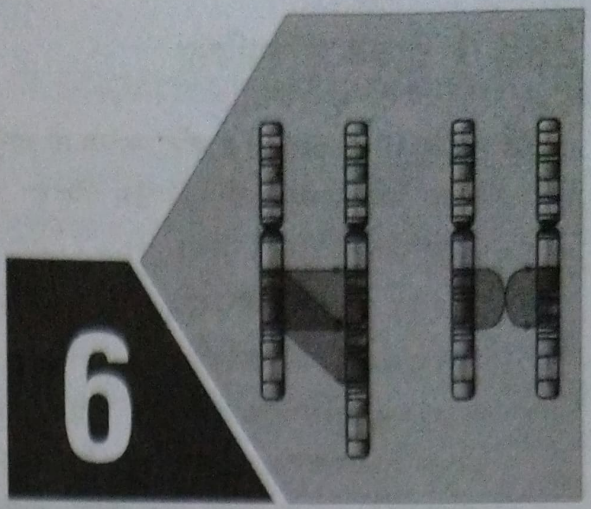
ক্রোমোজোমীয় স্বস্থানচ্যুতি বা ক্রোমোজোমাল অ্যাবারেশান

Chromosomal Aberration



Outline of The Chapter

- Chromosomal Aberration
  - Deletion
  - Duplication
  - Translocation
  - Inversion
- Numerical aberration.
  - Numerical Changes in Chromosome
  - Aneuploidy (Monosomy, Nullisomics,
  - Trisomic, Tetrasomic)
  - Polyploidy (Autopolyploidy and Allopolyploidy)
  - Importance of Polyploidy in Plant

সূচনা (Introduction)

ক্রোমোজোমাল স্থানচ্যুতি বা অ্যাবারেশন বলতে ক্রোমোজোমের সাথে অস্বাভাবিকভাবে কোনো ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকের সংযুক্তি, অস্বাভাবিক কোনো খণ্ডকের অপসারণ কিংবা ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকের প্রতিস্থাপনকে বোঝায়। এক্ষেত্রে ক্রোমোজোমাল সংখ্যার বা ক্রোমোজোমাল অঙ্গাসংস্থানিক গঠনের অস্বাভাবিকতা লক্ষ করা যায়। মাইটোসিস বা মিয়োসিস কোশ বিভাজনকালে কোনো প্রকার অনিয়মিত অবস্থার সৃষ্টি হলে ক্রোমোজোমীয় স্থানচ্যুতি বা অ্যাবারেশন লক্ষ করা যায়। সাধারণত গঠনগত এবং সংখ্যাগত এই দুই ধরনের ক্রোমোজোমীয় স্থানচ্যুতি দেখা যায়।

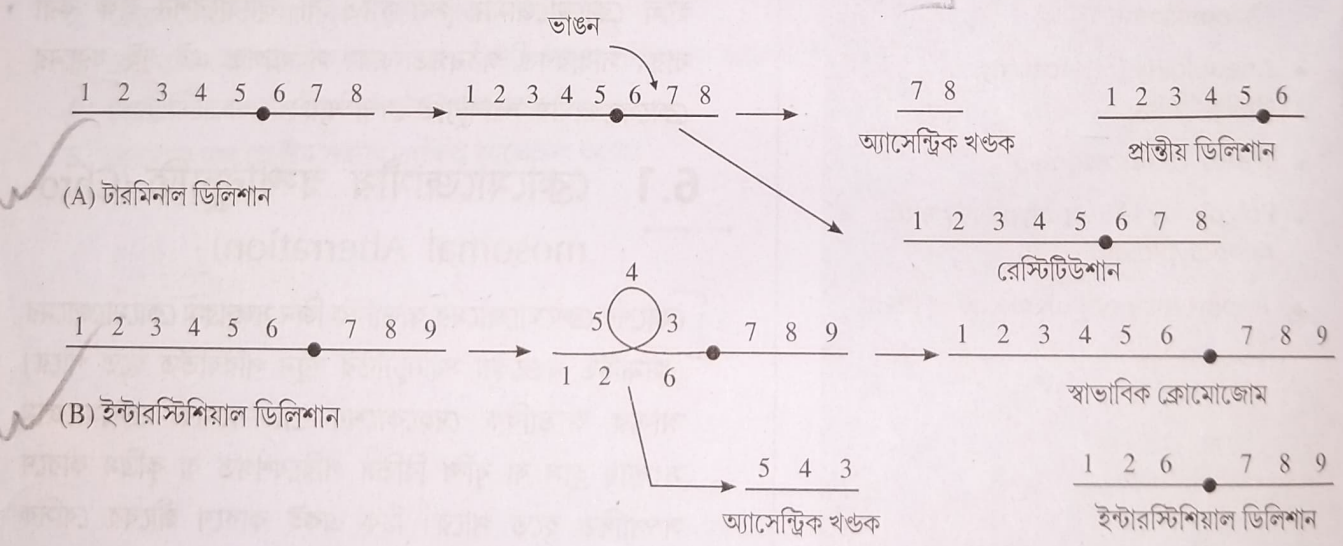
6.1 ক্রোমোজোমীয় স্বস্থানচ্যুতি (Chromosomal Aberration)

কোশের ক্রোমোজোমের স্বাভাবিক জিন সজ্জাক্রম ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিড খণ্ডকের স্থানচ্যুতির দরুন পরিবর্তিত হতে পারে। আবার স্বাভাবিক দেহকোশের 2n সংখ্যক ক্রোমোজোম সংখ্যার হ্রাস বা বৃদ্ধি বিভিন্ন পরিবেশগত বা কৃত্রিম কারণে সম্পাদিত হতে পারে। ঠিক একই কারণে জীবের বেসিক সেটের (X) ক্রোমোজোম সংখ্যারও নানা পরিবর্তন ঘটতে পারে। ক্রোমোজোমের সংখ্যা ও গঠনের এইরূপ অস্বাভাবিক পরিবর্তনকে **ক্রোমোজোমীয় স্বস্থানচ্যুতি** বা **Chromosomal aberration** বলে। ক্রোমোজোমাল অ্যাবারেশান দু-প্রকারের হতে পারে যথাক্রমে—(a) **গঠনগত স্বস্থানচ্যুতি** (Structural aberration) এবং (b) **সংখ্যাগত অস্বাভাবিক বিচ্যুতি** বা নিউমেরিক্যাল অ্যাবারেশান (Numerical aberration)।

সংজ্ঞা (Definition) ঃ *পরিবেশগত বা প্রাকৃতিক ও কৃত্রিম কারণে ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিডের স্বস্থানচ্যুতির ফলে জিন বিন্যাসের পরিবর্তন কিংবা ক্রোমোজোম সংখ্যার অস্বাভাবিক পরিবর্তনকে ক্রোমোজোমাল অ্যাবারেশান বলে।*

(a) গঠনগত স্বস্থানচ্যুতি (Structural Aberration) ঃ সকল রকমের গঠনগত স্বস্থানচ্যুতি ক্রোমোজোম ভাঙনের ফলে সম্পন্ন হয়। ক্রোমোজোমের এই ভাঙন স্বতঃস্ফূর্তভাবে কীভাবে সম্পন্ন হয় সে সম্পর্কে নির্দিষ্ট করে কিছু বলা না গেলেও কৃত্রিমভাবে এই ভাঙন X-রশ্মি, গামা রশ্মি, α-রশ্মি, β-রশ্মি, বিভিন্ন রাসায়নিক উপাদান যেমন—ইথাইল মিথেন সালফোনেট, ফাঙ্গিসাইড, ইনসেক্টিসাইড প্রভৃতি প্রয়োগের দ্বারা সম্পন্ন করা যেতে পারে। গঠনগত স্বস্থানচ্যুতি চার প্রকারের হতে পারে। যথাক্রমে—(1) ডিলিশান (deletion), (2) ডুপ্লিকেশান (duplication), (3) ট্রান্সলোকেশান (Translocation), (4) ইনভারসান (Inversion)।

1 ডিলিশান (Deletion) ঃ ক্রোমোজোমের কোনো অঞ্চল ক্রোমোজোম থেকে অপসারিত হলে সেই ঘটনাকে ডিলিশান বা ডেফিসিয়েন্সি বলে। যেহেতু ক্রোমোজোমের ভগ্নপ্রান্তে কোনো টেলোমিয়ার থাকে না, তাই ভগ্ন ক্রোমোজোমগুলি অস্থায়ী অর্থাৎ অন্য ভগ্ন প্রান্তের সাথে সংযুক্ত হতে পারে ও স্বাভাবিক পূর্বাবস্থায় ফিরে আসতে পারে। এই ঘটনাকে রেস্টিটিউশান (Restitution) বলে। যদি ভগ্ন প্রান্ত নিরাময় হয়ে যায় তাহলে সেই খণ্ডক স্বাধীনভাবে পৃথক যে খণ্ডক গঠন করে তাকে অ্যাসেন্ট্রিক ফ্র্যাগমেন্ট (acentric fragment) বলা হয়। এই খণ্ডকে সেন্ট্রোমিয়ার অনুপস্থিত। পরিশেষে এক্সোনিউক্লিয়েজ উৎসেচকের সহায়তায় অ্যাসেন্ট্রিক খণ্ডকটি ধ্বংসপ্রাপ্ত হয়। ডিলিশান দু প্রকারের যথাক্রমে—(1) টারমিনাল ডিলিশান (Terminal deletion) এবং (2) ইন্টারস্টিশিয়াল ডিলিশান (Interstitial deletion) বা ইন্টারক্যালারি ডিলিশান। প্রথম ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের শীর্ষ প্রান্ত থেকে খণ্ডক অপসারিত হয়। আর দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের অন্তর্বর্তী খণ্ডকের অপসারণ ঘটে।



চিত্র 6.1 ঃ বিভিন্ন প্রকার ডিলিশান

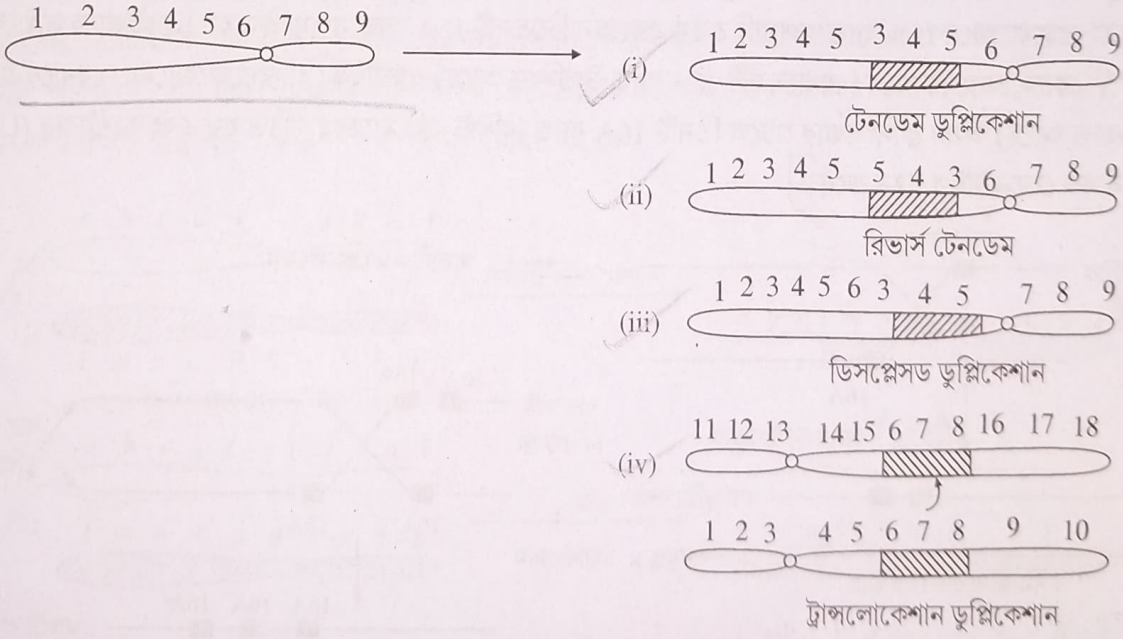
জিনগত প্রভাব (Genetic Effects) ঃ ডিলিশানের ফলে শারীরবৃত্তীয় এবং অঙ্গসংস্থানিক উভয় প্রকারের প্রভাব লক্ষ করা যায়। ডিলিশান হেটারোজাইগোটের ক্ষেত্রে উপস্থিত হোমোলগাস ক্রোমোজোমের একটিতে ডিলিশান থাকে এবং অপরটি স্বাভাবিক প্রকৃতির হয়। ডিলিশান হেটারোজাইগোটের এই বৈশিষ্ট্যকে **হেমিজাইগাস** (hemizygous) বলে। এইভাবে ডিলিটেড (deleted) ক্রোমোজোমের ডিলিশান খণ্ডকের সমান্তরালে উপস্থিত স্বাভাবিক ক্রোমোজোম খণ্ডকে কোনো প্রচ্ছন্ন অ্যালিল বা জিন থাকলে সেগুলি প্রচ্ছন্ন হওয়া সত্ত্বেও প্রকট অ্যালিল হিসেবে বিকশিত হয়। এই ঘটনাকে **সিউডোডমিনেন্স** (Pseudodominance) বলে।

- বেশিরভাগ ডিলিশান প্রচ্ছন্ন মারাত্মক (recessive lethal) প্রভাব বিস্তার করে। তবে ক্রোমোজোমের বৃহত্তর অংশ বা খণ্ডকের ডিলিশান ঘটলে তা প্রকট মারাত্মক (dominant lethal) হিসেবে কাজ করে।
- ডিলিশান হেটারোজাইগোটের অন্তর্গত একটি ক্রোমোজোম কপিতে যেহেতু ডিলিশান থাকে তাই ডিলিশান অঞ্চলে ক্রসিং ওভার সম্পূর্ণ অনুপস্থিত।
- ডিলিশান বিভিন্ন ক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য ফেনোটাইপ সৃষ্টি করে যেমন—*Drosophila*-র ক্ষেত্রে বিডেড (Beaded), ডেল্টা (Delta), গুল (Gull) প্রভৃতি ফেনোটাইপগত বৈশিষ্ট্য ডিলিশানের প্রভাবে লক্ষ করা যায়।

কোশতাত্ত্বিক নির্ধারণ (Cytological Detection) ঃ ক্রোমোজোমের বৃহত্তর খণ্ডকে ডিলিশান ঘটলে তা সহজে নির্ধারণ করা সম্ভব। ইন্টারস্টিশিয়াল ডিলিশানের ক্ষেত্রে প্যাকাইটিন দশায় স্বাভাবিক ক্রোমোজোমের অযুগ্ম (unpaired) খণ্ডক যার সমসংস্থ খণ্ডক ডিলিটেড ক্রোমোজোম থেকে বিচ্যুত হয়েছে, সেটি একটি নির্দিষ্ট আকৃতি বিশিষ্ট লুপ (loop) গঠন করে। প্রান্তীয় ডিলিশানের ক্ষেত্রে ডিলিটেড ক্রোমোজোম খণ্ডকের সমসংস্থ স্বাভাবিক ক্রোমোজোমে উপস্থিত খণ্ডকটি জোড়বিহীন অবস্থায় ক্রোমোজোমের প্রান্তে উপস্থিত থাকে। উপরে বর্ণিত গঠনগুলি Creighton এবং Mc Clintock ভুট্টা উদ্ভিদের ক্ষেত্রে প্রথম পর্যবেক্ষণ করেন।

মানুষের ক্ষেত্রেও ডিলিশানের ঘটনা প্রমাণিত হয়েছে। প্রতিটি ক্ষেত্রে নির্দিষ্ট ফেনোটাইপ প্রকাশিত হয়। মানুষের ক্ষেত্রে ক্রোমোজোম 22-এ ডিলিশান ঘটলে যে ক্রোমোজোম উৎপাদিত হয় তাকে **ফিলাডেলফিয়া 22** বলে। এই ক্রোমোজোম মায়েলোজেনোস লিউকেমিয়া (myelogenous leukaemia) রোগের সঙ্গে সম্পর্কিত। ক্রোমোজোম-5 এ একইভাবে সৃষ্ট ডিলিশান যে রোগ সৃষ্টি করে তাকে **'Cri-du-chat'** বলে। এই রোগে আক্রান্ত শিশু বিড়ালের মতো আওয়াজ করতে থাকে।

2 ডুপ্লিকেশান (Duplication) ঃ কোনো ক্রোমোজোমে একটি নির্দিষ্ট খণ্ডক অতিরিক্তভাবে অবস্থান করলে যে অস্বাভাবিক পরিবর্তন ঘটে তাকে ডুপ্লিকেশান বলে। ডুপ্লিকেশান চার প্রকারের—



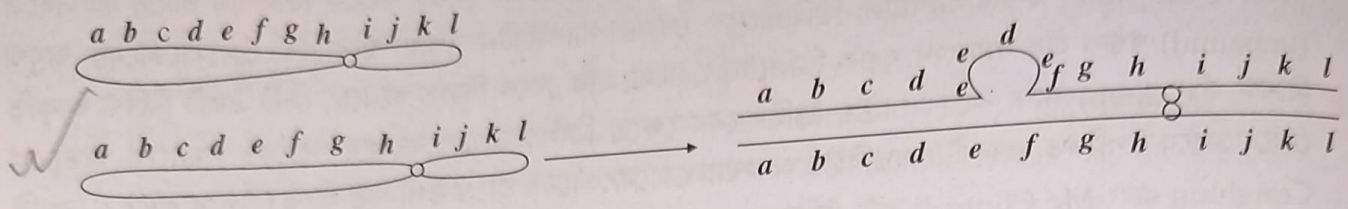
চিত্র 6.2 ঃ বিভিন্ন প্রকার ট্রান্সলোকেশান

(a) টেনডেম ডুপ্লিকেশান (Tandem Duplication) ঃ যখন সমপ্রকৃতির অতিরিক্ত ক্রোমোজোম খণ্ডকটি পরস্পর পাশাপাশি অবস্থান করে তাকে টেনডেম ডুপ্লিকেশান বলে।

(b) রিভার্স টেনডেম ডুপ্লিকেশান (Reverse Tandem Duplication) ঃ সমপ্রকৃতির অতিরিক্ত ক্রোমোজোম খণ্ডকটি পাশাপাশি কিন্তু ওলটানোক্রমে অবস্থান করলে তাকে রিভার্স টেনডেম ডুপ্লিকেশান বলে।

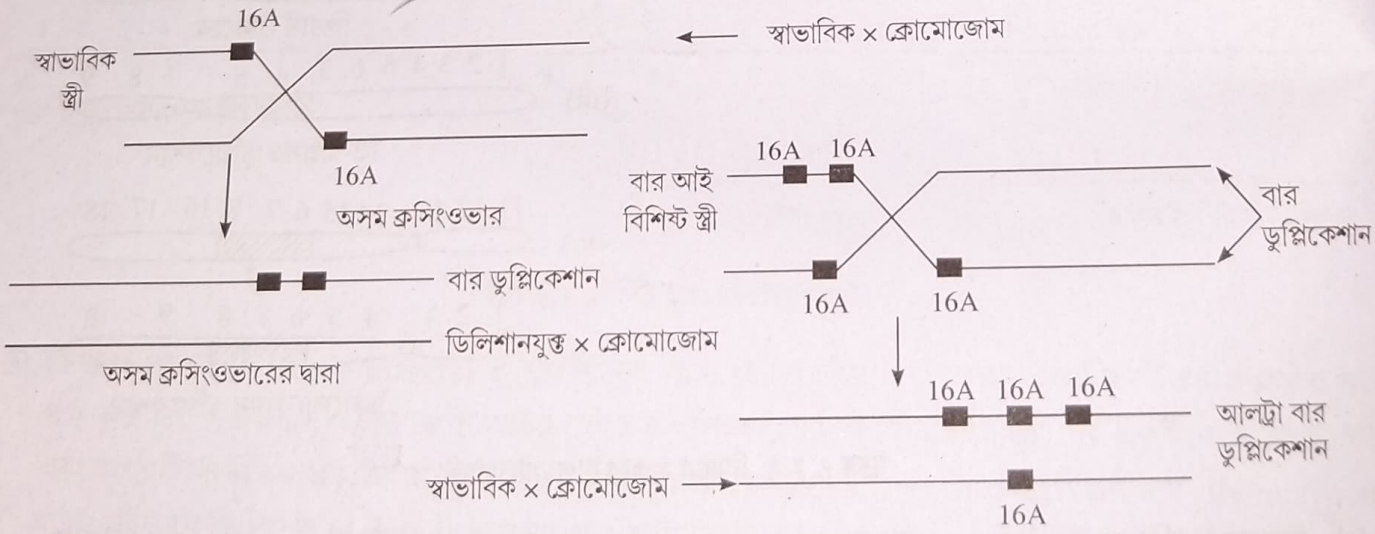
(c) ডিসপ্লেসড্ ডুপ্লিকেশান (Displaced Duplication) ঃ যখন সমপ্রকৃতির ক্রোমোজোমীয় খণ্ডক অতিরিক্ত সংখ্যায় পাশাপাশি অবস্থান না করে একই ক্রোমোজোমের দূরবর্তী অঞ্চলে অবস্থান করলে তাকে ডিসপ্লেসড ডুপ্লিকেশান বলে।

(d) ট্রান্সলোকেশান ডুপ্লিকেশান (Translocation Duplication) ঃ যখন ক্রোমোজোমের সমপ্রকৃতির অতিরিক্ত খণ্ডক ওই ক্রোমোজোমে অবস্থান না করে অন্য কোনো অসমসংস্থ ক্রোমোজোমে স্থানান্তরিত হয় তখন সেই ডুপ্লিকেশানকে ট্রান্সলোকেশান ডুপ্লিকেশান বলে।



চিত্র 6.3 ঃ ডুপ্লিকেশান হেটারোজাইগোটের প্যাকাইটিন দশার গঠনচিত্র

▣ ডুপ্লিকেশানের উৎপত্তি (Origin of Duplication) ঃ দুটি সমসংস্থ ক্রোমোজোমের একটিতে খণ্ডীভবন ঘটে যখন খণ্ডকটি সমসংস্থ ক্রোমোজোমে স্থানান্তরিত হয় এবং ওই ক্রোমোজোমে সংযুক্ত হয় তখনই ডুপ্লিকেশানের সৃষ্টি হয়। যে ক্রোমোজোম থেকে খণ্ডকটি অপসারিত হয় সেখানে ডিলিশান ঘটে আর যে ক্রোমোজোমে খণ্ডকটি স্থানান্তরিত হয় সেখানে ডুপ্লিকেশান ঘটে। অসম ক্রসিং ওভারের দ্বারাও ডুপ্লিকেশান ঘটতে পারে। উদাহরণস্বরূপ বলা যেতে পারে, স্ত্রী *Drosophila*-র দুটি স্বাভাবিক 'X' ক্রোমোজোমের মধ্যে অসম ক্রসিংওভারের ফলে ওই ক্রোমোজোমের 16A ব্যান্ডের ডুপ্লিকেশান ঘটে, যা বার আই (Bar eye) নামক ফেনোটাইপিক বৈশিষ্ট্যের জন্য দায়ী। এই ক্রসিংওভারের ফলে একটি 'X' ক্রোমোজোমে 16A ব্যান্ড অপসারিত হয় এবং অন্যটিতে দুটি 16A ব্যান্ড সংযোজিত হয়। একইভাবে ডুপ্লিকেশান ঘটা 'X' ক্রোমোজোমের সাথে (যেখানে দুটি 16A ব্যান্ড উপস্থিত আছে) স্বাভাবিক 'X' ক্রোমোজোমের (যেখানে একটি 16A ব্যান্ড আছে) অসম ক্রসিংওভার ঘটলে তিনটি 16A ব্যান্ড বিশিষ্ট ক্রোমোজোম গঠিত হয় এবং আল্ট্রাবার (Ultrabar) নামক ফেনোটাইপ গঠন করে।



চিত্র 6.4 ঃ অসম ক্রসিংওভারের দ্বারা *Drosophila*-র বার আই ডুপ্লিকেশান (X ক্রোমোজোমের 16A ব্যান্ড)

▣ কোশতাত্ত্বিক আচরণ (Cytological Behaviour) ঃ ক্রোমোজোমের বৃহত্তর খণ্ডকের ডুপ্লিকেশান সহজে শনাক্ত করা যায়। ডুপ্লিকেশান হেটারোজাইগোটের ডুপ্লিকেশান ঘটা খণ্ডকটি প্যাকাইটিন দশায় লুপের ন্যায় আকৃতি ধারণ

করে। এ ছাড়া ক্রোমোজোমের ব্যান্ডিং প্যাটার্ন (Banding pattern) লক্ষ করে অর্থাৎ কোনো ব্যান্ডের ক্রোমোজোমের গায়ে দু-বার অবস্থান দেখে ডুপ্লিকেশান ঘটেছে কি না তা ধরা সম্ভব। কোনো ক্ষুদ্রতর খণ্ডকের ডুপ্লিকেশান ঘটলেও এই পদ্ধতির সাহায্যে তা বোঝা সম্ভব।

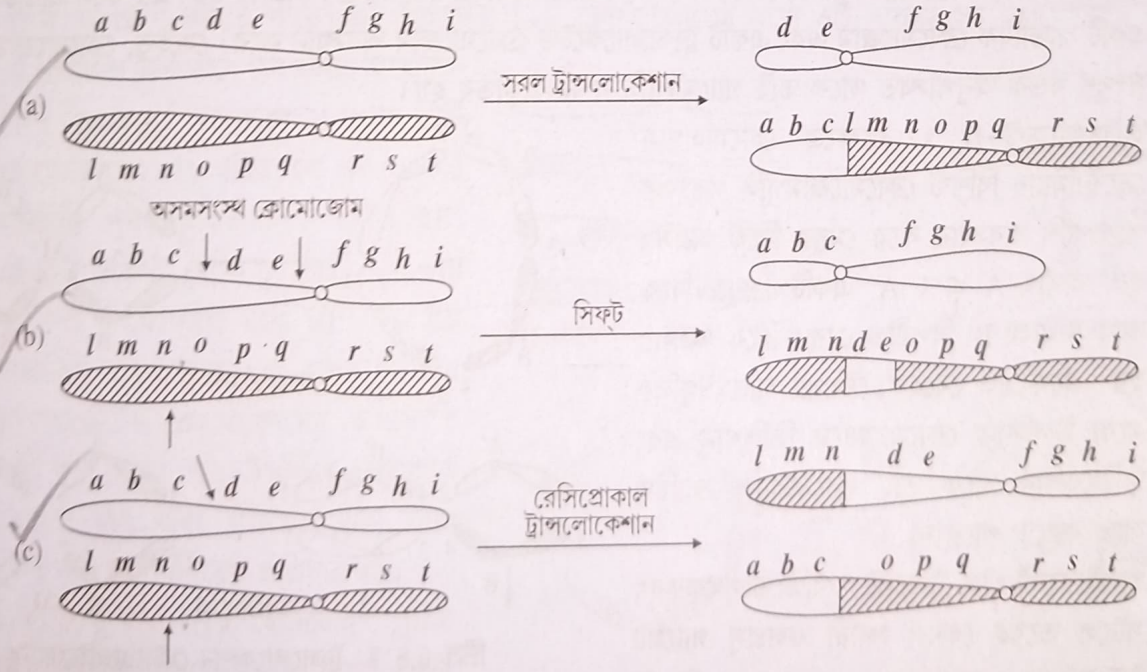
জিনগত প্রভাব (Genetic Effects) ঃ ডিলিশানের মতো ডুপ্লিকেশানের ক্ষেত্রে কোনো ব্যাপক প্রভাব লক্ষ করা না গেলেও কোনো কোনো ক্ষেত্রে এর প্রভাবে ফেনোটাইপগত পরিবর্তন ঘটে। *Drosophila*-র ক্ষেত্রে বার আই (Bar eye) বৈশিষ্ট্যটি ডুপ্লিকেশানের ফলে সংঘটিত হয়। ডুপ্লিকেট জিন, কমপ্লিমেন্টারি জিন, পলিজিন বা মাল্টিপল্ ফ্যাক্টর প্রভৃতি ডুপ্লিকেশানের ফলে উৎপত্তি হয়েছে বলে মনে করা হয়।

3 ট্রান্সলোকেশান (Translocation) ঃ কোনো ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকের অসমসংস্থ ক্রোমোজোমের মধ্যে স্থানান্তরকে ট্রান্সলোকেশান বলে। ট্রান্সলোকেশানের প্রকারভেদগুলি হল নিম্নরূপ—

(a) **সাধারণ ট্রান্সলোকেশান (Simple Translocation) ঃ** এই ধরনের ট্রান্সলোকেশানের ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের প্রান্তীয় খণ্ডক অসমসংস্থ ক্রোমোজোমের প্রান্তে সংযুক্ত হয়। যেহেতু, ক্রোমোজোমের প্রান্তে টেলোমিয়ার থাকে এবং এই টেলোমিয়ার ক্রোমোজোম প্রান্তকে অন্য কোনো ক্রোমোজোম কিংবা ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকের সঙ্গে সংযুক্ত হতে বাধাদান করে তাই বলা হয় সাধারণ ট্রান্সলোকেশান একটি বিরল ঘটনা।

(b) **সিফ্‌ট (Shift) ঃ** ক্রোমোজোমের অভ্যন্তরীণ কোনো খণ্ডক ক্রোমোজোম থেকে বিচ্ছিন্ন হয়ে অসমসংস্থ ক্রোমোজোমের অভ্যন্তরে যখন নিহিত হয় সেই ট্রান্সলোকেশানকে সিফ্‌ট বলে। *Drosophila, Neurospora* প্রভৃতির প্রাকৃতিক পপুলেশানের মধ্যে এই ধরনের ট্রান্সলোকেশান লক্ষ করা যায়। এই ট্রান্সলোকেশান ঘটার জন্য তিনটি ভাঙনের প্রয়োজন হয়। যে ক্রোমোজোম থেকে ক্রোমোজোমীয় খণ্ডক বিচ্যুত হবে সেখানে দুটি স্থানে এবং যে অসমসংস্থ ক্রোমোজোমে ওই খণ্ডক অন্তর্ভুক্ত হবে সেই ক্রোমোজোমের একটি স্থানে ভাঙন প্রয়োজন।

(c) **রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান (Reciprocal Translocation) ঃ** দুটি অসমসংস্থ ক্রোমোজোমের ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকের বিনিময়কে সাধারণভাবে রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান বলে। এই ধরনের ট্রান্সলোকেশান প্রক্রিয়া সবচেয়ে বেশি পরিমাণে দেখা যায়। এক্ষেত্রে অসমসংস্থ ক্রোমোজোম দ্বয়ের প্রত্যেকটিতে এক একটি ভাঙনের সৃষ্টি হয় এবং উৎপাদিত দুটি ভগ্ন খণ্ডক পারস্পরিক স্থান বিনিময় করে।



চিত্র 6.5 ঃ বিভিন্ন প্রকার ট্রান্সলোকেশানের চিত্র

ট্রান্সলোকেশানের জিনগত প্রভাব (Genetic Effect of Translocation) ঃ বিজ্ঞানী Bridges 1923 খ্রিস্টাব্দে প্রথম ট্রান্সলোকেশানের ঘটনা *Drosophila*-র ক্ষেত্রে আবিষ্কার করেন। একটি স্বাভাবিক ক্রোমোজোমের সাথে সিফট প্রকৃতির ট্রান্সলোকেশান ঘটে যাওয়া ক্রোমেজোমের লিংকেজ ম্যাপ তুলনা করতে গিয়ে এই ঘটনার সত্যতা প্রমাণিত হয়। তবে সাধারণভাবে বলা যায় ট্রান্সলোকেশানের ফলে ক্রোমোজোমের স্বাভাবিক লিংকেজ ম্যাপ প্রভাবিত হয়। যে ক্রোমোজোমীয় খণ্ডকটি অসমসংস্থ ক্রোমোজোমে অন্তর্ভুক্ত হল সেই খণ্ডক নিহিত জিনের সঙ্গে ওই ক্রোমোজোম নিহিত জিনের লিংকেজ স্থাপিত হয়।

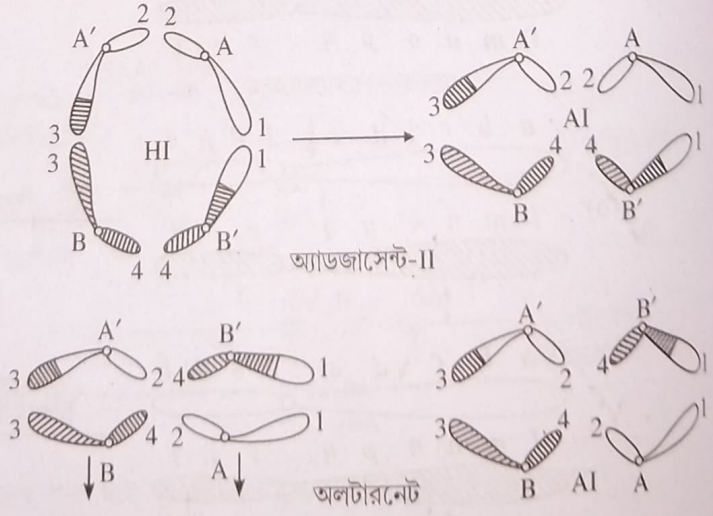
কোশতাত্ত্বিক আচরণ (Cytological Behaviour) ঃ রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশানের কোশতত্ত্ব (Cytology) সবচেয়ে বেশি পরিমাণে অনুসন্ধান করা হয়েছে। কোনো জীব কোশে রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান প্রক্রিয়ায় উদ্ভূত ক্রোমোজোম উপস্থিত থাকলে তা ট্রান্সলোকেশান হোমোজাইগোট (translocation homozygote) কিংবা ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট (translocation heterozygote) গঠন করতে পারে। ট্রান্সলোকেশান হোমোজাইগোটের (translocation homozygote) ক্ষেত্রে কোশে যে দুটি ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোম থাকে তাদের জিন সজ্জাক্রম একই প্রকৃতির এবং মিয়োসিস প্রক্রিয়ায় তারা স্বাভাবিক বাইভোলেন্ট গঠন করে। এদের মিয়োসিস প্রক্রিয়ার সময় উল্লেখযোগ্য কোনো পরিবর্তন লক্ষ করা না গেলেও ক্রোমোজোমের অঙ্গাসংস্থানিক গঠনের পরিবর্তন লক্ষ করা যেতে পারে।

কোনো কোশের মধ্যে একজোড়া স্বাভাবিক অসমসংস্থ ক্রোমোজোম এবং একজোড়া ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোম থাকলে সেই ধরনের হেটারোজাইগোটকে **ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট** (translocation heterozygote) বলে। দুটি সমসংস্থ ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারকে হোমোলগাস সেন্ট্রোমিয়ার বলে আর দুটি অসমসংস্থ ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারকে **হেটারোলগাস সেন্ট্রোমিয়ার** বলে। ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের ক্ষেত্রে স্বাভাবিক ক্রোমোজোম এবং সমসংস্থ ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোমের সেন্ট্রোমিয়ারদ্বয়কে পরস্পরের **হোমোলগাস সেন্ট্রোমিয়ার** বলা হয়। মিয়োসিস কোশ বিভাজনের প্যাকিটিন দশায় ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট ('+')-এর ন্যায় আকার ধারণ করে। অ্যানাফেজ দশায় ক্রোমোজোমের বিপরীত মেরুতে স্থানান্তর তিনভাবে সম্পন্ন হতে পারে। যথাক্রমে—(a) অ্যাডজাসেন্ট-I (Adjacent-I), (b) অ্যাডজাসেন্ট-II (Adjacent-II) এবং (c) অলটারনেট (Alternate)।

(a) **অ্যাডজাসেন্ট-I ঃ** দুটি অসমসংস্থ সেন্ট্রোমিয়ার এক্ষেত্রে পাশাপাশি অবস্থান করে এবং একই মেরুর দিকে অগ্রসর হয় এবং একই সময়ে বাকি দুটি অসমসংস্থ সেন্ট্রোমিয়ার বিপরীত মেরুর দিকে অগ্রসর হয়। এর ফলে প্রতিটি মেরুতে একটি স্বাভাবিক ক্রোমোজোম এবং একটি ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোম অবস্থান করে। যেহেতু, ক্রোমোজোমগুলিতে সম্পূর্ণ খণ্ডক অনুপস্থিত থাকে তাই গ্যামেটগুলি বন্ধ্যা প্রকৃতির হয়।

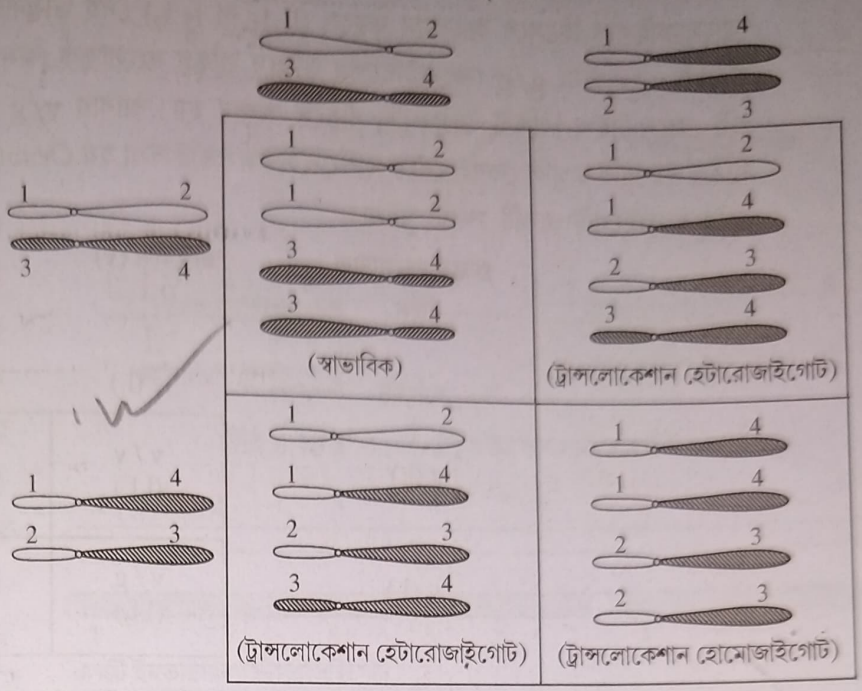
(b) **অ্যাডজাসেন্ট-II ঃ** এক্ষেত্রে হোমোলগাস সেন্ট্রোমিয়ার বিশিষ্ট ক্রোমোজোমগুলি পরস্পর পাশাপাশি অবস্থান করে মেরুর দিকে অগ্রসর হয়, অর্থাৎ A এবং A′ একটি মেরুর দিকে আর B এবং B′ বিপরীত মেরুর দিকে অগ্রসর হয়। এক্ষেত্রেও যেহেতু, উৎপন্ন গ্যামেটগুলির মধ্যে উপস্থিত ক্রোমোজোমে ডিলিশান এবং ডুপ্লিকেশান থাকে তাই গ্যামেটগুলি স্থায়িত্ব লাভ করতে পারে না।

(c) **অলটারনেট ঃ** অলটারনেট পদ্ধতিতে পৃথক্করণ ঘটলে তবেই কেবল স্থায়ী ফলপ্রসূ গ্যামেট উৎপন্ন হয়। একান্তরভাবে ক্রোমোজোমগুলি দুই মেরুদেশে পৃথকীভবন ঘটলে এক মেরুতে



চিত্র 6.6 ঃ ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের অলটারনেট ও অ্যাডজাসেন্ট প্রক্রিয়ায় অ্যানাফেজ-I দশায় ক্রোমোজোম পৃথক্করণ পদ্ধতি

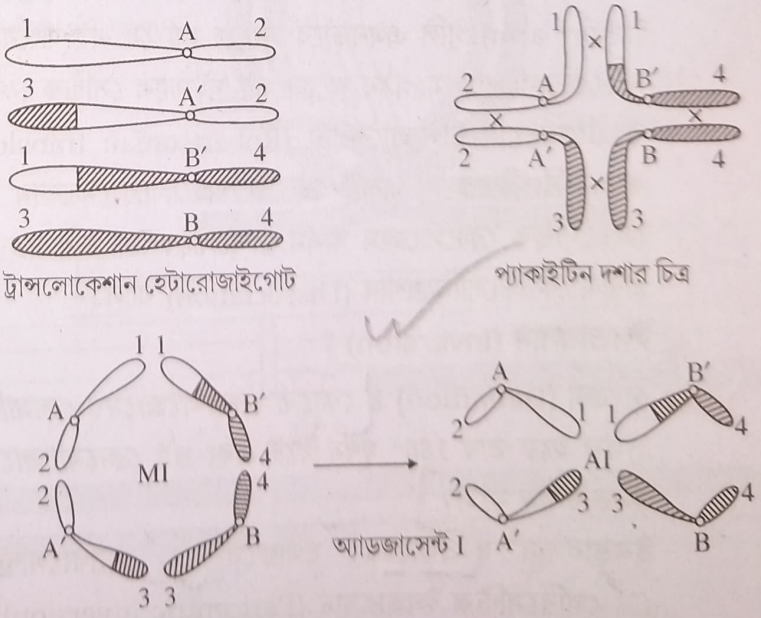
স্বাভাবিক ক্রোমোজোম এবং বিপরীত মেরুতে ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোমের পৃথকীভবন ঘটে। এই পদ্ধতিতে ক্রোমোজোম পৃথক্‌করণের ফলে ক্রোমোজোম রিং গঠিত হয় এবং এই রিং ইংরেজি '8'-এর মতো দেখতে হয়। ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট যে দু-ধরনের কার্যকরী গ্যামেট উৎপন্ন করে তাদের একটিতে স্বাভাবিক ক্রোমোজোম এবং অন্যটিতে ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোম উপস্থিত থাকে। ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের স্বনিষেকের ফলে তিন রকমের জাইগোট উৎপন্ন হয়। যথাক্রমে— স্বাভাবিক, ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট এবং ট্রান্সলোকেশান হোমোজাইগোট, এই তিনপ্রকার জাইগোট 1:2:1 অনুপাতে উৎপন্ন হয়। ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের স্বনিষেকের ফলে বিভিন্ন প্রকার অপত্যের উৎপাদন পরের পৃষ্ঠায় বর্ণনা করা হল।



চিত্র 6.7 ঃ স্বাভাবিক ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের ঃ ট্রান্সলোকেশান হোমোজাইগোট = 1 : 2 : 1

অলটারনেট পদ্ধতিতে অ্যানাফেজ-I দশায় ক্রোমোজোম পৃথক্‌করণের ফলে পরিশেষে যে গ্যামেটগুলি উৎপাদিত হয় তাদের স্বনিষেক ঘটালে উৎপন্ন অপত্যগুলির প্রকৃতি চিত্রের (চিত্র 6.6) সাহায্যে দেখানো হল ।

Oenothera lamarckiana প্রজাতিতে দুই থেকে সাতটি অসমসংস্থ ক্রোমোজোম ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট গঠনে অংশগ্রহণ করতে পারে। এই প্রজাতির 14টি ক্রোমোজোমের মধ্যে 6টি অসমসংস্থ ক্রোমোজোম জোড়ের রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান ঘটলে মিয়োসিস কোশ বিভাজনের অ্যানাফেজ-I দশায় 12টি ক্রোমোজোমের রিং গঠিত হয় এবং একটি অতিরিক্ত পৃথক বাইভ্যালেন্ট গঠিত হয়। এইভাবে উদ্ভিদটি থেকে যে গ্যামেট পাওয়া যায় সেই গ্যামেটগুলির মধ্যে 50% গ্যামেটে স্বাভাবিক ক্রোমোজোম এবং অপর 50%-এ ট্রান্সলোকেটেড ক্রোমোজোমের উপস্থিতি লক্ষ করা যায়। গ্যামেটগুলিকে যথাক্রমে ভ্যালেন্স (V) এবং গণ্ডডেন্স (G) দ্বারা সূচিত করা হয়। স্বনিষেক প্রক্রিয়ার দ্বারা তাই v/v, v/g এবং g/g জেনোটাইপ গঠিত হয়। ভ্যালেন্স গ্যামেটগুলির মধ্যে একটি প্রচ্ছন্ন ধ্বংসাত্মক জিন (recessive lethal gene) l_1 এবং গণ্ডডেন্স গ্যামেটগুলির মধ্যে



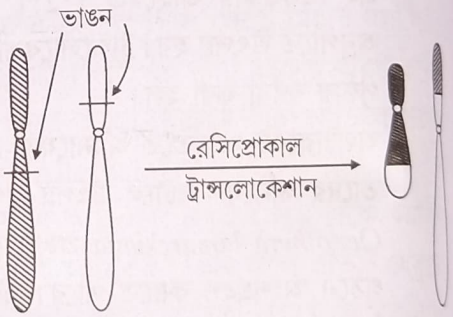
চিত্র 6.8 ঃ ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোটের স্বনিষেকের ফলে বিভিন্ন প্রকার অপত্যের উৎপাদন

অপর একটি প্রচ্ছন্ন ধ্বংসাত্মক জিন (recessive lethal gene) l_2 উপস্থিত থাকে। দুটি প্রচ্ছন্ন ধ্বংসাত্মক জিন হোমোজাইগাস হিসেবে অবস্থান করলে (l_1 l_1 বা l_2 l_2) সেই উদ্ভিদটি বাঁচতে পারে না। যেহেতু স্বনিষেকের ফলে উৎপন্ন v/v এবং g/g জেনোটাইপের উদ্ভিদে প্রচ্ছন্ন ধ্বংসাত্মক জিন l_1 l_1 এবং l_2 l_2 হিসেবে অবস্থান করে তাই ওই জেনোটাইপ বিশিষ্ট উদ্ভিদগুলি বাঁচতে অক্ষম হয়। আবার v/g জেনোটাইপে যেহেতু l_1 l_2 হেটারোজাইগোট গঠিত হয় তাই এগুলি কেবল বেঁচে থাকতে সক্ষম। তাই বলা হয় *Oenothera lamarckiana* প্রজাতিতে ট্রান্সলোকেশান হেটারোজাইগোট একটি স্থায়ী ঘটনা।

প্রচ্ছন্ন ধ্বংসাত্মক জিন ⟶ ভ্যালেন্স (v) (l_1) গওডেন্স (g) (l_2)

গ্যামেট ↓	v (l_1)	g (l_2)
v (l_1)	v / v (l_1l_1)	v / g (l_1l_2)
g (l_2)	v / g (l_1l_2)	g / g (l_2l_2)

ট্রান্সলোকেশানের ফলে ক্রোমোজোমের অঙ্গসংস্থানিক পরিবর্তন ঃ ট্রান্সলোকেশানের ফলে ক্রোমোজোমের আকার, আকৃতি এবং অঙ্গসংস্থানিক বৈশিষ্ট্যের পরিবর্তন লক্ষ করা যায়। সরল ট্রান্সলোকেশান, সিফ্‌ট এবং রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান প্রতিটি ক্ষেত্রেই ক্রোমোজোমের অঙ্গসংস্থানিক পরিবর্তন সংঘটিত হতে পারে। দুটি অ্যাক্রোসেন্ট্রিক ক্রোমোজোমের মধ্যে রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশান ঘটলে (চিত্র 6.9) চিত্র অনুযায়ী একটি ডট্ (Dot) বা মাইক্রোক্রোমোজোম (microchromosome) এবং একটি মেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোজোম গঠিত হয়।



চিত্র 6.9 ঃ দুটি অ্যাক্রোসেন্ট্রিক ক্রোমোজোমের রেসিপ্রোকাল ট্রান্সলোকেশানের ফলে একটি মাইক্রোক্রোমোজোম ও একটি মেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোজোমের উৎপত্তি

একইভাবে দুটি অ্যাক্রোসেন্ট্রিক ক্রোমোজোম পরস্পরের সঙ্গে সেন্ট্রোমিয়ার অঞ্চলে পরস্পর সংযুক্ত হলে তাদের ক্ষুদ্রতম বাহু (Short arm) গুলি এমনভাবে সংযুক্ত হয় যে এই সংযোগ একটি মাইক্রোক্রোমোজোম গঠন করে। এই ঘটনাকে সেন্ট্রিক ফিউশান বা রবার্টসোনিয়ান ট্রান্সলোকেশান (Robertsonian translocation) বলে। বিপরীতক্রমে, একটি ডট্ বা মাইক্রোক্রোমোজোম ও একটি মেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোজোম অসম ট্রান্সলোকেশান প্রক্রিয়ার দ্বারা দুটি অ্যাক্রোসেন্ট্রিক ক্রোমোজোম গঠন করে। এই প্রক্রিয়াকে ডিসোসিয়েশান (Dissociation) বলে।

4 ইনভারসান (Inversion) ঃ

সংজ্ঞা (Definition) ঃ *কোনো ক্রোমোজোমের ক্রোমাটিডে দুটি পৃথক স্থানে ভাঙন ঘটলে মধ্যবর্তী অঞ্চলটি পৃথক হয়ে তার 180° ঘূর্ণন ঘটে এবং ওই ক্রোমোজোমে বিপরীত জিন সজ্জাক্রমে সংযুক্ত হয়। এই ঘটনাকে ইনভারসান বলে।*

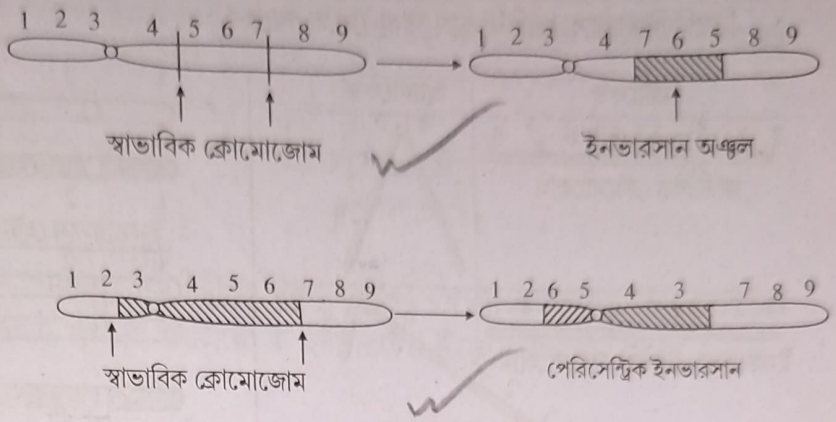
ইনভারসান দু-প্রকারের। যথাক্রমে—(1) **প্যারাসেন্ট্রিক** ইনভারসান (Paracentric inversion) এবং (2) **পেরিসেন্ট্রিক** ইনভারসান (Pericentric inversion)।

যখন ইনভারসান ঘটা খণ্ডকে কোনো সেন্ট্রোমিয়ার থাকে না তাকে প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসান আর ইনভারসান ঘটা খণ্ডকটি সেন্ট্রোমিয়ার যুক্ত হলে তাকে পেরিসেন্ট্রিক ইনভারসান বলে। মিয়োসিসের প্যাকাইটিন দশায় উভয়প্রকার

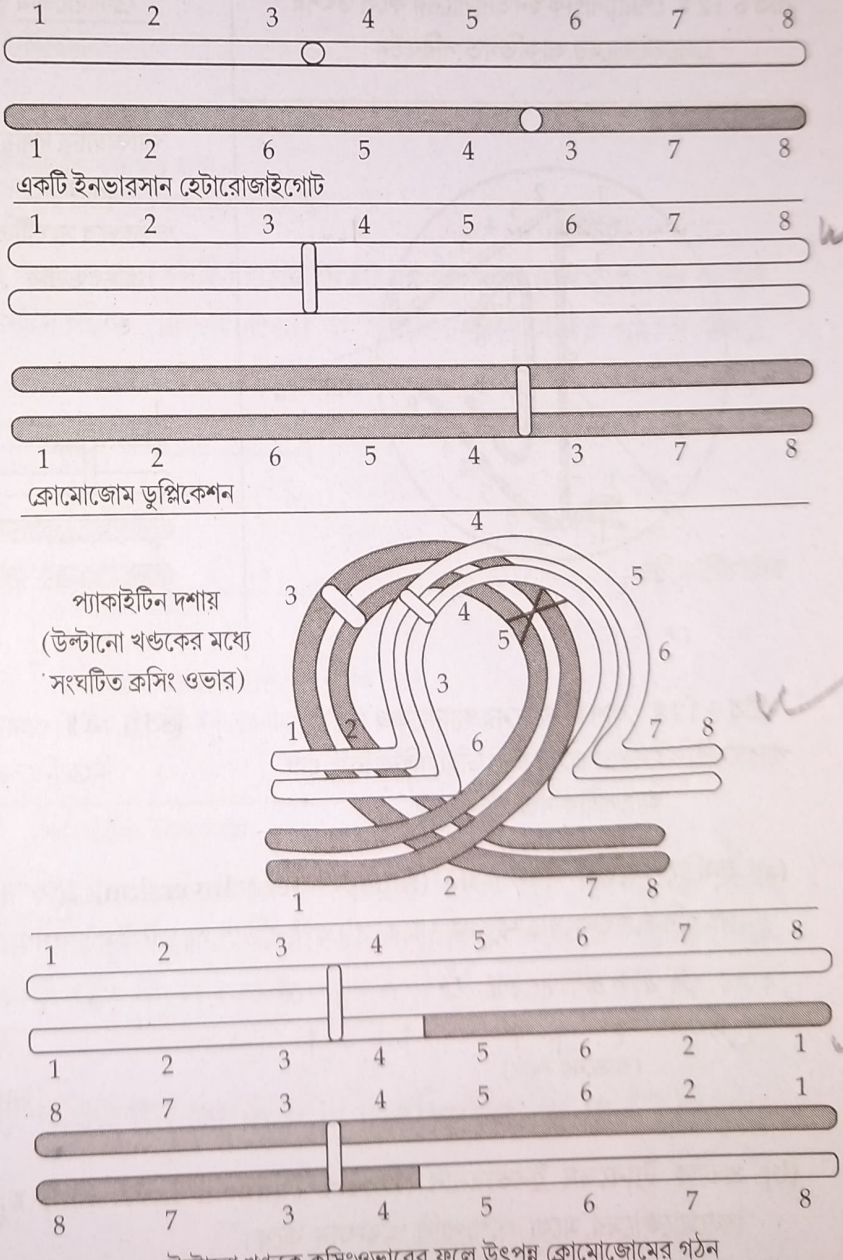
ইনভারসানের ক্ষেত্রে একটি লুপ গঠিত হয়। প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসানের ক্ষেত্রে ইনভারসান হেটারোজাইগোটে ক্রসিংওভারের পর ক্রোমোজোমগুলি মেরু অভিমুখে পৃথক্করণের সময় একটি **ডাইসেন্ট্রিক** বা দুটি সেন্ট্রোমিয়ার যুক্ত (dicentric bridge) ব্রিজ এবং একটি সেন্ট্রোমিয়ারবিহীন খণ্ডক বা আসেন্ট্রিক (acentric) ফ্র্যাগমেন্ট গঠিত হয়। পেরিসেন্ট্রিক ইনভারসানের ক্ষেত্রে এই ধরনের গঠন সৃষ্টি না হলেও ক্রসিংওভারের ফলে উৎপন্ন চারটি ক্রোমাটিডের মধ্যে দুটিতে ডেফিসিয়েন্সি (deficiencies) এবং ডুপ্লিকেশান লক্ষ করা যায়। যে সকল গ্যামেটের মধ্যে এই সকল ক্রোমোজোম প্রবেশ করে সেগুলি কার্যকরী গ্যামেট হিসেবে কাজ করতে পারে না। উদ্ভিদের ক্ষেত্রে এই কারণে বন্ধ্যা পরাগরেণু উৎপন্ন হয়।

Drosophila-র ক্ষেত্রে প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসানে ইনভার্টেড বা ওলটানো খণ্ডকের মধ্যে উপস্থিত জিনগুলিকে রিকম্বিনেশান ঘটতে বাধা দান করে। এই কারণে এই ইনভারসানকে ক্রসওভার সাপ্রেসার (Crossover suppressor) বলা হয়। পেরিসেন্ট্রিক ইনভারসানের ক্ষেত্রে ইনভারসান ঘটার সময় যে দুটি স্থানে ভাঙন ঘটে সেই দুটি স্থান সেন্ট্রোমিয়ার থেকে সমদূরত্বে অবস্থান না করলে ক্রোমোজোমের আকার আকৃতিগত পরিবর্তন ঘটে, যেমন—মেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোজোম সাবমেটাসেন্ট্রিক ক্রোমোজোমে রূপান্তরিত হতে পারে।

ক্রোমোজোমের মধ্যে একাধিক ইনভার্টেড বা ওলটানো খণ্ডক

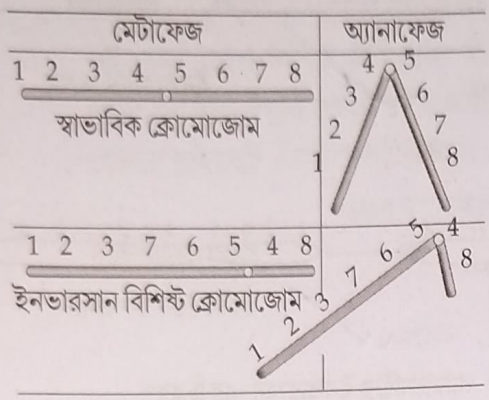


চিত্র 6.10 ঃ প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসান-এর চিত্ররূপ

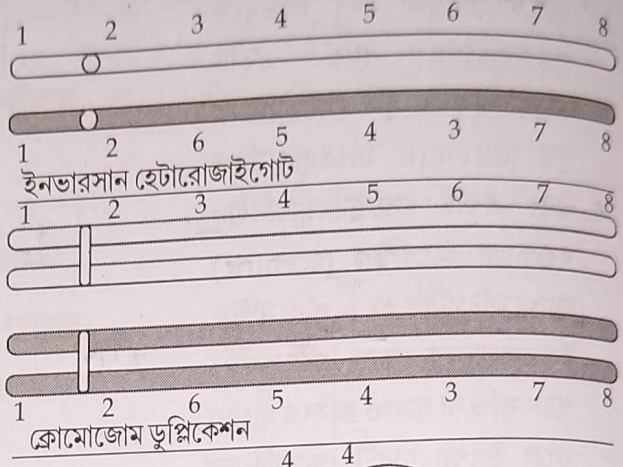


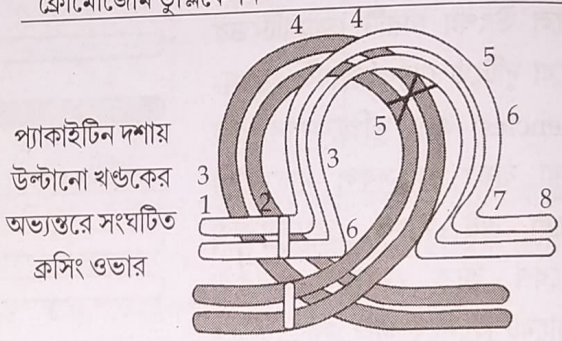
চিত্র 6.11 ঃ পেরিসেন্ট্রিক ইনভারসানে হেটারোজাইগোটের ক্রসিং ওভারের ফলে উৎপন্ন ক্রোমোজোমের গঠন

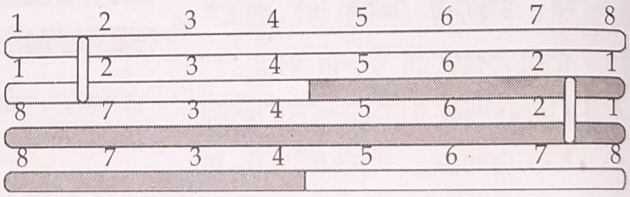
উপস্থিত থাকলে তাকে **কমপ্লেক্স ইনভারসান** (Complex inversion) বলে। এই ধরনের ইনভারসানকে নিম্নলিখিতভাবে শ্রেণিবিন্যাস করা যেতে পারে।

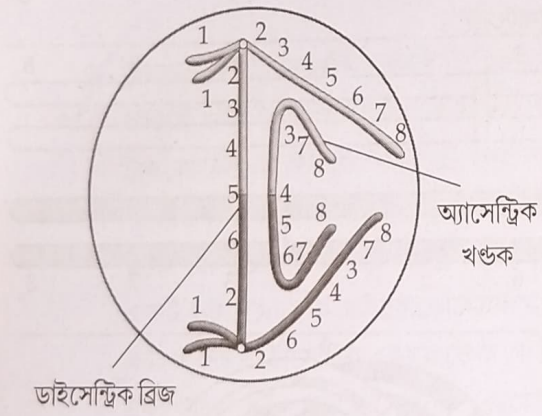


চিত্র 6.12 ঃ পেরিসেন্ট্রিক ইনভারসানের ফলে উৎপন্ন ক্রোমোজোমের আকৃতিগত পরিবর্তন





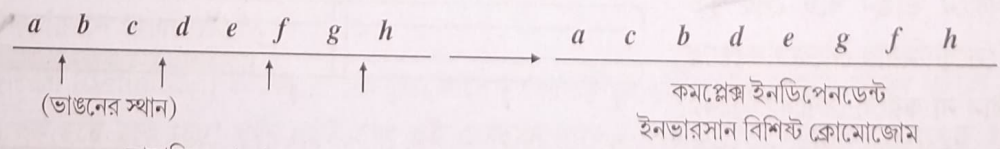




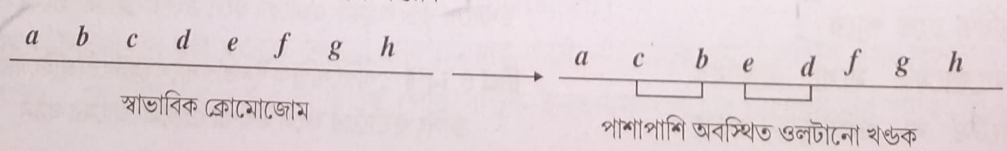
চিত্র 6.13 ঃ কোশ বিভাজনের অ্যানাফেজ I দশায় প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসানের জন্য ডাইসেন্ট্রিক ব্রিজ এবং অ্যাসেন্ট্রিক খণ্ডক উৎপাদন

চিত্র 6.14 ঃ প্যারাসেন্ট্রিক ইনভারসান হেটারোজাইগোটের ক্ষেত্রে মিয়োসিসের প্যাকাইটিন দশার কোশতাত্ত্বিক আচরণ

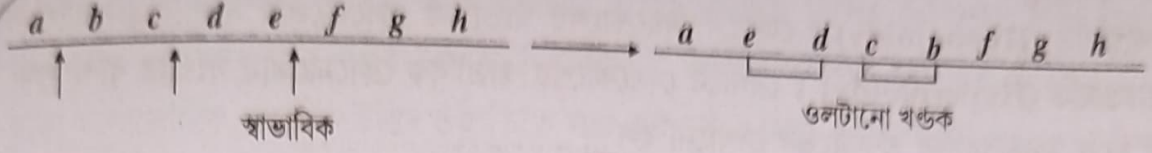
(a) ইনডিপেনডেন্ট ইনভারসান (Independent Inversion) ঃ যখন ইনভার্টেড খণ্ডকগুলি একে অপরের থেকে স্বাভাবিক খণ্ডক দ্বারা পৃথক থাকে তাকে ইনডিপেনডেন্ট ইনভারসান বলে।



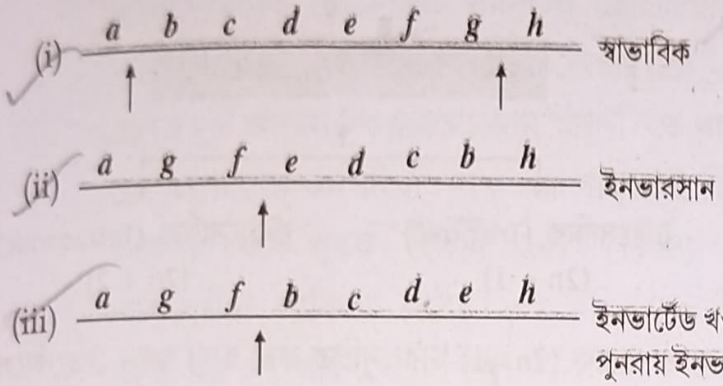
(b) প্রত্যক্ষ ট্যানডেম ইনভারসান (Direct Tandem Inversion) ঃ এক্ষেত্রে দুটি ওলটানো ক্রোমোজোম খণ্ডক ক্রোমোজোমের মধ্যে পাশাপাশি অবস্থান করে।



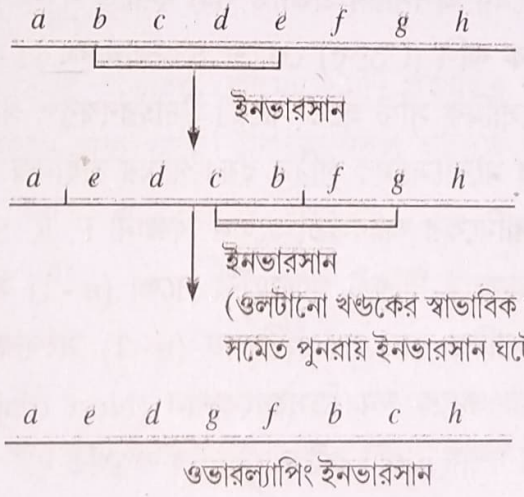
(c) **রিভার্সড্ ট্যানডেম ইনভারসান (Reversed Tandem Inversion) ঃ** যখন দুটি ইনভার্টেড খণ্ডক পাশাপাশি অবস্থান করে কিন্তু একই ক্রোমোজোমে পারস্পরিক স্থান বিনিময়ে সক্ষম হয় তখন তাকে রিভার্সড্ ট্যানডেম ইনভারসান বলে।



(d) **ইনক্লুডেড ইনভারসান (Included Inversion) ঃ** এই ধরনের ইনভারসানের ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের ইনভারটেড খণ্ডকের মধ্যে উপস্থিত কোনো একটি খণ্ডক পুনরায় ওলটানো বা ইনভারটেড হিসেবে অবস্থান করে।



(e) **ওভারল্যাপিং ইনভারসান (Overlapping Inversion) ঃ** এই ধরনের ইনভারসানের ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের কোনো একটি ওলটানো খণ্ডকের একটি অংশ আনইনভার্টেড (uninverted) বা স্বাভাবিক অংশ সমেত পুনরায় উলটে গিয়ে অবস্থান করে।



উপরিবর্ণিত সকল প্রকারের ইনভারসানের ক্ষেত্রে ক্রোমোজোমের মধ্যে কোনো জিনের অন্তর্ভুক্তি ঘটে না কিংবা কোনো জিন ক্রোমোজোম থেকে বিয়োজিত বা বিচ্যুত হয় না, উপস্থিত জিনগুলির অবস্থানগত পরিবর্তন ঘটে মাত্র। জিনগুলির এই অবস্থানগত পরিবর্তনের ফলে জীবের ফেনোটাইপের ওপর যে প্রভাব লক্ষ করা যায় তাকে **পজিশান এফেক্ট** (Position effect) বলে।

6.2 ক্রোমোজোমের সংখ্যাগত পরিবর্তন (Numerical Aberration in Chromo-