अध्याय – 4
कोशिका विभाजन
(Cell Division)

4.1 परिचय :

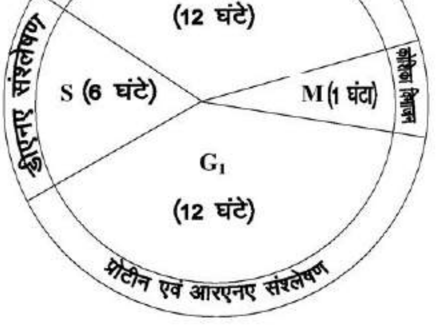
कोशिका के बारे में आपने पिछले अध्याय में पढ़ा है कि कोशिका जीवों की संरचनात्मक व कार्यात्मक इकाई है। जीवों में वृद्धि, विकास व जनन एक विशेषता है। अतः कोशिकाएँ विभाजित होकर नई पुत्री कोशिकाओं का निर्माण करती हैं। ये नवनिर्मित पुत्री कोशिकाएँ स्वयं वृद्धि व विभाजन करती हैं। इस प्रकार पैतृक कोशिका से पुत्री कोशिकाएँ व इनकी वृद्धि तथा पुनः विभाजन का क्रम चलता रहता है जिससे एक कोशिका से करोड़ों कोशिकाओं का निर्माण होकर जीवों के शरीर का निर्माण होता है।

कोशिका विभाजन के वृद्धि के अलावा अन्य महत्व भी हैं, जैसे– क्षतिग्रस्त ऊत्तकों के पुनरोत्पादन, नए अंगों की उत्पत्ति, पुराने ऊत्तकों तथा पुरानी कोशिकाओं के प्रतिस्थापन तथा लैंगिक एवं अलैंगिक जनन।

जीवों में मुख्यतः दो प्रकार के कोशिका विभाजन पाये जाते है। (1) समसूत्रण (Mitosis), तथा (2) अर्द्धसूत्रण (Meiosis)। इसके अतिरिक्त असूत्री विभाजन (Amitosis) जो कि प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं में पाया जाता है।

4.2. कोशिका चक्र

जीवों में कोशिका विभाजन के समय क्रमशः गुणसूत्रों का टूटना, डीएनए प्रतिकृति व कोशिका वृद्धि प्रक्रियाएँ सम्पन्न होती है तथा पुत्री कोशिकाओं में इनकी पैतृक कोशिकाओं के जीनोम का स्थानान्तरण होता है। जीवों में घटनाओं का एक निश्चित क्रम जिसमें कोशिका अपने जीनोम का द्विगुणन, अन्य घटकों का संश्लेषण तथा कोशिका के विभाजन से दो नई संतति कोशिकाओं का निर्माण कोशिका चक्र कहलाता है। उदाहरणार्थ– *विसिया फाबा (Vicia faba)* के मूलाग्र (root-tip) का कोशिका चक्र लगभग 31 घण्टे का है (चित्र 4.1)। कोशिका चक्र की विभिन्न प्रक्रियाओं की अवधियाँ केवल विभिन्न जीवों में ही विविध नहीं होती है, बल्कि एक ही जीव के विभिन्न ऊत्तकों में भी भिन्न होती है।



चित्र 4.1 *विसिया फाबा* के मूलाग्र का कोशिका चक्र

समसूत्री कोशिका विभाजन के कोशिका चक्र में दो अवस्थाएँ होती हैं : (1) अन्तरावस्था (Interphase) (2) एम अवस्था (सूत्री विभाजन) (Mitosis phase)। समसूत्री कोशिका विभाजन की विभिन्न अवस्थाओं में केन्द्रक कला तथा केन्द्रिक की भिन्न–भिन्न स्थितियां दिखाई देती है (सारणी 4.1)।

4.2.1. अन्तरावस्था

समसूत्रण (Mitosis) की अंत्यावस्था (Telophase) के बाद तथा अगला विभाजन शुरू होने से पहले की अवस्था को अंतरावस्था कहते हैं। इस अवस्था में गुणसूत्र अकुंडलित तथा पूरी तरह फैले होते हैं। इस अवस्था में केन्द्रिक, केन्द्रक कला उपस्थित होते हैं तथा इसे कोशिका विभाजन की अवस्था नहीं कहा जा सकता है। कोशिका चक्र में अन्तरावस्था की अवधि कोशिका विभाजन की अन्य अवस्थाओं की अवधि से काफी लम्बी होती है।

अन्तरावस्था को निम्नलिखित तीन उपअवस्थाओं में बाँटा गया है :– (i) प्रथम अन्तराल उपअवस्था (First gap or G_1) (ii) संश्लेषण उपअवस्था (Synthesis or S) (iii) द्वितीय अन्तराल उपअवस्था (Second gap or G_2)

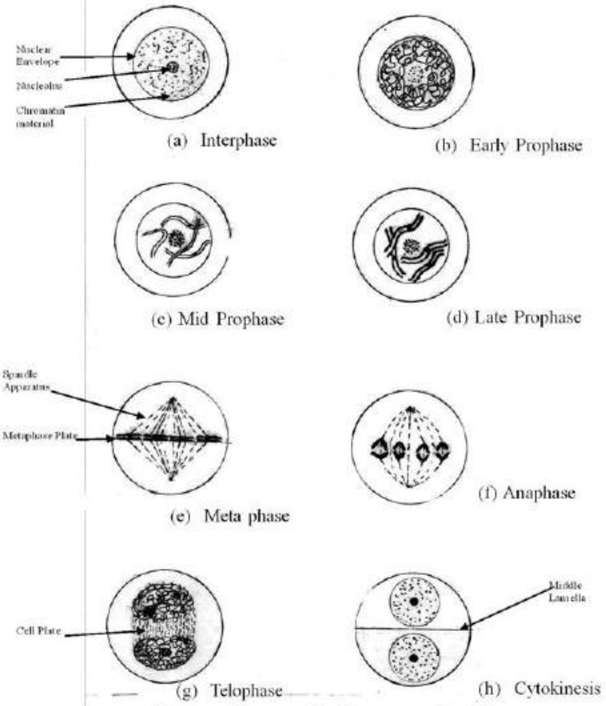
प्रथम अन्तराल (G_1 Phase) : समसूत्री विभाजन एवं डीएनए संश्लेषण के बीच अन्तराल की अवस्था है। यह कोशिका चक्र की सबसे लम्बी अवस्था है तथा इसमें कोशिका की अधिकतम वृद्धि होती है। इस अवस्था में आरएनए तथा प्रोटीन का संश्लेषण एवं डीएनए संश्लेषण के लिए आवश्यक पदार्थों का संश्लेषण होता है।

संश्लेषण उप अवस्था (S Phase) : इस उपअवस्था में डीएनए का संश्लेषण होता है जिससे गुणसूत्रों की प्रतिकृति होती है। हिस्टोन प्रोटीन का संश्लेषण भी इसी उपअवस्था में होता है।

द्वितीय अन्तराल उपअवस्था (G_2 Phase) : यह संश्लेषण उपअवस्था के बाद की अवस्था है। इस उपअवस्था में प्रोटीन व आरएनए का संश्लेषण होता है। इस उपअवस्था में एक प्रकार के दूत आरएनए का निर्माण होता है जो कोशिका विभाजन के लिए आवश्यक है।

4.2.2. एम अवस्था (Mitosis phase)

इस अवस्था में समसूत्री कोशिका विभाजन होता है। यह कोशिका चक्र की सबसे छोटी अवस्था होती है। उदाहरण के तौर पर सभी जीवों जैसे मनुष्य, *वीसिया फाबा, चूहा* आदि में औसतन 24 घण्टे की कोशिका चक्र में कोशिका विभाजन सामान्यतया एक घण्टे में पूर्ण होता है। कोशिका चक्र की कुल अवधि का 95 प्रतिशत से अधिक की अवधि अन्तरावस्था में ही व्यतीत होती है (चित्र 4.1.)।



चित्र 4.1 पादप कोशिका में समसूत्री विभाजन की विभिन्न अवस्थाओं का रेखाचित्र

समसूत्री कोशिका विभाजन दो प्रमुख प्रक्रियाओं में पूर्ण होती है। प्रथम, सूत्री विभाजन (Karyokinesis) के दौरान कोशिका के केन्द्रक में उपस्थित गुणसूत्रों का दो समान समूहों में बँटना तथा दो संतति केन्द्रकों की उत्पत्ति होना है। इसके तुरन्त पश्चात् द्वितीय प्रक्रिया, कोशिका द्रव्य विभाजन (Cytokinesis) में एक कोशिका का कोशिकाद्रव्य दो भागों में बंट जाता है और प्रत्येक भाग में एक केन्द्रक उपस्थित होता है। इस प्रकार दोनों प्रक्रियाओं में समसूत्री कोशिका विभाजन पूरा हो जाता है।

4.3. समसूत्री कोशिका विभाजन (Mitosis)

माइटोसिस (Mitosis) शब्द सर्वप्रथम वाल्टर फ्लेमिंग (Walter Flemming) ने 1882 में दिया। समसूत्री विभाजन में प्रत्येक गुणसूत्रों के दोनों क्रोमैटिड अलग–अलग ध्रुवों पर जाते हैं, जिससे एक कोशिका से उत्पन्न दो पुत्री कोशिकाओं में गुणसूत्रों की संख्या एवं आकारिकी आपस में तथा पैतृक कोशिका के एक समान होती है। जीवों की कायिक कोशिकाओं का विभाजन समसूत्री कोशिका विभाजन से होता है।

कोशिका विभाजन एक सतत प्रगतिशील प्रक्रिया है और केन्द्रक तथा गुणसूत्रों की आकारिकी में परिवर्तन के आधार पर सूत्री कोशिका विभाजन को चार अवस्थाओं में विभाजित किया गया है :–

(1) पूर्वावस्था (Prophase)

(2) मध्यावस्था (Metaphase)

(3) पश्चावस्था (Anaphase)

(4) अन्त्यावस्था (Telophase)

4.3.1. पूर्वावस्था (Prophase)

अन्तरावस्था की S व G_2 उपअवस्था के पश्चात् पूर्वावस्था सूत्री विभाजन की पहली घटना हैं। S व G_2 उपअवस्था में गुणसूत्रों के प्रतिकृति होने के बाद गुणसूत्र पतले, तन्तुमय, अकुण्डलित आपस में गुँथे होने के कारण स्पष्ट नहीं दिखाई देते हैं। इस अवस्था के शुरू होने के साथ ही गुणसूत्र छोटे, कुण्डलित और अधिक स्पष्ट हो जाते हैं। मध्य पूर्वावस्था में गुणसूत्रों के दोनों क्रोमेटिड साफ दिखाई पड़ने लगते हैं। इस अवस्था के अन्त तक सभी गुणसुत्र काफी छोटे तथा मोटे हो जाते हैं। पूर्वावस्था में केन्द्रिक, केन्द्रक कला उपस्थित रहते हैं, लेकिन तर्कु उपकरण अनुपस्थित होता है। यह अवस्था सूत्री विभाजन की सबसे लम्बी अवस्था है।

4.3.2. मध्यावस्था (Metaphase)

केन्द्रक कला पूर्णरूप से विघटित होकर अन्तःप्रद्रव्यी जालिका के अवयवों में मिल जाती है। केन्द्रिक भी इस अवस्था के शुरू में अदृश्य हो जाता है। इसमें गुणसूत्र अधिक सघन हो जाते है।यह अवस्था गुणसूत्र के अध्ययन के लिए उपयुक्त मानी जाती है।

मध्यावस्था में गुणसूत्र के दोनों क्रोमेटिड गुणसूत्र बिन्दु (Centromere) पर जुड़े स्पष्ट दिखाई देते हैं। ये गुणसूत्र कोशिका की मध्यवर्ती पट्टिका पर एकत्रित हो जाते हैं। गुणसूत्र बिन्दु की सतह पर एक छोटी बिम्ब आकार की रचना मिलती है जिसे काइनेटोकोर कहते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र का एक क्रोमेटिड एक ध्रुव से तर्कुतंतु द्वारा अपने काइनेटोकोर के द्वारा जुड़ जाता है, वही इसका दूसरा क्रोमेटिड का काइनेटोकोर विपरीत ध्रुव के तर्कुतंतु से जुड़ जाता है। इस अवस्था की मुख्य विशेषताएँ निम्न हैः–

- केन्द्रिक तथा केन्द्रक कला अनुपस्थित।
- गुणसूत्रों का मध्यवर्ती पट्टिका पर विन्यास।
- गुणसूत्रों का छोटा व मोटा होना।
- तर्कु उपकरण की उपस्थिति तथा क्रोमेटिड्स के काइनेटोकोर से जुड़ना।

4.3.3. पश्चावस्था (Anaphase)

इस अवस्था के आरम्भ में मध्यवर्ती पट्टिका पर स्थित प्रत्येक गुणसूत्र के दोनों भगिनी क्रोमेटिड (Sister chromatid) एक साथ गुणसूत्र बिन्दु से टूट कर अलग होने लगते हैं। मध्यवर्ती पट्टिका से ध्रुवों की ओर सबसे पहले गुणसूत्र बिन्दु का संचलन होता है। क्रोमैटिडों की दोनों भुजाएँ गुणसूत्र बिन्दु से मध्यवर्ती पट्टिका की ओर लटकी हुई दिखती हैं। पश्चावस्था की निम्न विशेषताएँ हैं :–

- गुणसूत्र बिन्दु विखंडित होकर, भगिनी क्रोमेटिड अलग होने लगते हैं।
- भगिनी क्रोमेटिड विपरीत ध्रुवों की ओर जाने लगते हैं।

4.3.4. अन्त्यावस्था (Telophase)

सूत्री विभाजन की अन्तिम अवस्था के प्रारम्भ में विपरीत ध्रुवों पर एकत्रित क्रोमेटिड्स अकुंडलित होने लगते है, जिससे वे लम्बे व पतले हो जाते हैं, और वे ऊन के एक ढ़ीले गोले

सारणी 4.1 समसूत्री कोशिका विभाजन में केन्द्रक कला व केन्द्रिक की स्थितियां :

क.स.	अवस्था	केन्द्रक कला	केन्द्रिक
1.	अन्त्रावस्था	केन्द्रक कला स्पष्ट दिखाई देती है	केन्द्रिक स्पष्ट दिखाई देता है।
2.	आरम्भिक पूर्वावस्था	केन्द्रक कला स्पष्ट दिखाई देती है	केन्द्रक के अंदर केन्द्रिक स्थित होता है।
3.	पश्च पूर्वावस्था	केन्द्रक कला लुप्त होने की प्रक्रिया में होते है।	केन्द्रिक भी लुप्त होने की प्रक्रिया में होता है।
4.	मध्यावस्था	केन्द्रक कला अनुपस्थित होती है।	केन्द्रिक भी अनुपस्थित होता है।
5.	पश्चावस्था	केन्द्रक कला अनुपस्थित होती है।	केन्द्रिक भी अनुपस्थित होता है।
6.	अन्त्यावस्था	केन्द्रक कला क्रोमेटिन जाल के बाहर उपस्थित होती है।	केन्द्रिक स्पष्ट दिखाई देता है।
7.	कोशिका द्रव्य विभाजन	केन्द्रक कला स्पष्ट दिखाई देती है	केन्द्रिक स्पष्ट दिखाई देता है।

की भांति दिखने लगती हैं। इस अवस्था की मुख्य विशेषताएँ निम्न हैं :–

- गुणसूत्र के क्रोमेटिड्स का विपरीत ध्रुवों पर एकत्रित होना तथा इनकी पृथक पहचान समाप्त हो जाना।
- क्रोमेटिड्स समूह के चारों ओर केन्द्रक कला का निर्माण हो जाना।
- केन्द्रिक का पुनः उद्‌भव होना।

अवधि के अनुसार, पूर्वावस्था सबसे लम्बी, मध्यावस्था उससे काफी छोटी, पश्चावस्था सबसे छोटी तथा अन्त्यावस्था मध्यावस्था के समान होती है। प्याज के मूलाग्र (Root-tip) में ये अवस्थाएँ क्रमशः 71, 6.5, 2–4 एवं 3–8 मिनट की होती हैं।

4.3.5. कोशिकाद्रव्य विभाजन (Cytokinesis)

एक केन्द्रक का दो केन्द्रकों में विभाजन प्रायः केन्द्रक विभाजन या सूत्री विभाजन (Karyokinesis) कहलाता है और इसके बाद कोशिकाद्रव्य विभाजन होता है। कोशिकाद्रव्य विभाजन पश्चावस्था के अन्त में शुरू होकर अन्त्यावस्था के तुरन्त बाद पूर्ण हो जाता है। जन्तुओं में कोशिका द्रव्य विभाजन के समय जीवद्रव्य कला में एक संकीर्णन उत्पन्न होता है। यह संकीर्णन धीरे–धीरे चारों ओर से गहरा होता जाता है तथा अन्त में केन्द्र में आपस में मिलने से कोशिकाद्रव्य दो भागों में बंट कर दो संतति कोशिकाएँ बनाता है।

पौधों में कोशिकाद्रव्य विभाजन अन्य प्रक्रिया द्वारा सम्पन्न होता है। पौधों की कोशिकाओं में अधिक दृढ़ कोशिका भित्ति होती है। ऐसे में कोशिका प्लेट का निर्माण होता है। कोशिका प्लेट सर्वप्रथम प्रायः केन्द्र में बननी आरम्भ होती है, जहाँ से चारों ओर परिधि की ओर बढ़कर पूरी हो जाती है। कोशिका प्लेट में कैल्सियम तथा मैग्नेशियम पैक्टेट स्त्रावित होने से यह मध्य पटलिका में रूपान्तरित हो जाती है। मध्य पटलिका के निर्माण के बाद उसके दोनों ओर प्रारम्भिक भित्तियों का जमाव होता है। इसके पश्चात् सैलूलोज की द्वितीयक भित्ति बनती है। कोशिकाद्रव्य विभाजन के समय कोशिकांग जैसे सूत्रकणिका व लवकों का दो संतति कोशिकाओं में वितरण हो जाता है।

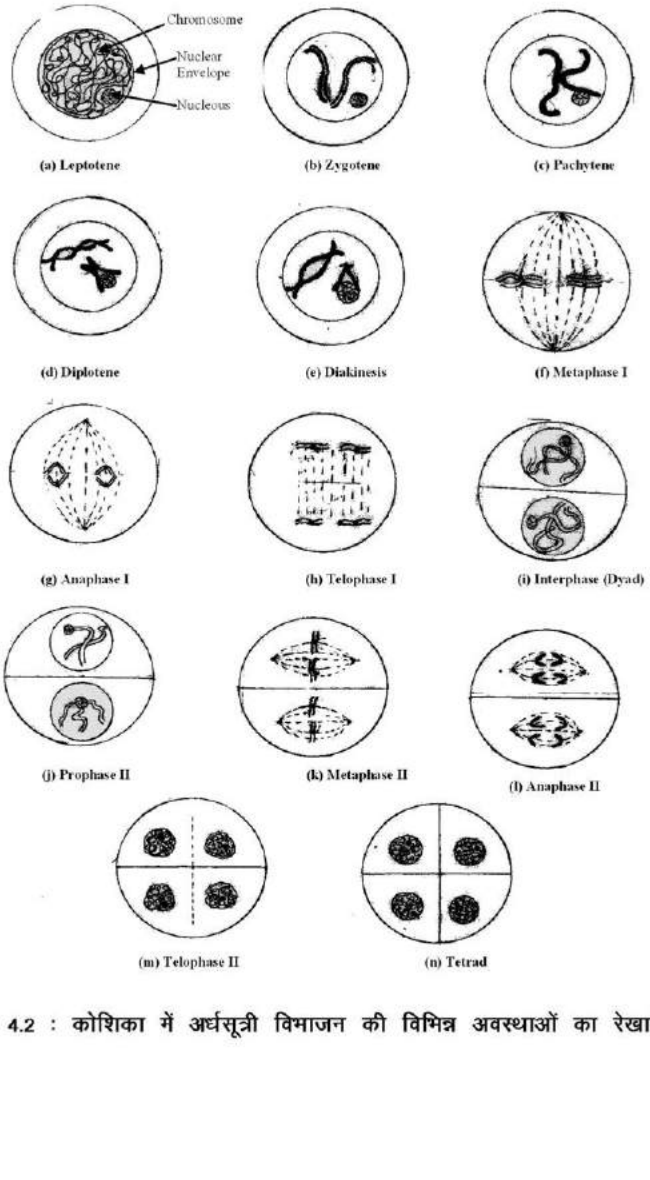
4.4. समसूत्री कोशिका विभाजन का महत्त्व

- बहुकोशिकीय जीवों में वृद्धि व ऊतकों का पुनरुत्पादन समसूत्री विभाजन के द्वारा होता है।
- क्षतिग्रस्त ऊतकों की मरम्मत।
- कुछ पुराने ऊतकों (जैसे आँत की उपकला) एवं कोशिकाओं (जैसे लाल रूधिर कणिकाओं) का लगातार प्रतिस्थापन।
- नए अंगों, जैसे पौधों में जड़ों, प्ररोहों की शाखाओं आदि, की उत्पत्ति।
- पौधों में अलैंगिक जनन द्वारा जनक पौधों के एक समान संतति उत्पन्न करना।

• पादपों में अर्धसूत्री विभाजन से उत्पन्न अगुणित (haploid) बीजाणुओं (Spores) से युग्मकों का निर्माण समसूत्री कोशिका विभाजन से होता है।

4.5. अर्धसूत्री कोशिका विभाजन (Meiosis)

मियोसिस शब्द फार्मर एवं मूरे ने 1905 में दिया। अर्धसूत्री विभाजन प्रायः युग्मक बनने के समय जीवों के जनन ऊतको में होता है। लैंगिक जनन द्वारा उत्पन्न संतति में दो युग्मकों का संयोजन होता है तथा युग्मकों में अगुणित गुणसूत्र समूह पाया जाता है। युग्मकों का निर्माण जननांगों में उपस्थित द्विगुणित कोशिकाओं के अर्धसूत्री विभाजन से होता है। वह कोशिका विभाजन जिससे कोशिका में गुणसूत्रों की संख्या घट कर आधी रह जाती है। अर्धसूत्री विभाजन पूर्व (Premeiotic) अन्तरावस्था के बाद लगातार बिना 'डीएनए



चित्र 4.2 : कोशिका में अर्धसूत्री विभाजन की विभिन्न अवस्थाओं का रेखाचित्र

संश्लेषण' के दो बार केन्द्रकी विभाजन होता है इस प्रकार के विभाजन को अर्धसूत्री विभाजन कहते हैं। लैंगिक जनन करने वाले जीवों के जीवन चक्र में अर्धसूत्री विभाजन द्वारा अगुणित अवस्था उत्पन्न करना एवं निषेचन द्वारा द्विगुणित अवस्था पुनः स्थापित होती है। पादपों व प्राणियों में युग्मकजनन के दौरान अर्धसूत्री विभाजन होता है, जिसके परिणामस्वरूप अगुणित युग्मक उत्पन्न होते हैं। जीवों में तीन प्रकार के अधसूत्री विभाजन पाये जाते है : (i) आदि या युग्मनजीय अर्धसूत्री, (ii) मध्य या स्पोरिक अर्धसूत्री, एवं (iii) अन्त या युग्मकीय अर्धसूत्री विभाजन। आदि या युग्मनजीय अर्धसूत्री विभाजन निम्न वर्गीय पादपों में पाया जाता है। अधिकांश कवकों में निषेचन के तुरन्त बाद अर्धसूत्री विभाजन होता है। मध्य अर्धसूत्री विभाजन सभी उच्च पादपों में होता है। इस प्रकार के अर्धसूत्री विभाजन से अगुणित (haploid) बीजाणुओं (spores) का निर्माण होता है और इन बीजाणुओं में समसूत्री विभाजन से युग्मक बनते है। लगभग सभी जन्तुओं में अन्त अर्धसूत्री विभाजन पाया जाता है। अतः जन्तुओं में अर्धसूत्री विभाजन से सीधे युग्मकों की उत्पत्ति होती है।

अर्धसूत्री विभाजन की मुख्य विशेषताएं निम्न है :

- अर्धसूत्री विभाजन के दौरान, केन्द्रक का दो बार विभाजन होता है इन विभाजनों को क्रमशः प्रथम अर्धसूत्री विभाजन तथा द्वितीय अर्धसूत्री विभाजन कहते हैं, अर्धसूत्री विभाजन में डीएनए प्रतिकृति केवल दोनों विभाजन के अन्त में अन्तरावस्था में ही होती है।
- जन्तु कोशिकाओं में प्रत्येक केन्द्रक विभाजन के बाद कोशिका द्रव्य विभाजन होता है, लेकिन पादप कोशिकाओं में केन्द्रक विभाजन द्वितीय के बाद दोनों कोशिका द्रव्य विभाजन समकालीन होते हैं।
- अर्धसूत्री विभाजन प्रथम न्यूनकारी विभाजन, जिससे पुत्री कोशिकाओं में गुणसूत्रों की संख्या आधी रह जाती है।
- अर्धसूत्री विभाजन प्रथम में समजात गुणसूत्रों का युगलन व पुनर्योजन होता है।
- अर्धसूत्री विभाजन द्वितीय के अंत में चार अगुणित कोशिकाएँ बनती हैं।

4.5.1. अर्धसूत्री विभाजन पूर्व अंतरावस्था (Premeiotic Interphase)

अर्धसूत्री विभाजन शुरू होने के पहले कोशिकाएं अन्तरावस्था में रहती हैं जिसे अर्धसूत्री विभाजन की पूर्व अन्तरावस्था कहते हैं। इसकी संश्लेषण उपावस्था (S-phase) में एक विशेष प्रकार का हिस्टोन संश्लेषित होता है; जिससे कोशिकाएँ अर्धसूत्री विभाजन में प्रवेश के लिए प्रेरित होती है। कोशिकाओं का अर्धसूत्री विभाजन में प्रवेश G_2 अवस्था में संश्लेषित कुछ अज्ञात पदार्थों पर निर्भर होता है। अर्धसूत्री विभाजन में दो विभाजन होते हैं परन्तु संश्लेषण उपावस्था केवल एक बार, अर्धसूत्री पूर्व अन्तरावस्था, में ही आती है। अर्धसूत्री विभाजन में गुणसूत्रों की प्रतिकृति केवल एक बार होती है, परन्तु उनका विभाजन दो बार होता है। अर्धसूत्री कोशिका विभाजन में भी समसूत्री कोशिका विभाजन की तरह विभिन्न अवस्थाओं में केन्द्रक कला तथा केन्द्रिक की भिन्न–भिन्न स्थितियां दिखाई देती है (सारणी 4.2)।

अर्धसूत्री विभाजन को निम्न अवस्थाओं में वर्गीकृत किया गया है (चित्र 4.2) :

प्रथम अर्धसूत्री विभाजन	द्वितीय अर्धसूत्री विभाजन
प्रथम पूर्वावस्था	द्वितीय पूर्वावस्था
प्रथम मध्यावस्था	द्वितीय मध्यावस्था
प्रथम पश्चावस्था	द्वितीय पश्चावस्था
प्रथम अन्त्यावस्था	द्वितीय अन्त्यावस्था

4.5.2. प्रथम अर्धसूत्री विभाजन (Meiosis I) :

पूर्वावस्था प्रथम (Prophase I) :

अर्धसूत्री विभाजन की पूर्वावस्था प्रथम सबसे लम्बी एवं जटिल अवस्था है। विशेष रूप से, मादा जन्तुओं में प्रथम पूर्वावस्था अत्यन्त लम्बी होती है। गुणसूत्रों के व्यवहार के आधार पर इसे पाँच उपअवस्थाओं में विभाजित किया गया है, जो निम्न प्रकार से हैः तनुपट्ट (Leptotene), युग्मपट्ट (Zygotene), स्थूलपट्ट, (Pachytene), द्विपट्ट,

(Diplotene) व पारगतिक्रम (Diakinesis)। साधारण सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखने पर तनुपट्ट (लेप्टोटीन) अवस्था में क्रोमेटिन संघनित होकर गुणसूत्र बनाते हैं तथा ये लम्बे व मणिकामय दिखाई देते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र दो क्रोमैटिडों का बना होता है। गुणसूत्रों का संघनन इस अवस्था के दौरान जारी रहता है। इसके उपरांत पूर्वावस्था प्रथम की द्वितीय **उपावस्था–युग्मपट्ट** (जाइगोटीन) आरम्भ होती है। इस उपावस्था में समजात गुणसूत्र एक दूसरे को आकर्षित करते हुए युग्म बनाते हैं जिन्हें युगली (Bivalent) कहते हैं। युगली निर्माण की क्रिया युग्मन (Synapsis) कहलाती है। पूर्वावस्था प्रथम की उपर्युक्त दोनों उपावस्थाएं स्थूलपट्ट (पैकेटीन) उपावस्था से अपेक्षाकृत कम अवधि की होती है। इस उपावस्था के दौरान युगली गुणसूत्र चतुष्क के रूप में अधिक स्पष्ट दिखाई देते हैं।

स्थूलपट्ट (पैकेटीन) : इस उपावस्था में गुणसूत्रों का संघनन होता है, जिससे गुणसूत्र छोटे व मोटे हो जाते हैं। केन्द्रिक बड़ा व केन्द्रिक संघटक क्षेत्र से जुड़ा होता है। समजात गुणसूत्रों में जीन विनिमय होता है। जीन विनिमय दो समजात गुणसूत्रों के बीच आनुवंशिक पदार्थो के आदान–प्रदान के कारण होता है। इस उपावस्था में थोड़ी मात्रा (0.3 प्रतिशत) में होने वाला डीएनए संश्लेषण संभवतया जीन विनिमय में सहायक होता है। इस अवस्था का मुख्य लक्षण है विनिमय (Crossing) है। दो विभिन्न परन्तु समजात क्रोमोसोम के क्रोमेटिड के समान टुकड़ों के आदान–प्रदान को विनिमय कहते हैं।

द्विपट्ट (डिप्लोटीन) : इस उपावस्था के समजात गुणसूत्र विनिमय बिन्दु के अतिरिक्त एक दूसरे से अलग हटने लगते हैं, जिससे प्रत्येक युगली में दो गुणसूत्र स्पष्ट दिखाई पड़ते

सारणी 4.2 : अर्धसूत्री कोशिका विभाजन में केन्द्रक कला व केन्द्रिक की स्थितियां

क.स.	अवस्था	केन्द्रक कला	केन्द्रिक
1.	पूर्वावस्था प्रथम की लेप्टोटीन अवस्था	केन्द्रक के बाहर केन्द्रक कला दिखाई देती है।	केन्द्रक के अंदर केन्द्रिक दिखाई देता है।
2.	पूर्वावस्था प्रथम की जाइगोटीन अवस्था	केन्द्रक कला स्पष्ट दिखाई देती है।	केन्द्रिक स्पष्ट दिखाई देता है।
3.	पूर्वावस्था प्रथम की पैकीटीन अवस्था	केन्द्रक कला स्पष्ट होती है।	केन्द्रिक स्पष्ट होता है।
4.	पूर्वावस्था प्रथम की डिप्लोटीन अवस्था	केन्द्रक कला स्पष्ट दिखाई देती है।	केन्द्रिक विलोपित होने की स्थिति में होता है।
5.	पूर्वावस्था प्रथम की डाईकाईनेसिस अवस्था	केन्द्रक कला पूर्ण रूप से विलोपित होती है।	केन्द्रिक पूर्ण रूप से विलोपित होता है।
6.	मध्यावस्था प्रथम	केन्द्रक कला पूर्णतः विलोपित हो चुकी है।	केन्द्रिक भी पूर्णतः विलोपित हो चुका है।
7.	पश्चावस्था प्रथम	केन्द्रक कला अनुपस्थित होती है।	केन्द्रिक भी अनुपस्थित होता है।
8.	अन्त्यावस्था प्रथम	केन्द्रक कला पुनः बन जाती है।	केन्द्रिक भी पुनः बन जाता है।
9.	पूर्वावस्था द्वितीय	आरम्भ में केन्द्रक कला का जाल स्पष्ट दिखाई देता है अंत में दिखाई नहीं देता है।	केन्द्रिक का जाल भी स्पष्ट दिखाई देता है। अंत में दिखाई नहीं देता।
10.	मध्यावस्था द्वितीय	केन्द्रक कला अनुपस्थित होती है।	केन्द्रिक भी अनुपस्थित होता है।
11.	पश्चावस्था द्वितीय	केन्द्रक कला अनुपस्थित होती है।	केन्द्रिक भी अनुपस्थित होता है।
12.	अन्त्यावस्था द्वितीय	केन्द्रक कला पुनः बन जाती है।	केन्द्रिक का भी पुनः निर्माण हो जाता है।

हैं। इसलिए इस उपावस्था का नाम द्विपट्ट (डिप्लोटीन) पड़ा। विनिमय बिन्दु पर क्रोस आकार की संरचना को काएज्मेटा कहते हैं। इस अवस्था के अन्तिम चरण में काइज्मेटा गुणसूत्रों के सिरों की ओर हटने लगते है; इस क्रिया को काइज्मा उपांतीकरण (Chiasma terminalization) कहते हैं।

अर्धसूत्री पूर्वावस्था प्रथम की अन्तिम उपावस्था पारगतिक्रम (डाइकानेसिस) कहलाती है। इस उपावस्था में काइज्मेटा का उपांतीकरण पूर्ण हो जाता है लेकिन असंतति क्रोमेटिड्स के अन्तस्थ सिरे आपस में जुड़े रहते हैं। इस उपावस्था के अन्तिम चरण में केन्द्रक कला का विघटन तथा केन्द्रिक अदृश्य हो जाती है। इस अवस्था में गुणसूत्र पूर्णतया संघनित हो जाते हैं व तर्कुतंतु का निर्माण हो जाता है।

मध्यावस्था प्रथम (Metaphase I) :

प्रत्येक युगली गुणसूत्र मध्यवर्ती पट्टिका पर विन्यस्त हो जाते हैं। विपरीत ध्रुवों के तर्कुतन्तु की सूक्ष्मनलिकाएं समजात गुणसूत्रों के जोड़ों से अलग–अलग गुणसूत्र बिन्दु पर जुड़ जाते हैं।

पश्चावस्था प्रथम (Anaphase I) :

इस अवस्था में प्रत्येक युगली के दोनों समजात गुणसूत्र एक दूसरे से पूरी तरह अलग हो जाते हैं, जबकि संतति क्रोमेटिड गुणसूत्र बिन्दु से जुड़े रहते हैं।

अन्त्यावस्था प्रथम (Telophase I) :

इस अवस्था में केन्द्रक कला व केन्द्रिक पुनः प्रकट होने लगते हैं। गुणसूत्र आंशिक अकुंडलित हो जाते हैं। कोशिकाद्रव्य का विभाजन शुरू हो जाता है और कोशिका की इस अवस्था को कोशिका द्विक (Dyad) कहते हैं। दो अध र्सूत्री विभाजन के बीच की अवस्था को अंतरालावस्था (इंटरकाइनेसिस) कहते हैं और यह अल्प समय के लिए होती है तत्पश्चात् पूर्वावस्था द्वितीय शुरू होती है।

4.5.3. अर्धसूत्री विभाजन द्वितीय (Meiosis II)

पूर्वावस्था द्वितीय (Prophase II) :

अन्त्यावस्था प्रथम में गुणसूत्र का जो आंशिक अकुंडलन हुआ रहता है, वह पुनः कुंडलन हो जाने के कारण गुणसूत्र और भी अधिक संघनित हो जाते हैं, इस अवस्था के अन्त में केन्द्रिक तथा केन्द्रक कला का विघटन एवं तर्कु उपकरण (Spindle apparatus) का निर्माण होता है।

मध्यावस्था द्वितीय (Metaphase II) :

केन्द्रक कला व केन्द्रिक अनुपस्थित होते हैं। सभी गुणसूत्र के गुणसूत्र बिन्दु मध्यवर्ती पट्टिका पर विन्यसित हो जाते हैं और विपरीत ध्रुवों की तर्कुतंतु की सूक्ष्म नलिकाएं, इनके संतति क्रोमेट्डि के काइनेटोकोर से जुड़ जाती है।

पश्चावस्था द्वितीय (Anaphase II) :

इस अवस्था में गुणसूत्र का गुणसूत्र बिन्दू लम्बवत् दो भागों में बंट जाता है व प्रत्येक गुणसूत्र का एक क्रोमेटिड एक ध्रुव की ओर, तथा दूसरा क्रोमेटिड विपरीत ध्रुव की ओर चले जाते हैं। इस अवस्था का काल क्रोमेटिडों के विपरीत ध्रुवों पर पहुंचने के साथ ही पूरा हो जाता है।

अन्त्यावस्था द्वितीय (Telophase II) :

यह अवस्था अर्धसूत्री विभाजन की अन्तिम अवस्था है, जिसमें क्रोमेटिडों के दो समूह पुनः केन्द्रक कला द्वारा घिर जाते हैं। क्रोमेटिडों का अकुंडलन होने लगता है, जिससे वे ऊन के एक ढ़ीले गोले जैसे दिखने लगते हैं। केन्द्रिक का पुनः निर्माण होता हैं। कोशिकाद्रव्य विभाजन के पश्चात् चार अगुणित संतति कोशिकाओं का कोशिका चतुष्क बनता है।

4.6. अर्धसूत्री विभाजन का महत्त्व :

लैंगिक जनन करने वाले जीवों में इस प्रक्रिया से अगुणित (n) युग्मकों का निर्माण होता है। इन युग्मकों में गुणसूत्रों की संख्या कायिक गुणसूत्र संख्या की आधी होती है। अगुणित नर व मादा युग्मकों के निषेचन के बाद द्विगुणित (2n) युग्मनज बनाते हैं। जिससे लैंगिक जनन करने वाले जीवों की प्रत्येक जाति में गुणसूत्रों की संख्या पीढ़ी दर पीढ़ी

अचर रहती है। अर्धसूत्री विभाजन के अन्य महत्त्व जैसे– सहलग्न जीनों में विनियम होना, विसंयोजन, स्वतंत्र अपव्यूहन एवं जीन विनिमय द्वारा आनुवंशिक विधिवता की उत्पत्ति होना है।

सारांश

जीवों में वृद्धि व विकास कोशिका विभाजन द्वारा होता है। पैतृक कोशिकाओं से पुत्री कोशिकाओं के निर्माण को कोशिका विभाजन कहते हैं। लैंगिक जनन करने वाले प्रत्येक जीव का जीवनचक्र एक कोशिकीय युग्मनज से प्रारंभ होता है। कोशिका विभाजन जीव के वयस्क बनने के बाद भी रूकता नहीं है; बल्कि यह उसके जीवनभर चलता रहता है। जीवों में घटनाओं का एक निश्चित क्रम जिसमें कोशिका अपने जीनोम का द्विगुणन व अन्य संघटकों का संश्लेषण और तुरंत बाद में विभाजित होकर दो नई संतति कोशिकाओं का निर्माण करती है, इसे कोशिका चक्र कहते हैं। कोशिका चक्र में दो प्रावस्थाएँ होती है :

(1) अंतरावस्था : कोशिका विभाजन की तैयारी की प्रावस्था तथा

(2) सूत्री विभाजन : कोशिका विभाजन का वास्तविक समय। अंतरावस्था को G_1, S व G_2 उपअवस्थाओं में विभाजित किया गया है। G_1,उपअवस्था में आरएनए व प्रोटीन का संश्लेषण होता है S उपअवस्था में डीएनए व हिस्टोन प्रोटीन संश्लेषण होता है। G_2, उपअवस्था में आरएनए (RNA), प्रोटीन व एक विशेष दूत आरएनए का निर्माण होता है जो कोशिका विभाजन के लिए अनिवार्य है। सूत्री विभाजन को चार अवस्थाओं में विभाजित किया है। जैसे : पूर्वावस्था, मध्यावस्था, पश्चावस्था व अन्त्यावस्था। पूर्वावस्था में गुणसूत्रों का संघनन होता है। मध्यावस्था में गुणसूत्र मध्यवृत्ति पट्टिका पर एकत्रित हो जाते हैं। केन्द्रक कला व केन्द्रिक का लोप हो जाता है। पश्चावस्था में गुणसूत्र बिन्दु विभाजित होकर उनके क्रोमेटिड विपरीत ध्रुव की ओर गमन करने लगते हैं। अन्त्यावस्था में क्रोमेटिड ध्रुव पर पहुँचने के बाद लम्बे होने लगते हैं, व केन्द्रिक व केन्द्रक कला का पुनः निर्माण होता है। केन्द्रक विभाजन के बाद कोशिका द्रव्य का विभाजन होता है, इसे कोशिका द्रव्य विभाजन कहते हैं। अतः इस प्रकार के विभाजन को समसूत्री कोशिका विभाजन कहते हैं।

समसूत्री विभाजन के अलावा अर्धसूत्री विभाजन जीवों के जननांगों में उपस्थित द्विगुणित कोशिकाओं में होता है। जो युग्मक निर्माण के लिए उत्तरदायी है। इस विभाजन के बाद बनने वाले युग्मकों में गुणसूत्रों की संख्या आधी हो जाती है। लैंगिक जनन में युम्मकों के निषेचन द्वारा द्विगुणित अवस्था पुनः स्थापित हो जाती है।

अर्धसूत्री विभाजन को दो अवस्थाओं में विभाजित किया गया है। अर्धसूत्री विभाजन प्रथम, अर्धसूत्री विभाजन द्वितीय। प्रथम अर्धसूत्री विभाजन में समजात गुणसूत्र जोड़े युग्ली बनाते हैं तथा इनमें जीन विनिमय होता है। अर्धसूत्री विभाजन I की पूर्वावस्था लम्बी होती है तथा इसे पाँच उपवस्थाओं में विभाजित किया गया है। ये उपावस्थाएँ निम्न है : तनुपट्ट (लेप्टोटीन), युग्मपट्ट (जाइगोटीन), स्थूलपट्ट (पैकीटीन), द्विपट्ट (डिप्लोटीन) व पारगतिक्रम (डायाकाइनेसिस)। मध्यावस्था–I में प्रत्येक युग्ली गुणसूत्र मध्यवर्ती पटलिका पर विन्यस्त हो जाते हैं। पश्चावस्था I में समजात गुणसूत्र अलग होकर विपरीत ध्रुवों की ओर गमन करते हैं। अंत्यावस्था I के समय केन्द्रक कला व केन्द्रिक पुनः दिखाई देते हैं तथा गुणसूत्र आंशिक अकुण्डलित होते हैं। अर्धसूत्री II समसूत्री विभाजन के समान होता है। पश्चावस्था II के दौरान संतति क्रोमेटिड आपस में अलग हो जाते हैं। इस प्रकार कोशिकाद्रव्य विभाजन के पश्चात् अर्धगुणसूत्री विभाजन में चार अगुणित संतति कोशिकाओं का निर्माण होता है।

प्रश्न

1. समसूत्री कोशिका विभाजन का कार्य है :
   (क) जीवों में वृद्धि
   (ख) क्षतिग्रस्त ऊतकों के पुनरुत्पादन
   (ग) नये अंगों की उत्पत्ति
   (घ) उपर्युक्त सभी
2. अर्धसूत्री कोशिका विभाजन की कौनसी उपावस्था में जीन विनिमय होता है?
   (क) तनुपट्ट
   (ख) युग्मपट्ट
   (ग) स्थूलपट्ट
   (घ) द्विपट्ट
3. कोशिकाचक्र को परिभाषित कीजिए।
4. कोशिकाचक्र की अंतरावस्था के बारे में लिखिए।
5. पादप व जंतु कोशिकाओं में कोशिकाद्रव्य विभाजन को समझाइए।
6. अर्धसूत्री विभाजन की पश्चावस्था I व II में क्या अंतर है?
7. समसूत्री व अर्धसूत्री कोशिका विभाजन का क्या महत्त्व है?
8. अर्धसूत्री कोशिका विभाजन की पूर्वावस्था प्रथम का सचित्र वर्णन कीजिये।