ্বারা গঠিত।

(চ) ক্রোমাটিনের একক অনুতন্তুগুলি _____ Å বেধ যুক্ত।

(ছ) ক্রোমাটিনে উপস্থিত বেসিক প্রোটিনের মধ্যে _____ প্রধান, এর মধ্যে _____ ও _____ অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রাধান্য দেখা যায়।

(জ) Non-histone অম্লজাতীয় প্রোটিনের মধ্যে _____ ও _____ অ্যামাইনো অ্যাসিডের আধিক্য দেখা যায়।

(ঝ) 1931 খ্রীষ্টাব্দে _____ নিউক্লিওলাস ও ক্রোমোসোমের মধ্যে একটি সম্পর্ক লক্ষ্য করেন।

(ঞ) নিউক্লিওলাসের মধ্যে যে ধরণের RNA অণু পাওয়া যায়, সেগুলি _____ কণার মধ্যেও দেখা যায়, সেইজন্য এগুলি _____ _____ নামে পরিচিত।

(ট) পৃথকীকৃত নিউক্লিওলাসের DNA অক্ষ পরীক্ষা করে _____ এবং _____ (1969) দেখাতে সমর্থ হন যে ঐ অক্ষ থেকে _____ ribosomal RNA অনুর প্রতিলিপি তৈরি হয়।

2. অল্পকথায় উত্তর দিন ঃ

(ক) নিউক্লিয়াসের আয়তন কিসের উপর নির্ভর করে?

(খ) নিউক্লিয় আবরণীর উপাদানগুলি কি কি?

(গ) নিউক্লিয় ধাত্রের গঠন ও কার্যাবলী কি?

(ঘ) নিউক্লিওলাস ও ক্রোমোসোমের সম্পর্ক কি?

(গ) নিউক্লিয় আবরণীর সূক্ষ গঠন ও কার্যাবলী সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

(ঘ) নিউক্লিওলাসের প্রধান উপাদান কি কি? এর সূক্ষ গঠন ও কার্যাবলী সম্পর্কে বিস্তারিত লিখুন।

3.6 উত্তরমালা

1. (ক) সাইটোপ্লাজমিক ষ্ট্রান্ড, (খ) Vaucheria, coenocytic, (গ) Perinuclear space, 15-20, (ঘ) fibrous lamina, (ঙ) 50, lamin, (চ) 300, (ছ) হিস্টোন, লাইসিন, আরজিনিন, (ঝ) Glutamic acid, tyrosine, (ঞ) Heitz, (ঠ) রাইবোজোম, রাইসোমাল RNA, (ড) Miller, Beatty, 45S।
2. (ক) 3.2.1 (ক্রোমাটিনের পরিমাণ, কোষ-চক্র দশা), (খ) 3.2.2.1, (গ) 3.2.2.2, (ঘ) 3.2.2.5।
3. 3.2.2.1 ও 3.2.2.1.1।
4. 3.2.2.5 ও 3.2.2.5।

একক 4 ❑ রাইবোজোম ও লাইসোজোমের গঠন ও কার্যাবলী

গঠন

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

4.2 রাইবোজোম

4.2.1 রাইবোজোমের সংখ্যা, আকার, আয়তন

4.2.2 রাইবোজোমের গঠন ও বিন্যাস

4.2.3 রাইবোজোমর জীবজনি

4.2.4 রাইবোজোমের কার্যাবলী

4.3 লাইসোজোম

4.3.1 লাইসোজোমের কার্যাবলী

4.4 সারাংশ

4.5 প্রশ্নাবলী

4.6 উত্তরমালা

4.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

কোষের সাইটোপ্লাজমের মধ্যে বহুবিধ অঙ্গাণু এবং অবয়ব পাওয়া যায়, যেগুলি সাইটোপ্লাজমের বিভিন্ন কর্মকাণ্ডের সঙ্গে যুক্ত। অঙ্গাণুগুলি পর্দাবেষ্টিত, আকৃতি ও গঠনে ভিন্ন ভিন্ন হয়। রাইবোজোম সাইটোপ্লাজমের এক বিশিষ্ট অবয়ব যা পর্দা বেষ্টিত নয়। প্রোক্যারিওট ও ইউক্যারিওট উভয় কোষেই রাইবোজোম পাওয়া। প্রোটিন সংশ্লেষে এগুলি অপরিহার্য এবং এরা প্রোটিন ফ্যাক্টরি হিসাবে পরিচিত। লাইসোজোমও একপ্রকার ক্ষুদ্রাণু অবয়ব যার মধ্যে প্রোটিন অবক্ষয়ী উৎসেচক সমূহ পাওয়া যায়। এই অধ্যায়ে আমরা এই দুটি ক্ষুদ্রাণু অবয়ব সম্পর্কে আলোচনা করবো, যা অধ্যয়নে আপনারা এই দুই অবয়বের গঠন, সৃষ্টি পদ্ধতি ও কার্যকর্ম সম্পর্কে জানতে পারবেন।

4.2 রাইবোজোম

1941 খ্রিস্টাব্দে Claude (ক্লড্) এদের প্রথম সাইটোপ্লাজমের মধ্যে লক্ষ্য করেন এবং নাম দেন microsomes। পরে প্যালেড্ (Palade 1955) এদের ribosome নামে অভিহিত করেন। রাইবোজোম

কণাগুলি যখন একাকী থাকে তখন তাদের monosome বলা হয় এবং এরা সারিবদ্ধ অবস্থায় পলিসোম (polysome) তৈরি করে। প্রোক্যারিওটে ribosome কণা monosome অবস্থায় থাকে।

4.2.1 রাইবোজোমের সংখ্যা, আকার, আয়তন ঃ

কোষের মধ্যে রাইবোজোমের সংখ্যা কোষের RNA পরিমাণের উপর প্রত্যক্ষভাবে নির্ভরশীল। অতি সক্রিয় কোষে প্রচুর সংখ্যক রাইবোজোম এবং নিষ্ক্রিয় কোষে কম পরিমাণ রাইবোজোম দেখা যায়। সক্রিয় *E. coli* কোষে 20,000 থেকে 30,000 ribosome পাওয়া যায়, যা কোষের ভরের 25-30%, যেখানে খরগোসের reticulocyte এ ribosome-এর পরিমাণ কোষ ভরের মাত্র 0.5%। প্রোটিন সংশ্লেষণের মাত্রা কমে গেলে কোষে রাইবোজোমের সংখ্যাও কমে যায়।

রাইবোজোমের আকার নির্দিষ্ট, ব্যাকটেরিয়া কোষে রাইবোজোমের ব্যাস 150 Å এবং ইউক্যারিওটিক কোষে 250 Å। সরণি 4.1এ-প্রোক্যারিওট ও ইউক্যারিওট কোষের রাইবোজোমের পার্থক্য দেখানো হল।

সারণি 4.1 ঃ প্রোক্যারিওট ও ইউক্যারিওট রাইবোজোমের পার্থক্য ঃ

	প্রোক্যারিওট	ইউক্যারিওট
1.	আয়তন 150 Å ব্যাস যুক্ত।	আয়তনে 250 Å ব্যাসযুক্ত।
2.	আনবিক ওজন—2.7 × 10^6D*	আনবিক ওজন 4 × 10^6D।
3.	অবক্ষেপন সহগ 70 S**	অবক্ষেপন সহগ 80 S।
4.	কেবলমাত্র মুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়।	সাইটোপ্লাজমে মুক্ত অবস্থায় ও endoplasmic জালিকার সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়।
5.	তিন প্রকার ribosomal RNA পাওয়া যায়।	চারপ্রকারের রাইবোসোমাল RNA পাওয়া যায়।
6.	একটি রাইবোজোম 56টি protein পাওয়া যায়।	একটি রাইবোজোমে 80টি split protein পাওয়া যায়।
7.	RNA ও প্রোটিনের অনুপাত প্রায় 2.1।	RNA ও প্রোটিনের অনুপাত প্রায় 1 : 1।

*D = Dalton—আনবিক ওজনের একক, একটি হাইড্রোজেনের ওজনের সমান 1.65 × 10^{-24} gm

** S = অবক্ষেপনের একক, বিজ্ঞানী Svedberg-এর নামাংকিত।

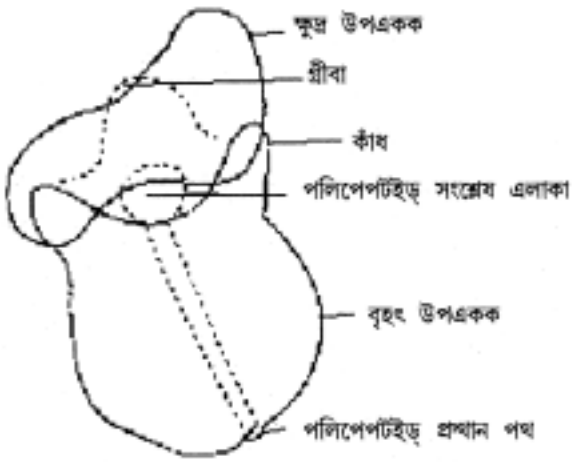
4.2.2 রাইবোজোমের গঠন ও বিন্যাস ঃ

একটি রাইবোজোম দুটি উপ একক দ্বারা গঠিত, এগুলি বৃহৎ ও ক্ষুদ্র উপ-একক (large sub-unit ও small sub-unit)। সাইটোসলে ম্যাগনেসিয়ামের এর গাঢ়ত্ব কমে গেলে দুটি উপ একক পৃথক হয়ে যায়। ইউক্যারিওটিক রাইবোজোমের বৃহৎ ও ক্ষুদ্র উপএককের অবক্ষেপন সহগ যথাক্রমে 60S ও 40S, এবং

এদের আনবিক ভার 3×10^6 D ও 1.5×10^6 D। অন্যদিকে প্রোক্যারিওটের রাইবোজোমের উপ-একক দুটির অবক্ষেপন সহগ ও আনবিক ভর যথাক্রমে 50S ও 30S এবং 1.8×10^6 D ও 0.9×10^6 D। বৃহৎ উপ-এককে ইউক্যারিওটের ক্ষেত্রে তিন ধরনের রাইবোজোমাল RNA (rRNA) পাওয়া যায়—এরা 28S, 5.8S ও 5S এবং প্রোক্যারিওটর ক্ষেত্রে পাওয়া যায় কেবল 23S ও 5S; এদের সঙ্গে যথাক্রমে 49 এবং 32টি প্রোটিন কণা যুক্ত থাকে। অন্যদিকে ক্ষুদ্র উপ-এককে কেবলমাত্র এক ধরনের 18S বা 13S (প্রোক্যারিওটে) এবং সহযোগী 33 অনু প্রোটিন (21 অনু প্রোক্যারিওটের ক্ষেত্রে) পাওয়া যায়। বৃহৎ উপ এককের প্রোটিনগুলি L_1, L_2, L_3 ইত্যাদি এবং ক্ষুদ্র উপ-এককে S_1, S_2, S_3 প্রভৃতি নামে পরিচিত।

প্রান্তলিপি 4.1 : ইউক্যারিওটিক কোষের রাইবোজোম সমূহ। প্রকৃতপক্ষে ইউক্যারিওটিক কোষে তিন ধরণের রাইবোজোম পাওয়া যায়। যথা সাইটোরাইবোজোম, যা কোষের সাইটোপ্লাজমের মধ্যে পাওয়া যায়। সাইটোরাইবোজোম মুক্ত অবস্থায় অথবা endoplasmic reticulum এর সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় পাওয়া যায়। এছাড়া মাইটোকন্ড্রিয়ার এবং ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে রাইবোজোম দেখা যায় যেগুলি mt রাইবোজোম বা ct ribosome নামে পরিচিত। ct ribosome প্রোক্যারিওট রাইবোজোমের মতো, তবে mt রাইবোজোম ক্ষুদ্রতর 55S যুক্ত। mt ribosome এ প্রোক্যারিওট এর ন্যায় তিন ধরণের rRNA পাওয়া যায়, অর্থাৎ সাইটোরাইবোজোমের 5.8S rRNA অনুপস্থিত। Ct ribosome ও অনুরূপ তবে সেখানে একটি অতিরিক্ত 4.5S rRNA পাওয়া যায়। মাইটোকনড্রিয়া ও ক্লোরোপ্লাষ্ট তাই প্রোটিন সংশ্লেষে সক্ষম।

যেহেতু রাইবোজোম ক্ষুদ্রাণু অবয়ব এই জন্য ওদের আকার খুব স্পষ্ট নয়। ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপে পরীক্ষার পর এদের আকার সম্পর্কে দুয়েকটি মডেল পেশ করা হয়েছে, যার মধ্যে Stoffer ও Wittmann (ষ্টফার ও উইটম্যান, 1977) ও Lake (লেক, 1976) এর মডেল উল্লেখযোগ্য। সব মডেলের উপস্থাপনা অনুযায়ী ক্ষুদ্র উপ-এককটি লম্বাটে, বক্র, খানিকটা টেলিফোন receiver এর মতো (চিত্র 4.1) এবং বৃহৎ উপ-এককটি

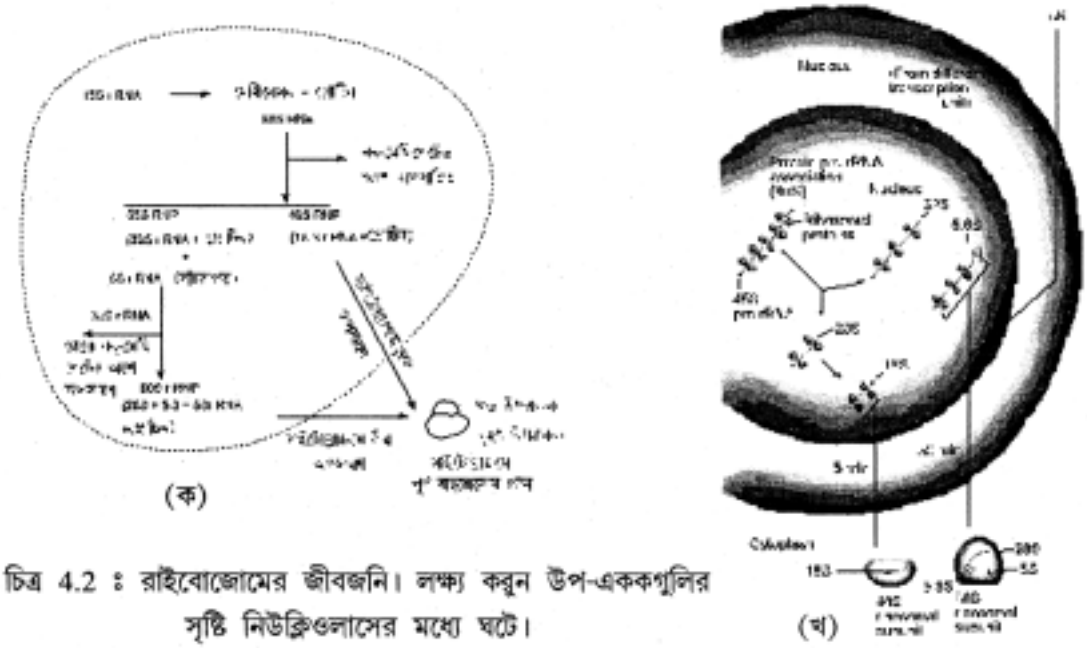


চিত্র 4.1 : একটি রাইবোসোমের নকশা চিত্র।

ধনুকাকার পিছনের দিকে একটি গ্রীবা ও দুই কাঁধ যুক্ত। বৃহৎ উপএককের মধ্যভাগে একটি অবদমিত অংশ থাকে, যে স্থলে প্রোটিন সংশ্লেষণ সংঘটিত হয়।

4.2.3 রাইবোজোমের জীবজনি (Biosynthesis of ribosomes) ঃ

আমরা আগে জেনেছি ribosomal RNA গুলি nucleolus এর মধ্যে অবস্থিত rDNA cistron গুলি থেকে সৃষ্ট হয়। শুধু তাই নয়, nucleolus এর মধ্যেই রাইবোজোমের জীবজনিও শুরু হয়। কোষের মধ্যে rDNA cistron গুলি chromosome এর গৌণ সঙ্কোচনের NOR এ সুসংবদ্ধ থাকে। এর মধ্যে কিছু cistron সক্রিয় হয়ে 45S rRNA উৎপাদন করে। এই প্রতিলিপি গঠনে বিশেষ উৎসেচক RNA polymerase I প্রয়োজন হয়। ঐ RNA নির্দ্দিষ্ট কিছু প্রোটিনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে 80S RNP (ribonucleo protein) অনু তৈরি করে। 45S rRNA পরে বিভাজনে (splicing) 32S ও 18 S rRNA সৃষ্টি করে। 18S অনু নির্দ্দিষ্ট প্রোটিন কণার সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্ষুদ্র উপ-এককের pre-ribosome বা প্রাক্ ribosome কণা (40S) তৈরি করে এবং তৎক্ষণাৎ সাইটোপ্লাজমে পরিবাহিত হয়। অন্যদিকে 32S অণু বহুক্ষণ নিউক্লিওলাসে অবস্থান করে এবং পরে বিভাজনের দ্বারা 28S ও 5.8S rRNA তৈরি করে। এই দুই rRNA এবং আরো একটি rRNA অনু 5 rRNA এবং কয়েকটি নির্দ্দিষ্ট প্রোটিন কণা মিলে বৃহৎ উপ এককের (60S) সৃষ্টি হয় এবং সাইটোপ্লাজমে পরিবাহিত হয়। এই 5S rRNA নিউক্লিওলাসে তৈরি হয় না। এজন্য একে extranucleolar ribosomal RNA বলা হয়। সাইটোপ্লাজমের মধ্যে প্রোটিন সংশ্লেষণের সময় রাইবোজোমর দুটি উপ-একক যুক্ত হয়ে পূর্ণ রাইবোজোম তৈরি করে। রাইবোজোমের জীবজনি পদ্ধতি চিত্র 4.2 (ক + খ) এ দেখানো হল।



চিত্র 4.2 ঃ রাইবোজোমের জীবজনি। লক্ষ্য করুন উপ-এককগুলির সৃষ্টি নিউক্লিওলাসের মধ্যে ঘটে।

প্রান্তলিপি 4.2 : 5S rRNA

5S rRNA সব রাইবোজোমেই দেখা যায়। এটি রাইবোজোমের বৃহৎ উপ এককে পাওয়া যায়। এই ribosomal RNA নিউক্লিওলাসের মধ্যে তৈরি হয় না। এই জন্য একে extra nucleolar ribosomal RNA বলা হয়। এর cistron গুলিও NOR এর পাওয়া যায় না। অন্যান্য rRNA এর মতো এটিও polycistronic। এর cistron গুলি সাধারণতঃ কয়েকটি chromosome এর telomere অঞ্চলে দেখা যায়। এই rRNA এর প্রতিলিপি করণে RNA polymerase III উৎসেচকের প্রয়োজন হয়। মানুষের ক্রোমোসোম 1 এবং ভুট্টার chromosome II এর telemere এ 5S rRNA গুলি সংবন্ধ থাকে। প্রসঙ্গত উল্লেখ্য প্রাণীর ক্ষেত্রে ক্রোমোসোমগুলিকে আরবীয় সংখ্যা এবং উদ্ভিদের ক্ষেত্রে রোমান সংখ্যা দ্বারা চিহ্নিত করা হয়।

4.2.4 রাইবোজোমের কার্যাবলী

রাইবোজোমকে প্রোটিন ফ্যাক্টরি বলা হয়, কারণ এখানেই প্রোটিন তৈরি হয়। প্রোটিন সাংশ্লেষে প্রয়োজন সমস্ত অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি সাইটোপ্লাজমে ইতস্তত ছড়িয়ে থাকে। সাংশ্লেষের মাধ্যমে শতশত অ্যামাইনো অ্যাসিড সুনির্দ্দিষ্ট অনুক্রমে সজ্জিত হয়ে পলিনিউক্লিওটাইড্ অনু তৈরি করে। সামান্যতম ব্যতিক্রমে প্রোটিনের চরিত্রগত পার্থক্য ঘটে। অ্যামাইনো এসিডের এই শৃংখলা রাইবোজোমের মধ্যে সংঘটিত হয়। রাইবোজোমের ক্ষুদ্র উপ এককে mRNA অনু সংযোজিত হয়। tRNA তার নির্দ্দিষ্ট অ্যামিনো অ্যাসিড সহ amino acyl-tRNA complex হিসাবে নির্দ্দিষ্ট mRNA এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্ষুদ্র উপ এককের দ্বারা বাহিত হয়ে বৃহৎ উপ এককের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং বৃহৎ উপ এককের গ্রীবা অঞ্চলে peptide bond গুলি তৈরি হয়। Peptide bond সৃষ্টির জন্য GTP আর্দ্রবিশ্লেষণ (hydrolysis) প্রয়োজন। GTP hydrolysis ঐ অঞ্চলস্থিত L7/L12 প্রোটিন দ্বারা সংঘটিত হয়। নতুন সৃষ্ট পলিপেপটাইড্ (amino acid শৃংখল) ক্রমে দীর্ঘতর হয় এবং বৃহৎ উপ এককের অবদমিত অংশের মধ্যস্থিত গহ্বরের (tunnel) মধ্য দিয়ে বিপরীত প্রান্তের exit site দিয়ে নির্গত হয়। এইভাবে ribosome প্রোটিন সংশ্লেষে সাহায্য করে।

4.3 লাইসোজোম—গঠন ও ক্রিয়াকলাপ

লাইসোজোম বা digestive body ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রে লিভার বা যকৃত কোষে প্রথম ধরা পড়ে। Christian de-Duve (ক্রিশ্চিয়ান দ্য-দ্যুভে, 1955)। লাইসোজোমের বর্তমান নামকরণ করেন। এগুলি পর্দা আবৃত ক্ষুদ্রাণু অবয়ব যেগুলির মধ্যে পাচনকারক উৎসেচক পাওয়া যায়। কিছু প্রাণী কোষে এদের উপস্থিতি খুবই প্রকট। যেমন যকৃত, প্যানক্রিয়াস, প্লিহা, থাইরয়েড্, কিড্নি প্রভৃতি কোষ। তবে উদ্ভিদে কেবলমাত্র মেরিস্টেমেটিক কোষে এদের দেখা যায়। উল্লেখযোগ্য রক্তের শ্বেতকণিকায় প্রচুর সংখ্যক ও বৃহৎ আকারের লাইসোজোম দেখা যায়।

লাইসোজোম একটি পর্দা দ্বারা আবৃত (রবার্টসন Robertson 1959)। ঐ পর্দা লাইপোপ্রোটিন দ্বারা গঠিত। লাইসোজোমের অন্তর্ভাগ খুবই অনির্দ্দিষ্ট, যা লাইসোজোমের কার্যক্রিয়ার সঙ্গে যুক্ত। কিছু লাইসোজোমের অন্তস্থল ঘন, আবার কোন ক্ষেত্রে কেবল শূণ্যতা বা Vacuole দেখা যায়। অনেক লাইসোজোমের মধ্যে কিছু দানাদার বস্তুও লক্ষ্য করা যায়। এগুলিকে primary বা প্রাথমিক লাইসোজোম বলা হয় এবং এদের মধ্যে পাচন উৎসেচক জমা থাকে। কিছু lysosome ফ্যাগোসোমের (phagosome) এর সঙ্গে মিলিত হয়ে phagolysosome সৃষ্টি করে। Phagocytosis এর পর কিছু লাইসোজোমের মধ্যে যদি অপাচিত বস্তু পড়ে থাকে, তখন তাদের residual body বলা হয়। সুতরাং দেখা যায় যে লাইসোজোম বিভিন্ন আকৃতির ও বিভিন্ন প্রকারের হতে পারে (চিত্র 4.2)। Ribosome এ উৎসেচক সমূহ তৈরি হবার পর সেগুলি পর্দা আবরিত হয়ে lysosome সৃষ্টি করে। পর্দাগুলি endoplasmic reticulum বা golgi complex থেকে উৎপন্ন হয়।

প্রান্তলিপি 4.3—লাইসোজোমে প্রাপ্ত কয়েকটি উৎসেচক ও বিক্রিয়াত্মক পদার্থ সমূহ।

উৎসেচক (Enzymes)	বিক্রিয়াত্মক পদার্থ (Substrates)
1. নিউক্লিয়েজ	
(ক) রাইবোনিউক্লিয়েজ	RNA
(খ) ডিঅক্সিরাইবোনিউক্লিয়েজ	DNA
2. ফসফাটেজ	ফসফেট্স্
অ্যাসিড ফসফাটেজ	
3. প্রোটিয়েজ	প্রোটিন
ক্যাথেপসিন (Cathepsin)	
4. গ্লাইকোসিডেজ (glycosidase)	পলিস্যাকারাইড্, গ্লুকোসাইড্ ইত্যাদি।
গ্যালাকটোসিডেজ, গ্লুকোসিডেজ ইত্যাদি।	
5. লাইপেজ	লিপিড সমূহ

4.3.1 লাইসোজোমের কার্যাবলী

লাইসোজোম প্রধানতঃ দুধরণের কাজ করে থাকে (1) কোষের মধ্যে প্রবেশকারী বহিরাগত কণা ও আক্রমণকারী জীবাণু পরিপাক। (2) দেহস্থ মৃতকোষের বিপাকে অংশ গ্রহণ করে।

(1) **ফ্যাগোসাইটোসিস বা এন্ডোসাইটোসিস (endocytosis) ঃ** কোষের মধ্যে প্রবেশকারী কোন বহিরাগত কণা যেমন ব্যাকটেরিয়া, ভাইরাস প্রভৃতিকে বিনষ্ট করার জন্য এই পদ্ধতি। ঐ সব কণা প্রথমে প্লাজমা মেমব্রেণ দ্বারা পৃথক করা হয়। ঐ পর্দাআবৃত থলিটিকে ফ্যাগোসোম বলা হয়। পরে ফ্যাগোসোম ও লাইসোজোমের মধ্যে মিলন ঘটে এবং উভয়ে একত্রে digestive vacuole তৈরি করে এবং লাইসোজোমের উৎসেচক সমূহ

এদের বিপাকে সাহায্য করে। যে সমস্ত বস্তু পরিপাক করা সম্ভব হয় না তারা এক্সোসাইটোসিস (exocytosis) প্রক্রিয়ায় কোষের বাহিরে বিক্ষিপ্ত হয়।

(2) **মৃতকোষের বিপাকে লাইসোজোমের ভূমিকা :** বিভিন্ন কারণে দুয়েকটি দেহস্থ কোষের মৃত্যু ঘটা একটি স্বাভাবিক ঘটনা এবং বিভিন্ন সময়ে তা প্রয়োজনীয়ও বটে। কোষের এই ধরণের মৃত্যু ও অপসারণ apoptosis নামে পরিচিত। তবে অনেক সময় জীবাণু ইত্যাদির আক্রমণেও কোষের মৃত্যু ঘটে। এই সব মৃতকোষ অপসরণে লাইসোজোমের বিশেষ ভূমিকা রয়েছে। মৃতকোষে লাইসোজোমের পর্দাটি থেকে উৎসেচক সমূহ মুক্ত হয়ে ধীরে ধীরে কোষটিকে পরিপাক করে। অন্যথা মৃতকোষ লক্ষ্য করে রক্তের শ্বেতকণিকা বা আবর্জনা অপসারক ম্যাক্রোফাজ (macrophage) ধাবিত হয় এবং মৃতকোষকে এন্ডোসাইটোসিস প্রক্রিয়ায় ধ্বংস করে। এক্ষেত্রে শ্বেতকণিকা বা ম্যাক্রোফাজের লাইসোজোমগুলি বিপাক কাজে সাহায্য করে। এই কারণে এইসব কোষে লাইসোজোমের আধিক্য লক্ষ্য করা যায়।

4.4 সারাংশ

রাইবোজোম সাইটোপ্লাজমের একটি গুরুত্বপূর্ণ অবয়ব, কারণ এটি সরাসরি প্রোটিন সংশ্লেষে যুক্ত। ইউক্যারিওটিক রাইবোজোম মুক্ত অথবা এন্ডোপ্লাসমিক জালিকার সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় থাকে, যেখানে প্রোক্যারিওটে এরা সর্বদাই মুক্ত। ইউক্যারিওটিক কোষে মাইটোকনড্রিয়া ও ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে ও রাইবোজোম থাকে, যারা চরিত্রগতভাবে প্রোক্যারিওটিক। প্রোটিন সংশ্লেষের সময় রাইবোজোম শৃংখলাবদ্ধ হয়ে polysome বা polyribosome তৈরি করে। রাইবোজোমের আকার খুবই স্থির, প্রোক্যারিওটের ক্ষেত্রে 150 Å ; এবং ইউক্যারিওটের ক্ষেত্রে 250 Å এবং এদের অবক্ষেপন সহগ যথাক্রমে 70S ও 80S। রাইবোজোম দুটি উপ একক দ্বারা গঠিত, বৃহৎ ও ক্ষুদ্র উপএকক। ক্ষুদ্র উপএককের আকার লম্বাটে ও বক্র; টেলিফোন receiver এর মতো। বৃহৎ উপ একক ধনুকাকার একটি গ্রীবা ও দুটি কাঁধ যুক্ত এর মধ্যভাবে একটি অবদমিত অংশ থাকে, যেখানে প্রোটিন সংশ্লেষণ ঘটে।

রাইবোজোমে যে বিশেষ RNA পাওয়া যায়, সেগুলি ribosomal RNA হিসাবে পরিচিত। rRNA এর cistron গুলি ক্রোমোসোমের NOR এ সংবদ্ধ থাকে। ঐ RNA প্রতিলিপিকরণ ও রাইবোজোম-এর জীবজনি নিউক্লিওলাসে ঘটে থাকে। অবশ্য 5S rRNA প্রতিলিপি করণ nucleolus এর বাইরে ঘটে। Nucleolus এর মধ্যে সংশ্লেষিত RNA প্রথমে 45S হিসাবে পাওয়া যায়, যা পরে বিভাজনের মাধ্যমে এবং সংশ্লিষ্ট প্রোটিনের সঙ্গে মিলে রাইবোজোমের দুটি উপ-একক সৃষ্টি করে যেগুলি সাইটোপ্লাজমে বাহিত হয় এবং প্রোটিন সাংশ্লেষের সময় একত্রিত হয়ে পূর্ণাঙ্গ রাইবোজোম সৃষ্টি করে।

রাইবোজোমের ক্ষুদ্র উপ-একক mRNA ও aminoacyl tRNA বহন করে বৃহৎ উপ-এককের সঙ্গে মিলিত হয় যেখানে পলিপেপটাইড সংশ্লেষণ ঘটে থাকে।

লাইসোজোম পরিপাকে লিপ্ত প্রাণীকোষ সমূহে প্রচুর পরিমাণে পাওয়া যায়। উদ্ভিদের মেরিস্টেমেটিক

কোষেও লাইসোজোম দেখা যায়। লাইসোজোমের আকার ও আয়তন বিভিন্ন প্রকার হতে পারে, এগুলি একটি লাইপোপ্রোটিন পর্দা আবৃত। লাইসোজোমের মধ্যে বিভিন্ন প্রকার উৎসেচক দেখা যায়। এদের দুটি প্রধান কাজ জানা গেছে (ক) কোষের মধ্যে আক্রমণকারী জীবাণু ও বহিরাগত কণা সমূহ ধ্বংস ও পরিপাক করা এবং (খ) দেহস্থ মৃতকোষের বিপাকে অংশ গ্রহণ করা।

4.5 প্রশ্নাবলী

1. **শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ**

   (ক) ক্লড্ এদের নাম দেন _____, পরে Palade _____ নামকরণ করেন।

   (খ) প্রোক্যারিওটিক রাইবোজোমের ব্যাস _____ এবং অবক্ষেপন সহগ _____।

   (গ) _____ আনবিক ভারের একক; হাইড্রোজেনের আনবিক ভার _____।

   (ঘ) রাইবোজোমের জীবজনি _____ ঘটে থাকে।

   (ঙ) 45S rRNA বিভাজিত হয়ে _____ ও _____ অনু সৃষ্টি করে।

   (চ) 5S rRNA কে _____ রাইবোজোমাল RNA বলা হয়।

   (ছ) Peptide বন্ড সৃষ্টির জন্য _____ আর্দ্রবিশ্লেষণ প্রয়োজন যা _____ প্রোটিন দ্বারা সংঘটিত হয়।

   (জ) _____ খ্রীষ্টাব্দে _____ lysosome এর নামকরণ করেন।

   (ঝ) _____ সঙ্গে _____ যুক্ত হয়ে phagolysosome সৃষ্টি করে।

   (ঞ) দেহস্থ কোষের স্বাভাবিক মৃত্যু ও পাচন _____ নামে পরিচিত।

2. **অল্পকথায় উত্তর দিন ঃ**

   (ক) ইউক্যারিওটিক ও প্রোক্যারিওটিক কোষের রাইবোজোমের মধ্যে পার্থক্য নির্ণয় করুন।

   (খ) রাইবোজোমের উপ-একক দুটির তুলনামূলক আলোচনা করুন।

   (গ) 5S rRNA এর উপর টীকা লিখুন।

3. রাইবোজোমের গঠন ও জীবজনি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

4. রাইবোজোমের উপ একক গুলি সম্পর্কে আলোচনা করুন এবং এদের কার্য সম্বন্ধে আলোচনা করুন।

5. লাইসোজোমের গঠন ও কাজ সম্পর্কে আলোচনা করুন।

4.6 উত্তরমালা

1. (ক) মাইক্রোসোম, রাইবোজোম, (খ) 150 Å, 70S, (গ) Dalton, 1.65×10^{-24} gm, (ঘ) নিউক্লিওলাস, (ঙ) 32S, 18S, (চ) Extra nucleolar, (ছ) GTP, L7//L12, (জ) 1955, ক্রিশ্চিয়ান দ্য-দুভে (christian de-Duve) (ঝ) Lysosome, phagosome, (ঞ) apoptosis।
2. (ক) প্রান্তলিপি 4.1 দেখুন, (খ) 4.2.2, (গ) প্রান্তলিপি 4.2।
3. 4.2.2 ও 4.2.3 দেখুন।
4. 4.2.2 ও 4.2.5 দেখুন।
5. 4.3 ও 4.3.1 দেখুন।

একক 5 ❑ মাইটোকনড্রিয়া

গঠন

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

5.2 মাইটোকনড্রিয়া—আয়তন, আকৃতি ও গঠন

5.3 মাইটোকনড্রিয়া—একটি অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু

5.4 মাইটোকনড্রিয়ার বিবর্তনমূলক উৎপত্তি

5.5 মাইটোকনড্রিয়ার কার্যাবলী

5.6 প্রশ্নাবলী

5.7 উত্তরমালা

5.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

সাইটোপ্লাজমের অন্তর্গত অঙ্গাণুগুলির আলোচনা প্রসঙ্গে আমরা মাইটোকনড্রিয়া সম্পর্কে প্রাথমিকভাবে আলোচনা করেছি। মাইটোকন্ড্রিয়া কোষের একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গাণু এবং এরা শক্তি উৎপাদনের কারখানা হিসাবে পরিগণিত। তাছাড়া অন্যান্য কারণেও মাইটোকনড্রিয়া বিশেষ কৌতুহল-উদ্দীপক। সেই সব কারণে আমরা মাইটোকনড্রিয়া সম্পর্কে কিছুটা বিস্তারিতভাবে আলোচনা করবো। এই অধ্যায় পাঠে আমরা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে কিছু জানতে পারবেন—

(ক) মাইটোকনড্রিয়ার গঠন ও উপাদানগুলির বৈশিষ্ট্য।

(খ) মাইটোকনড্রিয়াকে অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু বলা হয় কেন।

(গ) মাইটোকনড্রিয়ার বিবর্তনগত উৎপত্তি।

(ঘ) এবং মাইটোকনড্রিয়ার কার্যাবলী।

5.2 মাইটোকন্ড্রিয়ার আয়তন, আকৃতি ও গঠন

প্রায় সমস্ত ইউক্যারিওটিক কোষেই মাইটোকনড্রিয়া পাওয়া যায়। 1898 খ্রীষ্টাব্দে Benda এই অঙ্গাণুর নামকরণ করেন—mitochondrion যার plural mitochondria। বর্তমানে সাধারণভাবে মাইটোকনড্রিয়া ব্যবহার করা হয়। যে সমস্ত কোষে সবাত শ্বসন দেখা যায়, ঐ সমস্ত কোষেই মাইটোকন্ড্রিয়া উপস্থিত। বিভিন্ন কোষে আকৃতি ও সংখ্যায় এদের বিশেষ তারতম্য দেখা যায়। সাধারণভাবে এরা 3.5 μm লম্বা হয়

এবং 0.5-1.0 μm বেধযুক্ত। ব্যাঙের Oocyte এ প্রায় 40μm লম্বা মাইটোকন্ড্রিয়া পাওয়া যায়। সক্রিয় কোষে প্রচুর সংখ্যক মাইটোকন্ড্রিয়া দেখা যায়। লিভার কোষে 1000 থেকে 2000 মাইটোকন্ড্রিয়া পাওয়া যেতে পারে, অন্যদিকে শুক্রকীটে কেবলমাত্র 20-24টি মাইটোকনড্রিয়া পাওয়া যায়। *Chaos chaos* নামক অ্যামিবায় এই সংখ্যা 100,000 হতে পারে। সাধারণভাবে মাইটোকন্ড্রিয়া রড্ বা দন্ডাকৃতির, কিছু কিছু ক্ষেত্রে গোলাকার মাইটোকনড্রিয়া দেখা যায়।

ইলেক্ট্রন মাইক্রোস্কোপে পরীক্ষা করে মাইটোকনড্রিয়ার গঠন সম্পর্কে সবিশেষ ধারণা লাভ করা সম্ভব হয়েছে। মাইটোকনড্রিয়া দ্বিস্তর পর্দা দ্বারা আবৃত। এরা বহির্পর্দা (outer membrane) ও অন্তপর্দা (inner membrane) নামে পরিচিত। প্রতিটি পর্দা প্রায় 75 $\mathring{A}$ পুরু এবং লিপিড ও প্রোটিন দ্বারা গঠিত। দুটি পর্দার মাঝখানে 40-70 $\mathring{A}$ ফাঁক বা intermembrane space থাকে। ঐ স্থান সহ-উৎসেচক (co-enzyme) সমৃদ্ধ তরল পদার্থে পূর্ণ থাকে। অন্তপর্দা বেষ্টিত অঞ্চলটি matrix বা ধাত্র নামে অভিহিত। অন্তপর্দা ধাত্রের মধ্যে অঙ্গুলি আকারের অভিক্ষেপ প্রবেশ করে, যেগুলি ক্রিষ্টি (cristae) নামে পরিচিত (চিত্র 2.5 দেখুন) । ক্রিষ্টির গায়ে কিছু মৌলিক দানা (elementary particles) সারিবদ্ধভাবে সজ্জিত থাকে, এগুলি F-particles নামে পরিচিত। F-কণার মধ্যে ভূমি (base) ও মস্তক (head) পৃথক করা যায়, এবং তারা যথাক্রমে F_0 ও F_1 হিসাবে চিহ্নিত হয়। F_1-এর মধ্যে ATPase উৎসেচক পাওয়া যায়, এবং F_0 এর মধ্যে প্রোটন (proton) দেখা যায়।

মাইটোকনড্রিয়ার ধাত্রের মধ্যে কিছু ঘন দানা, মাইটোকনড্রিয় রাইবোজোম ও গোলাকৃতি DNA অনু দেখা যায়। মাইটোকন্ড্রিয়ার রাইবোজোম প্রোক্যারিওটের রাইবোজোমের ন্যায়, যদিও আকারে এরা ছোট এবং এদের অবক্ষেপন সহগ-55S। ধাত্রের মধ্যে 2-6টি একই প্রকারের DNA অনু পাওয়া যায়, এগুলি mt DNA হিসাবে পরিচিত। সাধারণভাবে এরা গোলাকার, 5 μm পরিধিযুক্ত। এছাড়াও ধাত্রের মধ্যে mt RNA (যা m, r বা tRNA হতে পারে) এবং বিভিন্ন প্রকার প্রোটিন পাওয়া যায়। মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে প্রোটিন সংশ্লেষণের সব উপাদানই পাওয়া যায় এবং কিছু সংখ্যক প্রোটিনও মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে তৈরি হয়।

5.3 মাইটোকন্ড্রিয়া একটি অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু

উপরের আলোচনায় আমরা দেখলাম মাইটোকন্ড্রিয়ার ধাত্রের মধ্যে কয়েকটি DNA অনু, রাইবোজোম, কিছু বিশেষ RNA ও প্রোটিন পাওয়া যায়। এই DNA ও রাইবোজোম উভয়েই প্রোক্যারিওটিক ধর্ম যুক্ত। মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে তিন ধরণের RNAই পাওয়া যায়। এর মধ্যে একটি বিশেষ RNA polymerase উৎসেচকও উপস্থিত। মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে বেশ কিছু RNA এবং পরবর্তী পর্যায়ে প্রোটিন অনু তৈরি হয়। এই সব প্রোটিন মাইটোকনড্রিয়ার অন্তপর্দার মধ্যে দেখা যায়। তবে মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে কয়েকশত প্রোটিন রয়েছে, এদের সকলের সৃষ্টি মাইটোকনড্রিয়া-র মধ্যে সম্ভব নয়, কারণ সে তুলনায় ঐ DNA অনু

দৈর্ঘ্য খুবই কম। ঐ সব অতিরিক্ত প্রোটিনের সংকেত নিউক্লিয় DNA-তে অবস্থিত এবং তারা সাইটোপ্লাজমে অবস্থিত মুক্ত রাইবোসোমে তৈরি হয়। এরা পরে মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে প্রবেশ করে। এই ধরণের প্রোটিনগুলি একটি ধ্বজা (flag) বা ঠিকানা (address) বহন করে, যার দ্বারা মাইটোকন্ড্রিয়ার বহির্পর্দা এদের সনাক্ত করতে পারে। এদের flag প্রোটিন বলে। মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে প্রাপ্ত কিছু প্রোটিনের কয়েকটি পলিপেপটাইড্ নিউক্লিয় সংকেতে সাইটোরাইবোজোমে সৃষ্টি হয়, এবং অন্যগুলি মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যেই সৃষ্ট হয়; যেমন cytochrome oxidase (সাইটোক্রোম অক্সিডেজ), যার মধ্যে 7টি পলিপেপটাইড্ আছে; এর তিনটি mt রাইবোজোম তৈরি করে, বাকি চারটি Cytoribosome সৃষ্টি করে। আবার মাইটোকন্ড্রিয়ার অনেক গুরুত্বপূর্ণ প্রোটিন, যেমন রাইবোজোমাল প্রোটিনগুলি নিউক্লিয় DNA কর্তৃক শাসিত। এমনকি মাইটোকন্ড্রিয়ার নিজস্ব DNA এর প্রতিলিপিকরণের জন্য প্রয়োজনীয় DNA polymerase এর সংশ্লেষও নিউক্লিয় DNA এর উপর নির্ভরশীল। সেই কারণে ওকে পূর্ণ স্বশাসিত অঙ্গাণু না বলে অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু হিসাবে গণ্য করা হয়।

5.4 মাইটোকন্ড্রিয়ার বিবর্তনমূলক উৎপত্তি

মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে বহু প্রোক্যারিওটের চরিত্র দেখা যায়, যেমন—

(ক) আকৃতি—দণ্ডাকৃতি মাইটোকন্ড্রিয়া আকৃতিতে অনেক ব্যাকটেরিয়ার মতো।

(খ) রাইবোজোম—যদিও ব্যাকটেরিয়ার রাইবোজোম ব্যাকটেরিয়ার রাইবোজোমের চাইতে আকারে ছোট, তবুও তাদের RNA ও প্রোটিনগুলি ব্যাকটেরিয়ার রাইবোজোমের মতোই। তাদের RNA ও প্রোটিনের অনুপাত ও একইরকম। উভয়েই chloramphenicol সংবেদনশীল অর্থাৎ chloramphenicol-এর উপস্থিতিতে প্রোটিন সংশ্লেষণে অক্ষম, যা সাইটোরাইবোজোমে ঘটে না।

(গ) মাইটোকন্ড্রিয়ার DNA গোলাকার, ব্যাকটেরিয়ার DNA এর ন্যায়। এই DNA হিস্টোন প্রোটিন যুক্ত নয় এবং তাদের Guanine ও Cytosine (G–C) এর পরিমাণ 36-40% যা ব্যাকটেরিয়ার DNA এর তুলনীয়। mt DNA একটি operon এর মতোই কাজ করে।

1972 খ্রীষ্টাব্দে Margulis (মারগুইলিস) মাইটোকন্ড্রিয়ার উৎপত্তি ব্যাখ্যায় একটি প্রকল্প (hypothesis) উপস্থাপনা করেন। ঐ প্রকল্প অনুসারে ধরা হয় যে মাইটোকন্ড্রিয়া একসময় একটি মুক্তনীতি প্রোক্যারিওট ছিল, বিবর্তনের কোন এক ধাপে এরা আদি-ইউক্যারিওটিক (pro-eukaryote) কোষের অন্তর্ভুক্ত হয়ে মিথোজীবি (symbiont) হিসাবে বসবাস শুরু করে, পরে ধীরে ধীরে বহুলাংশে স্বায়ত্তশাসন হারিয়ে ফেলে এবং আংশিকভাবে নিউক্লিয় জিনোমের উপর নির্ভরশীল হয়ে পড়ে। বর্তমান আনবিক Geneticsও এই মতবাদ সমর্থন করে।

প্রান্তলিপি 5.1 : মাইটোরাইবোজোম সংশ্লেষিত মাইটোকনড্রিয়ার প্রোটিন।

মাইটোকন্ড্রিয়ার অনেক প্রোটিন সাইটোরাইবোজোমে সংশ্লেষিত হয়। এইসব প্রোটিন মুক্ত সাইটো-

রাইবোজোমে তৈরি হয়। মাইটোকন্ড্রিয়া যাতে পরে এদের চিনে নিতে পারে সেজন্য এদের amino-terminus (পলিপেপটাইড শৃংখলে দুটি টারমিনাস থাকে, এর সংশ্লেষণ শুরু হয় amino-terminus এ, এবং শেষ হয় carboxyl terminus এ। প্রান্তে কয়েকটি অতিরিক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড দেখা যায়, যা ফ্ল্যাগ (flag-পতাকা) বা ঠিকানা (address) হিসাবে কাজ করে; সেইজন্য এই সব প্রোটিনকে ফ্ল্যাগ বা ধ্বজাধারী প্রোটিনও বলা যায়। এইসব প্রোটিনকে মাইটোকন্ড্রিয়ার বহিপর্দার গ্রাহক অনু (receptors) সহজেই চিহ্নিত করতে পারে, তখন বহিপর্দা ওদের ভিতরে গ্রহণ করে এবং ধাত্রের অন্তস্থ প্রোটিয়েজ (protease) উৎসেচক ঐ অতিরিক্ত অ্যামাইনো অ্যাসিড গুলিকে (flag বা address) বিনষ্ট করে। কিছু প্রোটিনে দুটি flag বা address থাকে। দ্বিতীয় address টি আন্তপর্দা space (intermembrane space) চিহ্নিত করে।

5.5 মাইটোকন্ড্রিয়ার কার্য

মাইটোকন্ড্রিয়া ব্যতীত সবাত শ্বসন (aerobic respiration) সম্ভব নয়। কারণ মাইটোকনড্রিয়ার মাধ্যমেই pyruvic acid (পাইরুভিক অ্যাসিড) CO_2 ও জলে রূপান্তরিত হতে পারে। মাইটোকন্ড্রিয়ার মুখ্য ক্রিয়াকলাপ নিম্নরূপ—

(1) সবাত শ্বসন : কোষে শ্বসনের কেন্দ্র মাইটোকন্ড্রিয়া। এই শ্বসনকার্যকে চারটি প্রধান ভাগে ভাগ করা যায়। যেমন (ক) গ্লাইকোলাইসিস, (খ) পাইরুভিক অ্যাসিড জারণ (oxidation), (ঘ) Kreb (ক্রেব) এর অ্যাসিড চক্র, (ঘ) জারণ প্রভাবিত ফসফরিলেশন (oxidative phosphorylation)। এর মধ্যে শেষোক্ত দুটি ধাপই মাইটোকনড্রিয়ার মধ্যে সংঘটিত হয়। ক্রেব চক্রের প্রয়োজনীয় উৎসেচকসমূহও মাইটোকন্ড্রিয়ার ধাত্রের মধ্যে পাওয়া যায়। ক্রেব চক্রে CO_2 ও জল এবং H_2 মুক্ত হয়। ঐ হাইড্রোজেন/ইলেকট্রন একটি জটিল transfer চক্রের মধ্যে দিয়ে শেষে O_2 এর যুক্ত হয়ে জলের অনু সৃষ্টি করে এবং ঐ চক্রে মোট 24টি ATP অনু তৈরি হয়। ঐ চক্রে ফ্ল্যাভো প্রোটিন (ফ্ল্যাভিন-এডেনিন-ডাইনিউক্লিওটাইড, flavin-adenine-dinucleoride, FAD), সাইটোক্রোম উৎসেচক সমূহ (Cytochromes), কয়েকটি সহউৎসেচক (যেগুলি মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্তঃপর্দায় অবস্থিত) অংশগ্রহণ করে। শ্বসনে উৎসারিত শক্তি ATP-র মধ্যে পুঞ্জীভূত থাকে।

(2) ATP পরিবহন : মাইটোকন্ড্রিয়ার অন্যতম মুখ্য কাজ ATP পরিবহন। শ্বসনের ফলে উদ্ভূত ATP অনুগুলি মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে জমা হয়, এবং মাইটোকন্ড্রিয়া যেখানে শক্তির প্রয়োজন হয়, সেখানে তাদের পরিবহন করে এবং নিষ্পেষণের মাধ্যমে জল ও ATP অনু বহিষ্কার করে। ATP শক্তি মুক্ত করে ADP তে পরিণত হয়। এইভাবে মাইটোকন্ড্রিয়া কোষে শক্তির উৎপাদনে ও পরিবহনে সহায়তা করে।

5.6 সারাংশ

যে সমস্ত কোষে সবাত শ্বসন দেখা যায়, সেই সমস্ত কোষেই মাইটোকন্ড্রিয়া দেখা যায়। এগুলি শক্তি

উৎপাদনের কারখানা হিসাবে গণ্য হয়। এরা আকারে রড্ বা দণ্ডাকৃতি অনেকটা ব্যাকটেরিয়ার মতো। মাইটোকনড্রিয়া দ্বিস্তর পর্দা আবৃত, পর্দাগুলি লাইপোপ্রোটিন গঠিত এবং 75 Å বেধ যুক্ত এবং এদের মাঝখানে 40-70 Å বেধযুক্ত intermembrane space দেখা যায়, ঐ অঞ্চলে সহ-উৎসেচক পূর্ণ তরল পদার্থ পাওয়া যায়। অন্তর্পর্দা একটি ধাত্রকে বেষ্টন করে, এবং ধাত্রের মধ্যে অঙ্গুলির ন্যায় অভিক্ষেপ (Cristae) তৈরি করে। ক্রিষ্টির অন্তর্ভাগে F-কণাসমূহ সারিবদ্ধভাবে সজ্জিত থাকে। ধাত্রের মধ্যে কিছু ঘন দানা, রাইবোজোম এবং 2 থেকে 6টি DNA অনু দেখা যায়। এগুলি গোলাকার এবং প্রোক্যারিওটের ন্যায়। স্বাধীনভাবে প্রোটিন সংশ্লেষণের জন্য সমস্ত উপাদানই মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে দেখা যায় এবং কিছু প্রোটিন মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে সংশ্লেষিত হয়। তবে মাইটোকন্ড্রিয়ার বহু প্রোটিন নিউক্লিয় জিনোমের প্রভাবে মাইটোরাইজোমে তৈরি হয়ে মাইটোকন্ড্রিয়ায় প্রবেশ করে। এই সব প্রোটিনগুলি বিশেষ ধ্বজা বা ঠিকানা যুক্ত হওয়ায় মাইটোকন্ড্রিয়ার বহির্পর্দা কর্তৃক সহজেই চিহ্নিত হতে পারে, মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে ঐ ধ্বজা অপসারিত হয়। অনেক প্রোটিনের কয়েকটি পলিপেপটাইড্ মাইটোকন্ড্রিয়ার এবং বাকীগুলি সাইটোরাইবোজোমে সৃষ্টি হয়। এই জন্য এদের অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু বলা হয়।

মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে অনেক প্রোক্যারিওটের চরিত্র গোচর করা যায়। ধরে নেওয়া হয় এরা একসময় মুক্তজীবি প্রোক্যারিওট ছিল। বিবর্তনের আদিযুগে কোন সময়ে এরা অবায়বীয় প্রো-ইউক্যারিওট্ কোষে মিথোজীবি হিসাবে বসবাস শুরু করে, পরে কালক্রমে তারা কিছু পরিমাণে নিজেদের স্বায়ত্ত হারিয়ে ফেলে এবং আংশিকভাবে নিউক্লিয়াসের উপর নির্ভরশীল হয়ে পড়ে।

কোষে সবাত শ্বসনের কেন্দ্র মাইটোকন্ড্রিয়া। ক্রেব (Kreb) এর অ্যাসিড চক্র এবং জারণ প্রভাবিত ফসফোরিলেশন মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে সংঘটিত হয়। এর ফলে উদ্ভূত ATP কণা সমূহ মাইটোকন্ড্রিয়ায় জমা হয় এবং যেখানে শক্তির প্রয়োজন হয়, সেইসব অঞ্চলে মাইটোকন্ড্রিয়া কর্তৃক পরিবাহিত হয়।

প্রান্তলিপি 5.2 : Mitochondria-র DNA এর পরিব্যক্তি।

মাইটোকনড্রিয়ার DNA-এর পরিব্যক্তি হার তুলনামূলকভাবে অনেক বেশি এবং এইসব পরিবর্তন মাইটোকন্ড্রিয়ার DNA-এর মধ্যে জমা থাকে। অবশ্য উদ্ভিদে মাইটোকনড্রিয়ার DNA-তে পরিব্যক্তি হার অনেক কম হয়। পৃথিবীর বিভিন্ন অঞ্চলের বসবাসকারী মানুষের 21টি প্রজাতির মাইটোকন্ড্রিয়া বিশ্লেষণ করে প্রমাণিত হয়েছে যে বর্তমানে জীবিত সমস্ত মানব-প্রজাতি প্রায় 20 লক্ষ বৎসর আগে কেবলমাত্র একটি মানব মাতার গর্ভ থেকে উদ্ভূত। উল্লেখযোগ্য যে মাইটোকন্ড্রিয়া যেহেতু সাইটোপ্লাজমে থাকে, সেই কারণে মাইটোকনড্রিয়ার চরিত্রগুলি কেবল মাতৃকোষ থেকে উদ্ভূত। শুক্রকীট থেকে কেবলমাত্র নিউক্লিয়াসই নিষেকে অংশগ্রহণ করে। এই ধরনের বংশানুসৃতি বা উত্তরাধিকার সাইটোপ্লাজমীয় বা মাতৃতান্ত্রিক উত্তরাধিকার বা cytoplasmic or maternal inheritance নামে পরিচিত।

5.7 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ
   (ক) লিভার কোষে _____ থেকে _____ সংখ্যক মাইটোকন্ড্রিয়া পাওয়া যেতে পারে, কিন্তু শুক্রকীটে কেবল _____ থেকে _____ সংখ্যক মাইটোকন্ড্রিয়া পাওয়া যায়।
   (খ) মাইটোকন্ড্রিয়া _____ পর্দা দ্বারা বেষ্টিত, প্রতিটি পর্দা _____ Å বেধ যুক্ত এবং _____ দ্বারা গঠিত।
   (গ) মাইটোকন্ড্রিয়ার রাইবোজোম _____ রাইবোজোমের তুল্য, কিন্তু তার অবক্ষেপন সহগ _____।
   (ঘ) মাইটোকন্ড্রিয়ার মধ্যে যেসব প্রোটিন সৃষ্ট হয়, সেগুলি _____ পর্দায় দেখা যায়।
   (ঙ) এই ধরনের protein গুলি একটি _____ বা _____ বহন করে, ফলে মাইটোকন্ড্রিয়ার _____ এদের সনাক্ত করতে পারে।
   (চ) Cytochrome oxidase এর মধ্যে _____ polypeptide আছে, যার মধ্যে তিনটি _____ এ সৃষ্টি হয় এবং বাকী 4টি _____ তৈরি হয়।
   (ছ) মাইটোকন্ড্রিয়া থেকে জল _____ ও অনু বিশ্লেষণ দ্বারা _____ হয়।
2. টীকা লিখুন ঃ
   (ক) মাইটোকন্ড্রিয়ার গঠন।
   (খ) মাইটোকন্ড্রিয়াস্থ F অনু।
   (গ) ফ্ল্যাগ প্রোটিন।
   (ঘ) মাতৃতান্ত্রিক উত্তরাধিকার।
3. প্রমান করুন মাইটোকন্ড্রিয়া একটি অর্ধস্বশাসিত অঙ্গাণু।
4. মাইটোকন্ড্রিয়ার বিবর্তনগত উৎপত্তি সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।
5. মাইটোকন্ড্রিয়ার ক্রিয়াকলাপের বিবরণ দিন।

5.8 উত্তরমালা

1. (ক) 1000, 2000, 20, 24, (খ) দ্বিস্তর, 70, লাইপোপ্রোটিন, (গ) প্রোক্যারিওটিক, 55S, (ঘ) অন্তঃ, (ঙ) Flat বা address, receptor, (চ) 7, mitochondria, cytoribosome, (ছ) ATP, বহিষ্কৃত।
2. (ক) 5.2 দেখুন, (খ) ঐ, (গ) প্রান্তলিপি 5.1 দেখুন, (ঘ) প্রান্তলিপি 5.2 দেখুন।
3. 5.3 দেখুন।
4. 5.4 দেখুন।
5. 5.5 দেখুন।

একক 6 ❑ ক্লোরোপ্লাষ্ট ঃ

গঠন

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

6.2 ক্লোরোপ্লাষ্টের আকৃতি, আয়তন ও গঠন

6.3 ক্লোরোপ্লাষ্টের উৎপত্তি ও পরিস্ফুরণ

6.4 ক্লোরোপ্লাষ্টের কার্যাবলী

6.5 ক্লোরোপ্লাষ্ট জেনেটিক্স্ ও স্বায়ত্ত শাসন

6.6 ক্লোরোপ্লাষ্টের বিবর্তনগত উৎপত্তি

6.7 সারাংশ

6.8 প্রশ্নাবলী

6.9 উত্তরমালা

6.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

উদ্ভিদের পাতা ও অন্যান্য কিছু অঞ্চলের রঙ সবুজ; এর জন্য দায়ী একটি বিশেষ রঞ্জক ক্লোরোফিল। ক্লোরোফিল সালোকসংশ্লেষে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ এবং পৃথিবীতে জীবজগতের অস্তিত্ব ক্লোরোফিলের উপর প্রায় সম্পূর্ণভাবে নির্ভরশীল। কিছু প্রোক্যারিওট যেমন cyanobacteria এবং কয়েকটি সালোকসংশ্লেষকারী ব্যাকটেরিয়ার মধ্যেও ক্লোরোফিল ছাড়াও আরও দুয়েকটি রঞ্জক পাওয়া যায়। CO_2 ও জলকে সূর্যরশ্মির শক্তি ব্যবহার করে শর্করায় রূপান্তরের ক্ষমতা একমাত্র ক্লোরোপ্লাষ্টেই বর্তমান। তাই ক্লোরোপ্লাষ্ট একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অঙ্গাণু। এই অধ্যায়ে আমরা ক্লোরোপ্লাষ্ট সম্পর্কে কিছু আলোচনা করবো, যা পাঠে আপনারা (ক) ক্লোরোপ্লাষ্ট এর সূক্ষ গঠন, (খ) ক্লোরোপ্লাষ্টের পরিস্ফুরণ, (গ) এদের কার্যাবলী, (ঘ) এদের বিবর্তনগত উৎপত্তি ইত্যাদি সম্পর্কে একটি প্রাথমিক ধারণা লাভ করবেন।

6.2 ক্লোরোপ্লাষ্টের আকৃতি, আয়তন ও গঠন

উচ্চতর উদ্ভিদের পাতার কোষে অনেক ক্লোরোপ্লাষ্ট কণা উপস্থিত থাকে। সাধারণভাবে একটি পাতার কোষে 50-200 ক্লোরোপ্লাষ্ট থাকে। *Riceinus communis* এর পাতার মধ্যে প্রতি mm^2 অঞ্চলে 400,000 ক্লোরোপ্লাষ্ট পাওয়া যায়। শৈবালের মধ্যে বিভিন্ন আকৃতির chloroplast দেখা যায়, যা পেঁচানো, চ্যাপ্টা, জালিকাকার বা অন্যরকম হতে পারে। উচ্চতর উদ্ভিদে ক্লোরোপ্লাষ্ট গোলাকার, ডিম্বাকৃতি বা চাকতির মতো

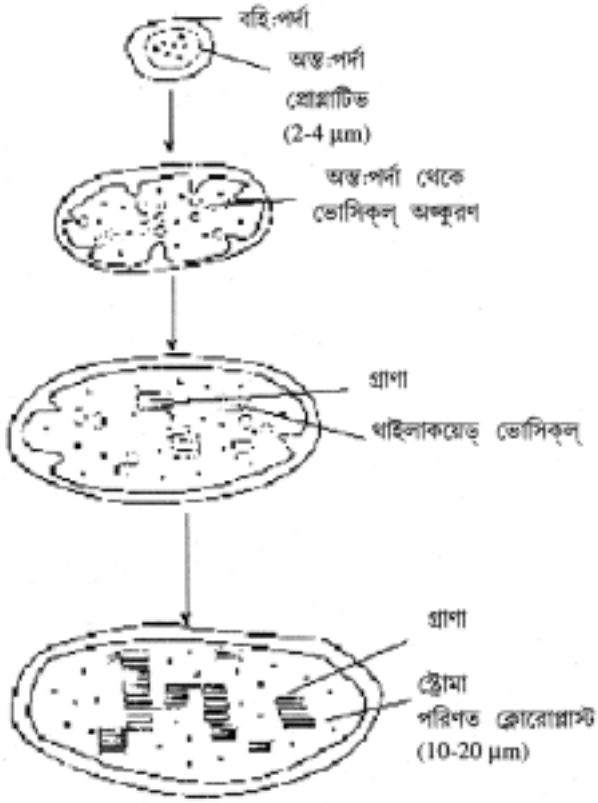
হতে পারে। এগুলি 5-10 μm ব্যাসযুক্ত এবং 1 μm পুরু হয়ে থাকে। যে সব উদ্ভিদ ছায়ায় থাকে তাদের ক্লোরোপ্লাষ্ট অপেক্ষাকৃত বড়। পলিপ্লয়েড্ উদ্ভিদেও ক্লোরোপ্লাষ্ট বড় আকারের হয়।

ক্লোরোপ্লাষ্টও দ্বিস্তরীয় পর্দা আবৃত এবং দুই পর্দার 25-75 Å বেধ যুক্ত অন্তর্পর্দা ফাঁক (intermembrane space) থাকে। পর্দাগুলি 40-60 Å বেধযুক্ত। অন্তর্পর্দা একটি সমসত্ত্ব (homogenons) ধাত্রকে পরিবেষ্টন করে। ঐ ধাত্র ষ্ট্রোমা নামেও পরিচিত। ষ্ট্রোমার মধ্যে কিছু উৎসেচক দ্রবীভূত থাকে এবং এর মধ্যে অনেক ক্ষুদ্র বেলনাকৃতি (Cylindrical) অবয়ব দেখা যায়। রঞ্জক পদার্থগুলি ঐ বেলনাকার অবয়বের মধ্যে সীমিত থাকে। এগুলি Grana নামে পরিচিত। গ্রাণার ব্যাস 0.3 থেকে 0.5 μm। প্রকৃতপক্ষে stroma-র মধ্যে একটি বিশেষ পর্দাতন্ত্র (membrabe system) দেখা যায়, যা সারিবদ্ধ ক্ষুদ্রথলি বা thylakoid সৃষ্টি করে, thylakoid গুলি সারিবদ্ধ ভাবে গ্রাণা তৈরি করে। Stroma ল্যামেলি গ্রানাগুলির মধ্যে সংযোগ স্থাপন করে (Fig 2.7 ক, খ)। উল্লেখ্য যে thylakoid lamellae ইত্যাদি ক্লোরোপ্লাষ্টের অন্তর্পর্দা থেকে সৃষ্টি হয় এবং এরা মাইটোকন্ড্রিয়ার cristaeর সঙ্গে তুলনীয়।

ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে 35-53 ভাগ প্রোটিন, 20-30 ভাগ লিপিড, 9 ভাগ ক্লোরোফিল, 4-5% ক্যারোটিনয়েড্স (carotenoids) এবং 2-3 ভাগ DNA ও RNA থাকে। উচ্চতর উদ্ভিদে দুধরণের Chlorophyll থাকে Chlorophyll a ও Chlorophyll b। ক্যারোটিনয়েড্দের মধ্যে থাকে ক্যারোটিন (carotene) ও জ্যান্থোফিল (Xanthophyll), যেগুলি ভিটামিন A এর সমজাতীয়। ক্লোরোফিল অণু প্রাণীর রক্তের হিমোগ্লোবিনের সঙ্গে তুলনীয় তবে এই porphyrin-এ Fe-র পরিবর্তে Mg-পাওয়া যায়।

6.3 ক্লোরোপ্লাষ্টের উৎপত্তি ও পরিস্ফূরণ

প্লাস্টিডের উৎপত্তি পূর্বতন প্লাষ্টিড থেকেই সম্ভব। তবে এদের পরিস্ফূরণ কতগুলি বৈশিষ্ট্যহীন উপাদান—প্রোপ্লাস্টিড্ (proplastid) থেকে ঘটে থাকে। প্রোপ্লাষ্টিড্গুলি দ্বিস্তরীয় পর্দা দ্বারা আবদ্ধ। Proplastid থেকে যেহেতু সবরকমের প্লাষ্টিডের উদ্ভব সম্ভব, সেইজন্য এরা stem plastid হিসাবেও পরিচিত। পরিস্ফূরণের সময় প্রোপ্লাষ্টিডগুলি আকারে বড় হয় এবং অন্তর্পর্দা কয়েকস্থানে ভাঁজ হয়ে অভিক্ষেপ সৃষ্টি করে যেগুলি বেলনাকার vesicle এর মতো দেখা যায়। Vesicle গুলি পরে মুক্ত এককে পরিণত হয়। এগুলি thylakoid vesicle হিসাবে কাজ করে। অপরিণত অবস্থায় proplastid গুলি leucoplast হিসাবে থাকতে পারে এবং ভিন্নরূপ বৈশিষ্ট্য অর্জন করে খাদ্য সংরক্ষণের জন্য amyloplast (অ্যামাইলোপ্লাষ্ট), proteinoplast (প্রোটিনোপ্লাষ্ট) হিসাবে কাজ করে। আলোক সংস্পর্শে এসে proplastid গুলি chloroplast এ পরিণত হতে পারে। মুক্ত thylakoid vesicle গুলি একত্রিত হয়ে গ্রাণা (Grana) তৈরি করে। ক্রমে ক্রমে অনেক thylakoid ও গ্রাণা তৈরি হয় এবং গ্রাণাগুলির মধ্যে stroma lamellae যোগ সাধন করে এবং পূর্ণ ক্লোরোপ্লাষ্টে পরিণত হয় (চিত্র 6.1)। কোন কোন ক্ষেত্রে vesicle গুলি স্ফটিকাকার গ্রহণ করে এবং chromoplast (ক্রোমোপ্লাষ্ট) সৃষ্টি হয়।



চিত্র 6.1 ঃ প্রোপ্লাষ্টিড থেকে আলোর প্রভাবে ক্লোরোপ্লাষ্টের পরিস্ফূরণ।

প্রান্তলিপি 6.1 ঃ ক্লোরোপ্লাষ্টের রঞ্জক সমূহ।

ক্লোরোপ্লাষ্টের মোট ভারের 9% ক্লোরোফিল। আবার এই chlorophyll এর বেশিরভাগই chlorophyll a, সাধারণভাবে 75% chlorophyll a এবং বাকি 25% chlorophyll b থাকে। Chloroplast এ Carotenoids এর পরিমাণ 4-5%, যার মধ্যে আবার শতকরা 75% জ্যান্থোফিল এবং 25% ক্যারোটিন। শৈবালের মধ্যে আরও দুয়েক প্রকার রঞ্জক দেখা যায়, যেমন Phaeophyceae র মধ্যে fucoxanthin (ফিউকোজ্যানথিন), Rhodophyceae তে phycoerythrin (ফাইকোএরিথ্রিন) প্রভৃতি। Cyanophyceae যেহেতু প্রোক্যারিওট, এখানে ক্লোরোপ্লাষ্ট পাওয়া যায় না। এখানে Chlorophyll a কোষে মুক্ত অবস্থায় phycocyanin (ফাইকোসিয়ানিন), phycoerythrin (ফাইকোএরিথ্রিন) এর সঙ্গে সহ অবস্থান করে। Chlorophyll একটি tetrapyrrole কাঠামো। Chlorophyll a তে pyrrole ring II এর position III এ একটি মিথাইল ($-CH_3$) গ্রুপ, যেখানে Chlorophyll b তে ফরমিল গ্রুপ (–CHO) থাকে। কোন কোন ক্ষেত্রে একটি ব্যতিক্রমী Chlorophyll c ও পাওয়া যায়।

6.4 ক্লোরোপ্লাষ্টের কার্যাবলী

উদ্ভিদকোষ ক্লোরোপ্লাষ্টের মাধ্যমে CO_2 ও জল থেকে সূর্যকিরণের শক্তির সাহায্যে শর্করা সৃষ্টি করে, যা উদ্ভিদ ও প্রাণীর জীবনধারণের জন্য একান্তভাবে আবশ্যিক। এই সংশ্লেষণ ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে কিভাবে ঘটে থাকে, তা পৃথকীকৃত Chloroplast পরীক্ষা করে বিশদভাবে জানা যায়। সালোকসংশ্লেষ পদ্ধতির দুটি ভাগ আছে—(1) আলোক বিক্রিয়া (light reaction) এবং (2) আলোক-নিরপেক্ষ বা অন্ধকার বিক্রিয়া (dark reaction)। অন্ধকার বিক্রিয়ায় প্রয়োজনীয় উৎসেচক সমূহ জলে দ্রবণীয় এবং chloroplast এর ধাত্র বা ষ্ট্রোমার মধ্যে পাওয়া যায়। পৃথকীকৃত ক্লোরোপ্লাষ্টের খণ্ডায়নে (fractionation) এই দুই বিক্রিয়াকে আলাদা করে পরীক্ষা করা যায়। খণ্ডায়নের পর অপকেন্দ্রনে (centrifugation) যে sediment বা তলানি পাওয়া যায় তার মধ্যে থাইলাকয়েড্ vesicles, lamellae ইত্যাদি পাওয়া যায়। এগুলি Hill reaction বা আলোক বিক্রিয়ায় সক্ষম। Carboxy dismutase উৎসেচকটি সম্পূর্ণভাবে তলানির মধ্যে সীমিত দেখা যায়। এছাড়া রঞ্জক পদার্থগুলিও thylakoid থলি এবং গ্রাণার মধ্যেই পাওয়া যায়। এই বিক্রিয়ায় জল থেকে OH^- ও H^+ পাওয়া যায়। ইলেকট্রনটি chlorophyll, ferrodoxin, NADPH, অথবা সাইকোক্রোম প্রভৃতির মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হয়ে ADP কে ATP তে রূপান্তরিত করে। অলোক বিক্রিয়ার শেষ ফল ATP ও NADPH। ইলেকট্রন প্রবাহে নির্দিষ্ট অবয়বের প্রয়োজন হয়। অন্যদিকে অন্ধকার বিক্রিয়া মূলতঃ রাসায়নিক পদ্ধতি যা chloroplast এর ধাত্রের মধ্যে সংঘটিত হয়। অপকেন্দ্রনের পর প্রাপ্ত সুপারন্যাটান্ট (supernatent) এর মধ্যে CO_2 থিরীকরণের বা Blackman বিক্রিয়ার জন্য উৎসেচক সমূহ পাওয়া যায়। অন্ধকার বিক্রিয়া আলোক বিক্রিয়ায় সৃষ্ট ATP ও NADPH এবং অন্যান্য উৎসেচকের সাহায্যে CO_2 বন্ধন করে শর্করা সৃষ্টি করে।

প্রান্তলিপি 6.2 : কোয়ানটোসোম

আলোক বিক্রিয়া প্রাথমিকভাবে Quantosome এ সংঘটিত হয়। থাইলাকয়েড-এর মধ্যে কিছু কণা দেখা যায় যেগুলি লম্বায় 200 Å ও চওড়ায় 100 Å। এগুলি কোয়ান্টোসোম নামে পরিচিত এবং সালোসংশ্লেষের একক। এর মধ্যে কয়েকশত ক্লোরোফিল ও অন্যান্য রঞ্জক অনু থাকে, যারা একত্রে আলোকশক্তি আহরণ করে রাসায়নিক বিক্রিয়ার জন্য বহন করে। সূর্যালোক, তরঙ্গ দৈর্ঘ্য অনুযায়ী দুটি বিভিন্ন পন্থায় আহরিত হয়। 700 nm তরঙ্গ দৈর্ঘ্য যুক্ত আলোক রশ্মি PS I (Photosysterm I) এবং <680 nm এর ক্ষুদ্রতর তরঙ্গদৈর্ঘ্য-যুক্ত আলোক রশ্মি PS II দ্বারা আহরিত হয় তবে এই ক্ষেত্রে আলোক বিক্রিয়ার জন্য PS I এ স্থানান্তরিত হয়।

6.5 ক্লোরোপ্লাষ্ট জেনেটিক্স ও স্বায়ত্বশাসন

ক্লোরোপ্লাস্টে মাইটোকন্ড্রিয়ার মতো গোলাকৃতি DNA অনু পাওয়া যায়। এই অণুর আনবিক ভার 9-13 × 10^7 D এবং লম্বায় 40-60 μm, যার মধ্যে 130-200 × 10^3 base pair পাওয়া যায়।

ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে রাইবোজোমও পাওয়া যায়, যা প্রোক্যারিওটিক রাইবোজোমের ন্যায়, এর মধ্যে 23, 16 ও 5S rRNA ছাড়াও একটি অতিরিক্ত 4.5s rRNA অনু পাওয়া যায়। মাইটোকন্ড্রিয়ার মতো ক্লোরোপ্লাষ্ট এও একটি স্বশাসিত প্রোটিন সংশ্লেষণের ব্যবস্থা রয়েছে। এছাড়া ক্লোরোপ্লাষ্টের বিভাজনেই নতুন ক্লোরোপ্লাষ্ট তৈরি হয়। ক্লোরোপ্লাষ্ট শাসিত কিছু চরিত্র সাইটোপ্লাজম কর্তৃক বাহিত হয়, যেমন *Mirabilis jalapa*-র ফুলের রঙ। ঐ জিন ক্লোরোপ্লাষ্টের জিনোমে থাকে। প্রকৃতপক্ষে ক্লোরোপ্লাষ্টের DNA এর মধ্যে 45টি জিন লক্ষ্য করা গেছে কয়েকটি উৎসেচক, thylakoid membrane-এর প্রোটিনসমূহ এবং electron transfer এ যুক্ত প্রোটিনগুলি ক্লোরোপ্লাষ্টে সংশ্লেষিত হয়, CO_2-fixation এ সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচক রিবুলোজ ডাই ফসফেট কার্বক্সিলেজ (ribuloze di-phosphate carboxylase) এর মধ্যে আটটি বৃহৎ উপ একক আছে, যা ক্লোরোপ্লাষ্ট জিন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত, কিন্তু অপর আটটি ক্ষুদ্র উপ একক নিউক্লিয়াস নিয়ন্ত্রিত ও সাইটোরাইবোজোমে সৃষ্টি হয়। Stroma এবং thylakoid এর কয়েকটি প্রোটিন নিয়ন্ত্রিয় জিনোমের আয়ত্ত্বাধীন। বেশ কয়েকটি মুখ্য উৎসেচক যেমন amino-acyl-tRNA synthetase, (অ্যামাইনো-এসিল tRNA সিনথেটেজ) বা polymerase (পলিমেরেজ) ইত্যাদিগুলি সম্পূর্ণভাবে নিউক্লিয়ার জিনোমের উপর নির্ভরশীল। সেইজন্য মাইটোকন্ড্রিয়ার মতো ক্লোরোপ্লাষ্টও অর্ধ-স্বশাসিত অঙ্গাণু হিসাবে গণ্য হয়।

6.6 ক্লোরোপ্লাষ্টের বিবর্তনগত উৎপত্তি

ক্লোরোপ্লাষ্ট একটি অর্ধশাসিত কোষ অঙ্গাণু। ব্যাকটেরিয়ার সঙ্গে এর অনেক সাদৃশ্য রয়েছে। যেমন—

(1) ক্লোরোপ্লাষ্ট ব্যাকটেরিয়ার মতো দ্বিবিভাজনে সক্ষম।

(2) এদের মধ্যে গোলাকৃতি প্রোক্যারিওটের গুণগত DNA অণু পাওয়া যায়।

(3) ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে তিন ধরণের RNA, (mRNA, tRNA ও rRNA) এবং protein সংশ্লেষণের সমস্ত উপাদান রয়েছে।

(4) ক্লোরোপ্লাষ্টের রাইবোজোম উপাদানগতভাবে ব্যাকটেরিয়ায় রাইবোজোমের ন্যায়, এবং একইভাবে ক্লোরামফেনিকল্ (chloramphenicol) ড্রাগের প্রতি সংবেদনশীল।

(5) ভুট্টার ক্লোরোপ্লাষ্ট DNA এবং মাইটোকন্ড্রিয়া DNA এর 12 Kb দৈর্ঘ্যের অনুরূপতা (homology) লক্ষ্যণীয়।

এই সমস্ত তথ্য বিচারে মাইটোকন্ড্রিয়ার ন্যায় ক্লোরোপ্লাষ্ট এর উৎপত্তি প্রোক্যারিওট থেকে অনুমান করা যায়। মনে করা হয় এটিও প্রথমে স্বাধীন মিথোজীবি হিসাবে ইউক্যারিওটের কোষে প্রবিষ্ট হয়। পরে ক্রমে ক্রমে নিজের স্বাধীনতা আংশিকভাবে হারিয়ে ফেলে। ধাপে বিবর্তনের এখানেই উদ্ভিদ জগৎ প্রাণী জগৎ থেকে পৃথক হয়ে পড়ে। এককোষী শৈবাল *Glaucocystis* (গ্লকোসিসটিস) ও *Cyanophora* (সিয়ানোফোরা)র মধ্যে ক্লোরোপ্লাষ্ট এর গঠন উচ্চতর উদ্ভিদের ক্লোরোপ্লাষ্ট এবং সিয়ানোব্যাকটেরিয়ার কোষের মধ্যবর্তী (ব্রাউন, Brown, 1971)। আবার *Euglena* (ইউগ্লিনা)র ক্লোরোপ্লাষ্ট DNA, নীল হরিৎ শৈবালের DNA এর সঙ্গে

সহজেই সংকর অনু সৃষ্টি করে। এই সমস্ত তথ্য ক্লোরোপ্লাষ্টের প্রোক্যারিওটিক উৎপত্তি সমর্থন করে। তবে আমরা আগে আলোচনা করেছি যে এর বেশ কিছু প্রোটিন ও মুখ্য উৎসেচকের সংকেত এখন nuclear genome এ দেখা যায়। ঐ সমস্ত প্রোটিন বর্তমানে cytoribosome এ সৃষ্টি হয়ে chloroplast এ প্রবেশ করে। ধরে নেওয়া হয় বিবর্তনের পথে উভয় জিনোমের মধ্যে অধিকতর সমন্বয়ের জন্য chloroplast এর DNA এর কিছু অংশ নিউক্লিয়ার জিনোমে কোন বাহকের সাহায্যে স্থানান্তরিত ও প্রতিস্থাপিত হয় এবং ক্লোরোপ্লাষ্ট তার স্বাধীন সত্ত্বা বহুলাংশে হারিয়ে ফেলে।

6.7 সারাংশ

ক্লোরোপ্লাষ্ট সালোক সংশ্লেষে বিশেষ ভূমিকা নেয় এবং এদের উপস্থিতির জন্যই উদ্ভিদ স্বভোজী। উচ্চতর উদ্ভিদের পত্রকোষে 50-200 ক্লোরোপ্লাষ্ট পাওয়া যায়। শৈবালে এই সংখ্যা অনেক কম এবং ভিন্ন আকৃতির হতে পারে।* এরা দ্বিস্তরীয় পর্দা দ্বারা আবৃত, এর অন্তপর্দা একটি সমসত্ত্ব stromaকে পরিবেষ্টন করে থাকে। ক্লোরোপ্লাষ্টের পরিস্ফুটণের সময় অন্তর্পর্দা থেকে vesicles সৃষ্টি হয়, এই ভেসিকেলগুলি পরে সারিবদ্ধ হয়ে Grana তৈরি করে। সালোকসংশ্লেষে প্রয়োজনীয় রঞ্জকসমূহ এই থাইলাকয়েড ভেসিকেল এর মধ্যে পাওয়া যায়। রঞ্জকগুলির মধ্যে chlorophyll a, b এবং Xanthophyll ও carotene রয়েছে এবং এর একত্রে ক্লোরোপ্লাষ্টের 13-14 ভাগ ওজন বিশিষ্ট। ক্লোরোপ্লাস্টিড্ প্রধানতঃ প্রোটিন ও লিপিড দ্বারা সৃষ্ট। এরা মধ্যে অল্প পরিমাণ DNA ও RNA ও পাওয়া যায়। ক্লোরোপ্লাষ্ট, ক্রোমোপ্লাষ্ট ও লিউকোপ্লাষ্ট, এদের কাজ ভিন্ন হ'লেও এরা সকলেই proplastid বা স্টেম প্লাসিটিড থেকে পরিস্ফুট হয়।

ক্লোরোপ্লাষ্টের প্রধান কাজ সালোকসংশ্লেষ। এর জন্য ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যের দুটি পৃথক বিক্রিয়া ঘটে থাকে, যা আলোক বিক্রিয়া এবং অন্ধকার বিক্রিয়া নামে পরিচিত। সালোক বিক্রিয়া lamellae বা vesicle এর মধ্যে ঘটে থাকে। আলোক-বিক্রিয়ায় সৌরশক্তিকে কাজে লাগিয়ে জল বিভাজিত হয়ে H^+ মুক্ত হয় যা NADPH তৈরি করে। অন্ধকার বিক্রিয়া stroma-র মধ্যে ঘটে থাকে এবং এটি একটি রাসায়নিক বিক্রিয়া। স্ট্রোমার অন্তর্গত উৎসেচক আলোক-বিক্রিয়ায় প্রাপ্ত ATP ও NADPH এর সাহায্যে CO_2-fixation বা সংবন্ধন করে শর্করা তৈরি করে।

ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে তিন প্রকার RNA ও DNA পাওয়া যায়। এই DNA গোলাকৃতি, প্রোক্যারিওট DNA এর ন্যায়। ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে রাইবোজোমও পাওয়া যায়, যেগুলি ব্যাকটেরিয়ার রাইবোজোমের ন্যায়। ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে প্রোটিন সংশ্লেষণের ব্যবস্থা রয়েছে। তবে এর মধ্যে উপস্থিত সব প্রোটিনই ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে তৈরি হয় না। তবে বেশ কিছু প্রোটিন ক্লোরোপ্লাস্ট DNA ও nuclear উভয়ের সহযোগিতায় তৈরি হয় এবং কিছু মুখ্য উৎসেচক নিউক্লিয়ার জিনোম দ্বারা শাসিত। সেইজন্য ক্লোরোপ্লাষ্টকে অর্ধস্বাশিত কোষ-অঙ্গাণু হিসাবে গণ্য করা হয়।

*ক্লোরোপ্লাষ্ট গোলাকার বা ডিম্বাকৃতি বা চ্যাপ্টা ধরনের হতে পারে।

মাইটোকন্ড্রিয়ার মতো ক্লোরোপ্লাষ্টে ও বেশ কিছু প্রোক্যারিওটিক চরিত্র দেখা যায়। অনুমান করা হয় কোন প্রোক্যারিওটিক নীল হরিৎ শৈবাল ইউক্যারিওটিক কোষে প্রথমে মিথোজীবি হিসাবে আশ্রয় নেয় এবং ধীরে ধীরে কিছু স্বায়ত্ত্ব হারিয়ে ফেলে বর্তমানরূপ পরিগ্রহণ করেছে।

6.8 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ
   (ক) পত্রকোষে _____ থেকে _____ ক্লোরোপ্লাষ্ট পাওয়া যায়, এগুলি গোলাকার, _____, _____, আকৃতির হতে পারে।
   (খ) যেসব উদ্ভিদ ছায়ায় বড় হয় তাদের chloroplast অপেক্ষাকৃত _____।
   (গ) ক্লোরোপ্লাষ্ট এর বহির্পর্দা ও অন্তর্পর্দা _____ বেধ যুক্ত এবং দুটি পর্দার মধ্যে _____ $\mathring{A}$ ফাঁক থাকে।
   (ঘ) ক্লোরোপ্লাষ্ট একটি _____ কাঠামো।
   (ঙ) ক্লোরোপ্লাষ্টের DNA অনুর আনবিক ভার _____ এবং এরা লম্বায় _____ µm হতে পারে।
   (চ) ক্লোরোপ্লাষ্ট এর জিনোমে _____টি জিন পাওয়া যায়।
   (ছ) নীল হরিৎ শৈবালের DNA সহজেই _____এর DNA-এর সঙ্গে সংকর অনু স্থাপন করে।
   (জ) রিবুলোজ ডাই ফসফেট কার্বক্সিলেজ এর _____ বড় উপ একক _____ জিন দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয়।
2. টীকা লিখুন ঃ
   (ক) ক্লোরোপ্লাষ্টের রাসায়নিক গঠন।
   (খ) ক্লোরোপ্লাষ্টের মধ্যে বিভিন্ন রঞ্জকের অনুপাত।
   (গ) কোয়ানটোসোম।
   (ঘ) ক্লোরোপ্লাষ্টের উৎপত্তি ও পরিস্ফূরণ।
3. Chloroplast-এর আকৃতি ও সূক্ষ গঠন বর্ণনা করুন।
4. Chloroplast-এর উপাদানগুলির কার্যাবলী বর্ণনা করুন।
5. প্রমাণ করুন ক্লোরোপ্লাষ্ট একটি অর্ধস্বশাসিত কোষ-অঙ্গাণু।
6. ক্লোরোপ্লাষ্টের বিবর্তনগত উৎপত্তি সম্পর্কে যাহা জানেন লিখুন।

6.9 উত্তরমালা

1. (ক) 50,200, ডিম্বাকৃতি, চ্যাপ্টা, (খ) বড়, (গ) 40-60 Å, 25-75, (ঘ) tetrapyrrole, (ঙ) 9-13 × 10^7, 40-60, (চ) 45, (ছ) *Euglena*, (জ) আট (8), chloroplast।
2. (ক) 6.2 শেষাংশ, (খ) প্রান্তলিপি 6.1, (গ) প্রান্তলিপি 6.2, (ঘ) 6.3 দেখুন।
3. 6.2 দেখুন।
4. 6.4 দেখুন।
5. 6.5 দেখুন।
6. 6.6 দেখুন।

একক 7 ❑ ক্রোমোজোমের রাসায়নিক সংস্থিতি ও গঠন

গঠন

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

7.2 ক্রোমোজোমের রাসায়নিক সংস্থিতি

7.2.1 নিউক্লিক অ্যাসিড

7.2.2 ক্রোমোজোমের প্রোটিন

7.3 ক্রোমোসোমের আকৃতি, সংখ্যা ও অঙ্গ-সংস্থাপন

7.4 ক্রোমোসোমের বিশিষ্ট অঞ্চলসমূহ

7.4.1 সেন্ট্রোমিয়ার

7.4.2 গৌণ সঙ্কোচন

7.4.3 টিলোমিয়র

7.5 সারাংশ

7.6 প্রশ্নাবলী

7.7 উত্তরমালা

7.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

আগেই আমরা আলোচনা করেছি যে Flemming (ফ্লেমিং) 1879 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম nucleus এর মধ্যে chromatin এর বর্ণনা দেন। 1888 খ্রীষ্টাব্দে Waldeyer (ভালদেয়ার) দাবি করেন যে নিউক্লিয়াসের ক্রোমাটিন কোষ বিভাজনের সময় প্রথেম সূত্রাকার এবং পরে দণ্ডাকার বস্তু হিসাবে দেখা দেয়, তিনি এদের নামকরণ করেন chromosome। আমরা এও জানি যে জেনেটিক বস্তুসমূহ ক্রোমোজোমে অবস্থিত। 1900 খ্রীষ্টাব্দে মেন্ডেলের সূত্রাবলীর পুণরাবিস্কারের পর sutton (সাটন) মেন্ডেল সূত্রের সঙ্গে ক্রোমোজোমের চরিত্রের সমান্তরাল সাদৃশ্য লক্ষ্য করেন এবং chromosome theory of inheritance বা উত্তরাধিকারের ক্রোমোজোম তত্ত্ব উপস্থাপন করেন। সুতরাং ক্রোমোজোম একটি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ অবয়ব এবং ইউক্যারিওটে জেনেটিক বস্তু সমূহের বাহক। ফলে এর রাসায়নিক সংস্থিতি এবং বিন্যাস সম্পর্কে জানা বিশেষ প্রয়োজনীয়। এই অধ্যায় পাঠে আমরা—

(ক) ক্রোমোজোমের রাসায়নিক সংগঠন ও উপাদানগুলি সম্পর্কে কিছু ধারণা লাভ করবো।

(খ) আমরা ক্রোমোজোমের আকৃতি, সংখ্যা ও অঙ্গাথাপন ইত্যাদি সম্পর্কে জানতে পারবো।

(গ) এবং ক্রোমোজোমের বিশেষ অঞ্চলগুলির বিন্যাস ও কার্যাবলী সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা পাবো।

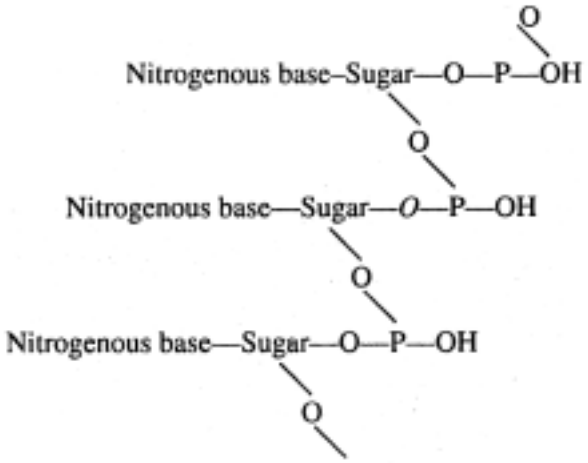
7.2 ক্রোমোজোমের রাসায়নিক সংস্থিতি

ক্রোমোজোমের অঙ্গাথাপন এবং তার বিশেষ অঞ্চলগুলির বিন্যাস জানার জন্য ক্রোমোজোমের রাসায়নিক সংস্থিতি সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা থাকা দরকার। ক্রোমোজোমের মুখ্য উপাদান হল deoxyribo nucleo protein (ডি-অক্সিরাইবো নিউক্লিও প্রোটিন, যা DNA এবং মূলতঃ হিস্টোন প্রোটিনের সমন্বয়ে গঠিত। ক্রোমোজোমের মধ্যে যেসব উপাদান লক্ষ্য করা যায়, যেগুলি হল (i) DNA, (ii) RNA, (iii) বেসিক প্রোটিন, (iv) অম্লজাতীয় প্রোটিন।

7.2.1 নিউক্লিক অ্যাসিড ঃ

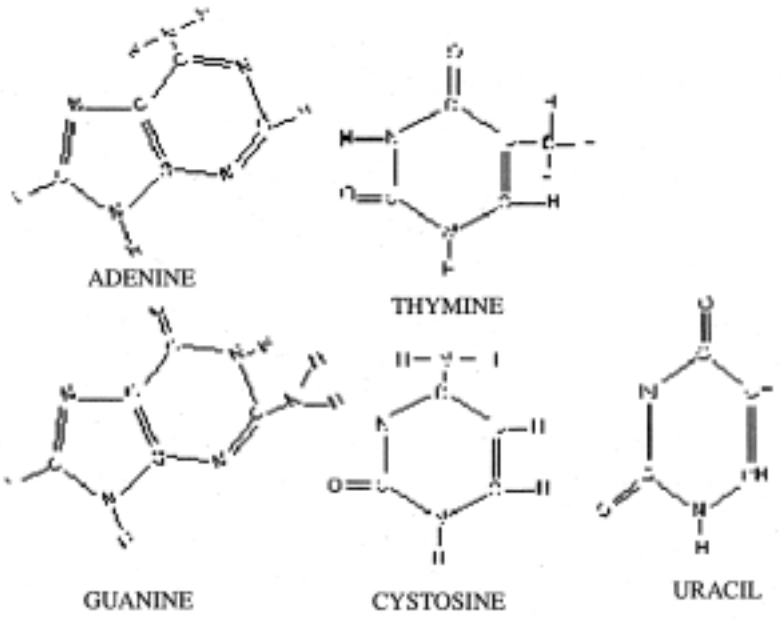
নিউক্লিক অ্যাসিড দুপ্রকারের, DNA (ডি অক্সি রাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড) ও RNA (রাইবো নিউক্লিক অ্যাসিড)। DNA ক্রোমোজোমের মুখ্য উপাদান যা জেনেটিক বস্তু হিসাবে সুপ্রতিষ্ঠিত অন্যদিকে ক্রোমোজোমের সঙ্গে RNA পাওয়া গেলেও এটি chromosome এর গঠনে কোন অংশ নেয় না।

DNA ও RNA উভয়েই nucleotide (নিউক্লিওটাইড) একক দ্বারা গঠিত। উভয়েই পলিনিউক্লিওটাইড্ শৃংখল। একটি নিউক্লিওটাইডের মধ্যে একটি বিশেষ শর্করা, একটি ফসফেট গ্রুপ (phosphate group) এবং একটি বিশেষ প্রোটিন পাওয়া যায়। (চিত্র 7.1) ঐ বিশেষ প্রোটিন একটি purine (পিউরিন) বা



চিত্র 7.1 ঃ একটি বি-নিউক্লিওটাইড্।

pyrimidine (পাইরিমিডিন) হতে পারে। DNA এর মধ্যে দুধরণের পাইরিমিডিন (thymine থায়মিন) ও cytosine (সায়টোসিন) এবং দুধরনের পিউরিন (এডেনিন ও গুয়ানিন, adenine and guanine) পাওয়া



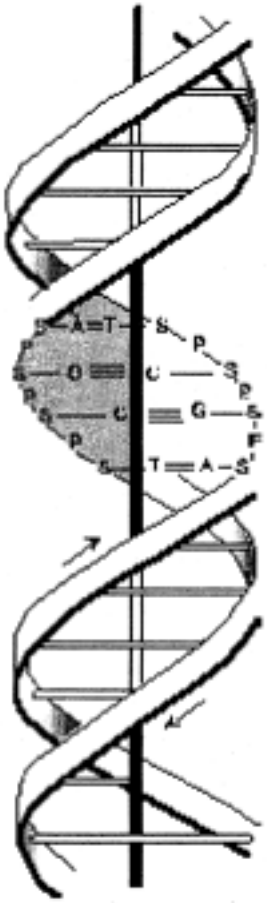
চিত্র 7.2 ঃ DNA ও RNA এর মধ্যে প্রাপ্তব্য বেস সমূহ।

যায়। RNA তে thymine এর পরিবর্তে uracil (ইউরাসিল) থাকে। এগুলি বেস্ নামেও পরিচিত (চিত্র 7.2)। Nucleotide এর শর্করাটি 5-carbon বিশিষ্ট ribose শর্করা যা RNA এর মধ্যে দেখা যায়। DNA এর মধ্যে উপস্থিত ribose শর্করাটির একটি Oxygen কম থাকে, যার জন্য এটি deoxyribose (ডি-অক্সি রাইবোজ) নামে পরিচিত এবং নিউক্লিক অ্যাসিড দুটি এই ভিত্তিতেই চিহ্নিত। যখন একটি বেস্ শর্করার সঙ্গে যুক্ত থাকে তখন মোট একটি nucleoside তৈরি করে, অর্থাৎ nucleotide এর ফস্ফেট্ গ্রুপ nucleoside এ অনুপস্থিত।

দুটি নিউক্লিক অ্যাসিডের মধ্যে মূল পার্থক্য এই যে RNA একতন্ত্রী বিশিষ্ট কিন্তু DNA একটি পেঁচানো দ্বিতন্ত্রী অবয়ব সৃষ্টি করে এবং এর একটি purine বা pyrimidine বেস্ তার নির্দিষ্ট পাইরিমিডিন বা পিউরিন বেস্ এর সঙ্গে H-bond দ্বারা যুক্ত থাকে। Adenine সবসময়েই thymine এর সঙ্গে দুটি hydrogen bond দ্বারা যুক্ত। অন্যদিকে গুয়ানিন ও সাইটোনিন এর মধ্যে তিনটি হাইড্রোজেন বণ্ড দেখা যায় (চিত্র 7.3)। DNA এর গঠন আবিষ্কারের আগেই Chargoff (শার্গফ 1950) দেখাতে সমর্থ হন যে DNA এর মধ্যে A ও T র পরিমাণ এবং G ও C-র পরিমাণ সর্বদাই সমান থাকে। অবশ্য ব্যতিক্রমী ক্ষেত্রে বেসগুলির আনবিক পরিবর্তনের ফলে দুটি পাইরিমিডিন বা দুটি পিউরিন নিজেদের মধ্যে H-bond তৈরি করতে পারে, যা *tautomerism* নামে পরিচিত। যেমন অ্যাডিনিন এর NH_2 group tautomerism

এর ফলে imino তে পরিবর্তিত হয়ে cytosine-এর সঙ্গে জোড় বাঁধতে সমর্থ হয়। Tautomerism (টটোমেরিজম) পরিব্যক্তিতে সাহায্য করে, যা অন্যত্র আলোচিত হবে।

1953 খ্রীষ্টাব্দে Watson and Crick (ওয়াটসন ও ক্রিক) এক ঐতিহাসিক গবেষণা পত্রে DNA এর প্যাঁচানো দ্বিতন্ত্রীগঠন প্রতিষ্ঠা করেন। এ ব্যাপারে আর এক বৈজ্ঞানিক Wilson (উইলসনের)ও অবদান রয়েছে। তাঁরা প্রমাণ করলেন যে DNA একটি পেঁচানো সিঁড়ির মতো দ্বিতন্ত্রী অবয়ব। পিউরিন ও পাইরিমিডিন জোড়া গুলি সিঁড়ির পাদানী এবং সিঁড়ির দুপাশের রেলিং শর্করা ও ফসফেট দিয়ে তৈরি হয়। এই double hetix বা দ্বিতন্ত্রীর ব্যাস 20 Å এবং প্রতিটি প্যাঁচ 34 Å যুক্ত। একটি বেস জোড়া থেকে অন্য বেস জোড়ার দূরত্ব 3.4 Å, ফলে একটি প্যাঁচের মধ্যে দশ জোড়া বেস পাওয়া যায়। একটি সক্রিয় কোষে DNA এর যে গঠন পাওয়া যায়, সেটি DNA এর B-আকৃতি নামে পরিচিত। অন্যান্য ক্ষেত্রে DNA-এর A বা Z আকৃতিও দেখা যায়।



চিত্র 7.3 : একটি দ্বিতন্ত্রী DNA কুণ্ডলী (DNA double laelix)। A এবং T ও T এবং C র মধ্যে hydrogen bond-এর সংখ্যা লক্ষ্য করুন।

প্রান্তলিপি 7.1 : DNA এর প্রকারভেদ।

ক্রোমোজোমে অবস্থিত DNA বিভিন্নধর্মী হতে পারে। কোষের মধ্যে বিভিন্ন প্রোটিন বা উৎসেচকের জন্য কেবলমাত্র একটি cistron থাকে, সেইজন্য এদের monocistronic বলা হয়। এই ধরনের DNA unique DNA নামে পরিচিত। কিছু কিছু কাঠামোগত প্রোটিনের জন্য একের বেশি cistron থাকতে পারে, যেমন histone বা tubulin এরা polycistronic। Equilibrium density gradient sedimentation (সমভার ঘনত্ব ক্রমবিন্যাসিত অবক্ষেপন) পদ্ধতিতে DNA একটি মুখ্য ব্যান্ড (band) তৈরি করে, এবং কিছু DNA এক বা একাধিক গৌণ ব্যান্ড সৃষ্টি করে। ঐ DNA satellite DNA বা simple sequence DNA নামে পরিচিত। এগুলি repeat DNA নামেও পরিচিত, কারণ কিছু DNA খণ্ড পৌনঃপুনিকভাবে উপস্থিত থাকার জন্য satellite এর আবির্ভাব ঘটে। নিউক্লিয়াসের 10-15% ভাগ DNA highly repeated অবস্থায় থাকে। কিছু পরিমাণ DNA (প্রায় 25 থেকে 40 ভাগ) middle repetitive। উচ্চতর প্রাণীতে এই middle repeats গুলি transposon (ট্রান্সপোসন) বা mobile DNA তৈরি করে। 1934 খ্রীষ্টাব্দে Barbara Meclintock (বারবারা ম্যাকক্লিনটক্) ভুট্টায় transposon এর উপস্থিতি লক্ষ্য করেন, কিন্তু তখনকার সীমিত জ্ঞানের জন্য তা স্বীকৃতি পায় না। প্রায় 40 বৎসর পরে transposon এর উপস্থিতি প্রমাণিত হয় এবং তাঁর কাজের স্বীকৃতি হিসাবে ম্যাকক্লিনটক্‌কে নোবেল পুরস্কারে সম্মানিত করা হয়।

7.2.2 ক্রোমোজোমের প্রোটিন ঃ

ক্রোমোজোমের সঙ্গে সম্পর্কযুক্ত দুধরণের প্রোটিন পাওয়া যায়। এরা basic প্রোটিন ও acidic প্রোটিন। Basic proteins মুখ্যতঃ হিস্টোন (histone) যা স্বল্প আনবিক ভারযুক্ত প্রোটিন। এছাড়া কিছু কিছু ক্ষেত্রে protamines (প্রোটামিন্) ও পাওয়া যায়। হিস্টোন এর মধ্যে arginine ও lysine এই দুটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের আধিক্য দেখা যায়। Histone বিভিন্ন প্রকারের হতে পারে, এবং তারা ক্রোমোজোম গঠনে অংশ গ্রহণ করে (13.9 অধ্যায় দ্রষ্টব্য)। Acidic বা অম্লজাতীয় প্রোটিনগুলি উচ্চআণবিক ভারযুক্ত, এরা non-histone প্রোটিন নামেও পরিচিত। এদের মধ্যে অম্লজাতীয় অ্যামাইনো অ্যাসিড যেমন glutamic acid (গ্লুটামিক অ্যাসিড), aspartic acid (অ্যাস্পারটিক অ্যাসিড), tyrosine (টাইরোসিন) প্রভৃতির প্রাধান্য লক্ষ্য করা যায়। কিছু acidic protein ক্রোমোজোম গঠনে অংশ নেয়, কয়েকটি বিশেষ প্রয়োজনীয় অম্ল প্রোটিন, যেমন DNA-polymerase, RNA polymerase (পলিম্যারেজ)। nucleoside triphosphatese প্রভৃতি chromosome-এর সঙ্গে সংশ্লিষ্ট থাকলেও ক্রোমোজোমের গঠনে অংশ গ্রহণ করে না।

7.3 ক্রোমোজোমের সংখ্যা, আকৃতি ও অঙ্গ সংস্থাপন

সাধারণতঃ প্রতিটি প্রজাতির ক্ষেত্রে এবং প্রতিটি জীবের দেহকোষে ক্রোমোজোমের সংখ্যা ধ্রুবক (constant) হয়ে থাকে। ক্রোমোজোমগুলি জোড়ায় জোড়ায় পাওয়া যায়। অর্থাৎ আকৃতি ও জিনগতভাবে দুটি ক্রোমোজোম একই প্রকারের হয়। তবে জনন কোষে ঐ জোড়ার একটি মাত্র উপস্থিত থাকে। জননকোষের ক্রোমোজোম সংখ্যাকে n দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। সুতরাং দেহকোষের ক্রোমোজোম সংখ্যা = 2n। এই ধরনের প্রজাতি diploid (ডিপ্লয়েড্) হিসাবে পরিচিত।

কোন প্রজাতিতে বা প্রতিবিম্বের (individual) দেহকোষে প্রতি ক্রোমোজোম তিনটি করে উপস্থিত থাকলে তা ট্রিপ্লয়েড্ (triploid), চারটি করে থাকলে টেট্রাপ্লয়েড্ (tetraploid) বলে পরিচিত হয়। উদ্ভিদ প্রজাতির মধ্যে পেন্টাপ্লয়েড্ (pentaploid), হেক্সাপ্লয়েড্ (hexaploid), অক্টাপ্লয়েড্ (octaploid) ইত্যাদিও দেখা যায়। বিভিন্ন প্রজাতির মধ্যে ক্রোমোজোমের সংখ্যার অনেক পার্থক্য দেখা যেতে পারে (সবচেয়ে কম সংখ্যক ক্রোমোজোম দেখা যায় *Ascaris megalocephalus univalens* (অ্যাসকারিস মেগালোসেফালাস ইউনিভ্যালেন্স) এর মধ্যে; এর দেহ কোষে মাত্র এক জোড়া ক্রোমোজোম (n = 1, 2n = 2) দেখা যায়। উদ্ভিদে সবচেয়ে কমসংখ্যক ক্রোমোজোম পাওয়া যায় *Haplopappus gracilis* (হ্যাপলোপ্যাপ্পাস গ্রাসিলিস) প্রজাতিতে (n = 2, 2n = 4), আবার *Ophioglossum* জাতীয় ফার্নে ক্রোমোজোমের সংখ্যা 1200 এরও বেশি।

প্রান্তলিপি 7.2 : কয়েকটি বিশিষ্ট প্রজাতির দেহকোষের ক্রোমোজোম সংখ্যা

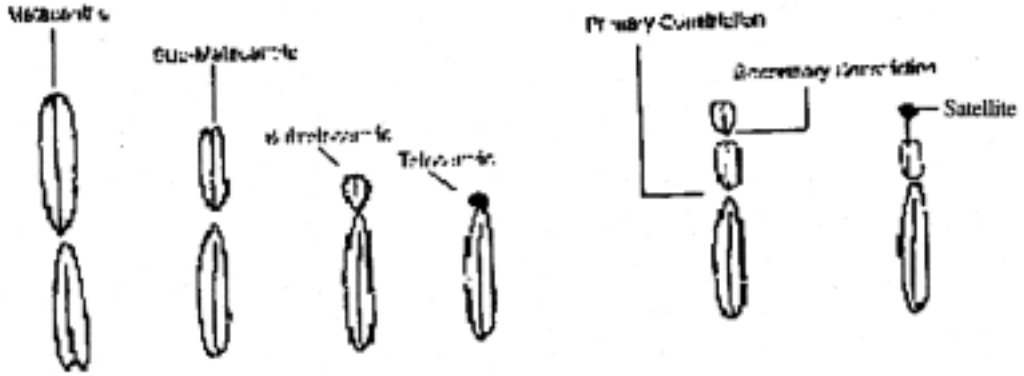
প্রজাতি	**2n** ক্রোমোসোম সংখ্যা
1. ধান *Oryza sativa* (অরাইজা স্যাটাইভা)	24
2. গম *Triticum aestivum* (ট্রিটিকাম এস্টিভাম)	42
3. ভুট্টা *Zea mays* (জিয়া মেজ)	20
4. মটর *Pisum sativum* (পাইসাম স্যাটিভাম)	14
5. আলু *Solanum tuberosum* (সোলানাম টিউরারোসোম)	24
6. পেঁয়াজ *Allium cepa* (এলিয়াম সেপা)	16
7. ফলমাছি *Drosophila melanogaster* (ড্রসোফিলা মেলানোগ্যাসটার)	8
8. মাছি *Musca domestica* (মুস্কা ডোমোস্টিকা)	12
9. কুকুর *Canis familiaris* (ক্যানিস ফ্যামিলিয়ারিস)	78
10. মানুষ *Homo sapiens* (হোমো স্যাপিয়েন্স)	46

কোষ বিভাজনের প্রোফেজ (prophase) পর্যায়ে সর্বপ্রথম ক্রোমোজোম দৃষ্টিগোচর হয়। তখন ক্রোমোজোমগুলিকে সূত্রাকার দেখা যায়। পরে মেটাফেজ (metaphase) অবস্থায় ক্রোমোজোমগুলি ঘনসন্নিবিষ্ট হয়ে অপেক্ষাকৃত ক্ষুদ্রাকার ধারণ করে। মেটাফেজএ প্রতিটি ক্রোমোজোমের নিজস্ব আকৃতি থাকে এবং ঐ কোষের সমস্ত ক্রোমোজোমগুলি একত্রে ঐ প্রজাতির Karyotype তৈরি করে। প্রজাতির সমস্ত সদস্যের ক্যারিওটাইপ সাধারণভাবে একই রকম হয় যদিও sub-species বা ecotype বা cytotype এ ক্যারিওটাইপ এমনকি ক্রোমোজোম সংখ্যাও ভিন্ন হতে পারে। বিভিন্ন প্রজাতিতে মেটাফেজ ক্রোমোজোমের দৈর্ঘ্য 0.2 থেকে 30 μm এবং প্রস্থ 0.2 থেকে 2.0 μm হতে পারে। সাধারণভাবে ছত্রাকের ক্রোমোজোম খুবই ছোট। একবীজপত্রী (monocot) প্রজাতির ক্রোমোজোম সাধারণভাবে দ্বিবীজপত্রী (dicotyledonous) উদ্ভিদের অপেক্ষা বড় হয়ে থাকে। উদ্ভিদে সবচেয়ে বড় ক্রোমোজোম *Trillium* (ট্রিলিয়াম, লিলি জাতীয় বীরুৎ) প্রজাতিতে পাওয়া যায়।

মেটাফেজ অবস্থায় ক্রোমোজোম দণ্ডাকার ধারণ করে, এবং রোমান I, V ইত্যাদি আকার নেয়। এই ধরণের আকার ক্রোমোজোমের প্রাথমিক বা মুখ্য সঙ্কোচনের উপর নির্ভর করে। প্রতিটি ক্রোমোসোমে একটি সঙ্কোচন (Constriction বা, সঙ্কীর্ণ স্থান) দেখা যায়, যা প্রাথমিক বা মুখ্য সঙ্কচন (primary constriction) নামে পরিচিত। এই সঙ্কোচন centromere (সেন্ট্রোমিয়র) নামেও জ্ঞাত হয়। প্রাথমিক সঙ্কোচন ক্রোমোজোমের মাঝামাঝি হলে, ক্রোমোজোমটি মেটাসেন্ট্রিক (metacentric), এবং একপ্রান্ত হ'লে (telomere) সেটি telocentric বা acrocentric হিসাবে পরিচিত হয়। প্রাথমিক সঙ্কোচন যদি এদের মধ্যবর্তী অবস্থায় থাকে, তবে ক্রোমোজোমটি sub metacentric এবং sub telocentric হয়ে থাকে (চিত্র 7.4)।

কোষের দুয়েক জোড়া ক্রোমোজোমে আরও একটি অতিরিক্ত সঙ্কোচন দেখা যায়, যা গৌণ সঙ্কোচন বা

secondary constriction নামে পরিচিত। ঐ স্থানে nucleolus সংঘটিত হয়। গৌণ সঙ্কোচনের বাইরের দিকে (অর্থাৎ মুখ্য সঙ্কুচনের অপর দিকে) ক্রোমোজোমের অংশটি খুবই ক্ষুদ্র হয় এবং গৌণ সঙ্কোচনটি দীর্ঘ হয়, তবে ক্রোমোজোমের ঐ অংশটি স্যাটেলাইট (satellite) হিসাবে গণ্য হয়। মনে রাখা দরকার এই satellite এর সঙ্গে satellite DNA এর কোনরূপ সম্পর্ক নেই।



চিত্র 7.4 : প্রাথমিক সঙ্কুচন ও ক্রোমোজোমের আকার। ডানদিকে—গৌণ সঙ্কুচন এবং ক্রোমোজোমের স্যাটেলাইট (satellite) দেখানো হয়েছে।

সাধারণভাবে একটি ক্রোমোজোম ও তার জোড়াটি একটি নির্দিষ্ট আকৃতি যুক্ত হয়, যাতে সেটিকে সহজেই সনাক্তকরণ করা যায়। তবে অনেকক্ষেত্রেই কোষের একাধিক ক্রোমোজোম একই রকম দেখতে হয়। যেমন মানুষের 1, 2, 3 নং ক্রোমোজোম বা 4, 5 নং ক্রোমোজোম। সেক্ষেত্রে—ক্রোমোজোমগুলির মধ্যে ব্যান্ডিং ঘটিয়ে (banding) পৃথকীকরণ বা সনাক্তকরণ করা হয়।

7.4 ক্রোমোজোমের বিশিষ্ট অঞ্চলসমূহ

7.4.1 সেন্ট্রোমিয়ার (Centromere) :

ক্রোমোজোমের প্রাথমিক সঙ্কোচনে (primary constriction) সেন্ট্রোমিয়ার অবস্থিত। এটি ক্রোমোজোমের একটি বিশেষ অঞ্চল, যেখানে spindle fibre গুলি যুক্ত হয়ে কোষের মধ্যে ছড়ানো ক্রোমোজোমগুলিকে কোষের নিরক্ষীয় অঞ্চলে (Equatorial region) আনীত করে (মেটাফেজ অবস্থায়) এবং পরে অ্যানাফেজ এর শুরুতে দুটি ক্রোমাটিডকে বিপরীত মেরুর দিকে আকর্ষণ করে, যাতে ক্রোমাটিড্‌গুলি সঠিক ভাবে দুটি নবনির্মীয়মান কোষে সমানভাবে বিতরিত হয়। সূক্ষ গঠনে সেন্ট্রোমিয়রের মধ্যে তিনটি বিশেষ অঞ্চল দেখা যায় এগুলি (i) কাইনেটোকোর (Kinetochore) domain (এলাকা) (ii) Central domain ও (iii) Pairing domain। Kinetochore-এ spindle fibre গুলি যুক্ত হয়, যেখানে pairing domain দুটি sister ক্রোমাটিডকে

একত্রে ধরে রাখতে সহায়তা করে। Pairing domain এ সারিবন্ধ (tandemly) পৌনঃপুনিক (repeated) DNA পাওয়া যায়।

প্রান্তলিপি 7.3 ঃ সেন্ট্রোমিয়র DNA

Budding yeast এ Centromere এ তিনরকমের Centromeric DNA elements, CDEI, CDEII ও CDE III দেখা যায়। এর মধ্যে CDE III centromere এর বিশেষ কার্যের সঙ্গে যুক্ত। Fission yeastও centromere এর মধ্যে তিনধরনের DNA elements পাওয়া যায়। স্তন্যপায়ী জীবের centromere এ α-satellite পাওয়া যায়। এর মধ্যে 171 বেস জোড়া (bp) যুক্ত DNA খণ্ডের একক সারিবন্ধ এবং পৌনঃপুনিকভাবে সজ্জিত থাকে (tandemly repeated DNA) (Mitchell et al. 1989)। Drosophila র Centromere এ চারটি বিভিন্ন ধরণের Satellite DNA দেখা যায়)।

দু-একটি প্রজাতিতে ক্রোমোজোম কোন নির্দ্দিষ্ট centromere থাকে না। Kiretochore সমস্ত ক্রোমোজোমেই বিস্তৃত থাকে—এই অবস্থাকে diffuse centromere বলা হয়। প্রাণীর মধ্যে homoptera পতঙ্গে এবং উদ্ভিদে *Luzula purpurea* প্রজাতিতে diffuse centromere দেখা যায়। যখন ক্রোমোজোমের মধ্যে স্থানান্তরণ ঘটে, সেসব ক্ষেত্রে কিছু ক্রোমোজোমে একাধিক সেন্ট্রোমিয়র দেখা যায়, ঐ ক্রোমোজোমগুলি multicentric ক্রোমোজোম নামে পরিচিত।

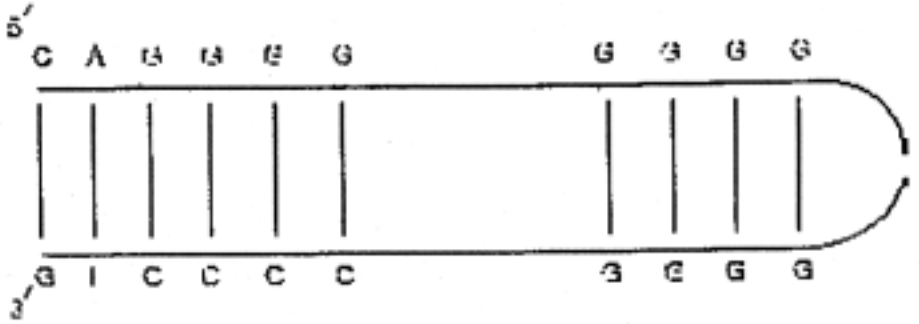
7.4.2 গৌণ সঙ্কোচন (Secondary constriction) ঃ

এই অঞ্চলে ribosomal cistron গুলিকে একত্রীভূত দেখা যায়। এই এলাকাটি ক্রোমোজোমের অন্য অঞ্চলের ন্যায় ঘন সন্নিবেশিত নয় এবং এখানে দুএকটি বিশেষ ধরণের প্রোটিন যেমন B_{23}, C_{23} পাওয়া যায়। সক্রিয় Ribosomal cistron এর সংখ্যার উপর এই অঞ্চলের দৈর্ঘ্য নির্ভর করে। কোষের সব ক্রোমোজোমেই গৌণ সঙ্কোচন দেখা যায় না। কেবলমাত্র কয়েকটি বিশেষ ক্রোমোজোমেই rDNA cistron গুলি সন্নিবেশিত থাকে। যখন একটি ক্রোমোজোমে অবস্থিত সব rDNAগুলি নিষ্ক্রিয় থাকে তখন ঐ ক্রোমোজোমে গৌণ সঙ্কোচন প্রকাশ পায় না।

7.4.3 টিলোমিয়র ঃ

টিলোমিয়র ক্রোমোজোমের দুটি প্রান্তকে বন্ধ করে (seal) যাতে একটি ক্রোমোজোম অপর ক্রোমোজোমের সঙ্গে যুক্ত না হয়। তাছাড়াও ক্রোমোজোমের প্রতিলিপিকরণেও এরা বিশেষ অংশ নেয়। Telomere এর মধ্যে অনেকগুলি ছোট ছোট repeated DNA একক সারিবন্ধভাবে দেখা যায়, যেমন মানুষের ক্রোমোজোম 250 থেকে 1500 সংখ্যক TTA GGG একক পৌনঃপুনিকভাবে দেখা যায় (Blackburn ব্ল্যাকবার্ণ 1991)। টোম্যাটোতে থাকে (TT(T/A)AGGG)n 15s ribosomal cistronও কয়েকটি chromosome এর telomere এ আবদ্ধ থাকে। Telemere এর DNA প্রতিলিপিকরণে একটি বিশেষ উৎসেচক telomere terminal transferase (টিলোমিয়ার টারমিনাল ট্রান্সফারেজ বা telomerase দ্বারা সম্পাদিত হয়।

Telomere এর মধ্যে Guanine বেস্ এর প্রাধান্য দেখা যায় এবং non-Watson-Crick G-G জোড় বেঁধে একটি মাথার চুলের কাঁটার (hair pin) আকৃতি গ্রহণ করে (চিত্র 7.5)।



চিত্র 7.5 ঃ টেলোমিয়রের hair-pin গঠন। Non Watson Crick G-G জোড় লক্ষ্য করুন।

প্রান্তলিপি 7.4 ঃ Yeast Artificial chromosome (YAC)

Yeast বা Tetrahymenaর Telomere, Yeast এর centromere এবং ARS (autonomously replicating Sequence) এবং প্রায় 50 kb (kilobase) unique sequence DNA নিয়ে একটি কৃত্রিম ক্রোমোজোম তৈরি করা সম্ভব। দেখা গেছে ঐ chromosome যখন ঈষ্ট ক্রোমোজোমের মধ্যে প্রবেশ করানো যায়, ঐ ক্রোমোজোম স্বাভাবিক ক্রোমোজোমের মতোই কাজ করে; সেটি প্রতিলিপিকরণে এবং বিভাজনে সক্ষম, উপরন্তু unique DNAএ বাহিত সংকেতসমূহ তৈরি হয় এবং নির্দিষ্ট প্রোটিন সংশ্লেষিত হয়। এই ধরণের কৃত্রিম ক্রোমোজোম Yeast Artificial Chromosome বা YAC নামে পরিচিত।

7.5 সারাংশ

ক্রোমোজোমের মুখ্য উপাদান deoxyribonucleic acid (DNA) ও হিস্টোন প্রোটিন, যা ক্রোমোজোমের গঠনে অংশ নেয়, এছাড়া RNA ও কিছু non histone প্রোটিনও ক্রোমোজোমের সঙ্গে পাওয়া যায়। DNA ও RNA উভয়েই nucleotide একক দ্বারা গঠিত। Nucleotide একটি 5 carbon বিশিষ্ট শর্করা (রাইবোজ বা ডি-অক্সিরাইবোজ), একটি ফসফেট গ্রুপ ও বিশেষ বেস্ দ্বারা গঠিত। ঐ বেস্ পিউরিন (এডেনিন ও গুয়ানিন) বা পাইরেমিডিন (থায়মিন ও সাইটোসিন) হতে পারে। RNA এর মধ্যে পাইরিমিডিন Thymine এর পরিবর্তে uracil (ইউরাসিল) থাকে। RNA একতন্ত্রীতন্তু, কিন্তু DNA দ্বিতন্ত্রী পেঁচানো সিঁড়ির মতো, যেখানে A-T ও G-C বেসজোড়া পাদানী এবং ফসফেট ও শর্করা দুটি রেলিং তৈরি করে। দ্বিতন্ত্রী DNA এর ব্যাস 20 Å এবং সম্পূর্ণ প্যাঁচ 34 Å যুক্ত যার মধ্যে দশজোড়া বেস থাকে।

সাধারণভাবে প্রতিটি প্রজাতির একটি ধ্রুবক ক্রোমোজোম সংখ্যা থাকে। মেটাফেজ অবস্থায় ক্রোমোজোম

সংখ্যা ও আকৃতি পরীক্ষা করা সবচেয়ে সহজ। কোষের সকল ক্রোমোজোম ঐ প্রজাতির ক্যারিওটাইপ তৈরি করে। ঐ অবস্থায় ক্রোমোজোমের দৈর্ঘ্য 0.2-30 μm এবং প্রস্থ 0.2 থেকে 2.0 μm হয়। দেহকোষে ক্রোমোজোমগুলি জোড়ায় জোড়ায় থাকে। এবং প্রতিটি ক্রোমোজোম বিভাজনের আগেই প্রতিলিপি গঠনের মাধ্যমে দুটি sister chromatid তৈরি করে। প্রতি ক্রোমোজোমে একটি মুখ্য বা প্রাথমিক সঙ্কোচন (primary constriction) বর্তমান, যার অবস্থিতি ক্রোমোজোমের বিশেষ আকৃতি নির্ণয় করে। সেই ভিত্তিতে ক্রোমোজোম মেটাসেন্ট্রিক, সাবমেটাসেন্ট্রিক, সাবটিলোসেন্ট্রিক বা টিলোসেন্ট্রিক হতে পারে। বিভিন্ন প্রজাতিতে দেহকোষে ক্রোমোজোম সংখ্যা 2 থেকে 1200 এরও বেশি হতে পারে।

ক্রোমোজোমের কয়েকটি বিশিষ্ট অঞ্চল রয়েছে। যেমন Centromere, secondary constriction region, telomere। এগুলির মধ্যে বিশেষধরণের DNA ও প্রোটিন পাওয়া যায়। সেন্ট্রোমিয়রের অবস্থিত কাইনেটোকোর spindle fibre এর সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্রোমোজোম বিভাজনে সহায়তা করে। Telomere ক্রোমোজোমের দুই প্রান্তকে বন্ধ করে, এখানকার DNA বিশেষ প্রকৃতির এবং এর প্রতিলিপিকরণে বিশেষ উৎসেচক telomerase এর প্রয়োজন হয়।

7.6 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

(ক) পাইরোনিন দুই প্রকার _____ ও _____।

(খ) DNA এর মধ্যে যে শর্করা থাকে, তার মধ্যে একটি _____ অনু কম থাকে, যার জন্য এটি নামে _____ পরিচিত।

(গ) Guanine ও Cytosine এর মধ্যে _____ hydrogen bond থাকে।

(ঘ) DNA doube helix এর ব্যাস _____ Å, এবং একটি _____ বেস জোড়া থেকে পরবর্তী বেস জোড়ার দূরত্ব _____ Å।

(ঙ) Satellite DNA এর অন্য নাম _____।

(চ) প্রাণীর মধ্যে সবচেয়ে কম ক্রোমোজোম _____ _____ _____ প্রজাতিতে এবং উদ্ভিদের মধ্যে _____ _____ প্রজাতিতে দেখা যায়।

(ছ) যে প্রজাতির দেহকোষে প্রতি ক্রোমোজোম জোড়ায় উপস্থিত থাকে ঐ প্রজাতিকে _____ বলা হয়।

(জ) প্রাথমিক বা মুখ্য সঙ্কোচন _____ নামেও পরিচিত।

(ঝ) মেটাফেজ ক্রোমোজোমের দৈর্ঘ্য _____ থেকে _____ μm এবং প্রস্থ _____ থেকে _____ μm হতে পারে।

(ঞ) সেন্ট্রোমিয়রের _____ domain এ spindle fibre গুলি যুক্ত হয়।

2. টীকা লিখুন ঃ

(ক) Nucleotide ও nucleoside.

(খ) Tautomerism.

(গ) Unique DNA.

(ঘ) Karyotype.

(ঙ) Satellite.

(চ) Diffuse centromere.

(ছ) Telomerase.

3. অল্পকথায় উত্তর দিন ঃ

(ক) DNA ও RNA এর মধ্যে পার্থক্য গুলি লিখুন।

(খ) একটি DNA অনুর দৈর্ঘ্য 680 Å, এর মধ্যে কতগুলি বেস জোড়া পাওয়া যাবে।

(গ) ঐ DNA খণ্ডের মধ্যে 140টি Guanine পাওয়া যায়, তাহলে adenine এর সংখ্যা কত?

(ঘ) Centromere এর গঠন সম্পর্কে লিখুন।

(ঙ) Yeast artificial chromosome সম্বন্ধে যা জানেন লিখুন।

4. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন ঃ

(ক) ক্রোমোজোমের রাসায়নিক উপাদানগুলি সম্পর্কে সংক্ষেপে লিখুন।

(খ) ক্রোমোজোমের আকৃতি ও অবস্থাপন সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

(গ) ক্রোমোজোমের বিশিষ্ট অঞ্চলগুলি সম্পর্কে সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

7.7 উত্তরমালা

1. (ক) 7.2.1, (খ) ঐ, (গ) ঐ, (ঘ) ঐ, (ঙ) প্রান্তলিপি 7.1, (চ) 7.5, (ছ) ঐ, (জ) ঐ, (ঝ) ঐ, (ঞ) 7.4.1।

2. (ক) 7.2.1, (খ) ঐ, (গ) প্রান্তলিপি 7.1, (ঘ) 7.3, (ঙ) ঐ, (চ) 7.4.1, (ছ) 7.4.3।

3. (ক) 7.2.1 দেখুন, (খ) 200, (গ) 60, (ঘ) প্রান্তলিপি 7.3, (ঙ) প্রান্তলিপি 7.4।

4. (ক) 7.2.1 দেখুন, (খ) 7.3 দেখুন, (গ) 7.4 দেখুন।

একক 8 ❑ বিশেষ ক্রোমোজোম, ইউক্রোমাটিন ও হেটেরোক্রোমাটিন

গঠন

8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

8.2 সংখ্যাতিরিক্ত বা **Supernumerary** ক্রোমোজোম

8.3 বিশাল বা **Giant** ক্রোমোজোম

8.3.1 পলিটিন **(Polytene)** ক্রোমোজোম

8.3.2 ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোম **(lampbrush chromosome)**

8.4 সারাংশ

8.5 ইউক্রোমাটিন ও হেটেরোক্রোমাটিন

8.6 সারাংশ

8.7 প্রশ্নাবলী

8.8 উত্তরমালা

8.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

আগের অধ্যায়ে আমরা সাধারণ বা স্বাভাবিক ক্রোমোজোম সম্বন্ধে আলোচনা করেছি। কোন কোন ক্ষেত্রে কিছু অস্বাভাবিক ক্রোমোজোম দেখা যায়। যেগুলি special বা বিশেষ ক্রোমোজোম হিসাবে পরিচিত। স্বাভাবিক ক্রোমোজোম থেকে এদের পার্থক্য জানা দরকার; তাছাড়া কিছু বিশেষ ক্রোমোজোম জিনতত্ত্বের বহু তথ্য জানতে সাহায্য করেছে, সেইজন্য তাদের আকৃতি ও গঠন ও জানা প্রয়োজন।

আগের অধ্যায়ে আমরা ক্রোমোজোমের মধ্যে দুধরনের ক্রোমাটিনের উল্লেখ করেছি। এই অধ্যায়ে আমরা তাদের সম্পর্কে কিছু বিশদ আলোচনা করবো। সুতরাং এই অধ্যায় পাঠে আপনি

(i) কয়েকটি বিশেষ ধরণের ক্রোমোজোম, তাদের উপস্থিতি, গঠন ও কার্য জানতে পারবেন।

(ii) ক্রোমোজোমের কাঠামো বিন্যাসে বিভিন্ন ধরনের ক্রোমাটিনের ভূমিকা সম্বন্ধে প্রাথমিক ধারণা পাবেন।

8.2 সংখ্যাতিরিক্ত বা Supernumerary ক্রোমোজোম

প্রাণী বা উদ্ভিদ সকল প্রজাতির কোষে সাধারণভাবে যে সব ক্রোমোজোম দেখা যায়, তাদের স্বাভাবিক

ক্রোমোজোম হিসাবে গণ্য করা হয়। ঐ ক্রোমোজোমগুলিই কোষের স্বাভাবিক কার্যাবলী নিয়ন্ত্রণ করে। তবে বেশ কিছু প্রজাতিতে বা প্রজাতির বিশেষ গোষ্ঠীতে সাধারণ ক্রোমোজোম সংখ্যার কিছু অতিরিক্ত ক্রোমোজোম দেখা যায়, যাদের কোন নির্দিষ্ট কার্য লক্ষ্য করা যায় না। সপুষ্পক উদ্ভিদের প্রায় 600 প্রজাতিতে এবং প্রায় 100 প্রাণী প্রজাতিতে এই ধরনের সংখ্যাতিরিক্ত ক্রোমোজোম পাওয়া গেছে। এই সমস্ত অতিরিক্ত ক্রোমোজোমদের B-chromosome হিসাবে চিহ্নিত করা হয়। এই সবক্ষেত্রে সাধারণ ক্রোমোজোমদের A chromosome হিসাবে গণ্য করা হয়। B-chromosome গুলি সাধারণভাবে ক্ষুদ্রাকার হয়ে থাকে এবং কোন নির্দিষ্ট (প্রাতিস্বিক) সংখ্যায় থাকে না। অর্থাৎ কোন একটি প্রতিস্বিকে একটি কোষে কোন অতিরিক্ত ক্রোমোজোম থাকে না, আবার অন্য কোষে এক বা একাধিক এই ধরণের ক্রোমোজোম লক্ষ্য করা যায়। বিভিন্ন বাস্তুতন্ত্রে এদের প্রয়োজনীয়তা দাবী করা হলেও, সঠিকভাবে এর প্রমাণিত হয় নি।

কোন কোন প্রজাতিতে, বিশেষতঃ পাখীর কোষে কিছু সংখ্যক দীর্ঘ ক্রোমোজোম এবং কিছু খুবই ক্ষুদ্র ক্রোমোজোম পাওয়া যায়, এগুলিকে micro-chromosome (মাইক্রোক্রোমোজোম) বলা হয়। B-chromosome এর সঙ্গে এদের পার্থক্য এই যে এরা স্বাভাবিক ভাবেই কোষে বর্তমান অর্থাৎ সংখ্যাতিরিক্ত নয়।

কয়েক ধরণের ক্যান্সার কোষে বা কোষকুলে (cell line) কিছু সংখ্যাতিরিক্ত অতিক্ষুদ্র ক্রোমোজোম দেখা যায়, যেগুলি দুটি বিন্দুর সমষ্টি বলে মনে হয়, সেইজন্য এরা double minutes (ডাবল্ মাইনিউটস্) বা dm হিসাবে পরিচিত। কখনও কখনও প্রাণীকোষে একধরণের অতি ক্ষুদ্র ক্রোমাটিন বস্তু দেখা যায়, যেগুলিকে minichromosome নামে পরিচিত। এগুলি আসলে আক্রমণকারী Virus এর জেনেটিক বস্তু যা কোষের সাইটোপ্লাজমে আশ্রয় দাতার হিস্টোনের সঙ্গে যুক্ত হয়ে ক্রোমাটিন সৃষ্টি করে, যা পরে আশ্রয়দাতার জিনোমে একাত্মীভূত হতে পারে।

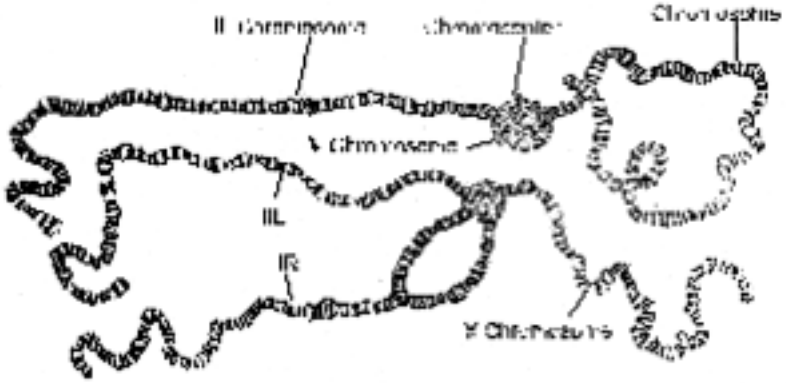
8.3 বিশাল বা Giant ক্রোমোজোম

কোন কোন কোষে বিশেষ কার্যের কারণে কিছু ক্রোমোজোম বিশাল আকার ধারণ করে, এগুলি Giant chromosome বা বিশাল ক্রোমোজোম হিসাবে চিহ্নিত হয়। এদের মধ্যে প্রধান পলিটিন ক্রোমোজোম ও ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোম।

8.3.1 পলিটিন (Polytene) ক্রোমোজোম ঃ

পতঙ্গের Order Diptera র বিশেষ কলার কোষ নিউক্লিয়াসগুলি আয়তনে বিশাল আকার ধারণ করে। এই সব কোষে ক্রোমোজোমের প্রতিলিপিকরণ ঘটে কিন্তু কোষে বিভাজন হয় না। ফলে ক্রোমাটিড দুটি পাশাপাশি থেকে যায়। এই ধরণের উপর্যুপরি প্রতিলিপি করণে বেশ সংখ্যক ক্রোমাটিড পাশাপাশিভাবে সজ্জিত থাকে এবং বিশেষ ধরনের বিশালাকার ক্রোমোজোম সৃষ্টি করে। কোষ বিভাজন ব্যতিরেকে ক্রোমোজোমের প্রতিলিপিকরণ endoreduplication নামে পরিচিত। এই পদ্ধতি endopolyploidy নামেও চিহ্নিত হয়।

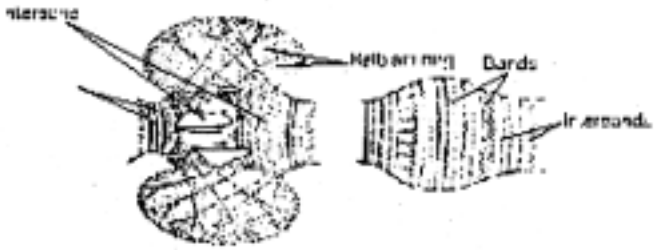
Drosophila melanogaster এর salivary gland chromosomeও এই ধরণের polytene ক্রোমোজোম (চিত্র 8.1)। এর মধ্যে প্রায় 5000 ব্যান্ড দেখা যায় এবং এই ক্রোমোজোম সাধারণ ক্রোমোজোমের তুলনায় 1000 গুণ বড় হতে পারে। Polytene chromosome এর আরও একটি বিশেষত্ব এই যে প্রথম অবস্থাতেই জোড়ার ক্রোমোজোম দুটি পাশাপাশি এসে somatic pairing দর্শায়।



চিত্র 8.1 ঃ ড্রসোফিলার স্যালিভারি গ্ল্যান্ড ক্রোমোজোম

শিম্বজাতীয় উদ্ভিদের ভ্রূণের suspensor কোষে polytene ক্রোমোজোম দেখা যায়। তবে এদের মধ্যে ব্যান্ডগুলি পরিস্কার দেখা যায় না। Pearl millet (জোয়ার) এর সস্য বা endospermএ polytene ক্রোমোজোম লক্ষ্য করা গেছে, যার মধ্যে কিছু ব্যান্ড দেখা যায়।

পলিটিনি ক্রোমোজোমের একটি বিশেষত্ব এই যে বিভিন্ন দশায় এবং বিভিন্ন সময় এদের বাহ্যরূপের পরিবর্তন ঘটে। সাধারণভাবে bandগুলি ঘনসন্নিবদ্ধ থাকে। তবে বিশেষ ক্ষেত্রে বিভিন্ন ব্যান্ড প্রসারিত হয়ে "puff" এর সৃষ্টি করে (চিত্র 8.2) । যেগুলিকে সক্রিয় জিন হিসাবে গণ্য করা হয়। Puff গুলি বেশ কিছু loop বা ফাঁসের সমন্বয়ে সৃষ্ট হয়। Balbiani (ব্যালবিয়ানি 1881) এদের প্রথম লক্ষ্য করেন, সেইজন্য puff গুলি ব্যালবিয়ানি ring হিসাবে পরিচিত। Balbiani ring এর মধ্যে DNA loop ছাড়া প্রোটিন ও RNA পাওয়া যায়। সেই জন্য ধরা হয় এরা RNA প্রতিলিপি গঠনে কাজ করে।

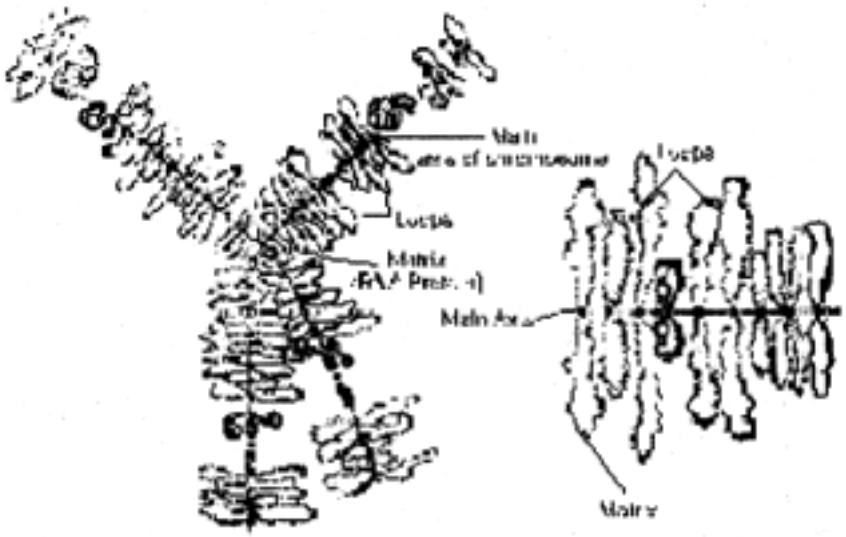


চিত্র 8.2 ঃ ব্যালবিয়ানি রিং।

8.3.2 ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোম (lampbrush chromosome) ঃ

এরা এই নামে পরিচিত কারণ ওদের চিমনি পরিস্কারের ব্রাশের মতো দেখতে হয় (চিত্র 8.3)।

Lampbrush ক্রোমোজোম প্রথম Ruckert (রুকার্ট) 1892 খ্রীষ্টাব্দে Salamander Oocyte এ লক্ষ্য করেন। মাছ, ব্যাঙ, সরীসৃপ ও পাখিদের Oocyte এ lampbrush chromosome পরিলক্ষিত হয়। এই ক্রোমোজোমগুলি এতো বড় হয় যে এদের খালি চোখেই দেখা যায়। Urodele এর ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোম 5900 μm লম্বা হয়। Oocyte এর দীর্ঘায়িত মাইয়োসিস এর ডিপ্লোটিন (diplotene) পর্যায়ে যুগ্মন অবস্থায় এই ক্রোমোজোমের উদ্ভব ঘটে। ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোমে একটি মুখ্য অক্ষ (main axis) থাকে, যার দুই দিক থেকে lateral বা পার্শ্বীয় loop বা ফাঁস তৈরি হয়। এই chromatin লুপগুলি মুখ্য DNA অক্ষ থেকে নির্গত হয়। এই loop এর ব্যাস 30-50 Å পর্যন্ত দেখা যায়। নিষিক্তকরণ পরবর্তী ভ্রূণের প্রাথমিক বিবর্ধনের সময় প্রচুর পরিমাণ মজুত প্রোটিন ও বিভিন্ন প্রকার RNA এর প্রয়োজন হয়, এই কারণে এই সমস্ত প্রজাতির Oocyte পর্যায়ে lampbrush ক্রোমাসোমের প্রয়োজন হয়। Lampbrush ও polytene ক্রোমোজোম Giant বা বিশাল ক্রোমোজোম হিসাবে পরিচিত, এগুলি ক্রোমোজোম এর কাঠামো বিন্যাসে এবং জিন এর কার্যাবলী সমীক্ষায় বিশেষভাবে সাহায্য করেছে।



চিত্র 8.3 : একটি ল্যাম্পব্রাশ ক্রোমোজোম এবং একটি ফাঁস বড় করে দেখানো হয়েছে। লক্ষ্য করুন ফাঁসের DNA axis থেকে RNA সংশ্লেষণ।

8.4 সারাংশ

স্বাভাবিক ক্রোমোজোমের অতিরিক্ত আরো কয়েকটি ভিন্ন ধরণের ক্রোমোজোম দেখা যায়। এদের মধ্যে রয়েছে সংখ্যাতিরিক্ত বা accessory ক্রোমোজোম ও Giant বা বিশাল ক্রোমোজোম। সংখ্যাতিরিক্ত ক্রোমোজোমগুলি ক্ষুদ্র আকারের হয় এবং এদের নির্দিষ্ট সংখ্যায় দেখা যায় না। এরা B-chromosome

নামেও পরিচিত। কতিপয় ক্যান্সার জাতীয় কোষে অতিক্ষুদ্র সংখ্যাতিরিক্ত dm ক্রোমোজোম দেখা যায়। বিশাল ক্রোমোজোমের মধ্যে রয়েছে polytene ক্রোমোজোম, যার প্রকৃষ্ট উদাহরণ ড্রসোফিলার salivary gland ক্রোমোজোম। শিম্বজাতীয় উদ্ভিদের ভ্রূণের suspensor কোষে এবং pearl millet এর সস্যেও polytene ক্রোমোজোম দেখা যায়। Polytene ক্রোমোজোমগুলি দেহকোষ যুগ্ম দেখায়, এবং এদের মধ্যে বহু ব্যান্ড দেখা যায়। বিশেষ ক্ষেত্রে বিভিন্ন ব্যান্ড থেকে 'puff' সৃষ্টি হয়, যেগুলিকে প্রতিলিপি গঠনে সক্রিয় জিন হিসাবে গণ্য করা হয়। এছাড়া আরেক ধরণের বিশাল ক্রোমোজোম Lampbrush ক্রোমোজোম অনেক মেরুদণ্ডী প্রাণীর এর মধ্যে দেখা যায়। এই ক্রোমোজোমের মুখ্য অক্ষ থেকে পার্শ্বীয় লুপ বা chromatin এর ফাঁস সৃষ্টি হয়। ফলে এগুলিকে lampbrush এর মতো দেখতে হয়। বিশাল ক্রোমোজোমগুলি জিন এর কার্য নিয়ন্ত্রণ পরীক্ষায় বিশেষভাবে সাহায্য করেছে।

8.5 ইউক্রোমাটিন ও হেটেরোক্রোমাটিন

আগের অধ্যায়ে আমরা আলোচনা করেছি যে nucleus এর interphase দশায় chromatin অনুতন্তুগুলি বিচ্ছুরিত হয়ে প্রায় অদৃশ্য থাকে। এর কোন কোন অঞ্চলে ঘন সন্নিবেশিত ক্রোমাটিনও দেখা যায়। এই সমস্ত ঘন সন্নিবেশিত ক্রোমাটিন হেটেরোক্রোমাটিন নামেও পরিচিত। অন্যদিকে বিচ্ছুরিত অনুতন্তুগুলি ইউক্রোমাটিন (euchromatin) হিসাবে চিহ্নিত হয়।

Heitz (হাইৎস্) 1928 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম হেটেরোক্রোমাটিন (heterochromatin) চিহ্নিত করেন। তাঁর সংজ্ঞা অনুযায়ী ক্রোমোজোমের সেই সকল অংশ heterochromatin যেগুলি interphase এবং prophase এর গোঁড়াতেও ঘন সন্নিবেশিত দেখা যায়, এবং এরা telophase এ বিচ্ছুরণ বা dispersion দেখায় না। প্রকৃতপক্ষে ক্রোমোজোমের কোন দশাতেই ওদের ঘন সন্নিবেশিত রূপের পরিবর্তন হয় না। রঞ্জক ব্যবহারে এদের গাঢ় রঙে রঞ্জিত দেখা যায় এবং সহজেই সনাক্ত করা যায়। Interphase এর ঘনসন্নিবেশিত অঞ্চলগুলি পূর্বে prochromosome নামেও পরিচিত ছিল।

Heterochromatin দুটি বিশেষ প্রকারের হতে পারে—যেমন (i) constitutive (কন্‌স্টিটিউটিভ্) heerochromatin এবং (ii) Facultative (ফকালটেটিভ) haterochromatin।

(i) Constitutive বা উপাদানীয় হেটেরোক্রোমাটিন—এই ধরনের heterochromatin ক্রোমোজোমের কয়েকটি বিশেষ অঞ্চলের উপাদান হিসাবে দেখা যায়। সেই হিসাবেই এদের এই নামকরণ। ক্রোমোজোমের centromere ও telomere অঞ্চলে এই উপাদানীয় heterochromatin পাওয়া যায়। একটি বিশেষ ব্যান্ডিং পদ্ধতি (C-banding) দ্বারা এদের সহজেই চিহ্নিত করা যায় (চিত্র 8.4)। আগেই উল্লেখ করা হয়েছে যে ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়র ও টেলোমিয়র অঞ্চলে কয়েকটি বেসজোড়ার একক বা ক্ষুদ্র DNA খণ্ড সারিবদ্ধ এবং পৌনঃপুনিকভাবে সজ্জিত দেখা যায়, অর্থাৎ মুখ্যত এরা repeated DNA দ্বারা গঠিত। এরা ক্রোমোজোম গঠনে বিশেষ অংশ গ্রহণ করে, এবং এখানে unique DNA খুব কমই পাওয়া যায়।

(ii) Facultative heterochromatin বা আনুষঙ্গিক হেটেরোক্রোমাটিন।

চিত্র 8.4 ঃ Commeline প্রোমোসোমে C-banding উপাদানীয় হেটেরোপ্রোমাটিনের অবস্থান দেখানো হচ্ছে।

চিত্র 8.5 ঃ Barr-body।

এটি একটি জটিল অবস্থায় সৃষ্টি করে। এই হেটেরোক্রোমাটিন কখনও কখনও সক্রিয় হয়ে ইউক্রোমাটিনের মতো ব্যবহার অন্য সময় ঘনসন্নিবেশিত হয়ে হেটেরোক্রোমাটিন এর মতো করে। নিউক্লিওলাসের মধ্যে বহু সংখ্যক rDNA cistrons দেখা যায়। এর মধ্যে বহু cistron সাধারণভাবে নিষ্ক্রিয় থাকে, তবে এরাও প্রয়োজনে সক্রিয় হতে পারে, সেইজন্য এটি ফকালটেটিভ্ হেটেরোক্রোমাটিন হিসাবে গণ্য হয়। এই ধরণের হেটেরোক্রোমাটিনের প্রকৃষ্ট উদাহরণ Barr বডি (চিত্র 8.5)। স্ত্রী জাতীয় স্তন্যপায়ীদের দেহকোষে Barr (1944) এদের প্রথম লক্ষ্য করেন। পরে 1961 খ্রীষ্টাব্দে Mary Lyon এদের উৎপত্তির ব্যাখ্যা দেন। স্ত্রীজাতীয় মানুষের কোষে দুটি X chromosome বর্তমান, যার মধ্যে কোন বিশেষ কোষে কেবল একটি মাত্র X-chromosome সক্রিয় থাকে, যেটি Lyon (লিয়ন) hot X হিসাবে আখ্যা দেন। অন্য X-chromosome টি নিষ্ক্রিয় থাকে, এবং heterochromatized হয়ে Barr-body হিসাবে দেখা দেয়। দেহ-কোষে বারবডি (Barr Body) অনুসন্ধান করে তাই লিঙ্গ নির্ধারণ করা সম্ভব। কারণ পুংদেহকোষে একটি X-chromosome থাকায়, কোন বারবডি দেখা যায় না। বিড়াল জাতীয় প্রাণীর লোমের রঙ (Coal colour) যে জিন দ্বারা নির্দেশিত সেটি X-chromosome এ অবস্থিত। স্ত্রী বেড়ালের ত্বকের লোমে মাঝে মাঝে ছোপ ছোপ রঙ দেখা যায়, কারণ ঐ ভিন্ন অঞ্চলে কোথাও একটি X, অন্যত্র অন্য Xটি সক্রিয় বা hot অবস্থায় থাকে। একে allopheny বলে (ভিন্ন phenotype)।

8.6 সারাংশ

সক্রিয় ক্রোমাটিন কোষ নিউক্লিয়াসে বিচ্ছুরিত (diffuse) প্রায় অদৃশ্য অবস্থায় থাকে, পরে বিভাজনের সময় দৃষ্টিগোচর হয়। কিন্তু heterochromatin কোষের বিভিন্ন দশায় একইভাবে ঘন সন্নিবেশিত অবস্থায় দেখা যায়। হেটেরোক্রোমাটিন দুই প্রকারের হতে পারে, constitutive বা উপাদানীয় হেটেরোক্রোমাটিন ও facultative বা আনুষঙ্গিক হেটেরোক্রোমাটিন। কনষ্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়র ও টিনোমিয়র অঞ্চলে দেখা যায় এবং বিশেষ ধরনের repeated বা পৌনঃপুনিক DNA খণ্ড দ্বারা গঠিত। Facultative হেটেরোক্রোমাটিন কখনও নিষ্ক্রিয় ঘনসন্নিবেশিত; আবার কখনও বা সক্রিয় বিচ্ছুরিত (diffuse) অবস্থায় দেখা যায়। কখনও একটি সম্পূর্ণ chromosome heterochromatinized হতে পারে, যেমন স্ত্রীজাতীয় স্তন্যপায়ীর দেহ কোষের একটি X-chromosome; যা interphase দেহকোষে Barr-body হিসাবে দেখা যায়।

8.7 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ
   (ক) B-chromosome গুলি সাধারণতঃ _____ এবং কোন নির্দ্দিষ্ট সংখ্যায় থাকে না।
   (খ) পাখীর দেহকোষে কিছু অতি ক্ষুদ্র ক্রোমোজোম পাওয়া যায় যেগুলিকে _____ বলে।
   (গ) পলিটন ক্রোমোজোমগুলি _____ পদ্ধতিতে সৃষ্টি হয়।
   (ঘ) Pearl millet এর _____ Polytene ক্রোমোজোম পাওয়া যায়।
   (ঙ) Urodele এ lampbrush ক্রোমোজোম _____ μm দীর্ঘ হতে পারে।
   (চ) lampbrush ক্রোমোজোমের loop গুলি _____ থেকে _____ ব্যাস যুক্ত হয়।
   (ছ) _____ 1928 খ্রীষ্টাব্দে heterochromatin প্রথম সনাক্ত করেন।
   (জ) 1961 খ্রীষ্টাব্দে _____ Barr body র উৎপত্তি ব্যাখ্যা করেন।
2. টীকা লিখুন ঃ
   (ক) B-chromosomes.
   (খ) dm (double minutes).
   (গ) minichromosomes.
   (ঘ) salivary gland chromosomes.
   (ঙ) lampbrush chromosomes.
   (চ) constitutive heterochromatin.

(ছ) Allopheny.

3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সংক্ষেপে উত্তর দিন ঃ

(ক) Giant chromosomes বা বিশাল ক্রোমোজোম কাদের বলে? এদের সম্পর্কে যা জানেন লিখুন।

(খ) Heterochromatin কি এবং কয় প্রকার? এদের সম্পর্কে যা জানেন সংক্ষেপে বর্ণনা করুন।

8.8 উত্তরমালা

1. (ক) ক্ষুদ্র, নির্দিষ্ট, (খ) microchromosome, (গ) endoreduplication, (ঘ) endosperm বা সস্য, (ঙ) 5900, (চ) 30.50, (ছ) Heitz, (জ) Mary Lyon।
2. (ক) 8.2, (খ) 8.2, (গ) 8.2, (ঘ) 8.3, (ঙ) 8.3, (চ) 8.5, (ছ) 8.5।
3. (ক) 8.3 দেখুন, (খ) 8.5 দেখুন।

একক 9 ❑ ক্রোমোজোমের বিন্যাস

গঠন

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

9.2 **Nucleosome** (নিউক্লিওসোম) মডেল—ক্রোমাটিন অনুতন্তুর বিন্যাস

9.3 মেটাফেজ ক্রোমোজোমের সংগঠন

9.4 সারাংশ

9.5 প্রশ্নাবলী

9.6 উত্তরমালা

9.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

1970 খ্রীষ্টাব্দের আগে ক্রোমোজোমের বিন্যাস সম্পর্কে বিভিন্ন মডেল প্রচলিত ছিল, যেমন single strand model (Ris, 1989), multistranded model (Kaufman, 1964), folded fibre model (Du Praw, 1965) ইত্যাদি। 1974 খ্রীষ্টাব্দে Olins ও Olins এবং Kornberg ক্রোমোজোম বিন্যাস সম্পর্কে সম্পূর্ণ নতুন তথ্য জানালেন। যার উপর ভিত্তি করে clromosome এর nucleosome মডেল গড়ে উঠেছে। Nucleosome এর উপর ভিত্তি করে metaphase ক্রোমোজোম এর বিন্যাসের একটা ধারণা গড়ে উঠেছে। আমরা এই অধ্যায়ে ক্রোমোজোমের এই দ্বিমাত্রিক বিন্যাস সম্পর্কে আলোচনা করবো। সুতরাং এই অধ্যায় পাঠে আপনারা নিম্নলিখিত বিষয়গুলি জানতে পারবেন।

(1) Nucleosome কি এবং তার আনবিক গঠন।

(2) Nucleosome থেকে ক্রোমাটিন অনুতন্তুগুলি কিভাবে সৃষ্টি হয়।

(3) এবং এই অনুতন্তুগুলি মেটাফেজ ক্রোমোজোমের বিণ্যাসে কিভাবে অংশগ্রহণ করে।

9.2 নিউক্লিওসোম (nucleosome) ও ক্রোমাটিন অনুতন্তুর বিন্যাস

ক্রোমোজোমের রাসায়নিক উপাদান বিশ্লেষণ জানা যায় যে এর মধ্যে তিনটি বিশেষ উপাদান, DNA, histone এবং non-histone প্রোটিন 1 : 1 : 06 অনুপাতে উপস্থিত। অন্যদিকে ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে আমরা ক্রোমাটিনের যে প্রান্তিক অনুতন্তুগুলি দেখি, তাদের ব্যাস 30 nm এবং এরা deoxyribo nucleoprotein দ্বারা গঠিত।

1974 খ্রীষ্টাব্দে Olins ও Olins ইলেকট্রণ অনুবীক্ষণ যন্ত্রে পৃথকীকৃত ক্রোমাটিন পরীক্ষা করে দেখালেন যে এর মধ্যে পরপর অনেক গুটি (beads) একপ্রকারের সরু সূত্রবৎ বস্তুর দ্বারা সারিবদ্ধভাবে সজ্জিত থাকে, যা তাঁরা beads on string হিসাবে বর্ণনা করেন। গুটি গুলি তাঁরা nu-bodies আখ্যা দেন। ঐ একই সালে Kornberg (কর্ণ্‌বার্গ) জৈব রসায়ন পরীক্ষায় দেখালেন যে ক্রোমাটিন কতকগুলি একক দ্বারা গঠিত, যেগুলির তিনি নাম দেন nucleosome। তিনি আরও দেখাতে সমর্থ হলেন যে ঐ nucleosome এককের মধ্যে 200 bp দীর্ঘ একটি DNA খণ্ড এবং তার সঙ্গে চার প্রকারের হিস্টোন প্রোটিনের (H_{2A}, H_{2B}, H_3 ও H_4) প্রতিটির দুটি অনু পাওয়া যায়। প্রোটিন অনুগুলি একটি Octamer (4 × 2) তৈরি করে। 1977 খ্রীষ্টাব্দে Chaubon (শব্) দেখালেন ঐ DNA খণ্ড প্রোটিন অক্টামারকে জড়িয়ে থাকে।

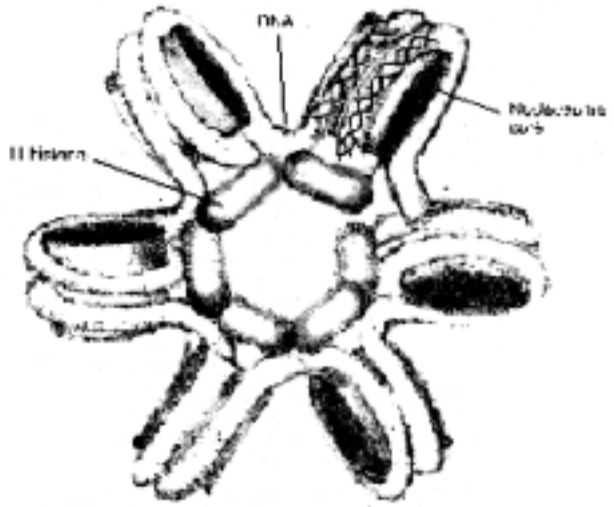
নিউক্লিওসোম এবং nu-bodies যে একই বস্তু তা 1, 2, 3, 4 পরীক্ষায় প্রমাণ হয়। ক্রোমাটিন অনুতন্তুকে মাইক্রোকক্কাল (মাইক্রোকক্কাস থেকে প্রাপ্ত) DNase উৎসেচক দ্বারা পাচন করলে বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের ক্রোমাটিন পাওয়া যায় যেগুলি এক-অংশক (monomer) দ্বি-অংশক (dimer), ত্রি-অংশক (trimer), চতুরংশক (tetramer) বা বহু-অংশক হতে পারে। ঐ DNA খণ্ডগুলিকে Sucrose Gradient শর্করা ক্রমবিন্যাসিত অবক্ষেপনে পৃথক করা সম্ভব। দেখা যায় যে এক-অংশকে (monomer) 200 bp, দ্বি-অংশকে 400 bp, ত্রি-অংশকে 600 bp ও চতুরংশকে 800 bp যুক্ত DNA পাওয়া যায়। এগুলি ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রে পরীক্ষা করে যথাক্রমে একটি, দুটি, তিনটি বা চারটি গুটি বা beads লক্ষ্য করা যায়। এই পরীক্ষা থেকে প্রমাণিত হ'ল যে nu-bodies ও nucleosome একই বস্তু। তবে nucleosome শব্দটি অনেক বেশি বিজ্ঞানসম্মত হওয়ায় সেটিই গ্রাহ্যতা পায়।

Nucleosome কিছুটা কমলাকার কণা যেগুলি উচ্চতায় 55 Å এবং 110 Å ব্যাসযুক্ত। এর ভিতরে histone অক্টামারের একটি মজ্জা থাকে যার উচ্চতা 40 Å এবং ব্যাস 80 Å। ওই মজ্জাকে DNA দ্বিতন্ত্রী একবার সম্পূর্ণভাবে পাক দিয়ে আরও তিন-চতুর্থ (3/4) চার পাক দিয়ে পার্শ্ববর্তী nucleosome এর সঙ্গে যুক্ত হয় (চিত্র 9.1)। DNA এর এই অংশ linker DNA নামে পরিচিত। Linker DNA এর সঙ্গে আরও একপ্রকার হিস্টোন—H_1 প্রোটিন যুক্ত থাকে। Histone Octamer এ চারধরণের হিস্টোন প্রোটিন—H_{2A}, H_{2B}, H_3 এবং H_4 থাকে, এবং এদের প্রত্যেকের দুটি অনু অক্টামারে উপস্থিত। এই হিস্টোন প্রোটিনগুলি লঘু আনবিক ভার যুক্ত এবং এদের মধ্যে লাইসিন ও আরজিনিন এর প্রাধান্য দেখা যায়।

প্রান্তলিপি 9.1 : নিউক্লিওসোমে প্রাপ্ত হিষ্টোন

হিষ্টোন প্রকার	লাইসিন সংখ্যা/প্রতি অনু	আরজিনিন সংখ্যা/প্রতি অনু	আনবিক ভার **Mol. wt dalton)**
H_1	29	1	23,000
H_{2A}	11	9	13,960
H_{2B}	16	6	13,774

H_3	10	13	15,342
H_4	11	14	11,282

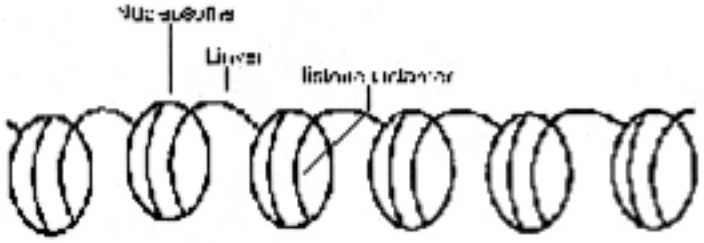


চিত্র 9.1 : কয়েকটি nucleosome এবং beads on string এর গঠন।

Histone অক্টামারকে যে DNA অনু জড়িয়ে থাকে তার দৈর্ঘ্য 140 bp নির্দিষ্ট থাকে। বাকি DNA linker এর মধ্যে পাওয়া যায়। তবে linker এর দৈর্ঘ্য সব কোষে সমান হয় না যা 55 bp থেকে 70 bp হতে পারে। ক্রোমোজোমের certromeric অঞ্চলের DNA এর linker গুলি অপেক্ষাকৃত ছোট হয়। DNase প্রথমেই linker DNA কে আক্রমণ করে। Linker DNA এর সঙ্গে কেবলমাত্র H_1 হিষ্টোন প্রোটিন থাকে তা নয়, কয়েকটি NHCP (নন্‌হিষ্টোন ক্রোমোজোমাল প্রোটিন)ও যুক্ত থাকে। কয়েকটি অম্লজাতীয় প্রোটিন ক্রোমোজোম বিন্যাসেও অংশগ্রহণ করে, কয়েকটি উৎসেচকও ক্রোমাটিনের সঙ্গে পাওয়া যায়। প্রকৃতপক্ষে nucleosome এর গঠনে কেবলমাত্র দুটি অম্লজাতীয় প্রোটিন অংশ নেয়, এরা N_1 এবং nucleoplasmia। N_1 প্রোটিন H_3 ও H_4 এর মধ্যে যোগসাধন করে যেখানে nucleoplasmin H_{2A} ও H_{2B} এর মধ্যে দেখা যায়।

ক্রোমাটিন এর অনুতন্তুতে নিউক্লিওজোমগুলি পরস্পর সংলগ্ন থাকে এবং 10 nm বেধ যুক্ত fibril তৈরি করে (Simpson, সিম্পসন, 1978)। তবে কোন কারণে লিংকার DNA এর সঙ্গে যুক্ত প্রোটিনগুলি পাচিত হলে nucleosome গুলি পৃথক হয়ে beads on string আকার ধারণ করে। 10 nm বেধ যুক্ত nucleosome অনুতন্তুগুলি ক্রোমাটিন অনুতন্তুর সমতুল্য নয়। 30 mm বেধযুক্ত ক্রোমাটিন অনুতন্তুগুলি nucleosome এর বিশেষ বিন্যাসে সম্ভব হয়। Nucleosomal অনুতন্তুগুলি ভাঁজ হয়ে কুণ্ডলি আকার ধারণ করে। এই কুণ্ডলিত 6টি nucleosome অংশগ্রহণ করে একটি solenoid (সোলেনয়েড্) গঠন তৈরি করে (Flinch and Klug, ফ্লিঞ্চ ও ক্লুগ, 1978)। একটি Solenoid এর ব্যাস 30 nm, যা chromatin অনুতন্তুর অনুরূপ। Solenoid

এর মাঝখানে 10 nm ফাঁক দেখা যায়। ঐ কেন্দ্রস্থ অঞ্চলে H_1 প্রোটিন পাওয়া যায় (চিত্র 9.2)। Nucleosome সাধারণ অবস্থায় compact বা ঘনসন্নিবেশিত থাকে, তখন প্রতিলিপিকরণ বা গঠন সম্ভব নয়। তবে এদের extended form এ রাসায়নিক বিক্রিয়া সমূহ ঘটে থাকে।



চিত্র 9.2 : একটি solenoid কুণ্ডলী। 6টি nucleosome ও মধ্যবর্তী ফাঁক লক্ষ্য করুন।

9.3 মেটাফেজ ক্রোমোজোমের সংগঠন

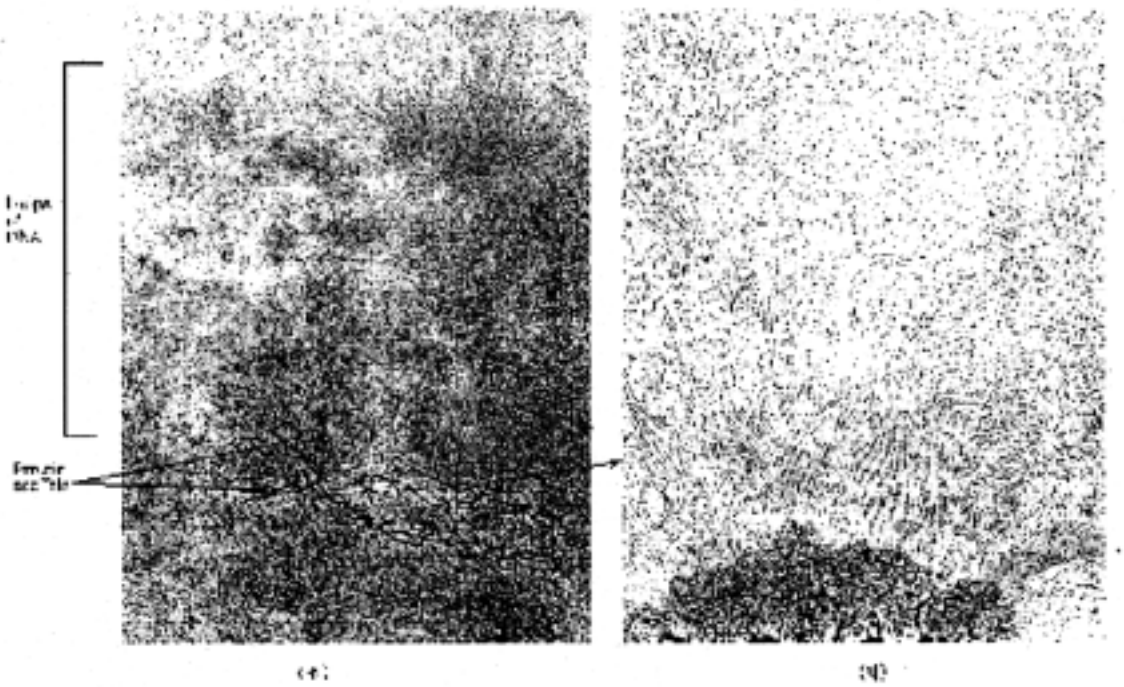
পূর্বে মেটাফেজ ক্রোমোজোমের সংগঠনের ব্যাখ্যায় একটি supersolenoid মডেল প্রস্তাবিত হয়েছিল। কিন্তু বর্তমানে এটি গ্রাহ্য নয়। বিশেষতঃ ক্রোমোজোমের একটি বিশেষ অবয়ব—chromosome scaffold (ক্রোমোজোম কাঠামো) আবিস্কারের পর।

আমরা জানি প্রতিটি কোষে নির্দ্দিষ্ট পরিমাণ DNA বর্তমান থাকে। এমনকি প্রতিটি ক্রোমোজোমের DNA এর পরিমাণ ও নির্দ্দিষ্ট থাকে। মানুষের সবচেয়ে বড় ক্রোমোজোমটি 10 μm দীর্ঘ এবং এর মধ্যেকার DNA তন্তু লম্বায় 7.2 cm হওয়ার কথা, ঐ পরিমাণ DNA মেটাফেজ ক্রোমোজোমে ঘনসন্নিবেশিত অবস্থায় থাকে। উপরোক্ত হিসাব থেকে পাওয়া যায় যে মেটাফেজ ক্রোমোজোমে DNA তন্তুর সন্নিবেশ মান (Compaction value) এর উপর। এই সন্নিবেশ কিছু পরিমাণ nucleosome ও এবং কিছু পরিমাণ solenoid এর মধ্যে সংঘটিত হয়। বাকি সন্নিবেশ chromosome এর মাধ্যমে ঘটে থাকে।

প্রান্তলিপি 9.2 : C-value

আমরা জানি প্রত্যেক প্রজাতির কোষে নির্দ্দিষ্ট পরিমাণ DNA থাকে, যা কোষ চক্রের বিভিন্ন দশায় ভিন্নরকম হতে পারে। ঐ প্রজাতির জননকোষে যে পরিমাণ DNA থাকে, সেটি 1C হিসাবে চিহ্নিত হয়। অর্থাৎ ডিপ্লয়েড্ প্রজাতির দেহকোষে প্রথমে 2C পরিমাণ DNA থাকে, যা S-phase (Synthetic phase) এর পর প্রতিলিপিকরণে 4C পরিমাণে দাঁড়ায়। কোষ বিভাজনের পর ঐ পরিমাণ কমে 2C হয়। আবার মাইয়োসিস পদ্ধতি দ্বিতীয় বিভাজনের পর প্রতি জননকোষে 1C পরিমাণ DNA পাওয়া যায়। তবে জিন সংখ্যার সঙ্গে C-value-র কোন নির্দ্দিষ্ট যোগ পাওয়া যায় না। অনেক প্রজাতিতে C-value-র বহু পার্থক্য থাকা সত্ত্বেও জিন সংখ্যা প্রায় সমান থাকে। যা C-value paradox (C-value আপাত বিরোধ) হিসাবে পরিচিত।

Laemmli (লিমলি) ও সহকর্মীরা 1978 খ্রীষ্টাব্দে প্রথম chromosome কাঠামো বা scaffold এর বর্ণনা দেন। Chromosome এর DNA ও histone সম্পূর্ণভাবে অপসারণ করলে এই কাঠামো দেখা যায়। এই scaffold দুটি বিশেষ বিশেষ অম্লজাতীয় প্রোটিন দ্বারা গঠিত হয়, যাদের আনবিক ভার 135 ও 170 kD। ক্রোমোজোম কাঠামো মূলতঃ ঐ দুই প্রোটিনের জালিকা (চিত্র 9.3 ক)। ঐ কাঠামোর সঙ্গে 10-30 μm দীর্ঘ chromatin loop যুক্ত থাকে (9.3 খ), যেগুলি ঘন সন্নিবেশিত হয়ে মেটাফেজ ক্রোমোজোম সৃষ্টি করে। Loop গুলি কিভাবে সজ্জিত থাকে তা ব্যাখ্যার জন্য কয়েকটি প্রকল্প উপস্থাপিত হয়েছে, যার মধ্যে Laemmli ও সহকর্মীদের (1978) radial loop মডেল এবং Rattner (র‍্যাটনার, 1988) এর helical মডেলই প্রধান।



চিত্র 9.3 ঃ ক্রোমোজোমের scaffold (9.3 ক) এবং সংলগ্ন কিছু DNA ফাঁস loop (9.3 খ)।

9.4 সারাংশ

ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রে পরিলক্ষিত nu-bodies গুলিই ক্রোমাটিনের রাসায়নিক একক nucleosome। Nucleosome কমলাকার উচ্চতায় 55 Å ও 110 Å ব্যাসযুক্ত যার মজ্জায় হিস্টোন H_{2A}, H_{2B}, H_3 ও H_4 প্রত্যেকের দুটি অনু নিয়ে গঠিত একটি Octamer থাকে। দ্বিতন্ত্রী DNA ঐ Octamerকে $1\frac{3}{4}$ বার পাক দিয়ে পরবর্তী nucleosome এ যুক্ত হয়। DNA এর এই অংশ linker DNA হিসাবে পরিচিত।

Octamer এর সঙ্গে 140 dp DNA এবং linker এর মধ্যে 55-70 bp DNA থাকে। Nucleosome ঘন সন্নিবিষ্ট হয়ে 10 nm বেধযুক্ত অনুতন্তু সৃষ্টি করে। 6টি nucleosome কুণ্ডলি আকার ধারণ করে ভাঁজ হয়ে একটি solenoid অবয়ব সৃষ্টি করে, যার ব্যাস 30 nm এবং কেন্দ্রে 10 nm ব্যাসযুক্ত ফাঁক থাকে। এই সোলেনয়েড্ই ক্রোমাটিনের প্রাস্তিক অনুতন্তু সৃষ্টি করে।

Metaphase এ DNA এর সন্নিবেশ মান প্রায় 7000। Nucleosome ও solenoid এর মাধ্যমে কিছু সন্নিবেশ ঘটে থাকে। Solenoid গঠিত ক্রোমাটিন অনুতন্তুগুলি chromosome scaffold বা ক্রোমোজোম কাঠামোর সঙ্গে 10-30 μm ব্যাস যুক্ত loop হিসাবে যুক্ত থাকে। যেগুলি বিভাজনের সময় ঘন সন্নিবিষ্ট হয়ে মেটাফেজ ক্রোমোজোম তৈরি করে। ক্রোমোজোম কাঠামোদুটি acidic protein যাদের আনবিক ভর 135 ও 170 kD দ্বারা গঠিত।

9.5 প্রশ্নাবলী

1. শূণ্যস্থান পূর্ণ করুন ঃ

   (ক) ক্রোমাটিনে DNA, histone ও non-histone প্রোটিনের অনুপাত _____ : _____ : _____।

   (খ) Nucleosome কণা _____, উচ্চতায় _____ এবং _____ Å ব্যাস যুক্ত।

   (গ) Histone octamer-কে যে DNA খণ্ড জড়িয়ে থাকে তার মধ্যে _____ bp নির্দ্দিষ্ট থাকে।

   (ঘ) Solenoid সৃষ্টিতে _____ nucleosome অংশ গ্রহণ করে।

   (ঙ) C-value-র সঙ্গে জিন সংখ্যার কোন _____ থাকে না, যা _____ _____ নামে পরিচিত।

   (চ) মানুষের সবচেয়ে বড় chromosomeটি _____μm দীর্ঘ হয়, এবং এর মধ্যেকার DNA অনু _____cm লম্বা।

   (ছ) Chromosome scaffold দুটি _____ _____ বিশেষ দ্বারা গঠিত, যাদের আনবিক ভার _____ _____ ও _____kD।

2. টীকা লিখুন ঃ

   (ক) nu-bodies.

   (খ) 1, 2, 3, 4 Experiment.

   (গ) Linker DNA.

   (ঘ) Solenoid.

   (ঙ) Chromosome scaffold.

   (চ) nucleoplasmin.

3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির সংক্ষেপে উত্তর দিন ঃ

(ক) Chromatin গঠনে histone এর ভূমিকা কী?

(খ) Chromosome গঠনে non-histone chromosomal protein-এর ভূমিকা কি?

3. নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন ঃ

(ক) Nucleosome-এর উপাদান ও গঠন সম্পর্কে আলোচনা করুন।

(খ) Chromatin অনুতন্তু কিভাবে গঠিত হয় সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

(গ) মেটাফেজ ক্রোমোজোমে DNA এর সন্নিবেশ মান কত? তা কিভাবে সংঘটিত হয় সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

9.6 উত্তরমালা

1. (ক) 1, 1, 0.6, (খ) কমলাকার, 55, 110, (গ) 140, (ঘ) 6, (ঙ) যোগ, C-value paradox, (চ) 10, 7.2, (ছ) acidic protein, 135, 170।
2. (ক) 7.2 দেখুন, (খ) 7.2 দেখুন, (গ) 7.2 দেখুন, (ঘ) 7.2 দেখুন, (ঙ) 7.3 দেখুন; (চ) 7.2 দেখুন।
3. (ক) 7.2 দেখুন, (খ) 7.2 দেখুন।
4. (ক) 7.2 দেখুন (সম্ভব হলে প্রান্তলিপি 7.1) (খ) 7.2 (nucleosome ও solenoid), (গ) 7.3 দেখুন।

পর্যায় — ২

একক 10 ■ কোশ চক্র ও তার নিয়ন্ত্রণ (Cell Cycle and its control)

গঠন

10.1 প্রস্তাবনা

10.2 উদ্দেশ্য

10.3 কোশ চক্র

10.3.1 কোশ চক্রের সময়কাল

10.3.2 G_0 দশা

10.4 কোশ চক্রের নিয়ন্ত্রণ

10.4.1 সাইক্লিন প্রোটিন

10.4.2 কোশচক্রের চেকপয়েন্ট

10.4.3 সাইক্লিন-নির্ভরশীল কাইনেস প্রোটিনের ক্রিয়া

10.4.4 অনুশীলনী

10.5 মেটাফেস চেক্‌পয়েন্ট

10.6 অ্যানাফেস প্রোসেটিং কমপ্লেকস্

10.7 সারাংশ

10.8 প্রশ্নাবলি

10.9 উত্তরমালা

10.1 ❑ প্রস্তাবনা

শ্লাইডেন, শোয়ান ও ভারচাও (M. Schleiden. T. Schwonn & R. Virchow, 1838-1855) প্রণীত কোশ তত্ত্ব (Cell theory) সম্বন্ধে আপনারা পূর্বেই জেনেছেন। এই তত্ত্বের তৃতীয় উপপাদ্যটি ছিল, যে কোনও নতুন কোশ কেবল পূর্ববর্তী কোনও সজীব কোশ থেকে সৃষ্টি হতে পারে। এই নতুন কোশের সৃষ্টি হয় কোশ বিভাজনের মাধ্যমে। বহুকোশী কোনও জীবে, এক-কোশ বিশিষ্ট ভ্রূণাণু বা জাইগোট (Zygote) সৃষ্টি করতে পারে মানুষ বা মহীরূহ। তাদের পরিণত অবস্থাতেও কিন্তু কোশ বিভাজন বন্ধ হয় না। একটি প্রাপ্তবয়স্ক মানুষে প্রতি সেকেণ্ডে দেখা গেছে আড়াই কোটি কোশ বিভাজন চলতে পারে। বর্ষীয়ান বা মৃত কোশের স্থানে নতুন কোশের পুনস্থাপন করতে, কোশের এই বিপুল ভাণ্ডার সদাপ্রস্তুত।

বিভাজন-উদ্যত কোশটি মাতৃকোশ (mother cell) এবং সৃষ্ট কোশগুলি অপত্য কোশ (daughter cells) রূপে আখ্যাত। মাতৃকোশ হতে কৌলিক বার্তার (genetic information) ব্লু-প্রিন্ট অপত্য কোশে পৌঁছায়। পথমধ্যে ভুল-ভ্রান্তি এড়াবার নানা উপাচার রয়েছে। সময়কালে, অপত্য কোশগুলি মাতৃকোশে পরিণত হয় এবং অবধারিতভাবে তার অপত্যের মধ্যে কৌলিক বার্তা হস্তান্তরিত করে। আরেক কোশীয় জনু (Cellular generation) সৃষ্টি হয়। বর্তমান এককটিতে আমরা কোশ চক্রের বিভিন্ন দশা ও উপদশা কীভাবে সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় তা আলোচনা করব।

10.2 ❑ উদ্দেশ্য

এই এককটি পড়ে আপনারা জানতে পারবেন :

- কোশ-চক্রের বিভিন্ন দশা, উপদশা ও তাদের সময়কাল ;
- কীভাবে কোশ চক্র নির্দিষ্ট সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস দ্বারা নিয়ন্ত্রিত হয় ;
- ডি এন এ ক্ষতিগ্রস্ত হলে কীভাবে কোশ তার সাড়া দেয় ;
- কোশের মৃত্যু কতরকম ভাবে হয় ;
- অ্যাপপটোসিস, মাইটোসিমের সঙ্গে তার সম্বন্ধ, রোগ-সৃষ্টিতে তাদের ভূমিকা প্রভৃতি।

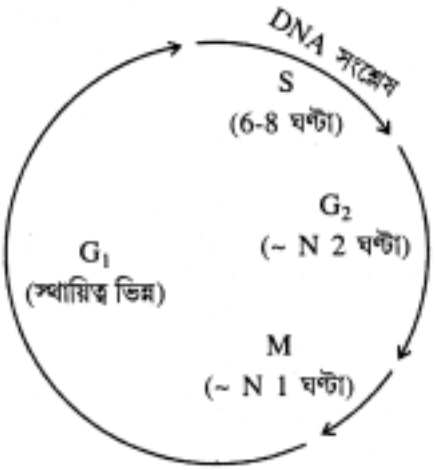
প্রসঙ্গক্রমে ম্যাচিওরেশন প্রোমোটিং ফ্যাকটর (MPF), ইউবিকুইটিন, প্রোটিয়াসোম প্রভৃতির সম্বন্ধে আপনাদের একটি প্রাথমিক ধারণা হবে।

10.3 ❑ কোশ চক্র

কোশ চক্র চারটি পর্যায়ে ভাগ করা যায় (চিত্র 10.1) :

(A) **G_1 দশা :** কোশ চক্রের দীর্ঘতম দশা যা কোনও কোশে বহু সপ্তাহ বা মাস পর্যন্ত চালু থাকে। 'G' বর্ণটির অর্থ ছেদ বা গ্যাপ (gap)। এই দশাতে কোশটি বৃদ্ধি পায়। সক্রিয় ভাগে কোশীয় বিপাকে অংশগ্রহণ করে এবং বহুকোশী জীবে কিছু বিশিষ্ট ক্রিয়া সম্পন্ন করে। কোশের / জীবের নির্দিষ্ট সংখ্যক ক্রোমোজোম [যেমন, পেঁয়াজে 16টি বা 8 জোড়া ক্রোমোজোম] এই দশাতে বিদ্যমান থাকে / কোশ অঙ্গাণুর (Cell orgamelles) সংখ্যাও দ্বিগুণ হয়।

(B) **S দশা :** এই দশাটি S বা 'সিনথেসিস' (synthesis) হিসেবে আখ্যাত কারণ এই ধাপে ক্রোমোজোমের ডি এন এ সংশ্লেষিত হয়। এই দশার শুরুতে ডি এন এ প্রতিলিপিকরণের (replication) উৎস বিন্দু (origin) সক্রিয় হয় এবং দ্বি–মুখী ডি এন এ সংশ্লেষ রৈখিক অণু বরাবর অগ্রসর হয় এবং যতক্ষণ না শেষ হয়, চলতে থাকে। প্রতিলিপিকরণ একাধিক জায়গা থেকে শুরু হলেও, তা শেষ হতে 6 থেকে 8 ঘণ্টা লেগে যায়।



চিত্র 10.1 কোশ চক্রের বিভিন্ন দশা ও তাদের গড় সময়কাল।
কোশ চক্রের প্রায় 95% সময় অতিবাহিত হয় (G_1–S–G_2 সমেত) ইন্টারফেস পর্যায়কালে।

(C) **G_2 দশা :** এই দশাটি দ্বিতীয়বারের গ্যাপ বা ছেদ, যদিও এই পর্যায়ে কোশ বিভাজনের সিদ্ধান্তটি পাকা হয়ে গেছে। এই ধাপটি সাধারণত 3 থেকে 4 ঘণ্টার বেশি স্থায়ী হয় না। এই দশায় কোশটি আদতে টেট্রাপ্লয়েড অবস্থায় থাকে। কারণ দুটি করে সমসংস্থ ক্রোমোজোমের উভয়ই দ্বিখণ্ডিত হয়ে পড়ে। কোশ আকারে আরও বড়ো হয় এবং পরবর্তী মেটাফেস দশার প্রস্তুতিপর্বে আরও ঘনীভূত হতে থাকে।

(D) **M দশা :** এই দশাতে নিউক্লিয় ও কোশ বিভাজন সম্পন্ন হয়। নিউক্লিয় বিভাজন মাইটোসিস কিংবা মায়োসিস, যেটিই হোক না কেন, সাধারণত এক ঘণ্টার বেশি লাগে না। মাইটোসিস দুটি অপত্য নিউক্লিয়াস সৃষ্টি করে যার ক্রোমোজোম সংখ্যা সমান। মায়োসিস ক্রোমোজোম সংখ্যা অর্ধেক করে ; অর্থাৎ G_1 দশায় যে কোশটি ডিপ্লয়েড (G_2 দশায় টেট্রাপ্লয়েড), তা চারটি হ্যাপ্লয়েড অপত্য কোশ সৃষ্টি করে। নিউক্লিয়বিভাজন (ক্যারিয়কাইনেসিস ; Karyokinesis) কালটি মূলত চারটি উপদশায় (প্রোফেস, মেটাফেস, অ্যানাফেস, টেলোফেস) বিভক্ত করা হয় তা আপনাদের অজানা নয়। কোশের বিভাজন (সাইটোকাইনেসিস ; Cytokinesis) দ্বারা দুটি অপত্য কোশের সৃষ্টি হয়।

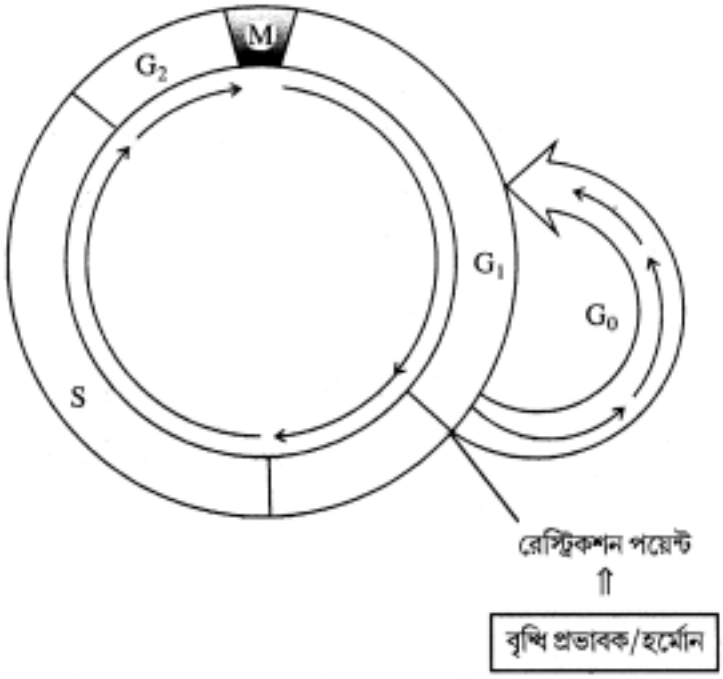
10.3.1 ❑ কোশ চক্রের সময়কাল

চিত্র 10.1-এ বিভিন্ন দশার যে আপেক্ষিক সময়কাল দেখানো হয়েছে তা কৃত্রিমরূপে পালিত (Cultured), দ্রুত বিভাজনক্ষম স্তন্যপায়ী প্রাণীর কোশের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য। বাস্তবে, এক একটি জীবের কোশ চক্রের সময়কাল বিভিন্ন হয়। এই ভিন্নতা মূলত G_1 দশায় নিহিত। প্রাণী ভ্রূণকোশের প্রথমাবস্থায় কোশ চক্র 30 মিনিটে সম্পূর্ণ হয় (স্তন্যপায়ীর ভ্রূণকোশের বিভাজন অবশ্য খুব ধীরে হয়)। অপরদিকে স্তন্যপায়ীর যকৃৎ কোশ চক্র সম্পূর্ণ করতে কয়েক মাস লেগে যায়। বাডিং ঈস্টের কোশ চক্র 90 মিনিটে সম্পূর্ণ হয়। পেঁয়াজে (Auinm Cepa) 17.4 ঘণ্টা এবং বিন্‌স-এ (Vicia faba) 19.5 ঘণ্টায় একটি কোশ চক্র সম্পূর্ণ হয় (দ্রঃ সারণি 10.2)।

বহু উদ্ভিদ গোত্রে, কোশ চক্রের সময়কালের সঙ্গে তাদের মোট জিনোম দৈর্ঘ্য, মোট ডি এন এ পরিমাণ প্রভৃতি পরিমাপের সঙ্গে এক সাক্ষাৎ সমানুপাত লক্ষ করা গেছে।

সারণি 10.2 : মাইটোটিক কোশ চক্রের বিভিন্ন দশার সময়কাল

		সময়কাল (ঘণ্টা)		
	দশা	বিন্‌স (Vicia faba)	ইঁদুর L কোশ	মানুষ He La কোশ
ইন্টারফেস	G_1	5	12	12
	S	7–8	6–8	10
	G_2	5	3–4	3
মাইটোসিস	M	2	≤ 1	≤ 1



চিত্র 10.2 : বৃদ্ধি প্রভাবকের লভ্যতা প্রাণী কোশ চক্রের G_1 দশার শেষভাগে, রেস্ট্রিকশন পয়েন্ট নামক একটি স্থানে, নিয়ন্ত্রণ বলবৎ করে। যদি G_1 দশায় এমন বৃদ্ধি কারক উপাদান অনুপস্থিত থাকে, কোশগুলি G_0 দশায় ঘুরে গিয়ে সেখানে অবসর নেয় সাময়িক বা স্থায়ী ভাবে।

10.3.2 ❑ G_0 দশা

কয়েকটি ব্যতিক্রম ছাড়া, যে সকল কোশের বিভাজন স্থায়ী বা অস্থায়ী রূপে স্তব্ধ হয়ে যায়, তা জীবদেহ বা কালচার যেখানেই হোক, তাদের কোশগুলি G_1 দশা ছেড়ে বেরিয়ে S–পূর্ববর্তী একটি ভিন্ন দশায় নিশ্চুপ হয়ে বসে থাকে। অবশ্য তাদের বিপাকজাত সক্রিয়তা বজায় থাকে। এই দশাটিকে G_0 দশা আখ্যা দেওয়া হয়।

G_1 দশা থেকে ভিন্নতা বোঝাতে এই নামকরণের প্রয়োজন হয়। কোশ G_1 দশায় থাকলে একটি নির্দিষ্ট সময়ের মধ্যে সেগুলি S দশায় প্রবেশ করে। কেবল অপেক্ষায় থাকে একটি আভ্যন্তরীণ বার্তার জন্য (internal signal)। এই বার্তা পৌঁছালে কোশটি S দশায় প্রবেশ করে এবং অবধারিত ভাবে মাইটোসিস সম্পূর্ণ করে। প্রাণী কোশে G_1 দশার শেষ পর্বে কিছু বৃদ্ধি প্রভাবক (growth factors) অনুপস্থিত থাকলে কোশ চক্র একটি বিশেষ স্থানে (রেস্ট্রিকশন পয়েন্ট, restriction point) এসে স্তব্ধ হয়ে G_0 দশায় প্রত্যাবর্তন করে। কোশ বৃদ্ধি বন্ধ হয়। যদিও খুব সামান্য প্রোটিন সংশ্লেষ চালু থাকে এই G_0 দশায়।

কোশ G_0 দশায় অনেক সময়কাল কাটাতে পারে। যথা—ত্বকের ফাইব্রোব্লাস্ট কোশ (skin fibroblast Cells) G_0 দশাতেই থেকে যায় যদি না ত্বকের কোনরকম আঘাত লাগে / আঘাত সারিয়ে তুলতে কোশ বৃদ্ধির যে প্রয়োজন তা কোশ বিভাজন ছাড়া সম্ভব নয়। পুনরায় কোশ বিভাজনের ছাড়পত্র রক্ত অনুচক্রিকা (blood platelets) উদ্ভূত

বৃদ্ধি প্রভাবক (platelet derived growth factor) দ্বারা সম্ভব হয়। যা আঘাত-জনিত রক্ত তঞ্চনকালে অনুচক্রিকা হতে নিঃসৃত হয়। ক্ষতস্থানের পার্শ্ববর্তী ত্বকের ফাইব্রোব্লাস্ট G_0 দশা থেকে কোশ চক্রের মূল স্রোতে প্রবেশ করে ; কোশ বৃদ্ধি ঘটিয়ে ক্ষতস্থান পূরণ করে।

10.4 ❑ কোশ চক্রের নিয়ন্ত্রণ

বহুকোশী জীবে কোশ চক্রের ওপর কঠোর নিয়ন্ত্রণ বলবৎ থাকে। কোশ চক্রের, ইন্টারফেস ও মাইটোসিস দশার মধ্যে ধারাবাহিক দোলাচল (oscillation) সম্ভব করে তোলে এক প্রকার হেটেরোডাইমেরিক প্রোটিন কাইনেস (heterodimeric protein kinese) উৎসেচক, যার দুটি অধঃ এককের (sub unit) নাম সাইক্লিন (cyclin) এবং সাইক্লিন-নির্ভরশীল কাইনেস (cyelin dependent kinase, cdk)। সাইক্লিন প্রোটিন নিয়ন্ত্রণ করে (regulatory subunit) এবং cdk উৎসেচকরূপে (catalytic subunit)কাজ করে। এমন ডাইমেরিক প্রোটিন কোশ চক্রের সকল দশায় ক্রিয়াশীল। এদের কার্যকারিতা নানাভাবে প্রভাবিত হয়, যেমন—রোধকের (inlifitors) উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি, ফসফোরাইলেশন (phosphorylation) বা ডিফসফোরাইলেসন (dephosphoryletion) এবং প্রোটিয়াসোম (proteasome) দ্বারা নির্দিষ্ট প্রোটিনের অবনয়ন (degradetion)। একই সঙ্গে অপর কয়েকটি কোশ উপাদানে সামান্য রদবদল ঘটে। এসকল ক্রিয়ার মাধ্যমে একদিকে কোশ চক্রের ওপর নিয়ন্ত্রণ কার্যকর হয়, কোনও এক দশার কার্যাবলি সঠিকভাবে পালিত হয়েছে তা নিশ্চিত করে তবেই কোশ চক্রের পরের ধাপে এগোয়।

প্রোটিন কাইনেস এক প্রকার উৎসেচক যা ATP থেকে একটি ফসফেট গ্রুপ নিয়ে প্রোটিনের ফসফরিভবন (phosphorylation) ঘটায়।

উল্লিখিত এবং বিধ কার্যাবলি আমরা এবার সবিস্তারে আলোচনা করব। জীবরসায়নের নানান প্রকৌশল। এবং বিশেষ কয়েকটি জীব নিয়ে গুরুত্বপূর্ণ পরীক্ষাগুলি করা হয়। দুই প্রকার ব্যাঙ *(Xenopus and Rana)* আর এক সামুদ্রিক প্রাণী (সমুদ্রশল্য, Sea-urchin) দ্বারা সম্ভব হয়েছে ম্যাচিওরেশন / মাইটোসিস প্রোমোটিং ফ্যাকটর (meturation / mitosis promoting factor, MPF) নামক এক প্রকার উপাদানের জৈব-রাসায়নিক চরিত্রায়ণ। ইস্টের দুটি প্রজাতি। বাডিং ইস্ট *(budding yeast, Paccharonyces cerevisiae)* ও ফিশন ইস্ট *(fission yeast, Schizosaccharomyces tombe)* কোশ চক্র বিশ্লেষণে বিশেষ ভূমিকা নিয়েছে কারণ উচ্চতর জীবের বহু বৈশিষ্ট্য এদের মধ্যে দেখা গেছে। ইস্ট নিয়ে গবেষণা করবার বাড়তি সুবিধা হল সহজেই প্রয়োজনীয় মিউট্যান্ট (mutant) চেনা যায় কোশের আয়তন ও আকৃতি থেকে। কোশ চক্র নিয়ন্ত্রণের ওপর আলোকপাত করেন কলোরাডো বিশ্ববিদ্যালয়ের দুই বিজ্ঞানী। রাও ও জনসন (Rao & Johnson), সেই সত্তরের দশকে। তাঁদের জিজ্ঞাস্য ছিল যে কোশ সাইটোপ্লাজমে কি এমন কোনও উপাদান আছে যা কোশচক্রের ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণ করে।

বাডিং ইস্ট (budding yeast) : বাডিং প্রক্রিয়ার মাধ্যমে জনন ক্রিয়া সম্পন্ন করে ; কোনো ধাপে তাদের ক্রোমোজোমের সংকোচন (condensation) হতে দেখা যায় না এবং তাদের নিউক্লিয় পর্দাও খণ্ডিত হয় না।

ফিশন ইস্ট (fission yeast) : তাদের জনন দ্বিভাজন (finery fission) প্রক্রিয়া দ্বারা সম্পন্ন করে এবং G_1, S, G_2 ও M দশা সম্বলিত আদর্শ কোশ চক্র প্রদর্শন করে। এখানেও নিউক্লিয় পর্দা অটুট থাকে।

এই প্রশ্নের উত্তর খুঁজতে তাঁরা পর্যায়ক্রমে কতগুলি **কোশ একীভবনের (cell fusion)** পরীক্ষা করেন। তাঁরা লক্ষ করেন যে **G_1 দশার নিউক্লিয়াসের সঙ্গে S দশার** সাইটোপ্লাজম একভূত হলে G_1 দশার ডি এন এ প্রতিলিপিকরণ শুরু হয়ে যায়। তাঁরা অনুমান করেন যে S দশাপ্রাপ্ত কোশের সাইটোপ্লাজমের কোনও উপাদান এই অকালিক ডি এন এ সংশ্লেষ ত্বরান্বিত করছে। অধিকন্তু, G_2 দশার **নিউক্লিয়াসের সঙ্গে S দশার সাইটোপ্লাজমের** মিলনে নতুন করে ডি এন এ সংশ্লেষ ঘটাচ্ছে না। এই পর্যবেক্ষণ প্রমাণ করে যে G_2 দশার নিউক্লিয়াসে একবার ডি এন এ সংশ্লেষ হয়ে যাওয়ার পর, S দশার সাইটোপ্লাজমের উদ্দীপনকারী উপাদান অকার্যকরী। **G_1 দশার কোশের সঙ্গে M দশার** কোশ মিলনে G_2 দশার সরু সূত্রাকার ক্রোমোজোমের অকালিক সংকোচন হয়। **G_2 দশার কোশ ও M দশার** কোশ একীভবন করলে একই অকালিক সংকোচন দেখা যায় ; পার্থক্য কেবল যে ক্রোমোজোমগুলি দৃশ্যত দ্বিখণ্ডিত ; যা এই দশার পূর্বে অনুষ্ঠিত ক্রোমোজোম প্রতিলিপনের (chromosome replication) প্রমাণ।

কোশ একীভবন পরীক্ষা

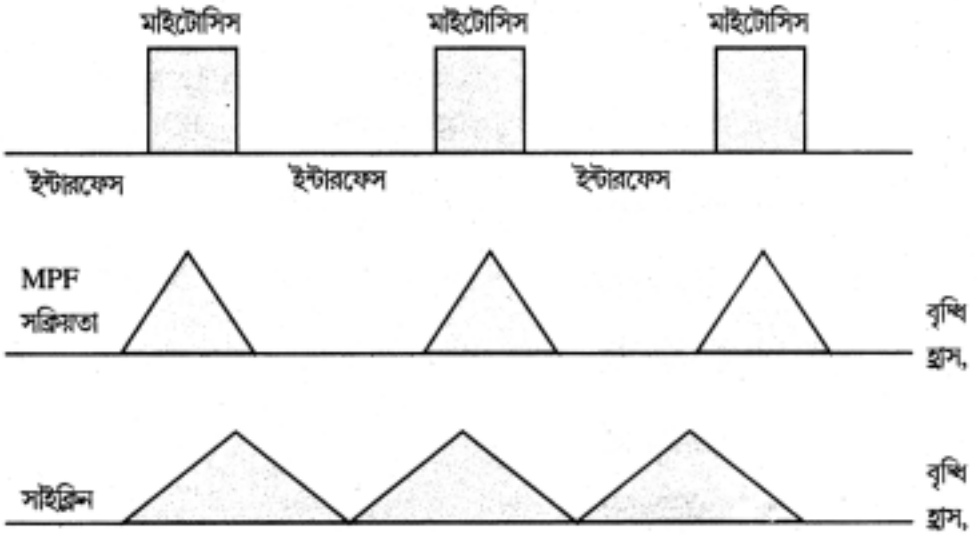
মাইটোটিক দশার কোশ S দশাপ্রাপ্ত কোশের সঙ্গে মিলন ঘটালে ক্রোমোজোম সংকোচন হয় বটে। কিন্তু তারা খণ্ডিত হয়ে যায়। কেননা প্রতিলিপনকারী ডি এন এ খুবই সংবেদনশীল হয়। সামান্য ব্যাঘাতে তারা নষ্ট হয়ে যায়। কোশ একীভবনের পরীক্ষাগুলি প্রমাণ করে যে G_1 থেকে S এবং G_2 থেকে M দশায় অগ্রসর হওয়া কোনও এক উদ্দীপক পদার্থের ওপর নির্ভরশীল, অর্থাৎ এক প্রকার ধ্বনাত্মক নিয়ন্ত্রণ (positive control) এখানে কার্যকর হয়।

কোশ একীভবন পরীক্ষা দ্বারা কোশ চক্র নিয়ন্ত্রণকারী প্রভাবের অস্তিত্ব টের পাই ঠিকই, কিন্তু তাদের জৈবরাসায়নিক চরিত্র অজ্ঞাত থেকে যায়। এ-ব্যাপারে সত্তর দশকের গোড়ার দিকে ব্যাঙ ও অমেরুদণ্ডির উওসাইট এবং অপরিণত ভ্রূণ নিয়ে একগুচ্ছ পরীক্ষা নতুন তথ্যের সন্ধান দেয়। 1971 সালে দুই দল গবেষক স্বাধীনভাবে পরীক্ষা চালায়। এক দিকে মাসুই ও মার্কারট (Y. Masui & C. Markert)। অন্য দিকে স্মিথ ও একার (D. Smith & R. Ecker) দেখান যে G_2 দশায় স্তব্ধ উওসাইট পুনরায় M দশায় অগ্রসর হতে পারে যদি হরমোন দ্বারা উদ্দীপিত উওসাইটের সাইটোপ্লাজম তার মধ্যে অন্তঃক্ষেপণ করা যায়। অতএব হরমোন উদ্দীপিত উওসাইটের সাইটোপ্লাজমে নিশ্চয় এমন কোনও উপাদান আছে যা হরমোন দেওয়া হয়নি এমন উওসাইটকে G_2 থেকে M দশার দিকে *ঠেলে* দেয়। উওসাইটের মায়োটিক দশায় পৌঁছানোকে 'ম্যাচিওরেশন' বলা হয়ে থাকে। তাই এই অজানা সাটোপ্লাজমীয় উপাদানটিকে মাসুই ও মার্কারট ম্যাচিওরেশন প্রমোটিং ফ্যাকটর (maturation promoting factor, MPF) নাম দেন। পরে দেখা যায় যে তথাকথিত MPF দেহ কোশকেও মাইটোটিক চক্রের M দশার অভিমুখে চালনা করে। কেবল উওসাইট নয়। MPF সকল কোশেই G_2 থেকে M দশায় পদার্পণ করবার এক আবশ্যিক নিয়ন্তা রূপে আজ পরিচিত। অবশেষে, 1988 সালে উওসাইটের MPF শোধন করে দেখা যায় যে অন্য গবেষক দ্বারা ঈষ্টের জেনেটিকস ও সমুদ্র শল্য (sea-urchin) ভ্রূণ সংক্রান্ত প্রাপ্ত তথ্যের সঙ্গে এক অদ্ভুত মিল রয়েছে। MPF যে সাইক্লিন বি (cyclin B) ও সি ডি সি 2 প্রোটিন কাইনেস (Cdc 2 protein kinase) একটি ডাইমার (dimer), তা পরিষ্কার হয়ে যায়।

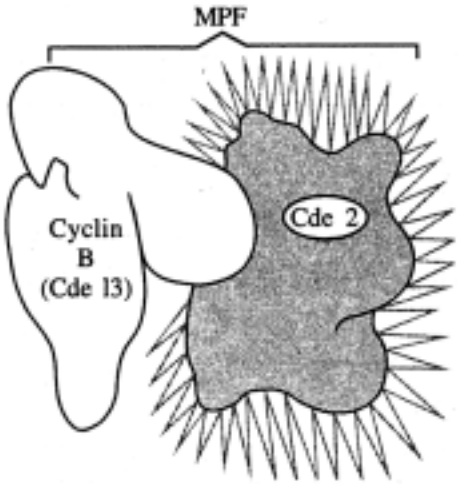
ম্যাচিওরেশন প্রমোটিং ফ্যাকটর (MPF)

10.4.2 ❑ সাইক্লিন প্রোটিন (Cyclin protein)

কোশ চক্রে এই নিয়ন্ত্রণকারী প্রোটিনটির মাত্রা, একটি নির্দিষ্ট ছকে, চক্রকারে, বৃদ্ধি ও হ্রাস পেতে থাকে। তাই এদের 'সাইক্লিন' নামে চিহ্নিত করা হয়। সাইক্লিনের মাত্রা যখন কম কাইনেস নিষ্ক্রিয় থাকে এবং তার মাত্রা যখন বৃদ্ধি পায়, কাইনেস সক্রিয় হয়ে ওঠে এবং কোশ M দশায় প্রবেশ করে (চিত্র ঃ 10.3)। সাইক্লিন ও সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস যুগ্ম অবস্থায় কোশ চক্রের গতি নিয়ন্ত্রণ করে।



চিত্র 10.3 কোশচক্রে সাইক্লিন ও MPF-এর মাত্রার হ্রাসবৃদ্ধি।



চিত্র 10.4 MPF-এর গঠন

MPF যে প্রকৃত এই দুটি অধঃএককের হেটেরোডাইমার, তা পূর্বেই জেনেছেন। (চিত্র ঃ 10.4)। অতএব, আমরা জানতে পারলাম যে কোশ চক্র মাইটোসিস দশায় (এবং S দশায়) প্রবেশ নির্ভর করে এক উৎসেচকের ওপর যা প্রোটিনের ফসফরীভবন (phosphorylation) ঘটায় (কাইনেস-এর ক্রিয়া) এবং এই উৎসেচকের সক্রিয়তা নিয়ন্ত্রিত হয় এক প্রোটিন অধঃএকক দ্বারা যার মাত্রা কোশ চক্রের বিভিন্ন দশায় সদা পরিবর্তনশীল। সাইক্লিন তার কাজ সম্পন্ন করে দ্রুত খণ্ডিত হয়।

সাইক্লিনের শ্রেণিভেদ

সাইক্লিন নানা প্রকার হয়। কোশ চক্রের G_1 থেকে S দশায় অনুপ্রবেশ ঘটায় এক প্রকার সাইক্লিন (G_1 সাইক্লিন)। আবার G_2 থেকে M দশায় চালিত করে আর এক প্রকার সাইক্লিন (M বা মাইটোটিক সাইক্লিন)। মানুষে, A থেকে E এই পাঁচ

প্রকার সাইক্লিনের অস্তিত্ব জানা গেছে। সাইক্লিন প্রোটিনের শ্রেণিবিন্যাস করা হয় মূলত তাদের অ্যামাইনো অ্যাসিড ক্রমের ওপর ভিত্তি করে। এমন 100–150 অ্যামাইনো অ্যাসিড অবশেষ (residue) নিয়ে তাদের সাদৃশ্য তুলনা করা হয়, যেটি সাইক্লিন বক্স (cyclibox) রূপে আখ্যাত (সারণি 10.3)। সকল প্রজাতিতেই এই সাইক্লিন বক্স থাকে। আমরা জানতে পেরেছি যে এই বক্সের অ্যামাইনো অ্যাসিড অবশেষ গুলি সাইক্লিন-নির্ভরশীল কাইনেসের সঙ্গে আন্তঃক্রিয়া ঘটায়। মানুষে সাইক্লিন A ও B তে, তাদের N-প্রান্তে (N–Terminal) এমন এক অ্যামাইনো অ্যাসিড

সারণি 10.3 : মানুষে লব্ধ বিভিন্ন প্রকার সাইক্লিনের রূপরেখা।

সাইক্লিনের প্রকার	রেখাচিত্র	অ্যামাইনো অ্যাসিড অবশেষের সংখ্যা	কোশ-চক্রের যে দশায় কার্যাকরী
সাইক্লিন A	H_2N — CooH	432	G_1 দশা
সাইক্লিন B_1	H_2N — CooH	433	M দশা
সাইক্লিন C	0	303	G_1 দশা?
সাইক্লিন D_1	0	295	G_1 দশা
সাইক্লিন D_2	0	290	G_1 দশা
সাইক্লিন D_3	0	292	G_1 দশা
সাইক্লিন E	0	395	G_1 দশার শেষভাগ

সাইক্লিন বক্স যা সাইক্লিনের বৈশিষ্ট্য

ডেস্ট্রাকশন বক্স যা ইউবিকুইটিন বিক্রিয়া পথ দ্বারা বিখণ্ডনের জন্য প্রয়োজন।

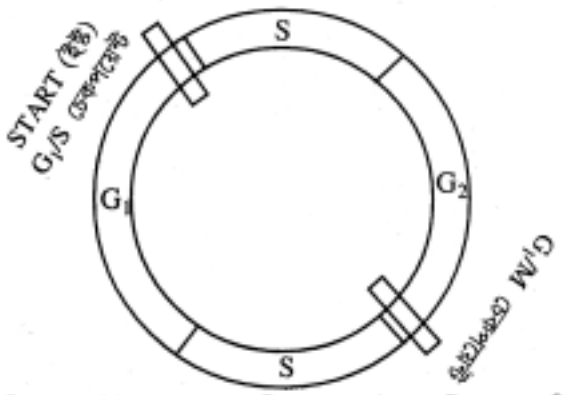
0 প্রোলিন, গ্লুটামিক অ্যাসিড, সেরাইন, অ্যাসপারটিক অ্যাসিড ও থ্রিয়োনিন অবশেষ সমৃদ্ধ অ্যামাইনো অ্যাসিড ক্রম, যা দ্রুত প্রোটিন তৈরির সহায়ক।

অবশেষ থাকে যার দ্বারা ইউবিকুইটিন কনজুগেশন পথচক্রে (ubiquition conjugation path way) এবং প্রোটিয়াসোমে (proteasome) তাদের অবনয়ন (degradation) নিশ্চিত হয়। অ্যামাইনো অ্যাসিডের এই ক্রমটি (sequenci) ডেস্ট্রাকশন বক্স (destruction box) নামে পরিচিত। কয়েকটি সাইক্লিনের C-প্রান্তে (C–terminal) থাকে গ্লুটামেট, অ্যাসপারটেট, সেরাইন, থ্রিয়োনিন এবং প্রোটিন অ্যামাইনো অ্যাসিড সমৃদ্ধ ক্রমবিন্যাস। যার ফলে প্রোটিন তৈরির কাজটি ত্বরান্বিত হয় (সারণি—13.10.3 এবং বন্ধনী—13.10.1)।

বন্ধনী 10.1 : ইউবিকুইটিন ও প্রোটিয়াসোম (Ubiquitin and proteasome) কোশ সাইটোপ্লাজমে যে সকল প্রোটিন বিখণ্ডিত হয়, তাদের প্রোটিয়াসোম (proteasome) নামক এক প্রকার [লাইসোসোম-বহির্ভূত প্রোটিন খণ্ডনকারী (proteolytic)] এনজাইম কমপ্লেক্সের মধ্যে দিয়ে চালন করা হয়। সকল প্রকার কোশেই প্রোটিয়াসোম পাওয়া যায়। এটি দেখতে পিপার (barrel) মতো যার উভয় প্রান্তে একটি করে ঢাকনা থাকে। পিপার দেহটি চারখানি অধঃএকক নিয়ে চক্রাকারে একে অপরের ওপর স্তূপাকৃত থাকে। কেন্দ্রস্থলে দুটি β-এবং উভয় প্রান্তে একটি করে α–অধঃএকক থাকে। এক একটি অধঃএকক সাতটি করে পলিপেপটাইড নিয়ে গঠিত। মাঝের β-অধঃএকক দুটি, প্রোটিন খণ্ডিত (proteolysis) করে। ক্ষণস্থায়ী প্রোটিনের অ্যামাইনো প্রান্তে (N-terminat) থ্রিয়নিন, অ্যালানিন, আরজিনিন / লাইসিন অ্যামাইনো অ্যাসিড অবশেষ থাকতে দেখা গেছে। এদের উপস্থিতির ফলে ইউবিকুইটিন নামক এক ছোটো সংরক্ষিত প্রোটিনের (small, conterved proteine) শৃঙ্খল এদের সঙ্গে যুক্ত হয় কোভ্যালেন্ট লিঙ্কেজের (Covalent linkage) মাধ্যমে। এমন পলিইউবিকুইটিন মুক্ত (polyubiquitinated) প্রোটিন সহজেই চিনতে পারে প্রোটিয়াজোমের ঢাকনা। প্রথমে, এই ঢাকনা ইউবিকুইটিন শৃঙ্খল ছেঁটে ফেলে, তারপর প্রোটিনের ভাঁজ খুলে প্রোটিয়াসোমের ভেতর চালনা করে। এবার B-অধঃএকক প্রোটিনটিকে খণ্ডিত করে ছোটো ছোটো পেপটাইড আকারে, যা প্রোটিয়াসোমের অপর প্রান্ত দিয়ে সাইটোসলে এসে পড়ে এবং অ্যামাইনো অ্যাসিডে অবনিত হয়।

10.4.2 ❑ কোশ চক্রের চেক-পয়েন্ট (Check-point)

কোশ-চক্রের নিয়ন্ত্রণ সংক্রান্ত গবেষণায় দুই প্রকার ঈষ্টের ভূমিকা আপনারা পূর্বেই জেনেছেন। লি হার্টওয়েল (Lee Hartwell) ও তাঁর সহযোগী গবেষক বৃন্দ বাডিং ঈষ্টে *(saccherowayces cerevisiae)* কয়েকটি তাপ সংবেদনশীল (temperature-sensitive) পরিব্যক্ত জাত (mutant form) শনাক্ত করেন এদের কোশ চক্রের অগ্রগতি অসম্পূর্ণ থাকে। এই পরিব্যক্ত রূপগুলির (বলা হয়, cdc বা cell division cycle mutants) মূল বৈশিষ্ট্য যে এদের বৃদ্ধি, কোশ চক্রের কয়েকটি নির্দিষ্ট স্থানে স্তব্ধ হয়ে পড়ে। যথা—**cdc 28** জীব হতে উৎপন্ন একটি প্রোটিন কাইনেস অধঃএকক (protein kinase subunit) নিয়ন্ত্রণ করে G_1 চেক-পয়েন্ট (check-point) মারফৎ কোশচক্রের অগ্রগতি। এই চেক-পয়েন্ট **START** নামে পরিচিত। দ্বিতীয় একটি চেক-পয়েন্ট



চিত্র 10.5 ঈষ্ট কোশচক্রের দুটি চেক-পয়েন্ট। একটি G_1/S ক্রান্তি বিন্দুতে অবস্থিত, ঈষ্ট কোশে এটি START নামে পরিচিত। অপরটি G_2/M দশার ক্রান্তি বিন্দু দিয়ে অগ্রগতি নিয়ন্ত্রণ করে। G_2/M ক্রান্তিকালে দেখা যায়।

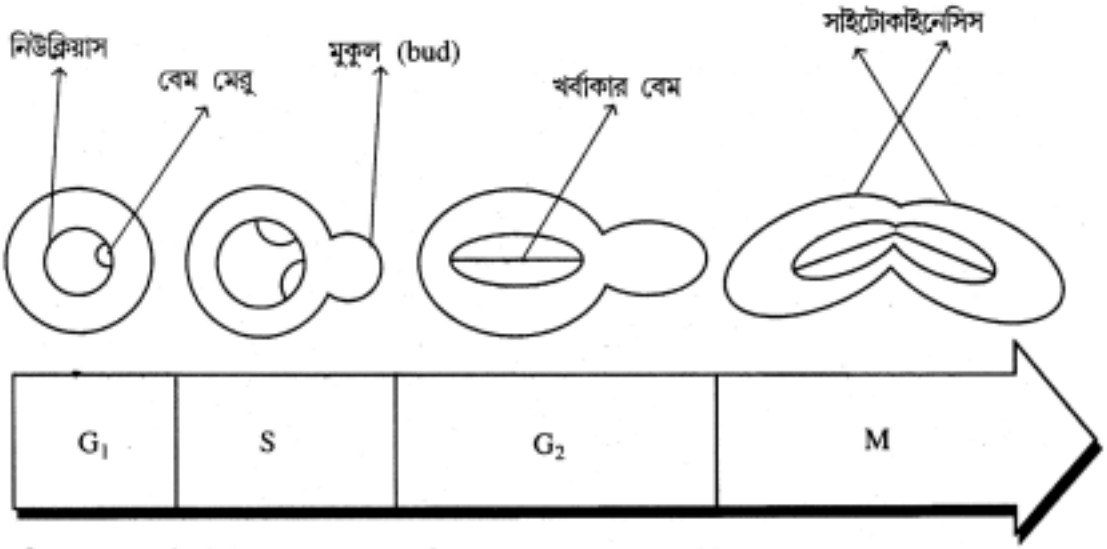
চেক-পয়েন্ট নিশ্চিত করে যে পূর্ববর্তী ধাপের সকল কার্য ঠিকভাবে সম্পন্ন করেই (যথা-মাইটোসিস) কেবল

পরের ধাপে অগ্রসর হতে পারে (যথা—ডি এন এ সংশ্লেষ)। বাডিং ঈষ্টে মুকুল বা বাড (bud)-এর উপস্থিতি-এবং আয়তন দেখে অনুমান করা যায়। কোশ-চক্রের কোন্ স্থানে একটি CDC মিউট্যান্ট স্তব্ধ হয়েছে (চিত্র 10.6)।

কোশ-বিভাজন কালে অপত্য কোশগুলি ছোটো-বড়ো হয় ; কোন সমষ্টির মধ্যে নানান আয়তনের কোশ থাকে। অতএব অপেক্ষাকৃত ছোটো অপত্যগুলি বেশি সময় ধরে বৃদ্ধি পায়। কিন্তু বড়ো অপত্যগুলি অল্প সময়ের মধ্যে বিভাজন করে। একটি চেক-পয়েন্টের (যেমন—START) মধ্যে দিয়ে যায় বলে। কোশের আয়তন একটি নির্দিষ্ট মাত্রায় না পৌঁছানো পর্যন্ত কোশ বিভাজন হতে পারে না। অপরদিকে, বৃহত্তর কোশগুলি প্রাক্—START পর্বে অপেক্ষাকৃত অল্প সময় থাকে। উচ্চতর ইউক্যারিওটিক কোশে START-এর অনুরূপ চেক-পয়েন্ট থাকে।

স্তন্যপায়ী প্রাণীর কোশে, ঈষ্টের G_1 START চেক-পয়েন্টের ন্যায় নিয়ন্ত্রকারী ধাপকে রেস্ট্রিকশন পয়েন্ট (restriction point) বলে। যা অতিক্রম করলে ডি এন এ প্রতিলিপন ও শেষ পর্যন্ত মাইটোসিস সম্পূর্ণ হয়, রেস্ট্রিকশন পয়েন্ট পৌঁছানোর পূর্বে কোশগুলির বৃদ্ধিকারক উপাদান (growth factors) প্রয়োজন হয়। এই ক্রান্তি বিন্দু (transition-point) একবার অতিক্রম করলে। বাইরের আর কোনও উদ্দীপনা / উপাদান দরকার হয় না।

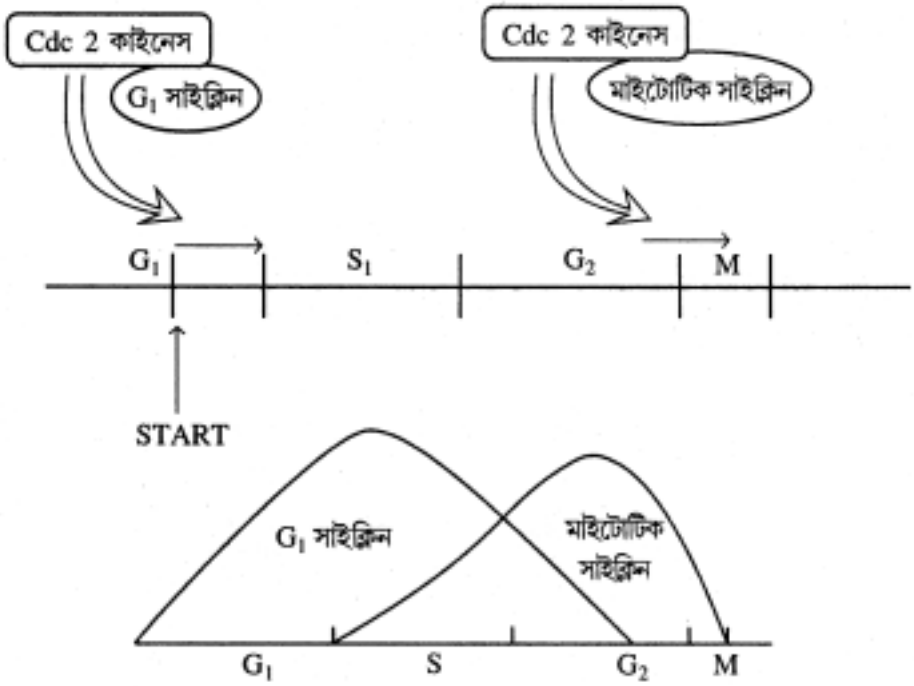
ফিশন ঈষ্ট *(Sclizosaccharomyces tmbe)* থেকে cdc 2 নামক একপ্রকার কাইনেস পাওয়া গেছে যা কোশ-চক্রের একই চেক-পয়েন্ট দিয়ে উত্তরণ নিয়ন্ত্রণ করে। এই কাইনেস প্রোটিনটি cdc 28 জীন উৎপাদের অনুরূপ (চিত্র 10.7)। এবং cdc 2 কাইনেস ও cdc 28 কাইনেস। উভয়ই দেখা গেছে MPF-এর অনুঘটকরূপী অধঃএককের (catalytic subunit, cdk) সমরূপ।



চিত্র 10.6 : বাডিং ঈষ্টে কোশ-চক্রের অগ্রগতি। কোশ-চক্রের কোন্ ধাপে ঈষ্ট কোশ অবস্থান করছে, তা বোঝা যায় কোশ আকৃতি দেখে। মুকুল (bud) বেরোয় S দশার প্রথমাবস্থায়। যা G_2 দশায় বড়ো হতে থাকে, মাইটোসিস (M) দশার আগে পর্যন্ত।

ঈষ্ট কোশ-চক্রের নিয়ন্ত্রণ তিনটি নির্দিষ্ট ধাপ অতিক্রম করতে হয়। প্রথমে, cdc 2 (বা CDC 28) G_1 সাইক্লিন দ্বারা উদ্দীপিত হয়ে START ক্রান্তি বিন্দু অতিক্রম করে। ফলে G_1 দশার গোড়ায় যে প্রাক্-প্রতিলিপন যৌগ

(pre-replication complex) জড়ো হয়েছিল। তারা প্রতিলিপন সূচনা করে। দ্বিতীয়ত, G_2 থেকে M দশায় পদার্পণ একই কাইনেসের মাইটোটিক সাইক্লিন দ্বারা উদ্দীপনার ওপর নির্ভরশীল। উদ্দীপিত cdk কয়েকটি যৌগকের



চিত্র 10.7 : ফিশন ঈষ্টে কোশ-চক্র নিয়ন্ত্রণের একটি মডেল। কোশচক্র নিয়ন্ত্রিত হয় মূলত দুটি বিন্দুতে। START এবং G_2–M ক্রান্তিকালে। এখানে। দুই প্রকার সাইক্লিন থাকে : G_1 ও মাইটোটিক (M) সাইক্লিন। এই দুটি প্রান্তিক বিন্দু দিয়ে কোশ চক্রের উত্তরণে একই প্রকার cdc 2 কাইনেস। কিন্তু ভিন্ন সাইক্লিনের প্রয়োজন হয়।

(substrate) ফসফরীভবন ঘটায় (যথা—ক্রোমোজোম ও সাইটোস্কেলিটন গঠনকারী কয়েকটি গুরুত্বপূর্ণ প্রোটিন)। যার ফলে ইন্টারফেস থেকে মাইটোসিস দশায় উত্তরণ সম্ভব হয়। তৃতীয় দশায়, মাইটোসিস শেষ করে কোশ পুনর্বার G_1 দশায় ফিরে আশা নির্ভর করে cdk প্রোটিনের দ্রুত নিষ্ক্রিয়করণ, যা M–সাইক্লিনের মাত্রার হ্রাসপ্রাপ্তি সম্ভব করে তোলে।

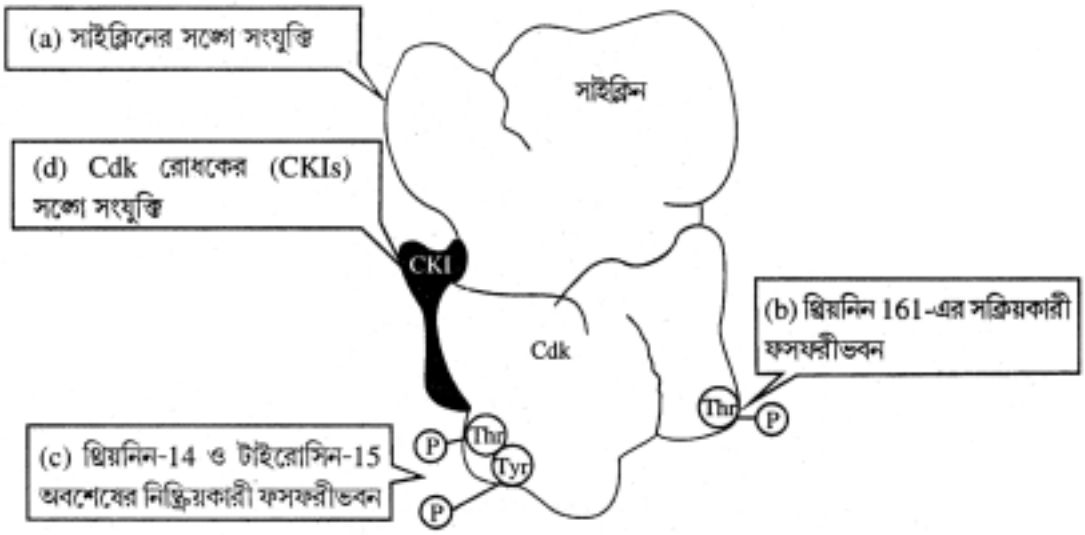
10.4.3 ❑ সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস প্রোটিনের ক্রিয়া

প্রতি ইউক্যারিওটে **cdc 28** বা **cdc 2**-এর সদৃশ জীন থাকে, কয়েকটি জীবে-তো এমন জীন বেশ কয়েকটি থাকে। এগুলি একত্রে cdc জীনগোষ্ঠী রূপে চিহ্নিত করা হয়। স্তন্যপায়ী প্রাণী কোশে cdc 2-কাইনেসের মতো প্রোটিন গুরুত্বপূর্ণ কোশ চক্রের চেক-পয়েন্টগুলি নিয়ন্ত্রণ করে। বস্তুতপক্ষে, বেশ কয়েকটি সাইক্লিন (দ্রঃ সারণি 10.3) ও সাইক্লিন-নির্ভরশীল কাইনেস (cdk's) যুগ্ম অবস্থায় কোশ চক্রপথের আবর্তন নিয়ন্ত্রণ করে।

কোশ চক্রের অগ্রগতি কীভাবে cdk নিয়ন্ত্রণ করে, তা এবার আলোচনা করা যাক। মুখ্যত, চার প্রকার আণবিক

ক্রিয়া দ্বারা cdk তার কাজ সম্পন্ন করে (চিত্র ঃ 10.8) (a) প্রথম পর্যায়ে সাইক্লিন তার নির্দিষ্ট cdk'র সঙ্গে কমপ্লেক্স গঠন করে ; প্রক্রিয়াটি নিয়ন্ত্রিত হয় সাইক্লিনের চক্রাকারে সংশ্লেষ ও অবনয়ন দ্বারা।

(b) Cdk/সাইক্লিন কমপ্লেক্সের উদ্দীপন নির্ভর করে cdk-র একটি সংরক্ষিত থিয়োনিন অবশেষ (threonine residue)-এর ফসফরীভবনের ওপর, স্থান 161 (thr 161)। Cdk'র এই সক্রিয়কারী ফসফরীভবন, উৎসেচক CAK (Cdk-activeting kinese) দ্বারা সম্ভব হয়, সেটি নিজেই একটি Cdk (Cdk 7) ও সাইক্লিনের (Cyc H) সমন্বয়।

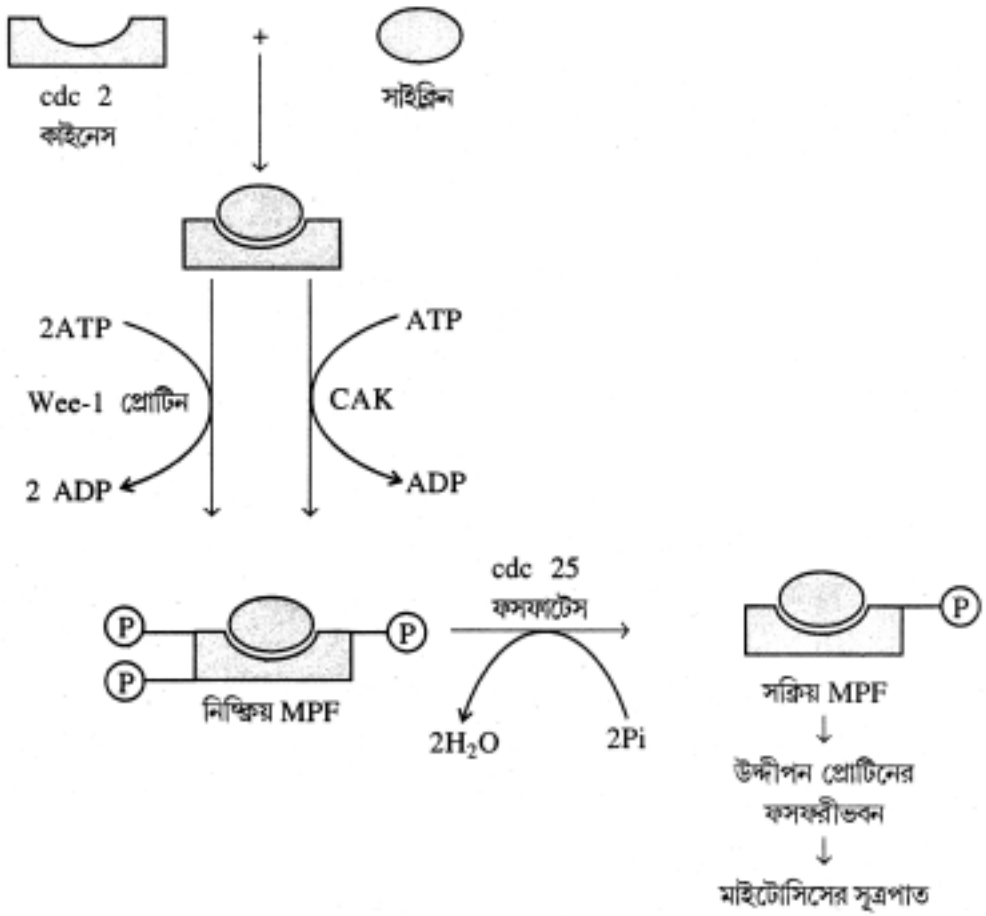


চিত্র 10.8 : সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস (cdk) দ্বারা নিয়ন্ত্রণের পন্থা। চার প্রকার আণবিক ক্রিয়া দ্বারা cdk'র কার্যকারিতা নিয়ন্ত্রিত হয়।

(c) অপরদিকে, cdk'র অ্যামাইনো প্রান্তের দিকে টাইরোসিন (Tyr-15) অবশেষগুলির নিষ্ক্রিয়কারী ফসফরীভবন ত্বরান্বিত করে Wee-1 প্রোটিন কাইনেস। মেরুদণ্ডী প্রাণী কোশে থ্রিয়নিন অবশেষগুলিও (Thr–14) ফসফেট মুক্ত হয়। অতঃপর, এই নিষ্ক্রিয় cdk গুলি ক্রিয়াশীল হয় ফসফেট যুক্ত অবশেষগুলি যখন Cdc 25 গোষ্ঠীর প্রোটিন ফসফাটেস দ্বারা ফসফেট মোচন ঘটায়।

(d) চতুর্থত, cdk'র নিয়ন্ত্রণ এক রোধক প্রোটিনের (inhibitory proteins. Cdk inhibitors or CkIS) সঙ্গে সংযুক্তি দ্বারা সম্পন্ন হয়ে থাকে। উদাহরণস্বরূপ, বাডিং ঈস্টে Sic 1 নামক এক প্রোটিন G_1 দশায় রোধক হিসেবে কাজ করে। এই প্রোটিনটির বিখণ্ডন হলেই কেবল সাইক্লিন—Cdk কমপ্লেক্স কোশকে ডি এন এ প্রতিলিপন করতে দেয়। স্তন্যপায়ী প্রাণী কোশে Cip/Kip বা Ink 4 গোষ্ঠীর প্রোটিন, G_1/S দশার রোধক হিসেবে পরিচিত।

Wee–1 একটি স্কটিশ কথ্য শব্দ, যার অর্থ 'ছোটো'। কারণ এই জীনের পরিব্যক্তি হলে অস্বাভাবিক ছোটো ঈস্ট কোশ উৎপন্ন হয়।



চিত্র 10.9 : মাইটোসিস দশায় প্রবেশের ওপর নিয়ন্ত্রণ। সাইক্লিন cdc 2'র সঙ্গে যুক্ত হলে তিনটি স্থানে ফসফরীভবন ঘটে। CAK ফসফরীভবন ঘটায় থ্রিয়নিন 161 অবশেষটিতে, ফলে cdc 2 সক্রিয় হয়। একই সঙ্গে wee–1 প্রোটিন ফসফরীভবন ঘটায় থ্রিয়নিন-14 ও টাইরোসিন-15 অবশেষ দুটিতে, ফলে cdc 2 কাইনেসের ক্রিয়া স্তব্ধ হয়ে পড়ে (ঋণাত্মক নিয়ন্ত্রণ)। পরে, cdc 25 ফসফাটেস উৎসেচকটি দুটি রোধক অবশেষ স্থানে (inhibitory sites)। [যথা—Thr–14 ও Tyr–15] ফসফরীমোচন ঘটায় এবং সক্রিয় MPF তৈরি করে। যথাসময়ে, মাইটোসিস দশার সূত্রপাত হয়।

এতোগুলি ভিন্ন স্তরে cdk উপর নিয়ন্ত্রণ বলবৎ হয়। এদের দ্বারাই কোশ-চক্রের অগ্রসর চেক-পয়েন্ট ও বহিঃকোশীয় উদ্দীপনার মাধ্যমে পরিণতি লাভ করে।

CDC 25 : ফিশন ঈষ্টে, মাইটোসিসের উদ্দীপক, মানুষে যার সমরূপ (homologne) মূলত G_2 দশায় প্রকাশিত হয়।

Cdk রোধক কোশ-চক্রে একটি গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করে। ডি এন এ কোনোভাবে ক্ষতিগ্রস্ত হলে, Cdk রোধক সংশ্লেষের মাধ্যমে কোশ-চক্রের অগ্রগতি স্তব্ধ হয়।

10.4.4 ❑ অনুশীলনী—1

'সত্য' না 'মিথ্যা', তা নির্দেশ করুন ঃ

(i) কোশ বিভাজন উদ্ভূত সকল অপত্য কোশ একই আয়তনের হয়।

(ii) এক কোশ থেকে অপর কোশের আবর্তনকাল পৃথক হয় ; এই পার্থক্য মূলত নিহিত থাকে G_1 উপদশায়।

(iii) বাডিং ঈষ্ট **saccharomyces cerevisiae** তে একটিই প্রোটিন কাইনেস অধঃএকক (subunit) হয় যা CDC 2 জীনের উৎপাদ, G_1 চেকপয়েন্টের মধ্য দিয়ে অগ্রসর নিয়ন্ত্রিত করে।

(iv) G_1 উপদশায় বহুকোশী জীব কোশ এক প্রত্যন্ত ক্রান্তি বিন্দু START অতিক্রম করলে পর কিছু আভ্যন্তরীণ পরিবর্তন সূচিত হয়। যার দরুণ ডি এন এ সংশ্লেষ শুরু হয়।

(v) ঈষ্ট কোশে বিভিন্ন প্রকারের সাইক্লিন, CDC 2 বা CDC 28 জীন উৎপাদের সঙ্গে আন্তঃক্রিয়া করে কোশ চক্রের ভিন্ন ক্রান্তিকালে।

(vi) ব্যাং Xenopus laevis-এর পরিণত ডিম্বকের সাইটোপ্লাজম অপরিণত উওসাইটে (uocyte) অন্তঃক্ষেপণ করলে তার পরিণত বা পরিপক্ক অবস্থা প্রাপ্ত হয়।

(vii) MPF সাইক্লিন প্রোটিনের একটি ডাইমার (dimer), যা দ্বিতীয় অধঃএককের সঙ্গে যুক্ত হলে কাইনেস সক্রিয়তা সূচিত করে।

(viii) অ্যাপোপটোসিস (apoptosis)-কালে এন্ডোনিউক্লিয়েস সক্রিয়তা দৃশ্যমান হয়।

10.5 ❑ মেটাফেস চেক-পয়েন্ট (Metaphase check-point)

মাইটোসিস বিভাজনের শেষভাগে অপর একটি চেক-পয়েন্ট থাকে, যা জিনোমের অখণ্ডতা সুনিশ্চিত করে। এটিকে মেটাফেস চেক-পয়েন্ট (metaphase checkpoint) বলা হয়। মেটাফেসের শেষ দিকে এই নজরদারি মারফৎ বিভাজনরত ক্রোমোজোমগুলি ঠিকমতো বেমতন্তুর ওপর সজ্জিত হয়েছে কিনা তার খতিয়ান নেওয়া হয়। এই হিসেব নেওয়াটি খুবই জরুরী। কারণ এর ওপর নির্ভর করবে ক্রোমোজোমগুলি সমানভাবে অপত্য কোশে ভাগ হয়েছে কি না। অর্থাৎ, যদি এক বা একাধিক ক্রোমোজোম বেমতন্তুর ওপর যথাযথভাবে সজ্জিত না হতে পারে, M দশা তৎক্ষণাৎ স্তব্ধ হয়। ফলে, প্রতিটি ক্রোমোজোম ঠিকমতো বেমতন্তুর ওপর সজ্জিত না হলে ক্রোমোজোম বিভাজন সম্পন্ন হয় না।

10.6 ❑ অ্যানাফেস প্রোমোটিং কমপ্লেক্স (Anaphase-promoting complex)

মাইটোসিসকালে MPF এক প্রকার ইউবিকুইটিন লাইগেস (ubiquitin ligase) উৎসেচক তৈরি সহায়তা করে। এই উৎসেচকটি অ্যানাফেস-প্রোমোটিং কমপ্লেক্স (anaphase-promoting complex) নামে পরিচিত। এটি প্রধান কয়েকটি নিয়ন্ত্রক (regulatory) প্রোটিনের ভাঙ্গন বা প্রোটিওলাইসিস (proteolysis) ঘটায়—যথা, cohesin Scc_1 ; এখানে উল্লেখ করতে হয়, যে কোহেসিন প্রোটিন কমপ্লেক্স ক্রোমোজোমের দুটি সিস্টার ক্রোমাটিডকে (sister

chromatids) একই ক্রোমোজোমে যুক্ত রাখে। অতএব, Scc 1-এ ভাঙ্গন ধরলেই কেবল দুটি সিসটার ক্রোমাটিড বিচ্ছিন্ন হয়ে, বিভাজনরত কোশের দুটি মেরুর দিকে ধাবমান হতে পারে। দুটি মেরুর দিকে বিচ্ছিন্ন ক্রোমোটিডের গমন। অতঃপর সম্ভব হয়, বেমতন্তুর কয়েকটি মোটর প্রোটিনের (motor proteins asociated with spindle microtubules) মাধ্যমে।

এখানে বলা দরকার, যে অ্যানাফেস-প্রোমোটিং কমপ্লেকস, সাইক্লিন B (cyclin B) প্রোটিন নিষ্ক্রিয়করণের মাধ্যমে MPF-এর ক্রিয়াটি স্তব্ধ করে। ফলে, কোশ মাইটোসিস থেকে পুনরায় ইন্টারফেস দশায় প্রত্যাবর্তন করতে পারে। একটু খতিয়ে দেখলে অনায়াশেই টের পাবেন, যে মাইটোসিস দশায় প্রবেশকালে MPF-কে কেন্দ্র করে সে সকল ধারাবাহিক কোশীয় পরিবর্তন সূচিত হয়, তার বিপরীতধর্মী ক্রিয়া সম্পন্ন হয় মাইটোসিস দশা পরিত্যাগের সময়। আরেকটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য হল নিয়ন্ত্রক প্রোটিনের বিখণ্ডন এবং ফসফরীমোচন (dephophorylation) যা নিশ্চিত করে যে কোশ চক্রের একটি দশা অতিক্রান্ত হলে তৎক্ষণাৎ পূর্বেকার দশাটিতে প্রত্যাবর্তন আর সম্ভব নয়। অর্থাৎ, কোশ-চক্রের জৈব-রাসায়নিক পরিবর্তনসমূহ একাভিমুখী।

ইউবিকুইটিন (ubiquitin) 76-টি অ্যামাইনো অ্যাসিড যুক্ত পলিপেপটাইড শৃঙ্খল, যা সকল ইউক্যারিয়টিক জীবেই বিরাজমান। ইউবিকুইটিন-যুক্ত প্রোটিন অতঃপর প্রোটিয়াসোম (proteasome) কমপ্লেকস নামক এক প্রোটিয়েস (protease) উৎসেচক দ্বারা বিখণ্ডিত হয়।

পুনরায়, G_1 উপদশায় অ্যানাফেস-প্রোমোটিং কমপ্লেক্স নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়।

10.7 ❑ সারাংশ

সকল ইউক্যারিওটিক কোশে আমরা শেষ চক্র দেখতে পাই। এটি চারখানি পর্যায়ে বিভক্ত করা হয়। যথা— G_1, S, G_2 ও M দশা। ডি এন এ সংশ্লেষ S দশায় সম্পন্ন হয়। এবং M দশাটির আরও চারটি ভাগ করে থাকি, পর্যায়ক্রমে প্রোফেস, মেটাফেস, অ্যানাফেস ও টেপোফেস। যার মধ্যে কোশ মধ্যস্থ ক্রোমোজোমগুলি অপত্য কোশে পৃথকীকৃত হয়। কোশ চক্রের নিয়ন্ত্রণ সূচিত হয় একটি হেটেরোডাইমেরিক প্রোটিন কাইনেস (heterodiimeric protein kinase) উৎসেচক দ্বারা। যার দুটি অধঃএকক (subunit) থাকে **সাইক্লিন** (cyclin) এবং **সাইক্লিন-নির্ভরশীল কাইনেস** (cyclen-dependent kinase)। সাইক্লিন নিয়ন্ত্রণ করে ও সাইক্লিন নির্ভরশীল কাইনেস (cdk) উৎসেচকরূপে কাজ করে। এমন ডাইমেরিক প্রোটিন, কোশ চক্রের **সকল** দশায় ক্রিয়াশীল। তাদের কার্যকারিতা নানা ভাবে প্রভাবিত হয়, যেমন—রোধকের (inhibitors) উপস্থিতি বা অনুপস্থিতি, ফসফোরাইলেশন বা ডিফসফোরাইলেশন এবং প্রোটিয়াসোম (proteasome) দ্বারা নির্দিষ্ট প্রোটিনের অবয়ন (degradation)। একই সময়ে অপর কয়েকটি কোশ উপাদানেও খানিক রদবদল ঘটে যায়। এমন উপাদানগুলির মধ্যে রয়েছে নিউক্লিয় পর্দার ল্যামিন (nuclear lamin), কণ্ডেনসিন (condensin) এবং মায়োসিনের হাল্কা শৃঙ্খল (myosin light-chain)।

এই কোশচক্রের একটি অন্তর্নিহিত বার্তা রয়েছে ঃ যে প্রতিটি নিয়ন্ত্রণকারী ঘটনার উপলক্ষ হল কোশ চক্রের একটি করে পর্যায় উজ্জীবিত করে, পরবর্তী ধাপের জন্য তাকে তৈরি করা। নির্দিষ্ট কিছু অণুর অবনয়ণ নিশ্চিত করে, যে চক্রটি একমুখি, কেবল একদিকেই সেটি ধাবিত হতে পারে। কোশ চক্র নিয়ন্ত্রণের সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ পর্যায়গুলি S দশা এবং M দশার পূর্ববর্তী সময়ে কেন্দ্রীভূত থাকে। অন্য এবং বিশেষ করে এই ধাপগুলিতে (চেক পয়েন্ট), একপ্রকার

প্রুফ দেখা (proof-reading) চলতে থাকে যা নিশ্চিত করে যে বিভাজনকারী ক্রোমোজোম তার পূর্ববর্তী সকল কর্তব্য সুচারুরূপে পালন করে পরবর্তী দশায় অগ্রসর হওয়ার উপযুক্ত হয়ে উঠেছে।

কোশ চক্রের বিশ্লেষণে মূলত ব্যবহার করা হয়েছে, জৈবরাসায়নিক ও আণবিক জীববিজ্ঞানের নানান প্রকৌশল। পরীক্ষা করা হয়েছে নানা গোষ্ঠীর জীব নিয়ে। যাদের এক একটি, কোশ চক্রের বিশেষ কোনও এক দশা সম্বন্ধীয় বিভিন্ন তথ্য উন্মোচনে সাহায্য করেছে। যথা, এক প্রকার ব্যাং (**Xenopus**) আর এক প্রকার সামুদ্রিক প্রাণী (সমুদ্রস্য) sea-urchin) দ্বারা সম্ভব হয়েছে মেটাফেস/মাইটোসিস প্রোমোটিং ফ্যাকটর (MPF)-এর জৈব রাসায়নিক চরিত্রায়ণ। এই MPF-এর ক্রিয়ার সঙ্গে সাইক্লিন বি (cyclin B) প্রোটিনের মাত্রার একটি প্রত্যক্ষ যোগ আছে। এক প্রকার ঈষ্টের (Schizotaccharomyces pombe) পরিব্যক্তি সাধন করে আমরা Cdk-এর কাইনেস (kinase) অংশের পরিমাণ নিয়ন্ত্রণ সম্বন্ধে অনেক তথ্য পাই। এবং ঈষ্ট ও Xenopus-এর MPF-এর মধ্যে অনুরূপতা বা হোমোলজি (homology)-র সানুক সন্ধানও পাওয়া যায়। কোশ চক্রের S-দশায় পদার্পন সংক্রান্ত অধিকাংশ তথ্য আসে অপর এক ঈষ্ট (Saccharomyces cerevisiae) থেকে।

10.8 ❑ প্রশ্নাবলি

❑ অনুশীলনী—2 ❑

(a) শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ (সাইক্লিন, ফসফোরাইলেশন/ডিফসফোরাইলেশন, সি ডি কে (cdk), মাইটোসিস, G_2, STATR, থ্রিয়নিন, টাইরোসিন, নিষ্ক্রিয়, সক্রিয়, G_2/G_1, কাইনেস, MPF, অবনয়ন, **adc 25**, সাইক্লিনের ফসফোরাইলেশন, মাইটোসিস/S)

(i) কোশ চক্রের দুটি গুরুত্বপূর্ণ নিয়ন্ত্রণকারী পথতি হল ———— এবং ————।

(ii) ———— দশা অতিক্রান্ত না হওয়া পর্যন্ত ডি এন এ'র পুনঃবিভাজন (re-rephication) স্তব্ধ থাকে।

(iii) ইন্টারফেস দশা থেকে কোনও কোশ মাইটোসিস দশার দিকে অগ্রসর হবে কিনা তা নিয়ন্ত্রণ করে ———— নামক এক প্রোটিন ও ———— নামক দ্বিতীয় এক প্রোটিনের সমন্বয়ের ওপর। এই সমন্বিত হেটেরোডাইমেরিক প্রোটিন কাইনেসটিকে পূর্বে ———— বলা হতো।

(iv) **CDC 2** জীন সৃষ্ট প্রোটিনটি একপ্রকার ———— যা ঋণাত্মক উপায়ে নিয়ন্ত্রিত (negatively regulated) হয় আর এক প্রকার ———— দ্বারা (যা **wee -1** জীন হতে তৈরি হয়) কিন্তু উদ্দীপিত হয় **CDC 25** জীনের উৎপাদ দ্বারা।

(v) Schizotaccharonyces pomfe নামক ঈষ্টের CDC2 জীনটি চালু হলে (switched 'on') কোশ ———— দশায় প্রবেশ করে, বন্ধ হলে (switched 'of') ———— দশায় থেকে যায়।

(vi) মোনোমেরিক (monomeric) p34 ————, কিন্তু ———— সঙ্গে যুক্ত হলে ———— হয়।

(vii) p34 কাইনেস নিয়ন্ত্রিত হয় ———— সঙ্গে সংযুক্তি এবং একাধিক ———— মাধ্যমে।

(viii) মাইটোসিস দশায় ———————— প্রোটিনগুলি ধারাবাহিকভাবে বিখন্ডিত হয়। এমন অবনয়ন বা বিখন্ডনের (degradation) ———————— দশায় সম্পন্ন হয়। এই বিখন্ডনই কোশ চক্রের দিক্‌ভিত্তিক নিয়ন্ত্রণ (directional control) সাধন করে।

(ix) p34 ———————— সঙ্গে মুক্ত হলে, তাদের তিনটি স্থানে ———————— ঘটে, যাদের মধ্যে দুটি ———— এবং একটি ———————— অবশেষ (residue)।

(x) ঈষ্ট কোশ চক্রে একটি প্রত্যন্ত বিন্দুর (centical point) নাম ———————— ; এই বিন্দুতে পৌঁছলে একটি ঈষ্টের কোশ S-দশায় প্রবেশ করে কোশ বিভাজন চক্র সম্পূর্ণ করতে অঙ্গীকারবদ্ধ হয়।

(b) **সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ**

(i) একটি জীবদেহে অন্তঃস্থ কোশ (কলা পালন বা টিসু) কালচারের কোশ ব্যতিরেকে) G_0 দশাপ্রাপ্ত হওয়ার তাৎপর্য কী?

(ii) কোশ চক্রের দুটি গুরুত্বপূর্ণ নিয়ন্ত্রণকারী প্রক্রিয়া হলো ফসফোরাইলেশন/ডিফসফোরাইলেশন এবং অবনয়ন বা বিখন্ডন (degradation) । এই প্রক্রিয়াগুলি অ্যানাফেস প্রবর্তনকারী কমপ্লেক্সের ক্ষেত্রে কীভাবে প্রযোজ্য তা বুঝিয়ে বলুন।

(iii) বহুকোশী জীব কোশচক্রের 'চেক-পয়েন্ট'—(check-point)-এর কেন প্রয়োজন হয়?

(iv) সাইক্লিন কাদের বলে? 'সাইক্লিন' নামকরণের সার্থকতা কী, তা উল্লেখ করুন।

(v) 'সাইক্লিন বক্স' ('cyclin box') কাকে বলে?

(vi) ঈষ্ট কোশে START চেক পয়েন্ট অতিক্রম করবার জন্য প্রয়োজনীয় দুটি শর্ত নির্দেশ করুন।

(vii) ঈষ্ট এবং উচ্চতর ইউক্যারিওটের সাইক্লিন কাইনেসের মধ্যে সাদৃশ্য ও বৈসাদৃশ্য উল্লেখ করুন।

(viii) অ্যাপপটোসিস (apoptosis) কী?

(ix) G_2 ও G_2 দশার নিউক্লিয়াসের সঙ্গে পৃথকভাবে S দশার সাইটোপ্লাজমকে পরীক্ষামূলকভাবে একীভূত করা হলে, কোশ চক্রের কোন্ কার্য কীভাবে প্রভাবিত হয়?

(x) cdc2 প্রোটিনকাইনেস ফসফরীভবন ঘটায়, এমন দুটি হিস্টোল প্রোটিনের নাম করুন।

(c) কোশচক্র M দশায় প্রবেশকালে, MPF যে সকল প্রধান নিউক্লিয় এবং সাইটোপ্লাসমীয় পরিবর্তনের সূচনা করে, তা একটি রেখাচিত্রের সাহায্যে দেখান।

(d) **ভেবে দেখুন ঃ** সাইক্লিন-B বিখন্ডন জনিত MPF নিষ্ক্রিয়তার ফলে অ্যানাফেস সূচিত হয়। এদিকে, কলচিসিন (colchicine), বেনোমাইল (benomyl), কতিপয় ড্রাগ প্রয়োগ করলে মেটাফেজ দশা স্তব্ধ হয়। কোশ-চক্র নিয়ন্ত্রণ ক্রিয়ার সঙ্গে এমন ড্রাগ-ক্রিয়ার কী সম্বন্ধ, তা ব্যাখ্যা করতে পারবেন?

10.9 ❑ উত্তরমালা ঃ

❑ অনুশীলনী—1 ❑

(i) মিথ্যা ; (ii) সত্য ; (iii) মিথ্যা ; (iv) সত্য ; (v) সত্য ; (vi) সত্য ; (vii) মিথ্যা ; (viii) সত্য।

❑ অনুশীলনী—2 ❑

(a) শূন্যস্থান পূরণ ঃ

(i) ফসফোরাইলেশন/ডিফসফোরাইলেশন, অবনয়ন ;

(ii) মাইটোসিস ;

(iii) সাইক্লিন, সি ডি কে (cdk), ম্যাচিওরেশন প্রোমোটিং ফ্যাকটর (MPF) ;

(iv) কাইনেস, কাইনেস, CDC 25 ;

(iv) মাইটোসিস / S, G_2/G_1 ;

(vi) নিষ্ক্রিয়, সাইক্লিনের, সক্রিয় ;

(vii) সাইক্লিনের ফসফরাইলেশন ;

(viii) সাইক্লিন, G_2 ;

(ix) সাইক্লিনের, ফসফরাইলেশন, থ্রিয়নিন, টাইরোসিন ;

(x) START

(b) (i) একটি জীবদেহে কলার আয়তন ও আকৃতি নিয়ন্ত্রিত হওয়া আবশ্যিক তার গঠনকালে, যা জীবের পরিণত অবস্থাতে বজায় রাখতে হয়। কোশ বৃদ্ধির ওপর কঠোর নিয়ন্ত্রণ রক্ষা না করতে পারলে এটি সম্ভবপর করা যায় না। এমনকি, জীবদেহের কোনো কোনো অঙ্গে কোশগুলি বিভেদিত হয়, বিশেষ ক্রিয়া সম্পন্নের জন্য। এই বিশেষ প্রয়োজনগুলি মেটাতে হলে কোশ বিভাজনের ওপর বিধিনিষেধ আরোপ করা জরুরী, যা সম্ভবপর হয় G_0 দশা প্রাপ্তির মাধ্যমে।

(ii) G_1 পর্যায়ে G_1 Cdk মধ্যস্থিত ফসফোরাইলেশন দ্বারা অ্যানাফেস-প্রবর্তনকারী কমপ্লেক্স (anaphase-promoting complex, APC) নিষ্ক্রিয় হয়ে যায়। মাইটোসিস দশায় এই কমপ্লেক্সটি পুনরায় সক্রিয় হয়। এটি অ্যানাফেস রোধক (inhibitor) এবং মাইটোসিসের সাইক্লিন বিখণ্ডিত করে।

(iii) বিনা প্রয়োজনে কোশের অপ্রতিহত বৃদ্ধি বন্ধ করতে। কোনও কারণে চেক পয়েন্ট ব্যর্থ হলে, কোশের অপ্রতিহত বৃদ্ধি বিপর্যয় ঘটায়। যার অন্যতম নমুনা টিউমার সৃষ্টি। চেক পয়েন্ট নিশ্চিত করে যে কোশ চক্রের বিশেষ কোনও ক্রিয়া (যেমন, ডি এন এ সংশ্লেষ) শুরু হবে না যতক্ষণ পর্যন্ত পূর্বেকার ধাপগুলি (যেমন, মাইটোসিস) যথাযথ ভাবে সম্পূর্ণ হয়।

(iv) ভৌতিক গঠনে সম্পর্ক যুক্ত এক প্রোটিন গোষ্ঠীর অন্যতম সদস্য যা cdk'র সঙ্গে যুক্ত হলে তার উৎসেচক-রূপী কার্যকারিতা সক্রিয় হয়। মুক্ত অবস্থায়, এই হেটেরো-ডাইমেরিক প্রোটিন কাইনেসটি কোশ চক্রের সকল ধাপে ক্রিয়াশীল থাকে এবং একপ্রকার নিয়ন্ত্রণ আরোপ করে। একটি কোশ চক্রে এই প্রোটিনটি চক্রাকারে বৃদ্ধি ও হ্রাস পায় (cycle accumulation and disappearance)। যার দরুন বিজ্ঞানীরা এটিকে 'সাইক্লিন' (cyclin) নাম দেন।

(v) মানুষে সাইক্লিনের শ্রেণিবিন্যাস করা হয় মূলত অ্যামাইনো অ্যাসিড ক্রমের সাদৃশ্যের ওপর ভিত্তি করে। এমন 100-150 অ্যামাইনো অ্যাসিড অবশেষ (residue) নিয়ে তুলনা করা হয়, সেগুলি সকল প্রজাতির মধ্যেই বর্তমান। অ্যামাইনো অ্যাসিডের এই অংশটি 'সাইক্লিন বক্স' নামে পরিচিত।

(vi) ঈষ্ট কোশ START চেক পয়েন্ট থেকে অগ্রসর হয়, যখন

● কোশগুলি একটি নির্দিষ্ট আদর্শ আয়তন প্রাপ্ত হয় ;

● কোশ চক্র পরিচালনের জন্য প্রয়োজনীয় পুষ্টির যোগান থাকে।

(vii) উভয়রই কাইনেস সক্রিয়তার জন্য সাইক্লিন প্রয়োজন হয়। ঈষ্ট কোশে, কোশ-চক্রের বিভিন্ন ধাপে বিভিন্ন সাইক্লিন একটিই কাইনেসের সঙ্গে যুক্ত হয়।

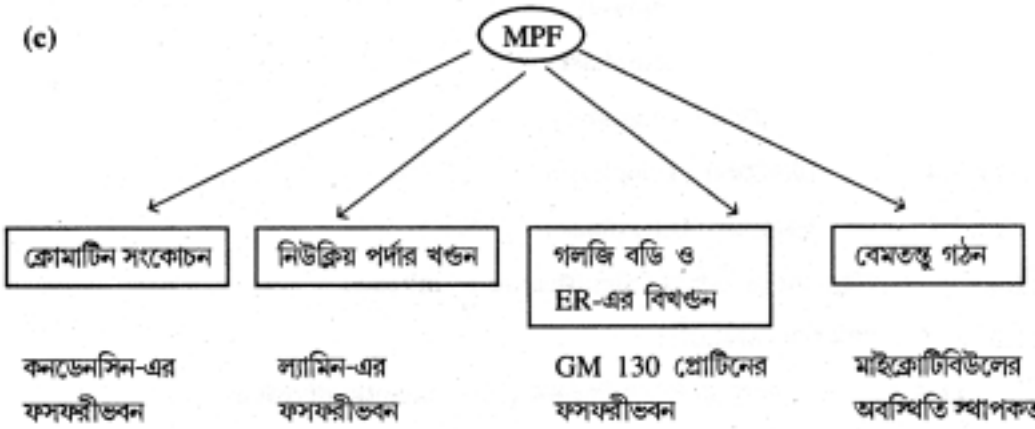
উচ্চতর ইউক্যারিওটে কোশ চক্রের বিভিন্ন ধাপে ভিন্ন সাইক্লিন যুক্ত হয় বিভিন্ন কাইনেসের সঙ্গে।

(viii) আন্তঃকোশীয় অবনয়নকারী উৎসেচক (degradative enzymes) সক্রিয়তা জনিত কোশ মৃত্যু। এই কোশ-মৃত্যু বা আত্মহনন যেন প্রোগ্রাম-মাফিক চলতে থাকে। মূল গ্রিক শব্দটির অর্থ 'খসে পড়া'।

(ix) দ্রঃ 13.10.5, 13.10.4.

(x) H_1 ও H_3 ; অর্থাৎ এই দুটি হিস্টোন-প্রোটিন ফসফরীভবনের যৌগক (substrate)।

(c)



(d) বেমতন্তু গঠন সম্পূর্ণ না হওয়া পর্যন্ত MPF (মেটাফেস দশায়) নিষ্ক্রিয় হয় না। অর্থাৎ অ্যানেফেসের সূচনাও হয় না। কলচিসিন / বেনোমাইল, বেমতন্তুর মাইক্রোটিবিউল প্রোটিন ডিপলিমেরাইম (depolymerize) করে। ফলে একপ্রকার ফিড-ব্যাক কন্ট্রোল (feed-back control) প্রক্রিয়া সক্রিয় হয়ে ওঠে। এবং বার্তা পাঠায় যে বেমতন্তু-সংগঠন এখনও অসম্পূর্ণ। তাই MPF নিষ্ক্রিয়করণ আপাতত বন্ধ থাকে এবং কোশ-চক্র অ্যানাফেস দশায় অগ্রসর হতে পারে না।

একক 11 ■ মাইটোসিস ও মিয়োসিসের বিভিন্ন পর্যায়ের ঘটনাবলি এবং তাদের তাৎপর্য (Detailed account of the phases and events of mitosis and meiosis and their significance)

গঠন

11.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

11.2 কোশ বিভাজনের সংজ্ঞা এবং প্রকার (Definition and type of cell division)

11.3 মাইটোসিস (Mitosis)

11.3.1 প্রোফেজ (Prophase)

11.3.2 মেটাফেজ (Metaphase)

11.3.3 অ্যানাফেজ (Anaphase)

11.3.4 টেলোফেজ (Telophase)

11.3.5 ইন্টারফেজ (Interphase)

11.4 মাইটোসিসের তাৎপর্য (Significanse of mitosis)

11.5 মায়োসিস (Meiosis)

11.5.1 প্রথম মায়োসিস বিভাজন (First meiotic division)

11.5.1.1 প্রথম প্রোফেজ (Prophase I)

11.5.1.2 প্রথম মেটাফেজ (Metaphase I)

11.5.1.3 প্রথম অ্যানাফেজ (Anaphase I)

11.5.1.4 প্রথম টেলোফেজ (Telophase I)

11.5.2 ইন্টারকাইনেসিস (Interkinesis)

11.5.3 দ্বিতীয় মায়োসিস বিভাজন (Second meiotic division)

11.6 মায়োসিসের তাৎপর্য (Significance of meiosis)

11.7 সারাংশ

11.8 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

11.9 উত্তরমালা

11.1 ❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা ঃ— আপনারা নিশ্চয়ই অবগত আছেন যে, এককোশী উদ্ভিদ বা প্রাণী থেকে শুরু করে উচ্চশ্রেণির সপুষ্পক উদ্ভিদ ও মেরুদন্ডী প্রাণীদের জীবন একটিমাত্র কোশ থেকে শুরু হবার পর ওই কোশটি ক্রমাগত বিভাজিত হয়, নতুন নতুন অপত্য কোশের সৃষ্টি হয়। এর পর জীবের ক্রমাগত বৃদ্ধি, বিভিন্ন অঙ্গের ক্রমবিকাশ, জনন প্রভৃতি সকল কিছুই মূলতঃ এই কোশ বিভাজন পদ্ধতির দ্বারাই সম্পন্ন হয়ে থাকে। প্রোক্যারিওটিক ভাইরাস ও ব্যাকটিরিয়া ছাড়া প্রায় সমস্ত জীবের বংশগত বৈশিষ্ট্যের ধারক ও বাহক হল ক্রোমোজোমস্থিত DNA। এই ক্রোমোজোমগুলোই এক কোশ থেকে অপর কোশ এবং জনিতৃ থেকে অপত্য জীবে বিভিন্ন প্রকার কোশ বিভাজন পদ্ধতির মাধ্যমে সমস্ত বংশগত বৈশিষ্ট্যগুলোকে বহন করে নিয়ে যায় এবং জীনগত ধারাবাহিকতা বজায় রাখে। সুতরাং কোশবিভাজনের বিভিন্ন পদ্ধতি, তাদের বিস্তারিত বিবরণ এবং তাৎপর্য অতি প্রাসঙ্গিক এবং তাদের উপস্থাপনার প্রয়োজন রয়েছে।

উদ্দেশ্য ঃ—

এই এককটি পাঠ করে আপনি—

- কোশ বিভাজনের সংজ্ঞা এবং প্রকার সম্পর্কে আলোচনা করতে পারবেন।
- মাইটোসিস বিভাজনের বিভিন্ন দশাগুলি সম্পর্কে বিশদভাবে আলোচনা করতে পারবেন।
- মাইটোসিসের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- মায়োসিসের প্রথম ও দ্বিতীয় বিভাজন পদ্ধতি বিশদভাবে ব্যাখ্যা করতে পারবেন।
- মায়োসিসের গুরুত্ব সম্পর্কে ধারণা লাভ করতে পারবেন।

11.2 ❑ কোশ বিভাজনের সংজ্ঞা এবং প্রকার (Definition and type of cell division)

যে পদ্ধতিতে কোশ তার নিজস্ব প্রতিরূপ সৃষ্টি করে তাকে কোশ বিভাজন বলে।

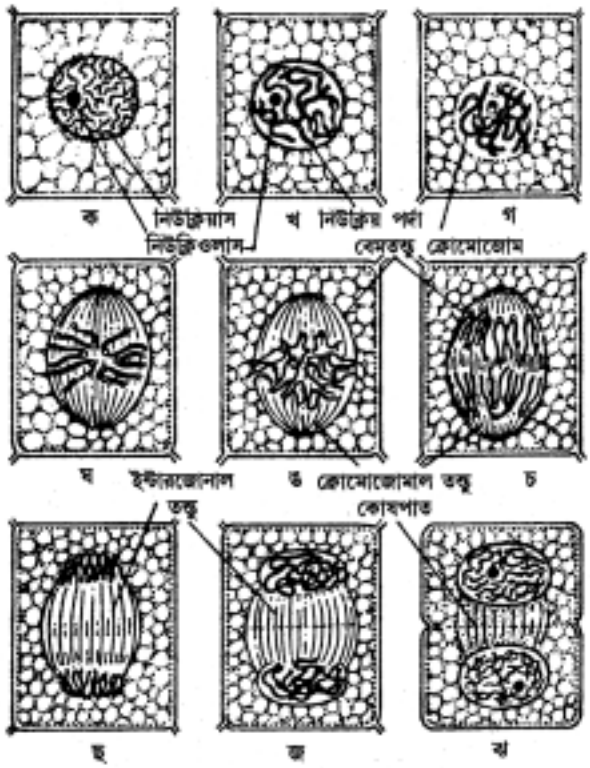
আদর্শ নিউক্লিয়াসযুক্ত কোশে প্রধানত দুই প্রকার কোষ-বিভাজন পদ্ধতি লক্ষ করা যায়—মাইটোসিস এবং মায়োসিস। প্রতিটি জীব দেহ (বহুকোশীয়) দুই প্রকার কোশ দ্বারা গঠিত। যেমন—দেহ কোশ (Somatic cell) এবং জনন কোশ কোশ (Germ cell)। মাইটোসিস প্রক্রিয়ায় দেহ কোশ ও জনন কোশের সংখ্যাবৃদ্ধি হয়ে থাকে এবং মায়োসিস প্রক্রিয়ায় জনন মাতৃ কোশ থেকে জনন কোশ উৎপন্ন হয়ে থাকে।

11.3 ❑ মাইটোসিস (Mitosis)

যে বিভাজন পদ্ধতিতে নানাবিধ পরিবর্তনের মাধ্যমে মাতৃ নিউক্লিয়াস সমগুণ ও সমআকৃতিবিশিষ্ট এবং সমসংখ্যক ক্রোমোজোম সমন্বিত দুইটি অপত্য নিউক্লিয়াসের সৃষ্টি হয় তাকে মাইটোসিস বলে। মাইটোসিস কোশ বিভাজনে যে অপত্য কোশ সৃষ্টি হয়, সেগুলি মাতৃকোশের সমসংখ্যক ক্রোমোজোম থাকে বলে এবং সেগুলি সমগুণসম্পন্ন হয় বলে, এই পদ্ধতিকে সদৃশ বিভাজন বা ইক্যুয়েশনাল বিভাজন (Equational division) বলা হয়। ওয়াল্টার ফ্লেমিং

(Walter Flemming, 1878, and 1882) সর্বপ্রথম এই বিভাজন দশা প্রত্যক্ষ করলেও, স্নেইডার (Schneider, 1883) প্রথম মাইটোসিসের পূর্ণ বিবরণ দেন। 1960 খ্রিস্টাব্দে কক্রাম (Cockraum) এবং ম্যাক্-কলে (Mac-Caulay) এই পদ্ধতির সঠিক রাসায়নিক ব্যাখ্যা দেন।

দেহ কোশ বিভাজন পদ্ধতিটি দুইটি পর্যায়ে সম্পন্ন হয়। প্রথম পর্যায়ে নিউক্লিয়াসটি বিভক্ত হয়, একে ক্যারিওকাইনেসিস (Karyokinesis) বলে। এই পদ্ধতির দ্বিতীয় পর্যায়ে সাইটোপ্লাজম বিভক্ত হয়ে দুটি অপত্য কোশ সৃষ্টি করে। সাইটোপ্লাজমের এই বিভাজনকে সাইটোকাইনেসিস (Cytokinesis) বলা হয়। অনেক সময় মাইটোসিস্ এবং দেহ-কোশ বিভাজন একই অর্থে ব্যবহৃত হলেও মাইটোসিস প্রধানত ক্যারিওকাইনেসিস্ বা নিউক্লিয়াসের বিভাজনকেই বুঝায়। একটি মাইটোসিস বিভাজনের শেষ থেকে পরবর্তী মাইটোসিস বিভাজনের পূর্ব পর্যন্ত দশাকে বলা হয় ইন্টারফেজ বা অন্তর্দশা। এটি হল কোশের বিশ্রাম দশা। এই দশায় বিভাজন ক্রিয়ার জন্য কোশ নিজেকে প্রস্তুত করে। একটি কোশের সম্পূর্ণ জীবনকালে অর্থাৎ একটি কোশের জন্মের মুহূর্ত থেকে নিজগুণসম্পন্ন দুইটি অপত্য কোশ সৃষ্টি হওয়া পর্যন্ত যে ধারাবাহিক ও পর্যায়ক্রমিক ঘটনাবলি সংঘটিত হয়, তাদের একত্রে কোশ চক্র (Cell cycle) বলে। এই ইন্টারফেজ বা অন্তর্দশা এবং বিভাজন দশা বা মাইটোটিক দশা বা M.phase নিয়েই কোশ চক্র গঠিত হয়। মাইটোটিক পর্যায়টি চারটি দশা নিয়ে গঠিত। যথা— প্রোফেজ, মেটাফেজ, অ্যানাফেজ এবং টেলোফেজ (চিত্র-1) এই চারটি দশার মধ্যে প্রোফেজ সর্বাপেক্ষা দীর্ঘক্ষণ স্থায়ী, আবার মেটাফেজ ও অ্যানাফেজ স্বল্পস্থায়ী। টেলোফেজের স্থায়িত্ব প্রোফেজ অপেক্ষা কম হলেও মেটাফেজ ও অ্যানাফেজের তুলনায় কিছুটা বেশি।



চিত্র—1 : ক-ঝ—মাইটোসিস্ কোশ বিভাজনের বিভিন্ন পর্যায়

11.3.1 ❑ প্রোফেজ (Prophase)

প্রোফেজ দশার শুরুতে নিউক্লিয়াসটি আয়তনে কিছুটা বৃদ্ধি পায়। প্রাণীকোশের সাইটোপ্লাজমে নিউক্লিয়ার আবরণীর ঠিক বাইরে অবস্থিত সেন্ট্রোজোমের সেন্ট্রিওল এই দশায় উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। এই দশায় একটি সেন্ট্রিওল বিভক্ত হয়ে দুটি সেন্ট্রিওল গঠন করে। এরা ক্রমশ পরস্পর থেকে বিপরীত দিকে যেতে যেতে কোশের দুইটি বিপরীত মেরুতে গিয়ে পৌঁছায়। এদের চারিদিকে সাইটোপ্লাজম থেকে সৃষ্ট সূক্ষ্ম সূক্ষ্ম তন্তুর আবির্ভাব ঘটে এবং এই তন্তুগুলি বিচ্ছুরিত রশ্মির মত বিন্যস্ত থাকে বলে এদের অ্যাস্ট্রাল রশ্মি বলা হয়। এই সময় নিউক্লিয়ার আবরণী ক্রমশ বিলুপ্ত হতে থাকে। প্রতিটি ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিড দুটি নির্দিষ্ট উপায়ে ক্রমশ কুণ্ডলীকৃত হতে থাকায়, ক্রোমোজোমগুলি ক্রমান্বয়ে ঘনীভূত হয়, ফলে এদের ব্যাস প্রায় ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় প্রতিটি ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিড দুটি একত্রে পাক খেয়ে এমনভাবে পরস্পর জড়িয়ে থাকে যে এদেরকে বিচ্ছিন্ন করা যায় না। এই বিশেষ প্রকার কুণ্ডলীকে প্লেকটোনেমিক কুণ্ডলী বলা হয়, যা মাইটোসিসের একটি প্রধান বৈশিষ্ট্য। এই সময় ক্রোমোজোমের রাসায়নিক অবস্থারও পরিবর্তন হয়। ফসফোলিপিড ও আর. এন. এ. বৃদ্ধি পায় এবং সমগ্র অংশটি গাঢ় ম্যাট্রিক্স দ্বারা পূর্ণ হয়। নিউক্লিয়াসের নিউক্লিওলাস আকারে ক্রমশ ক্ষুদ্র হতে থাকে এবং প্রোফেজের শেষে অদৃশ্য হয়ে যায়।

11.3.2 ❑ মেটাফেজ (Metaphase)

নিউক্লিয়ার আবরণীর সম্পূর্ণ অবলুপ্তির সঙ্গে সঙ্গে মেটাফেজ দশার সূচনা হয়। প্রাণীকোশে অ্যাস্ট্রাল রশ্মি সহ দুটি সেন্ট্রিওলের মধ্যবর্তী অংশ মাকুর (Spindle) মত দেখতে হওয়ায় এদের কেন্দ্রীয় মাকু (Central Spindle) বলে। উদ্ভিদ কোশে সেন্ট্রোজোম থাকে না। কিন্তু এদের ক্ষেত্রেও মাকু গঠিত হয়। সম্ভবত নিউক্লিয় রস থেকে এই মাকুর উদ্ভব হয় এবং তাই এদের নিউক্লিয় মাকু (Nuclear Spindle) বলে। স্পিনড্‌ল বা মাকুর দুই প্রান্তের বিন্দুকে মেরু (Poles), মধ্যবর্তী অঞ্চলকে বিষুব (equator) অঞ্চল এবং এক মেরু থেকে অপর মেরু পর্যন্ত যে তন্তুর মতো বস্তুগুলি সজ্জিত থাকে, তাদের বেমতন্তু (Spindle fibres) বলে। মেটাফেজ ক্রোমাটিডগুলির কুণ্ডলীকৃত অবস্থা সর্বাধিক হওয়ায় ক্রোমোজোমগুলির ব্যাস অন্যান্য দশার তুলনায় সর্বাপেক্ষা বেশি এবং দৈর্ঘ্য সর্বাপেক্ষা কম হয়। ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিড দুটি একটি নির্দিষ্ট খাঁজকাটা অংশে যুক্ত থাকে। এই অংশটি সেন্ট্রোমিয়ার বা প্রাথমিক সংকোচ স্থান (Primary constriction) নামে পরিচিত। ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ার এবং কোশের সেন্ট্রোজোমের মধ্যে বিকর্ষণ থাকায় ক্রোমোজোমগুলি কোশের মধ্যরেখা বরাবর আড়াআড়িভাবে সজ্জিত থাকে, এটি একটি পাত বা প্লেটের ন্যায় আকার গঠন করে বলে একে নিরক্ষীয় প্লেট (equatorial plate) বা মেটাফেজ প্লেট (metaphase plate) বলা হয়। এই দশায় কিছু বেম তন্তু এক মেরু থেকে ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ার অংশ পর্যন্ত বিস্তৃত থাকে, এদের ক্রোমোজোমোল তন্তু (Chromosomal fibre) বলে। অপর কিছু তন্তু এক মেরু থেকে অপর মেরু পর্যন্ত সরাসরি বিস্তৃত থাকে, এদের অবিচ্ছিন্ন তন্তু (Continuous fibre) বলা হয়। ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রে এই বেম তন্তুগুলিকে কতকগুলি অনুনালিকা বা মাইক্রোটিউবিউল নিয়ে গঠিত হতে দেখা যায়। অনুনালিকাগুলি টিউবিউলিন (tubulin) নামক প্রোটিন দিয়ে তৈরি। বেমতন্তুর এই অণুনালিকাগুলি ক্রোমোজোমাল বেমন্তুর এই অণুনালিকাগুলি প্রতিটি ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারের বিপরীত দিকে অবস্থিত কাইনেটোকোর (Kinetochore) নামক গঠনের সঙ্গে যুক্ত হয় এবং ক্রোমোজোমের চলনে উল্লেখযোগ্য ভূমিকা পালন করে। কাইনেটোকোর একটি ত্রিস্তর বিশিষ্ট প্রোটিন পাত নিয়ে গঠিত।

মেটাফেজ দশার অপর একটি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য হল সেন্ট্রোমিয়ারের বিভাজন। সেন্ট্রোমিয়ারটি দুইটি অপত্য সেন্ট্রোমিয়ারে বিভক্ত হয় এবং একটি সাধারণ ঝিল্লি বা আবরণীর দ্বারা আবৃত থাকে।

11.3.3 ❑ অ্যানাফেজ (Anaphase)

এটি মাইটোসিসের সর্বাপেক্ষা স্বল্পকালীন দশা। এই দশার শুরুতে সেন্ট্রোমিয়ার সম্পূর্ণরূপে বিভক্ত হয়ে যায়, ফলে ক্রোমোজোমের ভগিনী ক্রোমাটিড (Sister chromatid) দুটির প্রতিটি নিজস্ব সেন্ট্রোমিয়ার প্রাপ্ত হয় এবং অপত্য ক্রোমোজোমে পরিণত হয়। অপত্য সেন্ট্রোমিয়ারগুলি পরস্পর থেকে বিচ্ছিন্ন হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে অপত্য ক্রোমোজোমগুলি পরস্পরের থেকে বিপরীত অভিমুখে চলতে শুরু করে, যাকে ক্রোমোজোমের চলন (movement of chromosome) বলা হয়। এই চলন প্রধানতঃ তিনটি কারণে হয়ে থাকে—প্রথমত, অবিচ্ছিন্ন তন্তু দীর্ঘতর হওয়ায় মাকু ক্রমশ লম্বা হয় ; দ্বিতীয়ত, ক্রোমোজোমাল তন্তু আকারে ক্রমশ ক্ষুদ্র হতে থাকায় অপত্য ক্রোমোজোমগুলি মেরুর দিকে চালিত হয় ; তৃতীয়ত, বিপরীত মেরুর দিকে চলনশীল দুইদল অপত্য ক্রোমোজোমের অন্তর্বর্তী স্থানে ইন্টারজোনাল তন্তু (interzonal fibre) বা স্টেম বডির (stem body) আবির্ভাব হয় যেগুলো ক্রমশ লম্বা হতে থাকে এবং চলনশীল ক্রোমোজোমগুলিকে আরও বেশি করে মেরুর দিকে চালনা করতে সাহায্য করে। বৈজ্ঞানিক অনুসন্ধানে জানা গেছে, ক্রোমোজোমের এই চলন নির্ভর করে কতকগুলি নির্দিষ্ট প্রোটিনের উপর, এরা কোশের মোটর প্রোটিন পরিচিত। এই প্রোটিনগুলি কোশের ATP–ভাঙনের ফলে উৎপন্ন শক্তিকে কাজে লাগিয়ে ক্রোমোজোমের চলন ঘটায়। এই মোটর প্রোটিনগুলি প্রধানতঃ কোশের বেমতন্তু গঠনকারী অণুনালিকা বা মাইক্রোটিউবিউলের কার্যকারিতাকে নিয়ন্ত্রণ করে এবং অপত্য ক্রোমোজোমগুলিকে বিপরীত মেরুর দিকে ঠেলে পাঠাতে সাহায্য করে। এইভাবে সমান সংখ্যক ক্রোমোজোম উভয় মেরুর দিকে পৌঁছায়।

11.3.4 ❑ টেলোফেজ (Telophase)

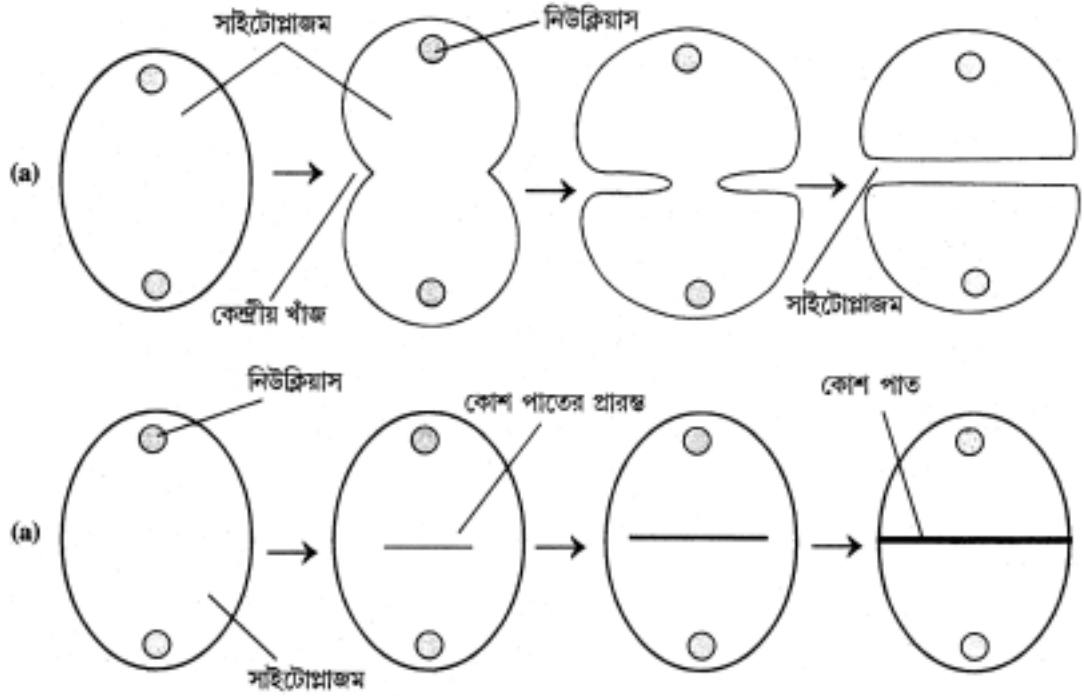
উভয় মেরুতে সমান সংখ্যক ক্রোমোজোম পৌঁছানোর পরই প্রত্যেক মেরুতে এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলাম থেকে নতুন নিউক্লিয় পর্দা এবং নিউক্লিওয়ার অর্গানাইজার অংশ থেকে নতুন নিউক্লিওলাস গঠিত হতে শুরু করে। কুণ্ডলী ক্রমশ খুলতে থাকায় ক্রোমোজোমগুলি দৈর্ঘ্যে বৃদ্ধি পায় এবং নিজেদের মধ্যে জট পাকিয়ে নিউক্লীয় জালিকা (Nuclear

নিউক্লিওলার অর্গানাইজার (Nucleolar Organizer) হল ক্রোমোজোমের একটি দ্বিতীয় বা গৌণ সংকোচ স্থান (Secondary constriction) যার মাধ্যমে এই ক্রোমোজোমটি নিউক্লিয়াসের নিউক্লিওলাসের সঙ্গে যুক্ত থাকে। এইরূপ ক্রোমোজোমকে বলা হয় স্যাট ক্রোমোজোম (Sat chromosome)। প্রতিটি কোশে এইরূপ স্যাট ক্রোমোজোমের সংখ্যা সাধারণত একজোড়া বা দুটি।

reticulum) গঠন করে। বেমতন্তুগুলি সাইটোপ্লাজমে দ্রবীভূত হতে থাকে। এইভাবে মাতৃকোশের ন্যায় সম-সংখ্যক ও সমগুণ সম্পন্ন ক্রোমোজোম বিশিষ্ট দুটি অপত্য নিউক্লিয়াস সৃষ্টি হওয়ায় মাইটোসিস বিভাজনকে সদৃশ বিভাজন (equational division) বলা হয়।

টেলোফেজ দশা শেষ হওয়ার সাথে সাথে কোশের ক্যারিও কাইনেসিস বা নিউক্লিয়াসের বিভাজন সমাপ্ত হয়। এর পরের দশা সাইটোকাইনেসিস বা সাইটোপ্লাজমের বিভাজন যা টেলোফেজ দশার ক্ষেত্রেই লক্ষ করা যায়। সাইটোপ্লাজমের এই বিভাজন উদ্ভিদ ও প্রাণী কোশে সম্পূর্ণ পৃথকভাবে হয়ে থাকে (চিত্র-2)।

প্রাণীকোশে প্লাজমা পর্দা নিরক্ষীয় তল বরাবর উভয়দিক থেকে ভিতরের দিকে প্রবেশ করে একটি খাঁজের সৃষ্টি করে। এই সময় কোশের সাইটোপ্লাজম পরিধি থেকে আড়াআড়িভাবে মধ্যরেখা বরাবর সঙ্কুচিত হতে শুরু করে। এই সংকোচন ক্রমশ প্রসারিত হয়ে মাতৃ কোশের সাইটোপ্লাজমকে দুটি ভাগে বিভক্ত করে ; যা ক্লিভেজ (Cleavage) নামে পরিচিত।



চিত্র-2 : (a) প্রাণীকোশে কেন্দ্রীয় খাঁজের মাধ্যমে সাইটোকাইনেসিস্
(b) উদ্ভিদকোশে কোষ পাত গঠনের মাধ্যমে সাইটোকাইনেসিস

উদ্ভিদকোশের ক্ষেত্রে এন্ডোপ্লাজমিক রেটিকিউলামের ক্ষুদ্রাংশ, ভেসিকল এবং ফ্র্যাগমোপ্লাস্ট (Phragmoplast) নামক ক্ষুদ্র ক্ষুদ্র দানা নিরক্ষীয় অঞ্চলে সঞ্চিত হয়ে একটি কোশ পাত (cell plate) গঠন করে। এই পাতটিতে ক্রমান্বয়ে সেলুলোজ, পেকটিন ইত্যাদি সঞ্চিত হওয়ায় ক্রমশ পুরু হতে থাকে এবং মাতৃকোশের কোশ প্রাচীরের সঙ্গে যুক্ত হয়ে সাইটোপ্লাজমের বিভাজন সম্পূর্ণ করে। এই কোশ পাতটি পরবর্তীকালে পরিবর্তিত হয়ে মধ্য ল্যামেলা (middle lamella) গঠন করে। এরপর অপত্য কোশদুটির মধ্যবর্তী অঞ্চলের উভয়দিকে কোশ পর্দা (Cell membrane) এবং মধ্য-ল্যামেলার মাঝে ক্রমান্বয়ে প্রাথমিক ও গৌণ কোশ প্রাচীর স্তর গঠিত হতে থাকে। এইভাবে দুটি পরিপূর্ণ অপত্য কোশের সৃষ্টি হয়।

11.3.5 ❑ ইন্টারফেজ (Interphase)

পরপর দুইবার মাইটোসিস বিভাজনের মধ্যবর্তী সময়কে বলা হয় কোশের ইন্টারফেজ বা অন্তর্দশা। এটি কোশচক্রের সর্বাপেক্ষা দীর্ঘস্থায়ী দশা। ইন্টারফেজ দশায় নিউক্লিয়াসটি বিভাজিত হয় না কিন্তু কোশের বিভিন্ন বিপরীত ক্রিয়া নিয়ন্ত্রণে লিপ্ত থাকে। কোশের এই অবস্থাকে স্থির অবস্থা (resting stage) এবং নিউক্লিয়াসটিকে বিপাকীয় নিউক্লিয়াস (metabolic nucleus) বলা হয়। হাওয়ার্ড এবং পেলে (Howard and Pele) 1953 সালে বিপাকীয় কার্যের ভিত্তিতে ইন্টারফেজকে তিনটি উপ-দশায় বিভক্ত করেন। যেমন—G_1, S এবং G_2। ইন্টারফেজ দশার একটি অতি উল্লেখযোগ্য বৈশিষ্ট্য হল ক্রোমোজোমস্থিত DNA-র প্রতিলিপি গঠন (replication), যা ইন্টারফেজের সংশ্লেষ বা S-উপদশায় ঘটে থাকে। এই উপদশার পর নিউক্লিয়াসে DNA-র পরিমাণ পূর্বের (অ্যানাফেজ, টেলোফেজ ও G_1-এর) তুলনায় দ্বিগুণ হয়ে যায়। এই উপদশার আগে ও পরে DNA-র সংশ্লেষ হয় না বলে এদের বলে ছেদ দশা (Gap period)। এর প্রথমটি অর্থাৎ S-উপদশার আগেরটিকে G_1 এবং পরেরটিকে G_2 উপদশা নামে চিহ্নিত করা হয়। G_1 উপদশায় কোশের বিপাকীয় কার্যকলাপ বৃদ্ধি পায়। G_2 উপদশায় কোশের আকার আয়তন প্রায় দ্বিগুণ হয় এবং কোশটি মাইটোসিসের জন্য প্রস্তুত হতে থাকে। কোশ চক্রের নিয়ন্ত্রণে G_1 উপদশার গুরুত্ব অপরিসীম। G_1 উপদশার শেষের দিকে একটি সিদ্ধান্তকারী বিন্দু (Check point) রয়েছে, যেখানে কোশ কোশচক্রের পরবর্তী দশাগুলিতে প্রবেশ করবে কি করবে না সে সম্পর্কে নিশ্চিত হতে পারে। এই স্থানে কোশটি কোশচক্রের পরবর্তী দশাগুলোতে প্রবেশ না করে বিশ্রামরত অবস্থায় অবস্থান করতে পারে, যাকে G_0 উপদশা বলা হয়। এই G_0 উপদশায় কোশটি বিপাকীয় কার্য চালাতে সক্ষম হলেও বিভাজনে অক্ষম। সমগ্র ইন্টারফেজ দশায় নিউক্লিয়াসে ক্রোমোজোম দৃশ্যমান না হলেও ক্রোমাটিন তন্তুরূপে সুতোর মত একপ্রকার গঠন লক্ষ করা যায়, যারা নিজেদের মধ্যে জড়ানো অবস্থায় অবস্থান করে।

11.4 ❑ মাইটোসিসের তাৎপর্য (Significance of mitosis)

এই পদ্ধতির তাৎপর্যগুলি হল —

1. এই প্রকার বিভাজনের ফলে মাতৃকোশের ডিপ্লয়েড (2n) ক্রোমোজোম সংখ্যা অপত্য কোশেও বর্তমান থাকে অর্থাৎ ক্রোমোজোম সংখ্যার নিত্যতা (Constancy) বজায় থাকে।

2. বহু এককোশী জীব যেমন—প্রোটোজোয়া, শৈবাল, ছত্রাক ইত্যাদি মাইটোসিস পদ্ধতির মাধ্যমে জনন প্রক্রিয়ায় বংশবিস্তার করে।

3. সকল বহুকোশী জীবের জীবন শুরু হয় একটিমাত্র কোশ জাইগোট (zygote) দিয়ে। সেই অবস্থা থেকে মাইটোসিস বিভাজনের মাধ্যমেই দেহ-কোশের সংখ্যা বাড়ে এবং দেহের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুটন (development) ঘটে। এর ফলেই জীব ভ্রূণাবস্থা থেকে পরিণত অবস্থাপ্রাপ্ত হয়।

4. বহুকোশী জীবদেহের ক্ষতিগ্রস্থ অংশের মেরামতি (repair) অথবা পুনরুৎপাদনে (regeneration) মাতৃকোশের বিভাজন মাইটোসিস পদ্ধতিতেই হয়ে থাকে।

5. ক্রোমোজোমের সঠিক লম্বালম্বি বিভাজনের দ্বারা সম্পূর্ণ ও সম-সংখ্যাসম্পন্ন অপত্য ক্রোমোজোম (ক্রোমাটিড) দুটি অপত্যকোশে সঞ্চারিত হয়, ফলে প্রত্যেকটি অপত্য কোশে মাতৃকোশের কার্যাবলির ধারা বজায় থাকে। এইভাবে

মাইটোসিস পদ্ধতি জীবের জনন পদ্ধতির (অজাজ ও অযৌন) এক অবিচ্ছেদ্য অংশ হিসেবে বংশগতির ধারাবাহিকতা বজায় রাখে।

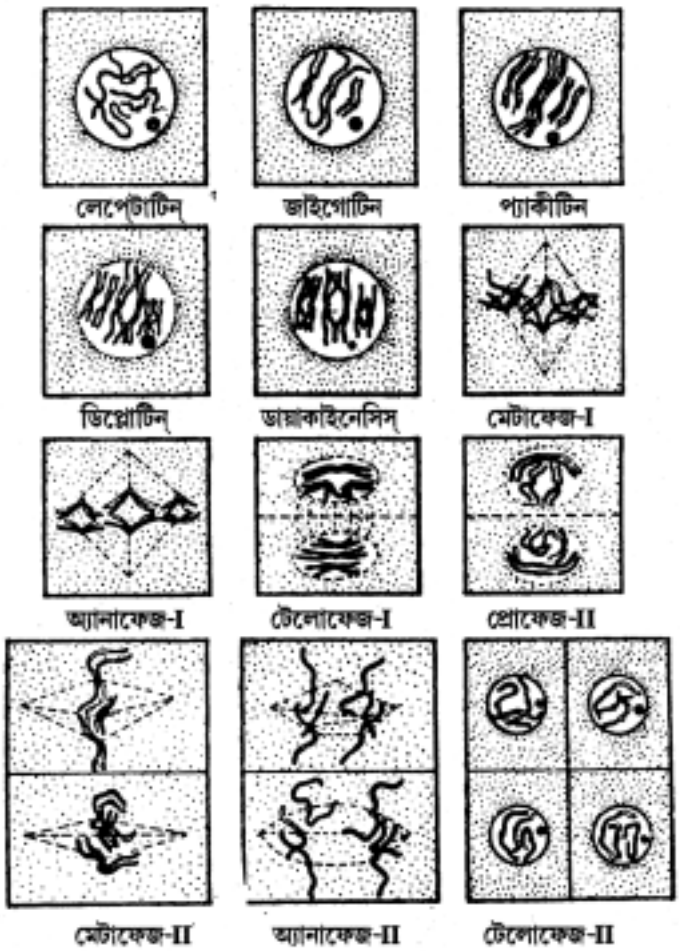
11.5 ❑ মায়োসিস (Meiosis)

বিভাজনের যে পদ্ধতিতে ক্রোমোজোমের বিভাজন একবার ঘটে, কিন্তু নিউক্লিয়াসটি দুইবার বিভাজিত হয় এবং একটি মাতৃকোশ থেকে মাতৃ-কোশের অর্ধেক ক্রোমোজোম সংখ্যা সমন্বিত চারিটি অপত্য কোশের সৃষ্টি হয়, তাকে মায়োসিস (meiosis) বলে।

1887 সালে বোভেরী (Bovery), অ্যাসকারিস (Ascaris) নামক একপ্রকার গোলকৃমির জনন-অঙ্গে এই বিশেষ কোশ-বিভাজনের কথা উল্লেখ করেন। উদ্ভিদের রেণুমাতৃকোশে এই বিভাজনের কথা প্রথম উল্লেখ করেন 1888 সালে স্ট্রাস বারজার (Strasburger)। এই বিশেষ ধরনের কোশ-বিভাজনকে মায়োসিস নামকরণ করেন 1905 সালে বিজ্ঞানী ফার্মার (Farmer)।

যৌন জনন প্রক্রিয়ায় বংশবিস্তারকারী জীবে মায়োসিস বিভাজনের ফলে জনন কোশ বা গ্যামেট (gamete) এবং রেণু কোশ (spore cell) উৎপন্ন হয়। যে কোশে মায়োসিস সম্পন্ন হয় তাকে মায়োসাইট (meiocyte) বলে। সম্ভবতঃ নিউক্লিক অ্যাসিড ও হরমোনের ভারসাম্যের উপর ভিত্তি করে এই বিভাজন সংঘটিত হয়। কোনো কোনো বিজ্ঞানীর মতে কোশে RNA-র অনুপাত DNA অপেক্ষা বেশি হলে মায়োসিস বিভাজন ঘটে, যদিও এটি সঠিক কিনা তা এখনও পর্যন্ত জানা যায়নি।

মায়োসিস বিভাজনের প্রথম ও দ্বিতীয় নিউক্লিয়ার বিভাজনকে যথাক্রমে প্রথম মায়োসিস ও দ্বিতীয় মায়োসিস বিভাজন বলা হয় (চিত্র-3)।



চিত্র-3 : মায়োসিস্ কোশ বিভাজনের বিভিন্ন পর্যায়।

11.5.1 ❑ প্রথম মায়োসিস বিভাজন (First meiotic division)

এই বিভাজনে মাইটোসিসের মতোই চারটি দশা বর্তমান ; যথা—প্রোফেজ-I, মেটাফেজ-I, অ্যানাফেজ-I ও টেলোফেজ-I।

11.5.1.1 ❑ প্রথম প্রোফেজ (Prophase I) :

এই দশাটি সর্বাপেক্ষা দীর্ঘস্থায়ী এবং পাঁচটি উপদশায় বিভক্ত। যথা—লেপ্টোটিন্, জাইগোটিন্, প্যাকীটিন্, ডিপ্লোটিন্ এবং ডায়াকাইনেসিস।

লেপ্টোটিন (Leptotene) :

প্রোফেজের এই উপদশায় নিউক্লিয়াসের জলীয় অংশ হ্রাস পায় এবং নিউক্লিয় জালিকা খুলে নির্দিষ্ট সংখ্যক ক্রোমোজোম সৃষ্টি করে। ক্রোমোজোমগুলি প্রথমে কুণ্ডলীহীন ও দীর্ঘ থাকলে ও পরে ক্রমশ কুণ্ডলীকৃত হতে শুরু করে, ফলে ঘনীভূত হয় এবং দৈর্ঘ্যে হ্রাস পায়। নিউক্লিয়াসের ভিতরে এই সময় অধিক পরিমাণে RNA ও প্রোটিন সংশ্লেষ ঘটে, ফলে নিউক্লিয়াসের আয়তনও ক্রমশ বৃদ্ধি পায়। এই অবস্থায় নিউক্লিয়াসের ক্রোমোজোমসংখ্যাকে ডিপ্লয়েড বা 2n বলা হয় ; অর্থাৎ প্রতিটি ক্রোমোজোম সংখ্যায় দুটি করে উপস্থিত থাকে, এদের বলা হয় সমসংস্থ বা হোমোলোগাস (homologous) ক্রোমোজোম। এই উপদশায় ক্রোমোজোমের গাত্র বরাবর ক্রোমোনিয়ার (chromomere) নামক একপ্রকার দানাদার অংশের নির্দিষ্ট সজ্জারীতি লক্ষ করা যায়। প্রাণী কোশে এই উপদশায় ক্রোমোজোমগুলি একটি নির্দিষ্ট অবস্থায় থাকে। ক্রোমোজোমের শেষ প্রান্ত সেন্ট্রিওলের দিকে এবং অবশিষ্ট অংশ গোলাকার হয়ে ভিতরের দিকে অবস্থান করে, এগুলোকে পোলারাইজড (Polarised) ক্রোমোজোম বলা হয়। বিজ্ঞানী ডারলিংটন (Darlington) ক্রোমোজোমের এইরূপ সজ্জারীতিকে 'ফুলের তোড়া' বা বোকে দশা (bouquet stage) বলে চিহ্নিত করেছেন।

জাইগোটিন্ (Zygotene) :

এই উপদশায় সমসংস্থ ক্রোমোজোমগুলির পরস্পরের মধ্যে আকর্ষণ ঘটে। ফলে প্রত্যেক সমসংস্থ ক্রোমোজোম জোড়া দৈর্ঘ্য বরাবর সমান্তরালভাবে অবস্থান করে প্রথমে আলগাভাবে এবং পরে সুদৃঢ়ভাবে পরস্পরের সাথে মিলিত হয়ে জোড়-বদ্ধ হওয়ার এই পদ্ধতিকে যুগ্মীকরণ বা সাইন্যাপসিস্ (Synapsis) বলা হয়। জোড়-বদ্ধ অবস্থায় প্রতি জোড়া সমসংস্থ ক্রোমোজোমকে বলা হয় বাইভ্যালেন্ট (bivalent)। ক্রোমোজোমের এই জোড়-বদ্ধ হওয়ার পদ্ধতিটি ক্রোমোজোমের শেষ-প্রান্ত, সেন্ট্রোমিয়ার বা অন্তর্বর্তী যে কোনও স্থান থেকে শুরু হতে পারে এবং সেই অনুসারে এই পদ্ধতিকে যথাক্রমে প্রান্তিক বা প্রোটারমিনাল (Proterminal), সেন্ট্রোমেরিক বা প্রোসেন্ট্রিক (Procentric) এবং অন্তর্বর্তী বা ইন্টারমিডিয়ড (intermediate) বলা হয়ে থাকে। সমসংস্থ ক্রোমোজোম দুটির মাঝখানে সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্স (synaptonemal complex) নামক একপ্রকার জটিল গঠন লক্ষ করা যায়, যা এই যুগ্মীকরণ বা সাইন্যাপসিস্-এ উল্লেখযোগ্য ভূমিকা গ্রহণ করে। এই উপদশায় ক্রোমোজোমগুলি আগের থেকে আরও বেশি কুণ্ডলীকৃত হয়, ফলে ক্রোমোজোমের দৈর্ঘ্য ক্রমশ হ্রাস পায় এবং ব্যাস বৃদ্ধি পায়। প্রতি বাইভ্যালেন্টের সমসংস্থ ক্রোমোজোম জোড়া পরস্পরকে জড়িয়ে এক নির্দিষ্ট কুণ্ডলী সৃষ্টি করে, এদের প্যারানেমিক কুণ্ডলী (Paranemic Coil) বলা হয়।

সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্স (Synaptonemal Complex) :

1956 সালে বিজ্ঞানী মনট্রোস মসেস (Montrose Moses) প্রথম ক্রে-মাছের রেণুমাতৃকোশের মধ্যে এই সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্স পরিদর্শন করেন। পরবর্তীকালে ইলেকট্রন অনুবীক্ষণ যন্ত্রের সাহায্যে বিভিন্ন বিজ্ঞানীরা এর সঠিক আণুবীক্ষণীক গঠনের বর্ণনা দেন। সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্স তিনটি অংশ নিয়ে গঠিত—একটি কেন্দ্রীয় উপাদান (Central element) এবং দুটি পার্শ্ববর্তী উপাদান (Lateval element)। পার্শ্ববর্তী উপাদান দুটি প্রায়

500 A° করে চওড়া, কিন্তু কেন্দ্রীয় উপাদানটি অপেক্ষাকৃত কম ঘন ও পাতলা, প্রায় 100–150 A° চওড়া। পার্শ্ববর্তী উপাদান দুটির মাঝখানে ভেতরের দিকে থাকে কেন্দ্রীয় উপাদান এবং সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্সটি বাইরের দিকে পার্শ্ববর্তী উপাদানদুটির সাহায্যে প্রতি পার্শ্বের সমসংস্থ ক্রোমোজোমের সঙ্গে সংযোগ স্থাপন করে। উপযুক্ত রঞ্জক পদার্থের সাহায্যে দেখা গেছে যে পার্শ্ববর্তী উপাদানগুলি প্রধানত DNA ও প্রোটিন দ্বারা গঠিত। এর ফলে মনে করা হয় যে, ক্রোমাটিন তন্তু এই পার্শ্ববর্তী উপাদানের একটি বিশেষ অংশ গঠন করে। কতকগুলি DNA তন্তু এই পার্শ্ববর্তী উপাদানের মধ্য দিয়ে গিয়ে কেন্দ্রীয় উপাদানের সঙ্গে যোগসূত্র স্থাপন করে। কেন্দ্রীয় উপাদানটি প্রধানতঃ প্রোটিন দিয়ে তৈরি। এখন এটি প্রমাণিত সত্য যে সমসংস্থ ক্রোমোজোমের এই যুগ্মীকরণ বা সাইন্যাপসিসে সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্সের ভূমিকা অতি গুরুত্বপূর্ণ। যেমন—পুং ড্রসোফিলায় (Drosophila melanogasten), সাইন্যাপটোনিমাল কমপ্লেক্স তৈরি হয় না বলে সাইন্যাপসিস্ এবং ক্রসিং ওভার কোনোটাই দেখা যায় না।

প্যাকীটিন (Pachytene) :

প্যাকীটিন উপ-দশায় বাইভ্যালেন্টের প্রতিটি ক্রোমোজোম সেন্ট্রোমিয়ার অংশ ব্যতীত দৈর্ঘ্য বরাবর বিভক্ত হয় এবং দুটি করে ক্রোমাটিড নিয়ে গঠিত দেখা যায়। ফলে প্রতিটি বাইভ্যালেন্টে চারটি ক্রোমাটিড দেখা যায় বলে একে টেট্রাড বলা হয়ে থাকে। প্রতি ক্রোমোজোমের দুটি ক্রোমাটিডকে সিস্টার ক্রোমাটিড এবং বাইভ্যালেন্টের প্রতি ক্রোমোজোমের যে কোনো একটি করে ক্রোমাটিড নিয়ে দুটি ক্রোমোজোমের দুটি ক্রোমাটিডকে নন-সিস্টার ক্রোমাটিড বলা হয়। এই উপদশাতে ক্রোমোজোমগুলি আরও ক্ষুদ্র ও স্থূল হয়। এই উপদশার শেষের দিকে সমসংস্থ ক্রোমোজোমগুলির মধ্যে আকর্ষণী শক্তির পরিবর্তে বিকর্ষণী শক্তির উদ্ভব হয়। ফলে বাইভ্যালেন্টের সমসংস্থ ক্রোমোজোমদুটি একে অপরের থেকে পৃথক হতে থাকে কিন্তু দুটি নন-সিস্টার ক্রোমাটিড নিজেদের মধ্যে নানাস্থানে ইংরেজি X-অক্ষরের ন্যায় ক্রুশাকারে সংযুক্ত থাকে। এই সংযোগস্থলগুলিকে বলা হয় কায়াজমাটা (একবচনে—কায়াজমা)। অবস্থান অনুযায়ী কায়াজমা দুইরকম হয়ে থাকে—প্রান্তীয় কায়াজমা (Terminal chiasma), যখন কায়াজমা ক্রোমোজোমের শেষ ভাগে দেখা যায়, এবং মধ্যবর্তী কায়াজমা (interstitial chiasma), যখন ক্রোমোজোমের অন্যান্য ভাগে দেখা যায়। প্রতিটি কায়াজমা অংশে নন-সিস্টার ক্রোমাটিডদ্বয়ের দেহখণ্ডের বিনিময় ঘটে, এই প্রক্রিয়াকে বলা হয় ক্রসিং ওভার (Crossing Over)। স্টার্ন ও হোট্টা (Stern and Hotta) 1969 সালে প্রমাণ করেন যে, এন্ডোনিউক্লিয়েজ নামক উৎসেচক দুটি নন-সিস্টার ক্রোমাটিডকে একই স্থানে ভেঙে দেয় এবং পরবর্তী পর্যায়ে লাইগেজ নামক অপর একটি উৎসেচক ভগ্ন ক্রোমাটিড অংশকে যুক্ত করতে সাহায্য করে। এইভাবে ক্রসিং ওভার ঘটে থাকে।

ডিপ্লোটিন (Diplotene) :

এই উপদশায় বাইভ্যালেন্টের সমসংস্থ ক্রোমোজোম দুটি নিজেদের মধ্যে ক্রমবর্ধমান বিকর্ষণের ফলে ক্রমশ একে অপরের থেকে দূরে সরতে থাকে এবং শুধুমাত্র কায়াজমাটা অংশগুলিতে যুক্ত থাকে। ক্রমে কায়াজমাটা ক্রোমোজোমের

প্রান্তের দিকে সরতে থাকে, কায়াজমার এই স্থান পরিবর্তনকে বলা হয় প্রান্তীয় গমন বা টার্মিন্যালাইজেশান্ (terminalization)। এই উপ-দশায় ক্রোমোজোমগুলি আরও ঘনীভূত হয়।

ডায়াকাইনেসিস্ (Diakinesis) :

কায়াজমার প্রান্তীয় গমন বা টারমিন্যালাইজেশান যা ডিপ্লোটিনে শুরু হয়েছিল এই উপ-দশায় শেষ হয়, অর্থাৎ কায়াজমা বাইভ্যালেন্টের একেবারে প্রান্তে পৌঁছয় এবং অবশেষে বিলুপ্ত হয়ে যায়। কায়াজমা বিলুপ্তির সঙ্গে সঙ্গে নিউক্লীয় পর্দা ও নিউক্লিওলাসের অবলুপ্তি শুরু হয়। প্রাণীকোশে সেন্ট্রোজোম বিভক্ত হয় এবং সেন্ট্রিওল দুইটি মেরু সৃষ্টি করে। ক্রমশ অ্যাস্ট্রাল রশ্মির উদ্ভব হয়। ক্রোমোজোমগুলি দৈর্ঘ্যে আরও ছোটো হতে থাকে।

11.5.1.2 ❑ প্রথম মেটাফেজ (Metaphase I)

এই দশায় নিউক্লিয় পর্দা সম্পূর্ণ বিনষ্ট হয়। মাকু বা স্পিন্ডলের সৃষ্টি হয়। ক্রোমোজোমগুলি দৈর্ঘ্যে সর্বাপেক্ষা ছোটো ও স্থূল হয়। স্পিন্ডল বা মাকুর নিরক্ষীয় তল বা মধ্যরেখা বরাবর বাইভ্যালেন্টগুলি সজ্জিত হয়। বাইভ্যালেন্টের সমসংস্থ ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারগুলি মেরুর দিকে এবং বাহুগুলি নিরক্ষীয় তলে বিস্তৃত থাকে। ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারগুলি ক্রোমোজোম তন্তু দ্বারা মেরুর সঙ্গে এবং বিপরীত মেরু দুটি অবিচ্ছিন্ন তন্তু দ্বারা পরস্পরের সঙ্গে যুক্ত অবস্থায় থাকে।

11.5.1.3 ❑ প্রথম অ্যানাফেজ (Anaphase I)

বাইভ্যালেন্টের সমসংস্থ ক্রোমোজোমগুলির দুইটি বিপরীত মেরুর দিকে গমনের সঙ্গে সঙ্গে এই দশাটি শুরু হয়। এই দশায় প্রতিটি বাইভ্যালেন্ট বা টেট্রাডের অর্ধেক অর্থাৎ একটি সমসংস্থ ক্রোমোজোম বা একজোড়া সিস্টার ক্রোমাটিড, যা ডায়াড (dyad) নামে পরিচিত, একটি মেরুর দিকে যায় এবং টেট্রাডের বাকি অর্ধেক অর্থাৎ অপর সমসংস্থ ক্রোমোজোমটি অপর মেরুর দিকে অগ্রসর হতে থাকে। কিন্তু সেন্ট্রোমিয়ারের বিভাজন না হওয়ায় প্রতিটি মেরুতে ক্রোমোজোম সংখ্যা ডিপ্লয়েড থেকে হ্যাপ্লয়েডে পরিণত হয়। এই কারণে মায়োসিসের প্রথম বিভাজনকে হ্রাস বিভাজন (reductional division) বলা হয়। একটি সমসংস্থ ক্রোমোজোমের অপর সমসংস্থ ক্রোমোজোম থেকে আলাদা হওয়ার এই পদ্ধতিকে পৃথকীকরণ (Disjunction) বলা হয়। এই পৃথকীকরণ পদ্ধতি অবিচ্ছিন্ন তন্তুর দীর্ঘতর হওয়া, ক্রোমোজোমাল তন্তুর ক্রমশ ক্ষুদ্রতর হওয়া এবং ইন্টারজোনাল তন্তুর দীর্ঘতর হওয়ার উপরে নির্ভর করে।

11.5.1.4 ❑ প্রথম টেলোফেজ (Telophase I)

সমসংস্থ ক্রোমোজোমগুলির বিপরীত মেরুর দিকে গমন শেষ হওয়ার সঙ্গে সঙ্গে এই দশা শুরু হয় বিপরীত মেরুতে পৌঁছানোর পর ক্রোমোজোমগুলির কুণ্ডলী ক্রমশ খুলতে থাকে এবং দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেতে থাকে। পুনরায় দুই মেরুতে ক্রোমোজোমগুলিকে ঘিরে নিউক্লীয় পর্দা ও নিউক্লিওলাসের আবির্ভাব ঘটে। এই দশার শেষে সাধারণত

সাইটোকাইনেসিস ঘটে এবং দুইটি অপত্য হ্যাপ্লয়েড কোশ গঠিত হয়। অনেক সময় সাইটোকাইনেসিস মায়োসিসের প্রথম বিভাজনের শেষে না ঘটে দ্বিতীয় বিভাজনের শেষে ঘটে, যেমন ট্রাডেসক্যানসিয়া (Tradescantia)। সাইটোকাইনেসিস হোক বা না হোক, প্রথম মায়োটিক বিভাজনের পর দুইটি কোশ বা দুইটি নিউক্লিয়াস একই সাইটোপ্লাজম অংশে সজ্জিত থাকে, পৃথক হয়ে যায় না। সাইটোকাইনেসিস পদ্ধতিটি মাইটোসিস পদ্ধতির অনুরূপ হয়ে থাকে।

11.5.2 ❑ ইন্টারকাইনেসিস (Interkinesis)

মায়োসিসের প্রথম ও দ্বিতীয় বিভাজনের অন্তর্বর্তী সময়ে দুইটি হ্যাপ্লয়েড অপত্য কোশ বিশ্রাম দশায় চলে যায়, কিন্তু এই সময় কোনও DNAসংশ্লেষ হয় না বলে, এই দশাকে ইন্টারফেজের পরিবর্তে ইন্টারকাইনেসিস বলা হয়।

❑ অনুশীলনী—1 ❑

নীচের তালিকা থেকে শব্দ বা শব্দগুচ্ছ বেছে নিয়ে শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

(a) সর্বপ্রকার মাইটোসিস বিভাজন প্রত্যক্ষ করেন ————।

(b) দেহ-কোশের নিউক্লিয়াস বিভাজনকে বলা হয় ————।

(c) পর পর দুইবার মাইটোসিসের অন্তর্বর্তী দশাকে বলা হয় ————।

(d) বেমতন্তু গঠনকারী অণুনালিকাগুলি ———— নামক প্রোটিন দিয়ে তৈরি।

(e) যে কোশের মধ্যে মায়োসিস হয় তাকে ———— বলে।

(f) মায়োসিসের প্রথম বিভাজনকে ———— বিভাজন বলে।

(টিউবিউলিন, ইন্টারফেজ, ক্যারিওকাইনেসিস, ওয়াল্টার ফ্লেমিং, হ্রস্ব, মায়োসাইট)

11.5.3 ❑ দ্বিতীয় মায়োসিস বিভাজন (Second Meiotic Division)

মায়োসিসের দ্বিতীয় বিভাজন প্রায় মাইটোসিসের ন্যায় হলেও সুনির্দিষ্ট পার্থক্য লক্ষ করা যায়। এই বিভাজনেও প্রোফেজ, মেটাফেজ, অ্যানাফেজ ও টেলোফেজ দশাগুলি বর্তমান কিন্তু প্রথম প্রোফেজের ন্যায় এই প্রোফেজের কোনো উপ-দশা থাকে না। মায়োসিসের দ্বিতীয় বিভাজন পদ্ধতিটি মাইটোসিস পদ্ধতির অনুরূপ হলেও, এটি মাইটোসিসের মত সম্পূর্ণ সদৃশ বিভাজন নয়। মায়োসিসের দ্বিতীয় বিভাজনে দুইটি হ্যাপ্লয়েড কোশ থেকে চারটি হ্যাপ্লয়েড কোশ তৈরি হয়। অর্থাৎ ক্রোমোজোম সংখ্যা একই থাকে। কিন্তু চারটি হ্যাপ্লয়েড কোশের ক্রোমোজোমগুলি সমগুণসম্পন্ন হয় না। মায়োসিসের প্রথম বিভাজনে ক্রসিং ওভারের মাধ্যমে সমসংস্থ ক্রোমোজোমদ্বয়ের নন-সিস্টার ক্রোমাটিডের মধ্যে দেহখণ্ডের আদান প্রদান হওয়ায়, প্রতিটি সমসংস্থ ক্রোমোজোমের সিস্টার ক্রোমাটি দুটি জীনগত ভাবে আলাদা হয়ে পড়ে। মায়োসিসের দ্বিতীয় বিভাজনে এই দুটি সিস্টার ক্রোমাটিড থেকে যে অপত্য ক্রোমোজোম দুটি তৈরি হয় (অ্যানাফেজ-II তে সেন্ট্রোমিয়ারের বিভাজন ও পৃথকীকরণের ফলে), তারাও স্বাভাবিকভাবেই অসমগুণসম্পন্ন হয়ে

থাকে। এইভাবে প্রথম মায়োসিসের ফলে উৎপন্ন দুটি হ্যাপ্লয়েড অপত্য কোশ থেকে দ্বিতীয় মায়োসিস বিভাজনে যে চারটি অপত্য কোশ সৃষ্টি হয় তারা হ্যাপ্লয়েড সংখ্যক ক্রোমোজোম সমন্বিত হলেও ক্রোমোজোমগুলি অসমগুণসম্পন্ন হয়ে থাকে। তাই মায়োসিসের দ্বিতীয় বিভাজনটিকে আংশিকভাবে সদৃশ বিভাজন বলা হয়ে থাকে। মায়োসিস বিভাজনে ডিপ্লয়েড মাতৃকোশের নিউক্লিয়াসটি পরপর দুইবার বিভাজিত হয় মধ্যবর্তী কোনো DNA-সংশ্লেষ দশা ছাড়াই। তাই বিভাজনের পর যে চারটি হ্যাপ্লয়েড অপত্য কোশ সৃষ্টি হয় সেগুলোতে DNA-র পরিমাণ ডিপ্লয়েড মাতৃকোশের অর্ধেক হয়ে যায়।

11.6 ❑ মায়োসিসের তাৎপর্য (Significance of meiosis)

1. **ক্রোমোজোম সংখ্যার হ্রাস ঃ** যৌন জননকারী জীবে মায়োসিস বিভাজন প্রয়োজনীয় ও গুরুত্বপূর্ণ। এই বিভাজনের মাধ্যমেই হ্যাপ্লয়েড রেণু বা গ্যামেট তৈরি হয়। এইরূপ হ্যাপ্লয়েড পুং ও স্ত্রী গ্যামেটের নিষেকের (fertilization) ফলে ডিপ্লয়েড জাইগোট তৈরি হয় এবং প্রজাতির ক্রোমোজোম সংখ্যা নির্দিষ্ট বা ধ্রুবক থাকে। কিন্তু যদি গ্যামেট তৈরি হওয়ার সময় মায়োসিস না ঘটত তাহলে গ্যামেটে ক্রোমোজোম সংখ্যা ডিপ্লয়েডই (2n) থেকে যেত এবং এদের মিলনের মাধ্যমে উৎপন্ন জাইগোটিতে ক্রোমোজোম সংখ্যা 4n হত এবং প্রজাতির ক্রোমোজোমসংখ্যা এইভাবে 4n, 8n, 16n ইত্যাদি গুণিতক হারে বৃদ্ধি পেত। সুতরাং প্রজাতির ক্রোমোজোম সংখ্যা ধ্রুবক রাখতে মায়োসিসের গুরুত্ব অপরিসীম।

2. প্রকরণ বা ভেদ—মায়োসিস বিভাজনে কায়াজমা গঠন এবং ক্রসিং ওভারের ফলে সমসংস্থ ক্রোমোজোমের নন-সিস্টার ক্রোমাটিডের মধ্যে দেহাংশের যে বিনিময় ঘটে, তা এদের জীনগত সজ্জারীতির পরিবর্তন ঘটায়। একে বলা হয় পুনঃসংযোগ (Recombination)। পুনঃসংযোগের দ্বারা এইভাবে প্রজাতির মধ্যে জীনগত প্রকরণ বা ভেদ সৃষ্টি হয় যা নতুন নতুন বৈশিষ্ট্য সৃষ্টিতে সাহায্য করে। এইভাবে একটি প্রজাতির অভিব্যক্তি (Evolution) ঘটে এবং এক প্রজাতি থেকে নতুন উন্নততর প্রজাতির সৃষ্টিও সম্ভবপর হয়।

11.7 ❑ সারাংশ ঃ

এই এককটি পাঠ করে আপনারা জেনেছেন—

- কোশ বিভাজন প্রধানত দুই প্রকার, মাইটোসিস এবং মায়োসিস।
- মাইটোসিস হয় প্রতিটি জীবের দেহকোশে এবং এটি একটি অদৃশ বিভাজন।
- মাইটোসিস পদ্ধতিটি প্রফেজ, মেটাফেজ, অ্যানাফেজ ও টেলোফেজ—এই চারটি দশার সমন্বয়ে গঠিত।
- দেহ-কোশের ক্রোমোজোম-সংখ্যা ধ্রুবক রাখতে, দেহের বৃদ্ধি ও পরিস্ফুটনে এবং ক্ষতস্থান মেরামতিতে মাইটোসিসের গুরুত্ব অপরিসীম।
- যৌন জননকারী জীবে জনন কোশ (রেণু অথবা গ্যামেট) তৈরি হয় মায়োসিস প্রক্রিয়ায়।
- মায়োসিস প্রক্রিয়ায় ক্রোমোজোমসংখ্যা মাতৃকোশের অর্ধেক হয়ে যায়।
- মায়োসিসের ক্রসিং ওভারের ফলে প্রজাতির মধ্যে নতুন বৈশিষ্ট্যের সৃষ্টি হয় এবং প্রজাতির অভিব্যক্তি হয়ে থাকে।

11.8 ❑ সর্বশেষ প্রশ্নাবলি ঃ

নিম্নলিখিত প্রশ্নগুলির উত্তর দিন —

1. কোশবিভাজনের সংজ্ঞা দিন। কোশ-বিভাজন কত প্রকারের ও কী কী?
2. মাইটোসিস পদ্ধতিটি বিশদভাবে আলোচনা করুন।
3. মাইটোসিসের তাৎপর্য ব্যাখ্যা করুন।
4. মায়োসিস পদ্ধতিটি বিশদভাবে আলোচনা করুন।
5. মায়াসিসের তাৎপর্য বুঝিয়ে লিখুন।

11.9 ❑ উত্তরমালা ঃ

❑ অনুশীলনী—1 ❑

(a) ওয়াল্টার ফ্লেমিং
(b) ক্যারিওকাইনেসিস
(c) ইন্টারফেজ
(d) টিউবিউলিন
(e) মায়োসাইট
(f) ট্রাস

সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

1. অনুচ্ছেদ 11.2 দেখুন।
2. অনুচ্ছেদ 11.3 দেখুন।
3. অনুচ্ছেদ 11.4 দেখুন।
4. অনুচ্ছেদ 11.5 দেখুন।
5. অনুচ্ছেদ 11.6 দেখুন।

একক 12 ■ ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং পদ্ধতিসমূহ ও তাদের ব্যবহার

গঠন

12.1 প্রস্তাবনা

12.2 উদ্দেশ্য

12.3 Q-ব্যান্ডিং—প্রথম ব্যান্ডিং পদ্ধতি

12.4 অন্যান্য ব্যান্ডিং পদ্ধতি সমূহ

12.4.1 G-ব্যান্ডিং

12.4.2 C-ব্যান্ডিং

12.4.3 R-ব্যান্ডিং

11.4.4 Hy-ব্যান্ডিং

12.5 ক্রোমোজোম পেন্টিং

12.6 ফ্লুওরেসেন্সে ইন-সিটু হাইব্রিডাইজেশন (FISH)

12.7 ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর ব্যবহার

12.8 সারাংশ

12.9 প্রশ্নমালা

12.10 উত্তর সংকেত

12.1 ❑ প্রস্তাবনা

ইউক্যারিওটিক কোশের প্রতি জোড়া ক্রোমোজোমই স্বতন্ত্র (unique) জিন-সজ্জা সমন্বিত, অর্থাৎ সেগুলির DNA সজ্জা (DNA sequence) তথা রাসায়নিক সংযুক্তিও স্বতন্ত্র। এই কারণে, ক্রোমোজোমগুলিকে সর্বাধিক ঘনীভূত (condensed) দশায় অর্থাৎ মেটাফেজ দশায়, ক্রোমাটিনের সঙ্গে বিক্রিয়াশীল কয়েকটি বিশেষ রঞ্জকের সাহায্যে রঞ্জিত করলে প্রতি জোড়া ক্রোমোজোম স্বতন্ত্রভাবে রঞ্জিত হয়—রঞ্জিত করার ফলে ক্রোমোজোমের DNA-প্রকৃতির ওপর ভিত্তি করে ক্রোমোজোমগুলি পর্যায়ক্রমিক লঘু ও গাঢ় ব্যান্ড বা পটির দ্বারা চিহ্নিত হয়। বিভিন্ন প্রকার রঞ্জক ব্যবহার করে ক্রোমোজোমে ব্যান্ডিং দেখা যেতে পারে। রঞ্জকের রাসায়নিক ধর্মের ওপর ভিত্তি করে বলা যায় ক্রোমোজোমের কোন্ অংশ চিহ্নিত হয়েছে।

12.2 ❑ উদ্দেশ্য

এই এককটি পাঠ করে আপনি —

(i) ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর পদ্ধতি সম্পর্কে সাধারণ ধারণা লাভ করবেন।

(ii) বিভিন্ন ধরনের ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং সম্পর্কে প্রাথমিক ধারণা লাভ করবেন।

(iii) ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর ব্যবহারিক তাৎপর্য সম্পর্কে সাধারণ ধারণা লাভ করবেন।

12.3 ❑ Q-ব্যান্ডিং—প্রথম ব্যান্ডিং পদ্ধতি

1969 খ্রিস্টাব্দে সুইডেনের বিজ্ঞানী টি. ও. ক্যাসপারসন (T.O. Caspersson) ও তাঁর সহযোগীগণ সর্বপ্রথম ব্যান্ডিং প্রক্রিয়ার মাধ্যমে মানুষের ক্রোমোজোম (human chromosomes) গুলিকে পৃথক পৃথক ভাবে চিহ্নিত করেন।

ক্যাসপারসন ক্যুইনাক্রাইন (quinacrine) নামক ফ্লুওরেসেন্ট রঞ্জক (fluorescent dye) ব্যবহার করে মানুষের ক্রোমোজোমগুলিকে রঞ্জিত করেন। রঞ্জিত ক্রোমোজোমগুলিকে অতি-বেগুনি রশ্মির (Ultra-violet light) সাহায্যে পর্যবেক্ষণ করলে হলুদ বর্ণের ফ্লুওরেসেন্ট পর্যায়ক্রমিক লঘু ও ঘন ব্যান্ডিং (light & dark banding) ধরন পরিলক্ষিত হয়। এই ব্যান্ডিং পদ্ধতিকে বলা হয় Q-(quinacrine) ব্যান্ডিং (Q-banding) মানুষের প্রতি জোড়া ক্রোমোজোমের Q-ব্যান্ডিং ধরন (pattern) স্বতন্ত্র্য (unique)।

এই আবিষ্কারের পর থেকেই বিভিন্ন ইউক্যারিওটিক জীবের Q-ব্যান্ডিং বিশ্লেষণ করা হয়।

ক্যুইনাক্রাইন রঞ্জকটি ক্রোমোজোমের অ্যাডেনিন-থাইমিন সমৃদ্ধ (AT rich) এবং গুয়ানিন-সাইটোসিন সমৃদ্ধ (GC rich) উভয়প্রকার অঞ্চলের সঙ্গেই সংযুক্ত হয়, কিন্তু কেবলমাত্র AT-ক্যুইনাক্রাইন যৌগ (AT-quinacrine complex) টিই ফ্লুওরেসেন্স প্রদর্শন করে (fluoresecens)। যেহেতু, ক্রোমোজোমের হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি মূলত অপেক্ষাকৃত ভাবে অধিকতর AT-সমৃদ্ধ, তাই প্রধানত হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলিই Q-ব্যান্ডিং-এ ঘন ব্যান্ডিং বা পটি প্রদর্শন করে।

12.4 ❑ অন্যান্য ব্যান্ডিং পদ্ধতিসমূহ

সমসাময়িক কালে, 1970-এর দশকে, ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর অনেকগুলি পদ্ধতি আবিষ্কৃত হয়। ক্রোমোজোমগুলির প্রাক্-রঞ্জিতকরণ বিক্রিয়া (pre-treatment of the chromosomes) এবং ব্যবহৃত রঞ্জক বা ফ্লুওরোক্রোম (dye or fluorochrome)-এর ওপর ভিত্তি করে পদ্ধতিগুলির নামকরণ করা হয়েছে। এগুলির মধ্যে বহুল ব্যবহৃত ও সাধারণ পদ্ধতিগুলি হল—G-ব্যান্ডিং, C-ব্যান্ডিং, R-ব্যান্ডিং, Hy-ব্যান্ডিং ইত্যাদি।

12.4.1 ❑ G-ব্যান্ডিং (G-banding)

ক্যুইনাক্রাইন জাতীয় ফ্লুওরেসেন্ট ধর্মী রঞ্জক যেমন DAPI (4-6-ডাইঅ্যামিডিনো-2-ফিনাইলইন্ডোল) বা ক্রোমোমাইসিন-A (chromomycin-A) ইত্যাদি ব্যবহার করে সুনির্দিষ্ট ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং ধরন পাওয়া সম্ভব হলেও এই রঞ্জকগুলি বহুমূল্য, উপরন্তু ফ্লুওরেসেন্ট ব্যান্ডিং পর্যবেক্ষণের জন্য বিশেষ ধরনের ফ্লুওরেসেন্ট মাইক্রোস্কোপ (fluorescent microscope) ব্যবহার অপরিহার্য। এই কারণে সাধারণ যৌগিক মাইক্রোস্কোপে পর্যবেক্ষণের জন্য অপেক্ষাকৃত সহজলভ্য রঞ্জক ব্যবহার করে ব্যান্ডিং পদ্ধতিগুলি অধিক জনপ্রিয়তা লাভ করে। G-ব্যান্ডিং বা জিয়েমসা ব্যান্ডিং (Giemsa banding) এগুলির মধ্যে অন্যতম।

G-ব্যান্ডিং পদ্ধতি হল মানুষ সহ সকল প্রাণীর ক্রোমোজোম রঞ্জিতকরণের মূল ব্যবহৃত পদ্ধতি (main

staining method) এই পদ্ধতিতে ক্রোমোজোমগুলিকে প্রথমে ট্রিপসিন-উৎসেচকের লঘু দ্রবণে কিছুক্ষণ রাখা হয় (ক্রোমোজোমের প্রোটিন অংশগুলিকে (denature) বা স্বাভাবিকত্ব বিনষ্ট করার জন্য পরে ক্রোমোজোমগুলি নীল বর্ণের জিয়েমসা দ্রবণ দ্বারা রঞ্জিত করা হয়। প্রতি জোড়া ক্রোমোজোম পুনরুৎপাদনযোগ্য বিশেষ চরিত্রের লঘু ও ঘন ব্যান্ড (light & dark band) দর্শায়। এই ব্যান্ডিং পদ্ধতির দ্বারা মানুষের 23 জোড়া ক্রোমোজোমকে সহজেই শনাক্ত করা যায়। এই কারণে এই পদ্ধতিটি চিকিৎসা-সংক্রান্ত কোশ-বংশগতি বিদ্যায় (clinical cytogenetics) বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

কিন্তু উদ্ভিদ ক্রোমোজোমে এই পদ্ধতি ব্যবহার করা যায় না। এই পদ্ধতিতে রঞ্জিত উদ্ভিদ ক্রোমোজোমগুলি সমভাবে রঞ্জিত হয় (uniformly stained)–লঘু ও ঘন ব্যাণ্ড সৃষ্টি হয় না। কারণ হিসাবে বলা হয় যে মেটাফেজ দশায় উদ্ভিদ ক্রোমোজোমগুলির DNA এত ঘনভাবে সংবন্ধ (condensed) থাকে যে জিয়েমসা রঞ্জকটির আলোকচরিত্রের কারণে (optical reason) লঘু ও ঘন ব্যান্ড সৃষ্টি হয় না—সম্পূর্ণ ক্রোমোজোমটিই ঘনভাবে রঞ্জিত হয়।

12.4.2 ❑ C-ব্যান্ডিং (C-banding)

এই পদ্ধতিতেও ক্রোমোজোমগুলিকে জিয়েমসা রঞ্জক দ্বারাই রঞ্জিত করা হয়। ক্রোমোজোমগুলিকে রঞ্জিত করার পূর্বে ক্ষারীয় মাধ্যমে কিছুক্ষণ রাখা হয়। এর ফলে DNA-টি প্রায় সম্পূর্ণরূপে পিউরিন বেস বিযুক্ত (depurination) হয়। এরূপ ক্রোমোজোমকে জিয়েমসা দ্বারা রঞ্জিত করলে ক্রোমোজোমের হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি (মূলত কনস্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি) গাঢ়ভাবে রঞ্জিত হয় ও বাকি অংশগুলি হালকাভাবে রঞ্জিত হয়ে বিশেষ ধরনের লঘু ও ঘন ব্যান্ড সৃষ্টি করে।

এই ব্যান্ডিং প্রক্রিয়ার সাহায্যে মূলত কনিস্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন (constutive heterochromatin) বিশেষভাবে সেন্ট্রোমিয়ার (centromere) অঞ্চল চিহ্নিত হয় বলে এই পদ্ধতিটিকে C-ব্যান্ডিং পদ্ধতি (C-banding technique) বলা হয়। অবশ্য ক্রোমোজোমের অন্যান্য কনস্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি যথা—টেলোমিয়ার বা নিউক্লিওলার অর্গানাইজিং অঞ্চলসমূহ-ও (nucleolar organizing regions—NORS) C-ব্যান্ডিং দ্বারা সুনিশ্চিতভাবে চিহ্নিত সম্ভব। উদ্ভিদ ক্রোমোজোমের চারিত্রিক বৈশিষ্ট্য নিরূপণে (characterization) এই ব্যান্ডিং পদ্ধতি বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়।

12.4.3 ❑ R-ব্যান্ডিং (R-banding)

এই পদ্ধতিতে G-ব্যান্ডিং-এ প্রাপ্ত লঘু ও ঘন ব্যান্ড ধরনের পরিপূরক বা বিপ্রতীপ (reverse) ধরনের ব্যান্ড পাওয়া যায়। এই পদ্ধতিতে মূলত ক্রোমোজোমের ইউক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি গাঢ়ভাবে রঞ্জিত হয় ও হেটেরোক্রোমাটিন অঞ্চলগুলি হালকাভাবে রঞ্জিত হয়।

G-ব্যান্ডিং-এর বিপ্রতীপ (reverse) ধরনের ব্যান্ডিং উৎপন্ন হয় বলে এই পদ্ধতিটিকে R-ব্যান্ডিং পদ্ধতি বলা হয়।

জিয়েমসা রঞ্জক দ্বারা রঞ্জিতকরণের পূর্বে ক্রোমোজোমগুলিকে উষ্ণ (85°C – 90°C) ফসফেট বাফারে (phosphate buffer) রাখা হয়। ফলে DNA-এর স্বাভাবিকত্ব নষ্ট হয়।

12.4.4 ❑ Hy-ব্যান্ডিং (Hy-ব্যান্ডিং)

এই পদ্ধতিটি উদ্ভিদ কোশের ক্ষেত্রে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়। ক্রোমোজোমগুলিকে উষ্ণ হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডে (HCl) কিছুক্ষণ রেখে অ্যাসিটিক অ্যাসিড কারমিন রঞ্জকে রঞ্জিত করা হয়। এক্ষেত্রে ব্যান্ডিং ধরন (pattern) C-ব্যান্ডিং ধরনের থেকে পৃথক হয়।

এই সকল বহুল ব্যবহৃত পদ্ধতি ছাড়াও ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর অন্যান্য পদ্ধতিও গবেষণার বিশেষ প্রয়োজনে ব্যবহৃত হয়।

12.5 ❑ ক্রোমোজোম পেন্টিং (Chromosome painting)

পূর্বে বর্ণিত ব্যান্ডিং প্রক্রিয়াগুলি সম্পূর্ণ ক্রোমোজোমের বিশেষ অঞ্চলগুলি পৃথকভাবে চিহ্নিতকরণে সক্ষম হলেও বিশেষ DNA সজ্জাকে চিহ্নিত করতে অক্ষম। এ-কারণে ফ্লুওরেসেন্ট রঞ্জক যুক্ত বিশেষ DNA সজ্জার পরিপূরক প্রোব (probe) দ্বারা ক্রোমোজোমের আণবিক সংকরায়ণ (molecular hybridization) ঘটিয়ে ক্রোমোজোমের বিশেষ DNA সজ্জাকে চিহ্নিত করা যায়। এভাবে সম্পূর্ণ ক্রোমোজোমটির বিভিন্ন অংশ বিভিন্ন প্রকার প্রোব দ্বারা সংকরায়ণ করালে প্রোবে সংযুক্ত বিভিন্ন রঞ্জক দ্বারা সমগ্র ক্রোমোজোমটি বহুবর্ণ সমন্বিত হয়—এই প্রক্রিয়াকে বলে ক্রোমোজোম পেন্টিং। কোনো বিশেষ জিনের উপস্থিতি, কার্যকারিতা ও অন্যান্য জিনের সঙ্গে সেটির সম্পর্ক নিরূপণের জন্য এই প্রক্রিয়া বিশেষভাবে ব্যবহার্য্য। (Probe—যাহা দ্বারা পরীক্ষা করা যায়, সেইরূপ রাসায়নিক দ্রব্য)।

12.6 ❑ ফ্লুওরেসেন্স ইন-সিটু হাইব্রিডাইজেশন (Fluorescence In-situ hybridization) ; FISH

1969 খ্রিস্টাব্দে গল ও পারডু (Gall & Pardue) নামক দুই বিজ্ঞানী সর্বপ্রথম এই পদ্ধতি বর্ণনা করেন। ফ্লুওরেসেন্ট রঞ্জকযুক্ত বিশেষ DNA-সজ্জার পরিপূরক প্রোব দ্বারা উক্ত DNA খণ্ডটিকে চিহ্নিত করা হয়। লক্ষণীয় এই পদ্ধতিতে কেবলমাত্র একই প্রকার probe ব্যবহার করা, যেখানে ক্রোমোজোম painting ও বহু প্রকার probe ব্যবহৃত হয়। গল ও পারডু যখন পদ্ধতিটি আবিষ্কার করেন তখন তারা probe-এ radioactive isotope ব্যবহার করেছিলেন (fluorescent রঞ্জক নয়) এবং তার শনাক্তকরণের জন্য autoradiography-এর আশ্রয় নেয়। উল্লেখযোগ্য DNA সংকরায়ণের জন্য তারা ক্ষার যৌগের (alkali) ব্যবহার করেন। এবং সেই সূত্রেই তারা প্রথম G-ব্যান্ডিংও আবিষ্কার করেন।

সাধারণ ব্যান্ডিং পদ্ধতিগুলি (যথা—C-ব্যান্ডিং, G-ব্যান্ডিং ইত্যাদি) দ্বারা কেবলমাত্র মেটাফেজ

ক্রোমোজোমের ব্যান্ডিং ধরন পাওয়া যায়, কিন্তু FISH প্রক্রিয়ার মাধ্যমে আরও সূক্ষ্ম ক্রোমোজোম অঞ্চলের চিহ্নিতকরণ সম্ভব। তাই এই পদ্ধতিকে উচ্চ রেজোলিউসন (high resolution) ব্যান্ডিংও বলা হয়।

12.7 ❑ ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর ব্যবহার

ক্রোমোজোমের ব্যান্ডিং ধরনের পরীক্ষার মাধ্যমে নিম্নলিখিত বিষয়গুলি সম্পর্কে ধারণা করা যায়—

(i) ক্রোমোজোমের জিন সংযুক্তি।
(ii) ক্রোমোজোমের গঠনগত চরিত্র।
(iii) ক্রোমোজোমের গঠনগত ত্রুটি ও বিভিন্ন রোগ লক্ষণের সঙ্গে তার কার্যকারণ সম্পর্ক।
(iv) সিস্টার ক্রোমাটিড বিনিময় (sister chromatid exchance)।
(v) ক্রোমোজোমের গঠনগত ও সংখ্যাগত অস্বাভাবিকতা।
(vi) ক্রোমোজোমের উৎপত্তি ও বিবর্তন।
(vii) বিভিন্ন উদ্ভিদ ও প্রাণীগোষ্ঠীর আন্তঃসম্পর্ক।
—সাইটোট্যাক্সোনমি (Cytotaxonomy) ইত্যাদি।

12.8 ❑ সারাংশ

ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং পদ্ধতিগুলি গবেষণার কাজে বিশেষ সহায়ক। মানুষের ক্রোমোজোমের ব্যান্ডিং ধরন পর্যালোচনা করে ক্রোমোজোম ঘটিত বিভিন্ন রোগ সম্পর্কে ধারণা লাভ করা যায়। উদ্ভিদের ক্রোমোজোমের ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি এখনও বহুল ব্যবহৃত নয়, তবে বিবর্তন ও বিভিন্ন শারীরবৃত্তীয় প্রক্রিয়ার অনুসন্ধানে এই পদ্ধতি বর্তমানে অধিকমাত্রায় ব্যবহৃত হচ্ছে।

12.9 ❑ প্রশ্নমালা

A. সংক্ষেপে উত্তর দিন ঃ

1. ক্রোমোজোম-ব্যান্ডিং প্রক্রিয়ার রাসায়নিক ভিত্তি কী?
2. Q-ব্যান্ডিং সম্পর্কে টীকা লিখুন।
3. উদ্ভিদ ক্রোমোজোমে G-ব্যান্ডিং করা যায় না কেন?
4. ক্রোমোজোমের কোন্ কোন্ অংশ C-ব্যান্ডিং দ্বারা চিহ্নিত করা যায়?
5. R-ব্যান্ডিং-এর নামকরণ এরূপ কেন?
6. FISH কী?
7. ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং-এর কয়েকটি ব্যবহার লিখুন।

B. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

1. ক্যুইনাক্রাইন একপ্রকার ———— রঞ্জক।

2. C-ব্যান্ডিং দ্বারা মূলত ক্রোমোজোমের ———— ———— অঞ্চল চিহ্নিত হয়।
3. ফ্লুওরেসেন্ট ব্যান্ডিং পর্যবেক্ষণের জন্য ———— মাইক্রোস্কোপ প্রয়োজন।
4. FISH-কে ———— ব্যান্ডিংও বলা হয়।

C. বাম ও ডানদিকের অর্থবোধক সমন্বয় সাধন করুন ঃ

বামদিক	ডানদিক
1. ক্যাসপারসন	A. চিকিৎসা ক্ষেত্রে বহুল ব্যবহৃত।
2. G-ব্যান্ডিং	B. কনস্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন।
3. C-ব্যান্ডিং	C. ক্রোমোজোম পেন্টিং।
4. সেন্ট্রোমিয়ার, টেলোমিয়ার ও NOR	D. Q-ব্যান্ডিং।
5. আণবিক সংকরায়ণ	E. উদ্ভিদ ক্রোমোজোম ব্যান্ডিং।

12.10 ❑ উত্তর সংকেত

A. 1. 12.1 দ্রষ্টব্য।
2. 12.3 ,,
3. 12.4.1 ,,
4. 12.4.2 ,,
5. 12.4.3 ,,
6. 12.6 ,,
7. 12.7 ,,

B. 1. ফ্লুওরেসেন্ট
2. কনস্টিটিউটিভ হেটেরোক্রোমাটিন
3. ফ্লুওরেসেন্ট
4. হাইরেজোলিউশন

C. 1—D ; 2—A ; 3—E ; 4—B ; 5—C

একক 13 ■ অ্যান্টিবডি ও তার ব্যবহার

গঠন

13.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

13.3 অ্যান্টিবডি আবিষ্কার

13.3 অ্যান্টিবডির গঠন

13.3.1 অ্যান্টিবডির হালকা শৃঙ্খলের গঠন

13.3.2 অ্যান্টিবডির ভারী শৃঙ্খলের গঠন

13.4 অ্যান্টিবডির অ্যান্টিজেন ধর্ম

13.5 অর্জিত অনাক্রম্যতার মাধ্যমে সেরামে অ্যান্টিবডি সৃষ্টি

13.6 গবেষণাগারে নির্দিষ্টতা সম্পন্ন বিশেষ ধরনের মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টি

13.6.1 মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পদ্ধতি

13.7 অ্যান্টিবডির ব্যবহার

13.8 সারাংশ

13.9 প্রশ্নাবলি

13.10 উত্তর সংকেত

❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

অনাক্রম্যতার (Immunity) মাধ্যমে একজন মানুষ (বা কোনো মেরুদণ্ডী প্রাণী) কোনো একটি ছোঁয়াচে (Infectious) রোগ থেকে সুস্থ হয়ে উঠলে, পরবর্তীকালে সেই বিশেষ রোগটিকে প্রতিরোধ করতে পারে। ল্যাটিন শব্দ 'immunis' অর্থ ব্যাতিরেকে (exempt) হল ইংরেজি শব্দ Imnunity-এর উৎপত্তিস্থল।

খ্রিস্টপূর্ব বহু শতাব্দী ধরে এই অনাক্রম্যতার তত্ত্ব মানুষের মনে প্রায় লোকগাথার আকারে ছিল। 1798 সালে ব্রিটিশ চিকিৎসাবিদ এডওয়ার্ড জেনার জলবসন্ত বা গুটিবসন্তের (Smallpox) টিকা (যা তদ্‌পূর্বে চিন ও টার্কি দেশে একেবারে অবৈজ্ঞানিক পদ্ধতিতে প্রচলিত ছিল) প্রচার করেন। এরও প্রায় 100 বছর বাদে লুই পাস্তুর এই টিকাকরণ পদ্ধতিতে অণুজীববিদ্যার (Microbiology) প্রয়োগ ঘটান এবং মুরগীর কলেরা এবং পশুপক্ষী ও মানুষের ভয়ানক অ্যানথ্রাক্স রোগের এইরূপ টিকাকরণের সাফল্যে, অনাক্রম্যতা সম্বন্ধীয় বিজ্ঞান Immunology-তে সারা পৃথিবীর মানুষ আগ্রহী হয়ে ওঠে।

যদিও পাস্তুর এই অণুজীববিদ্যা প্রযুক্তি ব্যবহার করে টিকা বা vaccine তৈরি করেন, এই টিকার কার্যকারিতার সম্পর্কে প্রথম ব্যাখ্যা দেন এমিল ভন বেহরিং এবং শিবাসাবুড়ো কিটাসাতো (1890)। তাঁরা দেখান যে, টিকাকরণ করা প্রাণীর সেরাম (রক্তের রক্তকণিকা বিহীন অংশ) টিকাকরণ করা হয়নি এমন সাধারণ প্রাণীতে অনাক্রম্যতা প্রতিস্থাপন করতে পারে। তাঁরা সেরামের এই বিশেষ বৈশিষ্ট্যকে সেরাম অ্যান্টিটক্সিন (Serum antitoxin) নামকরণ করেন এবং 1901 সালে এই কাজের জন্য বেহরিং নোবেল পুরস্কার পান।

এই সেরামস্থিত বিশেষ বস্তুটি, যাহা, অণুজীবের টক্সিন বা বিষকে নিষ্ক্রিয় করতে পারে, অধঃক্ষেপ (precipitation) ঘটায়, অণুজীবকে ধ্বংস করে, অধঃক্ষেপ (agglutination) ঘটায় তাকে নানা নামে অভিহিত করেন বিজ্ঞানীরা, যেমন অ্যান্টিটক্সিন, প্রেসিপিটিন (Precipitin), অ্যাগ্লুটিনিন বা ব্যাকটেরিওলাইসিন (Bacterolysin)।

1930-এর দশকে এই সবকটি বৈশিষ্ট্যবিশিষ্ট সেরামে উপস্থিত বস্তুটিকে অ্যান্টিবডি (Antibody) নামক একটি প্রোটিন হিসাবে গণ্য করা শুরু হয়।

উদ্দেশ্য ঃ এই একক অধ্যয়ন করলে আপনি —

(1) অনাক্রম্যতা সম্বন্ধে জানতে পারবেন।

(2) অ্যান্টিবডির সৃষ্টি ও গঠন সম্বন্ধে জানতে পারবেন।

(3) অ্যান্টিবডির প্রকারভেদ সম্পর্কে অবহিত হবেন।

(4) মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পদ্ধতি জানবেন।

(5) অ্যান্টিবডির বিভিন্ন ব্যবহারিক দিকগুলি সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

❑ অ্যান্টিবডি আবিষ্কার

অনাক্রম্যতার প্রধান অস্ত্র অ্যান্টিবডি এবং এদের সৃষ্টির পদ্ধতিকে বলা হয় হিউমোরাল (Humoral) অনাক্রম্যতা। কারণ এরা মূলতঃ সেরামে যা একপ্রকার দেহকলারস (গ্রিক ভাষায় কলারসকে 'Humors' বলে) থাকে। টিসেলিয়াস (Tiselius) এবং কাবাত (Kabat) নামক দুই বিজ্ঞানী 1939 সালে সেরামের ইলেকট্রোফোরেসিস (Electrophoresis) করে সেরামের উপাদানগুলিকে পৃথকীকরণ করেন। এই উপাদানগুলির মধ্যে অ্যালবুমিন (রক্তকোশের খাদ্য প্রোটিনবিশেষ) এবং তিন ধরনের গ্লোবিউলিন (Globulin) প্রোটিন যথা আলফা (α), বিটা (β) এবং গামা (γ) পাওয়া যায়। এই সেরামের মধ্যে γ গ্লোবিউলিন উপাদানটিই আসলে অ্যান্টিবডি। তাই এই বিশেষ প্রোটিনটিকে ইমিউনো গ্লোবিউলিন (Immunoglobulin) বা Ig বলা হয়।

যে পরীক্ষার মাধ্যমে টিসেলিয়াস ও কাবাত গামা গ্লোবিউলিনকেই অ্যান্টিবডি রূপে চিহ্নিত করেন সেটি নিম্নরূপ ঃ

γ গ্লোবিউলিনকে অ্যান্টিবডি হিসাবে চিহ্নিত করার পরীক্ষা ঃ

পরীক্ষা ঃ (1) টিসেলিয়াস ও কাবাত ওভ্যালবুমিন (Ovalbumin, OVA) নামক প্রোটিন দ্বারা খরগোশকে নির্দিষ্ট নিয়মে টিকাকরণ বা Immunization করেন।

(2) এরপর খরগোশ থেকে রক্ত সংগ্রহ করে তার থেকে সেরাম অংশকে আলাদা করা হয়।

চিত্র ঃ সেরাম

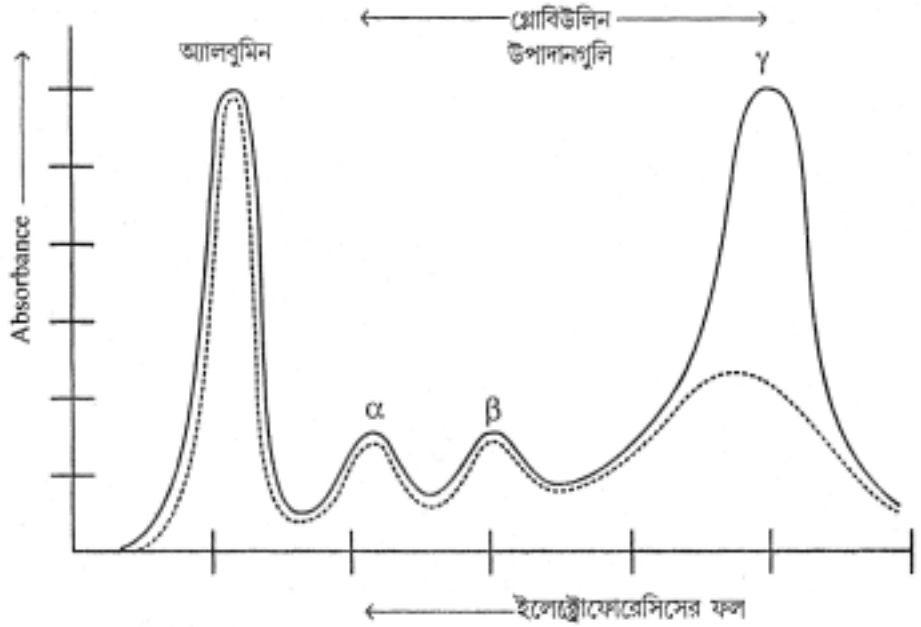
(3) সেরামের একটি অংশকে আলাদা টিউবে নিয়ে তার সাথে OVA প্রোটিনকে মিশ্রিত করে 37°C-এ এক ঘণ্টা রাখা হল। এই পদ্ধতিকে বলা হয় ইনকিউবেশন (Incubation)।

(4) সেরামের দুই রকম অংশকেই ইলেক্ট্রোফোরেসিস করা হয়।

(5) সেরামের যে অংশের সাথে OVA প্রোটিনকে মিশ্রিত করা হয়েছে তাকে সেন্ট্রিফিউজ (Centrifuge) করে ওপরের অংশটি নিয়ে নেওয়া হয়।

(6) OVA মিশ্রিত ও OVA অমিশ্রিত দুইটি সেরাম অংশের ইলেকট্রোফোরেসিসের মাধ্যমে পৃথকীকৃত উপাদানগুলির আলোক বিশ্লেষণ বা Spectrophotometric analysis করা হয় Absorbance মাপার মাধ্যমে।

পর্যবেক্ষণ ঃ



চিত্র ঃ অখণ্ডিত রেখাটি সেরামের OVA অমিশ্রিত অংশের প্রতিকৃতি (Pattern)। খণ্ডিত রেখাটি সেরামের OVA মিশ্রিত অংশের। চিত্রে দেখা যাচ্ছে যে OVA মিশ্রিত অংশের সেরামে γ-গ্লোবিউলিন উপাদানের পরিমাণ কমে গেছে।

সিদ্ধান্ত ঃ সেরামের γ গ্লোবিউলিন OVA-এর সাথে মিশ্রিত হয়ে অধঃক্ষেপিত হয়েছে যা সেন্ট্রিফিউজ পদ্ধতিতে আলাদা হয়ে যাওয়ায় সেরামে γ গ্লোবিউলিনের পরিমাণ কমে গেছে। সুতরাং OVA প্রোটিন দ্বারা টিকাকরণ করায় খরগোশের সেরামে অ্যান্টি OVA অ্যাগ্লুটিনিন বা অ্যান্টিবডি তৈরি হয়েছে যা সেরামের উপাদানগুলির মধ্যে শুধুমাত্র গামা-গ্লোবিউলিন অংশেই প্রকাশিত হয়েছে।

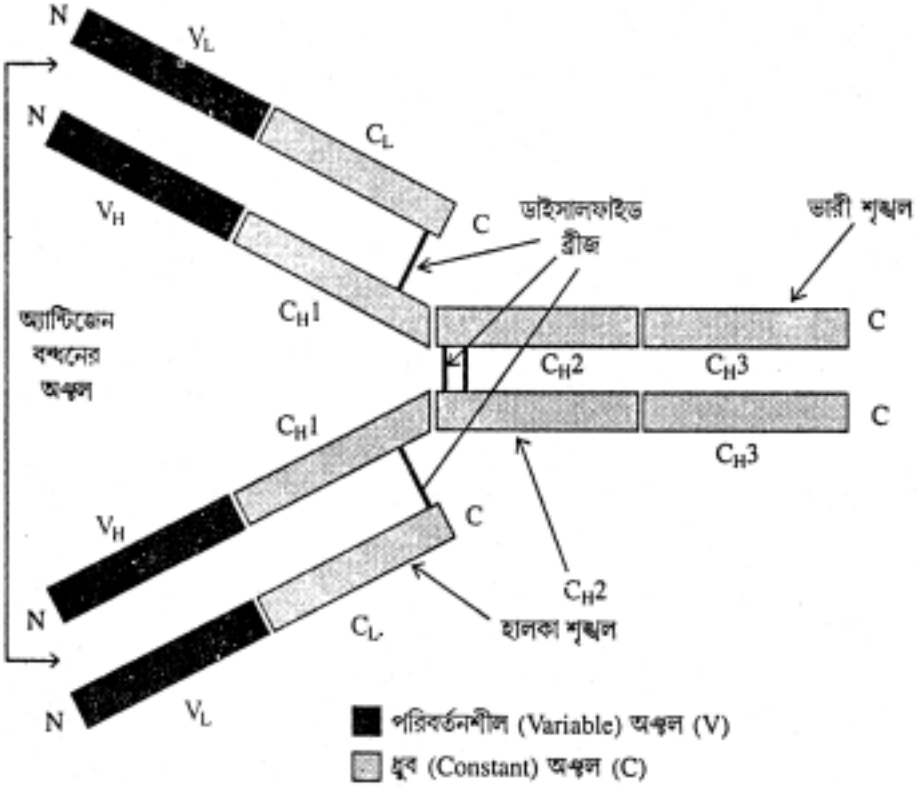
এর থেকে প্রমাণিত হয়, যে গামা-গ্লোবিউলিন-ই হল সেরাম অ্যান্টিবডি।

❑ অ্যান্টিবডি বা ইমিউনোগ্লোবিউলিন (Ig)-এর গঠন

এরপর 1950-এর দশকে রডনি পোর্টার ও 1960-এর দশকে গেরাল্ড এডেলম্যান Ig প্রোটিনের আণবিক গঠন সম্পর্কে আলোকপাত করেন। 1972 সালে এই কারণে দুইজনকেই নোবেল পুরস্কারে ভূষিত করা হয়।

পোর্টার Ig অণুকে উৎসেচকের সাহায্যে খণ্ডিত করেন। অন্যদিকে এডেলম্যান Ig অণুর মধ্যে থাকা অন্তঃশৃঙ্খল

(Interchain) ডাইসালফাইড বন্ধনী (S–S) গুলিকে বিজারিত করে Ig-এর পলিপেপটাইড শৃঙ্খলগুলিকে আলাদা করেন।



চিত্র : অ্যান্টিবডি বা ইমিউনোগ্লোবিউলিন (Ig)-এর গঠন

V_H—ভারী শৃঙ্খলের পরিবর্তনশীল অঞ্চল (variable domain)

C_H1, C_H2 এবং C_H3—ভারী শৃঙ্খলের ধ্রুব অঞ্চল 1, 2 এবং 3

V_L—হালকা শৃঙ্খলের পরিবর্তনশীল অঞ্চল

C_L—হালকা শৃঙ্খলের ধ্রুব অঞ্চল

গামা গ্লোবিউলিনকে আলট্রাসেন্ট্রিফিউজ বা অতিরিক্ত গতিসম্পন্ন সেন্ট্রিফিউজ দ্বারা অধঃক্ষেপিত করা হলে দুই ধরনের অংশে বিভক্ত হয়। একটি বেশি সেডিমেন্টেশন কো-এফিসিয়েন্ট (19S) যুক্ত, অন্যটি 7S। এই ছোটো অংশের আণবিক ভর 1,50,000 ডালটন। এটিকেই ইমিউনোগ্লোবিউলিন G বা IgG বলে।

চিত্র থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, প্যাপেন নামক উৎসেচক দ্বারা বিশ্লেষিত IgG থেকে দুটি সম-আকৃতির খণ্ডক (Fragment) এবং একটি ভিন্ন আকৃতির খণ্ডক পাওয়া যায় (চিত্র)। সমআকৃতির খণ্ড দুটিকে Fab বলে যেহেতু আর্দ্রবিশ্লেষণের পরও এই খণ্ডক দুটি "অ্যান্টিজেন" (প্রতিলিপি)-এর সাথে যুক্ত হতে পারে। Fab অর্থ ফ্র্যাগমেন্ট অ্যান্টিজেন বাইন্ডিং (Fragment antigen binding)। প্রতিটি Fab খণ্ডকের আণবিক ভর

45,000। অন্যদিকে আর একটি খণ্ডক যেটি Fab-এর থেকে ভিন্ন আকৃতির সেটি ঠান্ডায় রাখলে কেলাসে (crystal) পরিণত হয় বলে এটিকে Fc (Fragment Crystallizible) বলে। এটির আণবিক ভর (Mw) 50,000।

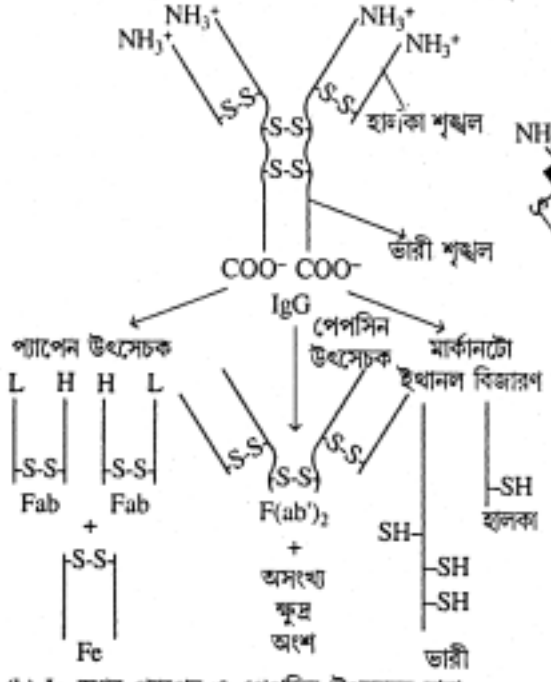
প্রতিলিপি ঃ অ্যান্টিজেন (Antigen) যে-কোনো বস্তু (সাধারণত মেরুদণ্ডী প্রাণীদের নিজের শরীরের অংশ নয়, এমন) যা নির্দিষ্টভাবে অ্যান্টিবডির সঙ্গে যুক্ত হতে পারে বা মেরুদণ্ডী প্রাণীর শরীরে অনাক্রম্যতার নানাবিধ লক্ষণ প্রকাশ করতে উদ্দীপ্ত করে তাদের অ্যান্টিজেন বলে।

উদাহরণ—ব্যাকটেরিয়া কোশপ্রাচীর ও তার উপাদান, ব্যাকটেরিয়ার কোশপর্দা ও তার উপাদান, ফ্ল্যাজেলা, DNA, RNA, টক্সিন ইত্যাদির প্রত্যেকটি এক-একটি অ্যান্টিজেন।

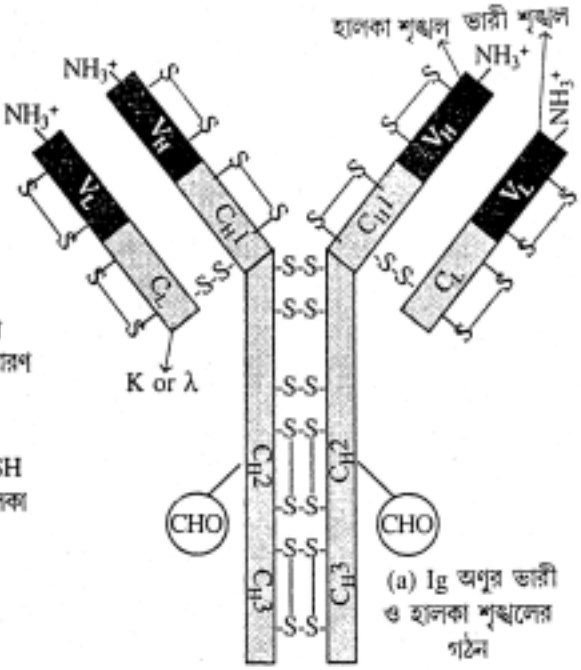
অন্যদিকে এডেলম্যান যখন অন্তঃশৃঙ্খল ডাইসালফাইড বন্ধনীগুলিকে বিজারণ প্রক্রিয়ায় ছিন্ন করেন (মার্কাপটো ইথানল নামক বিজারক প্রয়োগে) এবং উৎপন্ন পেপটাইড শৃঙ্খলগুলিকে ইলেকট্রোফোরেসিস করেন তখন দুইটি ভিন্ন আণবিক ভরের অংশ সেই ইলেকট্রোফোরেসিসে দেখা যায়। পরবর্তী গবেষণার দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, 1.50,000 আণবিক ভর-যুক্ত IgG অণুতে দুইটি 50,000 MW বিশিষ্ট ভারী (Heavy) পলিপেপটাইড শৃঙ্খল এবং দুইটি 25,000 MW বিশিষ্ট হালকা (light) পলিপেপটাইড শৃঙ্খল রয়েছে। এই শৃঙ্খলগুলি পরস্পরের সঙ্গে S–S বা ডাইসালফাইড বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ থেকে অ্যান্টিবডি প্রোটিনের কার্যকর কোয়ার্টারনারী (40) গঠন তৈরি করেছে (চিত্র)।

❑ অ্যান্টিবডির হালকা (Light) পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের গঠন

যে-কোনো পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের পরপর অ্যামাইনো অ্যাসিডের বিন্যাসকে ওই শৃঙ্খলের অ্যামাইনো অ্যাসিড সিকোয়েন্স (Sequence) বলে। অ্যান্টিবডির হালকা শৃঙ্খলের সেই Sequence পর্যালোচনা করলে দেখা যায় যে



(b) Ig অণুর প্যাপেন ও পেপসিন উৎসেচক দ্বারা বিশ্লেষণ এবং মার্কাপটোইথানল দ্বারা বিজারণ



(a) Ig অণুর ভারী ও হালকা শৃঙ্খলের গঠন

চিত্র : Ig অণুর আণবিক গঠন বিশ্লেষণ

তার অ্যামাইনো গ্রুপ যে দিকটায় মুক্ত অবস্থায় আছে, অর্থাৎ প্রথানুসারে শৃঙ্খলের অগ্রভাগের 100টির মতো অ্যামাইনো অ্যাসিড বিভিন্ন Ig অণুর ক্ষেত্রে ভিন্ন প্রকৃতির। এই কারণে এই অংশটিকে ভিন্নতাযুক্ত বা Variable অঞ্চল বলে। অন্যদিকে শৃঙ্খলের পশ্চাদ্‌ভাগ অর্থাৎ যে অংশে কার্বক্সিল গ্রুপটি মুক্ত অবস্থায় আছে সেটিকে ধ্রুব অংশ বা constant **domain** বলে। কারণ এই অঞ্চলের অ্যামাইনো অ্যাসিডগুলি মোটামুটিভাবে সব Ig অণুতেই দুই প্রকারের হয়। এদের যথাক্রমে কাপ্পা (Kappa) ও ল্যাম্বডা (Lambda) বলে এবং 'K' এবং 'λ' দ্বারা চিহ্নিত করা হয়। একটি Ig অণুতে অবশ্য দুইটি হালকা শৃঙ্খলই হয় K অথবা λ প্রকৃতির হয়। কখনই একটি Ig-তে দুই ধরনের শৃঙ্খল থাকে না। (চিত্র 12.3B)।

মানুষের Ig অণুগুলিতে 60% হালকা শৃঙ্খল K ধরনের এবং 40% λ ধরনের, অন্যদিকে ইঁদুরের ক্ষেত্রে 95%-ই K ধরনের।

অ্যান্টিবডির ভারী (Heavy) শৃঙ্খলের গঠন

হালকা পলিপেপটাইড শৃঙ্খলের মতোই ভারী শৃঙ্খলেও অনুরূপ ভিন্নতাযুক্ত (variable) এবং ধ্রুব (constant) অঞ্চল রয়েছে। এই ধ্রুব অঞ্চলগুলি তিনটি ভাগে বিভক্ত যাদের CH^1, CH^2 এবং CH^3 বলে। এর মধ্যে CH^2 এবং CH^3 অংশগুলি F_C অঞ্চলের শৃঙ্খলে থাকে।

এই ভারী শৃঙ্খলের ধ্রুব অংশের অ্যামাইনো অ্যাসিড sequence পর্যালোচনা করলে দেখা যায় সেখানে 5 ধরনের পলিপেপটাইড শৃঙ্খল সৃষ্টি হতে পারে। যাদের যথাক্রমে λ, μ, α, δ, ε নামে অভিহিত করা হয়। এই 5 প্রকার ভারী শৃঙ্খল বিভিন্ন Ig অণুর মধ্যে থাকায় অ্যান্টিবডি অণুগুলিকে 5টি আইসোটোপ (Isotype) যথা, IgG, IgM, IgA, IgD এবং IgE-তে শ্রেণিবিন্যাস করা যায়। কার্যকারিতা ও উৎপত্তির বিচারেও এরা ভিন্ন প্রকৃতির হয় (সারণি)।

সারণি : Ig অণুর শ্রেণিবিভাগ :

Ig অণুর শ্রেণি	ভারী শৃঙ্খল	গঠন	আণবিক ভর(MW)	উপস্থিতি	অ্যান্টিজেন বন্ধনের নিষ্ক্রিয়	কাজ			বিশেষকাজ
						কার্যকরী সময়	অ্যান্টিজেন গ্রহণ	জীবাণু ধ্বংসে সহায়তা	
IgG	γ (গামা)	একক অনুলিপি	1,50,000	সেরাম(প্রতি ml-এ 9 mg পর্যন্ত)	সবচেয়ে বেশি (যোজ্যতা = 2) যেহেতু Fab মাত্র দুটি	কোষমুক্তি সময়(গড় অর্ধায়ু = 23 দিন)	+	+	অমরা (Placenta) অতিক্রম করে গর্ভবতী মা থেকে শিশুতে অনাক্রম্যতা প্রেরণ
IgM	μ (মিউ)	পাঁচটি Ig অনুলিপি	9,00,000	সেরাম(প্রতি ml-এ 1·5 mg)	খুব কম (যোজ্যতা = 10) Fab = 2 × 5	রোগসংক্রমণের প্রাথমিক পর্যায়ে (অর্ধায়ু = 5 দিন)	+++	++	অ্যাগ্লুটিনেশনে সবচেয়ে কার্যকরী

Ig অণুর শ্রেণি	ভারী শৃঙ্খল	গঠন	আণবিক ভর (MW)	উপস্থিতি	অ্যান্টিজেন বন্ধনের নির্দিষ্টতা	ঝাল্লা			বিশেষ কাজ
						কার্যকরী সময়	অ্যান্টিজেন প্রশমন	জীবাণু ধ্বংসে সহায়ক	
IgA	α (আলফা)	দুই বা চার Ig অণুবিশিষ্ট	6,00,000	দেহরসের ক্ষরণে, যেমন অশ্রু, লালা আন্ত্রিক রসে সেরামে খুব কম (< 0·5 mg/ml)	মাঝারি (যোজ্যতা = 4 বা 8)	জীবাণু সংক্রমণের সাথেসাথে (অর্ধায়ু = 6 দিন)	++	+	মিউকাস পর্দায় জীবাণু প্রতিরোধের প্রাথমিক মাধ্যম
IgD	δ (ডেলটা)	J শৃঙ্খল একক অণুবিশিষ্ট	1,50,000	সেরামে (0·03 mg/ml) মূলতঃ B-লিম্ফোসাইটের কোশপর্দায় প্রকাশিত হয়	অজানা	অল্প	অজানা	অল্প	অজানা
IgE	ε (এপসাইলন)	একক অণুবিশিষ্ট	1,90,000	সেরামে (0·0003 mg/ml)	বেশি ক্রসলিঙ্কেজের মাধ্যমে অ্যালার্জি সৃষ্টিকারী বস্তুকে বন্ধন করে	অ্যালার্জেন (allergen) বন্ধনের সাথে সাথে	করেনা	করেনা	বেসোফিল ও মাষ্ট কোশকে কণীকৃত (Granulation) করে হিস্টামিন (Histamine) ক্ষরণের মাধ্যমে শরীরে অ্যালার্জির লক্ষণ ফুটিয়ে তোলে

❑ অ্যান্টিবডির 'অ্যান্টিজেন' ধর্ম

যেহেতু অ্যান্টিবডি আসলে একটি গ্লাইকোপ্রোটিন (Glycoprotein), অ্যান্টিবডি ও অ্যান্টিজেনের মতো অনাক্রম্যতা সৃষ্টি করতে পারে অন্য প্রাণীর দেহে। এই কাজে অ্যান্টিবডির যে সমস্ত অ্যান্টিজেন ধর্মই নির্ধারক

(Determinant) কার্যকর তাদের 3টি ধরন।

(1) আইসোটাইপিক (Isotypic) (2) অ্যালোটাইপিক (Allotypic) এবং (3) ইডিওটাইপিক (Idiotypic) এই নির্ধারকগুলি অ্যান্টিবডি অণুর বিশেষ বিশেষ অংশে বিদ্যমান।

(1) আইসোটাইপিক নির্ধারক ঃ অ্যান্টিবডির প্রত্যেকটি আইসোটোইপ অর্থাৎ IgG, IgM, IgA ইত্যাদির ধ্রুব অংশের জিনগুলি বিভিন্ন। কোনো প্রজাতির ক্ষেত্রে প্রত্যেকটি আইসোটাইপ-ই সেরামে প্রকাশিত (Expressed) হয়। কিন্তু একটি প্রজাতির কোনো একটি আইসোটাইপ যখন অন্য প্রজাতিতে প্রবেশ করানো হয় ইনজেক্শনের মাধ্যমে, তখন সেই আইসোটোপের Ig অণুটি দ্বিতীয় প্রজাতির ক্ষেত্রে বহিরাগত (Foreign) হিসাবে গণ্য হয় এবং তার বিরুদ্ধে অ্যান্টিবডি তৈরি হয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যায় মানুষের IgG-কে ইঁদুরে প্রবেশ করালে অ্যান্টি হিউম্যান IgG (anti-human IgG) সৃষ্টি হয় ইঁদুরের সেরামে। এই ধরনের অ্যান্টি-আইসোটাইপ অ্যান্টিবডিগুলি বিভিন্ন গবেষণার কাজে, যেমন এলিজা (ELISA), ওয়েস্টার্ন ব্লটিং (Western blotting) বা কোশ চিহ্নিতকরণ (Cell Identification)-এর কাজে নিয়মিত ব্যবহৃত হয়।

(2) অ্যালোটাইপিক নির্ধারক ঃ অনাক্রম্যতার জিনগুলি অনেকেই রক্তের গ্রুপ নির্ণয়কারী জিনগুলির মতোই বহু অ্যালীল (Multiple allelil) বিশিষ্ট। এই ধরনের বহু অ্যালীলগুলি সূক্ষ্ম অ্যামাইনো অ্যাসিড পার্থক্য গড়ে তোলে সৃষ্ট পলিপেপটাইডগুলির মধ্যে। যেমন, মানুষের IgG-এর চারটি উপভাগ, IgG1, IgG2, IgG3 এবং IgG4 গুলির মধ্যে 90% মিল থাকলেও এদের মধ্যে অ্যালোটাইপিক নির্ধারকের পার্থক্য রয়েছে। এক্ষেত্রে একই প্রজাতির বিভিন্ন প্রতিনিধির (মানুষের ক্ষেত্রে বিভিন্ন ব্যক্তির) মধ্যেও অ্যান্টি অ্যালোটাইপিক অ্যান্টিবডি সৃষ্টি করা যায়। অনেক সময় গর্ভাবস্থায় মা ও ভ্রূণের মধ্যে এইরূপ অ্যান্টিবডি সমস্যার সৃষ্টি করে। রক্ত বা অঙ্গ প্রতিস্থাপন (Transfusion বা Transplantation)-এর ক্ষেত্রে এই নির্ধারকগুলির বিশ্লেষণ বিশেষ প্রয়োজন।

(3) ইডিওটাইপিক নির্ধারক ঃ অ্যান্টিবডির ভারী ও হালকা শৃঙ্খলের গঠনের (conformation) বৈষম্যের জন্য যে অ্যান্টিজেনিক বৈশিষ্ট্য অ্যান্টিবডির মধ্যে প্রকাশ পায় তাকে ইডিওটাইপিক নির্ধারক বলে। প্রতিটি Ig এইভাবে অসংখ্য ইডিওটাইপ প্রকাশ করে। এই ধরনের অ্যান্টিবডির অ্যান্টিজেন ধর্ম গবেষণার কাজে বিশেষভাবে ব্যবহৃত হয়। তবে এক্ষেত্রে মোনোক্লোনাল (Monoclonal) অ্যান্টিবডি বলে বিশেষ ধরনের অ্যান্টিবডি গবেষণাগারে সৃষ্টি করা প্রয়োজন।

❑ অর্জিত অনাক্রম্যতার (Acquired Immunity) মাধ্যমে সেরামে অ্যান্টিবডি সৃষ্টি

কোনো জীবাণুঘটিত রোগ হলে মানুষ ও অন্যান্য মেরুদণ্ডী প্রাণীর শরীরে স্বকীয়ভাবে যে অনাক্রম্যতা গড়ে ওঠে, যার মাধ্যমে শরীর সেই বহিরাগত শত্রুদের বিনাশ করে এবং অনাক্রমতন্ত্রে (Immune system) এই গড়ে ওঠা অনাক্রম্যতার স্মৃতি (Memory) রেখে দেয় ভবিষ্যতে আক্রান্ত হলে এর বহুগুণ কার্যকরী প্রতিরোধ গড়ে তোলার জন্য, তাকে অর্জিত অনাক্রম্যতা বলে।

এই কাজে যে সমস্ত রক্তকোশ কার্যকরী ভূমিকা গ্রহণ করে তারা হল লিম্ফোসাইট এবং অ্যান্টিজেন উপস্থাপনকারী কোশ (মূলতঃ বৃহৎ মনোসাইট বা ম্যাক্রোফাজ)। এই কোশগুলি হিমোটোপয়েসিস (Hematopoiesis) পথতিতে অস্থিমজ্জা (Bone Marrow) থেকে সৃষ্টি হয় এবং রক্ত ও লসিকাতন্ত্রের মাধ্যমে প্রবাহিত হয়। লিম্ফোসাইটগুলি আবার তাদের পরিপূরণের স্থান অনুযায়ী মূলতঃ দুইভাগে বিভক্ত।

লিম্ফোসাইট

B-লিম্ফোসাইট

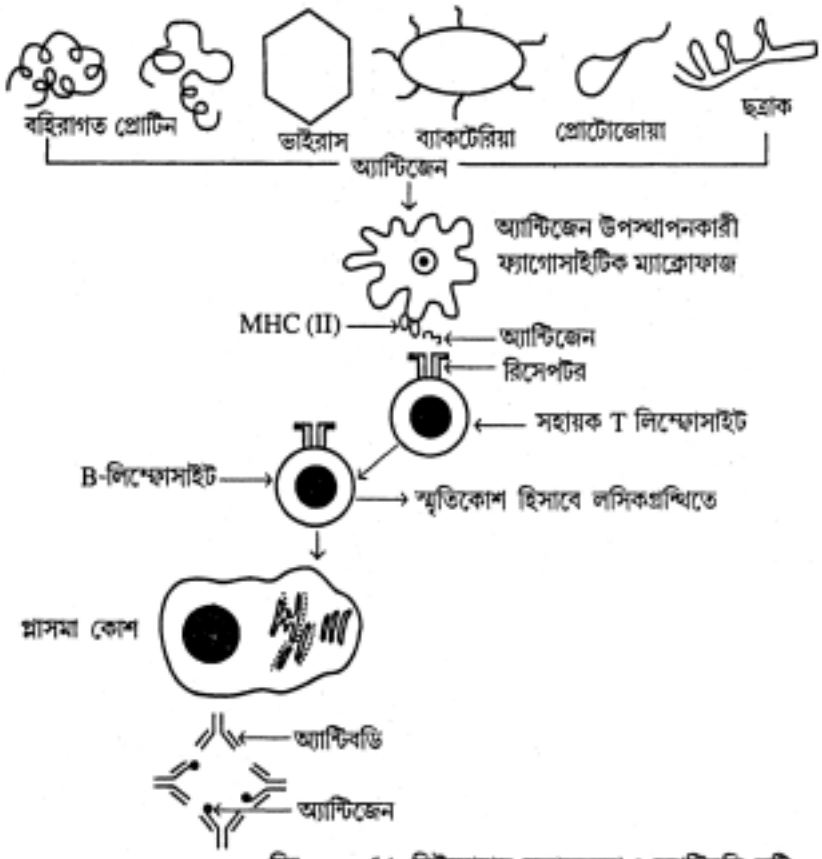
[পাখিদের ক্ষেত্রে বিশেষ গ্রন্থি বারসা (Bursa)-তে পরিস্ফুরিত ; স্তন্যপায়ীর ক্ষেত্রে মজ্জা ও লসিকা গ্রন্থিতে পরিস্ফুরিত]

T-লিম্ফোসাইট

[স্তন্যপায়ীর ক্ষেত্রে থাইমাস (Thymus) গ্রন্থিতে পরিস্ফুরিত]

এই B লিম্ফোসাইটগুলিই স্মৃতিকোশ হিসাবে জীবাণুর প্রাথমিক আক্রমণের পর লসিকা গ্রন্থিতে (মূলতঃ প্লীহা) সঞ্চিত থাকে। এরাই অ্যান্টিজেন দ্বারা প্রভাবিত হয়ে প্লাসমা কোশে (Plasma cell) গঠন করে। এই প্লাসমা কোশ থেকেই অ্যান্টিবডি নিঃসৃত হয়।

তবে এই B লিম্ফোসাইট শুধুমাত্র অ্যান্টিজেনের প্রভাবে এইরকম অ্যান্টিবডি সৃষ্টিকারী প্লাসমা কোশে পরিবর্তিত হতে পারে না। এই কাজে তাদের প্রাথমিকভাবে অ্যান্টিজেন উপস্থাপনকারী কোশ যেমন, ম্যাক্রোফাজ (Macrophage, MØ) সহায়তা করে এবং সাথে সাথেই একটি বিশেষ ধরনের T লিম্ফোসাইটও এই কাজে B



চিত্র 5A হিউমোরাল অনাক্রম্যতা : অ্যান্টিবডি সৃষ্টি

কোশকে প্রভাবিত করে। T লিম্ফোসাইটের যে ধরন এই কাজে B লিম্ফোসাইটকে সহায়তা করে তাকে সহায়ক T লিম্ফোসাইট বা T helper বলে। প্রসঙ্গত উল্লেখ্য T কোশের অন্য দুটি ধরন হল T সাইটোটক্সিক (cytotoxic) ও T সাপ্রেসার (Suppressor)। এরাও অনাক্রম্যতার সঙ্গে বিশেষভাবে যুক্ত হলেও অ্যান্টিবডি সৃষ্টিতে কোনো বিশেষ ভূমিকা পালন করে না।

অ্যান্টিজেন উপস্থাপনকারী কোশ প্রথমে জীবাণুকে ফ্যাগোসাইটোসিস (Phagocytosis) প্রক্রিয়ায় ভক্ষণ করে এবং জীবাণুকে অসংখ্য অ্যান্টিজেনে বিশ্লেষিত করে। সেই বিশ্লেষিত অ্যান্টিজেনগুলিকে ওই কোশের পর্দায় সংলগ্ন একপ্রকার বিশেষ ধরনের নির্ধারক মেজর হিস্টোকমপ্যাটিবিলিটি কমপ্লেক্স (Major Histocompatibility Complex, MHC) দ্বারা তারা B লিম্ফোসাইটকে ও সহায়ক T লিম্ফোসাইটকে উপস্থাপন করে। যাতে, উভয় কোশ প্রভাবিত হয় এবং B লিম্ফোসাইট অ্যান্টিবডি সৃষ্টিকারী প্লাসমা কোশে পরিবর্তিত হয়।

একটি পূর্ণাঙ্গ প্রাণীর লসিকা গ্রন্থি, মূলত প্লীহায় এইরকম বিভিন্ন জীবাণুর বিভিন্ন অ্যান্টিজেনের বিরুদ্ধে সৃষ্ট স্মৃতি B কোশ সঞ্চিত থাকে। এক্ষেত্রে মনে রাখা প্রয়োজন একটি B কোশ কিন্তু একটিই (অর্থাৎ আইসোটাইপিক, অ্যালোটাইপিক ও ইডিওটাইপিক) Ig ধরনের অণু গঠন করে। এই সব স্মৃতিকোশকে এক একটি ক্লোন (clone) বলে। যখন কোনো জীবাণু দ্বিতীয়বার আক্রমণ করে তখন অনাক্রম্যতার তন্ত্র সেইসব আগে চেনা অ্যান্টিজেনগুলিকে বুঝতে পারে এবং তখন বিশেষ দূতযাদের বলে ইন্টারলিউকিন (Interleukin) মারফৎ সেইসব ক্লোনগুলিকে ডেকে আনে। এই ক্লোনগুলি এবার সংখ্যায় বৃদ্ধি পায় এবং দ্রুত প্লাসমা কোশে পরিবর্তিত হয়ে অনেক বেশিমাত্রায় অ্যান্টিবডি সৃষ্টি করে অ্যান্টিজেনগুলিকে প্রশমিত (Neutralize) করে। ফলে জীবাণু সংক্রমণ হলেও জীবাণুরা দ্রুত ধ্বংস হয়।

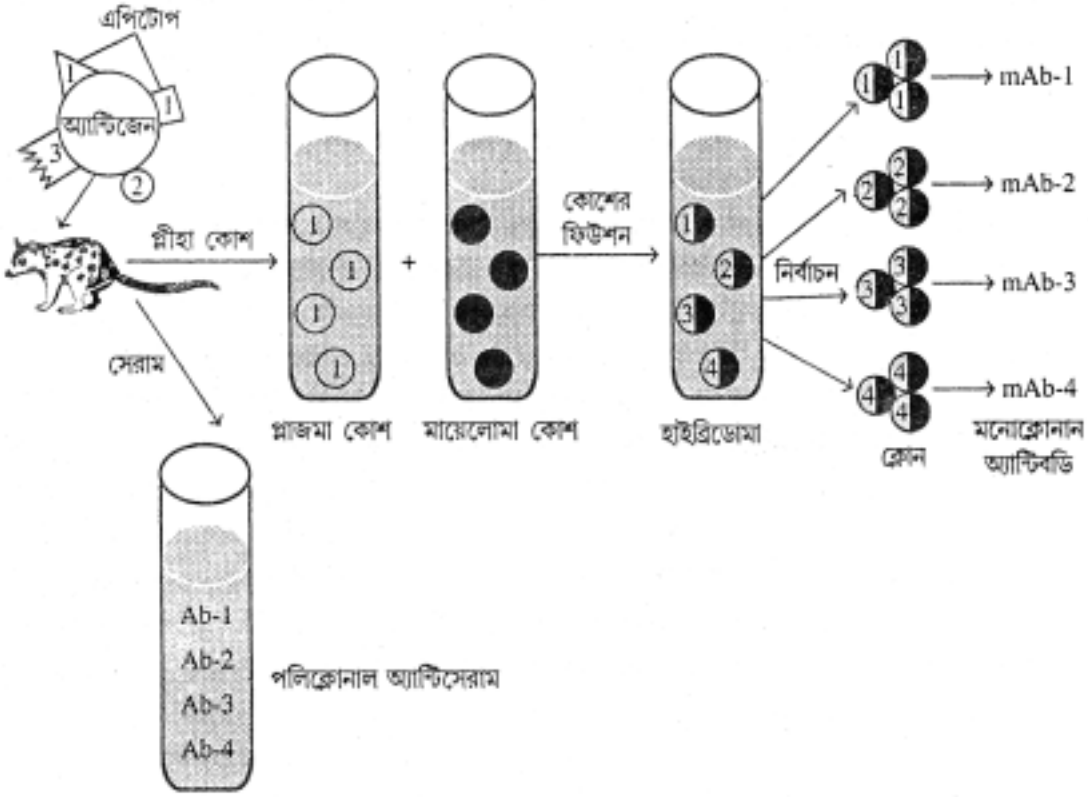
এইক্ষেত্রে যেহেতু জীবাণুর অনেকগুলি অ্যান্টিজেন একযোগে নির্বাচিত (selected) হয় তাই সেরামে একসাথে অনেকগুলি অ্যান্টিজেন প্রশমনকারী অ্যান্টিবডি একসাথে সৃষ্টি হয়। ফলে সেরামের অ্যান্টিজেন প্রশমন ক্ষমতা অনেকাংশে বৃদ্ধি পেলেও সেই অনাক্রম্যতায় নির্দিষ্টতা (specificity) কম থাকে। এই ধরনের সেরাম অ্যান্টিবডিগুলিকে বহু ক্লোন সৃষ্ট বা polyclonal অ্যান্টিবডি বলে।

❑ গবেষণাগারে নির্দিষ্টতা সম্পন্ন বিশেষ ধরনের মোনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টি

সেরামের উপরোক্ত পলিক্লোনাল অ্যান্টিবডি অসমসত্ত্ব। কাজেই সেগুলি স্বাভাবিক প্রাণীদেহে অ্যান্টিবডির যে সকল কার্যকারিতা, যেমন অ্যান্টিজেন প্রশমন, জীবাণুনাশক কমপ্লিমেন্টকে উদ্দীপ্ত করা বা ফ্যাগোসাইটোসিস সহায়তা করা, সেইসব কাজে অসম্ভব পারদর্শী। কিন্তু গবেষণাগারে মূলত অ্যান্টিজেন চিহ্নিতকরণ ও শুদ্ধিকরণের কাজে অ্যান্টিবডির যে নির্দিষ্টতা ধর্মের প্রয়োজনীয়তা, তা সেরাম অ্যান্টিবডিতে বিরল।

অ্যান্টিবডির এই নির্দিষ্টতা ধর্মের ব্যাবহারিক ব্যবহার গবেষণাগারে অত্যন্ত উপযোগী। তাই এই ধরনের নির্দিষ্টতাসম্পন্ন অ্যান্টিবডি সৃষ্টি করার চেষ্টা বিজ্ঞানীদের মধ্যে ছিল। এইরকম এক-নির্দিষ্টতা (Monospecificity) সম্পন্ন B কোশের ক্লোনকে আলাদা করা গেলেও সেই কোশের স্বল্প জীবনকাল এবং গবেষণাগারের কলা-কর্ষণ (Tissue Culture) পদ্ধতিতে তাদের বাঁচিয়ে রাখা সম্ভব ছিল না। কাজেই ব্যবহারিক পর্যায়ে নির্দিষ্টতাসম্পন্ন অ্যান্টিবডি সৃষ্টি করা সম্ভব হচ্ছিল না।

1975 সালে কোহ্‌লার ও মিলস্টেন (Kohlar & Milstein) নামক দুই বিজ্ঞানী (পরবর্তীকালে নোবেলজয়ী) একটি বিশেষ ধরনের ক্যানসার আক্রান্ত ইঁদুরের একটি প্লাসমা কোশের (নাম-মায়েলোমা কোশ) সাথে অ্যান্টিবডি সৃষ্টিকারী B কোশ ক্লোনকে ফিউশ্‌ন (fusion) প্রক্রিয়ায় একত্রিত করে B কোশটি ব্যবহারিক অমরত্ব বা কলা-কর্ষণ প্রক্রিয়ার উপযোগী করে তোলেন। এইরকম ফিউশ্‌ন করা কোশদ্বয়কে একত্রে হাইব্রিডোমা (Hybridoma) বলে। সেই হাইব্রিডোমার কোশ বিভাজন হার ক্যানসার ধর্মী হওয়ায় সাধারণ কোশ অপেক্ষা অনেক বেশি এবং জীবনকালও অনন্ত। তাই সেইসব হাইব্রিডোমা থেকে অনেক দিন ধরে অনেক অনেক পরিমাণে এক-নির্দিষ্টতা সম্পন্ন অ্যান্টিবডি পাওয়া যায় (চিত্র)।



চিত্র : পলিক্লোনাল ও মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পার্থক্য ঃ পলিক্লোনাল সেরামে অ্যান্টিবডিগুলি মিশ্রিত অবস্থায় থাকে। কিন্তু প্রতিটি মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি একটি মাত্র নির্দিষ্ট এপিটোপের বিরুদ্ধেই সৃষ্টি হয়।

❑ মোনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পদ্ধতি

(1) অ্যান্টিজেন নির্বাচন (Selection of Antigen) ঃ যে বিশেষ ধরনের অ্যান্টিজেনের বিরুদ্ধে নির্দিষ্ট অ্যান্টিবডি সৃষ্টি করানো হবে, তাকে প্রথমে নির্বাচন করতে হয়। এক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য সবসময় জীবাণুসৃষ্ট অ্যান্টিজেনকেই এই কাজে ব্যবহার করতে হবে এমন কোনো বাধ্যবাধকতা নেই। যে-কোনো প্রোটিন-ই অ্যান্টিজেন হিসাবে ব্যবহৃত

হতে পারে শুধু সেই প্রোটিনটি ইঁদুরের ক্ষেত্রে বহিরাগত (foreign) হতে হবে। মানুষের প্রধানত ক্যানসার বা কোশীয় গবেষণা (Cell Biology)-তে গুরুত্বপূর্ণ বহু প্রোটিন অ্যান্টিজেনের বিরুদ্ধে, এমনকি উদ্ভিদের বিভিন্ন অ্যান্টিজেনের বিরুদ্ধেও মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি তৈরি করা হয়।

আগের পাতার চিত্র ( ) থেকে বোঝা যাচ্ছে যে অ্যান্টিজেনের প্রধান নির্ধারক যা অ্যান্টিবডি সৃষ্টির কারণ তা হল এপিটোপ (Epitope)। সেই এপিটোপগুলির অবস্থান যে সমস্ত অ্যান্টিজেন বেশি অর্থাৎ যারা ইমিউনোডমিন্যান্ট (Immunodominant) সেই অ্যান্টিজেনগুলিকে এই পদ্ধতিতে ব্যবহার করলে গবেষণাগারে মোনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি (Mab) সৃষ্টিতে সাফল্য পাওয়ার সম্ভাবনা বেশি।

(2) টিকাকরণ (Immunization) ঃ যেহেতু এই পদ্ধতিটি ইঁদুরের লিম্ফোসাইট নিয়ে করা হয় তাই প্রথমেই অ্যান্টিজেন দ্বারা নির্দিষ্ট নিয়মে ইঁদুরকে টিকাকরণ করতে হয়। এই কাজে অ্যান্টিবডি সৃষ্টিতে সহায়তা করে এমন কিছু অতিরিক্ত বস্তু যেমন অ্যাডজুভ্যান্ট (Adjuvant) বা হ্যাপটেন (Hapten) ব্যবহৃত হয়।

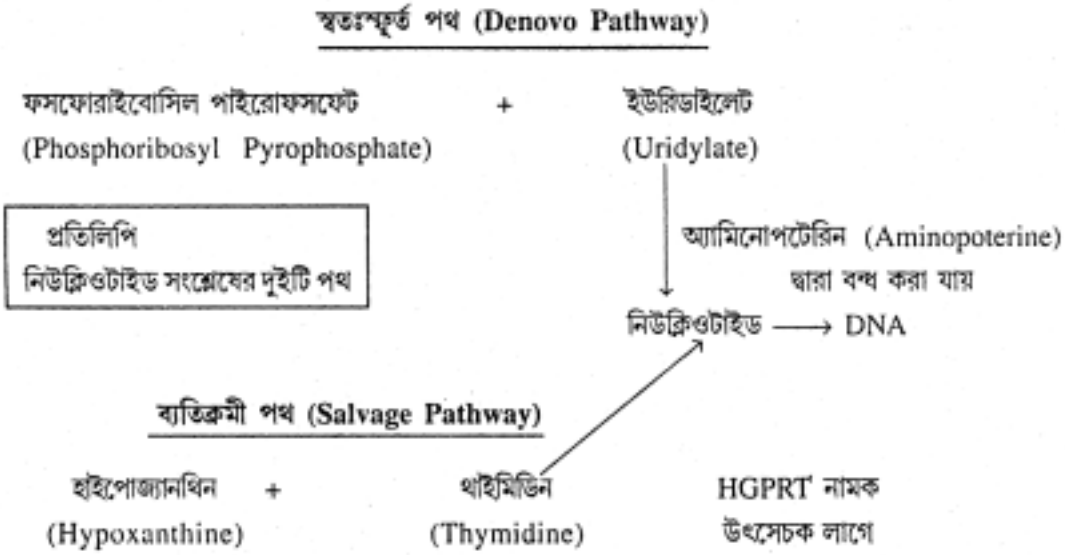
সাধারণত ইঁদুরের দেহগহ্বরে (Peritonneum) অ্যান্টিজেনকে ইনজেক্শনের মাধ্যমে 7 থেকে 15 দিনের ব্যবধানে 4 থেকে 5 বার প্রবেশ করানো হয় (চিত্র)।

(3) প্লীহাকোশ (Splenocyte) সংগ্রহ ঃ টিকাকরণ সম্পূর্ণ হওয়ার পর বুষ্টার ডোজের (Booster dose)-এর মাধ্যমে ইঁদুরের অনাক্রম্যতার তন্ত্রকে বিশেষভাবে উদ্দীপ্ত করা হয়। তারপর যেহেতু উদ্দীপ্ত প্লাসমা কোষগুলি মূলত প্লীহা (Spleen)-তে সঞ্চিত থাকে তাই ইঁদুরটির প্লীহাকে কেটে বার করে এনে বিশেষ পদ্ধতিতে নাইলন ছাঁকনির সাহায্যে প্লীহাকোশগুলিকে কলা-কর্ষণ মাধ্যম (Tissue Culture Medium)-এ রাখা হয়। এই মাধ্যমে কোশের প্রয়োজনীয় খাদ্য, হরমোন ও উৎসেচক থাকায় কোশগুলি স্বাভাবিক পরিবেশে কিছুদিন বেঁচে থাকে।

(4) হাইব্রিডোমা (Hybridoma) সৃষ্টি ঃ ইঁদুরের প্লাসমা কোশের বিশেষ ধরনের ক্যানসার মায়েলোমা (Myeloma) কোশগুলিকে আগে থেকে কোশ কর্ষণ প্রক্রিয়ায় তৈরি করে রাখা থাকে। এইবার ওই মায়েলোমা কোশ ও প্লীহাকোশগুলি (যেগুলি মূলতঃ অ্যান্টিবডি সৃষ্টিকারী B কোশ)-কে একত্রিত করে পলিইথিলিন গ্লাইকল (Polyethylene glycol) বা সেনডাই ভাইরাস (Sendi Virus)-এর সংস্পর্শে রাখলে কোশ দুটির কোশপর্দার ফিউশন্ (fusion) হয়। এইভাবে দুই কোশের নিউক্লিয়াস একই কোশপর্দার মধ্যে এসে হেটেরোক্যারিওন (Heterokaryon) দশার সৃষ্টি করে, যাকে হাইব্রিডোমা বলে। বিজ্ঞানী কোহ্লার এবং মিলস্টেন মূলতঃ এই প্রক্রিয়াটি আবিষ্কার করেই নোবেল পুরস্কার পান।

(5) সঠিক হাইব্রিড কোশ নির্বাচন (Selection of Hybrids) ঃ এক্ষেত্রে মনে রাখা প্রয়োজন যে, এই পদ্ধতিতে কলা-কর্ষণ মাধ্যমে মায়েলোমা B কোশ ফিউশন্ হয়ে যেমন হাইব্রিডোমা গঠন করে তেমন B কোশ-B কোশ বা মায়েলোমা-মায়েলোমা কোশ হাইব্রিডও গঠন করতে পারে। অনন্তকাল ধরে মোনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি এদের মধ্যে শুধু মায়েলোমা-B কোশ হাইব্রিডরাই তৈরি করতে পারে বলে নির্দিষ্ট নিয়মে বাকি দুইটি সম্ভাব্য হাইব্রিড কোশকে বহিষ্কার করতে হয়।

এক্ষেত্রে যে নির্বাচন পদ্ধতির সাহায্য নেওয়া হয় তাকে হ্যাট্ নির্বাচন (HAT Selection) বলে। কোশের বৃদ্ধি বা বিভাজনের মূল সূত্র হল DNA-এর প্রতিরূপ গঠন বা Replication। তার জন্য প্রয়োজন নিউক্লিওটাইডের। সুতরাং কোনো কোশকে বিভাজিতকরে তার সংখ্যা বৃদ্ধি করাতে হলে তার প্রথম প্রয়োজন নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষ। স্তন্যপায়ী প্রাণীদের এই সংশ্লেষ দুইভাবে সম্পন্ন হয়।

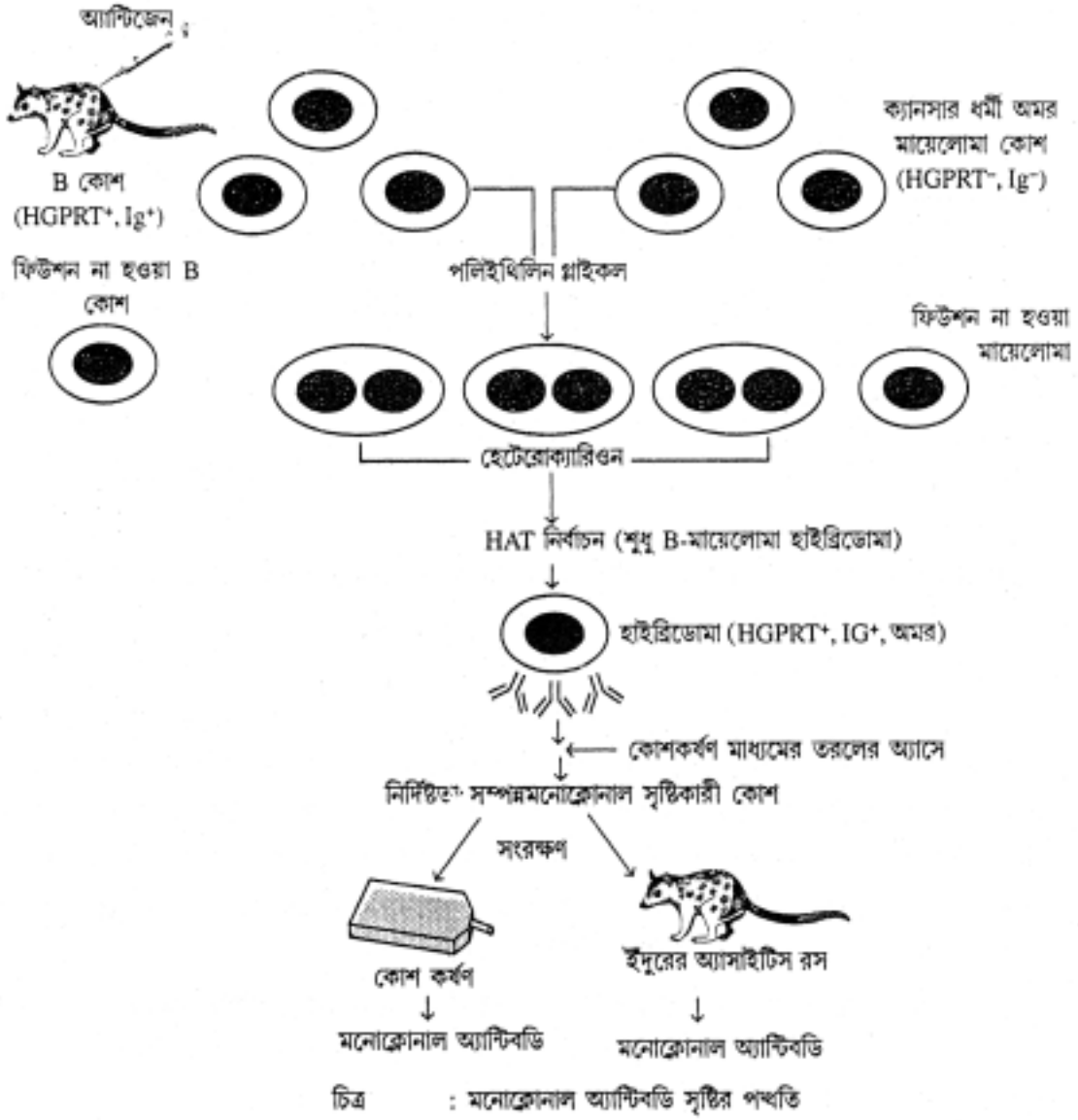


HAT মাধ্যমের উপাদানগুলি যথাক্রমে হাইপোজ্যানথিন, অ্যামিনোপটেরিন ও থাইমিডিন। ওপরের পথগুলি থেকে বোঝা যাচ্ছে HAT মাধ্যমে অ্যামিনোপটেরিন থাকায় হাইব্রিড কোশগুলি এই মাধ্যমে অবস্থান করার সময় স্বতঃস্ফূর্ত পথতিতে নিউক্লিওটাইড তথা DNA সংশ্লেষ করতে পারে না।

আবার হাইপোজ্যানথিন ও থাইমিডিন থাকায় কোশগুলি ব্যতিক্রমী পথে নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষ করতে পারে। কিন্তু এই কাজে HGPRT বা হাইপোজ্যানথিন গুয়ানোসিন ফসফোরাইবোসিল ট্রান্সফারেজ নামক উৎসেচক প্রয়োজন। মায়েলোমা কোশে এই উৎসেচকটি থাকে না। কাজেই শুধুমাত্র মায়েলোমা-মায়েলোমা ফিউশ্ন হাইব্রিড এই মাধ্যমে নিউক্লিওটাইড তথা DNA সংশ্লেষ করতে পারে না। ফলে তাদের কোশ বিভাজন বন্ধ হয়ে যায় এবং এরা মাধ্যম থেকে বহিষ্কৃত হয়। B কোশে HGPRT থাকায় মায়েলোমা-B কোশ হাইব্রিডের ক্ষেত্রে নিউক্লিওটাইড সংশ্লেষে কোনো বাধা থাকে না। তারা বিভাজিত হয় এবং মাধ্যমে নির্বাচিত হয়।

(6) মোনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টি : এইভাবে HAT নির্বাচনের মাধ্যমে নির্বাচিত মায়েলোমা-B কোশ হাইব্রিডোমাগুলিকে এরপর ক্রমান্বয়ে কোশ-কর্ষণ মাধ্যমে রাখা হয়। এভাবে তারা অপত্য কোশ সৃষ্টির মাধ্যমে সংখ্যায় বাড়তে থাকে এবং মাধ্যমে অ্যান্টিবডি নিঃসরণ করতে থাকে।

সেই নিঃসৃত অ্যান্টিবডিগুলিকে নিয়মিত যাচাই (Assay) করা হয় ইমিউনোঅ্যাসে (Immunoassay) পথতিতে। এরপর কোশ সমষ্টিগুলিকে ক্রমান্বয়ে লঘুকরণ (Dilution) করা হয় (1000 কোশ থেকে 100 কোশ → 100 কোশ থেকে 10 কোশ → এইভাবে)। প্রতিবারই মাধ্যমের অ্যান্টিবডিগুলি যাচাই করা হয় যতক্ষণ না পর্যন্ত নির্দিষ্ট এপিটোপের বিরুখে নির্দিষ্ট অ্যান্টিবডিটি পাওয়া যাচ্ছে। সেই এক নির্দিষ্ট অ্যান্টিবডিটি পাওয়া গেলে তাকে শুধিকরণ (Purification) করে ব্যবহারের উপযোগী করে তোলা হয়।



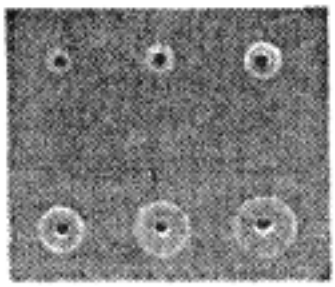
চিত্র : মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পদ্ধতি

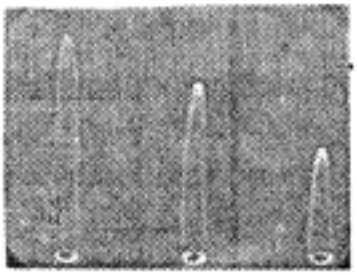
❑ অ্যান্টিবডির ব্যবহার

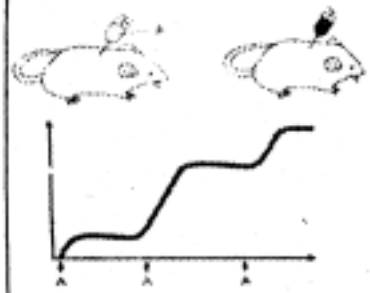
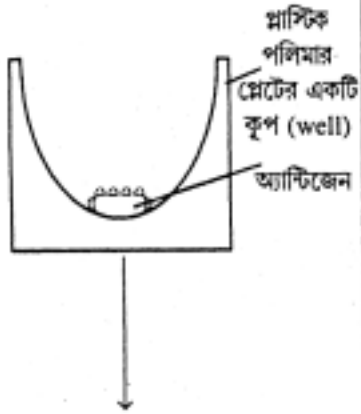
অ্যান্টিজেন ও অ্যান্টিবডির কার্যকারিতার নির্দিষ্টতার সাপেক্ষে অনাক্রম্যতা, কোশবিদ্যা ও অণুজীববিদ্যায় উপযোগী অনেকগুলি যাচাই বা Assay তৈরি করা হয়েছে। এইসব Assay গুলি নানাবিধ গবেষণা ও প্রধানতঃ রোগ নির্ণয়ে (Diagnostics) বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। এইভাবে ক্যানসার তথা জীবাণুঘটিত রোগের সুনির্দিষ্ট স্বরূপ উন্মোচনে মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ।

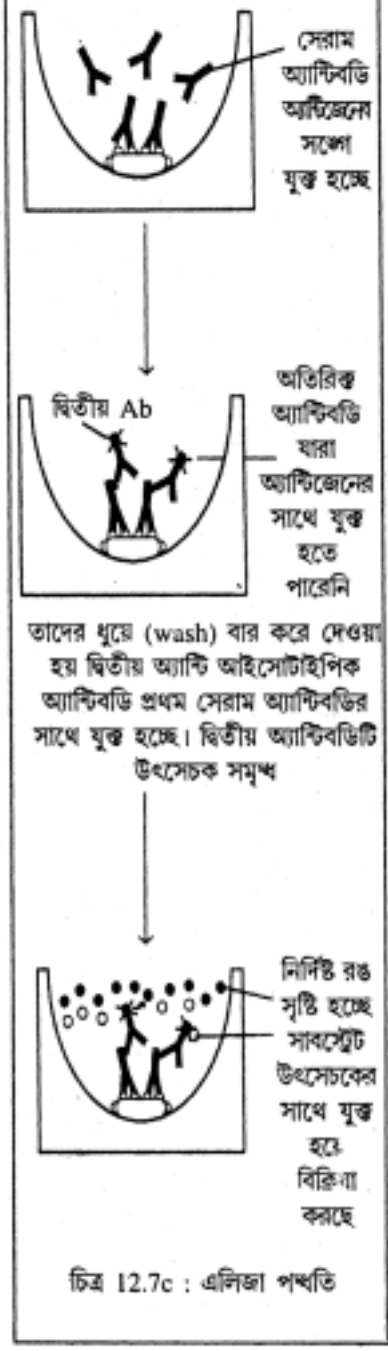
অ্যান্টিবডি ও অ্যান্টিজেন জলীয় দ্রবণে একটি বিশেষ ধরনের সংবন্ধন (Lattice) তৈরি করে যার জন্য যে অধঃক্ষেপ (Precipital) তৈরি হয় তা দৃষ্টিগোচর হয়। এই ধরনের অধঃক্ষেপ সৃষ্টিতে যে অ্যান্টিজেনগুলি সক্ষম তাদের একাধিক এপিটোপ থাকে। অন্যদিকে এই কাজে অনেক অ্যান্টিবডি বিশিষ্ট পলিক্লোনাল সেরাম-ই বেশি কার্যকর। এই ধরনের ইমিউনো অ্যাসের (Immuno assay) কয়েকটির সংক্ষিপ্ত পরিচয় নীচের সারণি ( )-তে দেওয়া হল।

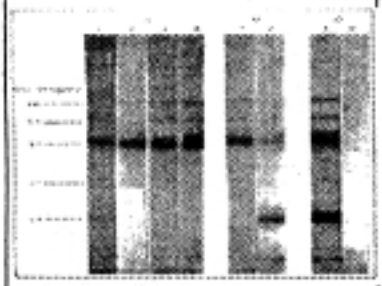
সারণি ❑ অ্যান্টিবডির ব্যবহারিক Assay]

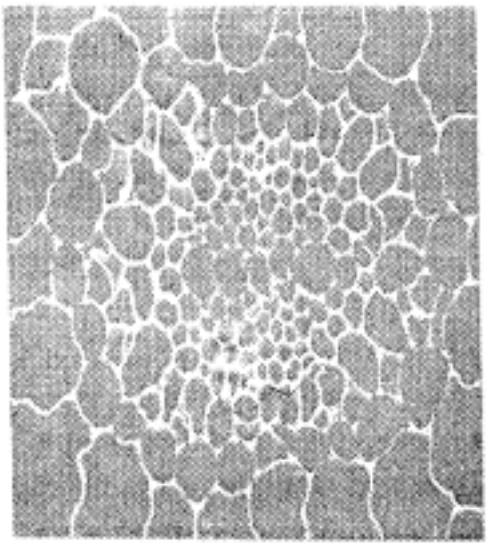
Assay	পরিচয়	ব্যবহার
1. টিউব প্রেসিপিটিন বিক্রিয়া (Precipitin Reaction in fluids) চিত্র : টিউব অ্যাগ্লুটিনেশন পদ্ধতি ঃ টিউবের তলায় অ্যান্টিজেন-অ্যান্টিবডির প্রেসিপিটিন রিং গঠিত হয়েছে	একসারি টিউবে সমপরিমাণ অ্যান্টিবডি এবং ক্রমবর্ধমান পরিমাণ অ্যান্টিজেন রাখলে আনুপাতিক হারে অধঃক্ষেপ সৃষ্টি হয়।	অ্যান্টিজেন বা অ্যান্টিবডির উপস্থিতির পরীক্ষা। সেরাম নির্ভর বলে এই ধরনের পরীক্ষাকে সেরোলজি (Serology)-ও বলে।
2. জেল প্রেসিপিটিন বিক্রিয়া (Precipitin Reaction in gel) (a) ম্যানসিনির চক্রাকার ইমিউনো-ব্যাপন (Mancini Radial Immuno-diffusion)  চিত্র : ম্যানসিনির রেডিয়াল ইমিউনো ডিফিউসন পদ্ধতির দ্বারা অ্যান্টিজেনের ঘনত্ব বৃদ্ধির প্রকাশ	অ্যাগার (Agar) জেলে অ্যান্টিবডি মিশ্রিত করে কোনো স্লাইডে ঢেলে, সেই জেলের মধ্যে গর্ত বা কূপ (well) গঠন করে তার মধ্যে অ্যান্টিজেন ঢালা হয়। অ্যান্টিজেন ব্যাপন প্রক্রিয়ায় জেলে ঢুকে অ্যান্টিবডির সাথে মিশ্রিত হয়ে দৃষ্টিগোচর রিং সৃষ্টি করে।	সেরামে IgG, IgM ইত্যাদির পরিমাণ নির্ধারণে নিয়মিত ব্যবহৃত হয়। সেরামের অন্য উপাদান কমপ্লিমেন্ট (Complement) পরিমাপেও ব্যবহৃত হয়।

Assay	পরিচয়	ব্যবহার
(b) অকটারলনি দ্বিবন্ধ ইমিউনো-ব্যাপন (Ouchterlony double immuno-diffusion)	এক্ষেত্রে অ্যাগার জেলে দুটি well অ্যান্টিজেনের জন্য ও একটি well অ্যান্টিবডির জন্য নির্দিষ্ট থাকে। অ্যান্টিজেন ও অ্যান্টিবডি ব্যাপন প্রক্রিয়ার অপর well-এর দিকে ধাবিত হয়। যেখানে তারা প্রশমিত হয় সেখানে দৃষ্টিগোচর প্রেসিপিটিন রিং গঠন করে। এই পদ্ধতিতে দুটি অ্যান্টিজেন যদি এপিটোপের দিক থেকে সমপ্রকৃতির হয় তাদের নির্দিষ্ট করা যায়।	অ্যান্টিজেনগুলির সম বা বিষম প্রকৃতি অনুমান করা যায়। অ্যান্টিবডিরও এইরূপ ক্রস রিঅ্যাকটিভিটি (Cross Reactivity) অনুধাবন করা যায়। অ্যান্টিজেনটি সম্পূর্ণরূপে বিশুদ্ধ কিনা তাও অনুমান করা যায়।
3. ইমিউনো ইলেক্ট্রোফোরেসিস (Immuno-electrophorocis) 		
চিত্র 12.7c : রকেট ইমিউনোইলেক্ট্রোফোরেসিসে অ্যান্টিজেনের ঘনত্বের পার্থক্য রকেটের শীর্ষের ক্রমহ্রাসপ্রাপ্তির মাধ্যমে দেখানো হয়েছে।	ইমিউনো-ব্যাপন পদ্ধতিকে ইলেক্ট্রোফোরেসিসের মাধ্যমে প্রথমে অ্যান্টিজেন মিশ্রণকে আধান (charge) -এর অনুপাত অনুযায়ী পৃথকীকরণ করা হয়। সেই জেলটিতে কূপ (trough) কেটে তার মধ্যে অ্যান্টিবডি (সেরাম) দিয়ে পৃথকীকৃত অ্যান্টিজেনগুলির এবং অ্যান্টিবডির ব্যাপন প্রক্রিয়ায় প্রেসিপিটিন সৃষ্টিকে পর্যবেক্ষণ করা হয়।	সেরাম প্রোটিন, Ig-র শ্রেণিবিভাগ ইত্যাদি নিরূপণে ব্যবহৃত হয়। কোনও ব্যক্তির অনাক্রম্যতা সংক্রান্ত কোনও অভাব থাকলে তাও বোঝা যায়। এই পদ্ধতির আরও একটি বিবর্তন হল রকেট (Rocket) ইলেক্ট্রোফোরোসিস। যার মাধ্যমে অ্যান্টিজেনের ঘনত্বেরও পরিমাপ করা যায়।
4. রেডিও ইমিউনোঅ্যাসে (Radioimmunoassay)	বিজ্ঞানী বারসন ও ইয়ালো 1960 (ইয়ালো 1977 সালে নোবেল পুরস্কার পান) এই পদ্ধতির মাধ্যমে ডায়াবিটিস রোগীর হরমোনের ঘনত্বের পরিমাপ করেন। এক্ষেত্রে অ্যান্টিজেনটিকে তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ I^{125} দ্বারা চিহ্নিত	বিভিন্ন দেহরসে (Body fluid) হরমোন, প্রোটিন, ভিটামিন ও ঔষধি (Drug)-র পরিমাপ করা এই পদ্ধতিতে সম্ভব। একসাথে অনেকগুলি নমুনার মধ্যে নির্দিষ্ট অ্যান্টিজেনের উপস্থিতি নিরূপণ করা যায় বলে মূলতঃ হরমোন

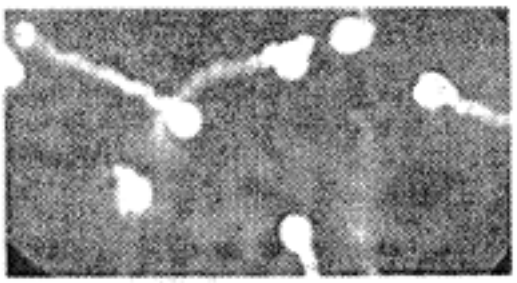
Assay	পরিচয়	ব্যবহার
 চিত্র 12.7d : ইঁদুরের টিকাকরণের মাধ্যমে সেরামে অ্যান্টিবডি সৃষ্টি। নীচের রেখাচিত্রে বোঝা যাচ্ছে যত সময় ধরে টীকাকরণ করা হচ্ছে তত অ্যান্টিবডির পরিমাণ সেরামে বৃদ্ধি পাচ্ছে।	(Lable) করা হয়। সেই চিহ্নিত অ্যান্টিজেনটি অ্যান্টিবডির সহিত মিশ্রিত করা হয়। এরপর বেশি মাত্রায় চিহ্নিত না করা অ্যান্টিজেন মিশ্রণে যুক্ত করলে অ্যান্টিবডি-র থেকে চিহ্নিত অ্যান্টিজেন মুক্ত হয়। যার তেজস্ক্রিতার পরিমাপ বিশেষ ধরনের লিকুইড সিন্টিলেশন কাউন্টার (Liquid Scintillation counter)-এ করলে অ্যান্টিজেনের ঘনত্বের পরিমাপ করা যায়।	অ্যাসের কাজে এই পদ্ধতির বিশেষ গুরুত্ব রয়েছে। বিভিন্ন ডায়াগনস্টিক গবেষণাগারে থাইরয়েড, ইনসুলিন বা সেক্স হরমোনের অভাবজনিত বা অতিক্ষরণের ফলে যে রোগগুলি হয় তার নির্দিষ্ট (Specific) নিরূপণে RIA অত্যন্ত উপযোগী।
5. এনজাইম লিংকড ইমিউনো সরবেন্ট অ্যাসে (Enzyme Linken Immuno Sorbent Assay) বা এলিজা (ELISA) (চিত্র 12.7c)  	এক্ষেত্রে কোনও একটি প্লাস্টিক পরিমার যেমন পলিস্টাইরিন নির্মিত প্লেট (Plate) ব্যবহার করা হয়। প্লেটটিতে সাধারণত 12 × 8 অর্থাৎ 96টি কূপ (well) থাকে। এই কূপ গুলিতে অ্যান্টিজেন ঢেলে তার সাথে পর্যায়ক্রমে সেরাম অ্যান্টিবডি ও সেই অ্যান্টিবডির অ্যান্টি আইসোমাইটিক অ্যান্টিবডি ঢালা হয়। দ্বিতীয় অ্যান্টিবডিটি একটি উৎসেচক (যেমন—পারঅক্সিডেজ বা ফসফাটেজধর্মী হয়) যুক্ত হয়। নির্দিষ্ট সাবস্ট্রেট দিয়ে এই উৎসেকের সাথে বিক্রিয়ায় নির্দিষ্ট রঙ সৃষ্টি করা হয়ে থাকে এনজাইম ইমিউনো অ্যাসে রিডার	অতেজস্ক্রিয় উৎসেচকের মাধ্যমে নিরূপণ করা হয় বলে RIA-এর চেয়ে ELISA-র ব্যবহার বেশী। জায়াগনস্টিক গবেষণাগারে যে কোনও জীবাণুঘটিত রোগ বা ক্যানসারের স্বরূপ নিরূপণে এর ব্যবহার সর্বজন বিদিত। বর্তমানে অন্তঃসত্ত্বা অবস্থার প্রমাণ হিসাবে যে Pregnancy Test করা হয় তাও আসলে একটি এলিজা। যেখানে Pregnancy-র সময় মূত্রে হিউম্যান কোরিওনিক গোনাডো ট্রপিন (Human Chorionic Gonodotropin, heg)-এর উপস্থিতিকে মনোক্লোনাল অ্যান্টি heg অ্যান্টিবডির দ্বারা নিরূপণ করা হয়।

Assay	পরিচয়	ব্যবহার
 চিত্র 12.7c : এলিজা পদ্ধতি	বা EIA Reader-এর মাধ্যমে নিরূপণ করলে, সেরামে অ্যান্টিজেনটির জন্য নির্দিষ্ট অ্যান্টিবডি আছে কিনা বা থাকলে কি অনুপাতে আছে তা নিরূপণ করা যায়। একে পরোক্ষ এলিজা (Indirect ELISA) বলে। আবার দুটি মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডির সাহায্যে দেহরসে কোনও অ্যান্টিজেনের উপস্থিতিও প্রমাণ করা যায় এলিজার মাধ্যমে। একে স্যান্ডুইচ্ (Sandwich) এলিজা বলে।	হিউম্যান ইমিউনোডেফিসিয়েন্সি (Human Immuno-deficiency, HIV) ভাইরাসের অ্যান্টিজেনের বিরুদ্ধে সেরাম অ্যান্টিবডির উপস্থিতি পরোক্ষ এলিজার মাধ্যমে নিরূপণ AIDS-এর একটি বিশেষ পরীক্ষা।

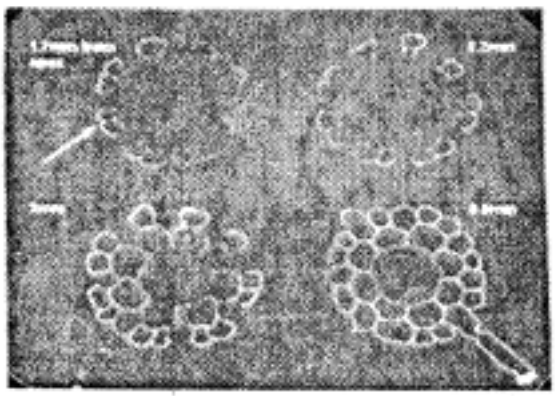
Assay	পরিচয়	ব্যবহার
6. ওয়েস্টার্ন ব্লটিং (Western blotting)  চিত্র 12.7f : ওয়েস্টার্ন ব্লটিং-এর মাধ্যমে ইলেক্ট্রোফোরেসিস দ্বারা পৃথকীকৃত অ্যান্টিজেনগুলির মধ্যে মুখ্য এবং বেশি অনাক্রম্যতা যুক্ত (ঘন কালো) অ্যান্টিজেন চিহ্নিতকরণ।	অ্যান্টিজেন মিশ্রণের মধ্যে কোন নির্দিষ্ট বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ বা বেশি অনাক্রমতা সৃষ্টিকারী অ্যান্টিজেনটিকে নির্দিষ্টভাবে চিহ্নিত করার কাজে ওয়েস্টার্নব্লটিং ব্যবহৃত হয়। এক্ষেত্রে অ্যান্টিজেন মিশ্রণটিকে প্রথমে ইলেক্ট্রোফোরেসিস করে নেওয়া হয়। এরপর সেই ইলেক্ট্রোফোরোসিসের মাধ্যমে পৃথকীকৃত অ্যান্টিজেনগুলিকে বিশেষ পদ্ধতিতে একটি বিশেষ ধরনের নাইট্রোসেলুলোজ (Nitrocellulose) নির্মিত কাগজে স্থানান্তরিত করা হয়। এর পর ELISA-র মত পর্যায়ক্রমে সেরাম অ্যান্টিবডি ও উৎসেচকযুক্ত অ্যান্টি-আইসোটাইপিক অ্যান্টিবডি দ্বারা অ্যান্টিজেনকে চিহ্নিত করে, সাবস্ট্রেট দিয়ে দৃশ্যমান, রঙীন করে তোলা হয়।	HIV-র খোলক (enrelope) এবং অভ্যন্তর (core)-এর প্রোটিন অ্যান্টিজেনগুলির মধ্যে অনাক্রম্যতার জন্য কারা গুরুত্বপূর্ণ তা নিরূপণ করা যায়। শুধুমাত্র HIV-ই নয়, যে কোন জীবাণুঘটিত বা কোনো কোশ সৃষ্ট রোগের বিরুদ্ধে টিকা (vaccine) তৈরি করতে গেলে মুখ্য অনাক্রম্যতা সৃষ্টিকারী অ্যান্টিজেনকে চিহ্নিত করা জরুরী। এই কাজে ওয়েস্টার্ন ব্লটিং প্রধান ভূমিকা গ্রহণ করে।
7. ইমিউনো ফ্লুরোসেন্স (Immunofluorescence) (চিত্র 12.7g, h, i, j)	অ্যান্টিবডি অর্থাৎ Ig অণুটির সাথে কোনও ফ্লুরোসেন্ট ধর্ম (Fluoroscent Dye) বা ফ্লুরোক্রোম (Fluorochrome) যুক্ত করে, সেই অ্যান্টিবডি দ্বারা কোশ বা কণায় কোনও নির্দিষ্ট অ্যান্টিজেনকে চিহ্নিত করে নির্দিষ্ট কোশটিকে চিহ্নিত করা হয় ইমিউনোফ্লুরোসেন্স পদ্ধতিতে।	এই পদ্ধতিতে বিশেষ ধরনের ফ্লুরোসেন্স মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে বিভিন্ন ধরনের প্রাণী বা উদ্ভিদ কোশকে চিহ্নিত-করণের কাজ করা সম্ভব। এই পদ্ধতিটির আর একটি বিবর্তন Fluoroscence activated cell sorter (FACS), যার মাধ্যমে অনেকগুলি কোশের মধ্য থেকে নির্দিষ্ট কোশকে চিহ্নিত করে, তার সংখ্যা নিরূপণ করে তাকে গবেষণার জন্য পৃথকও করা যায়।



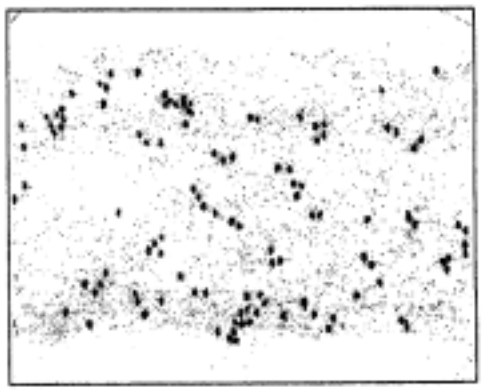
চিত্র 12.7g : উদ্ভিদের কোশ প্রাচীরের পেকটিনের বিরুদ্ধে সৃষ্ট মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডির সাথে ফ্লুরোক্রোম যুক্ত করে কলার প্রস্থচ্ছেদের ফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোস্কোপ দ্বারা গৃহীত চিত্র।



চিত্র 12.7h : অ্যারাবিডোপসিসের পরাগরেণু (Pollen)-এ বিশেষ প্রোটিনের উপস্থিতির ইমিউনোফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোগ্রাফ।



চিত্র 12.7i : অ্যারাবিডোপসিসের মূলের কোশগুলিতে বিশেষ প্রোটিনের উপস্থিতির ফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোগ্রাফ। উপরের কলাদুটিতে শুধু আবরণী কলায় প্রোটিনটির উপস্থিতি কারণ উপরের চিত্র দুটি অপরিণত মূলের। পরিণত মূলে, মূলরোমেও প্রোটিনটির উপস্থিতির প্রমাণ পাওয়া যাচ্ছে।



চিত্র 12.7j : বিশেষ ধরনের অ্যান্টিবডির সাথে সোনা (Gold) যুক্ত করে ইলেকট্রন মাইক্রোস্কোপের সাহায্যে কোশপ্রাচীরে পেকটিনের উপস্থিতির চিত্র।

12.8 ❑ সারাংশ

অনাক্রম্যতা মেরুদণ্ডী প্রাণীদের রক্তের একটি গুরুত্বপুর্ণ বৈশিষ্ট্য। এই অনাক্রম্যতা সৃষ্টির মাধ্যমে মেরুদণ্ডী প্রাণী নানাবিধ জীবাণু বা অন্যান্য বহিঃস্থ আক্রমণকারীদের বিনাশ করে। এই অনাক্রম্যতা সৃষ্টির প্রধান অস্ত্র হল অ্যান্টিবডি, যা রক্তের B লিম্ফোসাইট, T লিম্ফোসাইটের সহায়তায় সৃষ্টি করে সেরামে সঞ্চিত করে। অ্যান্টিবডি প্রোটিনটিকে ইমিউনোগ্লোবিউলিন (Ig) বলে। Ig অণুতে দুইটি সম আকৃতির হালকা ও দুইটি ভারী শৃঙ্খল থাকে। এই শৃঙ্খলের আবার অগ্রভাগে থাকে অ্যান্টিজেন বন্ধনকারী Fab অংশ এবং শেষভাগে থাকে Fc অংশ। অ্যান্টিবডি অণুগুলির 5 রকম আইসোটাইপ হয় যাদের নির্দিষ্ট কাজ আছে। সৃষ্টির পদ্ধতি অনুসারে এই অ্যান্টিবডিগুলি দুইরকম—পলিক্লোনাল ও মনোক্লোনাল। শুধুমাত্র রোগ প্রতিরোধই নয় অণুজীববিদ্যা, জীবাণু চিহ্নিতকরণ, ক্যানসারের ধরন নির্ধারণ এবং কোশবিদ্যায় এই অ্যান্টিবডিগুলির বহুবিধ ব্যবহার রয়েছে। তাদের মধ্যে এলিজা, ওয়েস্টার্ন ব্লটিং এবং ইমিউনোফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোস্কোপি বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য।

12.9 ❑ প্রশ্নাবলি ঃ

A. শূন্যস্থান পুরণ করুন ঃ

1. ——— সালে এডুয়ার্ড জেনার জনবসন্তের টিকা আবিষ্কার করেন।
2. ——— ও ——— গামা গ্লোবিউলিনকে অ্যান্টিবডি বলে চিহ্নিত করেন।
3. ইমিউনোগ্লোবিউলিন অণুতে ———— ডাইসালফাইড ব্রীজ থাকে।
4. Ig-র ভারী শৃঙ্খলের আণবিক ভর ————।
5. Ig-র হালকা শৃঙ্খল দুই ধরনের ———— ও ————।
6. Ig কে প্যাপেন উৎসেচক দিয়ে বিশ্লেষণ করলে দুটি ——— ও একটি ——— পাওয়া যায়।
7. ———— অমরা অতিক্রম করে মা থেকে গর্ভস্থ শিশুতে যেতে পারে।
8. অশ্রুতে ———— ধরনের অ্যান্টিবডি থাকে।
9. অ্যালার্জি সৃষ্টিকারী অ্যান্টিবডি হল ————।
10. মানুষের IgG-র ———— টি অ্যালোটাইপ থাকে।
11. ———— অ্যান্টিবডি একসাথে অনেকগুলি এপিটোপের বিরুদ্ধে সৃষ্টি হয়।
12. HAT মাধ্যমে হাইপোজ্যানথিন, ———— ও থাইমিডিন থাকে।
13. RIA পদ্ধতিতে তেজস্ক্রিয় ————— ব্যবহৃত হয়।
14. গর্ভাবস্থায় প্রামাণ্য প্রেগন্যান্সি টেস্ট ————র মাধ্যমে করা হয়।
15. ইমিউনোফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোস্কোপিতে অ্যান্টিবডির সাথে ———— যুক্ত করা হয়।

B. বাম ও ডানদিকের সমন্বয় সাধন করুন।

বামদিক	ডানদিক
1. বিজ্ঞানী বেহরিং	1. চক্রাকার ইমিউনোব্যাপন
2. কোহলার ও মিলস্টেন	2. দ্বিবন্ধ ইমিউনোব্যাপন
3. টিসেলিয়াস ও কাবাত	3. RIA
4. রডনি পোর্টার	4. জলবসন্ত
5. ম্যানসিনি	5. গামাগ্লোবিউলিনের স্বরূপ
6. অক্টারলনি	6. অ্যানথ্রাক্সের টিকা
7. বারসন ও ইয়ালো	7. Ig-র ডাইসালফাইড ব্রীজ
8. এডুয়ার্ড জেনার	8. সেরাম অ্যান্টিটক্সিন
9. লুই পাস্তুর	9. হাইব্রিডোমা পদ্ধতি
10. এডেলম্যান	10. Ig-র গঠন

C. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

1. অনাক্রম্যতা বলতে কী বোঝেন?
2. গামা গ্লোবিউলিন-ই যে অ্যান্টিবডি, পরীক্ষার মাধ্যমে প্রমাণ করুন।
3. ইমিউনো গ্লোবিউলিনের গঠন বর্ণনা করুন।
4. অ্যান্টিজেন কী?
5. Ig অণুর উৎসেচক বিশ্লেষণ ও বিজারণ করলে কী কী পাওয়া যায়?
6. কার্যসহ IgG, IgM এবং IgA-র পার্থক্যগুলি লিখুন।
7. অ্যান্টিবডির অ্যান্টিজেন ধর্ম বলতে কী বোঝেন?
8. হিউমোরাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টির পদ্ধতিটি বর্ণনা করুন।
9. পলিক্লোনাল ও মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডির পার্থক্য কী?
10. মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি সৃষ্টিতে HAT নির্বাচনের ভূমিকা আলোচনা করুন।
11. মনোক্লোনাল অ্যান্টিবডি তৈরির পদ্ধতিটি সংক্ষেপে লিখুন।
12. এলিজা পদ্ধতিটি চিত্রসহ বর্ণনা করুন।
13. কোশবিদ্যায় ইমিউনোফ্লুরোসেন্ট মাইক্রোস্কোপির ব্যবহারের উদাহরণ দিন।

12.10 ❑ উত্তর সংকেত ঃ

A
1. 1798
2. টিসেলিয়াস, কাবাত
3. অন্তঃশৃঙ্খল
9. IgE
10. 4
11. পলিক্লোনাল

4. 50,000
5. কাপ্পা, ল্যাম্বডা
6. Fab, Fc
7. IgG
8. IgA
12. অ্যামিনোপটেরিন
13. I^{125}
14. এলিজা
15. ফ্লুরোক্রোম

B.

বামদিক	ডানদিক
1	8
2	9
3	5
4	10
5	1
6	2
7	3
8	4
9	6
10	7

C. 1. 13.1 দ্রষ্টব্য।
2. 13.2 দ্রষ্টব্য।
3. 13.2 দেখুন।
4. প্রতিলিপি 13.3a দেখুন।
5. চিত্র 13.3B-এর 'b' অংশ দেখুন।
6. সারণি 13.3b দ্রষ্টব্য।
7. 13.4 দেখুন।
8. 13.5 দেখনু।
9. 13.6 ও চিত্র 13.6A দেখুন।
10. 13.6.1-এর '5' নং অংশ দেখুন ও প্রতিলিপি 13.6a পড়ুন।
11. 13.6.1. দেখুন ও চিত্র 13.6B দেখুন।
12. সারণি 13.6a-র 5 নং অংশ দেখুন এবং চিত্র 13.7c-র সাহায্য নিন।
13. সারণি 13.6a-র 7 নং অংশ দেখুন এবং চিত্র 13.7g থেকে 13.7j-র সাহায্য নিন।

একক 14 ■ জিন মিউটেশন ও তার আণবিক ভিত্তি

গঠন

14.1. প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

14.2 মিউটেশনের সংজ্ঞা

14.3 মিউটেশনের প্রকারভেদ

14.4 জিন মিউটেশন ঘটার উপায়

14.5 জিন মিউটেশন ঘটার কারণসমূহ

14.5.1 স্বতঃস্ফূর্ত মিউটেশন

14.5.2 প্রণোদিত মিউটেশন

14.5.2.1 রাসায়নিক মিউটাজেন

14.5.2.2 ভৌত মিউটাজেন

14.6 মিউটেশনের আণবিক ভিত্তি

14.6.1 DNA স্তরে

14.6.2 প্রোটিন সংশ্লেষ স্তরে

14.7 মিউটেশন নির্ধারণ পদ্ধতি

14.8 প্রশ্নমালা

14.9 উত্তর সংকেত।

14.1 ❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা

স্বাভাবিক বৈশিষ্ট্যসম্পন্ন জীবের মধ্যে হঠাৎ কোনো নতুন বৈশিষ্ট্যের প্রকাশ ঘটে। নতুন করে তৈরি হওয়া এইসব বৈশিষ্ট্যগত পরিবর্তনকে বিজ্ঞানীরা মিউটেশন বলেন। এই পরিবর্তিত বৈশিষ্ট্যগুলি বংশপরম্পরায় সঞ্চারিত হয়। পরিবেশের পরিবর্তনের সাথে সাথে এইসব আকস্মিক পরিবর্তনের হারও বেড়েই চলেছে। বেড়ে চলেছে এইসব মিউটেশনকারী পদার্থের (মিউটাজেন) সংখ্যা ও ধরন। তাদের মাধ্যমে বা শুধুমাত্র জিনের প্রতিলিপি গঠন ও প্রকাশকালে এইসব মিউটেশনের আণবিক স্তরেও কার্যকারণ ও ব্যাখ্যা পাওয়া গেছে।

উদ্দেশ্য ঃ

এই অধ্যায়টি পাঠ করলে আপনি —

- মিউটেশন কী, তা জানবেন।
- মিউটেশনের প্রকারভেদ সম্বন্ধে অবহিত হবেন

- জিন মিউটেশন ঘটার কারণ বুঝতে পারবেন।
- মিউটেশন সৃষ্টিকারী মিউটাজেন সম্বন্ধে পরিচিত হবেন।
- মিউটেশনের আণবিক ভিত্তি সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

14.2 ❑ মিউটেশনের সংজ্ঞা (Definition of Mutation) ঃ

মিউটেশন হল জীবের জীনগত স্থায়ী কোন পরিবর্তন যা বংশ পরম্পরায় সঞ্চারণশীল।

14.3 ❑ মিউটেশনের প্রকারভেদ (Types of mutation) ঃ

নানান মান ও নীতির উপর ভিত্তি করে মিউটেশনের শ্রেণিবিভাগ করা যায়।

(ক) মিউটেশন সৃষ্টি হওয়া কোশের অবস্থানের উপর ভিত্তি করে—

(১) সোমাটিক মিউটেশন (Somatic mutation)—যখন দেহ কোশে মিউটেশন সংঘটিত হয়। বেশীর ভাগ ক্ষেত্রে এই জাতীয় মিউটেশনগুলি কেবলমাত্র সংশ্লিষ্ট জীবটির দেহেই পরিবর্তন ঘটায়। যেমন, বেশীর ভাগ ক্যান্সারই সোমাটিক মিউটেশনের ফলে সৃষ্টি হয়। কিন্তু পরবর্তী জনুতে এই মিউটেশনের কোন প্রভাব থাকে না। কেবলমাত্র যে সকল উদ্ভিদ অঙ্গজ জননের সাহায্যে বংশবৃদ্ধি করতে সক্ষম, যেমন আদা, হলুদ (গ্রন্থিকন্দের দ্বারা), আলু (স্ফীতকন্দের দ্বারা), পিঁয়াজ (কন্দ দ্বারা), কচু (গুড়িকন্দের দ্বারা) ইত্যাদি উদ্ভিদে সংশ্লিষ্ট অঙ্গে সোমাটিক মিউটেশন হলে তা পরবর্তী জনুতে সঞ্চারিত হয়। বন্য আপেল ও কমলালেবু থেকে উদ্ভূত নানাপ্রকার সুস্বাদু আপেল ও কমলালেবুর উৎপত্তি এইভাবেই ঘটেছে।

(২) জার্মিনাল মিউটেশন (Germinal mutation)—যখন জনন-মাতৃ কোশে বা জনন কোশে মিউটেশন সংঘটিত হয়। এই প্রকার মিউটেশনগুলি পরবর্তী সকল জনুতে বংশপরম্পরায় সঞ্চারিত হয়।

(খ) মিউটেশন সৃষ্টি হওয়া ক্রোমোজোমের প্রকৃতির উপর ভিত্তি করে—

(১) অটোজোমীয় মিউটেশন (Autosomal mutation)—যখন কোন অটোজোমে মিউটেশন সংঘটিত হয়।

(২) লিঙ্গ-সংযোজিত মিউটেশন (Sexlinked mutation)—যখন X-ক্রোমোজোমে কোন মিউটেশন সংঘটিত হয়।

(গ) মিউটেশনের প্রকাশ ক্ষমতার তারতম্যের উপর ভিত্তি করে ঃ—

(১) প্রকটধর্মী মিউটেশন (Dominant mutation)—যখন মিউটেশন হওয়া অ্যালীলটি তার স্বাভাবিক অ্যালীলের উপর প্রকাশভঙ্গীর দিক থেকে বেশী ক্ষমতাশীল। যেমন Drosophile মাছির বার চক্ষু (B).

(২) প্রচ্ছন্নধর্মী মিউটেশন (Recessive mutation)—যখন মিউটেশন হওয়া অ্যালীলটি তার স্বাভাবিক অ্যালীলের উপর প্রকাশ ভঙ্গীর দিক থেকে কম ক্ষমতাশালী। যেমন, Drosophila মাছির সাদা চক্ষু (W).

(৩) সহ-প্রকটধর্মী মিউটেশন (Co-dominant mutation)—যখন মিউটেশন হওয়া অ্যালীলটি তার স্বাভাবিক অ্যালীলের সঙ্গে সমভাবে প্রকাশিত হতে সক্ষম। যেমন মানুষের সিকল সেল হিমোগ্লোবিন উৎপাদনকারী জিন (Hbs) তার স্বাভাবিক অ্যালীল HbA-র মিউটেশন ও সহপ্রকট ধর্মী।

(৪) সুপ্তমিউটেশন (Silent mutation)—যখন মিউটেশন জীবের চরিত্রগত কোন পরিবর্তন আনতে পারে না।

(ঘ) জীবদেহের মিউটেশনের প্রভাবের উপর ভিত্তি করে ঃ—

(১) লিথাল মিউটেশন (Lethal mutation)—যখন কোন মিউটেশন জীবের মৃত্যু ডেকে আনে।

(২) ব্যালান্সড লিথাল মিউটেশন (Balanced lathal mutation)—কখনও কখনও একটি লিথাল মিউটেশন প্রকটধর্মী হতে পারে। তবে এমন প্রকটধর্মী জিন কেবলমাত্র হোমোজাইগাস অবস্থায় তার মারাত্মক প্রকাশ ঘটায়। হেটেরোজাইগাস অবস্থায় জিনটির কোন বিশেষ প্রকাশ থাকলেও জিনটি জীবের মৃত্যু ঘটায় না। এই ধরনের মিউটেশনকে ব্যালান্সড লিথাল মিউটেশন বলে।

(৩) শর্তসাপেক্ষ লিথাল মিউটেশন (Conditional lethal mutation)—যখন লিথাল মিউটেশনটি কেবলমাত্র বিশেষ শর্তসাপেক্ষে প্রকাশ পায়।

(৪) প্রশম মিউটেশন (Nutral mutation) যখন মিউটেশন হলেও তার প্রকাশে জীবদেহের তেমন কিছু পরিবর্তন ঘটে না।

কোন জীবের জিনবস্তুতে মিউটেশন জনিত স্থায়ী পরিবর্তন দু'প্রকারের হতে পারে—প্রথমত, ক্রোমোজোম সংখ্যা ও/বা আকৃতির পরিবর্তন এবং দ্বিতীয়তঃ, কোন বিশেষ জিনের বেস-সজ্জার পরিবর্তন। সাধারণভাবে মিউটেশন বলতে মূলতঃ কোন একটি বিশেষ জিনের মধ্যে সংঘটিত স্থায়ী পরিবর্তন-কেই বোঝানো হয়। অর্থাৎ, মিউটেশন প্রকৃতপক্ষে জিনের কোন বিশেষ অংশের পরিবর্তন—এরকম মিউটেশনকে পয়েন্ট মিউটেশন (point mutation) বলা হয়। পয়েন্ট মিউটেশন বা জীন মিউটেশনকে আবার দু'ভাগে ভাগ করা যায় —

(i) প্রতিস্থাপন মিউটেশন (Substitution mutation)

(ii) ফ্রেম্ শিফট্ মিউটেশন (Frame shift mutation)

(i) প্রতিস্থাপন মিউটেশন—আমরা জানি যে জিন হল DNA-এর কতকগুলি নিউক্লিওটাইডের সজ্জা। যখন এই সজ্জার একটিমাত্র নিউক্লিওটাইডের প্রতিস্থাপনের কারণে কোন পরিবর্তন আসে তখন তাকে বলে প্রতিস্থাপন মিউটেশন। এই মিউটেশনের ফলে সাধারণতঃ প্রোটিনের একটি অ্যামাইনো অ্যাসিডের প্রতিস্থাপন ঘটে। যেমন—

	মিথিওনিন	অ্যালানিন	লিউসিন	ট্রিপটোফান
	ATG	GCC	CTG	TGG
প্রতিস্থাপিত মিউটেশন—	AGG	GCC	CTG	TGG
	আর্জিনিন	অ্যালানিন	লিউসিন	ট্রিপটোফান

(ii) কেয়শিফট্ মিউটেশন—জিনের সজ্জার মধ্যে নিউক্লিওটাইড সংযোজন বা বিয়োজনের (তিন বা তিনের গুণিতক নয়) কারণে t RNA এর reading frame এর পরিবর্তন ঘটে, তখন তাকে ফ্রেম্‌শিফট্ মিউটেশন বলে।

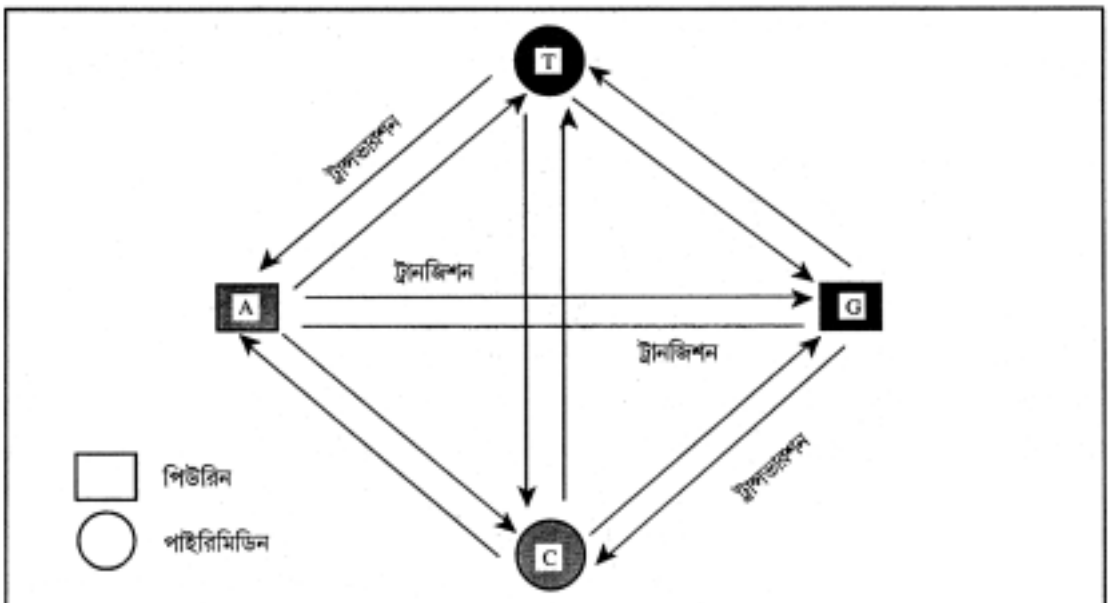
যেমন—

মিথিওনিন	অ্যালানিন	লিউসিন	ট্রিপটোফান	
ATG	GCC	CTG	TGG	
ATG	AGC	CCT	GTG	নতুন রিডিং ফ্রেম
মিথিওনিন	সেরিন	প্রোলিন	ভ্যালিন	

14.4 ❑ জীন মিউটেশন ঘটার উপায় (Mechanism of gene mutation)

জীন মিউটেশন বা পয়েন্ট মিউটেশন প্রধানত বেস প্রতিস্থাপন বা বেস সংযুক্তি/অপসারণের মাধ্যমে ঘটে থাকে।

DNA-তে চাররকমের বেস থাকে—অ্যাডেনিন, গুয়ানিন, সাইটোসিন ও থাইমিন। যে কোন একটি বেস অপর একটি বেস দ্বারা প্রতিস্থাপিত হলেই একটি কোডনের পরিবর্তন আসে। যখন প্রতিস্থাপনে একটি পিউরিন বেস কোন পিরিমিডিন বেস দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়, অথবা কোন পিরিমিডিন বেস কোন পিউরিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়, তখন তাকে বলে ট্রান্সভারশন মিউটেশন। অপরদিকে যখন একটি পিউরিন বেস অপর পিউরিন বেস দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয় অথবা একটি পাইরিমিডিন বেস অপর একটি পাইরিমিডিন দ্বারা প্রতিস্থাপিত হয়, তখন তাকে বলে ট্রানজিশন। (চিত্র 14.A)



চিত্র 14-A : ট্রানজিশন ও ট্রান্সভারশন

সর্বমোট চার রকমের ট্রানজিশন, আট রকমের ট্রান্সভারসন হতে পারে।

14.5 ❑ জিন মিউটেশন ঘটার কারণসমূহ (Causes of gene mutation)

জীবদেহের অভ্যন্তরে সংঘটিত কোন ঘটনার কারণে কিংবা বাহ্যিক কারকের প্রভাবে জিন মিউটেশন ঘটে থাকে। যে সমস্ত মিউটেশন জীবদেহের আভ্যন্তরীন কোন ঘটনার কারণে প্রাকৃতিক উপায়ে ঘটে, সেই সমস্ত মিউটেশনকে স্বতঃস্ফূর্ত মিউটেশন (Spntaneous mutation) বলে। বাহ্যিক কারকের (যথা পরিবেশ জাত কোন রাসায়নিক বা বিকিরনের কারণে) প্রভাবে মিউটেশন সংঘটিত হলে সেই সমস্ত মিউটেশনকে প্রণোদিত মিউটেশন (induced mutation) বলা হয়।

14.5.1 ❑ স্বতঃস্ফূর্ত মিউটেশন (Spontaneous mutation)

এই প্রকার মিউটেশন স্বাভাবিকভাবে পরিবেশে জেগে ওঠে এবং এগুলির উৎপত্তির কারণ সম্পর্কে তেমন কিছু জানা থাকে না। তবুও স্বতঃস্ফূর্ত মিউটেশনের উৎপত্তির কারণ হিসাবে নিম্নলিখিত ঘটনা বা বিষয়গুলিকে চিহ্নিত করা যায়।

(i) রেপ্লিকেশনের স্বতঃস্ফূর্ত ত্রুটি

(ii) স্বতঃস্ফূর্ত রাসায়নিক পরিবর্তন (DNA বেসসজ্জার)

(iii) ট্রান্সপোসেবল্ এলিমেন্ট

রেপ্লিকেশনের স্বতঃস্ফূর্ত ত্রুটি ঃ

আমরা জানি যে রেপ্লিকেশন পদ্ধতিটি বিস্ময়কর ভাবে নির্ভুল প্রতি 109 বেস সংযোজনে ভুলের মাত্রা 1-এরও কম। তবুও মাঝে মধ্যে DNA রেপ্লিকেশনে স্বতঃস্ফূর্ত ত্রুটি ঘটে থাকে। এই ত্রুটি মূলতঃ চার প্রকার—

(a) টটোমেরিক শিফট্ (Tautomeric shift)

(b) অ-নিয়মিত বেস জোড়বন্ধন (Nonstandard base paining)

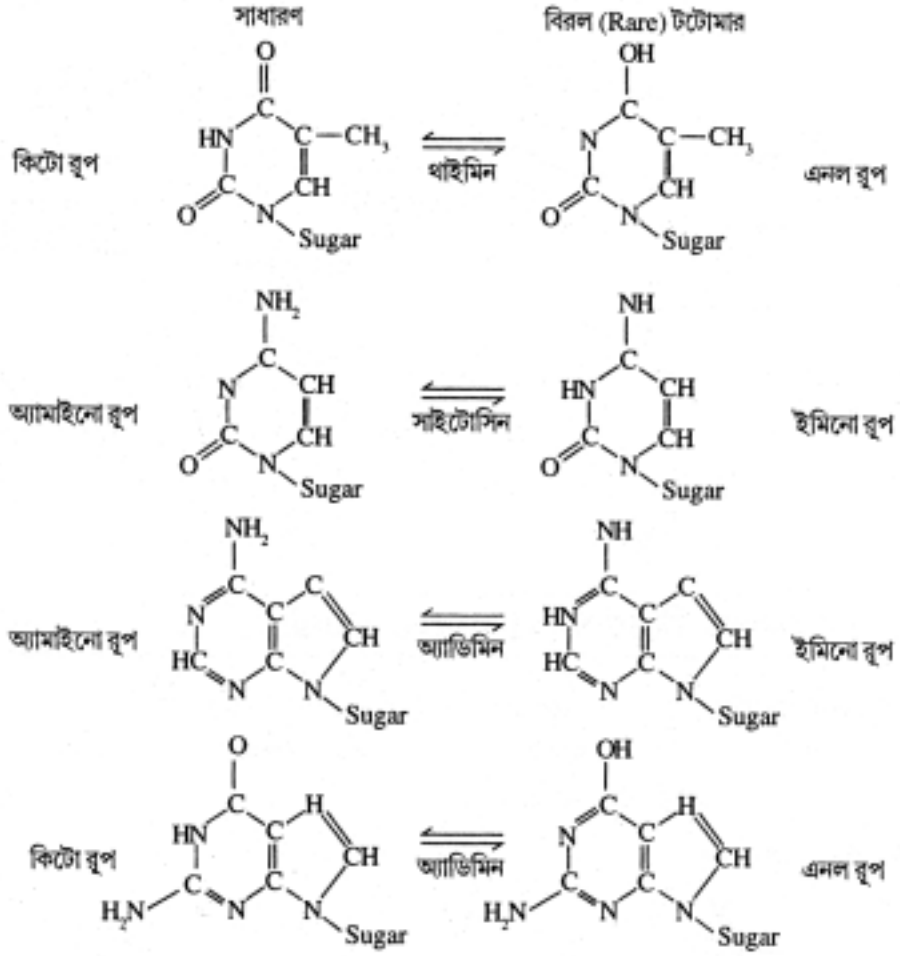
(c) রেপ্লিকেশন স্লিপেজ (Replication slippage)

(d) অসমান ক্রসিং-ওভার (Unegnal crossing over)

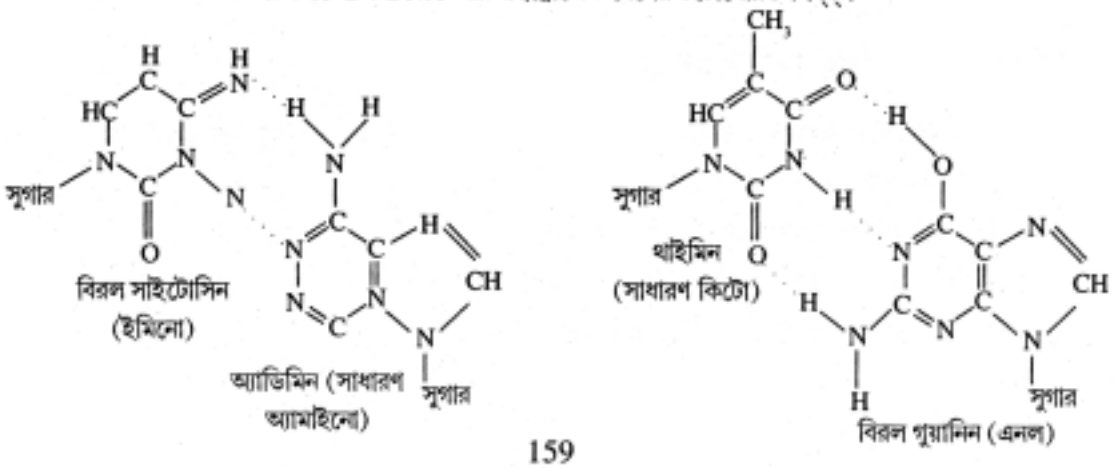
(a) টটোমেরিক শিফ্ট্ ঃ

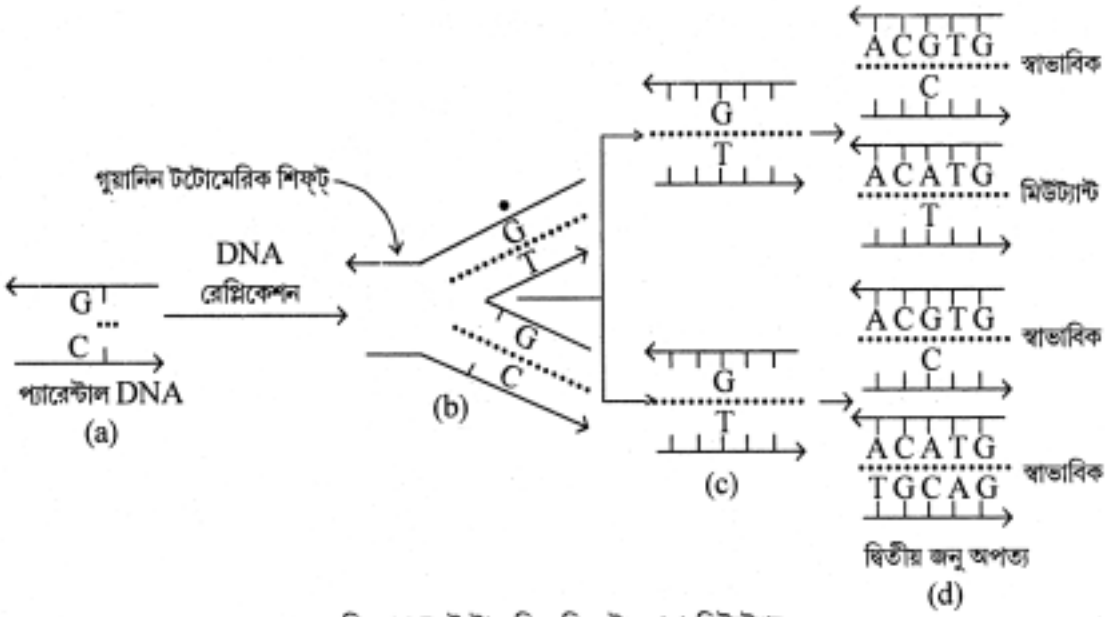
স্বাভাবিক অবস্থায় DNA-র নাইট্রোজেনাস বেসগুলি কিটো (Keto : c = 0) ও অ্যামাইনো (Amino : NH_2) রূপে থাকে। গুয়ানিন ও থাইমিনে কিটো রূপে দেখা যায় এবং অ্যাডেনিন ও সাইটোসিনো অ্যামাইনো রূপ দেখা যায়। বেসগুলিতে টটোমেরিক শিফট্ ঘটলে কিটোবেস এনল বেস (Enol : COH) এ এবং অ্যামাইনো বেস ইমিনো বেস (Imino : = NH)-এ রূপান্তরিত হয়। এনল বা ইমিনো রূপে বেসগুলির জোড় বাঁধবার প্রকৃতির পরিবর্তন ঘটে। এর ফলে এনল থাইমিন সহজেই গুয়ানিনের সঙ্গে জোড় বাঁধতে পারে ও এনল গুয়ানিন কিটো থাইমিনের সঙ্গে সহজেই জোড় বাঁধতে পারে। অপরদিকে ইমিনো সাইটোসিন অ্যামাইনো অ্যাডেনিনের সঙ্গে এক ইমিনোঅ্যাডেনিনের অ্যামাইনো সাইটোসিনের সঙ্গে জোড় বাঁধতে পারে। কিন্তু স্বাভাবিক জোড় বাঁধার রীতি হল—A = T ও G ≡ C ; সুতরাং কোন কারণে DNA-এর যে কোন পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খলের একটি বেসের টটোমেরিক শিফ্ট্ হলে ঐ DNA

রেপ্লিকেশনের পর এমন অপত্য অণুর সৃষ্টি করে যে DNA-র বিশেষ কোন স্থানে বেসের প্রতিস্থাপন জনিত ট্রানজিশন দেখা দেয় ও মিউটেশন হয় (চিত্র 14.B.)



চিত্র 13-B : DNA-এর নাইট্রোজেন বেসের টটোমেরিক শিফ্‌ট্।





চিত্র 14.B টটোমেরিক সিফ্‌টের দ্বারা মিউটেশন

14.5.2 ❑ প্রণোদিত মিউটেশন (Induced mutation) ঃ

যদিও অনেক মিউটেশনই স্বতঃস্ফূর্ত ভাবে উৎপত্তি লাভ করে, তবুও বেশ কয়েকপ্রকার পরিবেশজাত কারককেও মিউটেশন সৃষ্টির জন্য দায়ী করা যায়। এই জাতীয় পরিবেশগত কারকগুলিকে যারা উল্লেখযোগ্য ভাবে মিউটেশন ঘটার হারকে বাড়িয়ে দেয়—বলা হয় মিউটাজেন (mutagen)

মিউটাজেন মূলত দু'প্রকার—

(i) রাসায়নিক মিউটাজেন ও

(ii) ভৌত মিউটাজেন।

14.5.2.1 ❑ রাসায়নিক মিউটাজেন (Chemical mutagen)

মিউটেশন সৃষ্টিকারী রাসায়নিক উপাদানগুলিকে বলে রাসায়নিক মিউটাজেন। এগুলি কয়েকপ্রকার—

(i) বেস অ্যানালগ (base analogue)

(ii) অ্যালকাইলেটিং এজেন্ট (alkylating agent)

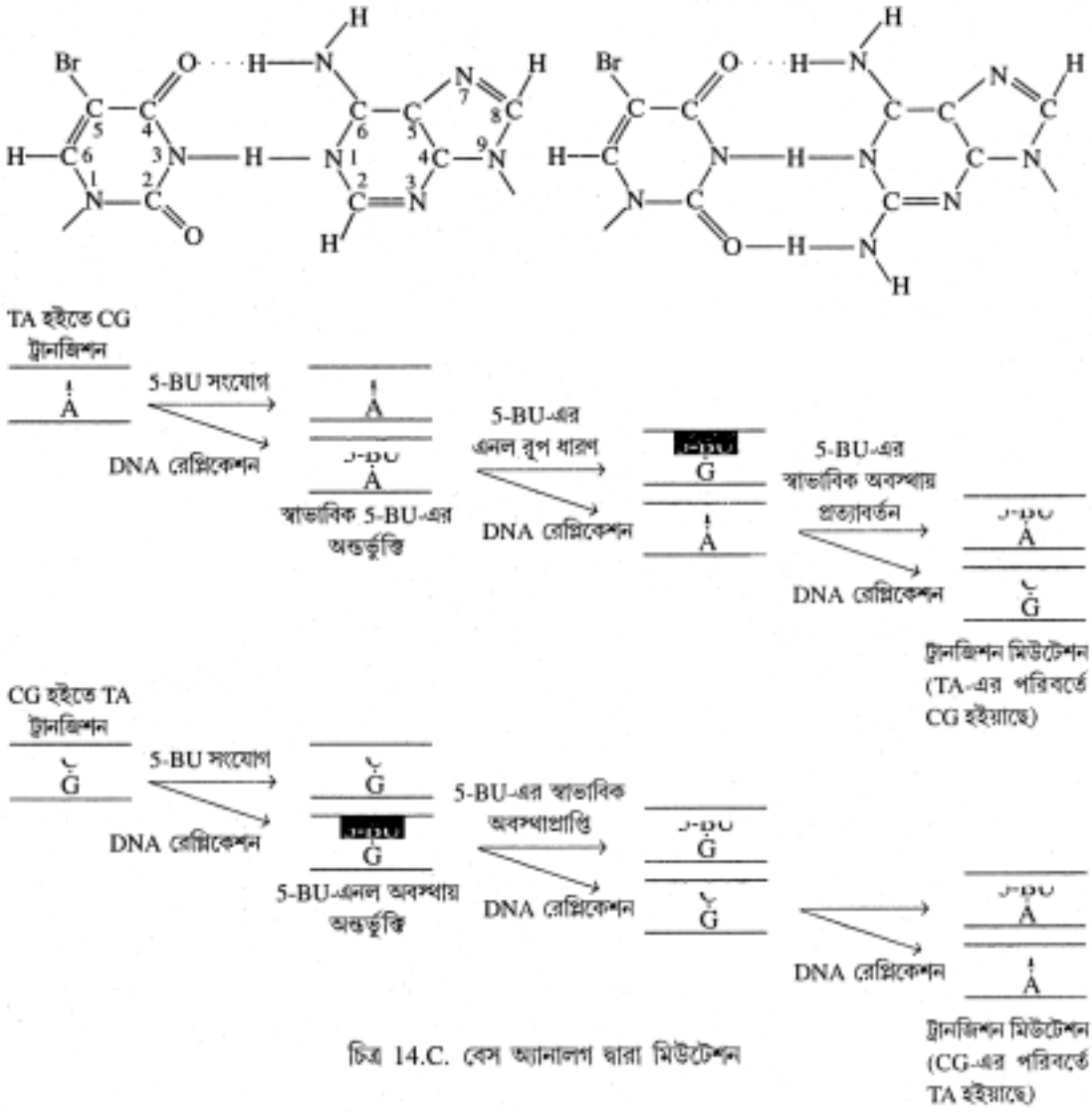
(iii) ইন্টারক্যালেটিং এজেন্ট (intercalating agent)

(iv) ডি-অ্যামিনেটিং এজেন্ট (deaminating agent)

(v) বিবিধ

(i) বেস অ্যানালগ ঃ

এই জাতীয় রাসায়নিক পদার্থগুলির রাসায়নিক গঠন DNA-র কোন একটি বেসের সমতুল্য। একারণে DNA পলিমারেজ উৎসেচকগুলি এগুলিকে পৃথক করতে পারে না। যেমন 5-ব্রোমোইউরাসিল (5-BU) থাইমিন বেসের অ্যানালগ। 2-অ্যামাইনোপিউরিন (2-AP) অ্যাডেনিন বেসের অ্যানালগ। DNA রেপ্লিকেশনের সময় যদি কোশের মধ্যে 5-BU থাকে তবে নতুন DNA সৃষ্টির সময় 5-BU অ্যাডেনিনের সঙ্গে জোড় বেঁধে যায় (কারণ DNA পলিমারেজ উৎসেচক 5-BU কে থাইমিন বলে ভুল করে)। আবার 5-BU-র টটোমেরিক শিফ্‌ট্‌ ঘটলে সেটি সাইটোসিনের মত কাজ করে (স্বাভাবিক গুয়ানিনের সঙ্গে জোড় বাঁধে)। অর্থাৎ TA —CG ট্রানজিশন ঘটাতে পরে (চিত্র 14.C)।

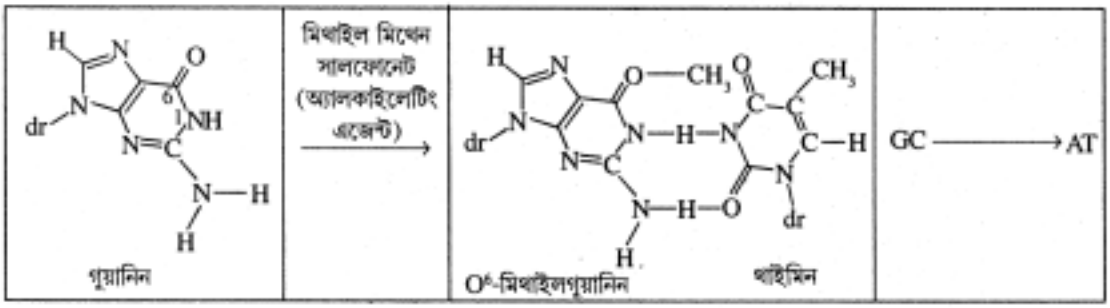


চিত্র 14.C. বেস অ্যানালগ দ্বারা মিউটেশন

(ii) অ্যালকাইলেটিং এজেন্ট ঃ

এই জাতীয় রাসায়নিকগুলি মিথাইল ($-CH_3$) বা ইথাইল ($-CH_2-CH_3$) গ্রুপ সমন্বিত এবং বিক্রিয়াকালে এই গ্রুপগুলিকে (সাধারণভাবে 'অ্যালকাইল' গ্রুপ নামে পরিচিত) তারা নাইট্রোজেন বেসকে দান করে। এই কারণে পরিবর্তিত নাইট্রোজেন বেসের জোড় বাঁধার প্রকৃতি পরিবর্তিত হয়। ফলে ট্রানজিশন জাতীয় প্রতিস্থাপন হয়।

উদাহরণ—ইথাইল-মিথেন সালফোনেট (EMS), এটি গুয়ানিন বেসকে ইথাইল গ্রুপ দান করে 6-ইথাইল গুয়ানিন-এ পরিণত করে, যা থাইমিনের সঙ্গে জোড় বাঁধে ; ফলে GC – AT ট্রানজিশন ঘটে (চিত্র 14.D)।



চিত্র 14.D—অ্যালকাইলেটিং এজেন্ট

অন্যান্য উদাহরণগুলি হল—

ডাই-(2-ক্লোরোইথাইল) সালফাইড বা মাস্টার্ড গ্যাস

ডাই-(2-ক্লোরোইথাইল) মিথাইলঅ্যামিন বা নাইট্রোজেন মাস্টার্ড

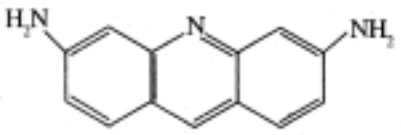
ইথাইল-ইথেন সালফোনেট (EES)

—এইরকম রাসায়নিকগুলি, প্রধানত মাস্টার্ড, যুদ্ধক্ষেত্রে রাসায়নিক মারণাস্ত্র হিসাবে ব্যবহৃত হয়েছে।

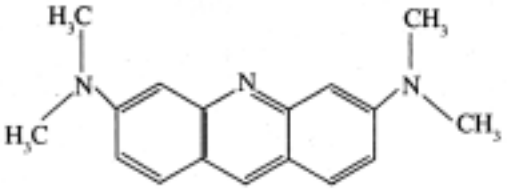
(iii) ইন্টারক্যালেটিং এজেন্ট ঃ

এই রাসায়নিকগুলি নিউক্লিওটাইডের সমান মাপের। এগুলি দুটি নিউক্লিওটাইডের মধ্যে নিজেদেরকে প্রবেশ করাতে সক্ষম হয়, ফলে DNA হেলিক্সের 3-D গঠন বিকৃত হয় এবং রেপ্লিকেশনের সময় একটি নিউক্লিওটাইডের সংযুক্তি বা বিযুক্তি ঘটে। (14.E)

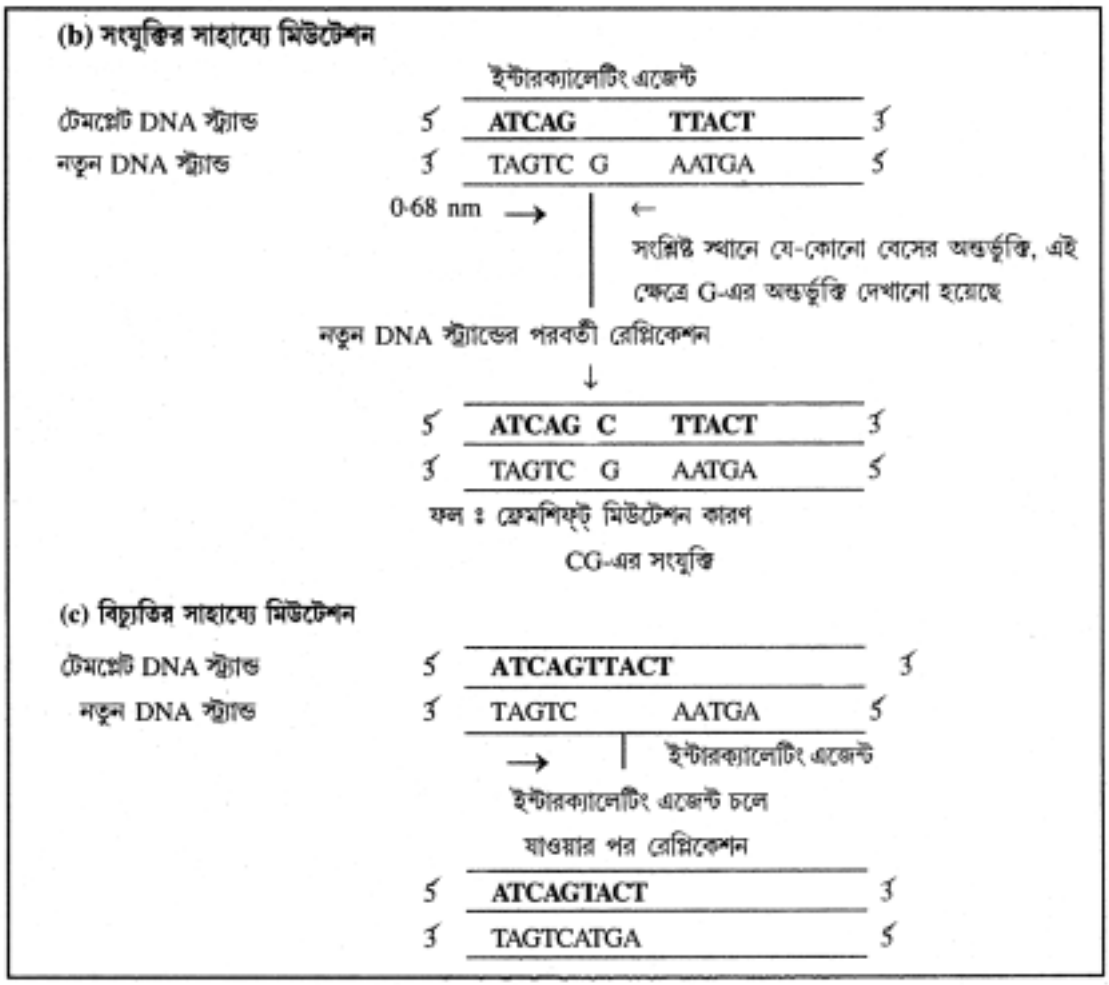
(a) ইন্টারক্যালেটিং এজেন্টের নমুনা



প্রোফ্লাভিন



অ্যাক্রিডিন ওরেঞ্জ



চিত্র 14.E : ইন্টারক্যালেটিং এজেন্ট দ্বারা মিউটেশন।

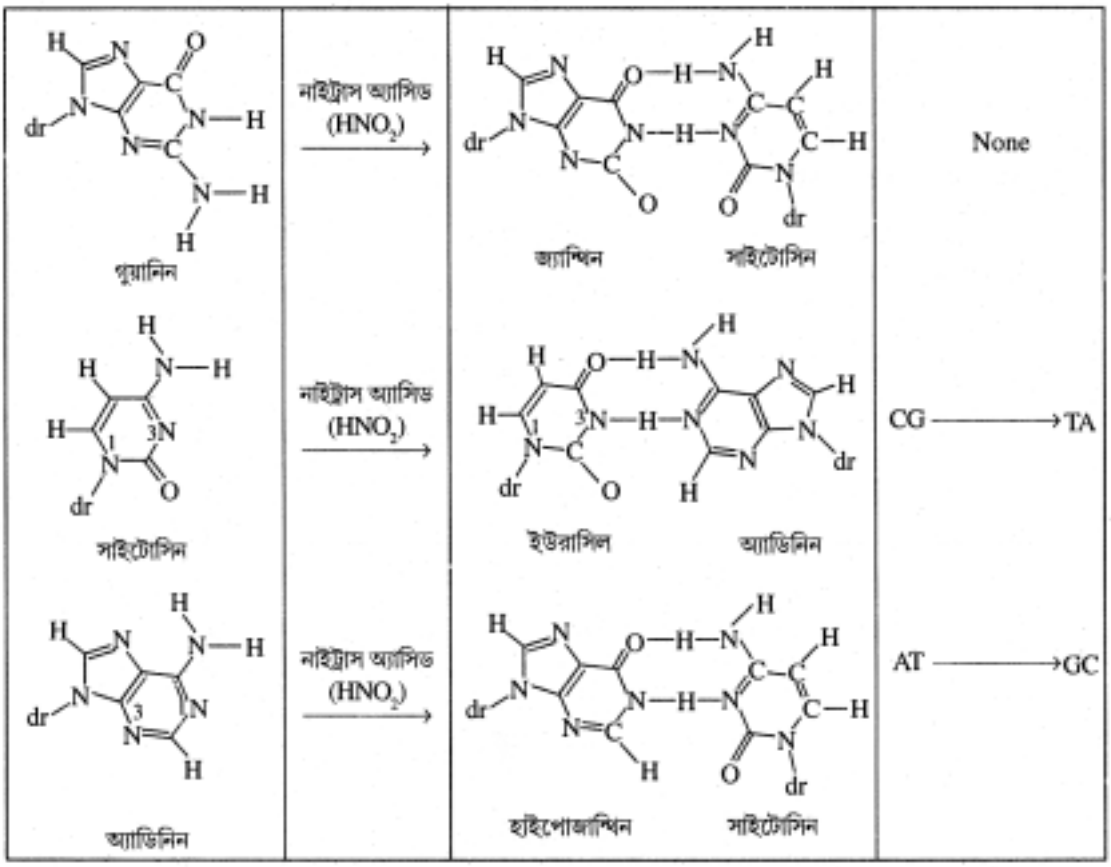
উদাহরণ ঃ প্রোফ্ল্যাভিন, অ্যাক্রিডিন অরেঞ্জ, ইথিজিয়াম ব্রোমাইড, ডাইঅক্সিন ইত্যাদি। (চিত্র 13.F)

চিত্র 14.F : ইন্টারক্যালেশন

এই জাতীয় নিউক্লিওটাইডের সংযুক্তি বা বিযুক্তি প্রায়শই ফ্রেম্‌শিফ্‌ট্‌ মিউটেশন সৃষ্টি করে, যা প্রোটিনের অ্যামাইনো অ্যাসিড সজ্জার বিপুল পরিবর্তন ঘটায়। এ কারণে ইন্টারক্যালেটিং এজেন্ট দ্বারা সৃষ্ট মিউটেশন জীবদেহের ওপর ভয়ংকর প্রভাব ফেলে।

(iv) ডি অ্যামিনেটিং এজেন্ট ঃ

কোনো কোনো রাসায়নিক, যেমন নাইট্রাস অ্যাসিড (HNO_2), নির্দিষ্ট বেসকে ডি-অ্যামিনেট করে। যেমন HNO_2 সাইটোসিনকে ডি-অ্যামিনেট করে ইউরাসিল উৎপন্ন করে, যা পরবর্তীকালে রেপ্লিকেশনের সময় অ্যাডেনিনের সঙ্গে জোড় বাঁধে। ফলে CG → TA ট্রানজিশন মিউটেশন সৃষ্টি হয়। নাইট্রাস অ্যাসিড সাইটোসিন অ্যাডোনিন-কেও পরিবর্তিত করে ট্রানজিশন মিউটেশন সৃষ্টি করে। (চিত্র 14.G)

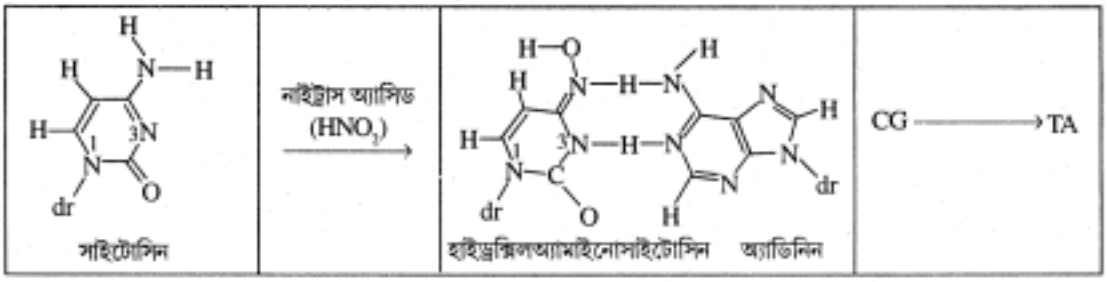


চিত্র ঃ 14.G. HNO_2 দ্বারা ডি-অ্যামিনেশন

(v) বিবিধ ঃ

হাইড্রক্সিলঅ্যামিন (NH_2OH) যৌগটির সুনির্দিষ্ট মিউটাজেনিক ক্ষমতা আছে। এটি সাইটোসিন বেসে একটি

হাইড্রক্সিল (– OH) গ্রুপ যোগ করে সেটিকে হাইড্রক্সিলঅ্যামিনো সাইটোসিন-এ রূপান্তরিত করে। এর ফলে CG – TA ট্রানজিশন সম্ভব হয় (চিত্র 14.H)।



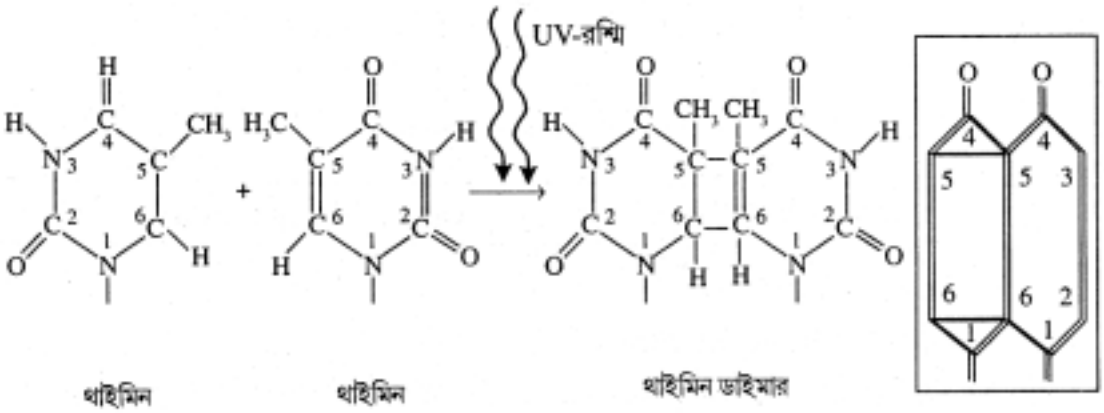
চিত্র 14.H : NH_2OH দ্বারা মিউটেশন

স্বাভাবিক সবাতশ্বসনের সময় সৃষ্ট অক্সিজেনের বিক্রিয়াক্ষম রূপগুলি (reactive oxygen species)—যথা, সুপারঅক্সাইড মূলক, হাইড্রোজেন পারক্সাইড ও হাইড্রক্সিল মূলক ইত্যাদিগুলি DNA-কে জারণ বিক্রিয়ার মাধ্যমে পরিবর্তিত করতে পারে এবং মিউটেশন সৃষ্টি করে। যেমন, গুয়ানিন জারিত হয়ে 8-অক্সিন-7, 8-ডাইহাইড্রোঅক্সি গুয়ানিন সৃষ্টি হয়, যা সাইটোসিনের পরিবর্তে অ্যাডেনিনের সঙ্গে জোড় বাঁধে, ফলে GC → TA রূপান্তর সম্ভব হয়।

14.5.2.2 ❑ ভৌত মিউটাজেন (Physical mutagen)

ভৌত মিউটাজেন হিসাবে অতিবেগুনি রশ্মি (UV-ray) বিশেষভাবে উল্লেখযোগ্য। অতিবেগুনি রশ্মির তরঙ্গদৈর্ঘ্য যখন 254 nm তখন তা সাবলীলভাবে DNA দ্বারা শোষিত হয়। এর প্রভাবে পরস্পর সন্নিহিত পিরিমিডিন বেস জোড়া রাসায়নিক বন্ধনী সৃষ্টির মাধ্যমে ডাইমার গঠন করে। মূলতঃ থাইমিন ডাইমার সৃষ্টির মাধ্যমে DNA-তে মিউটেশন ঘটে (চিত্র 14.I)। এর ফলে DNA রেপ্লিকেশনের সময় ত্রুটি হয় এবং ট্রানজিশন, ট্রান্সভারসান বা ফ্রেম শিফ্‌ট্ জাতীয় মিউটেশন ঘটে।

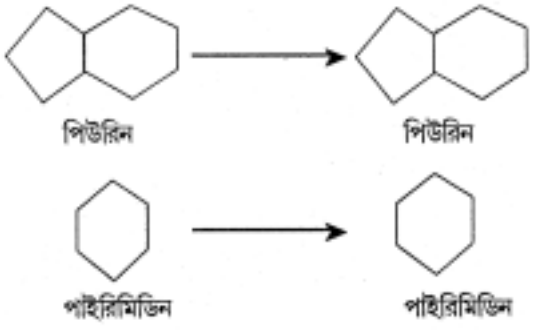
UV-রশ্মি ছাড়াও X-রশ্মি এমনকি অতিরিক্ত তাপমাত্রাও ভৌত মিউটাজেন হিসাবে কাজ করতে পারে।



চিত্র 14.I : UV-রশ্মির প্রভাবে থাইমিন ডাইমার গঠন।

14.6 ❑ মিউটেশনের আণবিক ভিত্তি (Molecular Basis of Mutation)

14.6.1 ❑ DNA স্তরে (At DNA level)

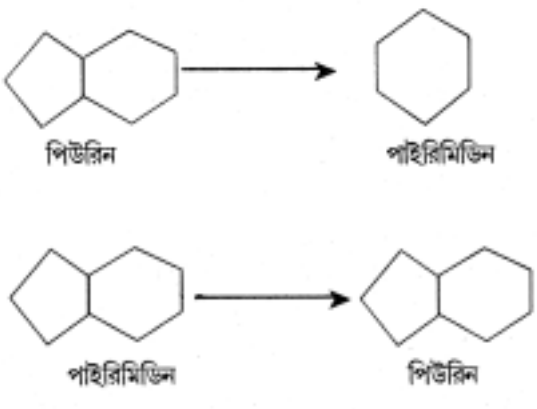


সম্ভাব্য বেস পরিবর্তন

A → G
G → A

T → C
C → T

ট্রানসিশ্‌ন (Transition)



A → C
A → T
G → C
G → T

C → A
C → G
T → A
T → G

ট্রান্সভারসন (Transversion)

14.6.2 ❑ প্রোটিন সংশ্লেষ স্তরে (At the level of Translation)

প্রোটিন সংশ্লেষ স্তরে নিম্নলিখিত মিউটেশন পরিলক্ষিত হয়।

❑ নিঃস্ফল মিউটেশন (Silent Mutation) :

এক্ষেত্রে মিউটেশনের ফলে জীনের কোডন (codon)-টি পরিবর্তিত হলেও, পরিবর্তিত কোডনটি একই অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লিষ্ট করে।

উদাহরণ ঃ

UUU	⟶	UUC
ফিনাইল অ্যালানিন		ফিনাইল অ্যালানিন

সুতরাং এক্ষেত্রে সংশ্লেষিত প্রোটিনটিতে কোনো পরিবর্তন হয় না।

❑ ভ্রান্ত মিউটেশন (Missense Mutation) :

এক্ষেত্রে কোডনটি পরিবর্তিত হয়ে অন্য একটি অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষ করে।

● সমার্থক (Synonymous) মিউটেশন ঃ

এক্ষেত্রে পূর্বের এবং পরিবর্তিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধর্ম মোটামুটি এক থাকায় প্রোটিনের মূল ধর্মে তেমন কোনো পরিবর্তন হয় না।

উদাহরণ ঃ

CUG	⟶	CGG
লিউসিন		আর্জিনিন
(বেসিক অ্যামাইনো অ্যাসিড)		(বেসিক অ্যামাইনো অ্যাসিড)

● অ-সমার্থক (Non Synonymous) মিউটেশন ঃ

এক্ষেত্রে পূর্বের এবং পরিবর্তিত অ্যামাইনো অ্যাসিডের ধর্ম একই রকমের না হওয়ায় প্রোটিনের মূল ধর্ম বদলে যায়।

GCC	⟶	GAC
অ্যালানিন		অ্যাসপারটিক অ্যাসিড

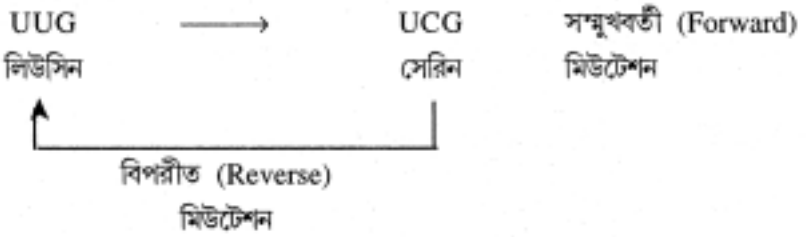
❑ সংশ্লেষ সমাপ্তকারী 'ননসেন্স' (Nonsense) মিউটেশন ঃ

এক্ষেত্রে অ্যামাইনো অ্যাসিড সংশ্লেষকারী 'Sense' কোডনটি পরিবর্তিত হয়ে কোনো একটি সমাপ্তি কোডন (Stop Codon) সৃষ্টি করে, ফলে প্রোটিন সংশ্লেষ মধ্যপথে বন্ধ হয়ে যায়।

UCA	⟶	UAA
সেরিন		সমাপ্তি কোডন

❑ বিপরীত (Reverse) মিউটেশন ঃ

এক্ষেত্রে পরিবর্তিত কোডনটি আবার পরিবর্তিত হয়ে প্রথম Wild type অবস্থায় ফিরে আসে।



❑ ফ্রেম শিফ্‌ট্ (Frameshift) মিউটেশন ঃ

জিনের কোডন সজ্জা বা Open Reading Frame-এর মধ্যে কোনও কোড-এর অন্তর্ভুক্তি (Insertion) বা বহিষ্কার (deletion) হলে রিডিং ফ্রেম বা জিন সজ্জা সম্পূর্ণ বদলে যায়। ফলে সংশ্লেষিত প্রোটিনটির অ্যামাইনো অ্যাসিড শৃঙ্খলের গঠনটিও সম্পূর্ণ বদলে যায়।

CAU CAU CAU CAU CAU .....

পরপর 5টি হিস্টিডিন অ্যামাইনো অ্যাসিড

একটি G-এর অন্তর্ভুক্তি

CAU GCA UCA UCA UCA U.....

সেরিন সেরিন সেরিন ....

এইভাবে পরিবর্তিত RNA শৃঙ্খলের থেকে আবার নিকটবর্তী অঞ্চলে একটি কোড বহিস্কৃত (deleted) হলে কিন্তু প্রোটিন শৃঙ্খলটি আবার পূর্ববর্তী অবস্থায় ফিরে আসে। এই ঘটনাটিকে বলে ইনট্রিনসিক সাপ্রেস্‌ন (Intrinsic Suppression)।

CAU GCA UCA UCA UCA U ....

বহিস্কার (deletion)

↓

CAU GCA CAU CAU CAU CAU .....

⟵ পরপর 4টি হিস্টিডিন ⟶

এইভাবে প্রোটিন সংশ্লেষকালে জেনেটিক কোডের বিবিধ পরিবর্তনের কারণে আণবিক (Molecular) পর্যায়ে মিউটেশন বা রিভারস্‌ন বা সাপ্রেস্‌ন ঘটে।

14.7 ❑ মিউটেশন নির্ধারণ পদ্ধতি (Detection of Mutation)

হঠাৎ করে কোনো জীব বা প্রাণীতে মিউটেশনের আবির্ভাব হলে সেটি কোন্ ক্রোমোজোমে বা কোথায় উৎপন্ন হল তা জানা গেলে, ওই জিন বা মিউটেশন সংক্রান্ত অন্যান্য তথ্যাবলি সংগ্রহ সহজতর হয়।

1910 খ্রিস্টাব্দে মরগ্যান **Drosphila** মাছির ওপর X-রশ্মি প্রয়োগ করে সেগুলির মিউটেশন ঘটিয়েছিলেন। পরবর্তীকালে 1929 খ্রিস্টাব্দে মূলার **Drosphila** মাছিতে X-রশ্মির প্রভাবে সৃষ্ট সেক্স-লিংকড প্রচ্ছন্ন লিথাল (sex-linked recessive lethal) মিউটেশন নির্ধারণের পদ্ধতি আবিষ্কার করেন। এই পদ্ধতিটি CeB পদ্ধতি (CeB method) নামে পরিচিত। এছাড়াও মিউটেশন নির্ধারণের অন্যান্য পদ্ধতিগুলির মধ্যে সংযুক্ত X-ক্রোমোজোম পদ্ধতি (Attached X-chromosome method) এবং মূলার-5 (Muller 5) পদ্ধতি অন্যতম।

CeB পদ্ধতি ঃ

X-রশ্মি দ্বারা উদ্ভূত **Drosphila** মাছির X-ক্রোমোজোমের ওপর সৃষ্ট প্রচ্ছন্নধর্মী লিথাল মিউটেশন নির্ধারণের উদ্দেশ্যে মূলার এই পদ্ধতি আবিষ্কার করেন।

এই পদ্ধতিতে মূলার এমন এক প্রকার হেটেরোজাইগাস স্ত্রী **Drosphila** মাছি ব্যবহার করেন, যার একটি স্বাভাবিক X-ক্রোমোজোম এবং একটি CeB X-ক্রোমোজোম ছিল। CeB X-ক্রোমোজোমটি প্রকৃতপক্ষে তিনটি চিহ্নিত জিন (marker gene) সমন্বিত X-ক্রোমোজোম। এই তিনটি চিহ্নিত জিন হল—

C— Crossover Suppressor ; একটি প্রকটধর্মী জীন যা ক্রসিং ওভারে বাধাদান করে। এটি প্রকৃতপক্ষে একটি লম্বা ইনভারশন।

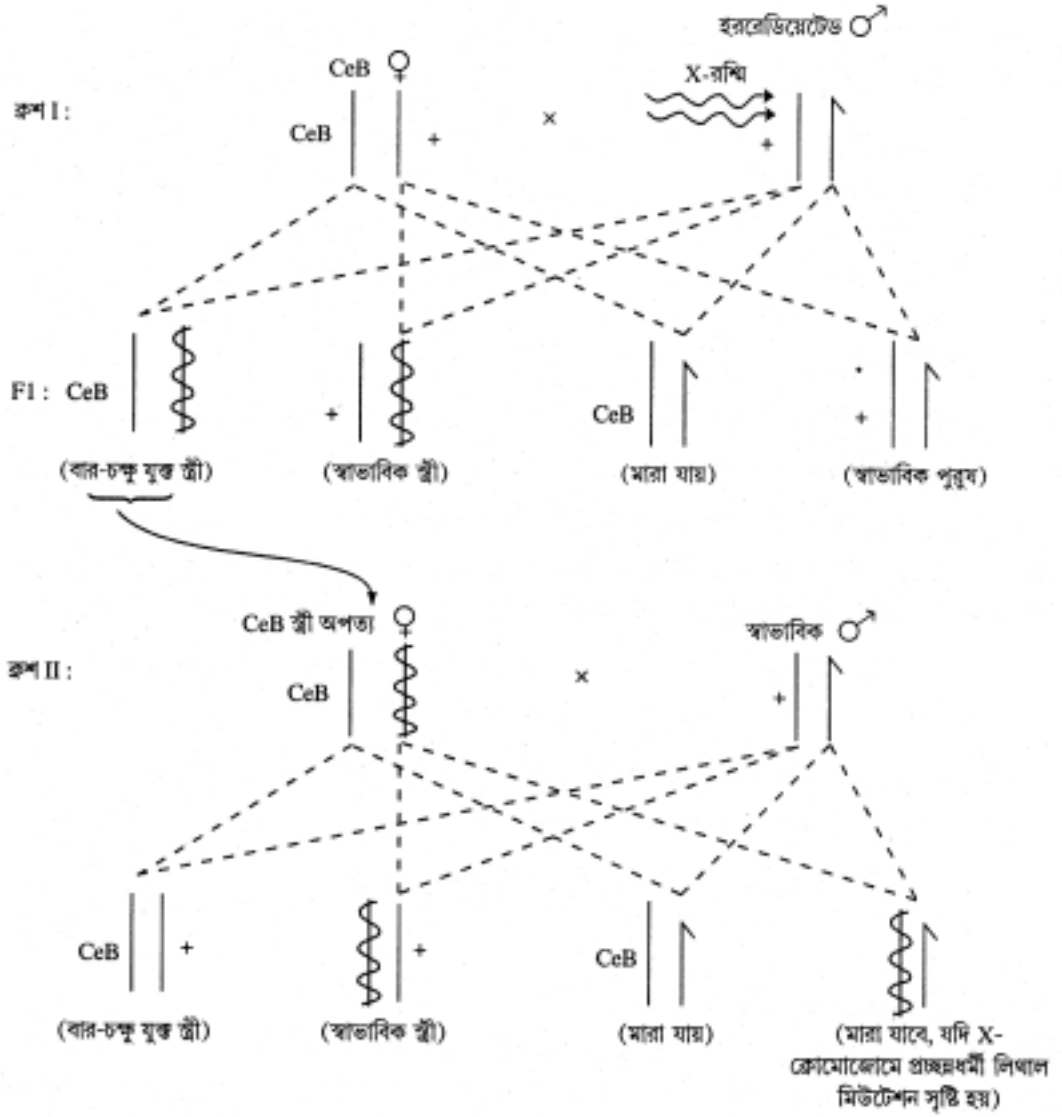
e— একটি প্রচ্ছন্নধর্মী লিথানল জীন। এই X-লিংকড মিউটেশন বহনকারী হোমোজাইগাস স্ত্রী কিংবা হেমিজাইগাস পুরুষ বাঁচতে পারে না।

B— Bar চক্ষু ; একটিপ্রকটধর্মী মিউটেশন যার প্রভাবে **Drosphila**-তে সরু, বার আকৃতির চক্ষু সৃষ্টি হয়।

সুতরাং এই প্রকার CeB মাছির দুটি X-ক্রোমোজোমের মধ্যে একটি স্বাভাবিক X এবং অন্যটি CeB-X. এক্ষেত্রে লিথাল জীনটি (e) হেটেরোজাইগাস অবস্থায় থাকে বলে কোনো বহিঃপ্রকাশ ঘটে না এবং মাছিটিকে বাহ্যিকভাবে কেবলমাত্র বার-চক্ষু চরিত্রের জন্যই চিহ্নিত করা সম্ভব। এই মাছিটিতে ক্রসিংওভারও সংঘটিত হতে পারে না।

মূলার একটি স্বাভাবিক চরিত্রের (wild type) পুরুষ **Drosphila** মাছিকে কিছু সময় ধরে X-রশ্মিতে উন্মুক্ত রাখেন। X-রশ্মির প্রভাবে এই মাছিটিতে প্রচ্ছন্ন লিথাল মিউটেশন সৃষ্টি হতে পারে—যা নির্ধারণ করাই এই পরীক্ষার উদ্দেশ্য।

X-রশ্মি দ্বারা ইররেডিটয়েড পুরুষ মাছির সঙ্গে CeB-স্ত্রী মাছির সংকরায়ণ ঘটানো হয়। এই জননে অর্থাৎ F_1 জনুতে স্ত্রী ও পুরুষ মাছির অনুপাত ছিল 2 (স্ত্রী) : 1 (পুরুষ)। (চিত্র 14.J)



চিত্র 14.J : CeB পদ্ধতি X-ক্রোমোজোমস্থিত প্রচ্ছন্নধর্মী লিথাল মিউটেশন শনাক্তকরণ

মুলার-এর পর F_1 জনুর CeB স্ত্রী মাছি নিয়ে তার সঙ্গে স্বাভাবিক চরিত্রের পুরুষ মাছির মিলন ঘটান। F_2 জনুতে উৎপাদিত মাছি বিশ্লেষণ করে X-রশ্মি দ্বারা উদ্ভাবিত X-ক্রোমোজোমের মিউটেশন করেন।

F_1 জনুর 'বার' চক্ষুবিশিষ্ট স্ত্রী-মাছিগুলির মধ্যে P জনুর CeB স্ত্রী থেকে CeB X-ক্রোমোজোমটি ও ইররেডিয়েটেড পুরুষ থেকে X-ক্রোমোজোমটি সঞ্চারিত হয়।

এইবার ওই প্রকার একটি CeB মাছির সঙ্গে একটি স্বাভাবিক পুরুষের ক্রশ ঘটানো হয় এর ফলে F_2 জনুর পুরুষ মাছিগুলি তাদের মাতার কাছে থেকে (F_1 জনুর CeB স্ত্রী মাছির থেকে) হয় e জীনযুক্ত CeB X-ক্রোমোজোম বা ইররেডিয়েটেড X-ক্রোমোজোম লাভ করে। যে পুরুষ মাছিগুলি CeB X-প্রাপ্ত হয় তারা লিথাল e-জীনের জন্য হেমিজাইগাস হওয়ায় মারা যায়। অপরপক্ষে যে পুরুষমাছিগুলি ইররেডিয়েটেড X-ক্রোমোজোম প্রাপ্ত হয় সেগুলিও মারা যায়—যদি X-রশ্মির প্রভাবে P জনুর পুরুষ মাছির X-ক্রোমোজোমে একটি প্রচ্ছন্নধর্মী লিথাল মিউটেশন সৃষ্টি হয়। স্ত্রী-মাছির একটি X-ক্রোমোজোমে C-জিন থাকায় কোনোভাবে পুরুষ থেকে প্রাপ্ত X-ক্রোমোজোমের লিথাল জীনটি CeB X-ক্রোমোজোমে যেতে পারে না।

এইভাবে CeB পদ্ধতির মাধ্যমে মূলার X-রশ্মির দ্বারা পুরুষ **Drosphila**-এর X-ক্রোমোজোমে প্রচ্ছন্নধর্মী লিথাল মিউটেশন সৃষ্টির প্রমাণ দেন।

পুরুষ X-ক্রোমোজোমটিতে X-রশ্মির প্রভাবে কোনো প্রচ্ছন্নধর্মী দৃশ্যমান (visible) মিউটেশন উৎপন্ন হলে তাও F_2 জনুর পুরুষ মাছিতে প্রকাশ পেত।

14.8 ❑ প্রশ্নমালা

A. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

(i) সর্বমোট ———— রকমের ট্রানজিশন ও ———— রকমের ট্রান্সভারসন হতে পারে।

(ii) স্বাভাবিক অবস্থায় অ্যাডেনিন বেস ———— রূপে ও থাইমিন বেস ———— রূপে থাকে।

(iii) বেসের স্বাভাবিক জোড় বাঁধার রীতি হল ঃ A = ———— এবং ———— ≡ C

(iv) ———— হল একপ্রকার বেস অ্যানালগ।

(v) EMS-এর পুরো নাম ————।

(vi) ———— এর একটি উদাহরণ হল প্রোফ্ল্যাভিন।

(vii) HNO_2 বেসকে ———— করে।

(viii) —মিউটেশনের ফলে Sense codon পরিবর্তিত হয়ে Stop codon-এ রূপান্তরিত হয়।

B. 1 ও 2 নং স্তম্ভকে মেলান ঃ

স্তম্ভ 1	স্তম্ভ 2
(i) A ⟶ G	(a) বেস অ্যানালগ
(ii) A ⟶ T	(b) ট্রান্সভারশন
(iii) 2-AP	(c) অ্যাক্রিডিন অরেঞ্জ
(iv) মাস্টার্ড গ্যাস	(d) অক্সিজেনের বিক্রিয়াক্ষম রূপ
(v) ইন্টারক্যালাটিং এজেন্ট	(e) UAA
(vi) সুপারঅক্সাইড মুলক	(f) ট্রানজিশন
(vii) UV রশ্মি	(g) রাসায়নিক মারণাস্ত্র
(vii) ননসেন্স মিউটেশন	(h) থাইমিন ডাইমার

C. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(i) মিউটেশন কাকে বলে? উদাহরণ দিন।

(ii) মিউটাজেন কাকে বলে? উদাহরণ দিন।

(iii) সংজ্ঞা লিখুন ও ব্যাখ্যা করুন।

(a) সমার্থক মিউটেশন, (b) অসমার্থক মিউটেশন, (c) কেমশিফ্‌ট্‌ মিউটেশন, (d) ননসেন্স মিউটেশন।

(iv) টীকা লিখুন ঃ

(a) EMS ; (b) HNO_2 ; (c) অ্যাক্রিডিন অরেঞ্জ ; (d) টটোমেরিক শিফ্‌ট্‌ ; (e) ট্রান্সভারশন।

14.9 ❑ উত্তর সংকেত

A. (i) চার, আট ; (ii) অ্যামাইনো, কিটো ; (iii) T, G ; (iv) 5—BU ; (v) ইথানল-মিথেন সালফোনেট ; (vi) ইন্টার ক্যালাটিং এজেন্ট ; (vii) ডি-অ্যামিনেট ; (viii) ননসেন্স।

B. (i) — (f) ; (ii) — (b) ; (iii) — (a) ; (iv) — (g) ; (v) — (c) ; (vi) — (d) ; (vii) — (h) ; (viii) — (e).

C. (i) — 14.2 ; (ii) 14.5.2 ; (iii) — 14.6 ; (iv) — (a)-(c) ; 14.5.2.1; (d)-14.5.1.1. (e) 14.4.

একক 15 ■ প্লাসমিড ও ট্রান্সপোসেবল এলিমেন্টস

গঠন

15.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

15.2 ব্যাকটেরিয়ার যৌন জনন

15.3 প্লাসমিডের উৎপত্তি

15.4 প্লাসমিডের গঠন ও ধর্মাবলি

15.5 জিন ক্লোনিং-এ প্লাসমিডের ব্যবহার

15.5.1 জিন ক্লোনিং-এ ব্যবহৃত কয়েকটি প্লাসমিডের বিবরণ

15.6 প্লাসমিড DNA প্রস্তুতি

15.7 প্লাসমিডের পলিলিংকার অঞ্চলে বহিঃস্থ DNA প্রতিস্থাপন

15.8 প্লাসমিড DNA কে ব্যাকটেরিয়া কোশে পুনঃস্থাপন

15.9 রিকমবিন্যান্ট প্লাসমিড দ্বারা প্রতিস্থাপিত সঠিক কোশ নির্বাচন

15.10 ট্রানসপোসন

15.10.1 আবিস্কার ও শ্রেণিবিন্যাস

15.10.2 ট্রানসপোসনের ধর্মাবলি

15.10.3 প্রোক্যারিওটিক ট্রানসপোসন

15.10.4 ইউক্যারিওটিক ট্রানসপোসন

15.10.5 ড্রসোফিলা মাছির ট্রানসপ্যোসন

15.11.6 মানুষের ট্রানসপোসন

15.11 সারাংশ

15.12 প্রশ্নাবলি

15.13 উত্তর সংকেত

15.1. ❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

1928 সালে আলেকজান্ডার ফ্লেমিং-এর যুগান্তকারী গবেষণালব্ধ অ্যান্টিবায়োটিক ওষুধ পেনিসিলিন মানব সভ্যতার কাছে আশীর্বাদস্বরূপ। এই অ্যান্টিবায়োটিক ও তার পরবর্তীযুগে আরো অনেক ওই ধরনের ওষুধ ব্যবহার করে মানুষ জীবাণুঘটিত বহু কালান্তক ব্যাধি থেকে রক্ষা পেয়েছে। কিন্তু আজ সেই পেনিসিলিনের ব্যবহার প্রায় নেই বললেই চলে। শুধু পেনিসিলিনই নয়, একে একে পরবর্তী প্রজন্মের অনেক অ্যান্টিবায়োটিকই আজ আর জীবাণু সংক্রমণ প্রতিরোধে সক্ষম নয়। চিকিৎসাবিদ্যার ভাষায় ওইসব জীবাণুগুলি অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধী বা Resistant হয়ে গেছে। তাই ক্রমাগত সন্ধান চলছে নতুন নতুন অ্যান্টিবায়োটিকের আর কিছুদিনের মধ্যেই তাদের বিরুদ্ধে প্রতিরোধ ক্ষমতা অর্জন করে ফেলছে জীবাণুগুলি। কিন্তু কীভাবে এত দ্রুত এই জীবাণু প্রতিরোধের ক্ষমতা অর্জন করছে তারা? কিভাবে এত দ্রুত সেই প্রতিরোধ ক্ষমতা ছড়িয়ে পড়ছে জীবাণু গোষ্ঠিগুলির মধ্যে? জেনেটিক্সের গবেষকেরা নানা পরীক্ষা

নীরিক্ষার মাধ্যমে জানতে পেরেছেন এই প্রতিরোধ ক্ষমতার নেপথ্যে রয়েছে কয়েকটি জিন (Gene) আর এই জিনগুলি রয়েছে ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোজোমের বাইরে কতকগুলি গোলাকার ছোটো ছোটো ক্রোমোজোম বহির্ভূত গোলাকার DNA অণুর মধ্যে যাদের বলা হয় প্লাসমিড (Plasmid)। এরা একসাথে অনেক অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধী জিন বহন করে এবং দ্রুত জীবাণু গোষ্ঠীর মধ্যে ছড়িয়ে পড়ে। একই রকমভাবে প্রায় সমগ্র জীবগোষ্ঠীর মধ্যে রয়েছে আরো একটি বিশেষ ধরনের জেনেটিক এলিমেন্ট (Genetic element) যাকে বলে ট্রান্সপোসন (Transposon) যারা ক্রোমোসোমের এক স্থান থেকে অন্য স্থানে এমনকি অন্য ক্রোমোসোমেও লাফিয়ে গিয়ে বসে যেতে পারে। ব্যাকটেরিয়াও এর ব্যাতিক্রম নয়। অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধ ক্ষমতা অর্জনকারী জিনটিকে মধ্যে নিয়ে এই ট্রান্সপোসনগুলি খুব সহজেই সেই বৈশিষ্ট্য ছড়িয়ে দেয় নিজের প্রজাতি বা নিজের প্রজাতির সমতুল্য অন্যান্য জীবাণুর মধ্যে। এইভাবে ব্যাকটেরিয়া ঘটিত ডিসেন্ট্রি (dysentery), টাইফয়েড (Typhoid),যক্ষা (Tuber-culosis) বা গনোরিয়া (Gonorrhea)-র মত রোগগুলির চিকিৎসা দুষ্কর হয়ে উঠেছে।

উদ্দেশ্য ঃ এই অধ্যায়টি পাঠ করলে আপনি —

(1) ছোটো প্লাসমিডের সংজ্ঞা, গঠন ও কার্যাবলি জানবেন।

(2) জিন ক্লোনিং বা জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং-এ প্লাসমিডের ব্যবহার সম্বন্ধে অবগত হবেন।

(3) ট্রান্সপোসেবল জেনেটিক এলিমেন্টগুলির সম্বন্ধে অবহিত হবেন।

15.2 ❑ ব্যাকটেরিয়ার যৌন জনন

ব্যাকটেরিয়া মূলতঃ অযৌন জননের মাধ্যমে বংশবিস্তার করে। এছাড়াও ব্যাকটেরিয়াতে যৌন জনন (Sexual reproduction)-এর মত জনন প্রক্রিয়া সংগঠিত হয় যাকে প্যারাসেক্সুয়াল (Parasexual) পদ্ধতি বলা যায়। কারণ এক্ষেত্রে যদিও বংশগত বৈশিষ্ট্য জিনের মাধ্যমে দুই পিতামাতার কাছ থেকে আসে কিন্তু মিয়োসিস (Meiosis) কোশ বিভাজন বা নিষেক (Fertilization) হয় না। এই পদ্ধতিতে তিনভাবে জিনগত বৈশিষ্ট্য এক ব্যাকটেরিয়া থেকে অন্য ব্যাকটেরিয়াতে পৌঁছায়।

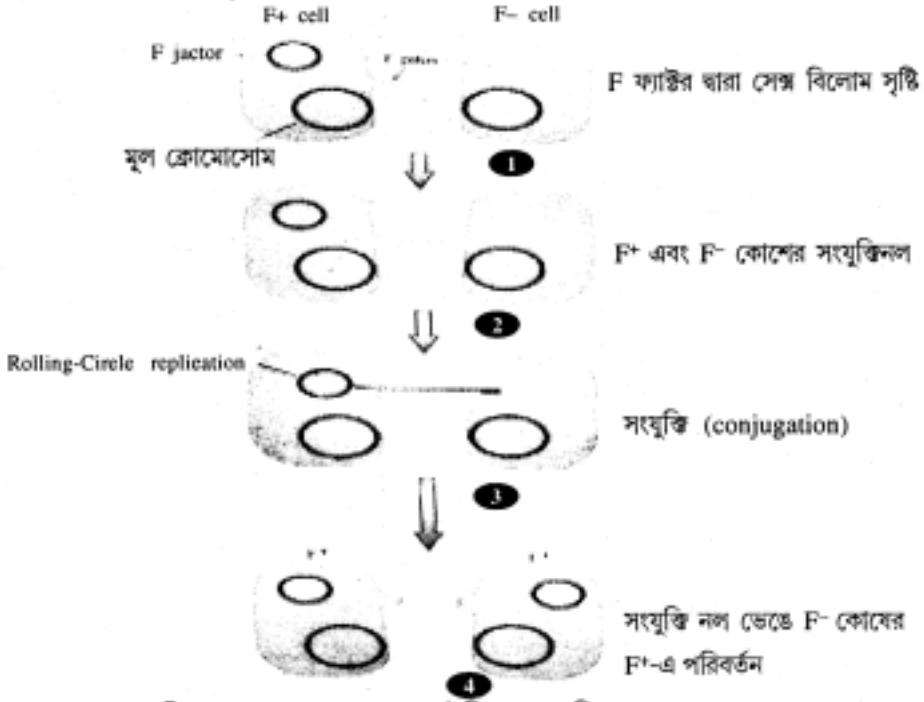
ট্রান্সফরমেশ্ন (Transformation)–এই পদ্ধতিতে দাতার DNA অণু বহিঃস্থ পরিবেশ থেকে গ্রহীতা কোশে প্রবিষ্ট হয়। কনজুগেশন (Conjugation)–এই পদ্ধতিতে ব্যাকটেরিয়ার কোশগুলি পরস্পরের সরাসরি সংস্পর্শে আসে এবং দাতা কোশ থেকে গ্রহীতা কোশে DNA প্রবেশ করায়।

ট্রান্সডাকশ্ন (Transduction)—এই পদ্ধতিতে এক ব্যাকটেরিয়ার কোশ থেকে অন্য ব্যাকটেরিয়ার কোশে DNA স্থানান্তরিত হয় ফাজ-ভাইরাস (Bacteriophage)-এর মাধ্যমে। এদের মধ্যে সবচেয়ে আগে আবিষ্কৃত হয় ট্রান্সফরমেশন পদ্ধতিটি। 1928 সালে গ্রিফিথ এবং 1944 সালে আভেরী, ম্যাকলিওড এবং ম্যাকার্টি এই পদ্ধতিটির আবিষ্কারের মাধ্যমেই প্রমাণ করেন যে জীনই অর্থাৎ DNA-ই বংশগতির ধারক ও বাহক।

এই ট্রান্সফরমেশন পদ্ধতিতে দাতার DNA অণু খুব সহজেই, সাধারণ অভিস্রবণ পদ্ধতিতে গ্রহীতার কোশে চলে যায়, এমন নয়। দাতা কোশ ও গ্রহীতা কোশকে এইজন্য বিশেষভাবে তৈরি হতে হয়। 8 থেকে 10 টি বিশেষ প্রোটিন সংশ্লেষ করতে হয়, বিশেষ ধরনের উৎসেচক প্রয়োজন হয় এমনকি কিছু বিশেষ রাসায়নিক যেমন ফেরোমোন (Pheromone) সৃষ্টি করতে হয়। এইভাবে যে কোশে এইসব কমপিটেন্ট ফ্যাক্টর (Competent factor) তৈরি করে নিঃসৃত (Secretion) করতে পারে তারাই গ্রহীতা কোশ হয়। এদের কমপিটেন্ট (Competent) কোশও বলে।

অন্যদিকে 1946 সালে লিডারবার্গ ও টটার্ম আবিষ্কার করেন ব্যাকটেরিয়ার প্যারাসেক্সুয়াল জননের আর এক পদ্ধতি—কনজুগেশন বা সংযুক্তি। 1950 সালে বার্নাড ডেভিস দেখান যে দুইটি ব্যাকটেরিয়া কোশের পরস্পর সংস্পর্শে আসা জরুরী এক্ষেত্রে। 1952 সালে উইলিয়াম হেস্ প্রমাণ করেন সংযুক্তির মাধ্যনে জিন স্থানান্তর প্রক্রিয়া একমুখী (Unidirectonal)। দাতাকোশ যাকে F+ বলা হয় এবং গ্রহীতা কোশ, F – নামে অবিহিত। দাতা F+ কোশে একটি প্লাসমিড থাকে যাকে ফার্টিলিটি ফ্যাক্টর (Fertility factor) বা F factor বা F প্লাসমিড বলে। এটি একটি ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোসোম ব্যাতীত (extrachromosomal),চক্রাকার DNA অণু যাহাতে 94,000 টি নিউক্লিওটাইড যুগ্ম বা বেস পেয়ার (Base pair)থাকে। এই F ফ্যাক্টরের জিনগুলিই ব্যাকটেরিয়ার সংযুক্তির সময় যৌন পিলাস (Sex pilus)বা সংযুক্তি নল (conjugation tube) সংশ্লেষ করে এবং দাতা ও গ্রহীতা কোশকে পরস্পরের কাছে আনে। F ফ্যাক্টরের মধ্যে আবার ইনসারশন সিকোয়েন্স (Insertion sequence, Is) নামক ট্রান্সপোসন থাকে যা F ফ্যাক্টরকে ক্রোমোসোমের সাথে রিকম্বিনেশন (Recombination) এর মাধ্যমে সংযুক্ত হতে সাহায্য করে। এইভাবে যে প্লাসমিড ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোসোমের সাথে যুক্ত হয়ে যায় তাদের ইন্টিগ্রেটিভ্ প্লাসমিড (Integrative Plasmid) বা এপিসোম (episome) বলে।

যখন F+ এবং F– কোশের মিলন হয় তখন সেক্স পিলাসের মাধ্যমে রোলিং সার্কল (Rolling Circle) পদ্ধতিতে একতন্ত্রীবিশিষ্ট (Single stranded) হয়ে F প্লাসমিডটি F– কোশে প্রবেশ করে। স্থানান্তরিক একতন্ত্রী DNA টি প্রতিলিপি গঠন বা Replication-এর মাধ্যমে দ্বিতন্ত্রী (Double stranded) হয়।



চিত্র 15.1 F⁺ এবং F⁻ ব্যাকটেরিয়ার সংযুক্তি (conjugation)

15.3. ❑ প্লাসমিডের উৎপত্তি

আবিষ্কারের পর থেকেই বহিঃক্রোমোসোমীয় এই প্লাসমিড সম্বন্ধে এবং তার উৎপত্তি সম্বন্ধে গবেষকরা উৎসাহী

হয়ে ওঠেন। যদিও এই উৎপত্তি (origin)–র ইতিহাস আজো এক রহস্য। কেউ কেউ বলেন, প্লাসমিড আসলে ফাজ ভাইরাসের DNA যা ট্রান্সডাকশ্‌ন পদ্ধতিতে ব্যাকটেরিয়ার কোশে ঢুকে মিথোজীবীয় প্রক্রিয়ায় ব্যাকটেরিয়া কোশের অংশ হয়ে গেছে। এর স্বপক্ষে জেনেটিক্স-এর গবেষকদের ব্যাখ্যা হল, প্লাসমিড ব্যাকটেরিয়ার কোশে কিছু সংশ্লেষ না করে কোশ পর্দায় প্রোটিন সংশ্লেষ ঘটায়, যেমন ব্যাকটেরিওফাজ তার যাবতীয় প্রোটিন কোশ প্রাচীরের জন্যই সংশ্লেষ করে। বহু বিজ্ঞানী দেখিয়েছেন নিত্য নতুন নতুন প্লাসমিডের সৃষ্টি হয় এবং পুরানোগুলি বিনষ্ট হয়। প্রতি কোশে প্লাসমিডের সংখ্যাও পরিবর্তনশীল। সবগুলিই ইন্টিগ্রেটিভ অর্থাৎ ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোসোমে সংযুক্ত হবে, এমন কোনও নিশ্চয়তা নেই। কিছু কিছু প্লাসমিড আবার যৌন জননে অংশগ্রহন না করে অন্য কাজ যেমন টক্সিন (Toxin) বা বিষ সংশ্লেষ, অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধ ক্ষমতা, এইসব কাজেও লিপ্ত থাকে। ব্যাকটেরিয়ার এই ক্ষুদ্র ক্রোমোসোম যেমন একাধারে চিকিৎসাবিজ্ঞানীদের চিন্তার কারণ আবার অন্য দিকে জৈবপ্রযুক্তি (Biotechnology)-র মাধ্যমে মানুষের কাজে লাগে এমন বহু কাজে ব্যবহৃত হচ্ছে। এই বিষয়ে একক 16-তে বিশদে বলা হয়েছে।

15.4 ❑ প্লাসমিডের গঠন ও ধর্মাবলি

গঠনগতভাবে প্লাসমিডে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিদ্যমান ঃ

(1) মূল ক্রোমোজোমের বাইরে থাকে অর্থাৎ Extrachromosomal

(2) দ্বিতন্ত্রী DNA দ্বারা গঠিত অর্থাৎ Double stranded

(3) চক্রাকার অর্থাৎ Circular

(4) নিজ প্রতিলিপি গঠনে কারো উপর নির্ভরশীল নয় অর্থাৎ Self-replicatiry

(5) ক্রোমোজোমের তুলনায় ছোটো, অর্থাৎ Minichromosomes, 1000 বেসপোয়ার বা 1000 bp থেকে 200 Kilobp-র প্লাসমিড পাওয়া গেলেও কার্যকরী প্লাসমিডগুলি <10Kb মাপের হয়।

(6) অনেক প্লাসমিডই বিশেষ ধরনের অ্যান্টিবায়োটিক-প্রতিরোধী ক্ষমতাসম্পন্ন জিন অর্থাৎ antibiotic resistance gene বহন করে। যেগুলিকে জৈব প্রযুক্তির কাজে চিহ্নিতকরণের মাপকাঠি বা Selectable marker বলে।

(7) DNA কে নির্দিষ্টভাবে খণ্ডিত করার জন্য উৎসেচকগুলির যেসব নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইড সিকোয়েন্স (Nucleotide Sequence) প্রয়োজন সেগুলি প্লাসমিডে যথেষ্ট সংখ্যায় পাওয়া যায়। এইরূপ বিশেষ উৎসেচকগুলিকে রেস্ট্রিকশ্‌ন এন্ডোনিউক্লিয়েজ (Restriction Endonuclease) বলে এবং যৌথভাবে এই উৎসেচক ও প্লাসমিডের ব্যাপক ব্যবহারই জৈবপ্রযুক্তির বর্তমান উত্তরণের প্রধান হাতিয়ার।

(8) মাপে ছোটো হওয়ায় প্লাসমিডের DNA কে সহজেই কোশের বাইরে এনে পরিশুদ্ধ (Purification) করা যায় আবার প্রয়োজনমত ট্রান্সফরমেশন পদ্ধতিতে ব্যাকটেরিয়ার কোশে ঢুকিয়েও দেওয়া যায়।

(9) অনেক প্লাসমিড-ই কোশে একাধিক সংখ্যায় থাকে। এই সংখ্যা কখনও কখনও 100 টিও হতে পারে। কাজেই ক্লোনিং (cloning) পদ্ধতিতে জিন পরিবর্ধন (Amplitication) করতে গেলে একসাথে অনেক প্রতিরূপ (copy) পাওয়া যায়।

(10) ভাইরাসের কিছু জিন বা ইউক্যারিওটের কিছু জিন ও প্রতিরূপ গঠনের জন্য প্রয়োজনীয় উৎপত্তিস্থল, যাকে "Origin of replication" বলে প্লাসমিডে সংযুক্ত করলে প্লাসমিডটিকে ভাইরাস বা ইউক্যারিওটিক কোশ যেমন ঈস্ট (Yeast)-এর মধ্যেও স্থানান্তরিত করা যায়। এই ধরনের বাহক ধর্মকে সাট্‌ল (Shuttle) বাহক বলে।

(11) প্রোটিন সংশ্লেষের জন্য প্রয়োজনীয় প্রোমোটার (Promoter), রাইবোসোম বন্ধনীর স্থান (Ribosome binding site) ইত্যাদি সংযুক্ত করলে প্লাসমিডের দ্বারা ব্যাকটেরিয়ার মধ্যে মানুষের প্রয়োজনীয় প্রোটিন যেমন হরমোন, উৎসেচক, ওষুধ, খাদ্য প্রোটিন ইত্যাদি সংশ্লেষ করা যায়। এইরূপ বাহক ধর্মকে প্রকাশকারক বাহক বা Expression Vector বলে।

(12) শুধুমাত্র প্রাণী বা নিম্নশ্রেণির উদ্ভিদই নয়, উচ্চশ্রেণির প্রয়োজনীয় উদ্ভিদেও জিন স্থানান্তর বা Transgenesis-এর কাজে একটি বিশেষ ব্যাকটেরিয়া, অ্যাগ্রোব্যাকটেরিয়াম (Agrobacterium)-এর বৃহৎ প্লাসমিড (Ti-plasmid) ব্যবহৃত হয়।

প্লাসমিডের এইসব বিশেষ উপযোগী ধর্মাবলি তাকে জৈবপ্রযুক্তির প্রধান মাধ্যম রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তি বা Recombinant DNA Technology (RDT)-র কেন্দ্রীয় অণু হিসাবে নির্দিষ্ট করেছে। বর্তমান যুগে অত্যন্ত জনপ্রিয় ক্লোনিং পদ্ধতিতে প্লাসমিডের ব্যবহার তাই অপরিসীম।

15.5 ❑ জিন ক্লোনিং-এ প্লাসমিডের ব্যবহার

মানুষের হ্যাপ্লয়েড (haploid) জিনসমষ্টি বা জিনোমে (Genome) 3×10^9 টি নিউক্লিওটাইড-যুগ্ম আছে। যদি গড়ে এক একটি পূর্ণ জিন (যা একটি সম্পূর্ণ পলিপেপটাইড সংশ্লেষে সক্ষম) 3000 নিউক্লিওটাইড লম্বা হয় (যদিও বেশির ভাগ জিনই এর চেয়ে অনেক বেশি লম্বা), তাহলে মানুষের জিনোমে অন্তের হিসাবে 10 লক্ষটি জিন আছে। আজকের জিনবিদ্যার প্রয়োজনীয়তা সাপেক্ষে এদের প্রত্যেকটিকে আলাদা আলাদা করে পর্যালোচনা করা তো খড়ের গাদায় সুঁচ খোঁজার সামিল। আবার প্রতিটি পদ্ধতির জন্য সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ (অর্থাৎ অন্য কোন জিন বা প্রোটিন বিহীন) DNA অণু চাই। রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তি এবং জিন ক্লোনিং ছাড়া এই কাজ সম্ভব নয়। অণুজীববিদ্যা বা Molecular Biology-তে এইসব কাজের জন্য প্রাথমিকভাবে প্রয়োজন জিন ক্লোনিং। এই বিষয়ে পরবর্তী একক 15-তে বিশদে আলোচনা করা হয়েছে।

জিন ক্লোনিং-এর জন্য আবার বিশেষ প্রয়োজন।

(1) জিনটিকে জীনোম থেকে বিচ্ছিন্ন করা, যাতে রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ উৎসেচকের প্রয়োজন।

(2) বিচ্ছিন্ন করা, বিশুদ্ধ জিনটিকে কোনও একটি স্বয়ং সম্পূর্ণ (Self replicating) বাহক বা Vector-এ প্রতিস্থাপিত করা।

(3) এইভাবে বাহকের DNA তে প্রতিস্থাপিত রিকমবিন্যান্ট DNA কে উপযুক্ত গ্রাহক কোশ (Host)-স্থানান্তরিত করে তার প্রতিলিপি গঠন করা।

—এই 2 এবং 3 নং কাজে সর্বাধিক ব্যবহৃত বাহক হল প্লাসমিড।

15.5.1 ❑ জিন ক্লোনিং-এ ব্যবহৃত কয়েকটি প্লাসমিডের বিবরণ

(a) **প্লাসমিড PBR 322**

ব্যাকটেরিয়া এসচেরিসিয়া কোলি (E. Coli) তে ব্যবহৃত এই প্লাসসিডটি প্রথম ব্যাপকভাবে ব্যবহৃত প্লাসমিড। ক্লোনিং-এর প্রয়োজনে এখানে নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি বিদ্যমান ঃ

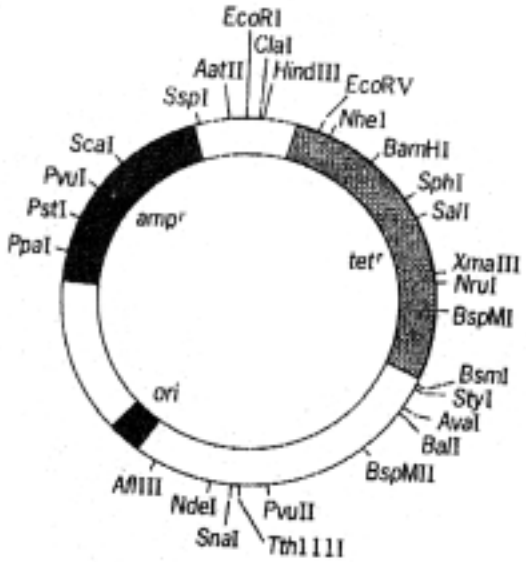
(1) প্লাসমিডটি ছোটো, 4360 নিউক্লিওটাইড যুগ্ম দ্বারা গঠিত।

(2) নিজস্ব প্রতিলিপি গঠনের উৎসস্থল origin of replication রয়েছে।

(3) প্লাসমিডটিতে অসংখ্য (প্রায় 20 টি) রেস্ট্রিকশন্ এন্ডোনিউক্লিয়েজ দ্বারা বিচ্ছিন্ন করার নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইড সিকোয়েন্স রয়েছে, অর্থাৎ এই প্লাসমিডটিতে বহিঃস্থ জিন প্রতিস্থাপন করার সুযোগ বেশি।

(4) প্লাসমিডটিতে Selectable marker হিসাবে ব্যবহার্য দুইটি সহজলভ্য অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধ জিন রয়েছে। এই অ্যান্টিবায়োটিক দুইটি হল যথাক্রমে অ্যাম্পিসিলিন (পেনিসিলিন থেকে উৎপন্ন) ও টেট্রাসাইক্লিন।

এই কারণে পরবর্তীকালে আরো বেশি সুবিধা সম্পন্ন অনেকগুলি প্লাসমিড সৃষ্টি করা হয়েছে মূলতঃ এই PBR_{322}-র আধারের উপর।



চিত্র 15.2 : PBR_{322} প্লাসমিড (রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ সাইট দেখানো হয়েছে)

(b) P^{UC19} এই বিশেষভাবে নির্মিত ক্লোনিং ভেক্টরটির বৈশিষ্ট্য হল ঃ

(1) এটি আরো ছোটো, 2686bp-এর। কাজেই সহজেই কোশের বাইরে আনা যায় বা কোশে ট্রান্সফর্মেশন করা যায়।

(2) নিজস্ব origin of replication রয়েছে।

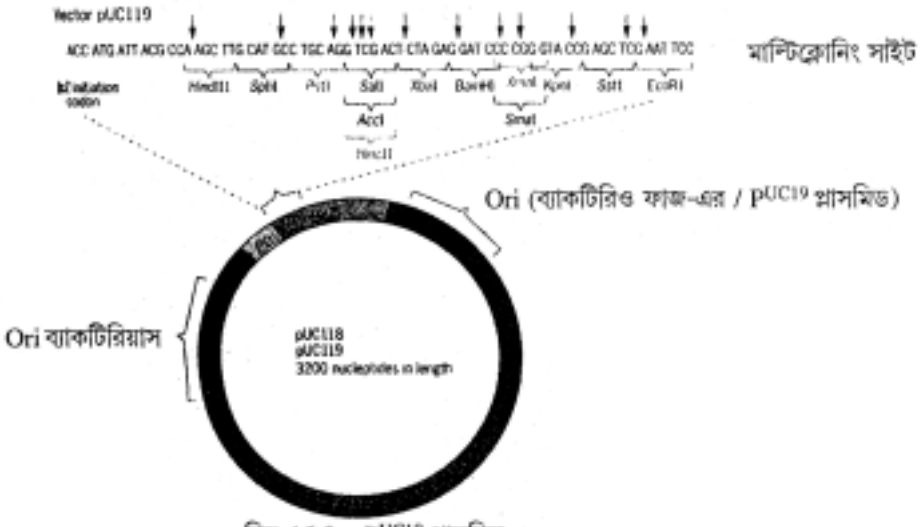
(3) এটি **E.Coli** কোশে অসংখ্য copy তে থাকে (High copy Number) কাজেই ক্লোনিং-এর মাধ্যমে জিন পরিবর্ধনের কাজে বিশেষ সহায়ক।

(4) শুধুমাত্র অ্যাম্পিসিলিন প্রতিরোধ জিন আছে Selectable marker হিসাবে।

(5) অনেকগুলি রেষ্ট্রিকশন্ এন্ডোনিউক্লিয়েজ-এর দ্বারা বিচ্ছিন্ন করা যায় এমন অঞ্চল (site) একসাথে পরপর সজ্জিত করা আছে। এই ধরনের সজ্জাকে মালটিপ্‌ল ক্লোনিং অঞ্চল (Multiple cloning site) বা পলিলিংকার (Polylinker) বলে।

(6) এই পলিলিংকার অঞ্চলেই E-Coli-এর B-গ্যালাক্টোসাইডেজ (B-galactosidase) নামক উৎসেচক সংশ্লেষের জিন ও তার প্রোমোটার সংযুক্ত আছে। যখন এই উৎসেচকটিকে প্রতিস্থাপিত করে বহিঃস্থ জিন সংযুক্ত করে রিকমবিন্যান্ট তৈরি করা হয় এবং সেই রিকমবিন্যান্টকে E.Coli কোশে ট্রান্সফর্মেশন করা হয়, রিকমবিন্যান্ট

কোশটি সেক্ষেত্রে এই উৎসেচকটি সংশ্লেষ করতে পারে না। এই বিশেষ বৈশিষ্ট্যটি ক্লোনিং পরবর্তী সঠিক ক্লোন নির্বাচনের কাজে লাগে (এই সম্বন্ধে পরবর্তী অনুচ্ছেদগুলিতে বিশদে বলা হয়েছে)।

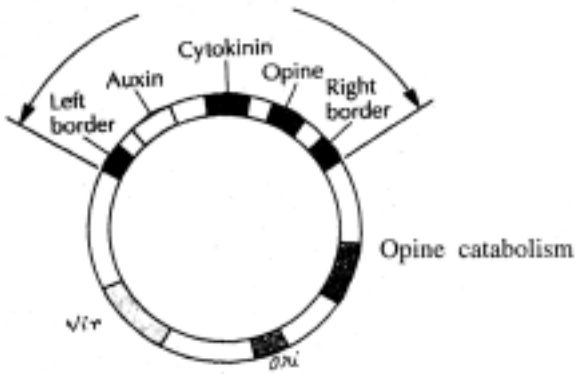


চিত্র 15.3 : P^{UC19} প্লাসমিড

(c) **Ti প্লাসমিড**

ব্যাকটেরিয়া, ঈষ্ট কিংবা প্রাণীকোশে DNA প্রতিস্থাপন করার চেয়ে উন্নত উদ্ভিদে DNA প্রবেশ করানো অনেক বেশি শক্ত। অ্যাগ্রোব্যাকটেরিয়াম টিউমিফেসিয়েন্স (Agrobacterium tumefaciens) নামক মাটিতে থাকা একটি ব্যাকটেরিয়া এই কার্যে বিশেষ পারদর্শী বলে উদ্ভিদের জিন ক্লোনিং-এ এদের ব্যবহার করা হয়। নিতান্তই প্রাকৃতিক নিয়মে এই ব্যাকটেরিয়া উদ্ভিদে DNA প্রবেশ করানোয় সক্ষম। এই ব্যাকটেরিয়াটি উদ্ভিদে এক ধরনের টিউমার (Tumor) যাকে ক্রাউন গল (Crown Gall) বলা হয়, তা সৃষ্টি করে। অধিকাংশ দ্বিবীজপত্রী (Dicoty ledonou's) উদ্ভিদে এই রোগ হয় কিন্তু একবীজপত্রী (Monocoty ledonous) উদ্ভিদে হয় না।

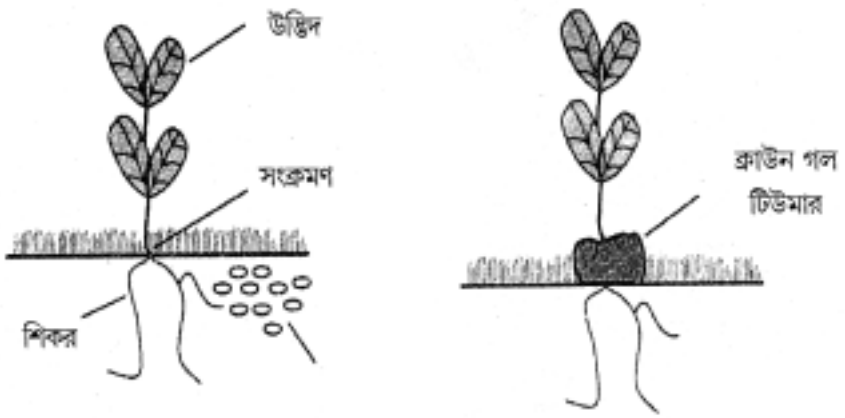
এই ধরনের টিউমার সৃষ্টির কারণ অনুসন্ধান করে দেখা গেছে যে এই ব্যাকটেরিয়াতে একটি বিশেষ ধরনের প্রায় 200 কিলোবেস আকারের প্লাসমিড আছে, যা ট্রান্সফর্মেশন করে উদ্ভিদ শরীরে ঢুকে পড়লে ক্রাউন গল হয়। এই প্লাসমিডটিকে তাই টিউমার-ইনডিউসিং (Tumor-inducing) বা Ti প্লাসমিড বলে।



চিত্র 15.4 : Ti প্লাসমিড

উদ্ভিদ অঙ্গে প্রবেশের পর ব্যাকটেরিয়াটি Ti প্লাসমিডের নির্দিষ্ট 30 kb DNA অংশকে বিচ্ছিন্ন করে দেয়। এই অংশটিকে T-DNA বলে। T–DNA-এর দুইপাশে 25 bp-র দুইটি Repeated Sequence থাকে যাদের "বর্ডার" (Border) বলা হয়। বিচ্ছিন্ন হবার সময় প্রথমে ডানদিকের বর্ডার সিকোয়েন্সে নিক্ (Nick) নামক ছেদ ও পরে বামদিকের বর্ডার সিকোয়েন্সে ছেদ সৃষ্টি হয়। একই DNA তন্ত্রীর মধ্যে। ফলে একটি একতন্ত্রী (Single–spranded) T–DNA অণু তৈরি হয় যাহা উদ্ভিদের কোশের মধ্যে অনেকটা ব্যাকটেরিয়ার সংযুক্তি পদ্ধতির অনুকরণে ঢুকে পড়ে। উদ্ভিদকোশের নিউক্লিয়াসে এইভাবে ঢুকে পড়তে পারলে T-DNA উদ্ভিদের জিনোমে প্রতিস্থাপিত হয়। এইভাবে উদ্ভিদ কোশে T-DNA বাহিত টিউমার সৃষ্টিকারী জিন ঢুকে পড়ে। তবে T–DNA-এর এই বিচ্ছিন্ন হওয়া, উদ্ভিদকোষে প্রবেশ করা বা উদ্ভিদ জিনোমে প্রতিস্থাপিত হওয়ার প্রয়োজনীয় জিনগুলি Ti প্লাসমিডের অন্য একটি অঞ্চলে থাকে, যাকে Vir (Virulence) অঞ্চল বলে।

উদ্ভিদে জিন ক্লোনিং করতে গেলে তাই সেই বিশেষ জিনটিকে রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজের সাহায্যে ওই 25 bp Repeat বিশিষ্ট বর্ডার অঞ্চলদুটির মাঝে প্রতিস্থাপিত করলেই, T–DNA-র মাধ্যমে জিনটিকে উদ্ভিদের জিনোমে পৌঁছে দেওয়া যায়।



চিত্র 15.5 : অ্যাগ্রোব্যাকটেরিয়াম টিউমিক্যাসিয়েনস দ্বারা উদ্ভিদের ক্রাউন গল টিউমার সৃষ্টি।

15.6 ❑ প্লাসমিড DNA প্রস্তুতি

গবেষণাগারে নিত্য প্রয়োজনে ব্যাকটেরিয়ার প্লাসমিড DNA কোশ থেকে বাইরে এনে পরিশুদ্ধিকরণ করা যায়। জিন ক্লোনিং-এর এটি প্রাথমিক প্রস্তুতি।

ব্যাকটেরিয়ার কোশ থেকে DNA নিষ্কাশন করার সময় মূল ক্রোমোজোমের DNA ও প্লাসমিড DNA দুই রকম DNA-ই বেরিয়ে আসে। এক্ষেত্রে ব্যাকটেরিয়াকে কর্ষণ মাধ্যম (culture medium)-এ সংখ্যাবৃদ্ধি করিয়ে, সেন্ট্রিফিউজ পদ্ধতিতে একত্রিত করে, কোশপ্রাচীরের সেলুলোজ জাতীয় শর্করাকে লাইসোজাইম (Lysozyme) নামক উৎসেচক দ্বারা বিনষ্ট করা হয়। এরপর প্লাসমা পর্দাটিকে কোনও ডিটারজেন্ট (detergent) যেমন ট্রাইটন ×100

বা সার্কোসিল দ্বারা ছিন্ন করলে কোশের অভ্যন্তরস্থ সকল বস্তুর সাথে সাথে ক্রোমোজোম ও প্লাসমিডগুলির DNA বেরিয়ে আসে।

সমস্যা হল প্লাসমিডের এই প্রস্তুতিকরণে সেই অংশে ক্রোমোজোমের DNA কে দূর করা। এক্ষেত্রে দুইটি পদ্ধতির সাহায্য নেওয়া হয় ঃ

(1) যেহেতু ক্রোমোজোমের DNA বড়ো তাই সেন্ট্রিফিউজ পদ্ধতিতে সহজেই এর অধঃক্ষেপ বাড়ে এবং প্লাসমিড DNA উপরের তরল অংশে নিমজ্জিত অবস্থায় পৃথক হয়ে যায়। কিন্তু এই পদ্ধতিতে সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ প্লাসমিড পাওয়া সম্ভব নয় কারণ উপরের তরল অংশে ক্রোমোজোমের ছিন্ন হওয়া ক্ষুদ্র অংশ-ও নিমজ্জিত থাকতে পারে।

(2) দ্বিতীয় পদ্ধতিতে দুই ধরনের DNA-র গঠন বিন্যাসের সাপেক্ষে পরিশোধন করা হয়। প্লাসমিড DNA, ক্রোমোজোমের DNA অপেক্ষা বেশি কুণ্ডলীকৃত (Supercojted) অবস্থায় থাকে। এই অবস্থায় দ্রবণের ক্ষারত্ব বাড়িয়ে pH12 করে তুললে সেই ক্ষারীয় মাধ্যমে অপেক্ষাকৃত কম কুণ্ডলীকৃত ক্রোমোজোমের DNA-র হাইড্রোজেন বন্ধনী ভেঙে গিয়ে একতন্ত্রী (Single Standed) খণ্ডাংশে পরিণত হয়। অতিকুণ্ডলীকৃত অবস্থায় থাকে বলে প্লাসমিড DNA-র তেমন কোনও পরিবর্তন হয় না। এরপর দ্রবণের pH কমিয়ে অম্লভাগ বাড়িয়ে তুললে ক্রোমোজোমের একতন্ত্রী খণ্ডাংশগুলি একত্রিত হয়ে Tangled Mass গঠন করে যাহা সেন্ট্রিফিউজ করলে স্বাভাবিকভাবে ভারী হওয়ায় সম্পূর্ণভাবে অধঃক্ষেপিত হয়। অতিকুণ্ডলীকৃত প্লাসমিড DNA এক্ষেত্রেও উপরের তরল অংশে থেকে যায়। এই পদ্ধতিতে অপেক্ষাকৃত পরিশুদ্ধ প্লাসমিড DNA পাওয়া যায় বলে গবেষণাগারের নিত্য প্রয়োজনে ছোটো ছোটো অংশে (Mini-preparation) এই পদ্ধতিটি অধিক প্রচলিত।

তবে গঠনবিন্যাসকেই ভিত্তি করে সম্পূর্ণ বিশুদ্ধ প্লাসমিড, যাহা জিন সংরক্ষণের (Preservation) বা ব্যাবসায়িক ভিত্তিতে প্লাসমিড পরিশোধনের জন্য বিশেষ প্রয়োজন, তৈরি করতে গেলে বিশেষ ধরনের পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। এক্ষেত্রে DNA-র সাথে ইন্টারক্যালেটিং-এজেন্ট (Inter calating agent) এথিডিয়াম ব্রোমাইড (Ethidium-bromide) ব্যবহার করে সেসিয়াম ক্লোরাইড (cesium chloride) দ্রবণে ঘনত্বের বিচারে সেন্ট্রিফিউজ করে প্লাসমিড ও ক্রোমোজোমের DNA আলাদা করা হয়।

15.7 ❑ প্লাসমিডের পলিলিংকার অঞ্চলে বহিঃস্থ DNA প্রতিস্থাপন

Selectable Marker অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধীজিন অঞ্চল বা পলিলিংকার সংলগ্ন B-গ্যালাকটোসাইডেজ জিনের স্থানে বহিঃস্থ DNA-কে প্রতিস্থাপন করার জন্য বিশেষ ধরনের নির্দিষ্ট রেস্ট্রিকশন্ এন্ডোনিউক্লিয়েজ উৎসেচক ব্যবহার করা হয়। এইভাবে রিকম্বিন্যান্ট DNA তৈরি করার জন্য এরপর ছিন্ন DNAতে নতুন করে বন্ধনী সৃষ্টিকারী DNA লাইগেজ (DNA ligase) উৎসেচক ব্যবহার করা হয়। এই বিষয়ে বিশদ বিবরণ পরবর্তী এককে (একক 16) বলা হয়েছে।

15.8 ❑ প্লাসমিড DNA-কে ব্যাকটেরিয়া কোশে পুনঃস্থাপন ঃ ট্রান্সফর্মেশন

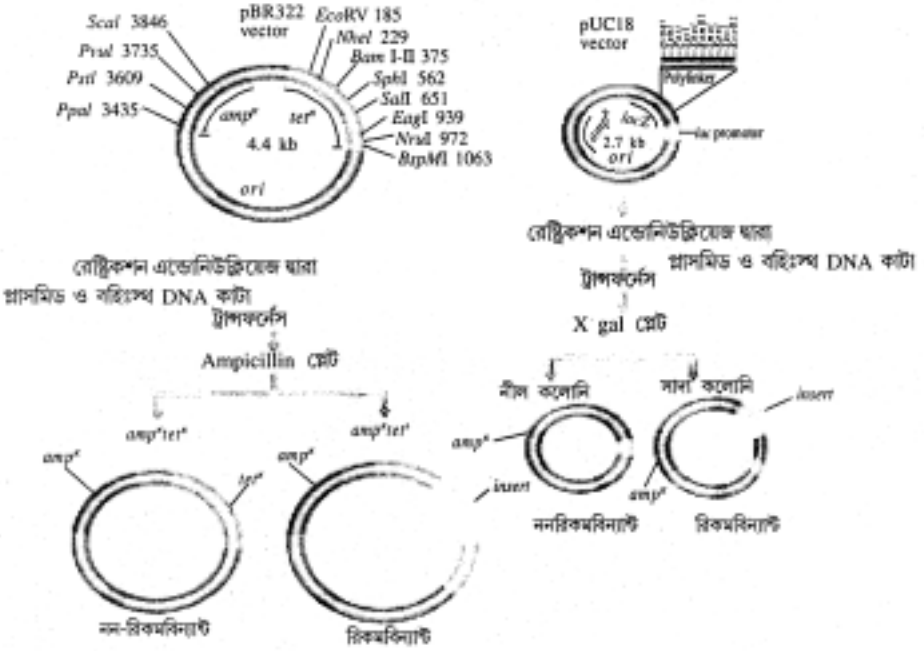
উপরোক্ত পদ্ধতিতে সৃষ্ট রিকমবিন্যান্ট DNA কে, অর্থাৎ বহিঃস্থ জিন সমৃদ্ধ প্লাসমিডটিকে এরপর ব্যাকটেরিয়ার কোশে পুনঃস্থাপন করা প্রয়োজন। আগেই বলা হয়েছে, এই ট্রান্সফর্মেশন পদ্ধতিতে বিশেষ ক্ষমতাসম্পন্ন কমপিটেন্ট কোশ প্রয়োজন। সাধারণ প্রাকৃতিক ট্রান্সফর্মেশনের ক্ষেত্রে কোশগুলি স্বকীয় পদ্ধতিতে এই ক্ষমতা অর্জন করলেও জিন ক্লোনিং-এর জন্য গবেষণাগারে E-coli কোশকে বিশেষ পদ্ধতিতে কমপিটেন্ট করে তোলা হয়। পদ্ধতিটি হল,

E-coli কোশগুলিকে বরফ-শীতল ক্যালসিয়াম ক্লোরাইড ($CaCl_2$) বা রুবিডিয়াম ক্লোরাইড দ্রবণে নিমজ্জিত করে রাখা। এর ফলে কোশগুলির DNA আত্তীকরণ (Uptake) ক্ষমতা বৃদ্ধি পায়। এরপর কমপিটেন্ট কোশ, রিকমবিন্যান্ট প্লাসমিড DNA একসাথে নিয়ে দ্রবণের তাপমাত্রা 42°C অবধি বৃদ্ধি করলে তাপমাত্রার প্রভাবে DNA কোশে প্রবেশ করে। কোশগুলিকে এরপর কোশকর্ষণ মাধ্যম (culture mediun)-এ বৃদ্ধি করানো হয়।

এই ট্রান্সফর্মেশন পদ্ধতিতে অবশ্য তড়িৎ বিভবের সাহায্য ও নেওয়া যায়। এইক্ষেত্রে E-coli কোশগুলিকে আধানবিহীন (deionized) পাতিত জলে (distilled water) ধুয়ে, কোশগুলির সাথে প্লাসমিড DNA নিয়ে বিশেষ যন্ত্রের সাহায্যে দ্রবণে তড়িৎবিভব পাঠানো হয়। ফলে কোশপ্রাচীর সাময়িকভাবে ছিন্ন হয়ে DNA কোশে ঢুকে পড়ে। এই পদ্ধতিটিকে ইলেক্ট্রোপোরেশন (Electroporation) বলে।

15.9 ❑ রিকম্বিন্যান্ট প্লাসমিড দ্বারা প্রতিস্থাপিত সঠিক কোশ নির্বাচন

উপরোক্ত পদ্ধতিগুলি নিয়মিত গবেষণাগারে ব্যবহৃত হলেও সফলতা সম্বন্ধে নিশ্চিত হওয়া প্রয়োজন। কারণ, এই জিন ক্লোনিং পদ্ধতির প্রতিটি পর্যায়ে অনভিপ্রেত ফল আসতে পারে। যেমন যখন রেস্ট্রিকশন্ এন্ডোনিউক্লিয়েজ দিয়ে প্লাসমিড DNA কে বিচ্ছিন্ন করা হচ্ছে বহিঃস্থ DNA প্রতিস্থাপন করার জন্য, তখন উৎসেচক সম্পূর্ণভাবে সফল না হলে DNA প্রতিস্থাপন অর্থাৎ রিকমবিন্যান্ট DNA তৈরিই হবে না। অর্থাৎ ট্রান্সফর্মেশনের পর কোশগুলি রিকমবিন্যান্ট ও নন-রিকমবিন্যান্ট (Non-recombinant) প্লাসমিড থেকে যেতে পারে। তাই ট্রান্সফর্মেশনের পর ব্যাকটেরিয়াগুলির মধ্যে রিকমবিন্যান্টগুলিকে আলাদা করে চিহ্নিত করা প্রয়োজন। এই কাজে Selectable Marker অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধী জিন বা B-গ্যালাকটোসাইডেজ-এর মত প্রতিবেদক জিনের (Reporter gene) সাহায্য নেওয়া হয়।



চিত্র 15.6 : রিকমবিন্যান্ট DNA প্রতিস্থাপনের পর সঠিক কোশ নির্বাচন

15.10 ❑ ট্রানসপোসন

জীবদেহের জিনোমে এমন কিছু DNA ক্রম (sequence) দেখতে পাওয়া যায়, যারা একই ক্রোমোজোমের মধ্যে, অথবা এক ক্রোমোজোম থেকে অন্য ক্রোমোজোমে নিজেদের প্রতিস্থাপিত (tranpose) করতে পারে। এই ধরনের DNA ক্রমকে ট্রানস্‌পোসেবল এলিমেন্টস (transposable elements) বা ট্রানসপোসন (transposon) বলা হয়। এদের উপস্থিতি সকল জিনোমেই লক্ষ করা যায়। ব্যাকটেরিয়া থেকে মানুষ সবার জিনোমেই এদের পাওয়া যায়। বেশিরভাগ ক্ষেত্রেই দেখা যায় এরা আশ্রয়দাতা কোশের কোন উপকার করে না, উপরন্তু সেই কোশের সহায়তায় নিজেদের সংখ্যা (copy number) বৃদ্ধি করে, সেজন্য অনেকে এদের স্বার্থপর DNA (selfish DNA) ও বলে। এক ক্রোমোজোম থেকে অন্য ক্রোমোজোমে চলে যাওয়ার ক্ষমতার জন্য এদেরকে mobile element বা jumping gene ও বলা হয়। অনেক সময় এদের উপস্থিতির কারণে পরিব্যক্তির উদ্ভব হয়, যার ফলে কোন জিন পরিবর্তিত প্রোটিন তৈরি করে অথবা জিনের প্রকাশ (expression) বাধা প্রাপ্ত হয়, সেক্ষেত্রে আমরা বলতে পারি ট্রানসপোসনের প্রভাব কোশের পক্ষে উপকারী নয় কিন্তু বর্তমানে মানব জিনোম ক্রম (human genome sequence) অনুসন্ধান করে দেখা গেছে যে মানব জিনোমের বিবর্তনে ট্রানসপোসন গুরুত্বপূর্ণ ভূমিকা পালন করেছে, সেক্ষেত্রে এদেরকে এক হিসাবে আমরা উপকারী (beneficial) বলে গণ্য করতে পারি।

15.10.1 ❑ আবিষ্কার ও শ্রেণিবিন্যাস

ট্রানসপোসন আবিষ্কারের জন্য 1983 সালে গবেষিকা বারবারা ম্যাক্‌লিনটক্ (Barbara McClintock) নোবেল পুরস্কারে ভূষিত হন। 1948 সালে তিনি প্রথম ভুট্টার জিনোমে এই ধরনের জাম্পিং জিন (Jumping gene)-এর উপস্থিতির কথা প্রকাশ করেন। কিন্তু 1960-70 সাল অবধি, যতদিন না অবধি এই ধরনের জিনের উপস্থিতির সমান ব্যাকটেরিয়া এবং ড্রসোফিলা (Drosophila) মাছিতে পাওয়া যায়, তাঁর গবেষণা নিয়ে নানা বিতর্ক ছিল। ম্যাকলিনটক্ ভুট্টার জিনোমে যে ট্রানসপোসন তন্ত্রের উপস্থিতি প্রমাণ করেন তার নাম Ac/Ds এলিমেন্ট।

এরপর ক্রমান্বয়ে ব্যাকটেরিয়া, ভাইরাস, ড্রসোফিলা এমনকি মানুষের জিনোমেও এইধরনের জিনের উপস্থিতির প্রমাণ মেলে। এইসব ট্রানসপোসনগুলির একটি সামগ্রিক বিবরণ নীচের সারণি (1) তে দেওয়া হল।

সারণি 15.10. (a) ট্রানসপোসনের উদাহরণসহ শ্রেণিবিন্যাস

শ্রেণি (কার্যকারিতা অনুযায়ী)	উদাহরণ	যে জীবে পাওয়া যায়
1. Conservative বা non-replicative	Is এলিমেন্ট Ac/Ds ,, P ,, Tc1 ,,	ব্যাকটেরিয়া ভুট্টা ড্রসোফিলা নিমাটোডা
2. প্রতিলিপি গঠনকারী Replicative ট্রানসপোসন	Tn3 ,,	ব্যাকটেরিয়া

3. রেট্রোভাইরাস সদৃশ Reprotransposons এবং Retroposons	Ty1 কোপিয়া LINE SINE	ঈষ্ট ড্রসোফিলা মানুষ মানুষ

15.10.2 ❑ ট্রানসপোসনের ধর্মাবলি

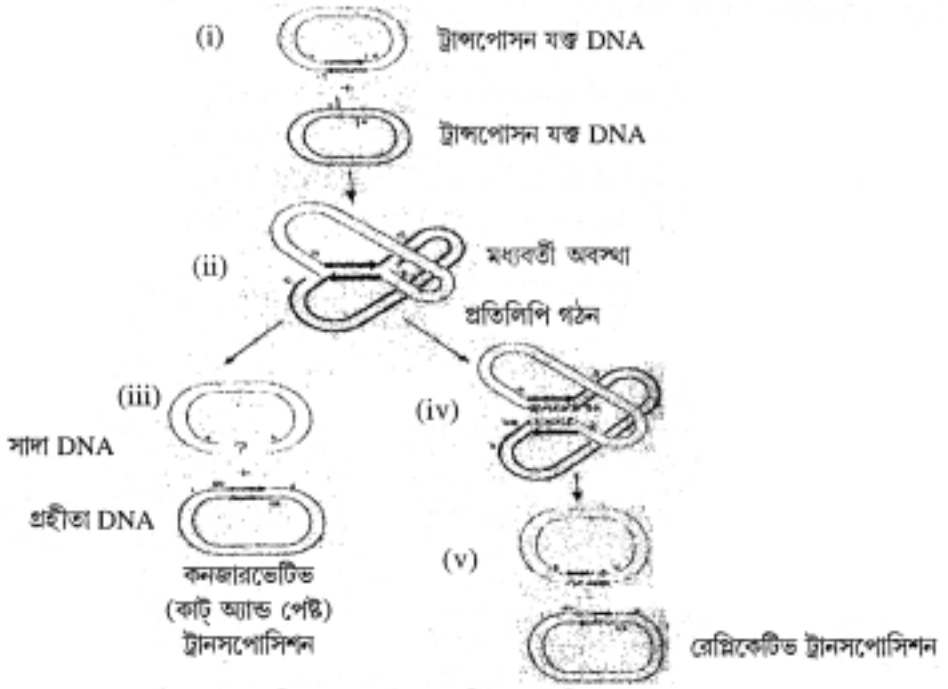
ট্রানসপোসন সাধারণত এমন টার্গেট সাইটে নিজেদের প্রতিস্থাপিত করে যার সাথে ট্রানসপোসনের কোন ক্রমসাদৃশ্য নেই তাই এধরনের রিকম্বিনেশনকে ননজোহোমোলোগাস রিকম্বিনেশন বলে।

(1) ট্রানসপোসনগুলি কীভাবে ট্রানসপোসিশন (Transposition) বা স্থানান্তর গমন করবে তার ভিত্তিতে সারণি 1-এর মত তাদের তিনভাগে ভাগ করা যায়।

(2) Conservative বা non-replicative (Cut and-Paste) ট্রানসপোসন ঃ এরা ক্রোমোসোমের এক অংশ থেকে সম্পূর্ণভাবে বিচ্ছিন্ন হয়ে অন্য অংশে বা অন্য ক্রোমোজোমে গিয়ে বসে পড়ে।

(3) Replicative ট্রান্সপোসন ঃ এক্ষেত্রে ট্রানসপোসন জিন অংশ থেকে প্রকাশ পাওয়া ট্রানসপোসেজ (Transposase) নামক উৎসেচকের সাহায্যে ট্রানসপোসন যে স্থানে বসবে সেখানে জিনটির একটি প্রতিলিপি প্রেরণ করে এবং পূর্বাবস্থায় ট্রানসপোসন যেখানে ছিল সেখানে একটি Copy সংরক্ষিত থেকে যায়।

(4) Retrotransposons এবং Retroposons ঃ এই ধরনের ট্রানসপোসনের ক্ষেত্রে ট্রান্সপোসনের DNA থেকে একটি RNA ইন্টারমিডিয়েট তৈরি হয়, তার থেকে রিভার্স ট্রানসক্রিপটেজ (Reverse Transcriptase) নামক উৎসেচকের সাহায্যে প্রথমে DNA তৈরি হয়। তারপর সেই DNA ক্রোমোজোমের অন্য অঞ্চলে প্রতিস্থাপিত হয়।



চিত্র 15.7 : ট্রান্সপোসিশন পদ্ধতি

ট্রানসপোসনের অবস্থানের উপর ভিত্তি করে তাকে আবার দুইভাগে শ্রেণিবিভাগ করা যায়,

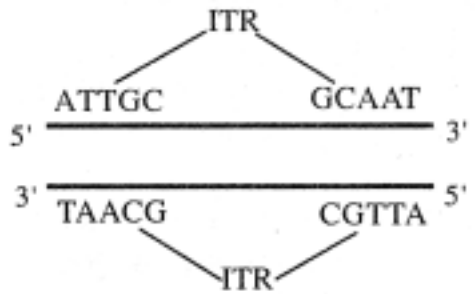
(1) প্রোক্যারিওটিক ট্রানসপোসন এবং

(2 ইউক্যারিওটিক ট্রানসপোসন।

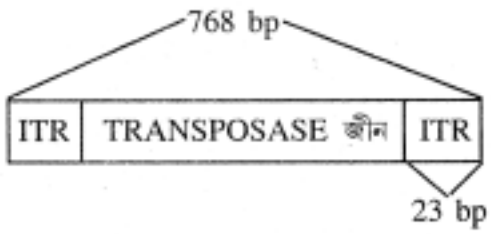
15.10.3 ❑ প্রোক্যারিওটিক ট্রানসপোসন

বারবারা ম্যাক্‌লিনটকের ভুট্টা জিনোমে ট্রানসপোসন আবিষ্কারের প্রায় কুড়ি বছর পরে ব্যাকটিরিয়াতে এদের উপস্থিতির সন্ধান পাওয়া যায়। **E. coli** নামক ব্যাকটিরিয়াতে গ্যালাকটোজ শর্করার বিপাক নিয়ন্ত্রণকারী জিনের পরিব্যক্তির কারণ অনুসন্ধান করতে গিয়ে দেখা যায় তা কোন বিয়োজন (deletion) বা পয়েন্ট মিউটেশানের (point mutation) কারণে ঘটেনি, বরং জিনে প্রায় 800 bp এর একটি DNA ক্রম সংযোজিত হওয়ার ফলে পরিব্যক্তি ঘটেছে। মূলতঃ দুইধরনের ট্রানসপোসন ব্যাকটিরিয়াতে পাওয়া যায়, (i) ইনসারশন সিকোয়েন্স এলিমেন্ট বা Is এলিমেন্ট (Insertion Sequence element) এবং (ii) ব্যাকটিরিয়াল ট্রানসপোসনস (bacterial transposons) বা Tùelement.

(i) Is এলিমেন্ট—সাধারণতঃ সব প্রোক্যারিওটিক কোশেই এদের পাওয়া যায়, দৈর্ঘ্য 768 bp থেকে 5000 বা তার বেশি bp দীর্ঘ হতে পারে সাধারণভাবে প্রতিটি কোশে 30টি অথবা তার বেশি সংখ্যক copy থাকতে পারে। প্রোক্যারিওটিক কোশের জিনোমের প্রায় 0.3 শতাংশই Is এলিমেন্ট দ্বারা গঠিত। নিউক্লিওটাইডের দৈর্ঘ্য অনুযায়ী Is এলিমেন্টকে বিভিন্ন নামে নামকরণ করা হয়েছে, যেমন Is1, Is2, Is3. Is 10 ইত্যাদি। প্রতিটি IS এলিমেন্টের দুই প্রান্তে 9–41 bp এর একটি নিউক্লিওটাইড সজ্জা থাকে তার ক্রম প্রায় এক, কিন্তু তা উল্টোভাবে সজ্জিত থাকে, একে ইনভার্টেড টার্মিনাল রিপিটস্ বা ITR (Inverted Terminal Repeate) বলে। (চিত্র-15.8) ট্রানসপোসিজন বা প্রতিস্থাপনের জন্য ITR এর গুরুত্ব অপরিসীম। ITR যদি বিনষ্ট হয় তবে তার প্রতিস্থাপন ক্ষমতাও নষ্ট হয়। ISI. এর আণবিক গঠন যদি আমরা দেখি, তবে দেখব যে তা 768 bp দীর্ঘ এবং দুইপ্রান্তে 23 bp দীর্ঘ ITR বা ইনভার্টেড টার্মিনালরিপিটস রয়েছে, অন্তর্বর্তী অংশটি ট্রানসপোসেস (transposase) জিন যা থেকে ট্রানসপোসেস উৎসেচক তৈরি হয় এবং ট্রানসপোসিশনে সাহায্য করে (চিত্র-15.9)



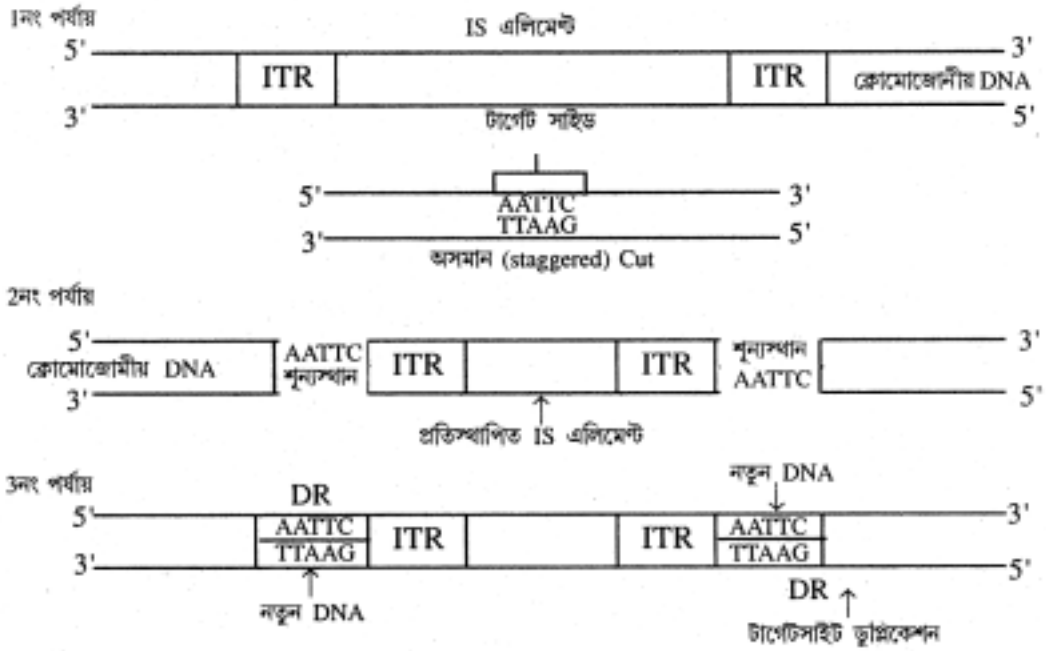
চিত্র ঃ-15.8



চিত্র 15.9 : ISI-এর আনবিক গঠন

এক্ষেত্রে DNA স্ট্র্যান্ডদুটির 5' প্রান্তদুটির নিউক্লিওটাইড বেসসজ্জা একইরকম, কিন্তু তা বিপরীতমুখী, একেই ইনভার্টেড রিপিট বলে। এরা Conservative বা non-replicative পদ্ধতিতে স্থানান্তরিত হয়ে থাকে।ট্রানসপোসেস নামক উৎসেচকটি Is এলিমেন্টের দুই প্রান্তে bluntenduct এবং ক্রোমোজোমের অন্য যে অংশে তা প্রতিস্থাপিত

হবে অর্থাৎ টার্গেট সাইটে DNA তন্ত্রীতে staggerd cut তৈরি করে, এরপর ট্রানসপোসনটি টার্গেটসাইটে নিজেকে প্রতিস্থাপন করে, সে অঞ্চলে এরা নিজেদের প্রতিস্থাপিত করে তার দুই পাশে 2–13 bp নিউক্লিওটাইড ক্রমের পুনরাবৃত্তি লক্ষ করা যায়, একে টার্গেট সাইট ডুপ্লিকেশন বলে (চিত্র ঃ 15.10)



চিত্র 15.10 : IS এলিমেন্ট কীভাবে প্রতিস্থাপিত হয় তার একটি schematic চিত্র

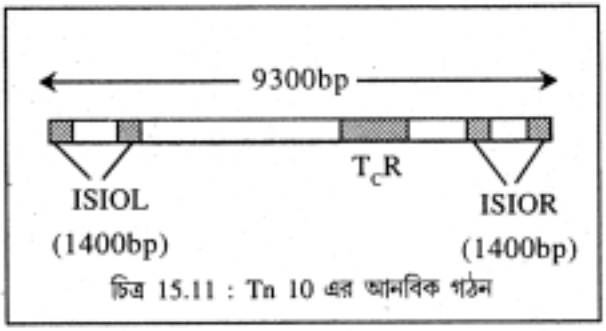
1নং পর্যায়—ট্রানসপোসেস IS এলিমেন্টের দুটি ITR অংশকে চিহ্নিত করে এবং সেখানে কেটে দেয়, ফলে IS এলিমেন্টটি ক্রোমোজোমীয় DNA থেকে বিচ্ছিন্ন হয়, একইসঙ্গে ট্রানসপোসেস ক্রোমোজোমীয় DNA-এর অপর অংশের টার্গেটসাইটে অসমান বা staggered cut তৈরি করে 5'AATTC 3' এই ক্রমে এর ফলে একটি তন্ত্রীতে AATTC-র পরে nick তৈরি হয় এবং অন্যটিতে TTAAG-এর আগে nick তৈরি হয়।

2 নং পর্যায়—IS এলিমেন্টটি এই পর্যায়ে এমনভাবে প্রতিস্থাপিত হয় যেন তার একটি তন্ত্রী টার্গেটসাইটের AATTC-র পরে সংযুক্ত হয় এবং অপরতন্ত্রীটি TTAAG-র আগে সংযুক্ত হয়। এর ফলে Is এলিমেন্টের দুটি তন্ত্রীরই ও প্রান্তে শূন্যস্থানের সৃষ্টি হয়।

3 নং পর্যায়—ডিএনএ পলিমারেজ নামক উৎসেচকের সাহায্যে এই শূন্যস্থান দুটি পূর্ণ হয় এবং লাইগেজ দ্বারা সম্পূর্ণ ভাবে IS এলিমেন্ট ও ক্রোমোজোমীয় DNA র সংযোগসাধন সম্পন্ন হয়। এর ফলে IS এলিমেন্টের দুই প্রান্তে নিউক্লিও বেসের সজ্জাক্রমের পুনরাবৃত্তির সৃষ্টি হয় যারা সম অভিমুখী, একে ডিরেক্ট রিপিট (direct repeat বা DR) বলে।

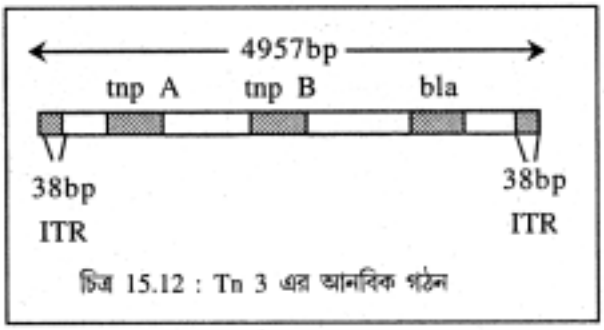
(ii) ব্যাকটেরিয়াল ট্রানসপোসন বা Tn এলিমেন্টস-এরা IS এলিমেন্ট অপেক্ষা জটিল প্রকৃতির এবং জটিলতা অনুযায়ী এদেরকে আবার দুভাগে ভাগ করা যায়, (a) কম্পোসিট ট্রানসপোসন (composite transposon) এবং (b) নন-কম্পোসিট (non-composite) ট্রানসপোসন।

(a) কম্পোসিট Tn এলিমেন্ট সাধারণতঃ কয়েক হাজার bp (base pair) দীর্ঘ হতে পারে, এবং এর দুই প্রান্তে দুটি 1S এলিমেন্ট থাকে। কম্পোসিট Tn এলিমেন্টের অন্তর্গত অংশে সাধারণত অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধী জিন থাকে এবং প্রান্তীয় 1S এলিমেন্ট থেকে এক্ষেত্রে ট্রানসপোসেস উৎসেচকটি তৈরি হয়। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে Tn10 নামক কম্পোসিট Tn এলিমেন্টের কথা, এটি 9.300 bp দীর্ঘ, দুই প্রান্তে দুটি 1S 10 এলিমেন্ট রয়েছে যারা 1400 bp দীর্ঘ। অন্তর্বর্তী 6500 bp দীর্ঘ জিনোমের একটি অংশে টেট্রাসাইক্লিন প্রতিরোধী জিন অবস্থিত (চিত্র ঃ-15.11)



চিত্র 15.11 : Tn 10 এর আনবিক গঠন

(b) নন-কম্পোসিট Tn এলিমেন্ট ও অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধী জিন বহন করে কিন্তু তাদের দুই প্রান্তে IS এলিমেন্ট থাকে না, পরিবর্তে দুইপ্রান্তে DNA ক্রমের পুনরাবৃত্ত সজ্জাক্রম দেখা যায়, যা প্রতিস্থাপনের জন্য অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। Tn3 একটি নন-কম্পোসিট Tn এলিমেন্ট, এটি 4957 bp দীর্ঘ, এর দুটি প্রান্তে 38 bp দীর্ঘ দুটি বিপরীতমুখী পুনরাবৃত্তি (ITR) লক্ষ করা যায় এবং অন্তর্গত অংশে tnp A, tnp B এবং bla জিন পাওয়া যায়, tnp A ট্রানসপোসেস তৈরি করে, Tnp B রিসলভেস এবং bla–B-ল্যাকটামেস উৎপন্ন করে (চিত্র 15.12)।



চিত্র 15.12 : Tn 3 এর আনবিক গঠন

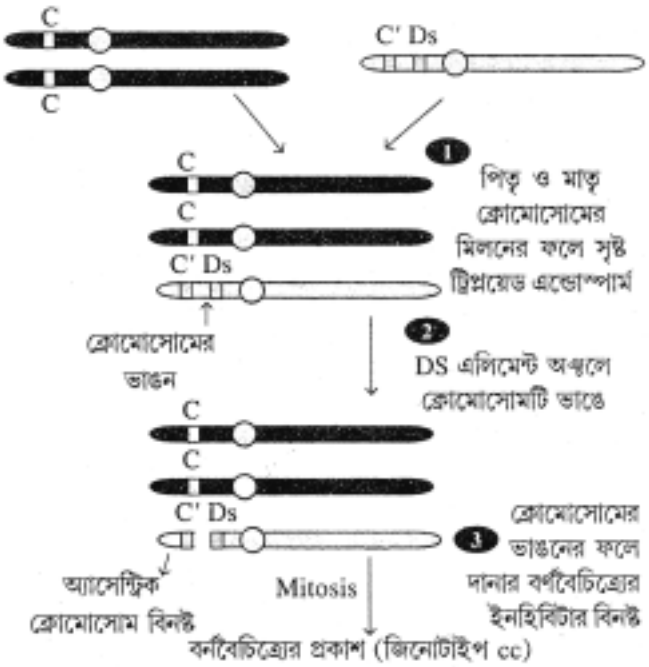
E.coli ব্যাকটিরিয়ার যৌন জননের জন্য দায়ী প্লাসমিডকে F ফ্যাক্টর বলে, অনেক সময় দেখা যায় এই F ফ্যাক্টরটি ব্যাকটিরিয়ার ক্রোমোজোমীয় DNA-এর সঙ্গে সংযুক্ত অবস্থায় থাকে, তখন একে এপিসোম বলে। এই সংযুক্তির কারণ আসলে F ফ্যাক্টর এবং ক্রোমোজোমীয় DNA-এর অন্তর্গত সাদৃশ্য। দেখা গেছে যে F ফ্যাক্টরে চারটি 1S এলিমেন্ট (দুটি 1S3, একটি 1S2 এবং একটি 1S) ক্রম বর্তমান এবং E. coli-এর ক্রোমোজোমীয় DNA তেও এই 1S এলিমেন্টগুলির বিভিন্নসংখ্যক প্রতিলিপি বর্তমান। এর ফলে F ফ্যাক্টর এবং ক্রোমোজোমীয় DNA-এর মধ্যে হোমোলোগাস রিকম্বিনেশনের দ্বারা F ফ্যাক্টরের সংযুক্তি ঘটে থাকে।

15.10.4 ❑ ইউক্যারিওটিক ট্রান্সপোসন

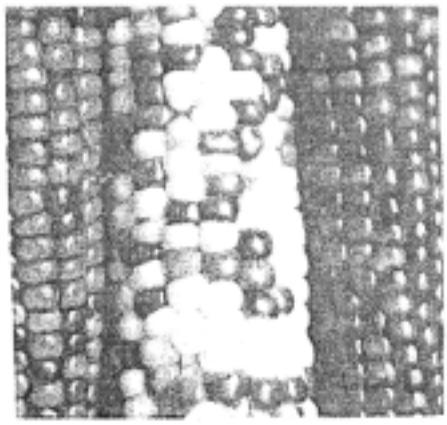
(a) ভূট্টার Ac/Ds ট্রানসপোসন ঃ

বারবারা ম্যাকলিনটকের আবিষ্কারের সূত্র ধরেই ভূট্টার দানার রঙের বিভিন্নতার কারণ হিসাবে এই ট্রানসপোসন বিশেষভাবে আলোচিত হয়। ম্যাকলিনটক দেখান যে ভূট্টার 9 নম্বর ক্রোমোজোমের ক্ষুদ্র বাহুর (short arm) 'C' নামক জিনস্থান (Locus)-এ ভূট্টার দানার অ্যালিউরোন (Aleurone) রঙবৈচিত্র্য (colourakon)-এর একটি প্রকট (Dominant) বাধাদানকারী জিন বা Inhibitor আছে। সেই C1 নামক Inlibitor অক্ষলটি ক্রোমোজোমের বিশেষ

বিভাজন অঞ্চল (Zone of Dissociation) থেকে কেটে বাদ চলে গেলে ভুট্টার দানার বর্ণবৈচিত্র্যের প্রকাশ ঘটে। এই Dissociation অংশটিকে Ds এলিমেন্ট বলে। তবে শুধু Dissociation হলেই হবে না এই বর্ণবৈচিত্র্যের এককের জন্য একটি উদ্দীপক বা Activator জিন প্রয়োজন। যাকে বলে Ac factor। ম্যাকলিনটক এভাবে ক্রোমোজোম 9-এর বিভিন্ন স্থানে এইরকম Ds অঞ্চল আবিষ্কার করেন এবং ব্যাখ্যায় বলেন, এই Ds অনেক স্থানে থাকতে পারে এবং এক স্থান থেকে আর এক স্থানে লাফিয়ে চলে যেতে পারে। এই Ac/Ds এলিমেন্টগুলি অন্য ক্রোমোজোমেরও বিভিন্ন অংশে স্থানান্তরিত হয়ে পরিব্যক্তি বা Mutation ঘটাতে পারে।



চিত্র 15.14 : DS এলিমেন্ট দ্বারা বর্ণবৈচিত্র্যের প্রকাশের কারণ



চিত্র 15.13 : ভুট্টার দানার বর্ণবৈচিত্র্য

(b) অ্যারাবিডোপসিসের ট্রানসপোসন

2000 সালে প্রথম উদ্ভিদ হিসাবে এবং তৃতীয় বহুকোশী জীব হিসাবে Arabidopsis traliana নামক উদ্ভিদের জিনোম (Genome) সম্পূর্ণভাবে পড়ে ফেলা হয় বা sequence করা হয়। দেখা গেছে, এই জিনোমের মোট 25,498 টি জিনের 10 শতাংশ ট্রানসপোসেবল এলিমেন্ট দ্বারা সৃষ্ট। তুলনায় ভুট্টার জিনোমে অবশ্য 50 থেকে 80 শতাংশ-ই ট্রানসপোসিশনের ফলে উদ্ভূত।

15.10.5 ❑ ড্রসোফিলা (Drosophila) মাছির ট্রানসপোসন

ড্রসোফিলা মাছিতে অনেকগুলি ট্রানসপোসন আবিষ্কৃত হয়েছে। যেমন— কোপিয়া (copia), ফোল্ডব্যাক (Fold back) এলিমেন্ট ইত্যাদি। তবে সবচেয়ে আলোচিত ট্রানসপোসনটি হল গেরাল্ড রুবিন আবিষ্কৃত P এলিমেন্ট। এই P এলিমেন্টের উপস্থিতির জন্য প্রজাতিতে Hybrid dysgenesis নামক বহুবিধ অসংগতি পরিলক্ষিত হয়। কাজেই এই P এলিমেন্ট ড্রসোফিলা জিনসংক্রান্ত গবেষণায় জিন বাহক মাধ্যম ও নির্বাচনী মার্কার হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

15.10.6 ❑ মানুষের ট্রানসপোসন

মানব জিনোমের অন্তত 44 শতাংশ DNA ট্রানসপোসেবল এলিমেন্ট সৃষ্ট। তাদের বেশিরভাগই Retro transposion ধরনের যা RNA ভাইরাসের মধ্যে দেখা যায়। মানুষের ট্রানসপোসনগুলিকে মূলতঃ দুইটি শ্রেণিতে বিভক্ত করা হয় ঃ LINE এবং SINE। LINE হল Long Interspersed Nuclear Element, যার উদাহরণ হল L_1। হিমোফিলিয়া সৃষ্টিকারী ফ্যাক্টর VIII জিন এবং পেশির অসংগতি সৃষ্টিকারী ডিস্ট্রফিন (dystrophin) জিনগুলিতে L_1 সৃষ্ট মিউটেশন দেখা যায়। SINE হল Short interspersed nuclear elements, যার উদাহরণ হল 'Alu', 'MIR' ইত্যাদি।

15.11 ❑ সারাংশ

ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোজোমের বাইরে কতগুলি গোলাকার ছোটো ছোটো ক্রোমোসোম বিশেষ বিশেষ কাজে অংশগ্রহণ করে। তারা যেমন একদিকে নিয়ন্ত্রণ করে যৌন জননের সংযুক্তি প্রক্রিয়ার দাতা ও গ্রহীতা, অন্যদিকে ব্যাকটেরিয়ার রোগ সৃষ্টিতে ভূমিকা পালনকারী বিভিন্ন প্রোটিন সংশ্লেষও করে। এই ছোটো ক্রোমোজোম বা প্লাসমিডের মুখ্য ভূমিকা যদিও অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধে। বর্তমানে জৈবপ্রযুক্তিতে এই প্লাসমিড ব্যাবহার করে জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং-এর মাধ্যমে মানুষের প্রয়োজনীয় নানাবিধ পদার্থ সংশ্লেষ করা হচ্ছে।

অন্যদিকে ট্রানসপোসন হল স্থানান্তরকারী এক বিশেষ জিন বা জিনসমষ্টি। যারা প্রত্যক্ষভাবে অ্যান্টিবায়োটিক প্রতিরোধ বা পরিব্যক্তি সৃষ্টিতে যুক্ত থাকে। প্রোক্যারিওট ও ইউক্যারিওট সর্বত্র যাদের উপস্থিতি। নিম্ন ও উন্নতশ্রেণির উদ্ভিদ তো বটেই মানুষের জিনেও এদের উল্লেখযোগ্য উপস্থিতি গবেষণার কাজে বিশেষ সহায়তা করছে।

15.12 ❑ প্রশ্নাবলি

A. শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

(1) ব্যাকটেরিয়ার যৌন জনন সম্পন্ন হয় ট্রান্সফরসেশন, ———— ও ট্রান্সডাকশনের মাধ্যমে।

(2) কনজুগেশন পদ্ধতিটির আবিষ্কর্তা ———— ও ————।

(3) F ফ্যাক্টরের জিনগুলি ———— সংশ্লেষ করে।

(4) যে প্লাসমিড ব্যাকটেরিয়ার মূল ক্রোমোসোমে সংযুক্ত হয় তাকে ———— বলে।

(5) কার্যকরী প্লাসমিডগুলি———— মাপের হয়।

(6) DNA কে নির্দিষ্ট স্থানে খণ্ডিত করতে পারে এমন উৎসেচকগুলিকে ———— বলে।

(7) ট্রানসজেনেসিসে ব্যবহৃত একটি প্লাসমিড হল ————।

(8) pBR 322 নামক বহুল ব্যবহৃত প্লাসমিডটির মাপ ————।

(9) Ti প্লাসমিডের T-DNA-এর দুই পাশের 'বর্ডার' ———— মাপের।

(10) B-গ্যালাক্টোসাইডেজ হল একটি ———— জিন।

(11) ট্রানসপোসেবল জেনেটিক এলিমেন্টের আবিষ্কারক হলেন ————।

(12) Ac/Ds ভুট্টার একটি ——————— ট্রান্সপোসন।

(13) মানুষের দুই ধরনের ট্রান্সপোসন হল ————— ও ————।

(14) Arabidopsis-এর জিনোমের———— শতাংশে ট্রান্সপোসন সৃষ্ট জিন দ্বারা নির্মিত।

B. সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(1) ব্যাকটেরিয়ার যৌন জননের পদ্ধতিগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

(2) ফার্টিলিটি ফ্যাক্টর প্লাসমিড কাকে বলে? এইরূপ নামকরণ কি সঙ্গত?

(3) সংক্ষেপে প্লাসমিডের মূল ধর্মাবলি উল্লেখ করুন।

(4) ক্লোনিং-এ ব্যবহৃত হয় এইরূপ দুইটি প্লাসমিডের অংশবিশেষের বর্ণনা দিন।

(5) উদ্ভিদের টিউমার ইনডিউসিং প্লাসমিডটির কার্যকলাপের সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দিন।

(6) Supercoiling বা অতি কুণ্ডলীভবনের ভিত্তিতে কীভাবে প্লাসমিড DNA কে শুদ্ধিকরণ করা যায় তার সংক্ষিপ্ত বিবরণ দিন।

(7) রিকমবিন্যান্ট প্লাসমিড দ্বারা প্রতিস্থাপিত সঠিক কোশ নির্বাচনের পদ্ধতিগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করুন।

(8) ট্রান্সপোসন কী? ইহাদের শ্রেণিবিন্যাস করুন।

(9) ব্যাকটেরিয়াতে পাওয়া যায় এমন ট্রান্সপোসনগুলির সংক্ষিপ্ত বর্ণনা দিন।

(10) উদ্ভিদের যে কোন একটি ট্রান্সপোসনের বর্ণনা দিন।

C. টীকা লিখুন ঃ

(1) কমপিটেন্ট কোশ

(2) F ফ্যাক্টর

(3) সিলেক্টেবল মার্কার

(4) সাট্‌ল ভেক্টর

(5) PUC 19

(6) মালটিপল ক্লোনিং সাইট

(7) ইলেকট্রো পোরেশন

(8) রিপোর্টার জিন

(9) Is এলিমেন্ট

(10) In 3 এলিমেন্ট

(11) Ac/Ds এলিমেন্ট

15.13 ❑ উত্তর সংকেত

A.

(1) কনজুগেশন

(2) লিডারবার্গ, টটাম

(3) সেক্স পাইলাস

(4) এপিসোম
(5) <10Kb
(6) রেষ্টিকশ্ন এন্ডোনিউক্লিয়েজ
(7) Ti প্লাসমিড
(8) 4360 bp
(9) 25 bp
(10) রিপোর্টার
(11)বারবারা ম্যাকলিনটক
(12)কাট ও পোষ্ট ধরনের
(13)LINE, SINE
(14)10

B.

(1) 15.2 দেখুন
(2) 15.2 দেখুন
(3) 15.4 দেখুন
(4) 15.5.1 দ্রষ্টব্য
(5) 15.5.1-এর (C) অংশ
(6) 15.6-এর (2) অংশ
(7) 15.9 দেখুন
(8) 15.10 দেখুন ; সারণি 15.10.a অনুসরণ করুন।
(9) 15.10.3 দেখুন
(10) 15.10.4 দেখুন।

C.

(1) 15.2 দ্রষ্টব্য
(2) 15.2 দ্রষ্টব্য
(3) 15.4-এর (6) অংশ
(4) 15.4-এর (10) অংশ
(5) 15.5.1-এর (b) অংশ
(6) 15.5.1-এর (b) অংশ ও চিত্র
(7) 15.8 দেখুন
(8) 15.9 দেখুন
(9) 15.10.3 -এর (1) অংশ
(10)15.10.3 -এর (3) অংশ
(11)15.10.4 দ্রষ্টব্য।

একক 16 ■ রেস্ট্রিকশন্ এন্ডোনিউক্লিয়েজ এবং রিকম্বিন্যান্ট DNA টেকনোলজি

গঠন

16.1 প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

16.2 রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ

16.2.1 নামকরণ

16.2.2 কার্যকারিতার নির্দিষ্টতা

16.2.3 রেস্ট্রিকশন সাইটে বিশেষ ধরনের সাযুজ্য

16.2.4 স্ট্যাগারড্ ও ব্লান্ট ধরনের DNA উৎপাদন

16.2.5 আইসোকাইজোমার

16.2.6 রেস্ট্রিকশন সাইটে নিউক্লিওটাইড সংখ্যার অনুপাতে উৎপন্ন DNA খণ্ডের দৈর্ঘ্য ও সংখ্যা

16.2.7 রেস্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা সম্পূর্ণ ও অসম্পূর্ণ কর্তন

16.3 রিকমবিন্যান্ট DNA টেকনোলাজি

16.3.1 আঠাল, ঝুলন্ত অংশ ব্যবহার করে রিকমবিন্যান্ট DNA সৃষ্টি

16.3.2 RsaI ধরনের রেস্ট্রিকশন্ উৎসেচক সৃষ্ট ব্লান্ট এনড-এর সংযুক্তি

16.3.3 রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির বাহক

16.3.3.1 বাহকের বৈশিষ্ট্য

16.3.4 ক্লোনিং

16.3.5 রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির সামাজিক/অর্থনৈতিক প্রতিফলন

16.3.5.1 প্রোটীন কারখানা

16.3.5.2 উদ্ভিদের ও কৃষিক্ষেত্রে

16.3.5.3 ট্রানজেনিক জীব সৃষ্টি

16.3.5.4 নীতিগত ও আইনগত প্রভাব

16.4 সারাংশ

16.5 সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

16.6 উত্তর সংকেত

16.1 ❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

প্রস্তাবনা

গবেষণার ক্ষেত্রে DNA এমন একটি জৈব অনু যার 1970 সালে হ্যামিলটন স্মিথ, ড্যানিয়েল নাথানস এবং ওয়ার্নার আর্বারের গবেষণার মাধ্যমে আবিষ্কৃত হল সেই "কাঁচি", যা DNA-কে কেটে ফেলতে পারে অসম্ভব সূক্ষতার

সাথে। এই আনবিক কাঁচি (Molecular scissor)-এর নামকরণ করা হল, রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ (Restriction Endonuclease)। কেন এমন নামকরণ সেই প্রসঙ্গে পরে যাওয়া যাবে। এই বিশেষ ধরনের উৎসেচক (Enzyme) পরবর্তীকালে DNA নিয়ে গবেষণার মূল আধার বললে অত্যুক্তি করা হয় না। এই উৎসেচকের প্রয়োগে বিভিন্ন জীবের DNA-কে কেটে জুড়ে দেওয়া যায় অন্য প্রজাতির (Species) এমনকি অন্য জীবরাজ্যের (Kingdom) উদ্ভিদ বা প্রাণীর DNA-র সাথে। এইভাবে নতুন করে যে DNA তৈরী হয় তাকেই বলে রিকম্বিন্যান্ট DNA (Recombinant DNA)। আর যে প্রযুক্তির ব্যবহারে এই রিকমবিন্যান্ট DNA তৈরী করা ও তার প্রয়োগ করা সম্ভবপর হল তাকে বলে রিকম্বিন্যান্ট DNA টেকনোলজি (Recombinant DNA Technology)। জীনগত গবেষণায় এই যুগান্তকারী বিপ্লবেরই আর এক নাম জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং (Genetic Engineering)। ব্যবসায়িক ভিত্তিতে এই প্রযুক্তির ব্যবহার অবশ্য বৃহদার্থে বায়োটেকনোলজি (Bio-technology) বা জৈব প্রযুক্তি নামে বিশেষ জনপ্রিয়তা অর্জন করেছে।

উদ্দেশ্য ঃ এই অধ্যায়টি পাঠ করলে আপনি—

- রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ নামক উৎসেচক সম্বন্ধে জানবেন।
- উৎসেচকটির নামকরণ, কার্যপদ্ধতি ও নির্দিষ্টতা ব্যাখ্যা করতে সক্ষম হবেন।
- উৎসেচকটির রেষ্ট্রিকশন সাইট সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তি সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।
- ক্লোনিং সম্বন্ধে অবহিত হবেন।
- ক্লোনিং-এর সামাজিক ও অর্থনৈতিক গুরুত্ব সম্বন্ধে আলোচনা করতে সক্ষম হবেন।

15.6 ❑ রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ (Restriction Endonuclease)

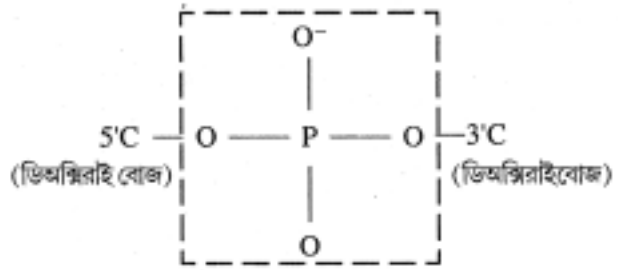
জীন ক্লোনিং ও গবেষণায় যে প্রধান উৎসেচকটির প্রয়োজন তা হল রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ। স্মিথ, নাথানস ও আর্বারদের আবিষ্কারের সাথে সাথেই শুরু হয়ে যায় এই বিস্ময় উৎসেচকের খোঁজ। এইভাবে আজ পর্যন্ত প্রায় 500 এই ধরনের উৎসেচক আবিষ্কৃত হয়েছে, যারা অত্যন্ত সূক্ষ্মতার সাথে, নির্দিষ্টতার সাথে নিপুনভাবে DNA-কে কেটে ফেলতে সক্ষম।

16.2.1 ❑ নামকরণ

এন্ডোনিউক্লিয়েজ কথাটির ব্যবচ্ছেদ করলে, গ্রীক ভাষায় 'এন্ডোন' (endon) অর্থ হল মধ্যবর্তী (within) ; আর নিউক্লিয়েজ অর্থে উৎসেচক যা নিউক্লিক অ্যাসিডকে কাটতে পারে।

আমরা জানি যে DNA-এর প্রতি দু'টি নিউক্লিওটাইড সংযুক্ত থাকে একটি সমযোজী বন্ধনী (covalent bond)

দ্বারা, যাকে বলে ফসফোডায়েটার (Phosphodiester) বন্ধনী। একটি নিউক্লিওটাইডের 5' কার্বনের সাথে পরবর্তী নিউক্লিওটাইডের 3' কার্বন যুক্ত থাকে এই বন্ধনীর মাধ্যমে।



ফসফোডারেষ্টার বন্ধনী

DNA-এর পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খলের মধ্যবর্তী এই ফসফোডায়েষ্টার বন্ধনীটিকেই কেটে দেয় এন্ডোনিউক্লিয়েজ। ফলে পলিনিউক্লিওটাইড শৃঙ্খলটি ছোট্ট ছোট টুকরো হয়ে যায়।

এখন আসা যাক, এদের নাম 'রেষ্ট্রিকশন' হল কেন, সেই প্রশ্নে। মজার ব্যাপার হল এইসব উৎসেচকগুলি কিন্তু তৈরী করে অনুজীব বা Micsrobe-রা। সাধারণতঃ ব্যাকটেরিয়ার কোশেই এই উৎসেচকগুলির সৃষ্টি হয়। ব্যাকটেরিয়া এই উৎসেচকগুলি তৈরী করে এক ধরনের 'অনাক্রম্যতা' তৈরী করতে, যাতে অন্য প্রজাতির ব্যাকটেরিয়া বা ভাইরাসের DNA তাদের কোশে ঢুকে পড়লে বা Invasion করলে, তৎক্ষণাৎ সেই বহিঃস্থ DNA-কে এই উৎসেচক দিয়ে খণ্ডবিখণ্ড করে ধ্বংস করে দিতে পারে। এইভাবে Invasion-কে বাধা দিতে বা Resfrict করতে চেয়ে সৃষ্ট উৎসেচকদের তাই রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক বলা হয়।

এখানে আরো একটি প্রশ্ন ওঠা স্বাভাবিক। ব্যাকটেরিয়া তাহলে নিজের কোমোযোমের ও প্লাসমিডের DNA-কে কীভাবে এই উৎসেচকের ক্রিয়া থেকে রক্ষা করে? বিস্ময়কর ব্যাপার হল, বিশেষ বিশেষ স্থানে নিজের DNA-এর নিউক্লিওটাইডগুলোর মধ্যে মিথাইল (Methyl) গ্রুপ সৃষ্টি করে অদ্ভুত উপায়ে ব্যাকটেরিয়া এই উৎসেচকের ক্রিয়াকে নিজের ক্ষেত্রে প্রতিহত করে। এই প্রক্রিয়াকে বলে মিথাইলেশন (Methylation)।

16.2.2 ❑ কার্যকারিতার নির্দিষ্টতা (Specificity)

সবচেয়ে অদ্ভুত হল এই উৎসেচকগুলির কার্যকারিতার নির্দিষ্টতা। এই উৎসেচক DNA-র পলিনিউক্লিওটাইডের মধ্যবর্তী ফসফোডায়েষ্টার বন্ধনীকে কাটে কয়েকটি নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইড পরপর সজ্জিত থাকলে তবেই। নিউক্লিওটাইডগুলির এইরূপ নির্দিষ্ট সজ্জা বা Sequence গুলিকে বলে রেষ্ট্রিকশন সাইট (Restriction Sites)। বিভিন্ন অনুজীব বিভিন্ন ধরনের রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক তৈরী করে যাদের এই রেষ্ট্রিকশন সাইট নির্দিষ্টতা একেবারে নিখুঁত। উদাহরণ স্বরূপ বলা যাক, **এসচেরিসিয়া কোলি** নামক ব্যাকটেরিয়া থেকেই প্রথম এই ধরনের উৎসেচক আবিষ্কৃত হয়। সেই উৎসেচকটির নাম ইকো-আর-ওয়ান (ECo RI)$_1$ এই উৎসেচকটির নির্দিষ্ট রেষ্ট্রিকশন সাইট হল—

$^{5'}$–GAATTC–$^{3'}$

$_{3'}$–CTTAAG–$_{5'}$

এবং যে মধ্যবর্তী ফসফোডায়েষ্টার বন্ধনীতে সে কাটে সেটি তীর চিহ্ন দ্বারা দেখানো হয়েছে।

এই **E. Coli** ব্যাকটেরিয়া থেকে আরো 4–5টি এই ধরনের উৎসেচক পাওয়া গেলেও কোনওটির রেষ্ট্রিকশন সাইট এই GAATTC নয়। এইভাবে যে পাঁচশত উৎসেচক আবিষ্কৃত হয়েছে, সবারই নির্দিষ্ট রেষ্ট্রিকশন সাইট রয়েছে। নীচের সারণিতে এই সম্বন্ধে ধারণা করা যাবে।

সারণি 16A : কয়েকটি রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ ও তাদের রেষ্ট্রিকশন সাইট।

উৎসেচক	উৎস	রেষ্ট্রিকশন সাইট	রেষ্ট্রিকশন সাইটে নিউক্লিওটাইড সংখ্যা
Eco RI	**E. Coli R Strain**	5' CIAATTC 3' 3' CTTAAG 5'	6
Hind III	**Haemophilus influenzae R Strain**	5' AAGCTT 3' 3' TTCGAA 5'	6
Bam HI	**Bacillus amyolique facieus H**	5' GGATCC 3' 3' CCTAGG 5'	6
Sau3AI	**Staplylococcus aureus 3A**	5' GATC 3' 3' CTAG 5'	4
TaqI	**Thermus aquaticus YTI**	5' TCGA 3' 3' AGCTS 5'	4
RsaI	Rhodopsendomonas sphaeroideo	5' GTAC 3' 3' CATG 5'	4
Nof I	Nocardia Otitidiscaviarum	5' GCGGCCGC 3' 3' CGCCGGCG 5'	8

বিঃদ্রঃ এই উৎসেচকগুলির নামকরণ করা হয় নিম্নলিখিত ভাবে পর্যায় Escherichia Coli Strain RY → EcoR এবং আবিষ্কারের ক্রম পর্যায় অনুযায়ী EcoRI, EcoRII, EcoRIII, EcoRIV এইভাবে নামকরণ করা হয়।

16.2.3 ❑ রেষ্ট্রিকশন সাইটে বিশেষ ধরনের সাযুজ্য

এইসব উৎসেচকদের রেষ্ট্রিকশন সাইটগুলি এক নজরে দেখলে (সারণি 16A) বোঝা যায়, যে এদের নিউক্লিওটাইড সজ্জার মধ্যে একটি বিশেষ ধরনের সামঞ্জস্য রয়েছে। এই সাযুজ্যকে 'Rational Symmetry' বলা হয়। নিউক্লিওটাইড সজ্জায় এই বিন্যাসকে ইংরাজী সাহিত্যে 'Palindrome' বলে, যেখানে মধ্যবর্তী অক্ষ থেকে দুদিকে নিউক্লিওটাইডগুলি পড়লে পরস্পর বিপরীতমুখী বলে মনে হয়।

ইংরাজী সাহিত্যের Palindrome (Nonsense phrase) ঃ

MADAM I M ADAM

বাংলা সাহিত্যানুরাগীর জন্য রবীন্দ্রনাথের সংযোজন ঃ

র মা কা ন্ত কা মা র

তেমনই রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজের রেষ্ট্রিকশন সাইটে পাই —

GAA TTC
CTT AAG

16.2.4 ❑ স্ট্যাগারড্ (Staggered) ও ব্লান্ট (Blunt) ধরনের DNA উৎপাদন

এই Palindrome জাতীয় বিশেষ নিউক্লিওটাইড সজ্জার জন্যই DNA-কে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দিয়ে কাটলে (বা Digest করলে) এক বিশেষ ধরনের কর্তিত DNA সৃষ্টি হয় যার দুইদিকে পরিপূরক (complmenfary) একতন্ত্রী ঝুলন্ত অংশ বা Overhang সৃষ্টি হয়। বলাই বাহুল্য পরিপূরকতার ধর্মের জন্যই এই অংশগুলি সহজেই আবার জোড়া লেগে যেতে পারে নির্দিষ্ট উৎসেচক যথা DNA লাইগেজ (DNA Ligase) পেলেই। এই ধরনের কাটাকে স্ট্যাগারড্ (Staggered) কাট্ বলে এবং এর ফলে DNA-তে আধাল Sticky প্রান্ত উৎপন্ন হয়।

5'————GAATTC————GAATTC————3' দ্বিতন্ত্রী
3'————CTTAAG————CTTAAG————5' DNA

EcoRI দ্বারা কাটা হল

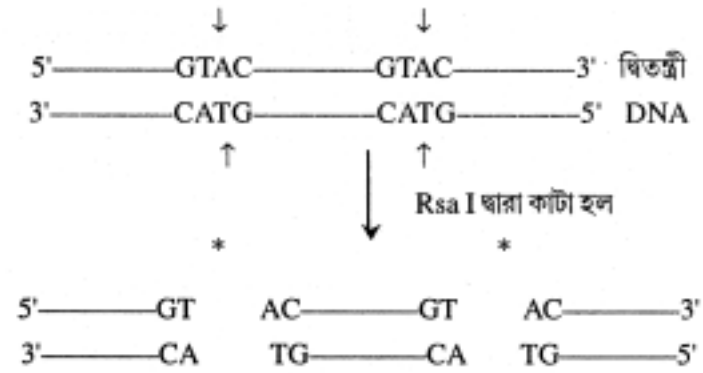
* *

5'————G AATTC————G AATTC————3'
3'————CTTAA G————CTTAA G————5'

* *

[*– ঝুলন্ত একতন্ত্রী অংশ বা Overhang]

কখনও কখনও অবশ্য কোন কোন রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক DNA-কে এমনভাবে কাটে যে কোন ঝুলন্ত অংশ বা আঠাল (Sticky) অংশ সৃষ্টি হয় না। এদের বলে ভোঁত প্রান্ত বা Blunt ends।



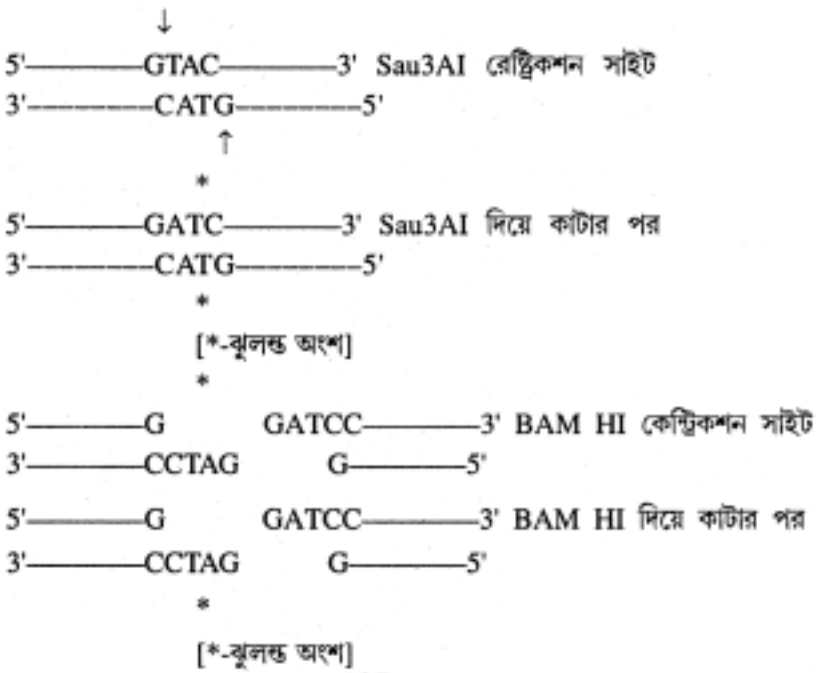
[লক্ষণীয় যে এক্ষেত্রে কোন ঝুলন্ত একতন্ত্রী অংশ বা Overhang সৃষ্টি হল না]

16.2.5 ❑ আইসোকাইজোমার (Isochizomer)

উপরোক্ত একতন্ত্রী ঝুলন্ত অংশের বিচারে কিছু কিছু রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের মধ্যে আবার মিল পাওয়া যায়।

দুইটি ভিন্ন রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের যদি প্রায় একই সজ্জার একতন্ত্রী ঝুলন্ত অংশ (Overhang) সৃষ্টি করে দ্বিতন্ত্রী DNA কে কাটার পর তাহলে তাদের আইসোকাইজোমার বলে।

উদাহরণ —



দুটি ক্ষেত্রে একই ধরনের একতন্ত্রী ঝুলন্ত অংশ তৈরী হওয়ার জন্য Sau3AI ও BamHI কে আইসোকাইজোমার বলে। দুইটি উৎসেচক দিয়ে DNA কেটে ক্লোনিং করার ক্ষেত্রে এদের বিশেষ ভূমিকা আছে।

16.2.6 ❑ রেষ্ট্রিকশন সাইটে নিউক্লিওটাইড সংখ্যার অনুপাতে উৎপন্ন DNA খণ্ডের (Fragment) দৈর্ঘ্য ও সংখ্যা ঃ

প্রতিটি রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের যে কোনও একটি নির্দিষ্ট DNA-র মধ্যে কতগুলি সাইট থাকবে তা অনুমান করা যায় সম্পূর্ণ গাণিতিক নিয়মে।

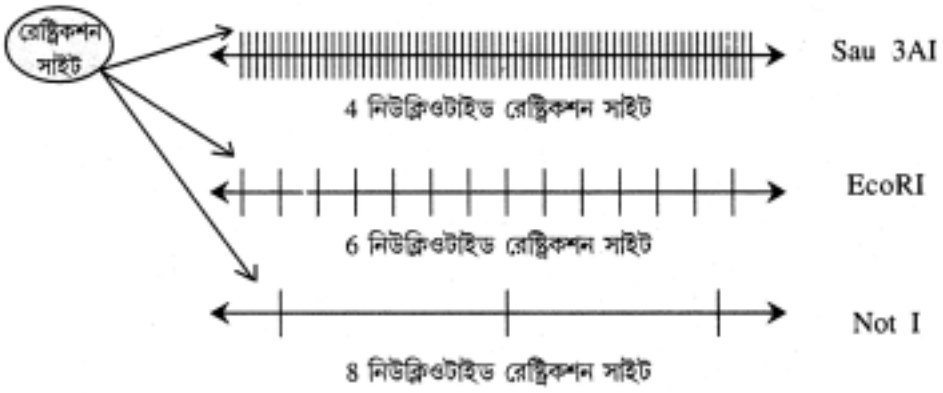
4টি নিউক্লিওটাইড যুক্ত রেষ্ট্রিকশন সাইটের যে কোনও দৈর্ঘ্যের DNA-তে সাইট থাকার সম্ভাবনা (Probability).

$$\frac{1}{4}\times\frac{1}{4}\times\frac{1}{4}\times\frac{1}{4}=\frac{1}{256}$$

কারণ, DNA-র মধ্যে 4টিই নিউক্লিওটাইড আছে A, T, G এবং C। রেষ্ট্রিকশন সাইটের প্রতি নির্দিষ্ট স্থানে তাদের যে কোনও একটির থাকার সম্ভাবনা $\frac{1}{4}$। সুতরাং, 4টি নিউক্লিওটাইডযুক্ত সাইটের ক্ষেত্রে তা, $\left(\frac{1}{4}\right)^4=\frac{1}{256}$

একই নিয়মে 6 নিউক্লিওটাইড যুক্ত সাইটের থাকার সম্ভাবনা $\left(\frac{1}{4}\right)^6=\frac{1}{4096}$

অর্থাৎ সাইটে নিউক্লিওটাইড সংখ্যা যত বেশী হবে DNA-এর মধ্যে তাদের থাকার সম্ভাবনা তত কম হবে।



চিত্র 16.1 : রেষ্ট্রিকশন সাইটের আনুপাতিক সংখ্যা ও নিউক্লিওটাইড সংখ্যার সম্পর্ক

● একইরকমভাবে উৎপন্ন খণ্ডের সংখ্যাও অনুমান করা যায়।

যেমন, 3×10^9bp মানুষের জিনোম (Genone) কে যথাক্রমে Sau3AI (4 নিউক্লিওটাইড), EcoRI (6 নিউক্লিওটাইড) এবং Not I (8 নিউক্লিওটাইড) দিয়ে কাটলে নিম্নলিখিতভাবে খণ্ড উৎপন্ন হবে —

সারণি 16B :

উৎসেচক	উৎপন্ন খণ্ডের সংখ্যা	রেষ্ট্রিকশন সাইট অনুযায়ী উৎপন্ন DNA খণ্ড
Sau3AI	$\frac{3\times10^9}{256}$ = ~12,000,000 খণ্ড	প্রতি খণ্ডের দৈর্ঘ্য 256 bp
EcoRI	$\frac{3\times10^9}{4096}$ = ~7,00,000 খণ্ড	4096 bp
Nof I	$\frac{3\times10^9}{65500}$ = ~ 46,000 খণ্ড খণ্ড	65,500 bp

16.2.7 ❑ রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা সম্পূর্ণ (Complete) ও অসম্পূর্ণ (Incomplete) কর্তন (digestion)

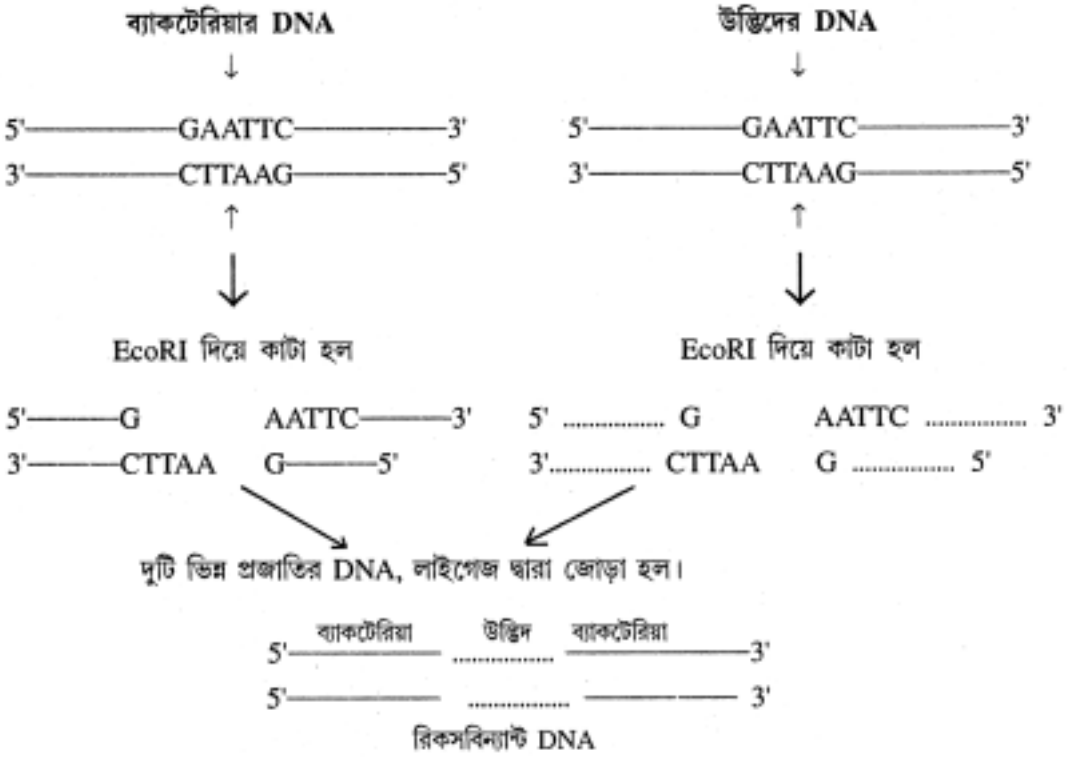
উপরের সারণিতে যে উৎপন্ন খণ্ডের সংখ্যা দেখানো হয়েছে যে কোন DNA-র ক্ষেত্রে তা সৃষ্টি করতে হলে, DNA-টিকে নির্দিষ্ট রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের সাথে যথেষ্ট সময় ধরে বিক্রিয়া করার সুযোগ দিতে হবে বা যথেষ্ট সময় ধরে বিক্রিয়া করার সুযোগ দিতে হবে বা যথেষ্ট পরিমাণে উৎসেচক ব্যবহার করতে হবে। তবে অনুমান মত DNA খণ্ড উৎপন্ন হবে। একে বলে সম্পূর্ণ ডাইজেশন (Digestion)। প্রতিটি উৎসেচকের ক্ষেত্রেই এই সম্পূর্ণ কর্তন বোঝার জন্য পরীক্ষা-নীরিক্ষা করতে হয় এবং উৎপন্ন খণ্ডগুলিকে জেল ইলেক্টাফোরেসিস (Gel electrophorcsis) করে তাদের দৈর্ঘ্য ও সংখ্যা নিরূপণ করে নিতে হয়।

কখনও কখনও আবার প্রয়োজন হয় DNA-কে অসম্পূর্ণভাবে কাটারও। কারণ এই অসম্পূর্ণ Digestion এ পরস্পর 'Overlapping' খণ্ড সৃষ্টি হয় যা DNA-র উপর নিউক্লিওটাইডগুলির বিন্যাস (Sequence) বুঝতে বা অজানা জীন খুঁজতে Library সৃষ্টিতে কাজে লাগে। এক্ষেত্রে সম্পূর্ণ Digestion-এ যে সময় লাগে তার থেকে কম সময় ধরে বিক্রিয়া চালানো যেতে পারে বা উৎসেচকের পরিমাণ হ্রাস করিয়েও তা করা সম্ভব।

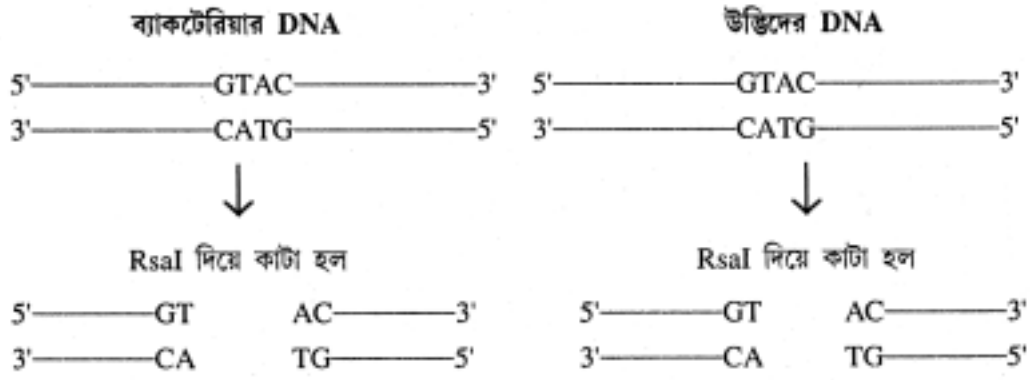
16.3 ❑ রিকমবিন্যান্ট DNA টেকনোলজি

রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা ভিন্ন ভিন্ন প্রজাতির DNA-কে কেটে, DNA লাইগেজ নামক উৎসেচক দিয়ে তাদের জুড়ে দিয়ে যে নতুন ধরনের DNA গবেষণাগারে তৈরী করা হয়তাকে রিকমবিন্যান্ট DNA বলে।

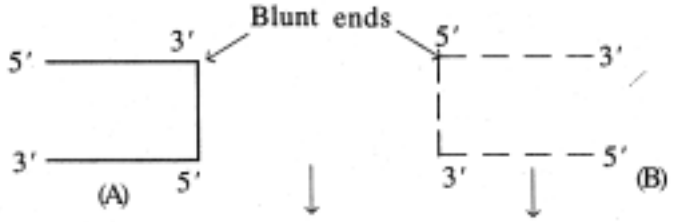
16.3.1 ❑ আঠাল (Sticky) একতন্ত্রী ঝুলন্ত অংশ ব্যবহার করে রিকমবিন্যান্ট DNA সৃষ্টি (Sticky end Ligation)



16.3.2 ❑ RsaI ধরনের রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক সৃষ্ট Blunt end-এর সংযুক্তি (Blunt end Ligation)



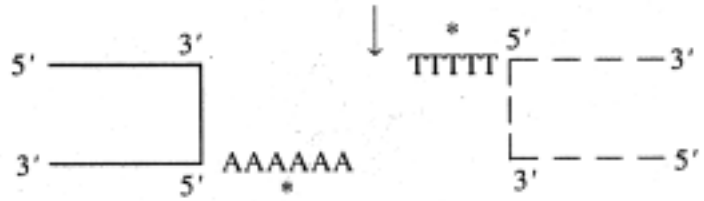
এক্ষেত্রে কোন আঠাল (sticky) ঝুলন্ত অংশ সৃষ্টি না হওয়ায় এদের জন্য বিশেষ ধরনের মধ্যবর্তী সংযোগী DNA (Linker DNA) ব্যবহার করা যায়, অথবা হোমোপালিমার টেলিং (Homopolymer Tailing) পদ্ধতিতেও এদের নিম্নলিখিত উপায়ে জুড়ে দেওয়া যায়।



T4 পলিনিউক্লিওটাইড কাইনেজ উৎসেচক (যা 5′-end-এ পরপর নিউক্লিওটাইড যুক্ত করতে পারে)।

(A) DNA-এর ক্ষেত্রে পরিমাণমত অ্যাডেনিন নিউক্লিওটাইড (DA)

(B) DNA-এর ক্ষেত্রে পরিমাণমত থাইমিডিন ,, (dT)



* -একতন্ত্রী ঝুলন্ত আঠাল অংশ সৃষ্টি হল

এইভাবে Blunt end যুক্ত DNA জুড়ে রিকমবিন্যান্ট DNA গঠন করা যায়।

বি.দ্র. তবে sticky end ligation করা সম্ভব এইরকম রেস্ট্রিকশন উৎসেচক ব্যবহার করাই শ্রেয় এবং বেশী ব্যবহৃত।

16.3.3 ❑ রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির বাহক (Vector)

উপরোক্ত পদ্ধতিতে সৃষ্টি রিকমবিন্যান্ট DNA-কে কোশে প্রবেশ না করাতে পারলে এই DNA কিছু প্রতিলিপি গঠন (Replication), RNA অনু সৃষ্টি (Transcription) বা প্রোটিন সংশ্লেষ (Translation) করতে পারবে না।

তাই এই প্রযুক্তিতে ব্যবহারিক সুবিধার জন্য বেশ কিছু বাহক বা vector DNA-র প্রয়োজন। প্লাসমিড এইরূপ একটি বাহক, যার কথা আমরা পূর্ববর্তী অধ্যায়ে (অধ্যায় 15) জেনেছি।

16.3.3.1 ❑ বাহকের (Vector)- বৈশিষ্ট্য

(1) Vector DNA সাধরণতঃ ব্যাকটেরিয়া, ব্যাকটেরিওফাজ ইত্যাদি থেকে পাওয়া যায়, কাজেই সহজলভ্য।

(2) বাহক DNA সমৃদ্ধ ক্রোমোসোমটি দৈর্ঘ্য ও আকৃতিতে ছোট হয়, কাজেই সহজেই ব্যাকটেরিয়া বা কাজ ভাইরাস থেকে বার করে আনা যায় (উদাহরণ—প্লাসমিড প্রস্তুতি, অধ্যায় 15 দ্রষ্টব্য)

(3) বাহক DNA-র মধ্যে রেষ্ট্রিকশন সাইট পাওয়া যায় একাধিক রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের, কাজেই তাদের মধ্যে রিকমবিন্যান্ট বানানো যায়।

(4) বাহক DNA-তে রিকমবিন্যান্ট তৈরী করে তাকে আবার তার নির্দিষ্ট কোশাধার অর্থাৎ ব্যাকটেরিয়া কোশ বা ব্যাকটেরিওফাজে ঢুকিয়ে দেওয়া যায়।

(5) বাহক DNA-তে নির্দিষ্ট লক্ষণ বা Marker, যথা অ্যান্টিবায়োটিক রেসিসটেন্স (Antibiotic Resistance) থাকায় বাহক DNAটি রিকমবিন্যান্টে পরিণত হলেও তাকে চিহ্নিত করা যায়। এর দ্বারা রিকমবিন্যান্ট প্রযুক্তির সাফল্য অনুমান করা যায়।

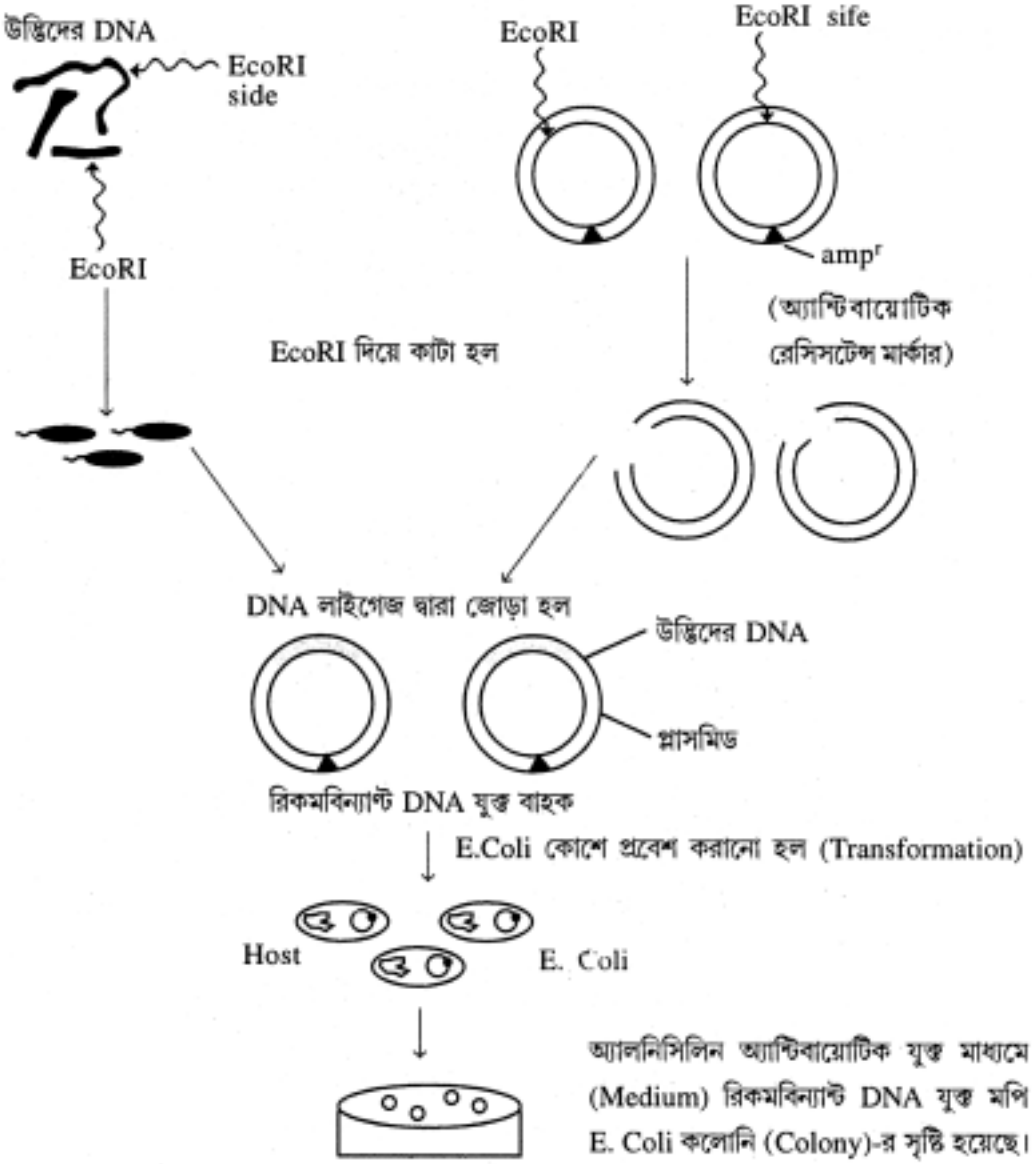
(6) বাহক DNAটি রিকমবিন্যান্ট হওয়ার পরও প্রতিলিপি গঠন, RNA সৃষ্টি ও প্রয়োজনে প্রোটীন সংশ্লেষ সক্ষম। কাজেই এগুলির ব্যবহারিক প্রয়োজনীয়তা সহজেই অনুমেয়।

(7) রিকমবিন্যান্ট প্রযুক্তির সাহায্যেই প্রাকৃতিক (Natural) বাহক DNA যথা প্লাসমিডকে ব্যবহারের আরো উপযোগী করে তোলার জন্য বিশেষভাবে design করা যায়। যেমন, রেষ্ট্রিকশন সাইট বাড়ানো, প্রোটীন সংশ্লেষের প্রয়োজনীয় প্রোমোটার (Promoter) সংযুক্ত করা বা চিহ্নিতকরণের সুবিধার জন্য নির্দেশক (Reporter) জীন যুক্ত করা ইত্যাদি।

সারণি ঃ 16C কয়েকটি নিত্য ব্যবহৃত বাহক ও তাদের বৈশিষ্ট্য

বাহক	DNA-র ধর্ম	উৎস	বহিঃস্থ DNA	ব্যবহার
প্লাসমিড	ds গোলাকার	ব্যাকটেরিয়া	15Kb পর্যন্ত (মূলতঃ 5 Kb)	ক্লোনিং, প্রোটীন সংশ্লেষ
ল্যাম্বডা (λ)	ds দণ্ডাকার (Linear)	ব্যাকটেরিওফাজ ভাইরাস	25 Kb পর্যন্ত	জীন Library প্রস্তুতি
কসমিড	ds গোলাকার	designed বাহক E.Coli-এ ব্যবহার্য্য	30–45 Kb	,,
M13	একতন্ত্রী (SS)	M13 ব্যাকটেরিওফাজ	70 Kb পর্যন্ত	DNA Sequeneing. Mutagenesls

বাহক	DNA-র ধর্ম	উৎস	বহিঃস্থ DNA	ব্যবহার
BAC	ব্যাকটেরিয়ার কৃত্রিম DNA	designed E.Coli তে ব্যবহার্য্য	500 Kb পর্যন্ত	জিন Library প্রস্তুতি
YAC	ঈষ্টের কৃত্রিম DNA	Yeast-এ ব্যবহার্য্য	2000 Kb পর্যন্ত	জিন Library প্রস্তুতি



চিত্র ঃ 16.2 ব্যাকটেরিয়ার প্লাসমিড বাহকে উদ্ভিদের জিন ঢুকিয়ে রিকমবিন্যান্ট সৃষ্টি বা ক্লোনিং

16.3.4 ❑ ক্লোনিং (Cloning)

চিত্র-তে ক্লোনিং-এর একটি পদ্ধতি দেখানো হয়েছে। প্রত্যেকটি এইভাবে সৃষ্ট কলোনীকে এক একটি কোশের ক্লোন (Clone) বলা চলে। লক্ষাধিক এইরূপ রিকমবিন্যান্ট প্লাসমিড DNA এক একটি কলোনীর ক্লোনগুলির মধ্যে থাকতে পারে। এই আনবিক ক্লোনিং পদ্ধতি দ্বারা তাই —

(1) অসংখ্য রিকমবিন্যান্ট DNA সৃষ্টি করা যায়।

(2) প্রয়োজনীয় DNA-কে সংখ্যায় বাড়ানো সম্ভব।

(3) প্রয়োজনীয় DNA কে কোশাধারে জীবন্ত অবস্থায় সংরক্ষণ করা যায়।

(4) প্রয়োজন মত দরকারী DNA কে পরিশুদ্ধকরণ (Purificafion) করা যায়।

(5) প্রোমোটার সংযুক্ত বাহকে ক্লোনিং করলে প্রয়োজনীয় প্রোটীন ব্যাকটেরিয়ায় কোশেই সংশ্লেষ করে নেওয়া যায় (Expression Vector)।

(6) কোনও জীবের সমগ্র জিনোম (Genome)-কে Library বানিয়ে তার থেকে অজানা তথ্য আবিষ্কার করা যায়।

(7) জিনের নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইড সজ্জা বা Sequence অনুধাবন করা যায়। যা থেকে পরবর্তীকালে জিনোমিক্স (Genomics) গবেষণা করা সম্ভব।

(8) কোনও জীনের মধ্যে নির্দিষ্ট স্থানে পরিব্যক্তি বা Mutation ঘটিয়ে তার ধর্মের পরিবর্তন লক্ষ করা যায় (Site directed Mutageunesis)।

এইভাবে জিনগত গবেষণার ক্ষেত্রে ক্লোনিং একটি অত্যন্ত সকল ও গুরুত্বপূর্ণ প্রযুক্তি।

16.3.5 ❑ রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির সামাজিক/অর্থনৈতিক প্রতিফলন

16.3.5.1 ❑ প্রোটীন কারখানা (Protein factory)

বহুবিধ জৈব প্রোটীন চিকিৎসাক্ষেত্রে ও গবেষণাগারে আমাদের প্রয়োজন হয়। যেমন, ইনসুলিন। এই হরমোনটি মানুষের রক্তের শর্করা বিপাক নিয়ন্ত্রণে সহায়তা করে। যে সব রোগীদের ক্ষেত্রে এই ইনসুলিনের অভাব দেখা যায় তাদের বাইরে থেকে এই ইনসুলিন প্রদান (Injection) করতে হয়। অতএব ইনসুলিনের অর্থনৈতিক গুরুত্ব আছে। আগে গরুর থেকে ইনসুলিন হরমোন পরিশুদ্ধ করে এই কাজে ব্যবহার করা হত। যাকে বলে Boxine Insulin। মানুষের সঙ্গে সম্পূর্ণভাবে মেলে না বলে, অনেকেরই এর থেকে খুব অ্যালার্জির (Allergy) উপসর্গ দেখা দিত। বর্তমানে রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির দ্বারা মানুষের ইনসুলিন জিন ব্যাকটেরিয়াতে প্রতিস্থাপন করে, ব্যাকটেরিয়া কর্ষন (Culture) করে তার থেকে অনেক সহজে, অনেক বেশী পরিমাণে, অনেক কম খরচে একেবারে মানুষেরই ইনসুলিন

তৈরী করা যাচ্ছে। এই Recombinant Insulin এই নামেই বাজারে পাওয়া যাচ্ছে এবং তাতে Allergy বা অন্যান্য উপসর্গ হচ্ছে না।

এইভাবে প্রয়োজনীয় যে কোনও প্রোটীনের জিন ব্যাকটেরিয়া বা অমরত্ব প্রাপ্ত ক্যানসার কোশসারি (cauer cell line)-তে রিকমবিন্যান্ট বানিয়ে প্রকাশ (express) করিয়ে একেবারে মানুষের প্রোটীনই বানানো সম্ভবপর হয়েছে।

এইভাবে বিভিন্ন হরমোন যেমন হিউম্যান গ্রোথ হরমোন (Human Growh Hormone), সেক্স হরমোন ইত্যাদি, রক্ততঞ্চনের ফ্যাক্টরগুলি, বিভিন্ন টীকা (vaccines), গবেষণাগারে বিশেষতঃ জেনোটিক ইঞ্জিনিয়ারিং-এ ব্যবহৃত উৎসেচকগুলি তৈরীতে, কাপড় কাচার Detergent-এ বিশেষ উৎসেচক সৃষ্টিতে, বিভিন্ন উদ্ভিদ ও ফলের মধ্যে বিশেষ বিশেষ প্রোটীনের গুণগত মান বৃদ্ধিতে বা ফলের মধ্যে এমনকি টীকার প্রকাশ ঘটানোও সম্ভবপর হয়েছে।

16.3.5.2 ❑ উদ্ভিদের ও কৃষিক্ষেত্রে

(1) **Agrobacterium tumefacieus** কে বাহক হিসাবে ব্যবহার করে দ্বিবীজপত্রী উদ্ভিদে বহুবিধ জিন প্রবেশ করানো, জিনের গুণগত মান পরিবর্তন সম্ভব হয়েছে (অধ্যায় 14 দ্রষ্টব্য)। প্রধানতঃ তামাক জাতীয় উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এক প্রচেষ্টায় বিশেষ সাফল্য পাওয়া গেছে।

(2) জৈব নিয়ন্ত্রণ (Biological Control) বর্তমানে কৃষিক্ষেত্রে বিশেষ গুরুত্বপূর্ণ। পরিবেশের ভারসাম্য রক্ষায় কীটনাশকের ব্যবহার হ্রাস করার প্রয়োজনে **Bacillus Thuringiensis (Bt)** নামক ব্যাকটেরিয়ার জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং-এর মাধ্যমে বিশেষ ধরনের বিষ (Toxin) কীটবিনাশের ক্ষেত্রে খুবই সফল। আবার এর মাধ্যমে পরিবেশের বিশেষ কিছু ক্ষতিও হয় না।

(3) কীটনাশকের ও আগাছানাশক (Weedicide) ব্যবহার যেখানে চলছে, সেখানে তার দ্বারা কৃষিক্ষেত্রের উদ্ভিদের ক্ষতিসাধন রোখা সম্ভব হয়েছে জীনের পরিবর্তন ঘটিয়েই।

(4) বিভিন্ন ফলের স্বাদ, গন্ধ, বর্ণ তো বটেই এমনকি তার পরিপক্কতার জৈবরাসায়নিক প্রক্রিয়াকেও এই প্রযুক্তি ব্যবহার করে নিয়ন্ত্রণ করা গেছে। যার ফলে, বাজারে ফলগুলি বেশীদিন বিক্রয়যোগ্য থাকছে।

(5) উদ্দ্যানপালনবিদ্যা (Horticulture)-এর বিভিন্ন দামি গাছের গুণমান বৃদ্ধি করা গেছে।

(6) উদ্ভিজ্জ খাদ্য, শষ্যের পুষ্টিগত মান বর্দ্ধন করাও সম্ভবপর হয়েছে।

16.3.5.3 ❑ ট্রানসজেনিক (Transgenic) জীব সৃষ্টি

প্রানীয় ডিমের মধ্যে মাইক্রোইনজেকশন (Microinjection), লাইপোসোম (Liposome) বাহক, ভাইরাস বাহক ইত্যাদি ব্যবহার করে বহু ট্রানসজেনিক জীব সৃষ্টি করা গেছে। গবাদি পশু বা মাংস উৎপাদনকারী

পশুদের ক্ষেত্রে বা পশম, রেশম উৎপাদনকারী পশু বা পতঙ্গদের গুণগত মান বৃদ্ধি করতেও এই প্রযুক্তি সাফল্য অর্জন করেছে। জেনেটিক ইনজিনিয়ারিং-এর মাধ্যমে 1997 সালে Dolly নামক ভেড়া, পরবর্তীকালে বানর এবং অন্যান্য পশুও সম্পূর্ণভাবে গবেষণাগারেই সৃষ্টি করা সম্ভব হয়েছে। যদিও এই জীব ক্লোনিং আমাদের নানাবিধ নীতিগত (Ethical) প্রশ্নের সম্মুখীন করে তুলেছে, কিন্তু মানুষের ক্ষেত্রে প্রতিস্থাপনযোগ্য (Transplantation) অঙ্গ যথা বৃক্ক, হৃদপিণ্ড, পেসমেকার ইত্যাদির ক্ষেত্রে এই পদ্ধতি ব্যবহার করা যেতেই পারে।

16.3.5.4 ❑ নীতিগত ও আইনগত প্রভাব

1972 সালে USA-এর স্টানফোর্ড বিশ্ববিদ্যালয়ে পল বার্গ প্রথম রিকমবিন্যান্ট DNA সৃষ্টি করে 1980 সালে নোবেল পুরস্কার পেলেও এই প্রযুক্তির প্রয়োগের নীতিগত ও আইনকানুন সংক্রান্ত বিষয়ে বারবারই আলোচনা, সমালোচনা হয়ে চলেছে, তখন থেকেই।

বহুজাতিক ব্যবসায়িক প্রতিষ্ঠানগুলি জৈব-প্রযুক্তির গবেষণায় যে পরিমাণ অর্থ লগ্নি করে চলেছে, তার থেকেই বোঝা যায় মানুষের সার্বিক উন্নতির চেয়ে লভ্যাংশের প্রতি তারা বেশী আকৃষ্ট।

- প্রথম রিকমবিন্যান্ট বা জেনেটিক্যালি ইঞ্জিনিয়ারড (Genetically engineered) জীব হিসাবে Pseudomonas ব্যাকটেরিয়ার সমুদ্রে তেলদূষণ রোধকারী যে strain পেটেন্ট (Patent) করা হয়, তা যদিও একজন বাঙালী গবেষক, ডঃ আনন্দমোহন চক্রবর্তীর, তবু এইভাবে জীবের উপর মানুষের নিয়ন্ত্রণ ভয়ানক সম্ভাবনার অশনি সংকেত।
- NIH, USA-র মানুষের জিনোম পেটেন্ট অপচেষ্টা নীতিগত কারণে বাতিল করা হলেও মানবসৃষ্টি cancer cell line গুলি কিন্তু অবলীলায় পেটেন্ট করা হয়ে চলেছে।
- এইভাবে গবেষণাগারের প্রযুক্তি সৃষ্ট জীবেরা প্রাকৃতিক জীববৈচিত্র্য বিনষ্ট করতে পারে বলেও মনে করা হচ্ছে।
- এই প্রযুক্তিতে পরিবর্তিত উদ্ভিজ্জ যাকে Genetically Modified or GM food বলা হয়, তার ব্যবহারের উপর বিশ্বের উন্নত অনেক দেশেই অনেকাংশে নিষেধাজ্ঞা পোষন করা হয়েছে।
- সর্বোপরি মানব ক্লোনিং-এর মাধ্যমে "ফ্রাঙ্কেস্টাইন" (Fankenstine) বা ভয়ানক অবমানব তৈরীর মাধ্যমে জগতে প্রাধান্য বিস্তারের প্রচেষ্টা জাতিধর্মদেশ নির্বিশেষে অসমর্থিত হয়েছে।
- জৈব-যুদ্ধ সামগ্রী বা Biological Warfare, যাতে ভয়ানক জীবাণু সৃষ্টি করে যুদ্ধ জয়ের জন্য কোনও দেশের উপায় Atom বোমার চেয়েও ভয়াবহ ও সুদূরপ্রসারী ক্ষয়ক্ষতি ঘটানোর চেষ্টাও করে চলেছে উন্নতবিশ্বের দেশগুলি।

নীতিগতভাবে বা Etnically এই সকল কারণই মানবসভ্যতার এই মহান আবিষ্কার, এই প্রযুক্তির সাফল্যের সাথে সাথে আমাদের মনের কোনে ত্রাসের সঞ্চার করছে। প্রতিটি দেশেরই উচিত যথাবিহিত আইন প্রণয়ন করে মানুষের এই ভয়কে নিরাময় করা এবং মানবসভ্যতার উন্নতিতে এই প্রযুক্তির যথাযথ ব্যবহারকে নিয়ন্ত্রণ করা।

16.4 ❑ সারাংশ ঃ

গবেষণাগারে অসীম সম্ভাবনাময় DNA নিয়ে নানা পরীক্ষানীরিক্ষা চলছে। এই গবেষণার কাজে প্রথম সাফল্য নিয়ে আসে একটি বিশেষ ধরনের উৎসেচকের আবিষ্কার। কার্যকারণ অনুযায়ী তার নামকরণ করা হয় রেস্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ। এই উৎসেচক অত্যন্ত নির্দিষ্টভাবে বিশেষ কিছু নিউক্লিওটাইড সজ্জার উপর ক্রিয়াশীল, যাদের বলে রেস্ট্রিকশন সাইট। এই রেস্ট্রিকশন সাইটের প্যালিনড্রসম ধর্মী নিউক্লিওটাইড সজ্জার জন্য উৎসেচকটি দিয়ে দ্বিতন্ত্রী DNA কে কাটা হলে, একতন্ত্রী, পরস্পর পরিপূরক, আঠাল, ঝুলন্ত অংশ সৃষ্টি হয়। এই ঝুলন্ত অংশের সাযুজ্যকে ব্যবহার করে ভিন্ন ভিন্ন প্রজাতির DNA-র মধ্যে জোড়া লাগিয়ে রিকমবিন্যান্ট DNA সৃষ্টি করা যায়। সেই রিকমবিন্যান্ট DNA কে বিবিধ বাহক DNA-র মধ্যে ঢুকিয়ে ব্যাকটেরিয়া বা ভাইরাসের কোশে নানাবিধ প্রোটীন সংশ্লেষ ও জীনের পরিবর্তন বা গুণগত মানবৃদ্ধি ঘটানো যেতে পারে। এইভাবে ক্লোনিং পদ্ধতিতে প্রতিদিন নানা প্রয়োজনীয় বস্তু যেমন চিকিৎসাশাস্ত্রে, কৃষিক্ষেত্রে বা ট্রানজেনিক জীব সৃষ্টি করা হয়ে চলেছে। কিন্তু এইসব গবেষণায় নীতিগত বহু প্রশ্ন উঠছে। প্রকৃতির রীতিনীতির বাইরে গিয়ে এই ধরনের গবেষণা আমাদের সমাজের ও সভ্যতার উপর যাতে কোনও ক্ষতিকর প্রভাব না ফেলে, সভ্যতা যেন শুধুই এই প্রযুক্তি ব্যবহারে উপকৃত হয়, সেই জন্য আইন প্রণয়নে জাতীয় ও আন্তর্জাতিক স্তরে গুরুত্ব দেওয়া প্রয়োজন।

16.5. সর্বশেষ প্রশ্নাবলি

(A) শূন্যস্থান পূরণ করুন ঃ

1. জিন ক্লোনিং-এ সর্বাপেক্ষা গুরুত্বপূর্ণ উৎসেচকটি হল ————।
2. DNA-এর দুইটি নিউক্লিওটাইডের মধ্যবর্তী যে বন্ধনীটি রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক ছিন্ন করে তা হল ————।
3. ব্যাকটেরিয়া নিজস্ব DNA কে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের ক্রিয়া থেকে রক্ষা করে ———— -এর মাধ্যমে।
4. প্রথম রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক আবিষ্কৃত হয় ———— থেকে।
5. রেষ্ট্রিকশন সাইটে ইংরাজী সাহিত্যের মত ———— থাকে।
6. EcoRI ———— পদ্ধতিতে DNA-কে কাটে।
7. RsaI ———— পদ্ধতিতে DNA-কে কাটে।
8. Sau3AI এবং BamHI হল ————।
9. 6টি নিউক্লিওটাইড যুক্ত রেষ্ট্রিকশন সাইট বিশিষ্ট রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকের যে কোনও দৈর্ঘ্যের DNA-তে থাকার সম্ভাবনা ————।
10. মানুষের সম্পূর্ণ জিনোমে সবচেয়ে কম খণ্ড সৃষ্টি করে এমন একটি উৎসেচক হল ————।
11. ব্লান্ট এনড্ জুড়তে ———— পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

12. সবচেয়ে বেশী বহিঃস্থ DNA দ্বারা রিকমবিন্যান্ট বানানো সম্ভব ———— বাহকে।

13. সর্বপ্রথম যে প্রোটীনটি রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তিতে সৃষ্টি করা হয় তা হল ————।

14. কীটপতঙ্গের জৈব নিয়ন্ত্রণে ———— ব্যবহৃত হয়।

15. জেনেটিক ইনজিনিয়ারিং-এর মাধ্যমে 1997 সালে যে ভেড়াটির জন্ম হয় তার নাম ————।

16. প্রথম রিকমবিন্যান্ট DNA তৈরী করেন ————।

17. প্রথম জেনেটিক ইঞ্জিনিয়ারিং করা জীবের পেটেন্ট পান বিজ্ঞানী ————।

B. A স্তম্ভের সাথে B স্তম্ভের মিল স্থাপন করুন ঃ

A	B
1. মিথাইলেশন	1. একতন্ত্রী ফাজভাইরাস
2. Sau3AI	2. হোমোপলিমার টেলিং
3. Not I	3. জিনগত সজ্জাবিন্যাস
4. DNA লাইগেড	4. নিজস্ব DNA রক্ষা
5. পলিনিউক্লিওটাইড কাইনেজ	5. 8 নিউক্লিওটাইড রেষ্ট্রিকশন সাইট
6. কসমিড	6. অপ্রাকৃতিক বাহক
7. M13	7. 4 নিউক্লিওটাইড রেষ্ট্রিকশন সাইট
8. জিনোমিক্স	8. ফসফোডায়েষ্টার বন্ধনী যুক্ত করে।

(C) সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(1) রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ কারা আবিষ্কার করেন এবং কোন সালে?

(2) প্রথম আবিষ্কৃত রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজের নাম কি এবং এই নামকরণের পদ্ধতি কি?

(3) রেষ্ট্রিকশন উৎসেচকগুলিকে 'এন্ডোনিউক্লিয়েজ' বলে কেন?

(4) রেষ্ট্রিকশন সাইট কাকে বলে? সাধারণতঃ কয়টি নিউক্লিওটাইড থাকে এতে?

(5) কিভাবে sticky end সৃষ্টি হয়?

(6) একটি 10,00,000 bp যুক্ত DNA-কে যথাক্রমে Sau3AI, EcoRI এবং Not I দিয়ে কাটলে উৎপন্ন খণ্ডের সংখ্যা কত হবে?

(7) কয়েকটি বাহকের নাম ও বৈশিষ্ট্যাবলী লিখুন।

(8) ক্লোনিং-এর সাহায্যে কী কী করা যেতে পারে?

(9) রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তিতে সৃষ্ট কয়েকটি প্রোটীনের নাম করুন।

(10) কৃষিক্ষেত্রে ও উন্নত উদ্ভিদ সৃষ্টিতে রিকমবিন্যান্ট DNA-র ব্যবহার সম্বন্ধে লিখুন।

16.6 ❑ উত্তর সংকেত

(A) 1. রেষ্ট্রিকশন এন্ডোনিউক্লিয়েজ। 2. ফসফোডায়েষ্টার। 3. মিথাইলেশন। 4. Eschericia coli. 5. প্যালিনড্রম। 6. স্টাগারড্। 7. ব্লান্ট এনড্। 8. আইসোকাইজোমার। 9. 1/4096. 10. Not I. 11. হোমোপোলিমার টেলিং। 12. YAC. 13. ইনসুলিন। 14. Bt টক্সিন। 15. ডলি। 16. পল বার্গ। 17. ডঃ আনন্দমোহন চক্রবর্তী।

(B)

A	B
1	4
2	7
3	5
4	8
5	2
6	6
7	1
8	3

(c) (1) 16.1. (2) 16.2.2 ও সারণি 16A. (3) 16.2.1. (4) সারণি 16A. (15) 16.2.4. (6) 16.2.6. দেখুন এবং নিজে করুন। (7) সারণি 16B. (8) 16.3.4. (9) 16.3.5.1. (10) 16.3.5.2.

একক 17 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরি ও RFLP

গঠন

17.1. প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

17.2. জিনোমিক লাইব্রেরি

17.2.1. সংজ্ঞা

17.2.2. জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরির তত্ত্ব

17.2.3. জিনোমিক লাইব্রেরিতে ক্লোনসংখ্যার সম্ভাবনা

17.2.4. জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরির অসুবিধা

17.2.5. সাধারণ জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরির পদ্ধতি

17.2.5.1. জিনোমিক DNA নিষ্কাশন

17.2.5.2. জিনোমিক DNA-এর রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা অসম্পূর্ণ বিয়োজন

17.2.5.3. রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা বিয়োজিত খণ্ডগুলির বাহক DNA-তে রিকমবিন্যাণ্ট সৃষ্টি

17.2.5.4. রিকমবিন্যাণ্ট বাহক DNA-কে E.coli কোশে ট্রান্সফরমেশনস ও জিনোমিক DNA ক্লোনসমৃদ্ধ কলোনী সৃষ্টি

17.3. CDNA লাইব্রেরি

17.3.1. সংজ্ঞা

17.3.2. CDNA তৈরি করার পদ্ধতি

17.3.2.1. RNA নিষ্কাশন

17.3.2.2. RNA পরিশুদ্ধিকরণ

17.3.2.3. CDNA প্রস্তুতি

17.4. জিনোমিক লাইব্রেরি ও CDNA লাইব্রেরির তুলনা

17.5. লাইব্রেরি থেকে জিন খোঁজা

17.5.1. কলোনী হাইব্রিডাইজেশন পদ্ধতি

17.6. জিনোমিক্স

17.7. DNA পলিমার ফিসম

17.8. RFLP

17.8.1. মানুষের রোগ নির্ণয়ে RFLP

17.9. সারাংশ

17.10. প্রশ্নাবলি

17.11. উত্তর সংকেত

17.1 ❑ প্রস্তাবনা ও উদ্দেশ্য

জিনোম হল কোনোও একটি জীবের হ্যাপ্লয়েড কোশের নিউক্লিয়াসে অবস্থিত সমস্ত ক্রোমোজোমের সমষ্টি। মানুষের জিনোম যেমন 23টি ভিন্ন ভিন্ন ক্রোমোজোমের সমষ্টি এই 23টি তন্তুতে G, C, T এবং A নিউক্লিওটাইডের সংখ্যা গ্রাম ও বিলিয়ন (3 গিগাবেস বা 3 Gb)। ক্ষুদ্রাতিক্ষুদ্র জীবাণুদের 700 kb (কিলোবেগ) জিনোম থেকে এই 3 Gb জিনোম-এর মধ্যে রয়েছে বহু বিচিত্রতা। একটি অ্যামিবার জিনোম 600 Gb। আবার একটি গমের 15 Gb। আনুপাতিক হিসাবে মানুষের জিনোম ঈস্টের তুলনায় 200 গুণ বড়ো। আবার অ্যামিবার তুলনায় 200 গুণ ছোটো। এই বিস্ময়কর বৈচিত্র্যের জিনোম এবং তার মধ্যে নিহিত থাকা তথ্যভাণ্ডারে উন্মোচন বিজ্ঞানীদের কাছে অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। তাই এই জিনোমের DNA-র বৈশিষ্ট্য ও তার তথ্য সন্ধানের লক্ষে আণবিক জীববিজ্ঞানীরা তৈরি করলেন জিনোমিক লাইব্রেরি। এই লাইব্রেরিতে জিনোমের প্রতিটি জিন ক্লোন করা থাকে, যার থেকে বিপুল পরিমাণে জিন-সংক্রান্ত তথ্যানুসন্ধান করা যায়। প্রয়োজনে সেই ক্লোন থেকে বার করে আনা যায় অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ জিনের DNA-কে, তাকে ব্যবহার করা যায় মানবসভ্যতার প্রয়োজনীয় বহুবিধ বস্তুর সৃষ্টিতে।

এই জিনোম গবেষণার সূত্র ধরেই বিজ্ঞানীরা আবিষ্কার করেন যে একই প্রজাতির দুইটি জীবের মধ্যে আবার রয়ে গেছে জিনগত গঠনবৈষম্য। 250 kb জিনোমের DNA-এর মধ্যে হয়ত বা 250টি DNA এক ব্যক্তি থেকে অন্যজনে আলাদা। এই ধরনের জিনের বহুরূপিতা (Polymorphison)-কে বিজ্ঞানীরা সেইসব জীনের নির্দেশক বা Marker হিসাবে ব্যবহার করে আণবিক পর্যায়ে শ্রেণিবিন্যাস করার পদ্ধতি বার করে ফেললেন। রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক ব্যবহার করে DNA-এর মধ্যে এই বহুরূপিতা নিরূপণ করার পদ্ধতিই হল রেষ্ট্রিকশন ফ্র্যাগমেন্ট লেন্থ পলিমরফিস্‌ম (Restriction Fragment Length Polymorphinon) বা সংক্ষেপে RFLP।

উদ্দেশ্য ঃ এই অধ্যায়টি পাঠ করলে আপনি

- জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরি সম্বন্ধে জানতে পারবেন।
- CDNA লাইব্রেরি সম্বন্ধে আহিত হবেন।
- এইসব লাইব্রেরি থেকে নির্দিষ্ট জিন অনুসন্ধানের পদ্ধতি জানতে পারবেন।
- জিনোমিক্স ও ম্যাপ্পানিজ বেসড ক্লোনিং সম্বন্ধে ধারণা করতে পারবেন।
- RFLP সম্বন্ধে জ্ঞান লাভ করবেন।

17.2 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি (Genomic Library)

17.2.1 ❑ সংজ্ঞা

জিনোমিক লাইব্রেরি হল অসংখ্য DNA ক্লোনের সমষ্টি যার মধ্যে জীনোমে অবস্থিত জিনগুলির প্রত্যেকটির প্রতিরূপ (copy) আলাদা আলাদা করে নির্দিষ্ট উপযোগী বাহক DNA-এর মধ্যে রিকমবিন্যান্ট অবস্থায় সংরক্ষিত থাকে।

17.2.2 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরির তত্ত্ব

যদি কোনো জীবের জিনোমকে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দিয়ে সম্পূর্ণভাবে কাটা বা Digest করা হয় এবং সেই উৎপন্ন খণ্ডগুলিকে 100% দক্ষতায় রিকমবিন্যান্ট বানিয়ে উপযোগী ভেক্টরের মাধ্যমে **E. coli** কোশে প্রবেশ করানো যায়, তত্ত্বানুযায়ী প্রতিটি ক্লোনের মধ্যে যদি শুধুমাত্র একটি জিনের প্রতিরূপ ঢোকে তবে 100% দক্ষতার সাথে জিনোমিক লাইব্রেরি সৃষ্টি করা যাবে। এক্ষেত্রে প্রতিটি কোশীয় জিনকে চেনা যাবে, বার করে আনা যাবে এবং প্রয়োজনমতো ব্যবহার করা যাবে।

অঙ্কের এবং তর্কের হিসাবে ধরে নেওয়া যাক মানুষের হ্যাপ্লয়েড শুক্রাণু (sperm)-এর 3,000,000 kb DNA-কে বিশ্বাসযোগ্যভাবে 150 kb-এর ছোটো ছোটো খণ্ডে বিভক্ত করা গেল। তাহলে 3,000,000/150 = 20,000টি জিনোমের DNA খণ্ডক তৈরি হবে। এদেরকে যদি BAC বাহক রূপে যুক্ত করে **E. Coli**-তে প্রবেশ করানো যায় তবে 20,000 ক্লোন তৈরি হবে।

একটি নিখুঁত লাইব্রেরির এই ক্লোন সংখ্যাকে (20,000 এই ক্ষেত্রে) বলা হয় জিনোমের সমকক্ষ (Genomic Equivalent)।

17.2.3 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরিতে ক্লোনসংখ্যার সম্ভাবনা (Probability)

একটি সুষ্ঠুভাবে নির্মিত জিনোমিক লাইব্রেরিতে প্রতিটি DNA Sequence-এর সমপরিমাণ সুযোগ থাকবে বাহক DNA-তে সংযুক্ত 2 বার। সুতরাং একটি লাইব্রেরি সৃষ্টিতে কতগুলি ক্লোন লাগবে তা নির্ধারণ করা যায় নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা।

$$N = \frac{\ln(1-P)}{\ln(1-f)}$$

যেখানে N হল প্রয়োজনীয় সংখ্যক রিকমবিন্যান্ট ক্লোন

f হল জীনের আনুপাতিক অংশ (fraction) যা একটি ক্লোনে থাকতে পারে

এবং P হল সম্ভাবনার রাশি (Probability) মোট ক্লোনসংখ্যার।

ln হল log value.

উদাহরণ ঃ ড্রসোফিলা মাছির একটি লাইব্রেরিতে মাছির 10^5kb জিনোমের যদি গড় 'f' বা প্রতিটি ক্লোনে অবস্থিত DNA-এর দৈর্ঘ্য 40 kb হয়, তাহলে 99% নিশ্চিত (P) হয়ে এটা বলতে গেলে, যে প্রতিটি জিন Sequence এই লাইব্রেরিতে পাওয়া যাবে, যে সংখ্যক ক্লোন প্রয়োজন হবে (N) —

$$N = \frac{l\,n(1-0\cdot 99)}{l\,n\left[1-\frac{40}{100000}\right]}$$

$$= 11{,}513$$

অর্থাৎ মোট সাড়ে এগারো হাজার ক্লোন পেলে আমরা বলতে পারি সম্পূর্ণ নিশ্চিতভাবে যে ড্রসোফিলা মাছির জিনোমের সব জীন এই লাইব্রেরিতে পাওয়া যাবে।

16.2.4 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরির অসুবিধা

যদিও তত্ত্বানুযায়ী, পূর্ববর্তী আলোচনায় জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরি করে তার মধ্যে সম্ভাবনা বিচার করা অঙ্কের নীরিখে সম্ভাবনার বলে মনে হচ্ছে কিন্তু বাস্তবে তা খুবই সমস্যার। সমস্যাগুলির কারণগুলি আলোচনা করে নেওয়া যাক।

(1) 100% দক্ষতার ক্লোনিং বাস্তবে অসম্ভব।

(2) মাত্র একটি কোশের DNA সবসময় সমস্ত জিনগত প্রক্রিয়ার সম্পূর্ণ তথ্য নাও দিতে পারে।

(3) যেহেতু প্রক্রিয়াটি Random Sampling ভিত্তিক, এটা হতেই পারে যে একাধিক ক্লোনে একই DNA Sequence ঢুকল বা কোনও একটি নির্দিষ্ট DNA Sequence কোনো ক্লোনে ঢুকলই না।

(4) সুতরাং একটি Genomic Equivalent-এর বেশি সংখ্যায় ক্লোন সৃষ্টি করতে হতে পারে এবং তাদের সংখ্যা এতই বেশি হবে যে তথ্য অনুধাবন করা কঠিন হয়ে পড়বে।

(5) সুবিধাযুক্ত প্লাসমিড বাহকে ক্লোন করে লাইব্রেরি সৃষ্টি করা আরও সমস্যার। BAC বাহকে যেহেতু বেশি পরিমাণে DNA ক্লোন করা যায়, সেখানে 20,000 ক্লোন তৈরি হলে, আপাতঃ হিসাবে 10 kb DNA সমৃদ্ধ প্লাসমিডে 3,00,000 ক্লোন সৃষ্টি হবে।

(6) সবশেষে ইউক্যারিওট জিনোমে জিন কোড না করা অর্থাৎ নন-কোডিং (Non-coding) ইনট্রন (Intron)-এর DNA ও লাইব্রেরির ক্লোনের মধ্যে ঢুকে ক্লোনের সংখ্যা বৃদ্ধিই করবে, তাদের থেকে কোনো তথ্য পাওয়া যাবে না।

17.2.5 ❑ সাধারণ জিনোমিক DNA লাইব্রেরি তৈরির পদ্ধতি

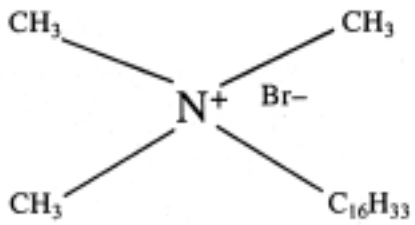
দ্বিতন্ত্রী DNA একটি নিষ্ক্রিয় রাসায়নিক। এর সকল ক্রিয়াশীল অংশরা মধ্যবর্তী শৃঙ্খলাসৃষ্ট প্যাঁচানো Helix-এ হাইড্রোজেন বন্ধনী দ্বারা আবদ্ধ থাকে। এই বিশেষ নিরাপত্তার জন্যই পুরাতন কবরখানা এমনকি ফসিল থেকেও DNA-কে উদ্ধার করা যায়। কিন্তু জলীয় মাধ্যমে DNA-ক পরিশুদ্ধিকরণ প্রণালির নানাবিধ উপকরণের জন্যই বড়ো দৈর্ঘ্যের (> 150 kb) DNA শৃঙ্খল ছিন্ন (Shear) হয়ে যায় বা কোশস্থিত DNase নামক উৎসেচকের জন্য বিনষ্ট হয়ে যাবার সম্ভাবনা থাকে। এই জিনোমিক DNA পরিশুদ্ধিকরণ ও নিষ্কাশনের সময় অত্যন্ত সতর্কতা গ্রহণ করা প্রয়োজন।

17.2.5.1 ❑ জিনোমিক DNA নিষ্কাশন (Isolation of genomic DNA)

সাধারণত ইউক্যারিওটিক কোশ বা কলা থেকে জিনোমিক DNA নিষ্কাশনের পদ্ধতি নিম্নরূপ ঃ

কোশ / কলা
↓
প্রোটিন বিশ্লেষণকারী প্রোটিনেস্ উৎসেচক বিক্রিয়া
(DNase ক্রিয়া নিরোধী EDTA সহযোগে)
↓
কোশপর্দার ডিটারজেন্ট (detergent, যেমন SDS)
দ্বারা দ্রবণীয়করণ (Solubilization)
↓
জৈব দ্রবণ (organic solvent, যেমন ইথানল)
দ্বারা সমগ্র নিউক্লিক অ্যাসিড পাতন (Precipitation)
↓
নিউক্লিক অ্যাসিডের RNA অংশের RNase উৎসেচক
দ্বারা বিনষ্টকরণ (Removal)
↓
অভিস্রবণ চাপে (dialysis) জিনোমিক
DNA পরিশুদ্ধিকরণ

বি. দ্র. ঃ উদ্ভিদকোশ থেকে জিনোমিক DNA নিষ্কাশনের ক্ষেত্রে আরও একটি ধনাত্মক আধানযুক্ত (Cationic) ডিটারজেন্ট ব্যবহার করা হয়। যার নাম হল সিটাইল-ট্রাইমিথাইল অ্যামোনিয়াম ব্রোমাইড (Cetyltrimethylammonimum bromide) বা সংক্ষেপে CTAB। CTAB কোশনিঃসৃত (Cell lysate) সকল প্রোটিনকে অধঃপাতিত (Precipitati) করে কিন্তু নিউক্লিক অ্যাসিডকে অধঃক্ষেপ ফেলতে পারে না, কাজেই শুধুমাত্র নিউক্লিক অ্যাসিড (যার মধ্যে জিনোমিক DNA আছে) দ্রবণে থেকে যায়।



চিত্র 17.A : CTAB-এর আণবিক গঠন

দ্রবণ থেকে নিউক্লিক অ্যাসিডকে যথাক্রমে ফেনল (Phenol) এবং ক্লোরোফর্ম (Chloroform) দ্বারা নিষ্কাশন করলে RNA এবং সামান্য যে প্রোটিন নিউক্লিক অ্যাসিডের সাথে থেকে যায় তারা মুক্ত হয়। এরপর ইথানল বা আইসোপ্রোপানল দ্বারা জিনোমিক DNA-কে অধঃক্ষেপ ফেলে পরিশুদ্ধ করে নেওয়া হয়।

17.5.2.2 ❑ জিনোমিক DNA-এর রেস্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা অসম্পূর্ণ বিয়োজন (Partial Digestion)

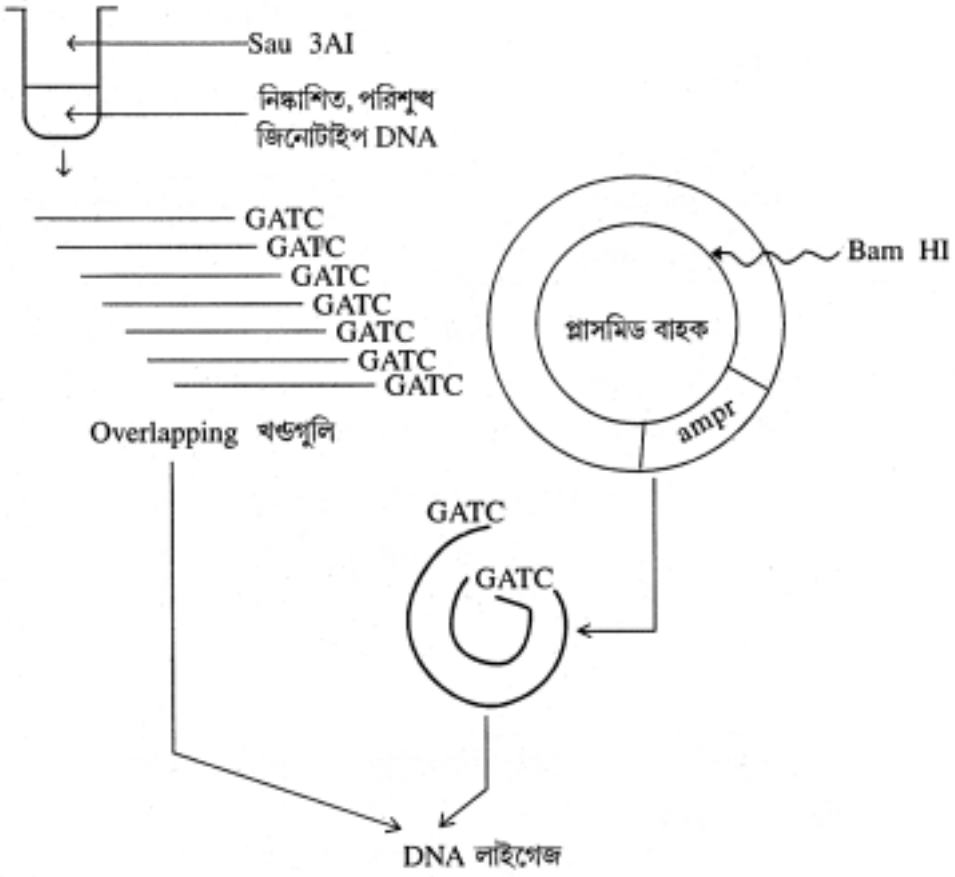
যেহেতু আমরা নিশ্চিত নই এই DNA-এর মধ্যে জিনগুলির নির্দিষ্ট অবস্থান সম্বন্ধে, তাই রেস্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা জিনোমিক DNA-কে সম্পূর্ণ ভাবে না কেটে, অসম্পূর্ণভাবে কাটা হয়। এর ফলে Overlapping খণ্ড সৃষ্টি হয়, যাদের কোনো না কোনোটির মধ্যে এক একটি জিনের সম্পূর্ণ অংশ থাকবেই।

এক্ষেত্রে রেস্ট্রিকশন উৎসেচকটির ব্যবহারও যুক্তিযুক্ত হওয়া বাঞ্ছনীয়। সাধারণতঃ বেশি খণ্ডক সৃষ্টিকারী কোনো উৎসেচক (4 নিউক্লিওটাইড যুক্ত রেস্ট্রিকশন সাইট যুক্ত ; একক 16 দ্রষ্টব্য) যেমন Sau 3 AI ব্যবহার করা হয়। এতে সর্বাধিক সংখ্যক DNA খণ্ড আশা করা যেতে পারে।

17.2.5.3 ❑ রেস্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা বিয়োজিত খণ্ডগুলির বাহক DNA-তে রিকমবিন্যান্ট সৃষ্টি

Sau 3 AI-কেই এই কাজে ব্যবহার করার দ্বিতীয় কারণ হচ্ছে আরও একটি উৎসেচক Bam HI-এর সাথে এটি আইসোকাইজোমার (একক 16) অর্থাৎ একই নিউক্লিওটাইড সজ্জার Overhang বা ঝুলন্ত, আঠাল, একতন্ত্রী অংশ সৃষ্টি করে।

সুতরাং প্লাসমিড বাহকটিকে Bam HI দিয়ে কেটে, Sau 3 AI দিয়ে অসম্পূর্ণ কাটা জিনোমিক DNA-এর খণ্ডগুলিকে DNA লাইগেজ নামক উৎসেচক দিয়ে জুড়ে দিয়ে রিকমবিন্যান্ট DNA তৈরি করা হয়।



↓

রিকমবিন্যান্ট প্লাসমিড
(জিনোমিক DNA-এর এক একটি খণ্ডযুক্ত)

↓

E. Coli কোশে ট্রানস্‌ফরমেশন

↓ 37^0C

অ্যামপিসিলিন অ্যান্টিবায়োটিক যুক্ত মাধ্যমে
ব্যাকটেরিয়া কলোনী (ক্লোন) সৃষ্টি

চিত্র 17 B : সাধারণ জিনোমিক DNA লাইব্রেরি তৈরির পদ্ধতি

17.2.5.4 ❑ রিকমবিন্যান্ট বাহক DNA-কে E. Coli কোশে ট্রানসফর্মেশন ও জিনোমিক DNA ক্লোন সমৃদ্ধ কলোনী সৃষ্টি

এরপর রিকমবিন্যান্ট DNA-গুলিকে তাপ বা তড়িৎ চাপে (Heat-কে Electric Stress) অর্থাৎ ট্রানসফরমেশন বা ইলেকট্রোপোরেশন (Electroporation) পদ্ধতিতে **E-coli** কোশে প্রবেশ করানো হয়।

E. Coli কোশগুলিকে এবার অ্যান্টিবায়োটিক মার্কারের নির্দিষ্টতা অনুযায়ী অ্যাগার (Agar) যুক্ত মাধ্যমে কলোনী উৎপন্ন করানো হয়।

E.Coli কোশগুলিকে এবার অ্যান্টিবায়োটিক মার্কারের নির্দিষ্টতা অনুযায়ী অ্যাগার (Agar) যুক্ত মাধ্যমে কলোনী উৎপন্ন করানো হয়।

প্রতিটি কলোনীয় কোশগুলি এক একটি জিনোমিক DNA ক্লোন যাদের মধ্যে এক একটি জিনের উপস্থিতি আশা করা যায়।

বি. দ্র. জিনোমের DNA দৈর্ঘ্য অনুযায়ী বাহক DNA ব্যবহার করা যায়। বড় দৈর্ঘ্যের DNA-র ক্ষেত্রে BAC বাহক (একক 16) নেওয়া যেতে পারে। তবে পরবর্তী কাজের সুবিধার জন্য BAC-এর সৃষ্ট জিনোমিক DNA ক্লোনের রিকমবিন্যান্ট DNA থেকে DNA আবার বার করে নিয়ে, রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দিয়ে ছোট করে কেটে নিয়ে ব্যাকটেরিওফাজ বা প্লাসমিডে উপ-ক্লোনিং (Subcloning) করে নেওয়া যায়। এক্ষেত্রে কসমিড ও ব্যবহার করা যায়। কসমিডের সুবিধা হল একে ইচ্ছামত ব্যাকটেরিয়া বা ব্যাকটেরিওফাজে প্রবেশ করানো যায়। তাই এদের সাট্‌ল বাহক (Shuttle vector) বলে।

17.3 ❑ CDNA লাইব্রেরি

আগেই বলা হয়েছে যে জিনোমিক DNA লাইব্রেরী বানানোর অনেকগুলি অসুবিধা সবচেয়ে গুরুত্বপূর্ণ অসুবিধা বা Drawback হল, অহেতুক নন-কোডিং (Non-coding) ইনট্রন-এর DNA-ও ক্লোন সৃষ্টি করে কলোনী সংখ্যা বৃদ্ধি করবে। ফলে পরবর্তীকালে লাইব্রেরি থেকে জিন খুঁজে বার করতে গেলে অনেক ক্ষেত্রেই পন্ডশ্রম ও অর্থনৈতিক ক্ষতির সম্মুখীন হতে হবে।

এই অসুবিধা দূর করার জন্য এরপর যে বিশেষ ধরনের লাইব্রেরি সৃষ্টি করা হল তাকে বলে cDNA বা কমপ্লিমেন্টারী (Complementary) বা পরিপূরক DNA লাইব্রেরি

17.3.1 ❑ সংজ্ঞা

RNA ভাইরাস সৃষ্ট রিভার্স ট্রানক্রিপটেজ (Reserve Transcriptase) উৎসেচক দ্বারা কোশস্থিত RNA থেকে DNA সৃষ্টি করে, সেই DNA-র লাইব্রেরি তৈরী করে জিনগুলির ক্লোন সৃষ্টি করার পদ্ধতিকে বলে cDNA লাইব্রেরি।

প্রান্তলিপি ঃ রিভার্স ট্রানসক্রিপটেজ (Reverse Transcriptase) ঃ

1970 সালে বিজ্ঞানী হাওয়ার্ড টেসিন এবং ডেভিড বালটিমোর আবিষ্কার করেন RNA ভাইরাস বা রেট্রোভাইরাস (Retrovirus)-এর একটি অদ্ভুত ধরনের DNA পলিমারেজ, উৎসেচক, যা RNA থেকে DNA উৎপন্ন করতে পারে। সাধারণ ট্রানসক্রিপশন (Transcription) পদ্ধতিতে যেহেতু DNA থেকে RNA তৈরী হয়, রেট্রোভাইরাসের এই অদ্ভুত ধরনের DNA পলিমারেজ উৎসেচকটিকে তাই নামকরণ করা হয় রিভার্স (বা বিপরীত) ট্রানসক্রিপটেজ। রেট্রোভাইরাস, যেমন AIDS ভাইরাস যখন কোশকে আক্রমণ করে তখন তার একতন্ত্রী RNA জিনোমটি এই উৎসেচকের সাহায্যে কোশের মধ্যে দ্বিতন্ত্রী DNA সৃষ্টি করে এবং সেই DNA পরবর্তীকালে কোশের মূল ক্রোমোজোমের DNA-র সাথে যুক্ত হয়ে যায়।

17.3.2 ❑ cDNA তৈরী করার পদ্ধতি

এই পদ্ধতিতে যেহেতু RNA থেকে DNA প্রস্তুত করা হয় তাই সবার আগে প্রয়োজন কোশ থেকে সম্পূর্ণভাবে প্রস্তুত (Fully Processed) RNA নিষ্কাশন ও পরিশুদ্ধিকরণ।

17.3.2.1 ❑ RNA নিষ্কাশন

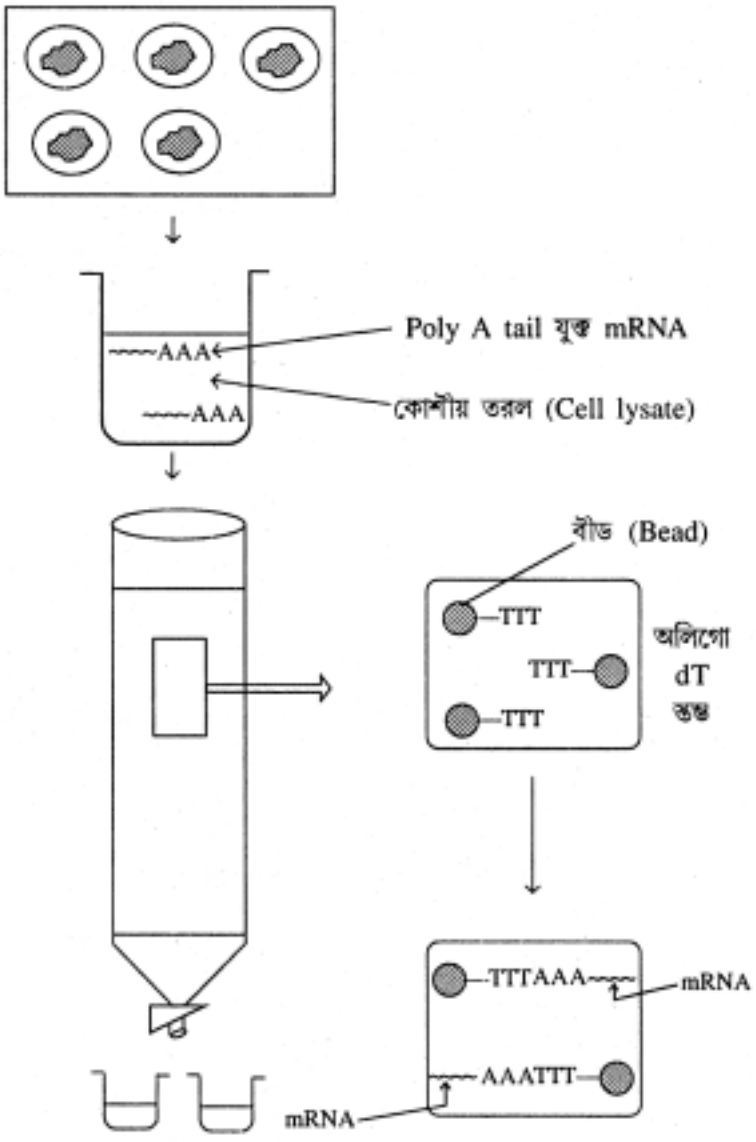
mRNA-র সংখ্যা ঃ একটি কোশে যদি 10,000 থেকে 30,000 টি ট্রান্সক্রিপশন হওয়া নিউক্লিক অ্যাসিড শৃঙ্খল থাকে, mRNA (মেসেঞ্জার RNA) থাকে তার চেয়ে অনেক বেশী সংখ্যায়। mRNA উৎপন্ন হওয়া, তার অর্ধ-জীবন (half life) এবং ইনট্রন (Intron) দূরীকরণের পদ্ধতি বা স্পাইসিং (splicing)-এর উপর নির্ভর করে এই দুইটির অনুপাত। কিছু জিন ট্রানসক্রিপশন করে বেশীস্থায়ী (stable) mRNA তৈরী করে কিছু আবার তৈরী করে কমস্থায়ী mRNA। অনেক জিনের mRNA আবার কোশে খুব কম পরিমাণে। (1 অনু/কোশ) থাকতে পারে। এইসব মাথায় রেখে যদি সুযোগ থাকে তো ক্যানসার কোশসারি (Cancer cell live) থেকে mRNA নিষ্কাশন করাই শ্রেয়। আবার কিছু রাসায়নিক পদার্থ বা ড্রাগ (Durg) যেমন কমপ্যাকটিন (Compactin) কোশের mRNA-র পরিমাণ 15 গুণ পর্যন্ত বাড়িয়ে দিতে পারে। তবে সেগুলি নির্দিষ্ট কিছু জিনের জন্যই কার্যকর।

mRNA-র দৈর্ঘ্য (Size)

1.5 kb-র চেয়ে ছোট দৈর্ঘ্যের mRNA-দের নিষ্কাশন করার আগে তাদের ঘনত্ব বাড়িয়ে নিলে সুবিধা হয়। Density gradient Centrifigation-এর মাধ্যমে এইভাবে mRNA কে enrich করে তোলা যায়। সাধারণত 10,000 ডালটন পলিপেপটাইড তৈরী করতে 280 বেস বিশিষ্ট mRNA প্রয়োজন।

16.3.2.2 ❑ RNA পরিশুদ্ধিকরণ

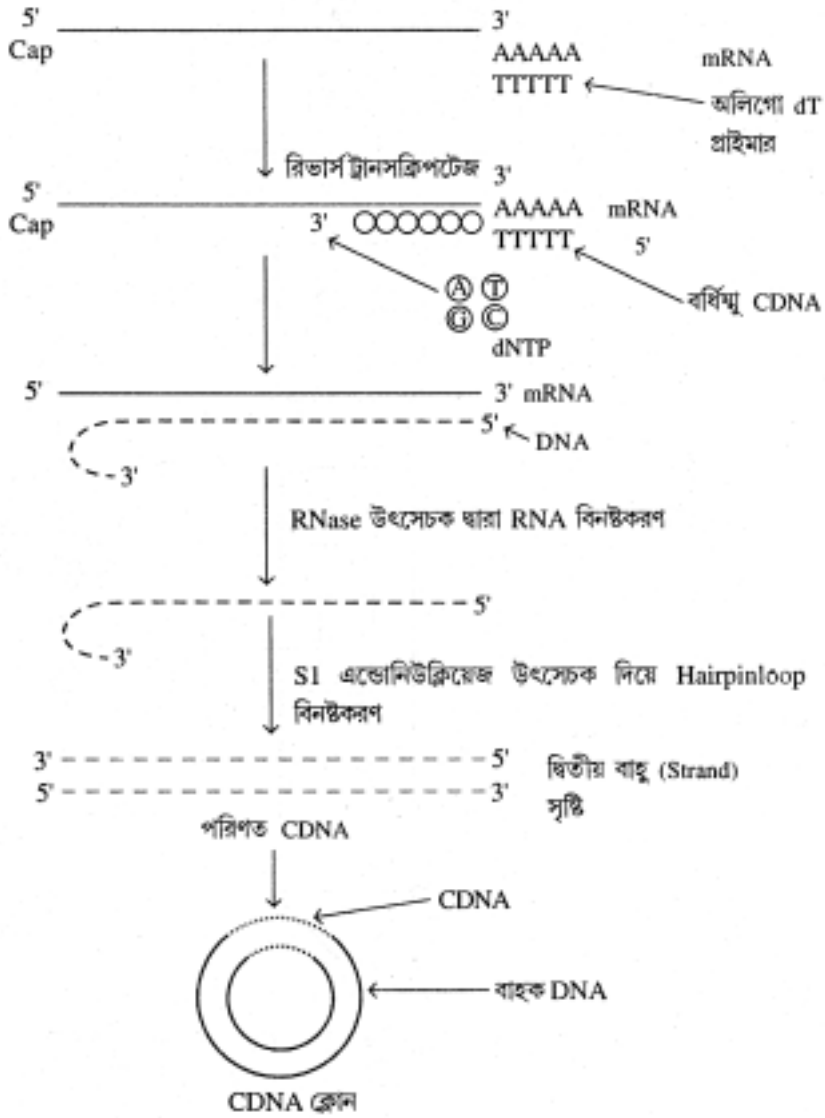
যেহেতু পরিণত mRNA-র পিছনে অনেকগুলি অ্যাডেনিন (Adenine) অনুবিশিষ্ট Poly A tail থাকে তাই কোশ থেকে mRNA পরিশুদ্ধিকরণ খুব সহজেই করা যায়। অ্যাডেনিনের পরিপূরক (complementary) অনেকগুলি থাইমিডিন (Thymidine) যুক্ত অ্যাফিনিটি (Affinity) ক্রোমাটোগ্রাফ (Chromatograph) স্তম্ভ (Column) ব্যবহার করলে mRNA তাতে সংযুক্ত হয়। তারপর A—T-র মধ্যে দুর্বল বন্ধনী ছিন্ন করলেই mRNA পাওয়া যায়।



চিত্র 17c: অলিগো স্তম্ভের dমাধ্যমে mRNA-র অ্যাফিনিটি পরিশুদ্ধিকরণ

17.3.2.3 ❑ CDNA প্রস্তুতি

এই Poly A পুচ্ছ (Tail) ব্যবহার করেই রিভার্স ট্রানসক্রিপটেস উৎসেচক দিয়ে RNA-র পরিপূরক (Complementary) DNA তৈরী করা হয়। mRNA-এর Poly A পুচ্ছ-এর সাথে অলিগো dT কে DNA তৈরীর প্রাইমার (Primer) হিসাবে পরিপূরকতা ধর্ম অনুযায়ী যুক্ত করা হয়। তারপর অন্যান্য নিউক্লিওটাইডগুলি (A, T, G এবং C) যুক্ত মাধ্যমে RT উৎসেচকের সাহায্যে cDNA সংশ্লেষ করানো হয়। পুরো পদ্ধতিটি নীচের চিত্রে (16D) দেখানো হল।



চিত্র 17D ঃ CDNA প্রস্তুতিকরণ

চিত্র 16c-এর থেকে দেখা যাচ্ছে RT ছাড়াও আরো কয়েকটি উৎসেচকের মধ্যে মধ্যে ব্যবহারের মাধ্যমে mRNA থেকে দ্বিতন্ত্রী cDNA তৈরী করা হয়।

এই cDNA কে প্রকাশক বাহক (Expression vector)-এ রিকমবিন্যাণ্ট বানিয়ে প্রয়োজনীয় প্রোটীন উৎপাদন করায় যেমন সুবিধা, তেমনই জীন লাইব্রেরি তৈরী করলে অপেক্ষাকৃতভাবে অনেক কম ক্লোন তৈরী হয়। জিনোমিক DNA লাইব্রেরির থেকে cDNA লাইব্রেরির উপযোগিতা কোথায় কোথায় বেশী তা নিচের তুলনামূলক বিশ্লেষণ অনুধাবন করলে বোঝা যাবে।

17.4 ❑ জিনোমিক লাইব্রেরি ও cDNA লাইব্রেরির তুলনা

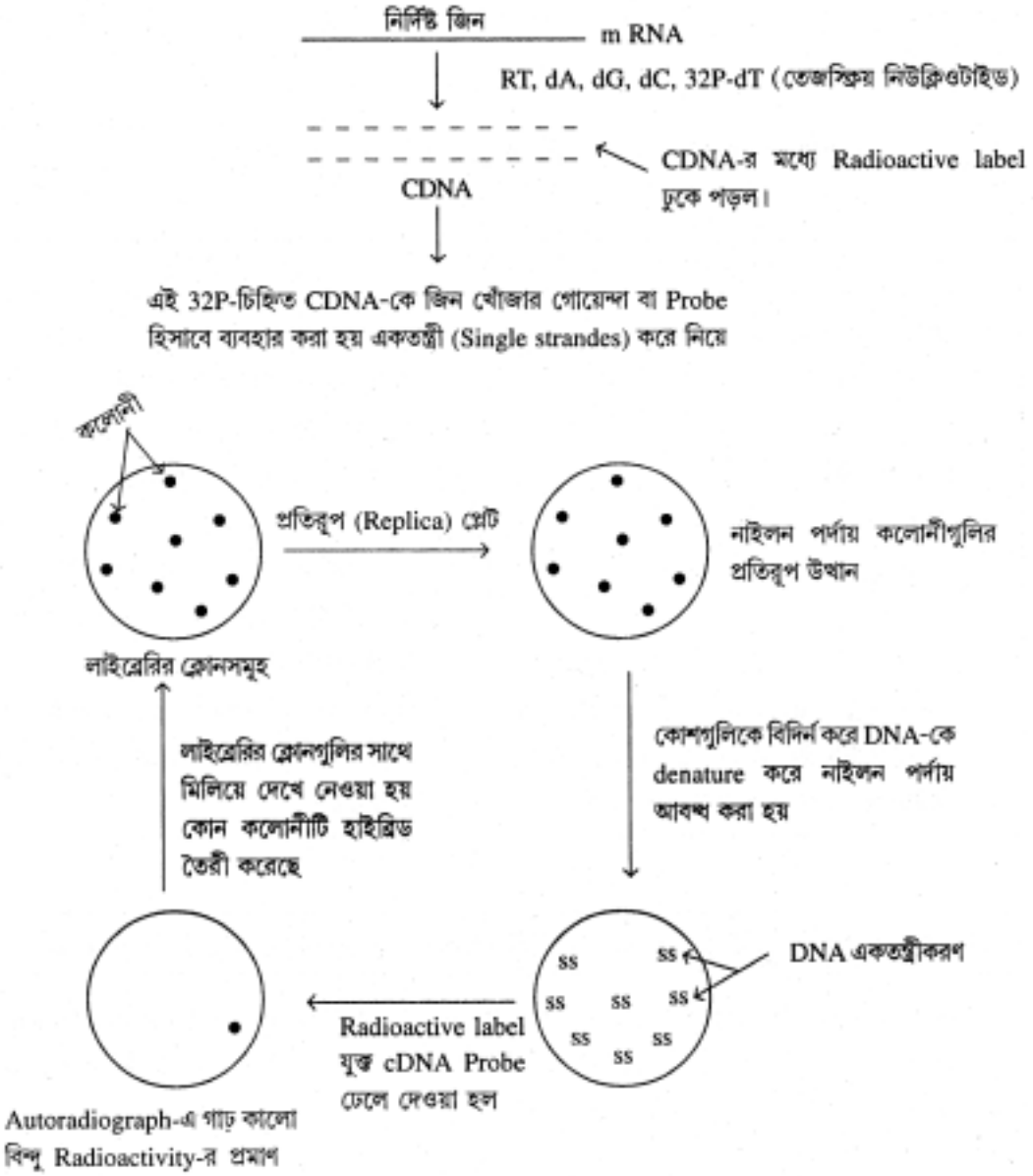
জিনোমিক লাইব্রেরি	cDNA লাইব্রেরি
1. প্রতিটি কোশ বা কলা থেকে একই ধরনের লাইব্রেরি তৈরী হয়।	1. জিন ও তার দ্বারা প্রকাশিত প্রোটিনের বিভিন্নতার জন্য cDNA লাইব্রেরি ও ভিন্ন ভিন্ন হয়।
2. জিনোমিক লাইব্রেরির ক্লোনগুলিতে একটি জিন, একাধিক জিন বা কোনও জীন নাও থাকতে পারে।	2. cDNA লাইব্রেরির ক্লোনগুলি শুধুমাত্র ট্রানসক্রিপশন সম্পন্ন হওয়া এক একটি জিনের দ্বারা সৃষ্ট।
3. ক্লোনগুলির মধ্যে নন-কোডিং ইনট্রন থাকবেই।	3. এই পদ্ধতির কাঁচামাল যেহেতু স্পাইসিং সম্পূর্ণ হওয়া ইনট্রনহীন mRNA তাই ক্লোনে ননকোডিং অংশ ঢোকার সম্ভাবনা নেই।
4. ক্লোন বাছাই (selection) করে তবে সেই ক্লোন থেকে প্রোটিন উৎপাদন বা ক্লোনের DNA নিয়ে মিউটেশন বা অন্যান্য কাজ করা সম্ভব।	4. ক্লোন বাছাই-এর প্রয়োজন নেই। সরাসরি cDNA টিকেই প্রোটীন উৎপাদন বা অন্যান্য কাজে ব্যবহার করা যায়।

17.5 ❑ লাইব্রেরি থেকে জীন খোঁজা (Screening of DNA Libraries)

যদিও কোনও লাইব্রেরি থেকে জিন খোঁজার সবচেয়ে সহজ পথ হল কমপ্লিমেন্টেশন স্ক্রিনিং (Complemeitation screening) কিন্তু নির্দিষ্ট জিন খুঁজে বার করার জন্য সঠিক পদ্ধতি হল কলোনী হাইব্রিডাইজেশন (Colony Hybridization) পদ্ধতি।

17.5.1 ❑ কলোনী হাইব্রিডাইজেশন পদ্ধতি

মজার ব্যাপার হল cDNA লাইব্রেরি তৈরী করে তার থেকে কোনও নির্দিষ্ট জিনকে খুঁজে বার করতে আবার cDNA কেই ব্যবহার করা যায়। কলোনী হাইব্রিডাইজেশন-এর পদ্ধতিটি নীচে চিত্রের মাধ্যমে দেখানো হল।



চিত্র ঃ 17E : কলোনী হাইব্রিডাইশেন দ্বারা লাইব্রেরি থেকে জিন খোঁজা।

এইভাবে, জীবকোশের সমগ্র জিনোম থেকে বা প্রোটীন প্রকাশকারী RNA থেকে জিনোমিক বা cDNA লাইব্রেরি বানিয়ে যে কোনও অজানা জিনকে চিহ্নিত করা যায়। চিহ্নিত করা জিন বিশিষ্ট ক্লোনটির থেকে প্রয়োজনীয় প্রোটীন ব্যাকটেরিয়া বা cancer কোশ সারিতে উৎপন্ন করানো যায় বা সেই জিনের DNA কে অন্যান্য প্রয়োজনীয় গবেষণা যেমন Sequencing, Mutagenesis প্রভৃতি কাজে লাগানো যায়।

17.6 ❑ জিনোমিক্স (Genomics)

টমাস রডরিক 1986 সালে সুপ্রজননবিদ্যা বা Genetics-এর যে শাখায় জিনোমের সম্পূর্ণ মানচিত্রকরণ (Mapping), নিউক্লিওটাইড সজ্জাবিন্যাস নির্ধারণ (Sequencing) বা জিনগুলির কার্য বিশ্লেষণ করা হয় তার নামকরণ করেন জিনোমিক্স।

এই শাখার গবেষকরা প্রাথমিকভাবে জিনের চিহ্নিতকরণ এবং তার অবস্থান অনুযায়ী তার বিশ্লেষণ শুরু করেন। একে বলা হয় Map Position Based closing বা Positional Cloning। এই পদ্ধতিটির জন্য জিনোমের সম্পূর্ণ মানচিত্র (Map) টি জানা প্রয়োজন। কোন জিনের অবস্থান কোথায় তাই বোঝার জন্য প্রধানতঃ ড্রসোফিলা মাছি, সি. এলিগানস্ নামক কৃমি এবং অ্যারাবিডোগসিস ব্যালিয়ানা নামক উদ্ভিদের উপর বিস্তৃতি গবেষণা চালানো হয়।

ক্রোমোসোমের মানচিত্র বা Chromosome Map তৈরী করতে যেমন ক্রসিং ওভারের অনুপাত বা Recombination Frequency-র উপর ভিত্তি করা হয়, আনবিক পর্যায়ে জেনেটিক ম্যাপ তৈরীতে তেমনই রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক ব্যবহার করে একটি পদ্ধতির সাহায্য নেওয়া হয়। এই পদ্ধতিটি নির্ধারণ করে প্রতিটি প্রজাতির সদস্যদের মধ্যে জিনোমে কতটা বৈষম্য আছে। এই জিনগত বৈষম্য যাকে Genetic Polymorphism বলে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দ্বারা সেইসব বৈষম্যসম্পন্ন জিনগুলিকে কাটা হলে উৎপন্ন খণ্ডগুলির দৈর্ঘ্যের তারতম্যে তা ধরা পড়ে। একেই বলা হয় রেষ্ট্রিকশন ফ্র্যাগমেন্ট লেনথ পলিমরফিস্ম (Restriction Fragment length Polymorphism) বা সংক্ষেপে RFLP।

17.7 ❑ DNA পলিমরফিসম

জিনোটাইপ নির্ধারণ করার প্রয়োজনে, DNA পরিমরফিসমকে চারটি শ্রেণিতে বিভক্ত করা যায়।

- একটিমাত্র নিউক্লিওটাইড বৈষম্য (Single Nucleotide Polymorphism বা SNP).
- মাইক্রোস্যাটেলাইট (Microsatellite), যাতে এক, দুই বা তিন বেস Sequence-এর 15-100 বার পুনরাবৃত্তি (Repeat) হয়েছে।
- মিনিস্যাটেলাইট (Minisatellite), যাতে 20-100 bp দৈর্ঘ্যের পুনরাবৃত্তি হাজার বার পর্যন্ত হতে পারে প্রতিটি লোকাস-এ (Locus).

● ডিলিশন (Deletion), ডুপ্লিকেশন (Duplication) বা ইনসারসন্ (Insertion), যা কোন পুনরাবৃত্তি হয়না এমন অঞ্চলে ঘটলে।

এইসব পলিমরফিসমের নিদর্শন সাধারণতঃ লিংকেজ ম্যাপিং, DNA ফিংগার প্রিন্টিং, পলিমায়েজ চেন রিঅ্যাকশন (Polymarase chain Reaction, PCR) ইত্যাদি দ্বারা বোঝা যেতে পারে। সবকটির ক্ষেত্রেই মিউটেশনকে দায়ী করা যায়। তবে সব কটির ক্ষেত্রে মিউটেশনের হার একইরকম নাও হতে পারে।

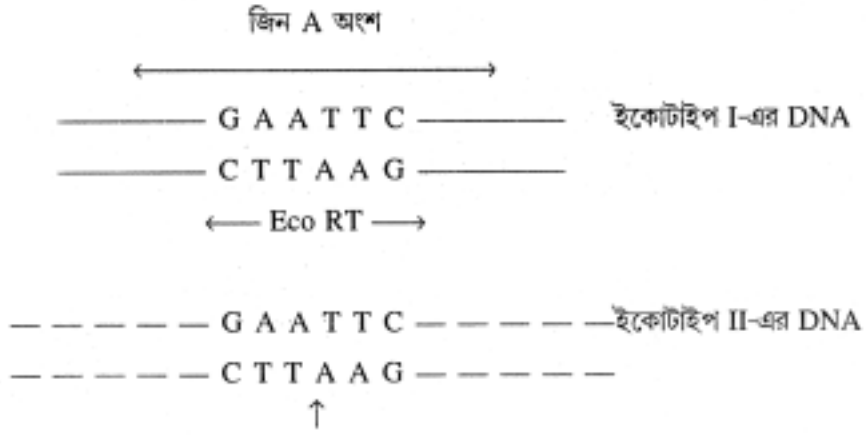
17.8 ❑ RFLP

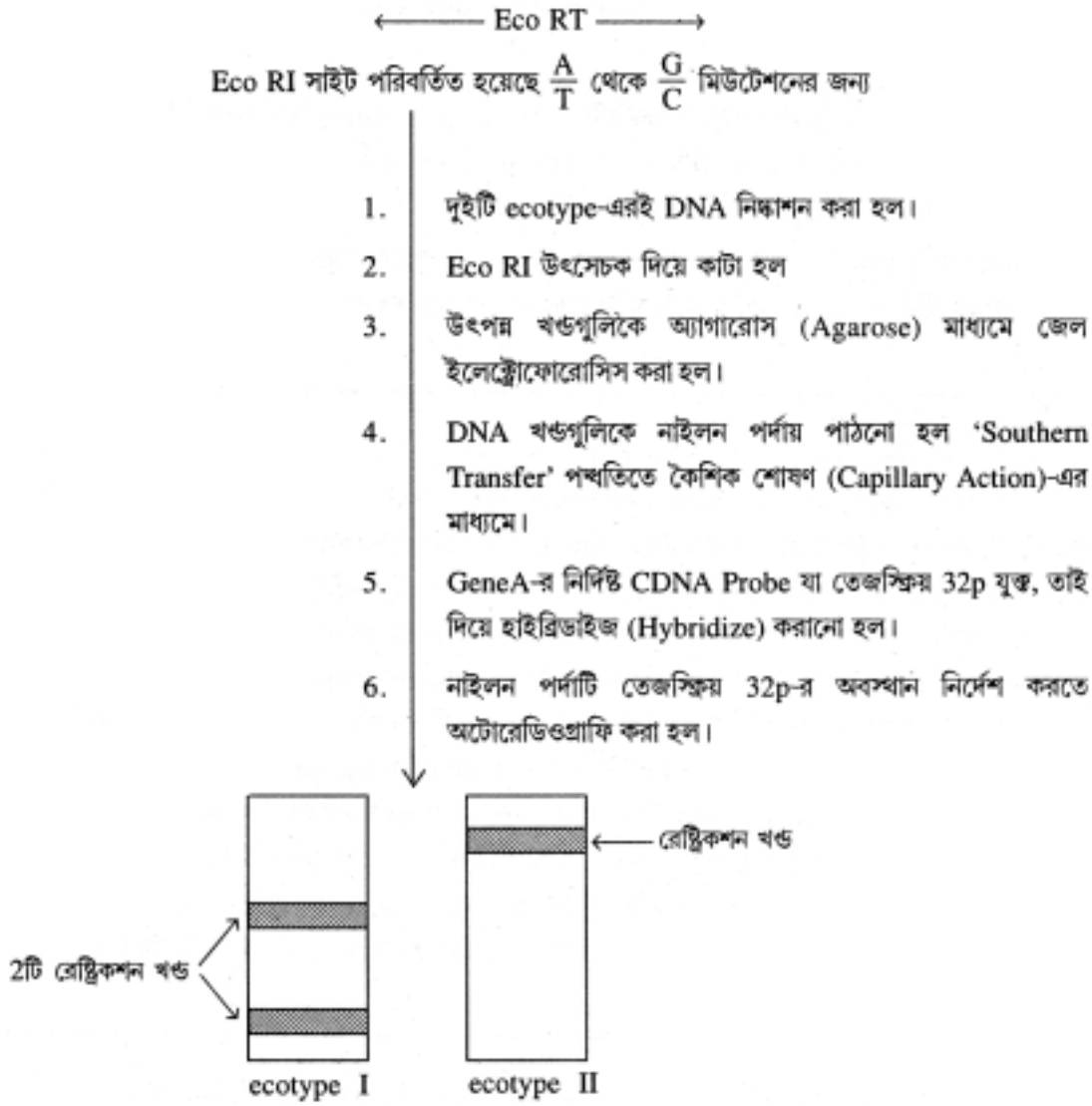
মিউটেশন যখন জিনের মধ্যে এত বিভিন্নতা নিয়ে আসে, সহজেই অনুমেয় যে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক-এর ক্রিয়াস্থল বা রেষ্ট্রিকশন সাইটেও এর প্রভাব গড়বে। অর্থাৎ মিউটেশন কোনও নতুন রেষ্ট্রিকশন সাইট যেমন তৈরী করে ফেলতে পারে, রেষ্ট্রিকশন সাইটকে অকেজোও করে দিতে পারে তার নির্দিষ্ট নিউক্লিওটাইড সজ্জার অদলবদল করিয়ে।

এইসব বদলে যাওয়া স্থানে সেই নির্দিষ্ট রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক-এর কার্যকারিতাও বদলে যাবে। অর্থাৎ মিউটেশন হয়নি এমন ব্যক্তির বা প্রজাতির কোনও একটি নমুনার ক্ষেত্রে রেষ্ট্রিকশন উৎসেচক দিয়ে DNAটি কাটার পর জেল ইলেক্টোফোরিসিস (Gel electrophorcors)-এ যে দৈর্ঘ্যের খণ্ড দেখা যাবে, মিউটেশন হওয়া DNA-তে তা নাও দেখা যেতে পারে। এইভাবে রেষ্ট্রিকশন খণ্ডের দৈর্ঘ্যের বহুরূপিতার জন্যই একে RFLP বলে।

কোনও ক্ষেত্রে RFLP কে জেলের মধ্যেই DNA কে তার নির্ধারিত ফ্লুরোসেন্ট রঙ এথিডিয়াম ব্রোমাইড (Ethidinm Bromide) দ্বারা রঞ্জিত করে অতিবেগুনী রশ্মি (Ultraviolet Ray)-র সাহায্যে দেখা যেতে পারে। আবার কখনও কখনও রেষ্ট্রিকশন খণ্ডের সংখ্যা অত্যধিক হলে cDNA Probe দ্বারা তেজস্ক্রিয়তার অটোরেডিওগ্রাফি নির্ভর হাইব্রিডাজেন (Southern blotting) করেও চিহ্নিত করা হয়।

উদাহরণ ঃ অ্যারাবিডোপসিস (Arabidoposis) উদ্ভিদের দুইটি আমেরিকান ইকোটাইপ (Ecotype)-এর মধ্যে জিনগত ভিন্নতা (variation) বোঝার জন্য একটি RFLP করা হয়। তার বিবরণ নীচে দেওয়া হল।





চিত্র ঃ 17E : একই প্রজাতির দুইটি ভিন্ন ইকোটাইপের জিনের ভিন্নতার RFLP প্রকাশ।

17.8.1 ❑ মানুষের রোগ নির্ণয়ে RFLP

জেনেটিক কাউন্সেলিং (Genetic conselling) বা পিতামাতার জিন বিশ্লেষণ করে সম্ভাব্য সন্তানের কোনও জিনগত রোগের সম্ভাবনা বিচার করা বা নিওনেটাল জেনেটিক স্ক্রিনিং (Neonatal Genetic Sercening) অর্থাৎ ভ্রূণ থেকে কিংবা শিশুর জন্মের পরও জিনগত রোগ বিশ্লেষণ করার জন্য RFLP ব্যবহার করা হয়। বৃহত্তর স্বার্থে কোনও পরিবারের বংশতালিকা বা Pedigree তৈরী করতেও RFLP ব্যবহৃত হয়।

মানুষের কয়েকটি জীনগত রোগের সম্বন্ধে নীচে আলোচনা করা হল সেখানে RFLP জেনেটিক কাউন্সেলিং-এ সহায়তা করে।

● নিওনেটাল স্ক্রিনিং-এর ক্ষেত্রে সিস্টিক ফ্রাইবোসিস (Cystic Fibrosis), হাংটিংটনস কোরীরা (Hungtitions chorea), ফিনাইলকিটো নিউরিয়া (Phenyl Ketoneunia) ইত্যাদি মিউটেশনঘটিত রোগ নির্ণয়ে RFLP কে নির্দেশক বা Marker হিসাবে ব্যবহার করা হয়।

● সিকল সেল অ্যানিমিয়া (Sickle cell anaemia), থ্যালাসেমিয়া (Thalassomia) ইত্যাদি রক্তের মিউটেশন ঘটিত রোগের জেনেটিক কাউন্সেলিং RFLP দ্বারা করা সম্ভব।

17.9 ❑ সারাংশ

জিনোম সংক্রান্ত গবেষকরা মানুষের ও সাথে সাথে অসংখ্য মানব সভ্যতার সাথে অঙ্গাঙ্গীভাবে যুক্ত জীবেদের জিনোম সংক্রান্ত গবেষণা এমন পর্যায়ে নিয়ে গেছেন যে আজ প্রায় কিছুই আর অজানা নয়। আজকের যুগকে তাই জিনোমিক্স উত্তর যুগ বা Postgenonic Era বলেও অভিহিত করছেন কেউ কেউ। চিকিৎসাশাস্ত্রে, উচ্চফলনশীল বীজ উৎপাদনে বা নানাবিধ মানব প্রয়োজনীয় বস্তুর সৃষ্টিতে এই গবেষণালব্ধ ফল আমাদের নিত্যনতুন বিস্ময়ের সম্মুখীন করে তুলছে। এই গবেষণার সূত্রপাত কিন্তু রিকমবিন্যান্ট DNA প্রযুক্তির ব্যবহারে জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরীর মাধ্যমে শুরু হয়। সুবিধার জন্য তার পরে তৈরী হয় cDNA লাইব্রেরি। এই বিপুল জীন তথ্য ভাণ্ডার আমাদের পরবর্তী গবেষণায় এতটাই সুবিধা করে দিয়েছে যে আজ যে কোনও জীবের জেনেটিক Sequence মানুষের ঘরে বসে Internet-এ যখন ইচ্ছা পেয়ে যেতে পারছে। সেই সাথে সাথে, বিভিন্নতা সমৃদ্ধ জিনোমের গঠন অনুধাবন করতে নানাধরনের নির্দেশক, যেমন SNP, RFLP-র ব্যবহার জীবজগতের আভ্যন্তরীণ গঠনের নানা অজানা তথ্য আমাদের দৃষ্টিগোচর হচ্ছে। এইভাবে এই Postgenomic Era-তে আমরা আশা করতে শুরু করেছি চিকিৎসাশাস্ত্রে যুগান্তকারী সাফল্য, যার মাধ্যমে ক্যানসার বা জিনগত বহু রোগ এর নিরাময় হয়ত অদূর ভবিষ্যতেই সম্ভব হয়ে উঠবে।

17.10 ❑ প্রশ্নাবলি

(A) শূন্যস্থান পূরণ করুন।

(1) একটি জীবকোশের নিউক্লিয়াসে অবস্থিত সমস্ত ক্রোমোজোমের সমষ্টি হল ————।

(2) একটি সম্পূর্ণ জিনোমিক লাইব্রেরির ক্লোন সংখ্যাকে বলে ————।

(3) উদ্ভিদকোশ থেকে জিনোমের DNA নিষ্কাশন করতে ———— ব্যবহার করা হয়।

(4) জিনোমিক DNA লাইব্রেরির বাহক হিসাবে সবচেয়ে উপযোগী হল ————।

(5) হাওয়ার্ড টেমিন ও ডেভিড বালটিমোর আবিষ্কৃত উৎসেচকটি হল ————।

(6) mRNA কে কোশ থেকে পরিশুদ্ধিকরণ করতে ———— স্তম্ভ ব্যবহার করা হয়।

(7) mRNA-র পরিপূরক DNA কে বলে ————।

(8) একটি মাত্র নিউক্লিওটাইড বহুরূপিতাকে বলে ————।

(9) সিষ্টিক ফ্রাইবোসিস রোগ নির্ণয়ে ———— ব্যবহার করা হয়।

(10) নিউক্লিওটাইড হাইব্রিডাইজেশন তেজস্ক্রিয় ———— ব্যবহার করা হয়।

(B) A স্তম্ভের সাথে B স্তম্ভের সামঞ্জস্য তৈরী করুন।

A	B
1. গিগাবেস	(1) 32p যুক্ত cDNA
2. জিনোম	(2) mRNA-র পরিমাণ বৃদ্ধি
3. ইন্ট্রন	(3) RFLP নির্দেশক
4. CTAB	(4) বিলিয়ন নিউক্লিওটাইড
5. RT	(5) একতন্ত্রী DNA কাটার উৎসেচক
6. কমপ্যাকটিন	(6) নন কোডিং নিউক্লিটাইড Sequence
7. SI এন্ডোনিউক্লিয়েজ	(7) cDNA তৈরীর প্রাইমার
8. অলিগো dT	(8) ক্রোমোজোমের সমষ্টি
9. প্রোব (Probe)	(9) উদ্ভিদকোশের জিনোম নিষ্কাশন
10. ইকোটাইপ জীন বৈষম্য	(10) RNA নির্ভয় DNA পলিমারেজ

(C) সংক্ষিপ্ত উত্তর দিন ঃ

(1) জিনোমিক লাইব্রেরি কি? এই লাইব্রেরির ক্লোনসংখ্যা কত হতে পারে তা কিভাবে অনুমান করা যেতে পারে?

(2) জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরী অসুবিধাগুলি কি কি?

(3) জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরী পদ্ধতি সংক্ষেপে লিখুন।

(4) জিনোমিক লাইব্রেরি তৈরী করার জন্য বাহক DNA নির্বাচনের সম্বন্ধে সংক্ষেপে লিখুন।

(5) cDNA লাইব্রেরি কি? রিভার্স ট্রানসক্রিপটেজের কাজ কি?

(6) cDNA তৈরীর জন্য mRNA কিভাবে প্রস্তুত করা হয়?

(7) cDNA তৈরীর পদ্ধতি সংক্ষেপে বর্ণনা করুন।

(8) জিনোমিক লাইব্রেরি ও cDNA লাইব্রেরির তুলনা করুন।

(9) কিভাবে কলোনী হাইব্রিডাইজেশন পদ্ধতিতে লাইব্রেরি থেকে নির্দিষ্ট জিন চিহ্নিত করা হয় চিত্রসহ লিখুন।

(10) DNA পলিমরফিসম কি? জিনোটাইপ নির্ধারন করার জন্য এদের কিভাবে শ্রেণিবিন্যাস করা হয়?

(11) RFLP বলতে কি বোঝেন? এর উপযোগীতা কি কি?

(12) চিত্রসহ RFLP-র দ্বারা একই প্রজাতির দুইটি জীবের জীনগত বৈষম্য কিভাবে নির্ধারণ করা যায় ব্যাখ্যা করুন।

17.11 ❑ উত্তর সংকেত

A : (1) জিনোম (2) জেনেটিক ইক্যুইভ্যালেন্ট (3) CTAB (4) BAC (5) রিভার্স ট্রানসক্রিপটেজ (6) অলিগো d-T (7) cDNA (8) SNP (9) RFLP (10) 32 p

B : 1. — (4) ; 2. — (8) ; 3. — (6) ; 4. — (9) ; 5. — (10) ; 6. — (2) ; 7. — (5) ; 8. — (7) ; 9. — (1) ; 10. — (3).

C : (1) 17.2.1. এবং 17.2.3. ; (2) 17.2.4 ; (3) 17.2.5. ; (4) 17.2.5.4. ; (5) 17.3.1. প্রতিলিপি 16(1) ; (6) 17.3.2.1. ও 17.3.2.2. ; (7) 17.3.2.3. ; (8) 17.4. ; (9) 17.5.1. ; (10) 16.7. ; (11) 17.8 এবং 17.8.1. ; (12) চিত্র 17E দ্রষ্টব্য।