इकाई 4

गुणसूत्र

इकाई की रूपरेखा

4.1 प्रस्तावना

अपेक्षित अध्ययन परिणाम

4.2 गुणसूत्री नामकरण

अर्धगुणसूत्र

गुणसूत्रबिंदु

अंतखंड/अंत्यांश

अनुषंगी

द्वितीयक संकीर्णन

केन्द्रिकीय संगठन

4.3 मेटाफेज गुणसूत्र

गुणसूत्र पट्टन प्रतिरूप

गुणसूत्रीरचना

4.4 यूक्रोमैटिन और हेटरोक्रोमेटिन

4.5 संरचनात्मक विशेषताएं

विषाणुज गुणसूत्र

जीवाण्विक गुणसूत्र

सुकेन्द्रकी गुणसूत्र

4.6 सारांश

4.7 पाठांत प्रश्न

4.8 उत्तर

4.1 प्रस्तावना

इस खंड की पिछली इकाईयों में आपने जीन और संजीकीय संगठन के विषय में सीखा। इस इकाई में हम अपने डी.एन.ए की संरचना उसके निर्माण खण्ड, ध्यान गुणसूत्र पर केन्द्रित करेंगे जो कि पृथक इकाइयों के रूप में जीन का वहन (carry) करती है। अपेक्षाकृत सीमित मात्रा में एक संहत द्रव्यमान सभी कोशिकाओं में जननिक पदार्थ (genetic material) बनाता है। कोशिका के भीतर एक केंद्रकाभ (nucleoid) जीवाणु में जननिक पदार्थ है। केन्द्रक के भीतर क्रोमेटिन का द्रव्यमान सुकेन्द्रकी कोशिकाओं में जननिक पदार्थ बनाता है। सकेन्द्रिक कोशिका चक्र के दौरान क्रोमैटिन का संवेष्ठन (packaging) बदल जाता है। गुणसूत्र, सूत्रीविभाजन (mitosis) के दौरान क्रोमेटिन के अधिक संवेष्ठन के कारण पृथक तत्त्वों (discrete entities) के रूप में दिखाई देते हैं। एक गुणसूत्र को कई जीनों को ले वहन करने संजीन (genome) के एक पृथक इकाई के रूप में परिभाषित किया जाता है। प्रत्येक गुणसूत्र द्विगुणित DNA के एक बहुत लंबे अणु और प्रोटीन के लगभग समान द्रव्यमान से बनता है।

अपेक्षित अध्ययन परिणाम

इस अभ्यास को पूरा करने के बाद, आप :

- 'गुणसूत्र' की संरचना और अव्यय का आरेख एवं चिन्हन कर सकेंगे;
- गुणसूत्र की भौतिक विशेषताओं को पहचान सकेंगे और नामकरण कर पायेंगे;
- गुणसूत्रीय प्रतिचित्रण और पट्टन प्रतिरूपो (banding patterns) की व्याख्या कर पायेंगे;
- विषाणुज (viral), जीवाण्विक (bacterial) और सुकेन्द्रकी (eukaryotic) गुणसूत्र के बीच अंतर कर सकेंगे और;
- गुणसूत्रीरचना के अनुप्रयोग को सूचीबद्ध कर पायेंगे।

4.2 गुणसूत्री नामकरण

गुणसूत्र शब्द की उत्पत्ति ग्रीक शब्द क्रोमोस (*chromos*) से हुई है, जिसका अर्थ है रंग, और सोमा (soma), जिसका अर्थ है काय। 1875 में **स्ट्रासबर्गर** (Strausberger) ने गुणसूत्र की खोज की और "**क्रोमोसोम**" शब्द जर्मन शरीरविद् (anatomist) **हेनरिक विल्हेम गॉटफ्रीड वॉन वाल्डेयर–हार्ट्ज** (Heinrich Wilhelm Gottfried von Waldeyer-Hartz) द्वारा 1888 में दिया गया। गुणसूत्र रैखिक प्रकार में जीन धारण करते हैं और DNA, RNA और प्रोटीन से बने होते है। पौधों और जानवरों की विभिन्न प्रजातियों में गुणसूत्रों के माप, आकार और संख्या में भिन्नता होती है। गुणसूत्रों में स्व–द्विगुणन (self-duplication) और उत्परिवर्तन (mutation) के गुण होते है। गुणसूत्रों और गुणसूत्री विपथनों (chromosomal aberrations) के अध्ययन को **कोशिकाजननिकी (cytogenetics)** के नाम में जाना जाता है। गुणसूत्रीरचना (Karyotyping) गुणसूत्रों की संरचना और गुणों, सूत्रीविभाजन (amitosis) और अर्धसूत्रीविभाजन (meiosis) के दौरान गुणसूत्री व्यवहार, बाह्य रूप (phenotype) पर गुणसूत्री प्रभाव और कारक जो गुणसूत्री परिवर्तन का कारण बनते हैं का अध्ययन है।

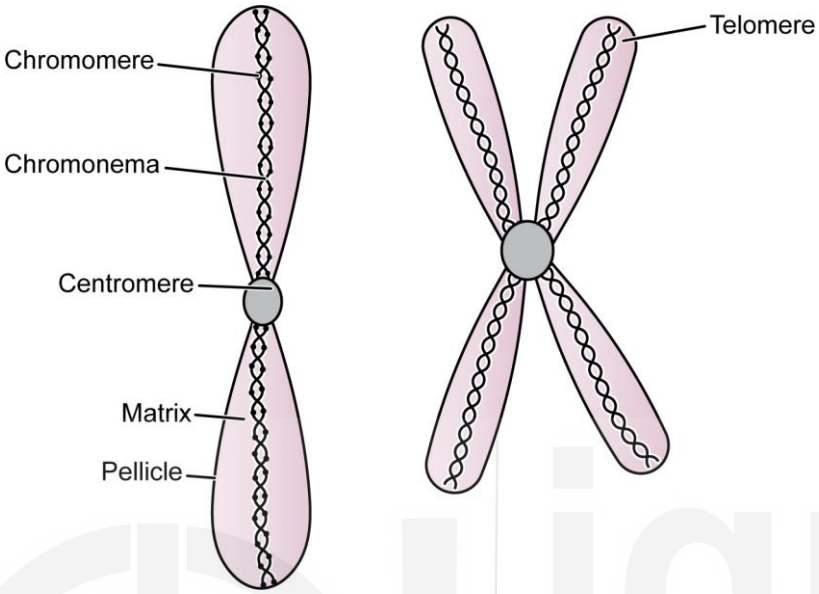
संरचनात्मक रूप से गुणसूत्र कई भागों से बने होते हैं जैसे कि सूत्रकेन्द्र/गुणसूत्रबिंदु (Centromere) या काइनेटोकोर या प्राथमिक संकीर्णन (Primary Constriction), अर्धसूत्र/अर्धगुणसूत्र (Chromatid), क्रोमैटिन, द्वितीयक संकीर्णन (secondary constriction), अंत्याश अंतखंड (Telomere), वर्णकणिका (chromomere), वर्णसूत्र (chromonema) और मैट्रिक्स (चित्र 4.1)। हम प्रत्येक के बारे में विस्तार से जानेंगे। गुणसूत्र के विभिन्न भागों का एक विस्तृत आलेखीय निरूपण चित्र 4.2 में दिखाया गया है।

4.2.1 अर्धगुणसूत्र

यह दो विशिष्ट लँबवत उप–इकाईयों या गुणसूत्र के प्रत्येक रज्जुक (strand) होते हैं। अर्धगुणसूत्र कोशिका विभाजन के दौरान बनते हैं चाहे वह सूत्रीविभाजन (mitosis) हो या अर्धसूत्रीविभाजन (meiosis) हो। अर्धगुणसूत्र दो प्रकार के होते हैं: सह (sister)

अर्ध–गुणसूत्र और गैर–सह (non-sister) अर्धगुणसूत्र। अर्धगुणसूत्र जो गुणसूत्रबिंदु पर एक साथ जुड़े होते हैं उन्हें सह अर्धगुणसूत्र कहा जाता है। सह अर्धगुणसूत्र कोशिका विभाजन के एनाफेज (anaphase) के दौरान अलग हो जाते हैं और प्रत्येक को अलग होने के बाद अनुजात (daughter) गुणसूत्र कहा जाता है। अतः एनाफेज गुणसूत्र में सिर्फ अर्धगुणसूत्र होता है जबकि मेटोफेस गुणसूत्र में दो अर्धगुणसूत्र होते हैं।

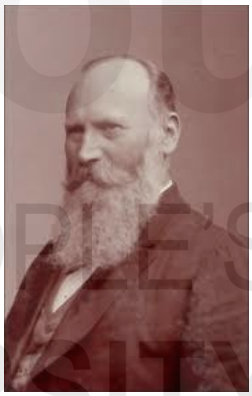
गुणसूत्र को DNA और कोशिकाओं में पाए जाने वाले प्रोटीन की एकीकृत संरचना के रूप में परिभाषित किया गया है। यह कुंडलित DNA का एक टुकड़ा है जिसमें कई जीन, विनियामक (regulatory) और अन्य न्यूक्लियोटाइड अनुक्रम (Sequence) होते हैं। गुणसूत्र में DNA–युक्त प्रोटीन भी होता है जो DNA को संपुष्टि (package) करने और इसके कार्यों को नियंत्रित करने का काम करता है।



चित्र 4.1: गुणसूत्र और अर्धगुणसूत्र की एक सरलीकृत संरचना।

4.2.2 वर्णसूत्र क्रोमोनिमा

एक गुणसूत्र में प्रारंभिक प्रोफेज के दौरान वर्णसूत्र (बहुवचन–क्रोमोनिमेटा) के रूप में सर्पिल रूप से कुंडलित, पतली या तंतुमय/तांतुक (filamentous) लंबी सतत संरचना से युक्त प्रतीत होता है। यह मैट्रिक्स में मौजूद होता है। क्रोमोनिमेटा एक कुंडलित तंतु है जिसमें जीन स्थित होते हैं और गुणसूत्र की पूरी लंबाई के साथ विस्तारित होते हैं। यह संघनन (condensation) के प्रारंभिक चरणों में अर्धगुणसूत्र का प्रतिनिधित्व करता है। इसलिए, अर्धगुणसूत्र (chromatid) और वर्णसूत्र (chromonema) एक ही संरचना के दो नाम हैं जो कि संबंधित प्रोटीन के साथ एकल डी एन ए अणु है।



Wilhelm Waldeyer

4.2.3 गुणसूत्रबिंदु

यह गुणसूत्र का एक गैर–अभिरंजित (non-stained) स्थानीयकृत क्षेत्र है जिसके साथ तर्कु तंतु (spindle fibers) संलग्न होते हैं इसे प्राथमिक संकीर्णन (primary construction) या गुणसूत्रबिंदु या काइनेटोकोर (kinetochare) के रूप में भी जाना जाता है। गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु की स्थिति स्थिर होती है। गुणसूत्रबिंदु अनाफेज के दौरान गुणसूत्र के गति के लिए आवश्यक है क्योंकि तर्कु तंतु केवल गुणसूत्रबिंदु से जुड़ते हैं। प्राथमिक संकीर्णन या गुणसूत्रबिंदु हुए सकारात्मक फ्यूलजेन अभिक्रिया देता है जो DNA की उपस्थिति को इंगित करता है।

गुणसूत्र बिन्दु के ईद–गिर्द वाले इन हिस्सों में अत्यधिक दोहराव (repetitive) वाला डी एन ए होता है जो हेटेरोक्रोमैटिन की उपस्थिति का संकेत देने वाले क्षारक रंजक (basic dyes) के साथ तीव्रता से अभिरंजित (stain) होता है।

गुणसूत्र एक डिस्क (disc) के आकार की संरचना होती है जो इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी में त्री–पटलीय (trilaminar) संगठन को दर्शाता है। बाहरी और भीतरी परत घनी होती है जबकि मध्य परत कम घनत्व की होती है। गुणसूत्र का कार्य सूक्ष्मनलिकाओं (microtubules) के लिऐ जुड़ने का एक बिन्दु (centre of assembly) प्रदान करना है। यह पाया गया है कि 4 से 40 सूक्ष्म नलिकाएं गुणसूत्र बिन्दु/काइनेटोकोर से जुड़ती है और अर्ध–गुणसूत्र को विपरीत ध्रुवों तक खींचती हैं। आमतौर पर अधिकांश गुणसूत्रों में एक गुणसूत्र बिन्दु (monocentric chromosome) होता है। यदि किसी कारण से गुणसूत्रीय असामान्यता उत्पन्न होती है जिससे अकेन्द्रिक/acentric गुणसूत्र बिन्दु के बिना) या द्वि–केंद्रिक/dicentric (दो गुणसूत्र बिन्दु के साथ) गुणसूत्र उत्पन्न होते हैं, तो यह दोनों अस्थिर होते हैं। क्या आप सोच सकते हैं क्यों?

बोध प्रश्न 1

अकेंन्द्रिक या द्विकेन्द्रिक गुणसूत्र जीवित रहने में क्यों विफल होते हैं?

4.2.4 द्वितीयक संकीर्णन

इसे "केन्द्रिकीय संघठन क्षेत्र (Nucleolar Organizing Region)" के रूप में भी जाना जाता है क्योंकि यह उस स्थान को चिन्हित करता है जिस पर केन्द्रिका (nucleoli) संकलित होती हैं। यह कोशिका विभाजन के अंत में केंद्रिक के पुन:संघटन में शामिल है। rRNA संश्लेषण के लिए जीन भी होते हैं। जो 18S और 28S राईबोजोमी आर एन ए (RNA) को कोडित करते हैं। द्वितीयक संकीर्णन की उपस्थिति के कारण गुणसूत्र के अंत में अनुषंगी (satellite) नामक गांठ जैसी संरचना का निर्माण होता है।

चूंकि rRNA जीन का अनुलेखन बहुत तीव्र होता है यह गुणसूत्रीय संघनन के साथ हस्तक्षेप (interfere) करता है जिसके कारण द्वितीयक संकीर्णन उत्पन्न होता है। मानवों में केन्द्रिकीय संगठक (nucleolar organiser) गुणसूत्र संख्या 13, 14, 15, 21 और 22 के द्वितीयक संकीर्णन पर अवस्थित होता है। यह सभी अग्रकेन्द्रि (acrocentric) होते हैं और उनमें अनुषंगी (satellite) होते हैं।

4.2.5 अंतखंड

यह गुणसूत्र का अंतिम/ आखिरी हिस्सा होता है। अधिकांश सुकेन्द्रकी जीवों में, इस क्षेत्र में पुनरावर्ती न्यूक्लियोटाइड अनुक्रम होते हैं जो गुणसूत्र के छोरो की रक्षा करते हैं। यह छोरो को भी स्थिर करता है और विशेष क्रियाविधि द्वारा विस्तारित किया जाता है जो रैखिक DNA के छोरो की प्रतिकृतियन की कठिनाइयों से भिन्न उपमार्ग निकालता है। इसका नाम ग्रीक शब्द टेलोस (*telos*) से लिया गया है जिसका अर्थ है "छोर" और मेरोस (*meros*) का अर्थ है, "भाग या खंड"। अधिकांश प्राक्केंद्रकी में वृत्ताकार गुणसूत्र की उपस्थिति के कारण अंतखंड नहीं होते है।

4.2.6 वर्णकणिका

एक वर्णकणिका को इडिओमियर (idiomere) के रूप में भी जाना जाता है ये छोटी मनका जैसी संरचनाएं हैं जो क्रोमेटिन तंतुओं के कुण्डलीकरण (coiling) द्वारा बनती

हैं। वर्णकणिका केंद्रक प्रोटीन की अधिक मात्रा को संश्लेषित करने में सक्षम होती है, यही कारण है कि यह वर्णसूत्र (chromonema) के संलग्न हिस्सों की तुलना में विशाल आकार की होती है। जब गुणसूत्र अत्यधिक संघनित होते हैं, तो वर्णकणिका देखे जाते हैं।

4.2.7 अनुषंगी

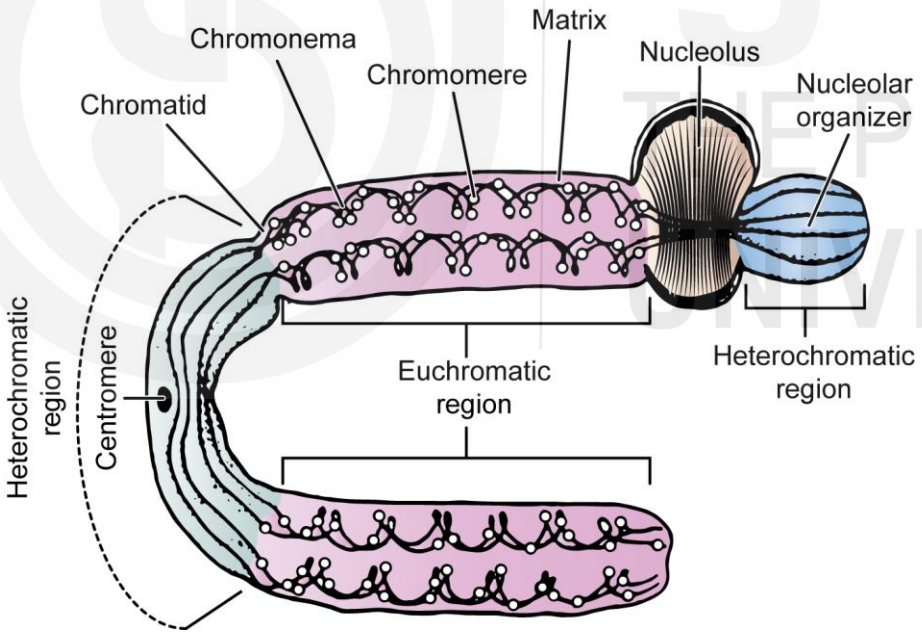
SAT का अर्थ है सैटेलाइड अर्थात् अनुषंगी।

एक गुणसूत्र का अंतिम भाग जो एक द्वितीयक संकीर्णन द्वारा गुणसूत्र के मुख्य भाग से अलग होता है, अनुषंगी गुणसूत्र के रूप में जाना जाता है। ये वो गुणसूत्र होते हैं जिनमें द्वितीयक संकीर्णन होते हैं जो पहचानने वाले चिह्नको के रूप में कार्य करते हैं। मनुष्यों में, गुणसूत्र संख्या 13, 14, 15, 21 और 22 अनुषंगी गुणसूत्रों (SAT chromosome) के उदाहरण हैं। ये अग्रकेन्द्रकी (Acrocentric) गुणसूत्र हैं, जिसमें एक खंड द्वितीयक संकीर्णन द्वारा गुणसूत्र के मुख्य भाग से अलग होता है। द्वितीयक संकीर्णनो को इन विशेष गुणसूत्रों की पहचान करने के लिए चिह्नको (markers) के रूप में उपयोग किया जा सकता है क्योंकि वे हमेशा अपने जगह पर स्थिर रहते हैं।

4.2.8 मैट्रिक्स

बारबरा मैक्क किलंटॉक ने प्रयोगात्मक रूप से प्रदर्शित किया कि टूटे हुए गुणसूत्रों के नए सिरे चिपचिपे होते हैं और एक दूसरे के साथ जुड़न की प्रवृत्ति रखते हैं, जबकि यह देखा गया है कि सामान्य (अखण्ड) गुणसूत्र के छोर स्थिर होते हैं और अन्य सिरों (मूल या टूटे हुए) के साथ जुड़ने की कोई प्रवृत्ति नहीं दर्शाते हैं।

एक गुणसूत्र के बाहरी झिल्ली को पेलिकल (pellicle) कहा जाता है, जो वर्णहीन (achromatic) पदार्थ से बनता है। यह झिल्ली जेली जैसे पदार्थों को घेरती है, जिसे आमतौर पर मैट्रिक्स कहा जाता है। क्रोमोनिमेटा मैट्रिक्स में मौजूद होते हैं।



चित्र 4.2: गुणसूत्र के विभिन्न भागों का विस्तृत सुस्पष्ट चित्रण।

यूक्रोमैटिन कम दृढ़ता से कुंडलित होता है और इसमें सक्रिय या सशक्त रूप से सक्रिय जीन होते हैं। यह हेटरोक्रोमैटिन को छोड़कर अंतरावस्था केन्द्रक में सभी संजीन (genome) की रचना करता है। यह क्रोमैटिन का एक सहज संकुलित रूप है जो जीन में समृद्ध होता है, और अक्सर सक्रिय अनुलेखन (transcription) के तहत होता है। यूक्रोमैटिन में कोशिका केन्द्रक के भीतर संजीन का सबसे सक्रिय भाग शामिल होता है। मानव संजीन का 92% हिस्सा संजीन का सबसे सक्रिय भाग यानि यूक्रोमैटिन होता है। यूक्रोमैटिन DNA के सक्रिय अनुलेखन (transcription) में भाग लेता है।

बोध प्रश्न 2

उपयुक्त शब्द के साथ रिक्त स्थान भरें:

क) एक गुणसूत्र ..... के दौरान सबसे मोटा होता है।

ख) ..... तंतु जैसे पदार्थ का वर्णन करता है।

ग) गुणसूत्र के प्रत्येक समरूप पक्ष को ..... कहा जाता है।

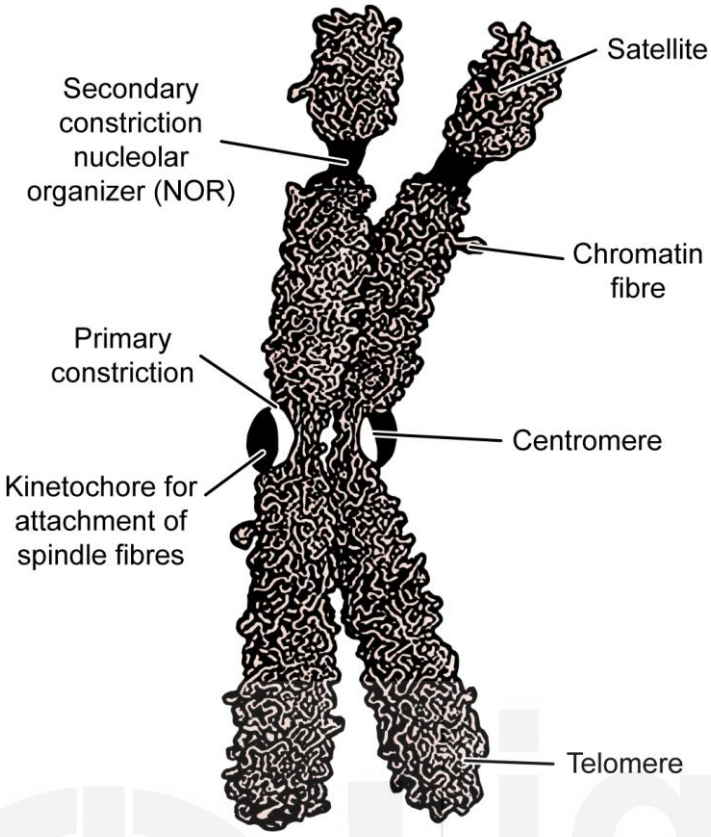
घ) द्वतीयक संकीर्णन rRNA संश्लेषण के लिए जीन रखता है जो ..... राइबोज़ोमी RNA को कोडित करते हैं।

ड़) अनुषंगी गुणसूत्र ..... केन्द्रकी गुणसूत्र है जिनमें मुख्य भाग से अलग एक हिस्सा होता है जो .....संकीर्णन के कारण अलग होता है।

4.3 मेटाफेज गुणसूत्र

सूत्रीविभाजन या अर्धसूत्रीविभाजन के दौरान मेटाफेज कोशिका विभाजन का एक चरण है। आमतौर पर, अकेले गुणसूत्र को कोशिका केन्द्रक में नहीं देखा जा सकता है। पहचानने योग्य मेटाफेज चरण के दौरान गुणसूत्र संघनित हो जाते हैं और जब वे विभाजित हो रही कोशिका के केंद्र में संरेखित (align) हो रहे होते हैं। इसीलिए मेटाफेज गुणसूत्रों का अनुसंधान में बहुत महत्व है और उनका उपयोग गुणसूत्र प्ररूपण (karyotyping) द्वारा गुणसूत्र संबंधी असामान्यताओं को परखने में देखने के लिए किया जाता है।

1884 में स्ट्रासबर्गर ने "मेटाफेज" (ग्रीक में: मेटा) शब्द को कोशिका विभाजन के उस अवस्था को लक्षित करने के लिए प्रस्तावित किया था जब उन्होंने गलती से सोचा था कि गुणसूत्र केवल अर्धगुणसूत्र में विभाजित होते हैं। एक मेटाफेज गुणसूत्र में दो सह अर्धगुणसूत्र (sister chromatid) होते हैं, प्रत्येक का व्यास (diameter) लगभग 700 nm होता है (चित्र 4.3)। यहाँ आपको यह ध्यान देना चाहिए कि मेटाफेज़ गुणसूत्र सममित (symmetrical) होते हैं अर्थात् दोनों सह–अर्धगुणसूत्र एक दूसरे के दर्पण छवि/प्रतिबिम्ब (mirror image) होते हैं। इस सममिती का कारण दोनों सह अर्ध गुणसूत्र में समान DNA का पाया जाना है और हम सब यह जानते हैं कि हमारी रूपात्मक विशेषताएँ (morphological features) मौजूद अनुक्रम द्वारा निर्धारित होती हैं और यही गुणसूत्र के साथ भी होता है। इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शीय अध्ययनों से पता चला है कि, प्रत्येक अर्धगुणसूत्र में एक केंद्रीय गैर–हिस्टोन अंतर्भाग (core) होता है जिसे स्कैफोल्ड या केन्द्रकीय मैट्रिक्स कहा जाता है, जिसमें से 30 nm क्रोमेटिन लूप मूल रूप से बाहर निकलता है। प्रत्येक पार्श्व (lateral) लूप लगभग 300nm लंबा होता है और इसमें 100 Kb तक का DNA होता है। आइये गुणसूत्र पट्टन प्रतिरूप (chromosome bending pattern) और इसकी गुणसूत्री संरचना में उपयोगिता का अगले अनुभाग में पढ़ते हैं।



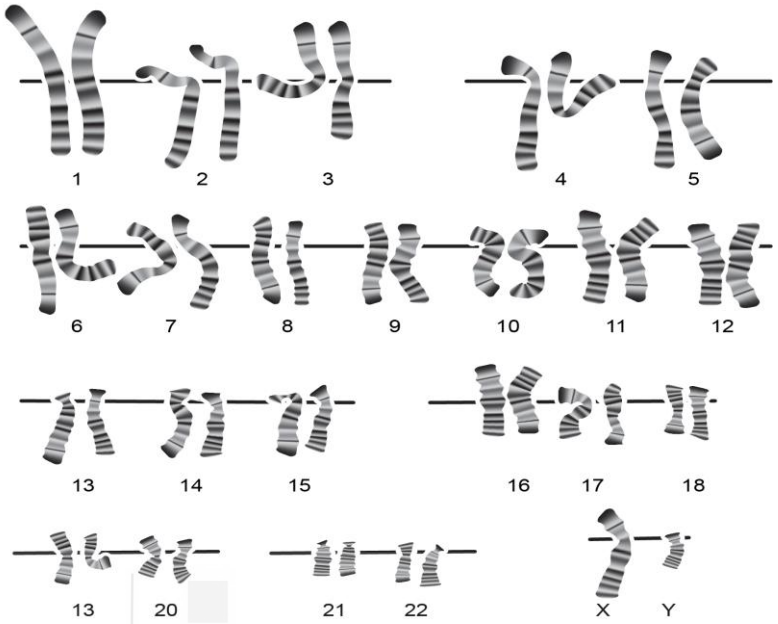
चित्र 4.3: एक मेटाफेज गुणसूत्र की संरचना।

4.3.1 गुणसूत्र पट्टन प्रतिरूप

कोशिका जननिकीयें द्वारा गुणसूत्रों का अंकन (numbering) और क्रमांकन (ordering) मानक शब्दावली द्वारा किया जाता है जो गुणसूत्र के पट्टी के संदर्भ में उपयोग किया जाता है, और किसी भी गुणसूत्र असामान्यताओं का वर्णन करता है। मनुष्यों 23 जोड़े गुणसूत्र होते हैं (लिंग–गुणसूत्र (sex-chromosome)यानी X और Y गुणसूत्र और अलिंगी–गुणसूत्र (autosomes) यानी दूसरे 22 जोड़े)। अलिंगी–गुणसूत्र का क्रम से स्थापन लम्बाई, गुणसूत्रबिंदु की स्थिति और पट्टन प्रतिरूपो (banding patterns) पर आधारित होता है।

एक गुणसूत्र पर एक विशेष जीन का स्थान खाका/नक्शा (MAP) के उपयोग द्वारा वर्णित होता है। कोशिकाजननिकी स्थान (cytogenetic location) का उपयोग करके जीन की स्थिति का वर्णन किया जाता है। जब गुणसूत्र को कुछ रसायनों के साथ अभिरंजित (stained) किया जाता है, तो यह पट्टीयों का एक विशिष्ट प्रतिरूप बनाता है, जिसका उपयोग कोशिकाजननिकी स्थान की पहचान करने के लिए किया जाता है। अधिकांशतः सबसे रंजक जिम्सा (Giemsa) का उपयोग अधिक गुणसूत्रों को अभिरंजन करने के लिए किया जाता है, जो पट्टीयों की एक श्रृंखला उत्पन्न करते हैं। जिन्हें जी–पट्टटी (G-bands) कहते हैं। गुणसूत्र जी–पट्टन प्रतिरूप उत्पन्न करने के लिए गुणसूत्र को ट्रिप्सिन (trypsin) जैसे प्रोटीनलयी (proteolylic) एंजाइम के साथ पहले उपचारित (preated) करते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र की पहचान उसके जी–पट्टन प्रतिरूप द्वारा की जा सकती है (चित्र 4.4)। यह प्रतिरूप मूल द्विगुणित सेट (diploid set) के साथ तुलना करके स्थानांतरित (translocated) गुणसूत्रों की पहचान की अनुमति देता है।

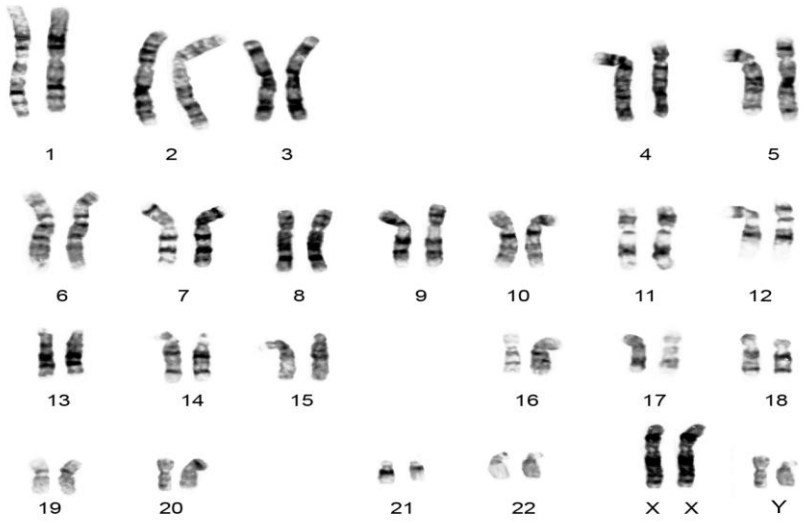
G-पट्टन या जिम्सा–पट्टन कोशिका जननिकी में प्रयुक्त एक तकनीक है जिससे संघनित गुणसूत्रों को अभिरंजित करके गुणसूत्र प्ररूप (Karyotype) के लिए दृश्यमान पट्टीयाँ बनाई जाती हैं।



चित्र 4.4: जी–पट्टन प्रतिरूप।

आर–पट्टन (चित्र 4.5) के लिए कोशिकाओं को गर्म लवण के घोल से पहले उपचारित किया जाता है, जो एडेनीन और थायमीन से समृद्ध DNA का विकृतियन (denatures) करता है जो जी–पट्टन पैटर्न के विपरीत होता है। आर–पट्टन यूक्रोमैटिन क्षेत्र का अभिरंजन (stain) कर सकता है। गुणसूत्रों को फिर जिम्सा के साथ अभिरंजित किया जाता है।

C–पट्टन गुणसूत्रबिंदु के करीब रचक हेटरोक्रोमैटिन खंडो के दृढ़ता से संकुलित क्षेत्रों का अभिरंजन करते हैं और जिन्हें जिम्सा अभिरंजन द्वारा पहचाना जाता है। राइबोसोमील RNA के जीन का अभिरंजन करने वाली सिल्वर अभिरंजन विधि (silver stairing method) को NOR-अभिरंजन के रूप में जाना जाता है जो "केन्द्रिकीय संरचना क्षेत्र" को संदर्भित करता है।

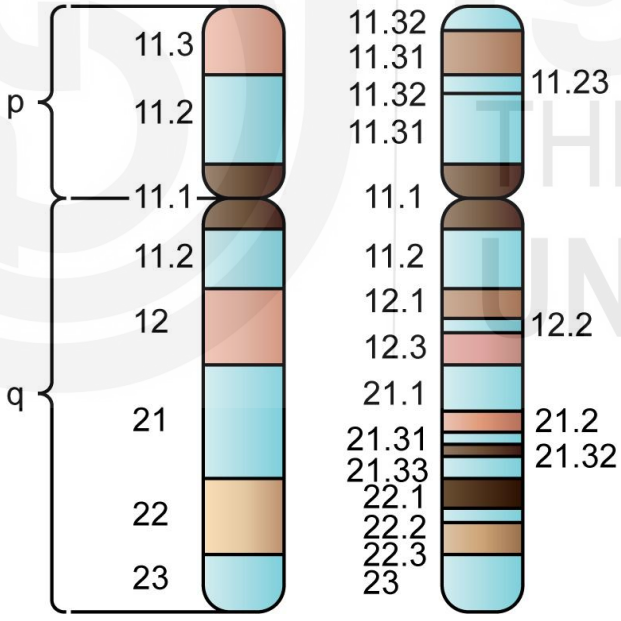


चित्र 4.5: सामान्य पुरुष गुणसूत्रप्ररूप (46, XY); आर–पट्टन (दाएं) जी–पट्टन (बाएं) का उल्टा प्रतिरूप है जी–धनात्मक पट्टी आर–पट्टन विधि द्वारा हल्की होती है और इसके विपरीत R-धनात्मक पट्टी G-पट्टी विधि द्वारा हल्के रंग की दिखती है।

इंटरनेशनल सिस्टम फॉर ह्यूमन साइटोजेनेटिक नोमेंक्लेचर (IUCN) के अनुसार, एक विशेष पट्टी निम्नलिखित अनुक्रम में नामांकित (designated) किया गया है:

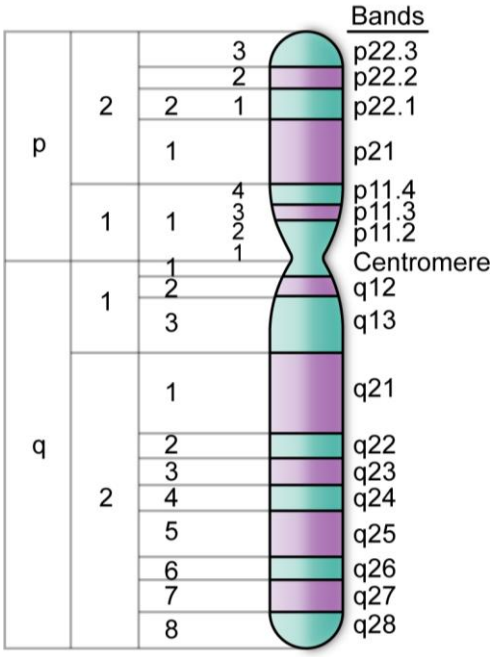
- गुणसूत्र संख्या (Chromosome number)
- भुजा का प्रतीक (Arm symbol)
- क्षेत्र संख्या (Region number)
- पट्टी संख्या (Band number)

चित्र 4.6 गुणसूत्र 18 के पट्टन प्रतिरूप के लिए एक आरेखीय चित्र प्रदान करता है। **p भुजा शीर्ष पर छोटी भुजा है** और **लंबी भुजा q भुजा है।** पट्टी की संख्या गुणसूत्रबिंदु से शुरू होती है और भुजा के छोर तक बढ़ती है। अभिरंजन का प्रकार और कोशिका विभाजन का विशेष चरण जिस पर कोशिकाओं को संवर्धन (culture) में रुद्ध (arrested) किया जाता है वह प्रतिरूप और पट्टी की संख्या को परिभाषित करता है। जब गुणसूत्र अधिक लम्बा होता है, तो कोशिकाओं से उच्च–विश्लेषण पट्टी (high resolution bands) प्राप्त होते हैं, जो चित्र 4.6 के दाहिने हाथ के गुणसूत्र में दिखाए गये हैं। जैसे–जैसे कोशिका विभाजन की प्रक्रिया आगे बढ़ती है, गुणसूत्र अधिक संघनित संकुचित और घने हो जाते हैं, जिससे चित्र 4.6 में बाएं हाथ के दिखाए गए गुणसूत्र पर पट्टन प्रतिरूप बन जाता है।



चित्र 4.6: गुणसूत्र पट्टी और उसका नामकरण (मानव गुणसूत्र 18)।

पट्टियां बड़ी संरचनाएं होती हैं, प्रत्येक में $\approx 10^7$ क्षारक युग्म का DNA होता है, जिसमें कई सैकड़ों जीन शामिल हो सकते हैं। चित्र 4.7 मानव X गुणसूत्र के पट्टियों को दर्शाता है और अलग–अलग गुणसूत्रों पर आनुवंशिक स्थितियों की पहचान करने के लिए उपयोग किये जाने वाले नामकरण भी दिखाता है। किसी दिए गए अवस्थिति को लंबी (q) भुजा या छोटी (p) भुजा पर और फिर भुजा के खंड, पट्टी और उप–पट्टी (ओं) द्वारा उसकी स्थिति से निर्दिष्ट किया जाता है।



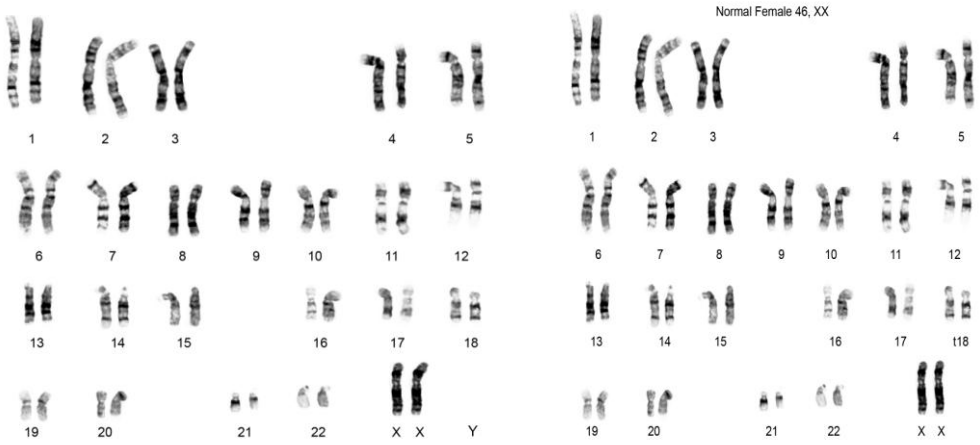
चित्र 4.7: मानव X गुणसूत्र को उसके पट्टन प्रतिरूप द्वारा अलग–अलग भागो में उप–विभाजित किया जा सकता है। यह नक्शा एक कम–वियोजन (low-resolution) को संरचना दिखाता है। उच्च वियोजन पर, कुछ पट्टियों को आगे और अधिक पट्टियों और अंतर–पट्टियों (interbands) में उप–विभाजित किया जाता है; उदाहरण के लिए p21 को आगे p21.1, p21.2 और p21.3 में विभाजित किया जा सकता है।

सामान्य तौर पर, पट्टियों में अंतर–पट्टियों की तुलना में G+C की मात्रा कम होती है जहां जीन अवस्थित होते हैं। यह मानव संजीन अनुक्रम में देखा गया है जो G+C की मात्रा में सुस्पष्ट उतार–चढ़ाव दिखाता है जब संजीन को छोटे खंडो (tranches) में विभाजित किया जाता है। मानव संजीन में औसत G+C मात्रा 100 खण्ड में 41% के औसत के साथ 35% से 60% तक होती है। जब लम्बे खंडो का परीक्षण किया जाता है, तो भिन्नता कम होती है। 43% से अधिक G+C वाले खंडो की औसत लंबाई 200–250 kb है। इससे यह स्पष्ट होता है कि पट्टी / अंतर पट्टी संरचना एक समान खंडो का वर्णन नहीं करती है जो कि G+C की मात्रा में वैकल्पिक होते हैं, हालांकि पट्टी में कम G+C खंडों की एक उच्च मात्रा होती है। जीन उच्च G+C खंडों के खंडो में संकेंद्रित होते हैं।

4.3.2 गुणसूत्र प्ररूपण

किसी जीव के सभी गुणसूत्रों की क्रमांकन (arrangement), युग्मन और क्रम–स्थापन (ordering), प्रक्रिया को गुणसूत्रप्ररूप (karyotype) और चित्रात्मक प्रस्तुति को गुणसूत्र प्ररूपण (karyotyping) के रूप में जाना जाता है। चित्र 4.8 (क और ख) क्रमशः नर और मादा गुणसूत्रप्ररूप के आरेखीय चित्रण को दर्शाता है। यह मानकीकृत अभिरंजन प्रक्रियाओं का उपयोग करके प्रत्येक गुणसूत्र के लिए विशेष संरचनात्मक विशेषताएं प्रदान करता है। गुणसूत्र प्ररूपण के चिकित्सकीय उपयोगिता है जैसे कि बच्चे के गुणसूत्रों की जांच के लिए गुणसूत्रप्ररूप परीक्षण किए जाते हैं कि वे सामान्य हैं या नहीं। शिशुओं में कभी–कभी एक अतिरिक्त, अनुपस्थित या असामान्य गुणसूत्र हो सकता है। गुणसूत्रप्ररूप परीक्षण त्रिसूत्रता 18 (trisomy 18), डाउन सिंड्रोम, त्रिसूत्रता 13 या अन्य आनुवंशिक समस्याओं जैसी किसी भी तरह की विषमता का निदान (diagnose) करने में मदद करते हैं। परीक्षण जरायु–अंकुरिका नमूनीकरण (chorionic villi

sampling) और उत्ववेधन (Amniocentesis/ गर्भवती महिला के गर्भाशय की जाँच) द्वारा किए जाते हैं जिसमें डॉक्टरों द्वारा अपरा (placenta) के भीतर जरायु–अंकुरिका से गर्भस्थ शिशु (foetus) कोशिकाओं का एक छोटा सा नमूना निकालने के लिए एक लंबी सुई डाली जाती है।



(a) **(b)**

चित्र 4.8: क) नर के गुणसूत्रप्ररूप का आरेखीय चित्रण ख) मादा के गुणसूत्रप्ररूप का आरेखीय चित्रण।

4.4 यूक्रोमैटिन और हेटरोक्रोमेटिन

अंतरावस्था (interphase) के दौरान दो प्रकार के क्रोमैटिन को विभेदित किया जा सकता है। क्रोमैटिन के घनत्व में गुणसूत्र की लंबाई के साथ परिवर्तनशीलता होती है जो प्रत्येक गुणसूत्र को बनाता है (अर्थात, यह कैसे दृढ़ता से संकुलित (packed) किया जाता है) गुणसूत्र की लंबाई के साथ भिन्न होता है। घने क्षेत्रों को हेटरोक्रोमैटिन (heterochromatin) कहा जाता है और कम घने क्षेत्रों को यूक्रोमैटिन (euctromatin) कहा जाता है।

हेटरोक्रोमैटिन संजीन के उन भागो का वर्णन करता है जो गहरे अभिरंजन (dark staining) वाले भाग हैं, जो DNA के अत्यधिक संघनित और दृढ़ता से संकुलित रूप हैं, ये एंजाइमों अथवा अनुलेखन कारकों द्वारा कम अभिगम्यता (accessibility) के कारण अनुलेखित नहीं होते हैं और देर से प्रतिकृत (replicate) द्विगुणित होते हैं। हेटरोक्रोमैटिन जीन विनियमन (gene regulation) और गुणसूत्र पूर्णता (chromosome integrity) के संरक्षण में भाग लेता है।

हेटेरोक्रोमैटिन को दो प्रकारों में विभाजित किया जाता है, जिन्हें रचक (constitutive) और वैकल्पिक (facultative) कहा जाता है।

रचक हेटेरोक्रोमैटिन हमेशा निष्क्रिय और संघनित होता है और गुणसूत्रबिंदु में मौजूद होता है। उदाहरण के लिए, पुनरावृत्तीय DNA, गुणसूत्रबिंदु DNA। यह अपने आस–पास के क्षेत्रों को प्रभावित कर सकता है।

वैकल्पिक हेटेरोक्रोमैटिन अस्थायी रूप से निष्क्रिय कार्यात्मक रूप में मौजूद हो सकता है। उदाहरण के लिए, स्तनधारियों में मादा एक्स (X) गुणसूत्र। यह RNA हस्तक्षेप (interference) के माध्यम से के परिणाम के कारण बनता है।

बोध प्रश्न 3

उपयुक्त शब्द के साथ रिक्त स्थान भरें:

क) तर्कु तंतु मेटाफेज के दौरान ..... पर संलग्न होते हैं।

ख) ..... अभिरंजक गुणसूत्र को दृश्यमान बनाने के लिए उपयोग किया जाता है।

ग) एक गुणसूत्र पट्टन प्रतिरूप में ..... और R-पट्टी शामिल होता है

घ) C पट्टन ..... के क्षेत्रों का अभिरंजन करता है।

ड़) रचक हेटेरोक्रोमैटिन ..... में पाया जाता है।

4.5 संरचनात्मक विशेषताएं

प्रत्येक प्रजाति में गुणसूत्रों की विशिष्ट संख्या मौजूद होती है। फल मक्षिका (Fruit flies) में केवल 4 जोड़े गुणसूत्र होते हैं, जबकि कृमि, यीस्ट, चूहों और कुत्तों में क्रमशः 6, 16, 20 और 39 होते हैं। अधिकांश सकेन्द्रक द्विगुणित (2n) होते हैं जबकि प्राक्केंद्रकी प्रजातियों में आमतौर पर प्रत्येक प्रमुख गुणसूत्र की एक अनुकृति (copy) होती है, हालाँकि अधिकांश कोशिकाएं आसानी से कई अनुकृतियों के साथ जीवित रह सकती हैं। मनुष्य की एक विशिष्ट शरीर कोशिका (कायिक कोशिका (somatic cell)) में 46 गुणसूत्र होते हैं, जबकि कुत्तों में 78 होते हैं। एक मानव कोशिका के 46 गुणसूत्रों को 23 जोड़े में व्यवस्थित किया गया है, और प्रत्येक जोड़ी के दो सदस्यों को के साथ एक दूसरे के समजात (homologous) कहा जाता है जिसमें एक जोड़ा लिंग गुणसूत्र (XX या XY)। मनुष्यों में 44 गैर–लिंग गुणसूत्रो को अलिंगी गुणसूत्र (autosomes) कहा जाता है। मानव शुक्राणु और अंडे, जिनकी प्रत्येक जोड़ी में से केवल एक समजात गुणसूत्र होता है, को अगुणित (haploid) (1n) कहा जाता है। जब दो प्रजनन कोशिकाएं जुड़ती हैं, तो वे एक एकल कोशिका बन जाती हैं, जिसमें प्रत्येक गुणसूत्र की दो अनुकृतियां होती हैं। यह कोशिका तब विभाजित होती है और इसके आनुक्रमिक (successor) कई बार विभाजित होते हैं, जो अंततः एक प्रौढ व्यक्ति का निर्माण करते हैं, जिसमें लगभग सभी कोशिकाओं में युग्मित गुणसूत्रों का एक पूरा समुच्चय होता है।

अब आने वाले अनुभाग में हम विषाणुज, जीवाणवीय तथा सुकेन्द्रकी गुणसूत्रों की संरचना को विस्तार से समझेंगे।

4.5.1 विषाणुज गुणसूत्र

विषाणुज गुणसूत्रों में DNA या RNA उनकी आनुवंशिक पदार्थ के रूप में शामिल हो सकता है। आनुवंशिक पदार्थ या तो एकल या द्वि–रज्जुक हो सकते हैं। संजीन का माप 3 kb से 100 kb तक भिन्न हो सकता है, जबकि बड़े विषाणु के जीनोम में लगभग 300

kb हो सकते हैं। विषाणुज गुणसूत्रो में मौजूद DNA या तो रैखिक आकार (जैसे, T2, T3, T4, T5, जीवाणुभोजी) या वृताकार आकार (जैसे, अधिकांश पशु वायरस और कुछ जीवाणुभोजी) का हो सकता है। अधिकांश पादप विषाणुओं के गुणसूत्र, (जैसे, टोबेको मोजेक वायरस, TMV) और कुछ जीवाणुभोजी और कुछ जंतु विषाणु (जैसे, पोलियोमाइलिटिस विषाणु, इंफ्लुएंजा वायरस, आदि) एक रेखीय, एकल रज्जुक RNA अणु से बने होते हैं। विषाणुज गुणसूत्र विरिओन (viron) के कैप्सिड (capsid) के अंदर दृढ़ता से संकुलित किए हो सकते हैं या पोषक कोशिका के अंदर स्वतंत्र रूप से मौजूद होते हैं। रेट्रोवायरस में प्रति कैप्सिड संजीन की दो अनुकृतियां (द्विगुणित) होती हैं, जबकि अन्य अगुणित होते हैं।

क्षार प्रतिस्थापन के कारण अलग–अलग क्षार संघटन वाले द्वि–रज्जुक DNA कई विषाणु/वायरस में मौजूद होते हैं, जिससे DNA के भौतिक गुणों में बदलाव होता है, जैसे कि गलन ताप (melting temperature), सीजियम क्लोराइड (CsCl) में उत्प्लावन घनत्व (buoyant density) आदि। टी–इवन (T-even) कोलाइविभोजी (coliphage) में साइटोसीन (C) को 5–हाइड्रॉक्सीमेथिल साइटोसीन (HMC) में संशोधित किया जाता है। कुछ मामलों में, थायमीन को 5–हाइड्रॉक्सी–मेथिल यूरेसिल या 5–डाइ–हाइड्रॉक्सीमेथिलयूरेसिल में परिवर्तित किया जाता है, उदाहरणार्थ–जीवाणुभोजीयों में। एक प्रोटीनीय सिरा के अंदर संकुलित द्वि–रज्जुक DNA अणु जीवाणुभोजी टी–4 में मौजूद होता हैं। जीवाणुभोजी टी–4 का गुणसूत्र लगभग 168,800 क्षारक युग्म लंबा होता है।

कुछ जीवाणुओं में रेखीय DNA भी मौजूद होता है, जबकि अन्य में वृत्ताकार DNA होता है। DNA में रेखीय और वृत्ताकार दोनों रूपों में मौजूद हो सकता है। जैसा कि लैम्डाकार विभोजी (λ) एक विषाणुज कण से पृथक होने पर, λ DNA रेखीय होता है, लेकिन जब यह पोषक कोशिका में प्रवेश करता है, तो वृत्ताकार हो जाता है।

बहुत छोटे जीवाणुभोजीयों में एकल–रज्जुक DNA होता है। विरिओन में पाए जाने वाले एकल–रज्जुक DNA को धनात्मक (+) रज्जुक (positive stand) कहा जाता है जो कि फेज़ कणों में सबसे ज्यादा पाया जाता है। हालांकि, दो पूरक रज्जुक अलग–अलग विरिओन (एडिनो–संबद्ध वायरस) में मौजूद होते हैं। उत्क्रमी पुनरावर्ती अनुक्रम (Inverted repeating sequence) एकल–रज्जुक DNA में मौजूद होते हैं जो हेयर पिन (hair pin) बनाते हैं। रेखीय रज्जुक और द्विगुणन में वृत्तीयन (circularization) हेयरपिन संरचनाओं के कारण होता है।

जंतुओं और पौधों के कई विंशफलकीय विषाणुओं (icosahedral viruses) में द्वि–रज्जुक RNA होता है। ऐसे विषाणु/वायरस के संजीन में कई खंड शामिल होते हैं। विभिन्न खंडों को क्षारक युग्मो के छोटे खंडों से जोड़ा जा सकता है। प्रत्येक खंड अलग–अलग अनुलेखन से गुजरता है और इसमें शामिल किण्वक/एंजाइम "द्वि–रज्जुक RNA ट्रांसक्रिप्टेज" होता है। अनुवादन (translation) पर प्रत्येक mRNA द्वारा एक अलग पॉलीपेप्टाइड श्रृंखला का उत्पादन किया जाता है।

कुछ विषाणु के संजीन में एकल रज्जुक RNA अणु होते हैं, जबकि कुछ अन्य विषाणु में कई खंड होते हैं, जैसे, इंफ्लुएंजा विषाणु में 8 खंड होते हैं। विषाणु के कैपसिड में या तो धनात्मक (+) या ऋणातमक (–) RNA रज्जुक होते हैं।

पोषक कोशिका में mRNA के रूप में कार्य करने वाले विषाणु RNA रज्जुक को प्लस (+) रज्जुक या धनात्मक/पॉजिटिव रज्जुक कहा जाता है।

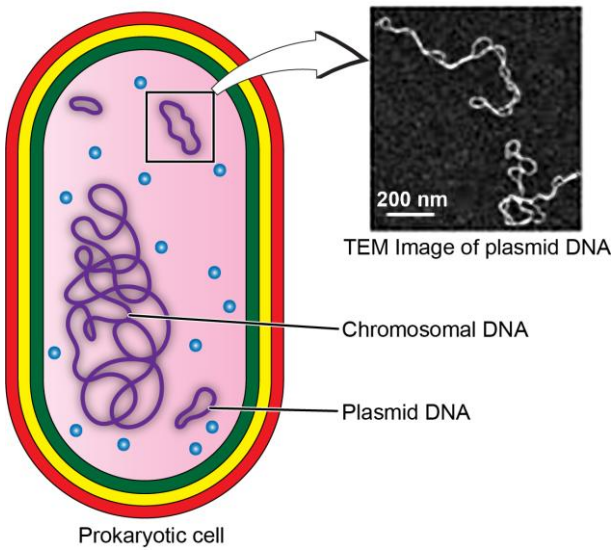
वो RNAs, जिसमें कैप नहीं होती है, लेकिन उनके 5′–छोर पर न्यूक्लियोसाइड ट्राइफॉस्फेट में समाप्त हो जाते हैं उन्हें ऋणात्मक/निगेटिव (–) रज्जुक कहा जाता है। ये रज्जुक सीधे mRNA के रूप में कार्य नहीं करते हैं। इसके बजाय, ये mRNA का उत्पादन करने के लिए, विरिओन में मौजूद एंजाइम "एकल–रज्जुक RNA ट्रांसक्रिप्टेज" द्वारा अनुलेखित होते हैं।

4.5.2 जीवाण्विक गुणसूत्र

एक एकल वृत्ताकार, द्वि–रज्जुक DNA अणु प्रत्येक प्राक्केंद्रक गुणसूत्र का निरुपण करता है; लेकिन सकेन्द्रक अधिजगत जैसे DNA अणु के चारों ओर कोई प्रोटीन और RNA नहीं होता है। विभिन्न प्राक्केंद्रकी प्रजातियों में गुणसूत्र के विभिन्न माप होते हैं। एक बृहत्काय गुणसूत्र और कई छोटे गुणसूत्र जिन्हें प्लास्मिड (plasmid) और एपीसोम (episome) कहा जाता है, अधिकांश जीवाणुओं में सभी आनुवंशिक जानकारी संचित करते हैं (चित्र 4.9)।

प्लास्मिड स्वायत्तता से द्विगुणित होने वाले वृत्ताकार DNA अणु होते हैं जो तीन जीन से कई सौ जीनों तक वहन कर सकते हैं। कुछ जीवाणुओं में मुख्य गुणसूत्र के अतिरिक्त 11 विभिन्न प्लास्मिड होते हैं। एपिसोम प्लाज्मिड के समान होते हैं, लेकिन एपीसोम या तो स्वायत्तता से या पोषक जीवाणु में समाकलित (integrated) मुख्य गुणसूत्र के भाग के रूप में प्रतिकृत हो सकते हैं।

जीवाणु सामान्य विभाजन (simple fission) द्वारा अलैंगिक प्रजनन करते हैं जिसमें प्रत्येक अनुजात कोशिका (daughter cell) को गुणसूत्र की एक अनुकृति प्राप्त होती है। वे एकगुणित (monoploid) लेकिन "बहुकेंद्रकी" होते हैं; अर्थात कोशिका में आमतौर पर गुणसूत्र की दो या अधिक समान प्रतियां होती हैं। सुकेन्द्रक अधिजगत में लैगिंक प्रजनन (sexual reproduction) के दौरान होने वाले पुनर्संयोजन घटनाएं (recombination events), स्वतंत्र अपव्यूहन (independent assortment) और अर्धसूत्री जीन विनिमय (meiotic crossing over) जीवाणुओं में समसूत्री और अर्धसूत्री कोशिका विभाजन की अनुपस्थिति के कारण नहीं होते हैं।

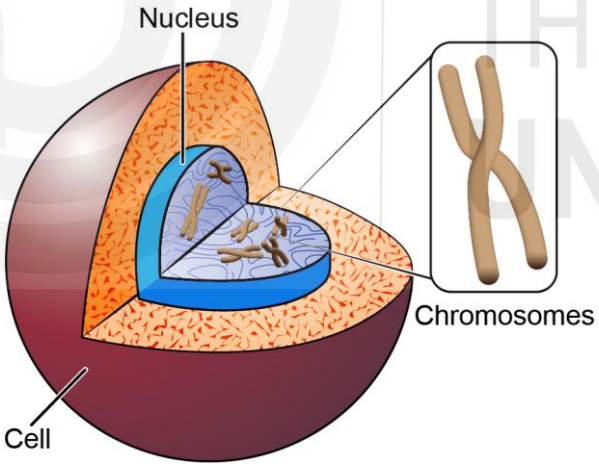


चित्र 4.9: जीवाण्विक गुणसूत्र।

4.5.3 सुकेन्द्रकी गुणसूत्र

सकेंद्रिक गुणसूत्रों की आकारिकी (morphology), रासायनिक संरचना (chemical composition) और आणविक संरचना (molecular structure) प्राक्केंद्रिक गुणसूत्रों से भिन्न होती है। सुकेन्द्रकीयों में बड़ी मात्रा में आनुवांशिक पदार्थ होते हैं। इसलिए विषाणुओं और प्राक्केंद्रको की तुलना में अधिक आनुवंशिक जानकारी होती है। सकेन्द्रकों की विभिन्न प्रजातियों में गुणसूत्रों की स्थिर (constant) और विशिष्ट संख्या मौजूद होती है। सुकेन्द्रकों में, संघनित संरचना जिसे क्रोमैटिन कहा जाता है में प्रोटीन द्वारा संवेष्टन (packaging) के कारण बहुत लंबे DNA अणु कोशिका केंद्रक में समाहित होते हैं। (चित्र 4.10) कोशिका वृद्धि और कोशिका विभाजन की सतत प्रक्रिया के दौरान सुकेंद्रकी गुणसूत्रों की संरचना चरण दर चरण परिवर्तनीय होती है।

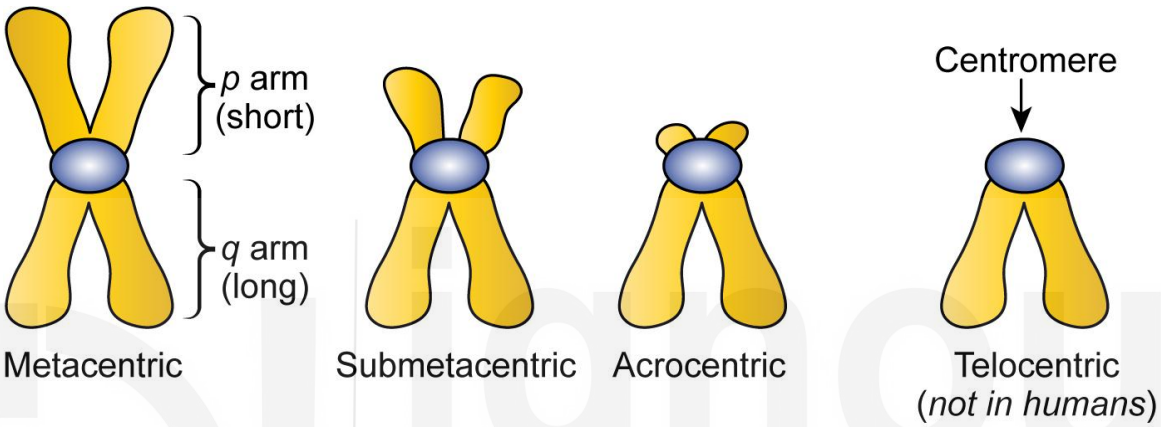
गुणसूत्रों में कोशिकीय विभाजन, प्रतिकृतयन और अनुजात कोशिकाओं में सफलतापूर्वक जाने की क्षमता होती है ताकि आनुवंशिक विविधता (genetic diversity) और उनके वंश (progeny) के अस्तित्व को सुनिश्चित किया जा सके। अंतरावस्था (interphase) के दौरान (जब कोशिका का कोई विभाजन नहीं होता है) गुणसूत्र पतले, कुंडलित, लोचदार (elastic) और तंतु जैसी संरचनाएं होते हैं और यही कारण है कि कम आवर्धन (magnification) के तहत क्रोमैटिन तंतु के रूप में जाना जाता है। ये क्रोमेटिन तंतुएं सूत्रीविभाजन के मेटाफेज चरण और अर्धसूत्री विभाजन के प्रोफेज चरण के दौरान अत्यधिक सघन और विशिष्ट फीते (ribbon) के आकार के गुणसूत्र बन जाते हैं। इन गुणसूत्रों में एक स्पष्ट भाग होता है जिसे काइनेटोकोर (kinetochore) या गुणसूत्रबिंदु (centromere) कहा जाता है जिसके विषय में आपने इस इकाई के शुरूआत में पढ़ा है।



चित्र 4.10: सुकेन्द्रिक गुणसूत्र।

सुकेन्द्रकों के कोशिका केंद्रक में कई बड़े रेखीय गुणसूत्र मौजूद होते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र में एक गुणसूत्रबिंदु मौजूद होता है, जिसमें एक या दो भुजाएं गुणसूत्रबिंदु से बाहर निकलती हैं। अधिकांश सुकेन्द्रकों में एक सामान्य वृत्ताकार सूत्रकणिकीय संजीन (mitochondrial genome) भी मौजूद होता है, और कुछ सुकेन्द्रकों अधिजगत में अतिरिक्त सामान्य वृत्ताकार या रेखीय कोशिकाद्रव्यी गुणसूत्र मौजूद हो सकते हैं। गुणसूत्रबिंदु की संख्या के अनुसार सुकेंद्रकी गुणसूत्र किसी भी गुणसूत्रबिंदु के बिना (विकेंद्रित (acentric)), एक गुणसूत्रबिंदु (एककेंद्री (monocentric), दो गुणसूत्रबिंदु (द्विकेंद्री (dicentric)) और दो से अधिक गुणसूत्रबिंदु (बहुकेंद्री (polycentric) हो सकते

हैं। गुणसूत्रबिंदु गुणसूत्रों को दो या अधिक बराबर या असमान गुणसूत्री भुजाओं में विभाजित करता है। साथ ही, सुकेंद्रकी गुणसूत्र गुणसूत्रबिंदु की स्थिति के अनुसार अंतकेंद्री (telocentric) और अग्रकेंद्रि (Acrocentric) (रॉड –आकार), उपमध्यकेंद्री (Submetacentric) (J–आकार) और मध्यकेंद्री (Metacentric) (V–आकार) के हो सकते हैं (चित्र 4.11)। कोशिका विभाजन के दौरान तक (spindle) की रेशा सूक्ष्मनलिकाएं (microtubules) गुणसूत्रीय गुणसूत्रबिंदु के साथ जुड़ जाती हैं और उन्हें कोशिका के विपरीत ध्रुवों की ओर ले जाती हैं। गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु के अलावा अन्त के एकध्रुवीय खंडों को अंतखंड (telomere) कहा जाता है। एक अतिरिक्त विशेष खंड जिसे केंद्रिका संगठक (nucleolus organizer) कहा जाता है, केंद्रिका के साथ जुड़ा हुआ है।



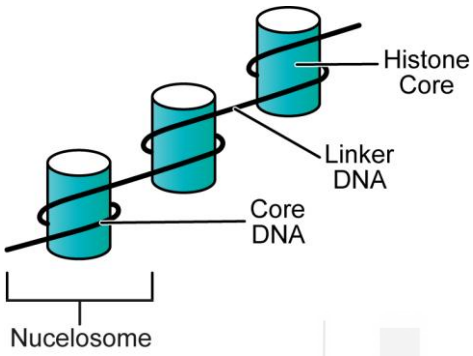
चित्र 4.11: गुणसूत्रबिंदु की स्थिति के आधार पर गुणसूत्र का नामकरण: (क) अंतकेंद्री; (ख) अग्रकेंद्रि (ग) उपमध्यकेंद्री; और (घ) मध्यकेंद्री गुणसूत्र।

सघन तरीके से संघटित (organized) DNA–प्रोटीन समष्टि सुकेंद्रकी गुणसूत्र बनाता है। यह कोशिका के केंद्रक में बड़ी मात्रा में DNA के संचय की भी अनुमति देता है। DNA और प्रोटीन की समष्टि सुकेंद्रकी केंद्रक में क्रोमैटिन बनाती है, जो गुणसूत्रों की तरह संकुलित (package) होती है। DNA की विभिन्न आवश्यकताओं के कारण, कोशिका चक्र के विभिन्न चरणों के बीच क्रोमैटिन की संरचना में महत्वपूर्ण भिन्नता होती है। अंतरावस्था के दौरान क्रोमैटिन को यूक्रोमैटिन और हेटरोक्रोमैटिन में विभाजित किया गया है।

क्रोमेटिन गुणसूत्र की उपइकाई है और क्रोमेटिन की मूल इकाई केंद्रिकाभ (nucleosome) है। सभी सुकेंद्रकी गुणसूत्रों में पाए जाने वाले DNA की सबसे सरल संवेष्ठन संरचना केंद्रिकाभ है।

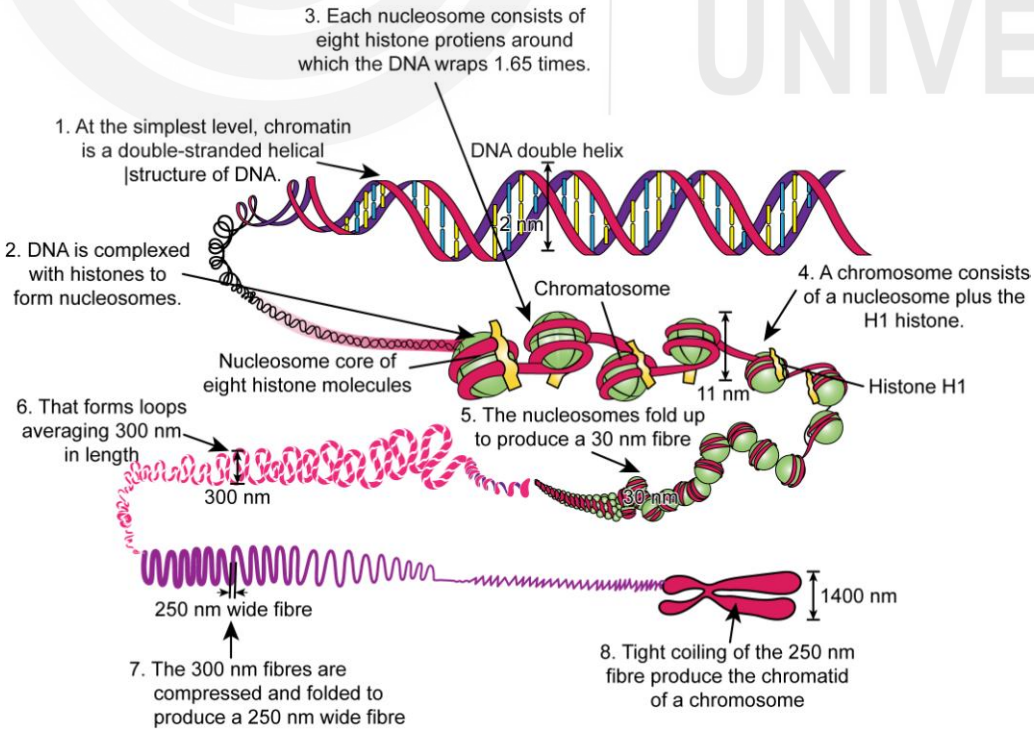
सर्वाधिक प्रचुर मात्रा में मूल प्रोटीन जो DNA से जुड़े होते हैं, **हिस्टोन** प्रोटीन कहलाते हैं। केंद्रिकाभ हिस्टोन नामक छोटे मूल प्रोटीन के एक अष्टतय (octamer) द्वारा बनता है। इस अष्टतय के चारों ओर 200 क्षारक युग्म का DNA लिपटा हुआ होता है। कोर/मूल (core) के चारों ओर 146 क्षारक युग्म के लपेटने के कारण ऋणात्मक अतिवलयन (Negative supercoiling) का निर्माण होता है और शेष क्षार अगले केंद्रिकाभ से जोड़ने का काम हैं। मूल हिस्टोन में हिस्टोन प्रोटीन H2A, H2B, H3 और H4 की दो अनुकृतियां होती हैं, और DNA जो हिस्टोन अष्टतय से जुड़ा होता हैं, उसे कोर/मूल DNA के रूप में जाना जाता है।

प्रजातियों के बीच DNA की लंबाई में भिन्नता होती है, जो केंद्रिकाभ से जुड़ी हुई होती है (चित्र 4.12)। हालांकि सभी सुकेन्द्रिकों में यह मान अपरिवर्तनीय है और 146 क्षारक युग्म होता है। अष्टतय के चारों ओर DNA दो लूपो का निर्माण करता है, जिसके कारण दो खण्ड निकट आते हैं जो कि 80 क्षारक युग्म दूर होते हैं। इस प्रकार, दो अनुक्रम जो बहुत दूर होते हैं, जीन अभिव्यक्ति (gene expression) को नियंत्रित करने के लिए एक ही नियामक प्रोटीन के साथ अंत:क्रिया (interact) कर सकते हैं। प्रत्येक हिस्टोन अष्टतय को जोड़ने वाले DNA को शृंखलक (linker) DNA कहा जाता है। शृंखलक DNA की लंबाई 8 से 114 क्षारक युग्मो तक भिन्न हो सकती है। यह भिन्नता प्रजाति विशिष्ट होती है।



चित्र 4.12: केंद्रिकाभ की रचना।

30 nm तंतुओं की रचना संघठन (organization) का अगला स्तर है, जो प्रति मोड़ लगभग 6 केंद्रिकाभ के साथ एक परिनालिका (solenoid) संरचना दिखाता है। आधार (axis) के साथ प्रत्येक 1 µm में 40 µm DNA होता है जो 40 का संकुलन (packing) अनुपात बनाता है। हिस्टोन H1 30nm संरचना की स्थिरता के लिए अतिआवश्यक है जिसे शृंखलक (linker) हिस्टोन भी कहते हैं। 700 nm संवेष्टन के अंतिम स्तर की विशेषता है और फिर मेटाफेज गुणसूत्र में 1400 nm संरचना संवेष्टन देखा जाता है (चित्र 4.13)। यह गुणसूत्र में स्कैफोल्डिंग आलंबन (scaffolding) संरचना और DNA के व्यापक लूपन (looping) का परिणाम प्रतीत होता है।



चित्र 4.13: सुकेंद्रकी गुणसूत्र संगठन का स्तर।

बोध प्रश्न 4

क) जीवाण्विक (प्राक्केंद्रिक) गुणसूत्र में DNA को ..... के रूप में वर्णित किया गया है।

ख) हिस्टोन ..... होते हैं जो आमतौर पर ..... से जुड़े होते हैं।

ग) ..... अपने जीनोम के रूप में RNA का उपयोग कर सकता है।

घ) T2 फेज को ..... कहा जाता है।

4.6 सारांश

- जंतुओं और पौधों की कोशिकाओं के केंद्रक के अंदर पाए जाने वाले तंतु जैसी संरचनाएं गुणसूत्र के रूप में जानी जाती हैं। सभी जीवित चीजों में गुणसूत्रों की अलग–अलग संख्या और आकार में भिन्नता होती हैं।
- प्रत्येक गुणसूत्र प्रोटीन और डिऑक्सीराइबोन्यूक्लिक अम्ल (DNA) के एकल अणु से बना होता है । प्रत्येक प्रकार के जीवित प्राणी विशिष्ट क्षारक अनुक्रम वाले DNA की उपस्थिति के कारण अद्वितीय होते हैं।
- जीवाणुओं में एक या दो वृत्ताकार गुणसूत्र पाए जाते हैं और उनमें सुकेंद्रक अधिजगत जैसे DNA अणु की तरह चारो ओर कोई प्रोटीन और RNA नहीं होता है।
- कोशिका के केंद्रक के अंदर जोड़े में क्रमबद्ध होने वाले रेखीय गुणसूत्र पौधों, जंतुओं और मनुष्यों में मौजूद होते हैं। वृत्ताकार गुणसूत्र सूत्रकणिका (mitochondria) में भी पाया जाता है।
- प्रजनन कोशिकाओं या युग्मकों (gametes) में गुणसूत्रों के जोड़े नहीं होते हैं, बल्कि प्रत्येक गुणसूत्र की केवल एक अनुकृति होती है।
- विषाणुज गुणसूत्रो में DNA या RNA उनके आनुवांशिक पदार्थ के रूप में शामिल किया जा सकता है। यह एकल या द्वि–रज्जुक, वृत्ताकार या रेखीय आकार का हो सकता है।
- सुकेंद्रक अधिजगत में बड़ी मात्रा में आनुवांशिक पदार्थ होता है इसलिए विषाणुओं और प्राक्केंद्रको की तुलना में अधिक आनुवंशिक जानकारी होती है। सुकेंद्रक अधिजगत के विभिन्न प्रजातियों में गुणसूत्रों की अपरिवर्तनशील और विशिष्ट संख्या मौजूद होती है।
- गुणसूत्र द्विगुणन, कोशिका विभाजन और अनुजात कोशिकाओं के निर्माण की प्रक्रिया के लिए आवश्यक होते हैं।

4.7 पाठांत प्रश्न

1. गुणसूत्र क्या हैं?
2. गुणसूत्रबिंदु का वर्णन करें।
3. प्लास्मिड तथा एपीसोम को परिभाषित करें।
4. न्यूक्लियोसोम की संरचना का वर्णन करें।
5. विषाणुओं में DNA या RNA का माप क्या है?
6. सभी सुकेंद्रकी गुणसूत्रों द्वारा साझा की गई आवश्यक संरचनात्मक विशेषताओं को रेखांकित करें।
7. गुणसूत्र पट्टी क्या हैं, और वे कैसे निर्मित होते हैं?
8. पट्टन प्रतिरूप की महत्ता क्या हैं?

4.8 उत्तर

बोध प्रश्न

1. गुणसूत्र बिन्दु के अभाव में, एनाफेज़ के दौरान सूक्ष्म नलिकाएँ गुणसूत्र बिन्दु से जुड़ने में विफल होती हैं और गुणसूत्र को खींच नहीं पाती हैं। अतः वे कोशिकाऐं जिनमें अकेन्द्रिक या द्विकेन्द्रिक गुणसूत्र होते हैं जीवित रहने में विफल होती हैं।
2. क) मेटाफेज

   ख) एक अर्धगुणसूत्र

   ग) केंद्रिकाभ

   घ) डब्ल्यू० फ्लेमिंग

   ड़) अर्धगुणसूत्र
3. क) काइनेटोकोर

   ख) जिम्सा

   ग) हल्की, गहरी रंग।

   घ) हेटरोक्रोमैटिन

   ड़) गुणसूत्रबिन्दु

4. क) एक एकल वृत्ताकार द्वि–कुंडलित अणु।

   ख) मूल प्रोटीनय; DNA

   ग) विषाणु

   घ) TMV

पाठांत प्रश्न

1. कोशिकाओं के केंद्रक में पाए जाने वाले DNA और प्रोटीन की संघठित संरचना के रूप में गुणसूत्र को परिभाषित किया गया है।

2. यह गुणसूत्र का एक गैर–अभिरंजित स्थानीयकृत क्षेत्र है जिसके साथ तर्कु रेशा संलग्न प्राथमिक संकीर्णन या गुणसूत्रबिंदु या गतिबिंदु के रूप में जाना जाता है।

3. एक प्लास्मिड एक वृत्ताकार, छोटा, द्वि–रज्जुक DNA अणु है जो एक कोशिका के गुणसूत्र DNA से अलग होता है। यह स्वाभाविक रूप से जीवाण्विक कोशिकाओं में मौजूद होता है, और कुछ सुकेंद्रकी अधिजगत में भी पाया जाता है। एपीसोम एक जननिक पदार्थ है जो कभी कभी स्वतंत्र रूप से मौजूद होता है, जबकि अन्य समय गुणसूत्र में समाकलन करने में सक्षम होता है उदाहरण स्वरूप निवेशन अनुक्रमें (insertion sequences) और ट्रांसपोजॉन। विषाणु एपीसोम का एक उदाहरण है।

4. अनुभाग 4.5.3 देखें।

5. छोटे विषाणुओं में 3 kb जबकि बड़े विषाणुओं में लगभग 300 kb का संजीन हो सकता है ।

6. एक गुणसूत्रबिंदु, प्रत्येक छोर पर एक अंतखंड, और एक या एक से अधिक पृतिकृतियन का आरंभन।

7. कुछ अभिकर्मक विशिष्ट उपचार के बाद विशिष्ट गुणसूत्र खंडो का अभिरंजन कर देते हैं जिन्हें पट्टी के रूप में जाना जाता है जो दूसरों की तुलना में अधिक प्रबल होते हैं।

8. ये पट्टन प्रतिरूप विशेष गुणसूत्रों के लिए विशिष्ट होते हैं और गुणसूत्र की लंबाई के साथ सीमा चिह्न के रूप में काम करते हैं ताकि समान माप और आकार के गुणसूत्रों को अलग किया जा सके।