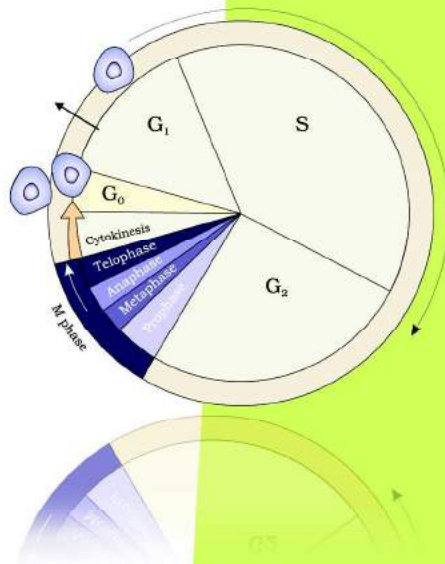




इकाई तीन

कोशिका: संरचना एवं कार्य

अध्याय 8

कोशिका: जीवन की इकाई

अध्याय 9

जैव अणु

अध्याय 10

कोशिका चक्र और कोशिका विभाजन

जीव विज्ञान जीवित जीवों का अध्ययन है। उनके स्वरूप एवं आकृति का विस्तृत विवरण ही सहज उनकी विविधता को प्रस्तुत करता है। कोशिका सिद्धांत या परिकल्पना इस विविध स्वरूपों में निहित एकत्व को इंगित करता है अर्थात् जीवन के सभी स्वरूप में कोशिकीय संगठन बताता है। इस खंड में दिए गए अध्यायों के अंतर्गत कोशिका संरचना तथा विखंडन द्वारा कोशिका वृद्धि का एक वर्णन प्रस्तुत किया गया है। इसके साथ ही कोशिका सिद्धांत जीवन प्रत्याभासों अर्थात् शरीर वैज्ञानिक व व्यावहारिक प्रक्रमों के रहस्य का बोध भी पैदा करती है। यह रहस्य जीवित प्रतिभासों के कोशिकीय संगठन की अक्षतता (अखंडता) की आवश्यकता थी, जिसे प्रदर्शित या अवलोकित किया गया। शरीर विज्ञान एवं व्यावहारिक प्रक्रमों को समझने एवं अध्ययन करने के लिए कोई भी व्यक्ति को भौतिक-रासायनिक उपागम अपनाना है तथा परिक्षण हेतु कोशिकामुक्त प्रणाली इस्तेमाल करना पड़ता है। यह उपागम हमें आण्विक भाषा में विभिन्न प्रक्रमों को वर्णित करने के योग्य बनाता है। यह उपागम जीवित ऊतकों में तत्वों एवं यौगिकों के विश्लेषण द्वारा स्थापित होता है। इससे हमें पता लग पाएगा कि एक जीवित जैविक में किस प्रकार के कार्बनिक यौगिक उपस्थित हैं। अगले चरण में, यह प्रश्न पूछा जा सकता है कि कोशिका के अंदर ये यौगिक क्या कर रहे हैं? और किस प्रकार से ये संपूर्ण शरीर विज्ञान प्रक्रम, जैसेकि - पाचन, उत्सर्जन, स्मरण, सुरक्षा, पहचानना आदि करते हैं। दूसरे शब्दों में, हम प्रश्न का उत्तर देते हैं, समस्त शरीर वैज्ञानिक प्रक्रमों का अणु आधार क्या है? यह किसी बीमारी के दौरान प्रगट असामान्य प्रक्रमों को भी स्पष्ट कर सकता है। जीवित जैविकों के इस भौतिक-रसायन उपागम को समझने एवं अध्ययन की प्रक्रिया 'न्युनीकरण जीव विज्ञान' कहलाती है। यहाँ पर जीव विज्ञान को समझने के लिए भौतिक एवं रसायनशास्त्र की तकनीकों एवं संकल्पना का उपयोग किया जाता है। इस खंड के अध्याय 9 में जैव अणु का संक्षिप्त विवरण प्रदान किया गया है।

अध्याय 8

कोशिका : जीवन की इकाई

8.1 कोशिका क्या है?

8.2 कोशिका सिद्धांत

8.3 कोशिका का समग्र अध्ययन

8.4 प्रोकैरियोटिक कोशिकाएं

8.5 यूकैरियोटिक कोशिकाएं

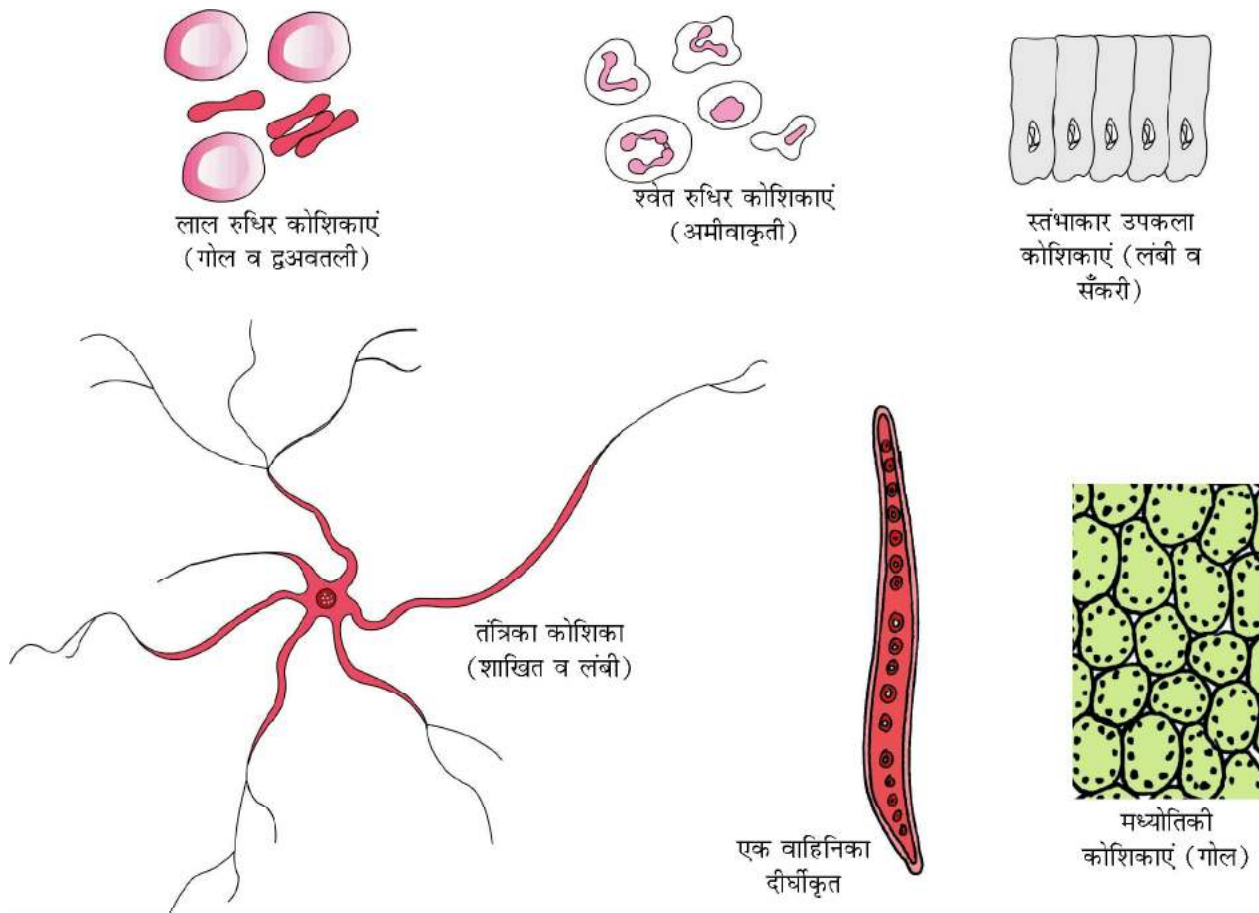
जब आप अपने चारों तरफ देखते हैं तो जीव व निर्जीव दोनों को आप पाते हैं। आप अवश्य आश्चर्य करते होंगे एवं अपने आप से पूछते होंगे कि ऐसा क्या है, जिस कारण जीव, जीव कहलाते हैं और निर्जीव जीव नहीं हो सकते। इस जिज्ञासा का उत्तर तो केवल यही हो सकता है कि जीवन की आधारभूत इकाई जीव कोशिका की उपस्थित एवं अनुपस्थित है।

सभी जीवधारी कोशिकाओं से बने होते हैं। इनमें से कुछ जीव एक कोशिका से बने होते हैं जिन्हें एकाकोशिक जीव कहते हैं, जबकि दूसरे, हमारे जैसे अनेक कोशिकाओं से मिलकर बने होते हैं बहुकोशिक जीव कहते हैं।

8.1 कोशिका क्या है?

कोशिकीय जीवधारी (1) स्वतंत्र अस्तित्व यापन व (2) जीवन के सभी आवश्यक कार्य करने में सक्षम होते हैं। कोशिका के बिना किसी का भी स्वतंत्र जीव अस्तित्व नहीं हो सकता। इस कारण जीव के लिए कोशिका ही मूलभूत से संरचनात्मक व क्रियात्मक इकाई होती है।

एन्टोनवान लिवेनहाक ने पहली बार कोशिका को देखा व इसका वर्णन किया था। राबर्ट ब्राउन ने बाद में केंद्रक की खोज की। सूक्ष्मदर्शी की खोज व बाद में इनके सुधार के बाद इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी द्वारा कोशिका की विस्तृत संरचना का अध्ययन संभव हो सका।



चित्र 8.1 विभिन्न प्रकार के आकार की कोशिकाओं का चित्र द्वारा प्रदर्शन

यूकैरियोटिक व प्रोकैरियोटिक दोनों कोशिकाओं में झिल्ली रहित अंगक राइबोसोम मिलते हैं। कोशिका के भीतर राइबोसोम केवल कोशिका द्रव्य में ही नहीं; बल्कि दो अंगकों- हरित लवक (पौधों में) व सूत्र कणिका में व खुरदरी अंतर्द्रव्यी जालिका में भी मिलते हैं।

जंतु कोशिकाओं में झिल्ली रहित तारक केंद्रक जैसे अन्य अंगक मिलते हैं, जो कोशिका विभाजन में सहायता करते हैं।

कोशिकाएं माप, आकार व कार्य की दृष्टि से काफी भिन्न होती हैं (चित्र 8.1)। उदाहरणार्थ- सबसे छोटी कोशिका माइकोप्लाज्मा $0.3 \mu\text{m}$ (माइक्रोमीटर) लंबाई की, जबकि जीवाणु (बैक्टीरिया) में 3 से $5 \mu\text{m}$ (माइक्रोमीटर) की होती हैं। पृथक की गई सबसे बड़ी कोशिका शूतरमुर्ग के अंडे के समान है। बहुकोशिकीय जीवधारियों में मनुष्य की लाल रक्त कोशिका का व्यास लगभग $7.0 \mu\text{m}$ (माइक्रोमीटर) होता है। तंत्रिका कोशिकाएं सबसे लंबी कोशिकाओं में होती हैं। ये बिंबाकार बहुभुजी, स्तंभी, घनाभ, धागे की तरह या असमाकृति प्रकार की हो सकती हैं। कोशिकाओं का रूप उनके कार्य के अनुसार भिन्न हो सकता है।

ग्लाइकोकेलिक्स विभिन्न जीवाणुओं में रचना एवं मोटाई में भिन्न होती है। कुछ में यह ढीली आच्छद होती है जिसे **अवपंक पर्त** कहते हैं व दूसरों में यह मोटी व कठोर आवरण के रूप में हो सकती है जो **संपुटिका** (केपसूल) कहलाती है। **कोशिकाभित्ति** कोशिका के आकार को निर्धारित करती है। वह सशक्त संरचनात्मक भूमिका प्रदान करती है, जो जीवाणु को फटने तथा निपातित होने से बचाती है।

जीवद्रव्यझिल्लिका प्रकृति में अर्द्धपारगम्य होती है और इसके द्वारा कोशिका बाह्य वातावरण से संपर्क बनाए रखने में सक्षम होती है। संरचना अनुसार यह झिल्ली यूकैरियोटिक झिल्ली जैसी होती है। एक विशेष झिल्लीमय संरचना, जो जीवद्रव्यझिल्ली के कोशिका में फैलाव से बनती है, को **मीसोजोम** कहते हैं। यह फैलाव **पुटिका**, **नलिका** एवं **पटलिका** के रूप में होता है। यह कोशिका भित्ति निर्माण, डीएनए प्रतिकृति व इसके संतति कोशिका में वितरण को सहायता देता है या श्वसन, स्रावी प्रक्रिया, जीवद्रव्यझिल्ली के पृष्ठ क्षेत्र, एंजाइम मात्रा को बढ़ाने में भी सहायता करता है। कुछ प्रोकैरियोटिक जैसे नीलहरित जीवाणु के कोशिका द्रव्य में झिल्लीमय विस्तार होता है जिसे वर्णकी लवक कहते हैं। इसमें वर्णक पाए जाते हैं।

जीवाणु कोशिकाएं चलायमान अथवा अचलायमान होती हैं। यदि वह चलायमान हैं तो उनमें कोशिका भित्ति जैसी पतली संरचना मिलती है। जिसे कशाभिका कहते हैं जीवाणुओं में कशाभिका की संख्या व विन्यास का क्रम भिन्न होता है। जीवाणु कशाभिका (फ्लैजिलम) तीन भागों में बँटा होता है- **तंतु**, **अंकुश** व **आधारीय शरीर**। तंतु, कशाभिका का सबसे बड़ा भाग होता है और यह कोशिका सतह से बाहर की ओर फैला होता है।

जीवाणुओं के सतह पर पाई जाने वाली संरचना **रोम** व **झालर** इनकी गति में सहायक नहीं होती है। रोम लंबी नलिकाकार संरचना होती है, जो विशेष प्रोटीन की बनी होती है। झालर लघुशूक जैसे तंतु है जो कोशिका के बाहर प्रवर्धित होते हैं। कुछ जीवाणुओं में, यह उनको पानी की धारा में पाई जाने वाली चट्टानों व पोषक ऊतकों से चिपकने में सहायता प्रदान करती है।

8.4.2 राइबोसोम व अंतर्विष्ट पिंड

प्रोकैरियोटिक में राइबोसोम कोशिका की जीवद्रव्यझिल्ली से जुड़े होते हैं। ये 15 से 20 **uS** (5S व 16S) व 30S (16S व 23S) की बनी होती हैं, जो आपस में मिलकर 70S प्रोकैरियोटिक राइबोसोम बनाते हैं। राइबोसोम के उपर प्रोटीन संश्लेषित होती है। बहुत से राइबोसोम एक संदेशवाहक आरएनए से संबद्ध होकर एक शृंखला बनाते हैं। जिसे **बहुराइबोसोम** अथवा **बहुसूत्र** कहते हैं। बहुसूत्र का राइबोसोम संदेशवाहक आरएनए से संबद्ध होकर प्रोटीन निर्माण में भाग लेता है।

अंतर्विष्ट पिंड : प्रोकैरियोटिक कोशिकाओं में बचे हुए पदार्थ कोशिकाद्रव्य में अंतर्विष्ट पिंड के रूप में संचित होते हैं। ये झिल्ली द्वारा घिरे नहीं होते एवं कोशिकाद्रव्य में स्वतंत्र रूप से पड़े रहते हैं, उदाहरणार्थ-फॉस्फेट कणिकाएं, साइनोफाइसिन कणिकाएं और ग्लाइकोजन कणिकाएं। गैस रसधानी नील हरित, बैंगनी और हरी प्रकाश-संश्लेषी जीवाणुओं में मिलती हैं।

8.5 यूकैरियोटिक कोशिकाएं (ससीमकेंद्रकी कोशिकाएं)

सभी आद्यजीव, पादप, प्राणी व कवक में यूकैरियोटिक कोशिकाएं होती हैं। यूकैरियोटिक कोशिकाओं में झिल्लीदार अंगकों की उपस्थिति के कारण कोशिकाद्रव्य विस्तृत कक्षयुक्त प्रतीत होता है। यूकैरियोटिक कोशिकाओं में झिल्लीमय केंद्रक आवरण युक्त व्यवस्थित केंद्रक मिलता है। इसके अतिरिक्त यूकैरियोटिक कोशिकाओं में विभिन्न प्रकार के जटिल गतिकीय एवं कोशिकीय कंकाल जैसी संरचना मिलती है। इनमें आनुवंशिक पदार्थ गुणसूत्रों के रूप में व्यवस्थित रहते हैं।

सभी यूकैरियोटिक कोशिकाएं एक जैसी नहीं होती हैं। पादप व जंतु कोशिकाएं भिन्न होती हैं। पादप कोशिकाओं में कोशिका भित्ति, लवक एवं एक बड़ी केंद्रीय रसधानी मिलती है, जबकि प्राणी कोशिकाओं में ये अनुपस्थित होती हैं दूसरी तरफ प्राणी कोशिकाओं में तारकाय मिलता है जो लगभग सभी पादप कोशिकाओं में अनुपस्थित होता है (चित्र 8.3)। आइए! अब प्रत्येक कोशिकीय अंगक की संरचना व कार्यविधि का अध्ययन करें।

8.5.1 कोशिका झिल्ली

वर्ष 1950 के इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी की खोज के बाद कोशिका झिल्ली की विस्तृत संरचना का ज्ञान संभव हो सका है। इस बीच मनुष्य की लाल रक्तकणिकाओं की कोशिका झिल्ली के रासायनिक अध्ययन के बाद जीवद्रव्यझिल्ली की संभावित संरचना के बारे में जानकारी प्राप्त हो सकी।

अध्ययनों के बाद इस बात की पुष्टि हुई की कोशिकाझिल्ली लिपिड की बनी होती है, जो दो सतहों में व्यवस्थित होती है। लिपिड झिल्ली के अंदर व्यवस्थित होते हैं, जिनका ध्रुवीय सिरा बाहर की ओर व जल भीरू पुच्छ सिरा अंदर की ओर होता है। इससे सुनिश्चित होता है कि संतृप्त हाइड्रोकार्बन की बनी हुई अध्रुवीय पुच्छ जलीय वातावरण से सुरक्षित रहती हैं (चित्र 8.4)। कोशिका झिल्ली में पाए जाने वाले लिपिड घटक-फास्फोग्लिसराइड्स के बने होते हैं।

बाद में, जैव रासायनिक अनुसंधानों से यह स्पष्ट हो गया है कि कोशिका झिल्ली में प्रोटीन व कार्बोहाइड्रेट पाया जाता है। विभिन्न कोशिकाओं में प्रोटीन व लिपिड का अनुपात भिन्न-भिन्न होता है। मनुष्य की रुधिराणु (इरीथ्रोसाइट) की झिल्ली में लगभग 52 प्रतिशत प्रोटीन व 40 प्रतिशत लिपिड मिलता है। झिल्ली में पाए जाने वाले प्रोटीन को अलग करने की सुविधा के आधार पर दो अंगभूत व परिधीय प्रोटीन भागों में विभक्त कर सकते हैं। परिधीय प्रोटीन झिल्ली की सतह पर होता है, जबकि अंगभूत प्रोटीन आंशिक या पूर्णरूप से झिल्ली में धंसे होते हैं।

कोशिका झिल्ली का उन्नत नमूना 1972 में सिंगर व निकोल्सन द्वारा प्रतिपादित किया गया जिसे तरल किर्मीर नमूना के रूप में व्यापक रूप से स्वीकार कर लिया गया (चित्र 8.4)। इसके अनुसार लिपिड के अर्धतरलीय प्रकृति के कारण द्विसतह के भीतर प्रोटीन पार्श्विक गति करता है। झिल्ली के भीतर गति करने की क्षमता उसकी तरलता पर निर्भर करती है।

यांत्रिक हानियों और संक्रमण से ही रक्षा नहीं करता है; बल्कि यह कोशिकाओं के बीच आपसी संपर्क बनाए रखने तथा अवांछनीय वृहद अणुओं के लिए अवरोध प्रदान करता है। शैवाल की कोशिका भित्ति सेलुलोज, गैलेक्टोन्स, मैनांस व खनिज जैसे कैल्सियम कार्बोनेट की बनी होती है, जबकि दूसरे पौधों में यह सेलुलोज, हेमीसेलुलोज, पेक्टिन व प्रोटीन की बनी होती है। नव पादप कोशिका की कोशिका भित्ति में स्थित **प्राथमिक भित्ति** में वृद्धि की क्षमता होती है, जो कोशिका की परिपक्वता के साथ घटती जाती है व इसके साथ कोशिका के भीतर की तरफ द्वितीय भित्ति का निर्माण होने लगता है।

मध्यपटलिका मुख्यतः कैल्सियम पेक्टेट की बनी सतह होती है जो आस-पास की विभिन्न कोशिकाओं को आपस में चिपकाए व पकड़े रहती है। कोशिका भित्ति एवं मध्य पटलिका में जीवद्रव्य तंतु (प्लाज्मोडैस्मेटा) आड़े-तिरछे रूप में स्थित रहते हैं। जो आस-पास की कोशिका द्रव्य को जोड़ते हैं।

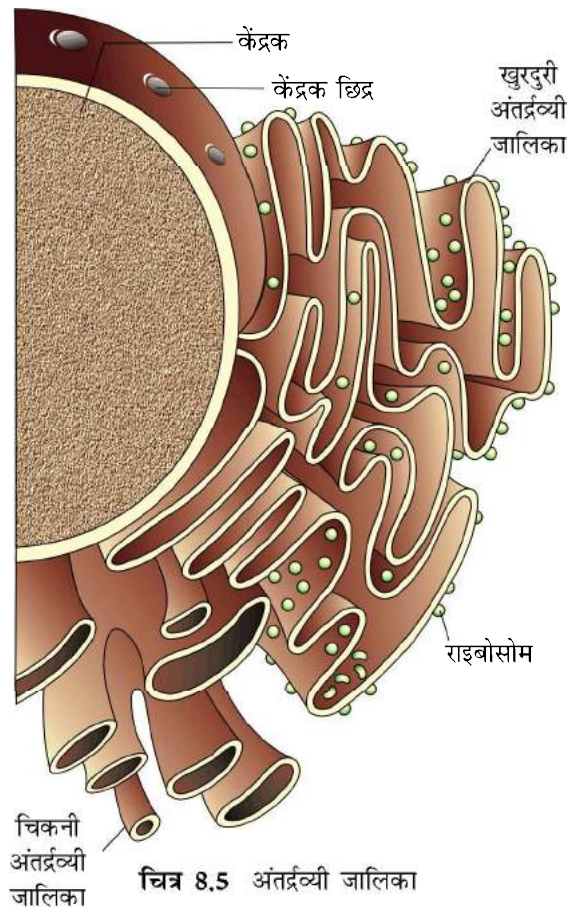
8.5.3 अंतः झिल्लिका तंत्र

झिल्लीदार अंगक कार्य व संरचना के आधार पर एक दूसरे से काफी अलग होते हैं, इनमें बहुत से ऐसे होते हैं जिनके कार्य एक दूसरे से जुड़े रहते हैं उन्हें अंतः झिल्लिका तंत्र के अंतर्गत रखते हैं। इस तंत्र के अंतर्गत अंतर्द्रव्यी जालिका, गॉल्जीकाय, लयनकाय, व रसधानी अंग आते हैं। सूत्रकणिका (माइटोकॉन्ड्रिया), हरितलवक व परऑक्सीसोम के कार्य उपरोक्त अंगों से संबंधित नहीं होते, इसलिए इन्हें अंतः झिल्लिका तंत्र के अंतर्गत नहीं रखते हैं।

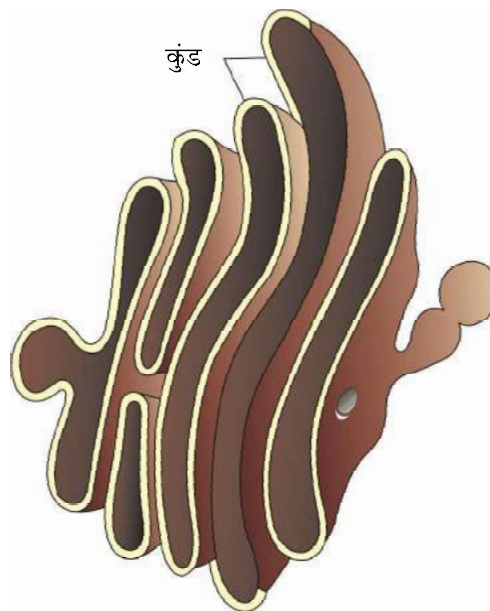
8.5.3.1 अंतर्द्रव्यी जालिका (एन्डोप्लाज्मिक रेटिकुलम)

इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी से अध्ययन के पश्चात् यह पता चला कि यूकैरियोटिक कोशिकाओं के कोशिकाद्रव्य में चपटे, आपस में जुड़े, थैली युक्त छोटी नलिकावत जालिका तंत्र बिखरा रहता है जिसे अंतर्द्रव्यी जालिका कहते हैं (चित्र 8.5)।

प्रायः राइबोसोम अंतर्द्रव्यी जालिका के बाहरी सतह पर चिपके रहते हैं। जिस अंतर्द्रव्यी जालिका के सतह पर यह राइबोसोम मिलते हैं, उसे खुरदरी अंतर्द्रव्यी जालिका कहते हैं। राइबोसोम की अनुपस्थिति पर अंतर्द्रव्यी जालिका



चित्र 8.5 अंतर्द्रव्यी जालिका

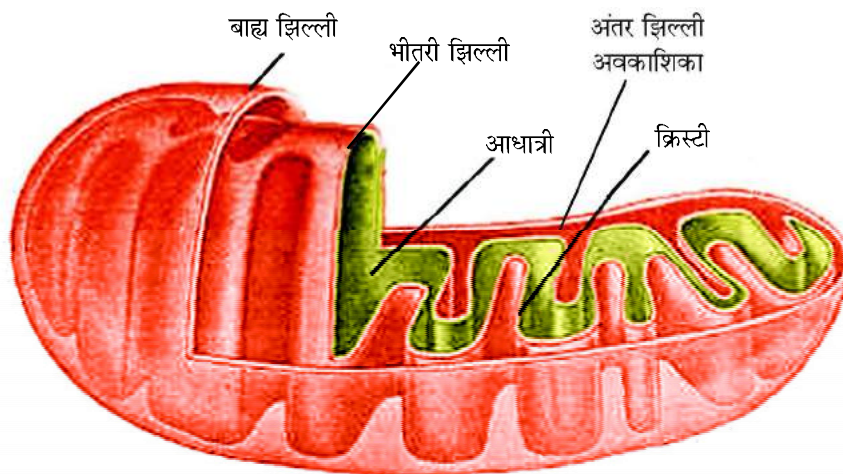


चित्र 8.6 गॉल्जी उपकरण

अमीबा में **संकुचनशील रसधानी** उत्सर्जन के लिए महत्वपूर्ण है। बहुत सारी कोशिकाओं जैसे आद्यजीव में **खाद्य रसधानी** का निर्माण खाद्य पदार्थों को निगलने के लिए होता है।

8.5.4 सूत्रकणिका (माइटोकॉण्ड्रिया)

सूत्रकणिका को जब तक विशेष रूप से अभिरंजित नहीं किया जाता तब तक सूक्ष्मदर्शी द्वारा इसे आसानी से नहीं देखा जा सकता है। प्रत्येक कोशिका में सूत्रकणिका की संख्या भिन्न होती है। यह उसकी कार्यात्मक सक्रियता पर निर्भर करती है। ये आकृति व आकार में भिन्न होती है। यह तश्तरीनुमा बेलनाकार आकृति की होती है जो 1.0-4.1 माइक्रोमीटर लंबी व 0.2-1 माइक्रोमीटर (औसत 0.5 माइक्रोमीटर) व्यास की होती है। सूत्रकणिका एक दोहरी झिल्ली युक्त संरचना होती है, जिसकी बाहरी झिल्ली व भीतरी झिल्ली इसकी अवकाशिका को दो स्पष्ट जलीय कक्षों - बाह्य कक्ष व भीतरी कक्ष में विभाजित करती है। भीतरी कक्ष को **आधात्री** (मैट्रिक्स) कहते हैं। बाह्यकला सूत्रकणिका की बाह्य सतत सीमा बनाती है। इसकी अंतर्झिल्ली कई आधात्री की तरफ अंतरवलन बनाती है जिसे क्रिस्टी (एक वचन-क्रिस्टो) कहते हैं (चित्र 8.7)। क्रिस्टी इसके क्षेत्रफल को बढ़ाते हैं। इसकी दोनों झिल्लियों में इनसे संबंधित विशेष एंजाइम मिलते हैं, जो सूत्रकणिका के कार्य से संबंधित हैं। सूत्रकणिका का वायवीय श्वसन से संबंध होता है। इनमें कोशिकीय ऊर्जा एटीपी के रूप में उत्पादित होती है। इस कारण से सूत्रकणिका को कोशिका का शक्ति गृह कहते हैं। सूत्रकणिका के आधात्री में एकल वृत्ताकार डीएनए अणु व कुछ आरएनए राइबोसोम्स (70s) तथा प्रोटीन संश्लेषण के लिए आवश्यक घटक मिलते हैं। सूत्रकणिका विखंडन द्वारा विभाजित होती है।



चित्र 8.7 सूत्रकणिका की संरचना (अनुदैर्घ्य काट)

यूकैरियोटिक बसोम 80S व प्रोकैरियोटिक राइबोसोम 70S प्रकार के होते हैं। यहाँ पर 'S' (स्वेडवर्गस इकाई) अवसादन गुणांक को प्रदर्शित करता है। यह अपरोक्ष रूप में आकार व घनत्व को व्यक्त करता है। दोनों 70S व 80S राइबोसोम दो उपइकाइयों से बना होता है।

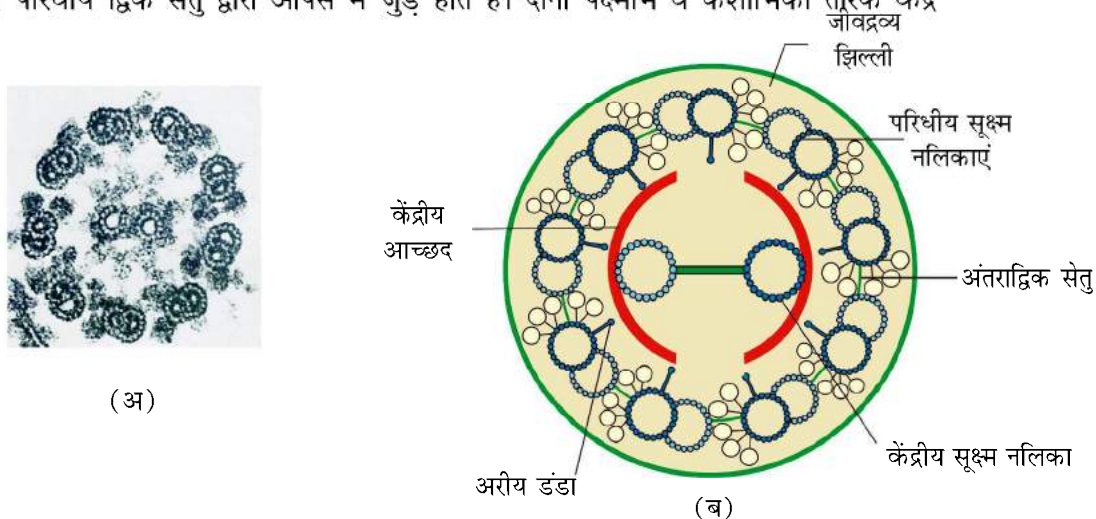
8.5.7 साइटोपंजर (साइटोस्केलेटन)

प्रोटीनयुक्त विस्तृत जालिकावत तंतु जो कोशिकाद्रव्य में मिलता है उसे **साइटोपंजर** कहते हैं। कोशिका में मिलने वाला साइटोपंजर के विभिन्न कार्य जैसे- यांत्रिक सहायता, गति व कोशिका के आकार को बनाए रखने में उपयोगी है।

8.5.8 पक्ष्माभ व कशाभिका (सीलिया तथा फ्लैजिला)

पक्ष्माभिकाएं (एकवचन-पक्ष्माभ) व कशाभिकाएं (एक वचन-कशाभिका) रोम सदृश कोशिका झिल्ली पर मिलने वाली अपवृद्धि हैं। पक्ष्माभ एक छोटी संरचना चप्पू की तरह कार्य करती है, जो कोशिका को या उसके चारों तरफ मिलने वाले द्रव्य की गति में सहायक है। कशाभिका अपेक्षाकृत लंबे व कोशिका के गति में सहायक है। प्रोकैरियोटिक जीवाणु में पाई जाने वाली कशाभिका संरचनात्मक रूप में यूकैरियोटिक कशाभिका से भिन्न होती है।

इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मदर्शी अध्ययन से पता चलता है कि पक्ष्माभ व कशाभिका जीवद्रव्यझिल्ली से ढके होते हैं। इनके कोर को **अक्षसूत्र** कहते हैं, जो कई सूक्ष्म नलिकाओं का बना होता है जो लंबे अक्ष के समानांतर स्थित होते हैं। अक्षसूत्र के केंद्र में एक जोड़ा सूक्ष्म नलिका मिलती है और नौ द्विक अरीय परिधि की ओर व्यवस्थित सूक्ष्मनलिकाएं होती हैं। अक्षसूत्र की सूक्ष्मनलिकाओं की इस व्यवस्था को 9+2 प्रणाली कहते हैं (चित्र 8.9)। केंद्रीय नलिका सेतु द्वारा जुड़े हुए एवं केंद्रीय आवरण द्वारा ढके होते हैं, जो परिधीय द्विक के प्रत्येक नलिका को अरीय दंड द्वारा जोड़ते हैं। इस प्रकार नौ अरीय तान (छड़) बनती हैं। परिधीय द्विक सेतु द्वारा आपस में जुड़े होते हैं। दोनों पक्ष्माभ व कशाभिका तारक केंद्र

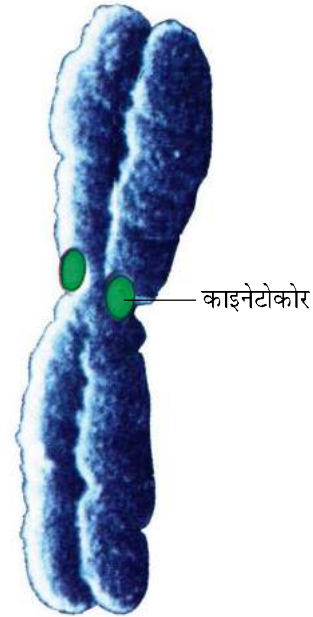


चित्र 8.9 पक्ष्माभ/कशाभिका का अनुभाग जो विभिन्न भागों (अ) इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मलेखी (ब) आंतरिक संरचना का चित्रात्मक प्रदर्शन करता है

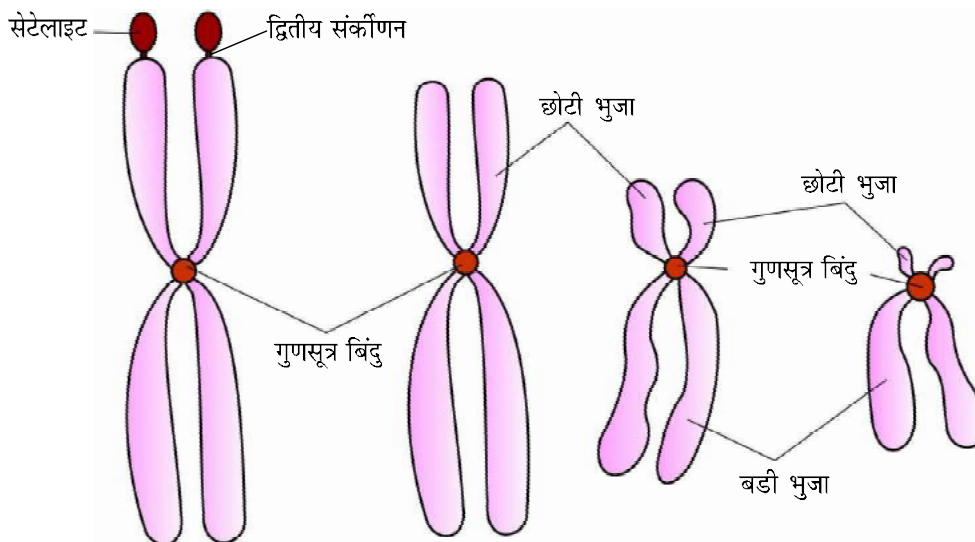
पाया जाता है। केंद्रिका झिल्ली रहित वह संरचना है जिसका द्रव्य केंद्रक से सतत संपर्क में रहता है। यह सक्रिय राइबोसोमस आरएनए संश्लेषण हेतु स्थल होते हैं। जो कोशिकाएं अधिक सक्रिय रूप से प्रोटीन संश्लेषण करती हैं, उनमें बड़े व अनेक केंद्रिक मिलते हैं।

आप याद करें कि अंतरावस्था केंद्रक में ढीली-ढाली अस्पष्ट न्यूक्लियो प्रोटीन तंतुओं की जालिका मिलती है जिसे क्रोमोटीन कहते हैं। अवस्थाओं व विभाजन के समय केंद्रक के स्थान पर **गुणसूत्र** संरचना दिखाई पड़ती है। क्रोमोटीन में डीएनए तथा कुछ क्षारीय प्रोटीन मिलता है जिसे **हिस्टोन** कहते हैं, इसके अतिरिक्त उनमें इतर हिस्टोन व आरएनए भी मिलता है। मनुष्य की एक कोशिका में लगभग दो मीटर लंबा डीएनए सूत्र 46 गुणसूत्रों (23 जोड़ों) में बिखरा होता है। आप गुणसूत्र में डीएनए का संवेष्टन (पैकेजिंग) कक्षा 12 वीं में विस्तृत रूप में अध्ययन करेंगे।

प्रत्येक गुणसूत्र में एक प्राथमिक संकीर्णन मिलता है जिसे **गुणसूत्रबिंदु** (सेन्ट्रोमियर) भी कहते हैं। इस पर बिंदु आकार की संरचना मिलती है जिसे **काइनेटोकोर** कहते हैं (चित्र 8.11)। गुणसूत्रबिंदु की स्थिति के आधार पर गुणसूत्रों को चार प्रकारों में विभाजित किया जा सकता है (चित्र 8.12)। **मध्यकेंद्री** (मेट्रासैन्ट्रिक) गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु गुणसूत्रों के बीचों-बीच स्थित होता है, जिससे गुणसूत्र की दोनों भुजाएं बराबर लंबाई की होती हैं। **उपमध्यकेंद्री** (सब-मेट्रासैन्ट्रिक) गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु गुणसूत्र के मध्य से हटकर होता है जिसके परिणामस्वरूप एक भुजा छोटी व एक भुजा बड़ी होती है। **अग्रबिंदु** (ऐक्रो-सैन्ट्रिक) गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु इसके बिल्कुल किनारे पर मिलता है। जिससे एक भुजा अत्यंत छोटी व एक भुजा बहुत बड़ी होती है, जबकि **अंतकेंद्री** (फीबोसैन्ट्रिक) गुणसूत्र में गुणसूत्रबिंदु गुणसूत्र के शीर्ष पर स्थित होता है।



चित्र 8.11 काइनेटोकोर सहित गुणसूत्र



चित्र 8.12 गुणसूत्र बिंदु की स्थिति के आधार पर गुणसूत्रों के प्रकार

अभ्यास

1. इनमें कौन सा सही नहीं है?
 - (अ) कोशिका की खोज रॉबर्ट ब्राउन ने की थी।
 - (ब) श्लाइडेन व श्वान ने कोशिका सिद्धांत प्रतिपादित किया था।
 - (स) वर्चोव के अनुसार कोशिका पूर्वस्थित कोशिका से बनती है।
 - (द) एक कोशिकीय जीव अपने जीवन के कार्य एक कोशिका के भीतर करते हैं।
2. नई कोशिका का निर्माण होता है।
 - (अ) जीवाणु क्रिप्पन से।
 - (ब) पुरानी कोशिकाओं के पुनरुत्पादन से।
 - (स) पूर्व स्थित कोशिकाओं से।
 - (द) अजैविक पदार्थों से।
3. निम्न के जोड़ा बनाइए :

(अ) क्रिस्टी	(i) पीठिका में चपटे कलामय थैली
(ब) कुण्डिका	(ii) सूत्रकणिका में अंतर्वर्तन
(स) थाइलेकोइड	(iii) गॉल्जी उपकरण में बिंब आकार की थैली
4. इनमें से कौन सा सही है :
 - (अ) सभी जीव कोशिकाओं में केंद्रक मिलता है।
 - (ब) दोनों जंतु व पादप कोशिकाओं में स्पष्ट कोशिका भित्ति होती है।
 - (स) प्रोकैरियोटिक की झिल्ली में आवरित अंगक नहीं मिलते हैं।
 - (द) कोशिका का निर्माण अजैविक पदार्थों से नए सिरे से होता है।
5. प्रोकैरियोटिक कोशिका में क्या मीसोसोम होता है? इसके कार्य का वर्णन करें।
6. कैसे उदासीन विलेय जीवद्रव्यझिल्ली से होकर गति करते हैं? क्या ध्रुवीय अणु उसी प्रकार से इससे होकर गति करते हैं? यदि नहीं तो इनका जीवद्रव्यझिल्ली से होकर परिवहन कैसे होता है?
7. दो कोशिकीय अंगकों का नाम बताइए जो द्विकला से घिरे होते हैं। इन दो अंगकों की क्या विशेषताएं हैं? इनका कार्य व रेखांकित चित्र बनाइए?
8. प्रोकैरियोटिक कोशिका की क्या विशेषताएं हैं?
9. बहुकोशिकीय जीवों में श्रम विभाजन की व्याख्या कीजिए।
10. कोशिका जीवन की मूल इकाई है, इसे संक्षिप्त में वर्णन करें।
11. केंद्रक छिद्र क्या है? इनके कार्य को बताइए।
12. लयनकाय व रसधानी दोनों अंतःझिल्लीमय संरचना हैं फिर भी कार्य की दृष्टि से ये अलग होते हैं। इस पर टिप्पणी लिखें?
13. रेखांकित चित्र की सहायता से निम्न की संरचना का वर्णन करें- (i) केंद्रक (ii) तारककाय ।
14. गुणसूत्रबिंदु क्या है? कैसे गुणसूत्रबिंदु की स्थिति के आधार पर गुणसूत्र का वर्गीकरण किस रूप में होता है। अपने उत्तर को देने हेतु विभिन्न प्रकार के गुणसूत्रों पर गुणसूत्रबिंदु की स्थिति को दर्शाने हेतु चित्र बनाइए।

अध्याय 9

जैव अणु

- 9.1 रासायनिक संघटन का विश्लेषण कैसे करें?
- 9.2 प्राथमिक एवं द्वितीयक उपापचयज
- 9.3 वृहत् जैव अणु
- 9.4 प्रोटीन
- 9.5 पॉलीसैकेराइड
- 9.6 न्यूक्लीक अम्ल
- 9.7 प्रोटीन की संरचना
- 9.8 एक बहुलक में एककों को जोड़ने वाले बंधों की प्रकृति
- 9.9 शरीर अवयवों की गतिक अवस्था-उपापचय की संकल्पना
- 9.10 जीव का उपापचयी आधार
- 9.11 जीव अवस्था
- 9.12 एंजाइम
- इस जीवमंडल में विविध प्रकार के जीव मिलते हैं। मस्तिष्क में यह प्रश्न उठता है कि क्या सभी जीव रासायनिक संघटन की दृष्टि से एक ही प्रकार के तत्वों एवं यौगिकों से मिलकर बने होते हैं? आप रसायन विज्ञान में सीख चुके होंगे कि तत्वों का विश्लेषण कैसे करते हैं। यदि पादप व प्राणी ऊतकों एवं सूक्ष्मजीवी लेई में तत्वों का परीक्षण करें तो हमें कार्बन, हाइड्रोजन, ऑक्सीजन व अन्य तत्वों की एक सूची प्राप्त होती है। जिनकी मात्रा जीव ऊतकों की प्रति इकाई मात्रा में भिन्न-भिन्न होती है। यदि उपरोक्त परीक्षण निर्जीव पदार्थ जैसे भू-पर्पटी के एक टुकड़े का करें, तब भी हमें तत्वों की उपरोक्त सूची प्राप्त होती है। लेकिन उपरोक्त दोनों सूचियों में क्या अंतर है? सुनिश्चित तौर पर उनमें कोई अंतर नहीं मिलता है। सभी तत्व जो भू-पर्पटी के नमूने में मिलते हैं, वे सभी जीव ऊतकों के नमूने में भी मिलते हैं। फिर भी सूक्ष्म परीक्षण से पता चलता है कि कार्बन व हाइड्रोजन की मात्रा अन्य तत्वों की अपेक्षा किसी भी जीव में भू-पर्पटी से सामान्यतया ज्यादा होती है। (तालिका 9.1)

9.1 रासायनिक संघटन का विश्लेषण कैसे करें ?

इसी तरह से हम पूछ सकते हैं कि जीवों में कार्बनिक यौगिक किस रूप में मिलते हैं? उपरोक्त उत्तर पाने के लिए कोई व्यक्ति क्या करेगा? इसका उत्तर पाने के लिए हमें रासायनिक विश्लेषण करना होगा। हम किसी भी जीव ऊतक (जैसे-सब्जी या यकृत का टुकड़ा आदि) को लेकर खरल व मूसल की सहायता से ट्राइक्लोरोएसिटिक अम्ल के साथ पीसते हैं, जिसके बाद एक गाढ़ा कर्दम (slurry) प्राप्त होता है, पुनः इसे महीन कपड़े में रखकर कसकर निचोड़ने (छानने) के बाद हमें दो अंश प्राप्त होते हैं। एक अंश जो अम्ल में घुला होता है उसे निस्स्यंद कहते हैं व दूसरा अंश अम्ल में अविलेय है जिसे

धारित कहते हैं। वैज्ञानिकों ने अम्ल घुलनशील भाग में हजारों कार्बनिक यौगिकों को प्राप्त किया। तुम्हें उच्च कक्षाओं में बताया जाएगा कि जीव ऊतकों के नमूनों का विश्लेषण व इनमें मिलने वाले, विशेषकर कार्बनिक यौगिकों की पहचान कैसे की जाती है? किसी निचोड़ में मिलने वाले विशेष यौगिक को उसमें मिलने वाले अन्य यौगिकों से अलग करने के लिए विभिन्न पृथक्करण विधि अपनाते हैं, जब तक कि वह अलग नहीं हो जाता। दूसरे शब्दों में एक वियुक्त एक शुद्ध यौगिक होता है। विश्लेषणात्मक तकनीक का प्रयोग कर किसी भी यौगिक के आण्विकसूत्र व संभावित संरचना के बारे में जानकारी प्राप्त कर सकते हैं। जीव ऊतकों में मिलने वाले सभी कार्बनिक यौगिकों को 'जैव अणु' कहते हैं। लेकिन जीवों में भी अकार्बनिक तत्व व यौगिक मिलते हैं। हम यह कैसे जान पाते हैं? एक थोड़ा भिन्न किंतु भंजक प्रयोग करना पड़ेगा। जीव ऊतकों (पर्ण व यकृत) की थोड़ी मात्रा को तोलकर (यह नम भार कहलाता है) शुष्क कर लें, जिससे संपूर्ण जल वाष्पित हो जाता है। बचे हुए पदार्थ से शुष्क भार प्राप्त होता है। यदि ऊतकों को पूर्ण रूप से जलाया जाए तो सभी कार्बनिक यौगिक ऑक्सीकृत होकर गैसीय रूप (CO_2 व जल वाष्प) में अलग हो जाते हैं। बचे हुए पदार्थ को 'भस्म' कहते हैं। इस भस्म में अकार्बनिक तत्व (जैसे कैल्सियम, मैग्नीशियम आदि) मिलते हैं। अकार्बनिक यौगिक जैसे सल्फेट, फॉस्फेट आदि अम्ल घुलनशील अंश में मिलते हैं। इस कारण से तत्वीय विश्लेषण से किसी जीव ऊतक के तत्वीय संगठन की हाइड्रोजन, ऑक्सीजन, क्लोरीन, कार्बन आदि के रूप में जानकारी मिलती (सारणी 9.1) है। यौगिकों के परीक्षण से जीव ऊतकों में उपस्थित कार्बनिक व अकार्बनिक (तालिका 9.2) यौगिकों के बारे में जानकारी मिलती है। रसायन विज्ञान के दृष्टिकोण से क्रियात्मक समूह जैसे ऐल्डीहाइड, कीटोन एरोमेटिक (Aromatic) यौगिकों आदि की पहचान की जा सकती है किंतु जीव विज्ञान की दृष्टि से इन्हें अमीनो अम्ल, न्यूक्लियोटाइड क्षार, वसा अम्ल इत्यादि में वर्गीकृत करते हैं।

अमीनो अम्ल कार्बनिक यौगिक होते हैं जिनमें इसके एक ही कार्बन (α -कार्बन) पर एक अमीनो समूह व एक अम्लीय समूह प्रतिस्थापित होते हैं। इस कारण इन्हें (α) एल्फा अमीनो अम्ल कहते हैं। ये प्रतिस्थापित मेथेन हैं। चार प्रतिस्थाई समूह चार संयोजकता स्थल से जुड़े रहते हैं। ये समूह हाइड्रोजन, कार्बोक्सिल समूह, अमीनो समूह तथा भिन्न परिवर्तनशील समूह जिसे R समूह, से व्यक्त करते हैं, पाए जाते हैं। R समूह की प्रकृति के आधार पर अमीनो अम्ल अनेक प्रकार के होते हैं फिर भी प्रोटीन में

तालिका 9.1 जीव व निर्जीव पदार्थों में पाए जाने वाले तत्वों की तुलना

तत्व	% भार	
	भू-पर्पटी	मनुष्य शरीर
हाइड्रोजन (H)	0.14	0.5
कार्बन (C)	0.03	18.5
ऑक्सीजन (O)	46.6	65.0
नाइट्रोजन (N)	बहुत थोड़ा	3.3
सल्फर (S)	0.03	0.3
सोडियम (Na)	2.8	0.2
कैल्सियम (Ca)	3.6	1.5
मैग्नीशियम (Mg)	2.1	0.1
सिलिकॉन (Si)	27.7	नगण्य

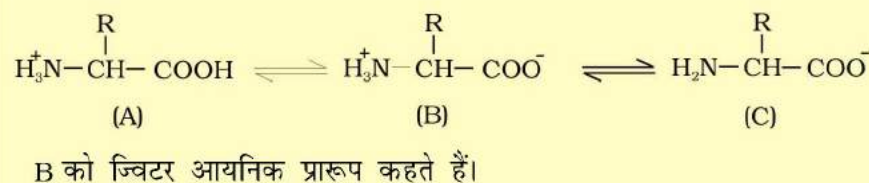
* सी.एन. राव द्वारा लिखित 'अंडरस्टैंडिंग केमिस्ट्री' से उद्धरित, विश्वविद्यालय प्रकाशन, हैदराबाद

तालिका 9.2 जीव ऊतकों में पाए जाने वाले अकार्बनिक अवयवों की सूची

घटक	सूत्र
सोडियम	Na^+
पोटैशियम	K^+
कैल्सियम	Ca^{++}
मैग्नीशियम	Mg^{++}
जल	H_2O
यौगिक	NaCl , CaCO_3 , PO_4^{3-} , SO_4^{2-}

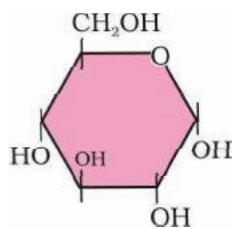
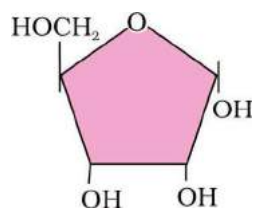
उपलब्धता के आधार पर ये 21 प्रकार के होते हैं। प्रोटीन के अमीनो अम्लों में R समूह, हाइड्रोजन (अमीनो अम्ल-ग्लाइसीन), मेथिल समूह (एलेनीन), हाइड्रोक्सीमेथिल (सीरिन) आदि हो सकते हैं। 21 में से 3 को चित्र 9.1 में दर्शाया गया है।

अमीनो अम्लों के भौतिक व रासायनिक गुण मुख्यतया अमीनो, कार्बोक्सिल व R क्रियात्मक समूह पर निर्भर है। अमीनो व कार्बोक्सिल समूहों की संख्या के आधार पर अम्लीय (उदाहरण ग्लुटामिक अम्ल), क्षारीय (उदाहरण लाइसिन) और उदासीन (उदाहरण वेलीन) अमीनो अम्ल होते हैं। इसी तरह से एरोमेटिक अमीनो अम्ल (टायरोसीन, फेनिलएलेनीन, ट्रिप्टोफान) होते हैं। अमीनो अम्लों का एक विशेष गुण यह है कि अमीनो ($-NH_2$) व कार्बोक्सिल ($-COOH$) समूह आयनिकरण प्रकृति के होते हैं, अतः विभिन्न pH वाले विलयनों में अमीनो अम्लों की संरचना परिवर्तित होती रहती है।

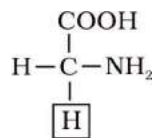


साधारणतया लिपिड पानी में अघुलनशील होते हैं। ये साधारण वसा अम्ल हो सकते हैं। वसा अम्ल में एक कार्बोक्सिल समूह होता है, जो एक R समूह से जुड़ा होता है। R समूह मेथिल ($-CH_3$), अथवा ऐथिल $-C_2H_5$ या उच्च संख्या वाले $-CH_2$ समूह (1 कार्बन से 19 कार्बन)। उदाहरणार्थ - पाल्मिटिक अम्ल में कार्बोक्सिल कार्बन के सहित 16 कार्बन मिलते हैं। ऐरेकिडोनिक अम्ल में कार्बोक्सिल कार्बन सहित 20 कार्बन परमाणु होते हैं। वसा अम्ल संतृप्त (बिना द्विक आबंध) या असंतृप्त (एक या एक से अधिक $C=C$ द्विआबंध) प्रकार के हो सकते हैं। दूसरा साधारण लिपिड ग्लिसरॉल है जो ट्राइहाइड्रिक्ससी प्रोपेन होता है। बहुत सारे लिपिड्स में ग्लिसरॉल व वसा अम्ल दोनों मिलते हैं। यहाँ पर वसा अम्ल ग्लिसरॉल से एस्टरीकृत होता है तब वे मोनोग्लिसरॉइड, डाइग्लिसरॉइड तथा ट्राई ग्लिसरॉइड हो सकते हैं। गलन बिंदु के आधार पर वसा या तेल (oils) कहलाते हैं। तेलों का गलनांक अपेक्षाकृत कम होता है (जैसे जिंजेली तेल)। अतः सर्दियों में तेल के रूप में होते हैं। क्या आप बाजार में उपलब्ध वसा की पहचान कर सकते हैं? कुछ लिपिड्स में फॉस्फोरस व एक फॉस्फोरिलीकृत कार्बनिक यौगिक मिलते हैं। ये फॉस्फोलिपिड्स हैं, जो कोशिका झिल्ली में मिलते हैं जैसे लेसिथिन। कुछ ऊतक विशेष तौर तंत्रिका ऊतक में अधिक जटिल संरचना के लिपिड पाए जाते हैं।

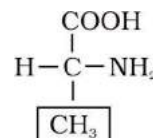
जीवों में बहुत सारे कार्बनिक यौगिक विषमचक्रीय वलय युक्त भी होते हैं। इनमें से कुछ नाइट्रोजन क्षार-एडेनीन, ग्वानीन, साइटोसीन, यूरेसिल व थायमीन हैं। ये शर्करा से जुड़कर न्यूक्लिोसाइड बनाते हैं। यदि इनसे फॉस्फेट समूह भी शर्करा से इस्टरीकृत रूप में हो तो इन्हें न्यूक्लिोटाइड कहते हैं। एडेनोसिन, ग्वानोसिन, थायमिडिन, यूरिडिन व

 $C_6H_{12}O_6$ (ग्लूकोज) $C_5H_{10}O_5$ (राइबोज)

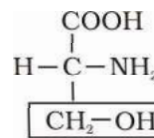
शर्करा (कार्बोहाइड्रेट्स)



ग्लाइसीन

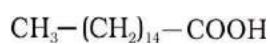
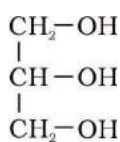


एलेनीन

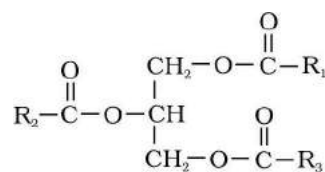
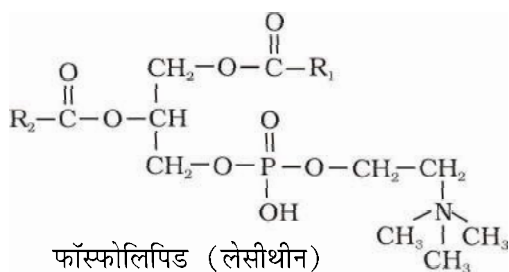


सीरीन

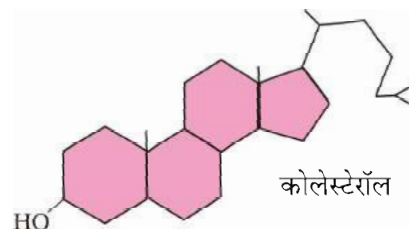
एमीनो अम्ल

वसा अम्ल
(पالمिटीक अम्ल)

Glycerol

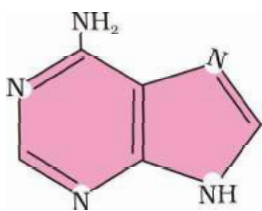
ट्राईग्लिसराइड (R_1 , R_2 व R_3
वसा अम्ल)

फॉस्फोलिपिड (लेसीथीन)

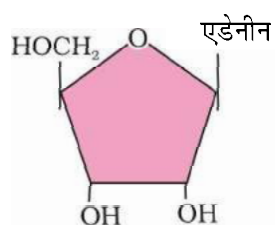


कोलेस्टेरॉल

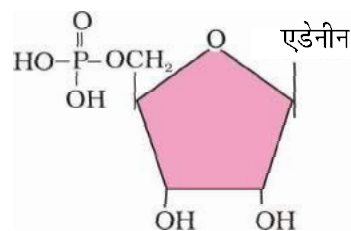
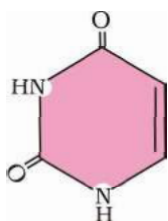
वसा व तेल (लिपिड्स)



एडेनिन (प्यूरीन)

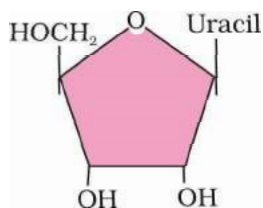


एडीनोसीन

एडेनीलिक अम्ल
न्यूक्लियोटाइड

यूरेसील (पीरिमिडीन)

नाइट्रोजन क्षार



यूरीडीन

न्यूक्लियोटाइड्स

चित्र 9.1 जीव ऊतकों में पाए जाने वाले कम अणुभार के कार्बनिक यौगिकों का चित्रात्मक प्रदर्शन

साइटिडिन न्यूक्लियोसाइड हैं। एडेनिलिक अम्ल, थायमेडिलिक अम्ल, ग्वानिलिक अम्ल, यूरिलिक अम्ल व सिटिडिलिक अम्ल न्यूक्लियोटाइड्स हैं। न्यूक्लीक अम्ल जैसे डीएनए (DNA) व आरएनए आनुवंशिक पदार्थ के रूप में कार्य करते हैं।

9.2 प्राथमिक व द्वितीयक उपापचयज

रसायन विज्ञान की एक महत्वपूर्ण शाखा में जीवों के हजारों बड़े-छोटे यौगिकों का विलगन (पृथक्करण) किया जाता है। उनकी संरचना निर्धारित की जाती है और संभव हो तो उन्हें संश्लेषित किया जाता है। यदि कोई जैव अणुओं की एक तालिका बनाए तो उनमें हजारों कार्बनिक यौगिक जैसे अमीनो अम्ल, शर्करा इत्यादि पाए जाएंगे। कुछ कारणों

तालिका 9.3 कुछ द्वितीयक उपापचयज

वर्णक	कैरोटीनाइड्स, एंथोसाइनिन्स, आदि
एल्कल्वाएड	मार्फीन, कोडेसीन, आदि
टरपीन्वाएड्स	मोनोटरपींस, डाइटरपींस आदि
आवश्यक तेल	नींबूघास तेल, आदि
टॉक्सीन	एब्रिन, रिसीन
लेक्टिन्स	कोनकेनेवेलीन ए
ड्रग्स	वीनब्लेस्टीन, करकुमीन आदि
बहुलक पदार्थ	रबर, गोंद, सेलुलोज

से जिन्हें खंड 9.10 में दिया गया है, को हम उपापचयज कहते हैं। उपरोक्त सभी श्रेणी के इन यौगिकों की उपस्थिति को जिन्हें (चित्र 9.1) में दर्शाया गया है। कोई व्यक्ति प्राणि ऊतकों में ज्ञात कर सकता है। इन्हें प्राथमिक उपापचयज कहते हैं। जब कोई पादप, कवक व सूक्ष्म जीवी कोशिकाओं का विश्लेषण करें तो उसे इन प्राथमिक उपापचयजों के अतिरिक्त हजारों यौगिक जैसे- एल्केलायड्स, फ्लेवेनोयड्स, रबर, वाष्पशील तेल, प्रतिजैविक, रंगीन वर्णक, इत्र, गोंद, मसाले मिलते हैं। इन्हें **द्वितीयक उपापचयज** कहते हैं (तालिका 9.3)। प्राथमिक उपापचयज ज्ञात कार्य करते हैं व सामान्य कार्यिकी प्रक्रिया में इनकी भूमिका भी ज्ञात है, किंतु हम इस समय सभी द्वितीयक उपापचयजों की (जिन

प्राणियों में ये पाए जाते हैं, में उनकी) भूमिका या कार्य नहीं जानते। जबकि इनमें से बहुत (जैसे- रबर, औषधि, मसाले, इत्र व वर्णक) मनुष्य के कल्याण में उपयोगी हैं। कुछ द्वितीयक उपापचयजों का पारिस्थितिक महत्व है। आप बाद के अध्यायों व वर्षों में इनके बारे में विस्तृत रूप से अध्ययन करेंगे।

9.3 वृहत् जैव अणु

अम्ल घुलनशील भाग में पाए जाने वाले सभी यौगिकों की एक सामान्य विशेषता है कि इनका अणुभार 18 से लगभग 800 डाल्टॉन के आस-पास होता है।

अम्ल अविलेय अंश में केवल चार प्रकार के कार्बनिक यौगिक जैसे प्रोटीन, न्यूक्लीक अम्ल, पॉलीसैकेराइड्स व लिपिड्स मिलते हैं। लिपिड्स के अतिरिक्त इस श्रेणी के यौगिकों का अणु भार दस हजार डाल्टॉन या इसके ऊपर होता है। इस कारण से जैव अणु अर्थात् जीवों में मिलने वाले रासायनिक यौगिक दो प्रकार के होते हैं। एक वे हैं जिनका अणुभार एक हजार डाल्टॉन से कम होता है; उन्हें सामान्यतया सूक्ष्मअणु या जैव अणु कहते हैं; जबकि जो अम्ल अविलेय अंश में पाए जाते हैं; उन्हें वृहत् अणु या वृहत् जैव अणु कहते हैं।

लिपिड्स के अतिरिक्त अविलेय अंशों में पाए जाने वाले अणु बहुलक पदार्थ होते हैं। लिपिड्स जिनके अणुभार 800 से अधिक नहीं होते, वे अम्ल अविलेय अंश या वृहत् आण्विक अंश की श्रेणी में क्यों आते हैं? वास्तव में लिपिड्स कम अणुभार के यौगिक होते हैं, वे ऐसे ही नहीं मिलते, बल्कि कोशिका झिल्ली और दूसरी झिल्लियों में पाए जाते हैं। जब हम ऊतकों को पीसते हैं तब कोशकीय संरचना विघटित हो जाती है। कोशिकाझिल्ली व अन्य दूसरी झिल्लियाँ टुकड़ों में विखंडित हो जाती हैं, तथा पुटिका बनाती हैं जो जल में घुलनशील नहीं हैं। इस कारण से इन झिल्लियों के पुटिका के रूप में टुकड़े अम्ल अविलेय भाग के साथ पृथक् हो जाते हैं, जो वृहत् आण्विक अंश का भाग होते हैं। सही अर्थ में लिपिड्स वृहत् अणु नहीं हैं। अम्ल विलेय अंश वास्तव में कोशिका द्रव्य संगठन का भाग है। कोशिका द्रव्य व अंगकों के वृहत् अणु अम्ल अविलेय अंश होते हैं। ये दोनों आपस में मिलकर जीव ऊतकों या जीवों का संगठन बनाते हैं।

संक्षेप में, यदि जीव ऊतकों में पाए जाने वाले रासायनिक संगठन को बाहुल्यता की दृष्टि से श्रेणीबद्ध किया जाए तो हम पाते हैं कि जीवों में पानी सबसे सर्वाधिक बाहुल्यता से मिलने वाला रसायन है। (तालिका 9.4)

9.4 प्रोटीन

प्रोटीन पॉलीपेप्टाइड होते हैं। ये अमीनो अम्ल की रेखीय शृंखलाएं होती हैं, जो पेप्टाइड बंधों से जुड़ी होती हैं; जैसा कि चित्र 9.2 में दर्शाया गया है।

प्रत्येक प्रोटीन अमीनो अम्ल का बहुलक है। अमीनो अम्ल 20 प्रकार के होने से (जैसे-एलेनीन, सिस्टीन, प्रोलीन, ट्रिप्टोफान, लाइसीन आदि) होते हैं। प्रोटीन समबहुलक नहीं, बल्कि विषम बहुलक होते हैं। एक समबहुलक एक एकलक की कई बार आवर्ती के कारण बनता है। अमीनो अम्ल के बारे में यह जानकारी अति महत्वपूर्ण है जैसा कि बाद में पोषण अध्याय में आप पढ़ेंगे कि कुछ अमीनो अम्ल स्वास्थ्य के लिए अति आवश्यक होते हैं, जिनकी आपूर्ति खाद्य पदार्थों के द्वारा होती है। इस तरह आहार की प्रोटीन इन आवश्यक अमीनो अम्ल की स्रोत होती हैं। इस प्रकार से अमीनो अम्ल अनिवार्य या अनानिवार्य हो सकते हैं। अनानिवार्य वे होते हैं जो हमारे शरीर में बनते हैं। जबकि हम अनिवार्य अमीनो अम्लों की आपूर्ति अपने खाद्य पदार्थ से करते हैं। प्रोटीन जीवों में बहुत सारे कार्य करते हैं, इनमें कुछ

तालिका 9.4 कोशिकाओं का औसत संगठन

अवयव	कुल कोशिकीय भार का प्रतिशत
जल	70-90
प्रोटीन	10-15
कार्बोहाइड्रेट	3
लिपिड	2
न्युक्लीक अम्ल	5-7
आयन	1

तालिका 9.5 कुछ प्रोटीन व इनके कार्य

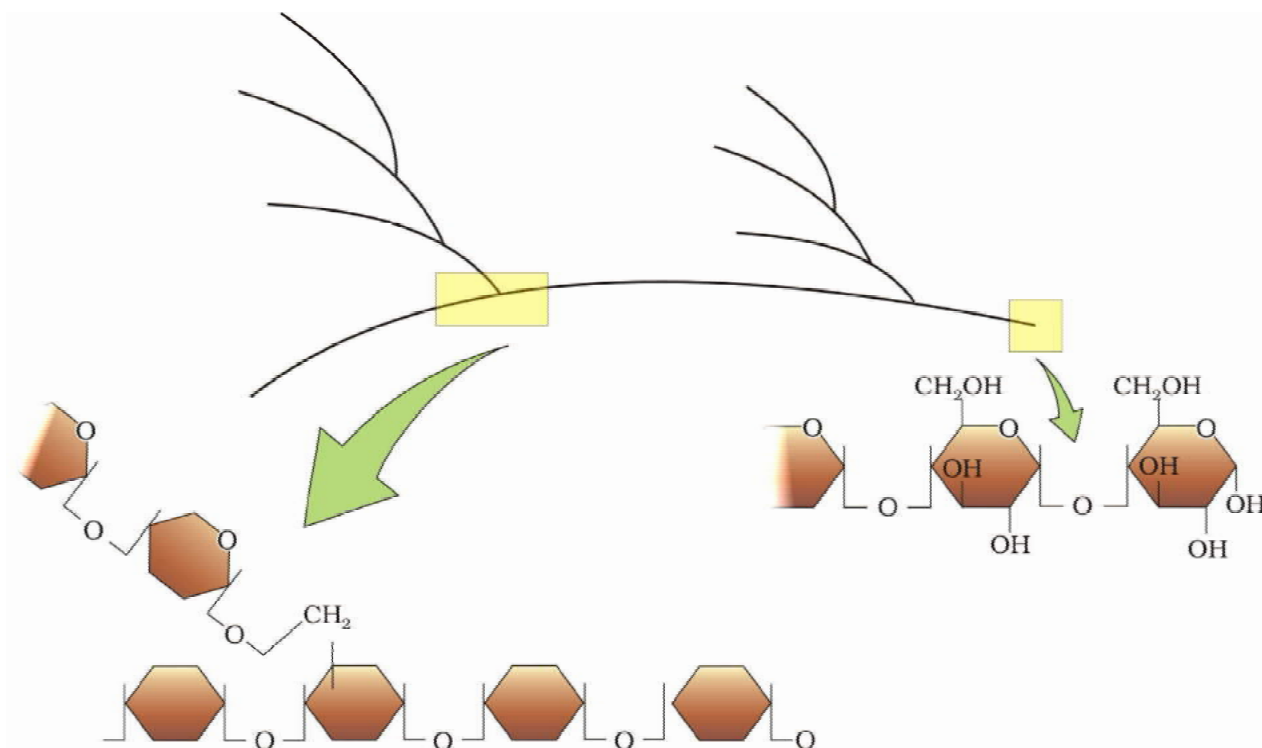
प्रोटीन	कार्य
कोलेजन	अंतरकोशिकीय भरण पदार्थ
ट्रिपसिन	एंजाइम
इंसुलिन	हार्मोन
प्रतिजीव	संक्रमितकर्ता से लड़ना
ग्राही	संवेदी ग्रहण (सूघना, स्वाद, हार्मोन आदि)
जी.एल.यू.टी-4	ग्लूकोज का कोशिका में परिवहन

पोषकों के कोशिका झिल्ली से होकर अभिगमन, करने तथा कुछ संक्रामक जीवों से बचाने में सहायक होती हैं और कुछ एंजाइम के रूप में होती हैं (तालिका 9.5)।

9.5 पॉलीसैकेराइड

अम्ल अविलेय भाग में दूसरे श्रेणी के वृहत् अणुओं की तरह पॉलीसैकेराइड्स (कार्बोहाइड्रेट्स) भी पाए जाते हैं। ये पॉलीसैकेराइड्स शर्करा की लंबी शृंखला होती है। यह शृंखला सूत्र की तरह (कपास के रेशे) विभिन्न प्रकार एकल सैकेराइड्स से मिलकर बने होते हैं। उदाहरणार्थ, सेलुलोज एक बहुलक पॉलीसैकेराइड होता है जो एक प्रकार के मोनोसैकेराइड जैसे ग्लूकोज का बना होता है। सेलुलोज एक सम बहुलक है। इसका एक परिवर्तित रूप स्टार्च (मंड) सेलुलोज से भिन्न होता है, लेकिन यह पादप ऊतकों में ऊर्जा भंडार के रूप में मिलता है। प्राणियों में एक अन्य परिवर्तित रूप होता है जिसे ग्लाइकोजन कहते हैं। इनूलिन फ्रुक्टोज का बहुलक है। एक पॉलीसैकेराइड शृंखला (जैसे ग्लाइकोजन) का दाहिना सिरा अपचायक व बाया सिरा अनपचायक कहलाता है। यह शाखायुक्त होती है, जो व्यंगचित्र जैसी दिखाई देती है (चित्र 9.2)।

मंड में द्वितीयक कुंडलीदार संरचना मिलती है। वास्तव में मंड में आयोडीन अणु इसके कुंडलीय भाग से जुड़े होते हैं। आयोडीन अणु मंड से जुड़कर नीला रंग देता है। सेलुलोज में उपरोक्त जटिल कुंडलियाँ नहीं मिलने के कारण आयोडीन इसमें प्रवेश नहीं कर पाता है।



चित्र 9.2 ग्लाइकोजन के अंश का चित्रात्मक प्रदर्शन

पादप कोशिका भित्ति सेलुलोज की बनी होती है। कागज पौधों की लुगदी से बना होता है जो सेलुलोज होता है। रूई के धागे सेलुलोज के बने होते हैं। प्रकृति में बहुत सारे जटिल पॉलीसैकेराइड्स मिलते हैं। ये अमीनो शर्करा व रासायनिक रूप से परिवर्तित शर्करा (जैसे - ग्लूकोसमीन, एनएसीटाइल ग्लूकोसएमीन आदि) से मिलकर बने होते हैं। जैसे आर्थ्रोपोडा के बाह्यकंकाल जटिल सैकेराइड्स काइटिन से बने होते हैं। ये जटिल पॉलीसैकेराइड्स अधिकतर समबहुलक होते हैं।

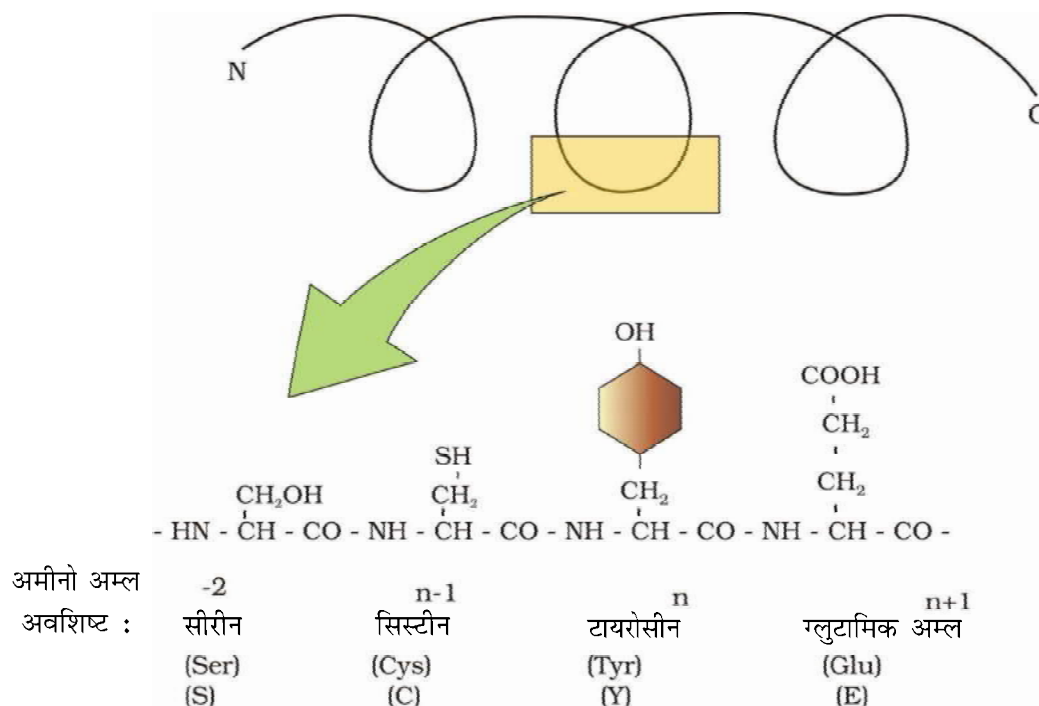
9.6 न्यूक्लीक अम्ल

दूसरे प्रकार का एक वृहत् अणु जो किसी भी जीव ऊतक के अम्ल अविलेय अंश में मिलता है, उसे न्यूक्लीक अम्ल कहते हैं। यह पॉलीन्यूक्लीयोटाइड्स होते हैं। यह पॉलीसैकेराइड्स व पॉली पेप्टाइड्स के साथ समाविष्ट होकर किसी भी जीव ऊतक या कोशिका का वास्तविक वृहत्आण्विक अंश बनाता है। न्यूक्लीक अम्ल न्यूक्लीयोटाइड से मिलकर बने होते हैं। एक न्यूक्लीयोटाइड तीन भिन्न रासायनिक घटकों से मिलकर बना होता है। पहला विषम चक्रीय यौगिक, दूसरा मोनोसैकेराइड व तीसरा फॉस्फोरिक अम्ल या फॉस्फेट होता है।

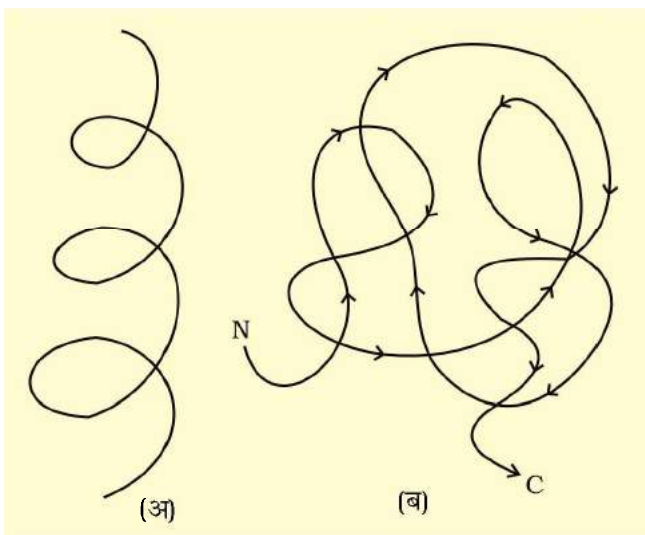
यदि चित्र 9.1 को ध्यान दें तो पाएंगे कि न्यूक्लीक अम्ल में विषमचक्रीय यौगिक नाइट्रोजन क्षार जैसे- ऐडेनीन, ग्वानीन, यूरेसील, साइटोसीन व थाईमीन होते हैं। ऐडेनीन व ग्वानीन प्रतिस्थापित प्यूरीन हैं तथा अन्य तीन प्रतिस्थापित पीरीमिडीन हैं। विषमचक्रीय वलय को क्रमशः प्यूरीन व पीरीमिडिन कहते हैं। पॉलीन्यूक्लीयोटाइड में मिलने वाली शर्करा या तो राइबोज (मोनोसैकेराइड पेंटोज) या डीऑक्सीराइबोज होती है। जिस न्यूक्लीक अम्ल में डीऑक्सीराइबोज मिलता है, उसे डीऑक्सीराइबोन्यूक्लीक अम्ल (डीएनए) व जिसमें राइबोज मिलता है, उसे राइबोन्यूक्लीक अम्ल (आरएनए) कहते हैं।

9.7 प्रोटीन की संरचना

जैसा की पहले बताया गया है कि प्रोटीन विषमबहुलक होते हैं जो अमीनो अम्ल की लड़ियों से बने होते हैं। अणुओं की संरचना का अर्थ विभिन्न संदर्भों में भिन्न-भिन्न होता है। अकार्बनिक रसायन में संरचना का संबंध आण्विकसूत्र से होता है (जैसे NaCl , MgCl_2 आदि)। कार्बनिक रसायनविज्ञानी जब अणुओं की संरचना (जैसे-बेंजीन, नैफथलीन आदि) को व्यक्त करते हैं तो वे हमेशा उसके द्विआयामी दृश्य को व्यक्त करते हैं। भौतिक वैज्ञानी आण्विक संरचना के त्रिआयामी दृश्य को; जबकि जीव विज्ञानी प्रोटीन की संरचना चार तरह से व्यक्त करते हैं। प्रोटीन में अमीनो अम्ल के क्रम व इसके स्थान के बारे में जैसे कि पहला, दूसरा व इसी प्रकार अन्य कौन सा अमीनो अम्ल होगा, की जानकारी को प्रोटीन की **प्राथमिक संरचना** कहते हैं (चित्र 9.3)। कल्पना करें कि प्रोटीन एक रेखा है तो इसके बाएं सिरे पर प्रथम व दाएं सिरे पर अंतिम अमीनो अम्ल मिलता है। प्रथम अमीनो अम्ल को नाइट्रोजनसिरा अमीनो अम्ल कहते हैं, जबकि अंतिम अमीनो अम्ल को कार्बनसिरा (C-सिरा) अमीनो अम्ल कहते हैं। प्रोटीन लड़ी हमेशा फैली हुई दृढ़ छड़ी जैसी रचना नहीं होती है। यह लड़ी कुंडली की तरह मुड़ी होती है



चित्र 9.3 कल्पित प्रोटीन के अंश की प्राथमिक संरचना N व C प्रोटीन के दो सिरों को प्रकट करता है। एकल अक्षरीय कूट तथा अमीनो अम्लों का 3-अक्षरीय संक्षेपण दिखाया या है।



चित्र 9.4 कार्टून द्वारा प्रदर्शित (अ) प्रोटीन की एक द्वितीयक संरचना (ब) एक तृतीयक संरचना

(घूमती हुई सीढ़ी की तरह)। वास्तव में प्रोटीन लड़ी कुछ का अंश कुंडली के रूप में व्यवस्थित होता है। प्रोटीन में केवल दक्षिणावर्ती कुंडलियाँ मिलती हैं। अन्य जगहों पर प्रोटीन की लड़ी दूसरे रूप में मुड़ी हुई होती है, इन्हें **द्वितीयक संरचना** कहते हैं। इसके अतिरिक्त प्रोटीन की लंबी कड़ी अपने ऊपर ही ऊन के एक खोखले गोले के समान मुड़ी हुई होती है जिसे प्रोटीन की **तृतीयक संरचना** कहते हैं (चित्र 9.4 a,b)। यह प्रोटीन के त्रिआयामी रूप को प्रदर्शित करता है। तृतीयक संरचना प्रोटीन के जैविक क्रियाकलापों के लिए नितांत आवश्यक है।

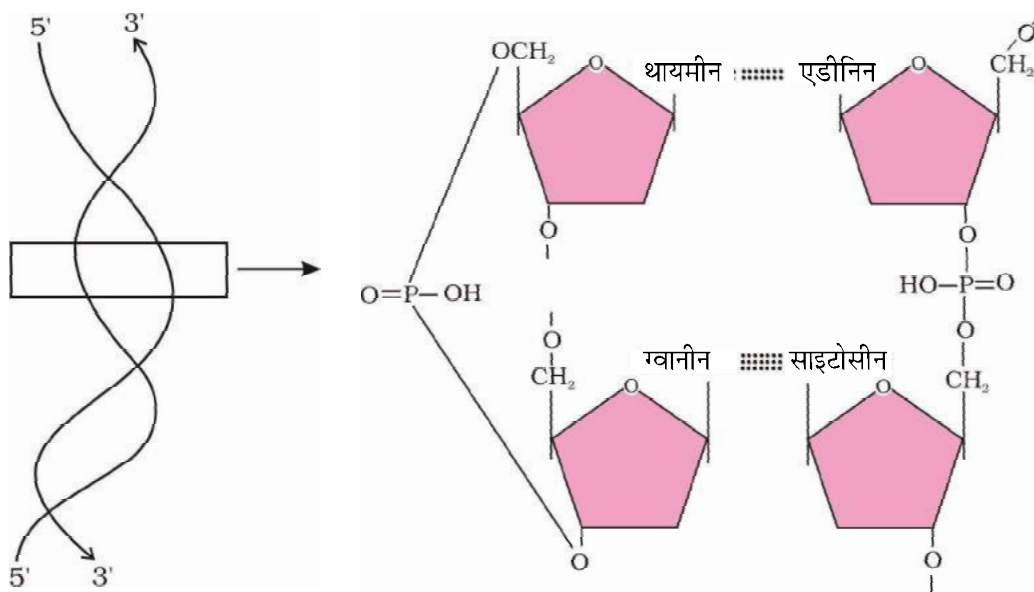
कुछ प्रोटीन एक से अधिक पॉलीपेप्टाइड्स या उपइकाइयों के समूह होते हैं, जिस ढंग से प्रत्येक पॉलीपेप्टाइड्स या उपइकाई एक दूसरे के सापेक्ष व्यवस्थित होती हैं (उदाहरण, गोले की सीधी लड़ी, गोले एक दूसरे के ऊपर व्यवस्थित होकर घनाभ या पट्टिका की संरचना आदि)। वे प्रोटीन के स्थापत्य को प्रदर्शित करती हैं, जिसे प्रोटीन की **चतुष्क**

संरचना कहते हैं। वयस्क मनुष्य का हीमोग्लोबिन चार उपखंडों का बना होता है। इनमें दो एक दूसरे के समान होते हैं। दो उपखंड अल्फा (α) व दो उपखंड बीटा (β) प्रकार के होते हैं, जो आपस में मिलकर मनुष्य के हीमोग्लोबिन (Hb) बनाते हैं।

9.8 एक बहुलक में एककों को जोड़ने वाले बंधों की प्रकृति

किसी भी पॉलीपेप्टाइड या प्रोटीन में एमीनो अम्ल **पेप्टाइड बंध** द्वारा जुड़े होते हैं, जो एक एमीनो अम्ल के कार्बोक्सिल ($-\text{COOH}$) समूह व अगले एमीनो अम्ल के एमीनो ($-\text{NH}_2$) समूह के बीच अभिक्रिया के उपरान्त जल अणु के निकलने के बाद बनता है (इस प्रक्रिया को निर्जलीकरण कहते हैं)। एक पॉलीसैकेराइड में मोनोसैकेराइड संभवतः **ग्लाइकोसाइडिक बंध** द्वारा जुड़े रहते हैं। यह बंध भी निर्जलीकरण द्वारा बनता है। यह बंध पास के दो मोनो सैकेराइड के दो कार्बन परमाणु के बीच बनता है। न्यूक्लीक अम्ल में एक न्यूक्लीओटाइड के एक शर्करा का 3'- कार्बन अनुवर्ती न्यूक्लीओटाइड के शर्करा के 5'- कार्बन से फॉस्फेट समूह द्वारा जुड़ा होता है। शर्करा के फॉस्फेट व हाइड्रॉक्सिल समूह के बीच का बंध एक एस्टर बंध होता है। एस्टर बंध दोनों तरफ मिलता है, अतः इसे फॉस्फोडाएटस्टर बंध कहते हैं (चित्र 9.5)।

न्यूक्लीक अम्लों में विभिन्न प्रकार की द्वितीयक संरचना मिलती है। उदाहरणार्थ बाटसन क्रिक का प्रसिद्ध नमूना डीएनए की द्वितीयक संरचना को प्रदर्शित करता है। इस नमूने से स्पष्ट है कि डीएनए एक दोहरी कुंडली के रूप में मिलता है। पॉलीन्यूक्लीओटाइड्स की दोनों लड़ियाँ प्रति समानांतर हैं जो एक दूसरे की विपरीत दिशाओं में होती हैं। इनका मुख्य भाग शर्करा-फॉस्फेट-शर्करा शृंखला से बना होता है। नाइट्रोजन क्षार एक दूसरे की तरफ मुख किए हुए मुख्य भाग पर लगभग लंबवत प्रक्षेपित होते हैं। एक लड़ी के क्षार



चित्र 9.5 डी.एन.ए. की द्वितीयक संरचना का चित्रात्मक प्रदर्शन

ए एवं जी अनिवार्यता दूसरे लड़ी के क्षार क्रमशः टी एवं सी से क्षार युग्म बनाते हैं। ए एवं टी के बीच दो हाइड्रोजन बंध जबकि जी व सी के बीच तीन हाइड्रोजन बंध होते हैं। प्रत्येक शृंखला एक घुमावदार सीढ़ी जैसी प्रतीत होती है। सीढ़ी का प्रत्येक पद क्षारों युग्मों का बना होता है। सीढ़ी का प्रत्येक पद दूसरे पद से 360° के कोण पर घूमा होता है। कुंडलित शृंखला के एक पूर्ण घुमाव में दस पद या दस क्षार युग्म पाए जाते हैं। इस तरह आप डीएनए का रेखाचित्र बनाने का प्रयास कर सकते हैं। एक पूर्ण घुमाव की लंबाई 34Å (एंग्स्ट्रॉम) होता है जबकि दो क्षार युग्मों के बीच खड़ी दूरी 3.4Å एंग्स्ट्रॉम होती है। उपरोक्त वर्णित विशेषतायुक्त डीएनए को बीडीएनए कहते हैं। उच्च कक्षाओं में तुम्हें बताया जाएगा कि एक दर्जन से भी अधिक प्रकार के डीएनए होते हैं, जिनका नामकरण संरचनात्मक विशेषता के आधार पर अंग्रेजी की वर्णमाला के आधार पर किया गया है।

9.9 शरीर अवयवों की गतिक अवस्था-उपापचय की संकल्पना

हम लोगों ने अब तक जो अध्ययन किया है उसके अनुसार जीव, चाहे वह साधारण जीवाणु कोशिका हो, प्रोटोजोआ, पौधा या प्राणी हो, ये सभी हजारों कार्बनिक यौगिकों से मिलकर बने होते हैं। ये यौगिक या जैव अणु एक निश्चित सांद्रता में मिलते हैं (इन्हें मोल्स प्रति कोशिका या मोल्स प्रति लीटर आदि के रूप में व्यक्त करते हैं)। अध्ययनों से एक जो प्रमुख जानकारी प्राप्त हुई है उसके अनुसार जैव अणुओं में हेर-फेर होता रहता है। इससे तात्पर्य यह है कि ये लगातार दूसरे नए जैव अणुओं में परिवर्तित होते रहते हैं और दूसरे जैव अणुओं से मिलकर बनते रहते हैं। जीवधारियों में यह निर्माण व विखंडन रासायनिक अभिक्रिया द्वारा लगातार होता रहता है। सभी इन रासायनिक अभिक्रियाओं को **उपापचय** कहते हैं। सभी उपापचयी अभिक्रियाओं द्वारा जैवअणुओं का रूपांतरण होता रहता है। कुछ उपापचयी रूपांतरण के उदाहरण निम्न हैं—एमीनो अम्ल से कार्बनडाइऑक्साइड के निकलने के बाद एमीनो अम्ल का एमीन में बदलना, न्यूक्लीयोटाइड क्षार से एमीनो समूह का अलग होना, डाईसैकेराइड में ग्लाइकोसाइडिक बंध का जल अपघटन। इस प्रकार दस से हजारों उदाहरणों की सूची बना सकते हैं। अधिकांशतः इस प्रकार की रासायनिक अभिक्रियाएं अकेले नहीं होती, बल्कि सदैव अन्य दूसरी अभिक्रियाओं से जुड़ी होती हैं। उपापचयजों का एक दूसरे में परिवर्तन आपस में जुड़ी हुई अभिक्रियाओं की शृंखलाओं से होता है, जिन्हें उपापचयी पथ कहते हैं। ये उपापचयी पथ शहर की कार/मोटर यातायात व्यवस्था जैसी होती है। ये पथ या तो रेखीय या वृत्ताकार होते हैं। ये पथ एक दूसरे से आड़े-तिरछे यातायात के संगम जैसे दिखाई पड़ते हैं। उपापचयज यातायात के कार/मोटर सदृश एक निश्चित वेग व दिशा में उपापचयी पथ से होकर गमन करते हैं। यह उपापचयज बहाव शरीर के घटकों की गतिक अवस्था कहलाता है। सबसे महत्वपूर्ण यह है कि आपस में जुड़ा हुआ यह उपापचयी यातायात अत्यंत निर्बाध गति से बिना दुर्घटना के स्वस्थ अवस्था बनाए रखने के लिए होता रहता है। इन उपापचयी अभिक्रियाओं की दूसरी विशेषता यह है कि इनकी प्रत्येक रासायनिक क्रिया **उत्प्रेरित अभिक्रियाएं** हैं। जीव तंत्र में कोई भी उपापचयी रूपांतरण बिना उत्प्रेरक के संपन्न नहीं होता है। कार्बनडाइऑक्साइड का पानी में घुलना जो एक भौतिक प्रक्रिया है, लेकिन जीव

तंत्र में यह एक उत्प्रेरित अभिक्रिया होती है। उत्प्रेरक जो किसी उपापचयी रूपांतरण की गति को बढ़ाते हैं, वे भी प्रोटीन होते हैं। ये प्रोटीन जिनमें उत्प्रेरण की क्षमता होती है उन्हें **एंजाइम** कहते हैं।

9.10 जीव का उपापचयी आधार

उपापचयी पथ द्वारा साधारण पदार्थों से जटिल पदार्थ (जैसे एसीटीक अम्ल से कोलेस्ट्रॉल का बनना) व जटिल पदार्थों से सरल पदार्थों (जैसे कंकाली पेशियों में ग्लूकोज से लैक्टिक अम्ल) का निर्माण होता रहता है। पहली प्रकार की प्रक्रिया को जैव संश्लेषण पथ या **उपचयी** पथ कहते हैं। दूसरी प्रक्रिया में अपचय या विखंडन होता है, इसलिए इसे **अपचयी** पथ कहते हैं। उपचयी पथों में ऊर्जा खर्च होती है। एमिनो अम्लों से प्रोटीन के निर्माण में ऊर्जा की आवश्यकता होती है। दूसरी तरफ अपचयी पथ द्वारा ऊर्जा मुक्त होती है, जैसे कंकाली पेशियों में जब ग्लूकोज लैक्टिक अम्ल में टूटता है तो ऊर्जा मुक्त होती है। यह उपापचयी पथ जिसके द्वारा ग्लूकोज से लैक्टिक अम्ल का निर्माण होता है, 10 उपापचयी चरणों में पूर्ण होता है तथा इसे ग्लाइकोलिसिस कहते हैं। जीवों में विखंडन द्वारा निकलने वाली यह ऊर्जा रासायनिक बंध के रूप में संचित कर ली जाती है। यह बंध ऊर्जा जब और जहाँ आवश्यक होती है; जैसे जैव संश्लेषण, परासरण व यांत्रिक कार्य किए जाने पर, इसका उपयोग किया जाता है। ऊर्जा की मुद्रा का सर्वाधिक महत्वपूर्ण स्वरूप जीव तंत्र में एक रसायन में बंध ऊर्जा के रूप में मिलता है जिसे **एडीनोसीन ट्राई फास्फेट (एटीपी)** कहते हैं।

जीव अपनी ऊर्जा कैसे प्राप्त करते हैं? उनमें किस तरह की योजना विकसित हुई है? वे इस ऊर्जा को कैसे व किस रूप में संचित करते हैं? इस ऊर्जा को वे कार्य में कैसे बदलते हैं? तुम इन सब चीजों के बारे में बाद में उच्च कक्षाओं में एक नई शाखा में अध्ययन करोगे, जिसे 'जैव ऊर्जा विज्ञान' (Bioenergetics) कहते हैं।

9.11 जीव अवस्था

इस अवस्था में आप समझ चुके होंगे कि जीवों में उनके अनुसार एक निश्चित सांद्रता में हजारों रासायनिक यौगिक मिलते हैं, जिसे उपापचयज या जैव अणु कहते हैं, उदाहरणार्थ सामान्य स्वस्थ व्यक्ति में रक्त शर्करा की मात्रा 4.5–5.0 मिलीमोल जबकि हार्मोन की नैनोग्राम प्रति मिलीलीटर होती है। सबसे महत्वपूर्ण तथ्य यह है कि जैविक तंत्र में सभी जीव एक स्थिर अवस्था में मिलते हैं जिनमें सभी जैव अणुओं की एक निश्चित मात्रा होती है। ये जैव अणु एक उपापचयी प्रवाह में होते हैं। कोई भी रासायनिक या भौतिक प्रक्रिया स्वतः साम्यावस्था को प्राप्त करती है। स्थिर अवस्था एक असाम्यावस्था होती है। भौतिक सिद्धांत के अनुसार कोई भी तंत्र साम्यावस्था में कार्य नहीं कर सकता है। जैसा कि जीव हमेशा कार्य करते हैं, उनमें कभी भी साम्यावस्था की स्थिति नहीं हो सकती है। अतः **जीव अवस्था एक असाम्य स्थाई अवस्था होती है, जिससे कार्य संपन्न होता है।** जीव प्रक्रिया एक लगातार प्रयास है जिसमें साम्यावस्था से बचा जा सके।

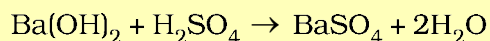
इसके लिए सदा ऊर्जा की आवश्यकता होती है। उपापचय वह प्रक्रिया है जिससे ऊर्जा प्राप्त होती है। अतः जीव अवस्था व उपापचय एक दूसरे के पर्यायवाची होते हैं। बिना उपापचय के जीव अवस्था प्राप्त नहीं हो सकती है।

9.12 एंजाइम

लगभग सभी एंजाइम प्रोटीन होते हैं। कुछ न्यूक्लीक अम्ल एंजाइम की तरह व्यवहार करते हैं, इन्हें राइबोजाइम्स कहते हैं। किसी भी एंजाइम को रेखीय चित्र द्वारा चित्रित कर सकते हैं। एक एंजाइम में भी प्रोटीन की तरह प्राथमिक संरचना मिलती है जो एमीनो अम्ल की श्रृंखला से बना होता है। प्रोटीन की तरह एंजाइम में भी द्वितीयक व तृतीयक संरचना मिलती है। जब आप तृतीयक संरचना (चित्र 9.4ब) को देखेंगे तो ध्यान देंगे कि प्रोटीन श्रृंखला का प्रमुख भाग अपने ऊपर स्वयं कुंडलित होता है और श्रृंखला स्वयं आड़ी-तिरछी स्थित होती है। इससे बहुत सी दरार या थैलियाँ बन जाती हैं। इस प्रकार की थैली को सक्रिय स्थल कहते हैं। एंजाइम का सक्रिय स्थल वे दरार या थैली हैं, जिनमें क्रियाधार आकर व्यवस्थित होते हैं। इस प्रकार एंजाइम सक्रिय स्थल द्वारा अभिक्रियाओं को तेज गति से उत्प्रेरित करता है। एंजाइम उत्प्रेरक अकार्बनिक उत्प्रेरक से कई प्रकार से भिन्न होते हैं; लेकिन इनमें एक बहुत बड़े अंतर को जानना आवश्यक है। अकार्बनिक उत्प्रेरक उच्च तापक्रम व दाब पर कुशलता से काम करते हैं। एंजाइम अणु उच्च तापक्रम (40° से. से ऊपर) पर क्षतिग्रस्त हो जाते हैं। साधारणतया अति उच्च तापक्रम (जैसे गर्म स्रोतों या गंधक के झरनों में) पाए जाने वाले जीवों से प्राप्त एंजाइम स्थाई होते हैं और उनकी उत्प्रेरक शक्ति उच्च तापक्रम (80° से 90° से. तक) पर भी बनी रहती है। उपरोक्त एंजाइम जो उष्मा स्नेही जीवों से पृथक् किए गए हैं, उष्मास्थाई होते हैं। यह उनकी विशेषता है।

9.12.1 रासायनिक अभिक्रियाएं

एंजाइम्स क्या होते हैं? इससे पहले यह समझ लेना आवश्यक है कि रासायनिक अभिक्रिया क्या होती है। रासायनिक यौगिकों में दो तरह के परिवर्तन होते हैं। पहला भौतिक परिवर्तन जिसमें बिना बंध के टूटे हुए यौगिक के आकार में परिवर्तन होता है। अन्य भौतिक प्रक्रिया में द्रव्य की अवस्था में परिवर्तन होता है, जैसे बर्फ का पिघलकर पानी में परिवर्तित होना या पानी का वाष्प में बदलना। ये भौतिक प्रक्रियाएं हैं। रूपांतरण के समय बंधों का टूटना व नये बंधों का निर्माण होना ही रासायनिक अभिक्रिया होती है। उदाहरण - बेरियम हाइड्रॉक्साइड गंधक के अम्ल से क्रिया कर बेरियम सल्फेट व पानी बनाता है।

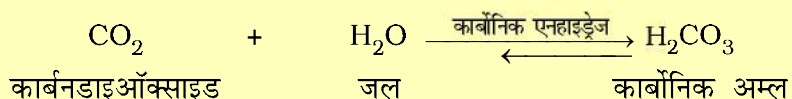


यह एक अकार्बनिक रासायनिक अभिक्रिया है। ठीक इसी प्रकार (टार्च का जल अपघटन द्वारा ग्लूकोज में बदलना एक कार्बनिक रासायनिक अभिक्रिया है। भौतिक या रासायनिक

अभिक्रिया की दर का सीधा संबंध इकाई समय में बनने वाले उत्पाद से होता है। इसे इस प्रकार प्रदर्शित कर सकते हैं:

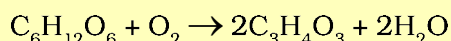
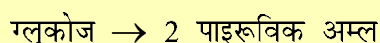
$$\text{दर} = \frac{\delta P}{\delta t}$$

यदि दिशा निर्धारित हो तो इस दर को वेग भी कहते हैं। भौतिक व रासायनिक प्रक्रियाओं की दर अन्य कारकों के साथ-साथ तापक्रम द्वारा प्रभावित होती है। एक सर्वमान्य नियम के अनुसार प्रत्येक 10° सेंटीग्रेड तापक्रम के बढ़ने या घटने पर अभिक्रिया की दर क्रमशः द्विगुणित या आधी हो जाती है। उत्प्रेरित अभिक्रियाएं, अनुत्प्रेरित अभिक्रियाओं की अपेक्षा उच्च दर से संपन्न होती हैं। जब किसी एंजाइम द्वारा उत्प्रेरित अभिक्रिया की दर बिना उत्प्रेरण के संपन्न होने वाली अभिक्रिया से बहुत अधिक होती है। उदाहरणार्थ:



यह अभिक्रिया बहुत मंद गति से होती है जिसमें एक घंटे में कार्बोनिक अम्ल के 200 अणुओं का निर्माण होता है, लेकिन उपरोक्त अभिक्रिया कोशिका द्रव्य में उपस्थित एंजाइम कार्बोनिक एनहाइड्रेज की उपस्थिति में तीव्रगति से संपन्न होती है, जिसके कार्बोनिक अम्ल के 600000 अणु प्रति सेकेंड बनते हैं। एंजाइम ने इस क्रिया की दर को 10 लाख गुना बढ़ा दिया। एंजाइम की यह शक्ति वास्तव में अविश्वसनीय लगती है।

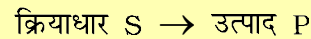
हजारों प्रकार के एंजाइम होते हैं जो विशेष प्रकार की रासायनिक व उपापचयी अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं। बहुचरणीय रासायनिक अभिक्रियाओं में जहाँ प्रत्येक चरण एक ही जटिल एंजाइम या विभिन्न प्रकार के एंजाइम से उत्प्रेरित होती है, तो इन्हें उपापचयी पथ कहते हैं। जैसे उदाहरण-



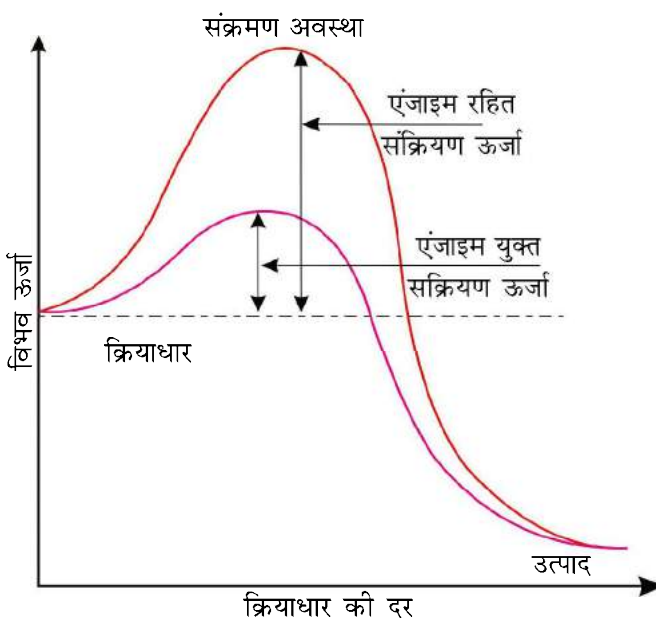
ग्लूकोज से पाइरूविक अम्ल का निर्माण एक रासायनिक पथ द्वारा होता है, जिसमें दस विभिन्न प्रकार के एंजाइम उपापचयी अभिक्रिया को उत्प्रेरित करते हैं। आप अध्याय 14 में उपरोक्त अभिक्रियाओं के बारे में अध्ययन करेंगे। इस अवस्था में आपको जान लेना चाहिए कि एक ही उपापचयी पथ एक या दो अतिरिक्त अभिक्रियाओं के द्वारा विभिन्न प्रकार के उपापचयी उत्पाद बनाते हैं। हमारी कंकाली पेशियों में अनॉक्सी स्थिति में लैक्टिक अम्ल का निर्माण होता है जबकि सामान्य ऑक्सी स्थिति में पाइरूविक अम्ल का निर्माण होता है। खमीर में किण्वन के दौरान उपरोक्त पथ द्वारा इथेनाल (एल्कोहल) का निर्माण होता है। विभिन्न दिशाओं में विभिन्न प्रकार के उत्पाद का निर्माण संभव है।

9.12.2 एंजाइम द्वारा उच्च दर से रासायनिक रूपांतरण कैसे होता है?

इसे समझने के लिए एंजाइम के बारे में थोड़ा विस्तृत अध्ययन करना पड़ेगा। सक्रिय स्थल के बारे में हम पहले ही पढ़ चुके हैं। रासायनिक या उपापचयी रूपांतरण एक अभिक्रिया होती है। जो रसायन (Chemical) उत्पाद में रूपांतरित होता है, उसे क्रियाधार (Substrate) कहते हैं। एंजाइम जो एक सक्रिय स्थल सहित एक त्रिविम संरचना की प्रोटीन है, जो एक क्रियाधार को उत्पाद में बदलता है। सांकेतिक रूप में इसे निम्न ढंग से चित्रित कर सकते हैं।



क्रियाधार (S) एंजाइम के सक्रिय स्थल जो दरार या पुटिका के रूप में होता है, से जुड़ जाता है। क्रियाधार सक्रिय स्थल की ओर जाते हैं। इस प्रकार आवश्यक एंजाइम-क्रियाधार सम्मिश्र (ES) का अविकल्पीय निर्माण होता है। ई (E) एंजाइम को प्रदर्शित करता है। इस समूह का निर्माण एक अल्पकालिक घटना है। क्रियाधार एंजाइम के सक्रिय स्थल से जुड़ने की अवस्था में क्रियाधार की नई संरचना का निर्माण होता है जिसे संक्रमण अवस्था-संरचना कहते हैं। इसके बाद शीघ्र ही प्रत्याशित बंध के टूटने या बनने के उपरांत सक्रिय स्थल से उत्पाद अवमुक्त होता है। दूसरे शब्दों में क्रियाधार की संरचना उत्पाद की संरचना में रूपांतरित हो जाती है। रूपांतरण का यह पथ तथा कथित संक्रमण अवस्था के द्वारा होता है। स्थाई क्रियाधार व उत्पाद के बीच में बहुत सारी 'रूपांतरित संरचनात्मक अवस्था' हो सकती है। इस कथन का आशय है कि बनने वाली सभी मध्यवर्ती संरचनात्मक अवस्था अस्थायी होती है। स्थायित्व का संबंध अणु की ऊर्जा अवस्था या संरचना से जुड़ा होता है। यदि इसे चित्रात्मक लेखाचित्र के रूप में प्रदर्शित किया जाए तो यह चित्र 9.6 के अनुरूप होगा।



चित्र 9.6: संक्रमण ऊर्जा की संकल्पना

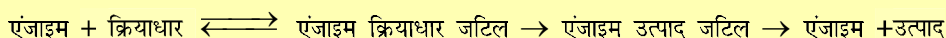
y- अक्ष अंतर्निहित ऊर्जा अंश को व्यक्त करता है।
x- अक्ष संरचनात्मक रूपांतरण की या वह अवस्था जिसका निर्माण मध्यवर्ती संरचना द्वारा होता है, की प्रगति को व्यक्त करता है। दो चीजें ध्यान देने योग्य है। क्रियाधार (S) व उत्पाद (P) के बीच ऊर्जा स्तर में अंतर। यदि उत्पाद क्रियाधार से नीचे स्तर का है तो अभिक्रिया बाह्य उष्मीय होती है। इस अवस्था में उत्पाद निर्माण हेतु ऊर्जा आपूर्ति (गर्म करने से) की आवश्यकता नहीं होती है। फिर भी चाहे यह बाह्यउष्मीय या स्वतः प्रवर्तित अभिक्रिया या अंतःउष्मीय या ऊर्जा आवश्यक अभिक्रिया हो क्रियाधार को उच्च ऊर्जा अवस्था या संक्रमण अवस्था से गुजरना होता है। क्रियाधार व संक्रमण अवस्था के बीच औसत ऊर्जा के अंतर को 'सक्रियण ऊर्जा' (Activation energy) कहते हैं।

एंजाइम ऊर्जा अवरोध को घटाकर क्रियाधार से उत्पाद के आसान रूपांतरण में सहयोग करता है।

9.12.3 एंजाइम क्रिया की प्रकृति

प्रत्येक एंजाइम (E) के अणु में क्रियाधार-बंधन-स्थल (Substrate binding site) मिलता है जो क्रियाधार (s) से बंध कर सक्रिय एंजाइम-क्रियाधार सम्मिश्र (ES) का निर्माण करता है। यह सम्मिश्र अल्पावधि का होता है, जो उत्पाद (P) एवं अपरिवर्तित एंजाइम में विघटित हो जाता है इसके पूर्व मध्यावस्था के रूप में एंजाइम उत्पाद (EP) जटिल का निर्माण होता है।

एंजाइम-क्रियाधार जटिल (ES) का निर्माण उत्प्रेरण के लिए आवश्यक होता है।



एंजाइम क्रिया के उत्प्रेरक चक्र को निम्न चरणों में व्यक्त किया जा सकता है-

1. सर्वप्रथम क्रियाधार सक्रिय स्थल में व्यवस्थित होकर एंजाइम के सक्रिय स्थल से बँध जाता है।
2. बँधने वाला क्रियाधार एंजाइम के आकार में इस प्रकार से बदलाव लाता है कि क्रियाधार एंजाइम से मजबूती से बँध जाता है।
3. एंजाइम का सक्रिय स्थल अब क्रियाधार के काफी समीप होता है जिसके परिणामस्वरूप क्रियाधार के रासायनिक बंध टूट जाते हैं और नए एंजाइम उत्पाद जटिल का निर्माण होता है।
4. एंजाइम नवनिर्मित उत्पाद को अवमुक्त करता है व एंजाइम स्वतंत्र होकर क्रियाधार के दूसरे अणु से बँधने के लिए तैयार हो जाता है। इस प्रकार पुनः उत्प्रेरक चक्र प्रारंभ हो जाता है।

9.12.4 एंजाइम क्रियाविधि को प्रभावित करने वाले कारक

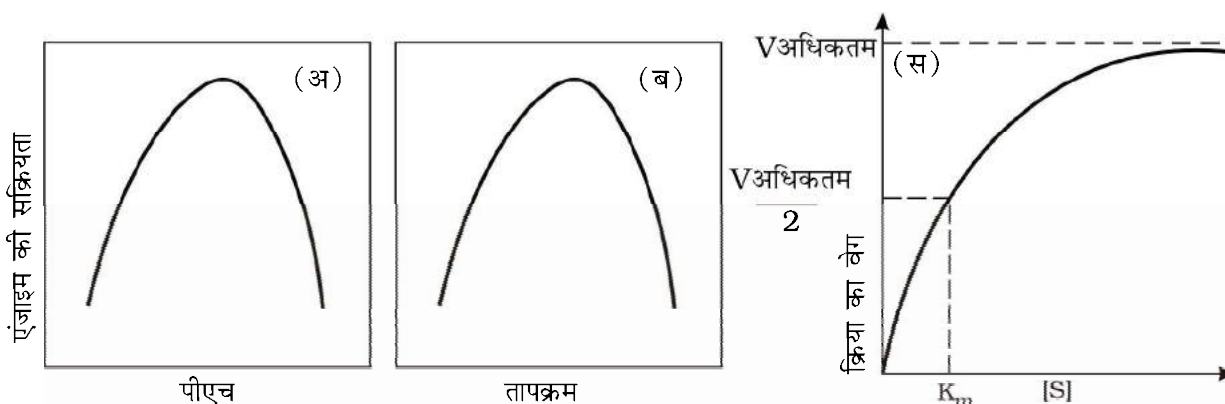
जो कारक प्रोटीन की तृतीयक संरचना को परिवर्तित करते हैं, वे एंजाइम की सक्रियता को भी प्रभावित करते हैं; जैसे- तापक्रम, पी.एच. (pH)। क्रियाधार की सांद्रता में परिवर्तन या किसी विशिष्ट रसायन का एंजाइम से बंधन, उसकी प्रक्रिया को नियंत्रित करते हैं।

तापक्रम व पी एच (pH)

एंजाइम सामान्यतः तापक्रम व पी एच के लघु परिसर में कार्य करते हैं (चित्र 9.7)। प्रत्येक एंजाइम की अधिकतम क्रियाशीलता एक विशेष तापक्रम व पी एच पर ही होती है, जिसे क्रमशः ईष्टतम तापक्रम व पी एच कहते हैं। इस ईष्टतम मान के ऊपर या नीचे होने से क्रियाशीलता घट जाती है। निम्न तापक्रम एंजाइम को अस्थायी रूप से निष्क्रिय अवस्था में सुरक्षित रखता है, जबकि उच्च तापक्रम एंजाइम की क्रियाशीलता को समाप्त कर देता है; क्योंकि उच्च तापक्रम एंजाइम के प्रोटीन को विकृत कर देता है।

क्रियाधार की सांद्रता

क्रियाधार की सांद्रता (s) के बढ़ने के साथ-साथ पहले तो एंजाइम क्रिया की गति (v) बढ़ती है। अभिक्रिया अंततोगत्वा सर्वोच्च गति (V_{max}) प्राप्त करने के बाद क्रियाधार



चित्र 9.7 (अ) पी.एच. (ब) तापक्रम तथा (स) क्रियाधार की सांद्रता का एंजाइम सक्रियता पर परिवर्तन का प्रभाव

की सांद्रता बढ़ने पर भी अग्रसर नहीं होती है। ऐसा इसलिए होता है कि एंजाइम के अणुओं की संख्या क्रियाधार के अणुओं से कहीं कम होती हैं और इन अणुओं से एंजाइम के संतृप्त होने के बाद एंजाइम का कोई भी अणु क्रियाधार के अतिरिक्त अणुओं से बंधन करने के लिए मुक्त नहीं बचता है, (चित्र 9.7)।

किसी भी एंजाइम की क्रियाशीलता विशिष्ट रसायनों की उपस्थिति में संवेदनशील होती है जो एंजाइम से बँधते हैं। जब रसायन का एंजाइम से बँधने के उपरान्त इसकी क्रियाशीलता बंद हो जाती है तो इस प्रक्रिया को **संदमन** (Inhibition) व उस रसायन को **संदमक** (Inhibitor) कहते हैं।

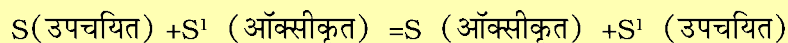
जब संदमक अपनी आणुविक संरचना में क्रियाधार से काफी समानता रखता है और एंजाइम की क्रियाशीलता को संदमित करता हो तो इसे **प्रतिस्पर्धात्मक संदमन** (Competitive Inhibitor) कहते हैं। संदमक की क्रियाधार से निकटतम संरचनात्मक समानता के फलस्वरूप यह क्रियाधार से एंजाइम के क्रियाधार-बंधक स्थल से बंधते हुए प्रतिस्पर्धा करता है। परिणामस्वरूप क्रियाधार, क्रियाधार बंधक स्थल से बंध नहीं पाता, जिसके फलस्वरूप एंजाइम क्रिया मंद पड़ जाती है। उदाहरण के लिए, सक्सीनिक डिहाइड्रोजिनेज का मेलोनेट द्वारा संदमन जो संरचना में क्रियाधार सक्सीनेट से निकट की समानता रखता है। ऐसे प्रतिस्पर्धी संदमकों का अक्सर उपयोग जीवाणु जन्म रोगजनकों (Bacterial Pathogens) के नियंत्रण हेतु किया जाता है।

9.12.5 एंजाइम का नामकरण व वर्गीकरण

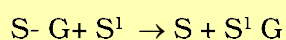
हजारों एंजाइमों की खोज, विलगन व अध्ययन किया जा चुका है। एंजाइम द्वारा विभिन्न अभिक्रिया के उत्प्रेरण के आधार पर, इन्हें विभिन्न समूहों में वर्गीकृत किया गया है। एंजाइम को 6 वर्गों व प्रत्येक वर्ग को 4-13 उपवर्गों में विभाजित किया गया है। जिनका नामकरण चार अंकीय संख्या पर आधारित है।

ऑक्सीडोरिडक्टेजेज/डीहाइड्रोजीनेजेज

एंजाइम जो दो क्रियाधारकों S व के S¹ बीच ऑक्सीअपचयन को उत्प्रेरित करते हैं जैसे

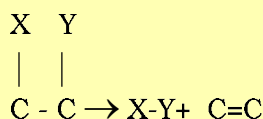


ट्रांसफरेजेज : एंजाइम क्रियाधारकों के एक जोड़े S व S¹ के बीच एक समूह (हाइड्रोजन के अतिरिक्त) के स्थानांतरण को उत्प्रेरित करते हैं। जैसे-



हाइड्रोलेजेज : एंजाइम इस्टर, ईथर, पेप्टाइड, ग्लाइकोसाइडिक, कार्बन-कार्बन, कार्बन-हैलाइड या फॉस्फोरस-नाइट्रोजन बंधों का जल-अपघटन करते हैं।

लायेजेज : जल अपघटन के अतिरिक्त विधि द्वारा एंजाइम क्रियाधारकों से समूहों के अलग होने को उत्प्रेरित करते हैं, जिसके फलस्वरूप द्विबंधों का निर्माण होता है।



आइसोमरेजेज : वे सभी एंजाइम जो प्रकाशीय, ज्यामितिय व स्थितीय समावयवों के अंतर-रूपांतरण को उत्प्रेरित करते हैं।

लाइगेजेज : एंजाइम दो यौगिकों के आपस में जुड़ने को उत्प्रेरित करते हैं, जैसे एंजाइम जो कार्बन-ऑक्सीजन, कार्बन-सल्फर, कार्बन-नाइट्रोजन व फॉस्फोरस-ऑक्सीजन बंधों के निर्माण के लिए उत्प्रेरित करते हैं।

9.12.6 सहकारक (Co-factors)

एंजाइम एक या अनेक बहुपेप्टाइड शृंखलाओं से मिलकर बना होता है। फिर भी कुछ स्थितियों में इतर प्रोटीन अवयव, जिसे सह-कारक कहते हैं, एंजाइम से बंधकर उसे उत्प्रेरक सक्रिय बनाते हैं। इन उदाहरणों में एंजाइम के केवल प्रोटीन भाग को एपोएंजाइम कहते हैं। सह-कारक तीन प्रकार के होते हैं : प्रोस्थेटिक-समूह, सह-एंजाइम व धातु-आयन।

प्रोस्थेटिक-समूह कार्बनिक यौगिक होते हैं और यह अन्य सह-कारकों से इस रूप में भिन्न होते हैं कि ये एपोएंजाइम से दृढ़ता से बंधे होते हैं। उदाहरणस्वरूप एंजाइम परऑक्सीडेज व केटलेज जो हाइड्रोजन पराक्साइड को ऑक्सीजन व पानी में विखंडित करते हैं, हीम प्रोस्थेटिक समूह होता है जो एंजाइम के सक्रिय स्थल से जुड़ा होता है।

सह एंजाइम भी कार्बनिक यौगिक होते हैं और इनका संबंध एपोएंजाइम से अस्थायी होता है जो सामान्यतया उत्प्रेरण के दौरान बनता है। सह-एंजाइम विभिन्न एंजाइम उत्प्रेरित अभिक्रियाओं में सह-कारक के रूप में कार्य करते हैं। अनेक सह-एंजाइम का मुख्य रासायनिक अवयव विटामिन्स होते हैं जैसे- सहएंजाइम नीकोटीनेमाइड एडेनीन डाईन्यूक्लीयोटाइड (NAD) नीकोटीनेमाइड एडेनीन डाईन्यूक्लीयोटाइड फॉस्फेट (NADP) विटामिन नियासीन से जुड़े होते हैं।

धातु आयन; कई एंजाइम की क्रियाशीलता हेतु धातु-आयन की आवश्यकता होती है जो सक्रिय स्थल पर पार्श्व-शृंखला से समन्वयन बंध बनाते हैं व उसी समय एक या एक से अधिक समन्वयन बंध द्वारा क्रियाधारकों से जुड़े होते हैं। जैसे-प्रोटीयोलिटिक एंजाइम कार्बाक्सीपेप्टिडेज से जिनक एक सह-कारक के रूप में जुड़ा होता है।

एंजाइम से यदि सह-कारक को अलग कर दिया जाय तो इनकी उत्प्रेरक क्रियाशीलता समाप्त हो जाती है, इससे स्पष्ट है कि एंजाइम की उत्प्रेरक क्रियाशीलता हेतु ये निर्णायक भूमिका अदा करते हैं।

सारांश

जीवों में आश्चर्यजनक विभिन्नता मिलती है। इनकी रासायनिक संघटन व उपापचयी अभिक्रियाओं में असाधारण समानताएं मिलती हैं। जीव ऊतकों व निर्जीव द्रव्यों में पाए जाने वाले तत्वों के संघटन का यदि गुणात्मक परीक्षण किया जाए तो वे काफी समान होते हैं। फिर भी सूक्ष्म परीक्षण के बाद यह स्पष्ट है कि यदि जीव तंत्र व निर्जीव द्रव्यों की तुलना की जाए तो जीव तंत्र में कार्बन, हाइड्रोजन व ऑक्सीजन की अपेक्षाकृत अधिक बहुलता होती है। जीव में सर्वाधिक प्रचुर रसायन जल मिलता है। कम अणुभार (1000 डाल्टन से कम) वाले हजारों जैव अणु होते हैं। जीवों में एमीनो अम्ल, एकलसैकेराइडस, द्विकशैकेराइडस शर्कराएं, वसा, अम्ल, ग्लिसरॉल, न्यूक्लियोटाइड, न्यूक्लियोसाइडस व नाइट्रोजन क्षार जैसे कुछ कार्बनिक यौगिक मिलते हैं। इनमें 20 प्रकार के एमीनो अम्ल व 5 प्रकार के न्यूक्लीोटाइडस मिलते हैं। वसा व तेल ग्लिसराइडस होते हैं, जिनमें वसा अम्ल, ग्लिसराल से इस्टरीकृत होता है। फॉस्फोलिपिडस में फॉस्फोरीकृत नाइट्रोजनीय यौगिक मिलते हैं।

जीव तंत्रों में केवल तीन प्रकार के वृहत्अणु जैसे- प्रोटीन, न्यूक्लीक अम्ल व बहुसैकेराइडस मिलते हैं। लिपिड्स का झिल्ली संबंधित होने के कारण वृहत् आण्विक अंश में रहते हैं। जैव वृहत् अणु बहुलक होते हैं। वे विभिन्न घटकों से बने होते हैं। न्यूक्लीक अम्ल (डी.एन.ए. व आर.एन.ए.) न्यूक्लिओटाइडस से मिलकर बने होते हैं। जैव वृहत् अणुओं में संरचनाओं का पदानुक्रम जैसे- प्राथमिक, द्वितीयक, तृतीयक व चतुष्कीय संरचनाएं मिलती हैं। न्यूक्लीक अम्ल आनुवंशिक द्रव्य की कोशिकाभित्तियों के रूप में कार्य करता है। बहुसैकेराइडस पौधों, कवकों व संधिपादों के बाह्य कंकाल के घटक हैं। ये ऊर्जा के संचित रूप (जैसे-स्टार्च व ग्लाइकोजेन) में भी मिलते हैं। प्रोटीन विभिन्न कोशिकीय कार्यों में सहायता करते हैं। उनमें से कुछ एंजाइम्स, प्रतिरक्षी, ग्राही, हार्मोन्स, व दूसरे संरचनात्मक प्रोटीन होते हैं। प्राणी जगत में सर्वाधिक प्रचुरता में मिलने वाला प्रोटीन कोलेजेन व संपूर्ण जैवमंडल में सर्वाधिक प्रचुरता में मिलने वाला प्रोटीन रूबीस्को (RUBISCO) है।

एंजाइम्स प्रोटीन होते हैं जो कोशिकाओं में जैव रासायनिक क्रियाओं की उत्प्रेरक शक्ति होते हैं। प्रोटीनमय एंजाइम्स क्रियाशीलता हेतु ईष्टतम तापक्रम व पी.एच. (pH) की आवश्यकता होती है। एंजाइम्स अभिक्रिया की दर को काफी तीव्र कर देते हैं। न्यूक्लीक अम्ल आनुवंशिक सूचनाओं के वाहक होते हैं, जो इसे पैतृक पीढ़ी से संतति में आगे बढ़ाते हैं।

अभ्यास

1. वृहत् अणु क्या है? उदाहरण दीजिए?
2. ग्लाइकोसिडिक, पेप्टाइड, तथा फॉस्फो-डाइस्टर बंधों का वर्णन कीजिए?
3. प्रोटीन की तृतीयक संरचना से क्या तात्पर्य है?
4. 10 ऐसे रुचिकर सूक्ष्म जैव अणुओं का पता लगाइए जो कम अणुभार वाले होते हैं व इनकी संरचना बनाइए? ऐसे उद्योगों का पता लगाइए जो इन यौगिकों का निर्माण विलगन द्वारा करते हैं? इनको खरीदने वाले कौन हैं? मालूम कीजिए?
5. प्रोटीन में प्राथमिक संरचना होती है, यदि आपको जानने हेतु ऐसी विधि दी गई है, जिसमें प्रोटीन के दोनों किनारों पर अमीनो अम्ल है तो क्या आप इस सूचना को प्रोटीन की शुद्धता अथवा समांगता (homogeneity) से जोड़ सकते हैं?
6. चिकित्सार्थ अभिकर्ता (therapeutic agents) के रूप में प्रयोग में आने वाले प्रोटीन का पता लगाइए व सूचीबद्ध कीजिए। प्रोटीन की अन्य उपयोगिताओं को बताइए (जैसे सौंदर्य-प्रसाधन आदि)।
7. ट्राइग्लिसराइड के संगठन का वर्णन कीजिए।
8. क्या आप प्रोटीन की अवधारणा के आधार पर वर्णन कर सकते हैं कि दूध का दही अथवा योगर्ट में परिवर्तन किस प्रकार होता है?
9. क्या आप व्यापारिक दृष्टि से उपलब्ध परमाणु मॉडल (बल व स्टिक नमूना) का प्रयोग करते हुए जैवअणुओं के उन प्रारूपों को बना सकते हैं?
10. अमीनो अम्लों को दुर्बल क्षार से अनुमापन (Titrate) कर, अमीनो अम्ल में वियोजी क्रियात्मक समूहों का पता लगाने का प्रयास कीजिए?
11. ऐलेनीन अमीनो अम्ल की संरचना बताइए?
12. गोंद किससे बने होते हैं? क्या फेविकोल इससे भिन्न है?
13. प्रोटीन, वसा व तेल अमीनो अम्लों का विश्लेषणात्मक परीक्षण बताइए एवं किसी भी फल के रस, लार, पसीना तथा मूत्र में इनका परीक्षण करें?
14. पता लगाइए कि जैव मंडल में सभी पादपों द्वारा कितने सेल्यूलोज का निर्माण होता है। इसकी तुलना मनुष्यों द्वारा उत्पादित कागज से करें। मानव द्वारा प्रतिवर्ष पादप पदार्थों की कितनी खपत की जाती है? इसमें वनस्पतियों की कितनी हानि होती है?
15. एंजाइम के महत्वपूर्ण गुणों का वर्णन कीजिए?

अध्याय 10

कोशिका चक्र और कोशिका विभाजन

10.1 कोशिका चक्र

10.2 सूत्री विभाजन अवस्था (M प्रावस्था)

10.3 सूत्री कोशिका विभाजन का महत्व

10.4 अर्धसूत्री विभाजन

क्या आप जानते हैं कि सभी जीव चाहे सबसे बड़ा ही क्यों न हो, जीवन का प्रारंभ एक कोशिका से करता है ? आप आश्चर्यचकित हो सकते हैं कि कैसे एक कोशिका से इतने बड़े जीव का निर्माण होता है। वृद्धि व जनन सभी कोशिकाओं का ही नहीं? सभी सजीवों की विशेषता है। सभी कोशिकाएं दो भागों में विभाजित होकर जनन करती हैं, जिसमें प्रत्येक पैतृक कोशिका विभाजित होकर दो नई संतति कोशिकाओं का निर्माण करती है। ये नव निर्मित संतति कोशिकाएं स्वयं वृद्धि व विभाजन करती हैं। एक पैतृक कोशिका और इसकी संतति वृद्धि व विभाजन के बाद एक नई कोशिकीय जनसंख्या का निर्माण करती है। दूसरे शब्दों में, इस प्रकार की वृद्धि व विभाजन के कई चक्रों के बाद एक कोशिका से ऐसी संरचना का निर्माण होता है, जिसमें कई लाख कोशिकाएं होती हैं।

10.1 कोशिका चक्र

कोशिका विभाजन सभी जीवों के लिए एक अत्यंत महत्वपूर्ण प्रक्रिया है। एक कोशिका विभाजन के दौरान डीएनए प्रतिकृति व कोशिका वृद्धि होती है। ये सभी प्रक्रियाएं जैसे-कोशिका विभाजन, डीएनए प्रतिकृति और कोशिका वृद्धि एक दूसरे के साथ समायोजित होकर, इस प्रकार संपन्न होती हैं कि कोशिका विभाजन सही होता है व संतति कोशिकाओं में इनकी पैतृक कोशिकाओं वाला जीनोम होता है। घटनाओं का यह अनुक्रम जिसमें कोशिका अपने जीनोम का द्विगुणन व अन्य संघटकों का संश्लेषण और तत्पश्चात विभाजित होकर दो नई संतति कोशिकाओं का निर्माण करती हैं, इसे **कोशिका चक्र** कहते हैं। यद्यपि कोशिका वृद्धि (कोशिकाद्रव्यीय वृद्धि के संदर्भ में) एक सतत प्रक्रिया है, जिसमें डीएनए का संश्लेषण कोशिका चक्र की किसी एक विशिष्ट अवस्था में होता

है। कोशिका विभाजन के दौरान, प्रतिकृति गुणसूत्र (डीएनए) जटिल घटना क्रम के द्वारा संतति केंद्रकों में वितरित हो जाते हैं। ये सारी घटनाएं आनुवंशिक नियंत्रण के अंतर्गत होती हैं।

10.1.1 कोशिका चक्र की प्रावस्थाएं

एक प्ररूपी (यूकेरियोटिक) चक्र का उदाहरण मनुष्य की कोशिका के संवर्द्धन में होता है, जो लगभग प्रत्येक चौबीस घंटे में विभाजित होती है (चित्र 10.1)। यद्यपि कोशिका चक्र की यह अवधि एक जीव से दूसरे जीव एवं कोशिका से दूसरी कोशिका प्रारूप के लिए बदल सकती है। उदाहरणार्थ- यीस्ट के कोशिका चक्र के पूर्ण होने में लगभग नब्बे मिनट लगते हैं।

कोशिका चक्र की दो मूल प्रावस्थाएं होती हैं:

1. अंतरावस्था (Interphase)
2. एम प्रावस्था (सूत्री विभाजन) (Mitosis Phase)

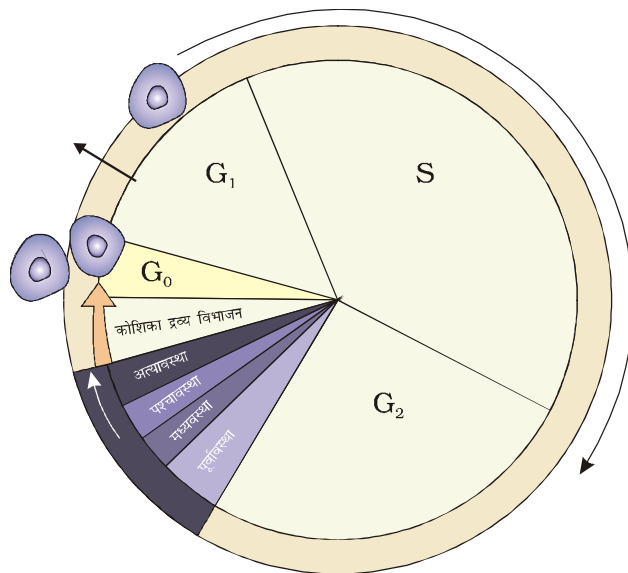
सूत्री विभाजन (एम अवस्था) उस अवस्था को व्यक्त करता है, जिसमें वास्तव में कोशिका विभाजन या समसूत्री विभाजन होता है और अंतरावस्था दो क्रमिक एम प्रावस्थाओं के बीच की प्रावस्था को व्यक्त करता है। यह ध्यान देने योग्य महत्व की बात है कि मनुष्य की कोशिका के औसतन अवधि चौबीस घंटे की कोशिका चक्र में कोशिका विभाजन सिर्फ लगभग एक घंटे में पूर्ण होता है, जिसमें कोशिका चक्र की कुल अवधि की 95 प्रतिशत से अधिक की अवधि अंतरावस्था में ही व्यतीत होती है।

एम प्रावस्था का आरंभ केंद्रक के विभाजन (कैरियो काइनेसिस) से होता है, जो कि संगत संतति गुणसूत्र के पृथक्करण (सूत्री विभाजन) के समतुल्य होता है और इसका अंत कोशिकाद्रव्य विभाजन (साइटोकाइनेसिस) के साथ होता है। अंतरावस्था को विश्राम प्रावस्था भी कहते हैं। यह वह प्रावस्था है जिसमें कोशिका विभाजन के लिए तैयार होती है तथा इस दौरान क्रमबद्ध तरीके से कोशिका वृद्धि व डीएनए का प्रतिकृतिकरण दोनों होते हैं।

अंतरावस्था को तीन प्रावस्थाओं में विभाजित किया गया है :

- पश्च सूत्री अंतरकाल प्रावस्था (G_1 Phase)
- संश्लेषण प्रावस्था (S Phase)
- पूर्व-सूत्री विभाजन अंतरालकाल प्रावस्था (G_2 Phase)

पश्च सूत्री अंतरकाल प्रावस्था (G_1 फेस) समसूत्री विभाजन एवं डीएनए प्रतिकृतिकरण के बीच अंतराल को प्रदर्शित करता है। G_1 प्रावस्था में कोशिका उपापचयी रूप से सक्रिय होती है एवं लगातार वृद्धि करती है, परंतु इसका डीएनए प्रतिकृति नहीं करता। एस फेस या संश्लेषण प्रावस्था के दौरान डीएनए का निर्माण एवं इसकी प्रतिकृति होती है। इस दौरान डीएनए की मात्रा दुगुनी हो जाती है। यदि डीएनए की प्रारंभिक मात्रा को 2 C से



चित्र 10.1 कोशिका चक्र का चित्रात्मक दृश्य जो एक कोशिका को दो कोशिकाओं के बनाने को इंगित करता है।

पादप व प्राणी अपने जीवन काल कैसे वृद्धि करते हैं? क्या पौधों में सभी कोशिकाएं जीवन भर विभाजित होती रहती हैं? क्या आप सोचते हैं कि कुछ कोशिकाएं सभी पौधों एवं प्राणियों के जीवन में हमेशा विभाजित होती रहती हैं? क्या आप उच्चकोटि के पादप में उस ऊतक का नाम व स्थान बता सकते हैं, जिसकी कोशिकाएं जीवन भर विभाजित होती रहती हैं? शीर्षस्थ कोशिका में पाए जाने वाली कोशिका जीवन भर विभाजित होती रहती है, इसलिए उन्हें विभज्योतिकी ऊतक कहते हैं। क्या प्राणियों में भी ऐसा ही विभज्योतिकी ऊतक मिलता है?

आप प्याज की जड़ की शीर्ष पर पाई जाने वाली कोशिका में सूत्री विभाजन का अध्ययन कर चुके होंगे। इसकी प्रत्येक कोशिका में 16 गुणसूत्र होते हैं। क्या आप बता सकते हैं कि G_1 अवस्था, S एवं M प्रावस्था के बाद कोशिका में कितने गुणसूत्र होंगे? यदि कोशिका में M प्रावस्था के बाद डीएनए की मात्रा $2C$ है तो G_1 , S तथा G_2 प्रावस्था के बाद, इसकी कितनी मात्रा होगी।

चिह्नित किया जाए तो यह बढ़कर $4C$ हो जाती है, यद्यपि गुणसूत्र की संख्या में कोई $of\frac{1}{4}$ ~~ugrhghshA~~; in G_1 प्रावस्था में कोशिका द्विगुणित है या $2n$ गुणसूत्र है तो S प्रावस्था के बाद भी इसकी संख्या वही रहती है, जो G_1 अवस्था में थी अर्थात् $2n$ होगी।

प्राणी कोशिका में S प्रावस्था के दौरान केंद्रक में डीएनए का जैसे ही प्रतिकृतिकरण प्रारंभ होता है वैसे ही तारककेंद्र का कोशिकाद्रव्य में प्रतिकृतिकरण होने लगता है। कोशिका वृद्धि के साथ सूत्री विभाजन हेतु G_2 प्रावस्था के दौरान प्रोटीन का निर्माण होता है।

प्रौढ़ प्राणियों में कुछ कोशिकाएं विभाजित नहीं होती (जैसे हृदय कोशिका) और अनेक दूसरी कोशिकाएं यदा-कदा विभाजित होती हैं; ऐसा तब ही होता है जब क्षतिग्रस्त या मृत कोशिकाओं को बदलने की आवश्यकता होती है। ये कोशिकाएं जो आगे विभाजित नहीं होती हैं G_1 अवस्था से निकलकर निष्क्रिय अवस्था में पहुँचती हैं, जिसे कोशिका चक्र की **शांत अवस्था** (G_0) कहते हैं। इस अवस्था की कोशिका उपापचयी रूप से सक्रिय होती है लेकिन यह विभाजित नहीं होती। इनका विभाजन जीव की आवश्यकतानुसार होता है।

प्राणियों में सूत्री विभाजन केवल द्विगुणित कायिक कोशिकाओं में ही दिखाई देता है। इसके विपरीत पादपों में सूत्री विभाजन अगुणित एवं द्विगुणित दोनों कोशिकाओं में दिखाई देता है। पादपों में पीढ़ी एकांतरण (अध्याय 3) के उदाहरणों को याद करते हुए पादप जातियों और अवस्थाओं की पहचान करें, जिनमें अगुणित कोशिकाओं में सूत्री विभाजन दिखाई पड़ता है।

10.2 सूत्री विभाजन अवस्था (M प्रावस्था)

यह कोशिका चक्र की सर्वाधिक नाटकीय अवस्था होती है, जिसमें कोशिका के सभी घटकों का वृहद् पुनर्गठन होता है। जनक व संतति कोशिका में गुणसूत्रों की संख्या बराबर होती है, इसलिए इसे **सम विभाजन** कहते हैं। सुविधा के लिए सूत्री विभाजन को केंद्रक विभाजन की चार अवस्थाओं में विभाजित किया गया है। यहाँ यह समझ लेना आवश्यक है कि कोशिका विभाजन एक प्रगतिशील प्रक्रिया है और इसकी विभिन्न अवस्थाओं के बीच स्पष्ट रूप से विभाजन करना मुश्किल है। सूत्री विभाजन को चार अवस्थाओं में विभाजित किया गया है :

- **पूर्वावस्था** (Prophase)
- **मध्यावस्था** (Metaphase)
- **पश्चावस्था** (Anaphase)
- **अंत्यावस्था** (Telophase)

10.2.1 पूर्वावस्था

अंतरावस्था की S व G_2 अवस्था के बाद पूर्वावस्था सूत्री विभाजन का पहला पड़ाव है। S व G_2 अवस्था में डीएनए के नए सूत्र बन तो जाते हैं, लेकिन आपस में गुँथे होने के कारण स्पष्ट नहीं होते। गुणसूत्रीय पदार्थ के संघनन का प्रारंभ ही पूर्वावस्था की पहचान

है। गुणसूत्रीय संघनन की प्रक्रिया के दौरान ही गुणसूत्रीय द्रव्य स्पष्ट होने लगते हैं (चित्र 10.2 अ)।

तारककेंद्र जिसका अंतरावस्था की S प्रावस्था के दौरान ही द्विगुण हुआ था, अब कोशिका के विपरीत ध्रुवों की ओर चलना प्रारंभ कर देता है।

पूर्वावस्था के पूर्ण होने के दौरान जो महत्वपूर्ण घटनाएं होती हैं उनकी निम्न विशेषताएं हैं:

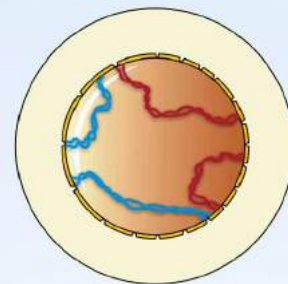
- गुणसूत्रीय द्रव्य संघनित होकर ठोस गुणसूत्र बन जाता है। गुणसूत्र दो अर्धगुणसूत्रों से बना होता है, जो आपस में सेंट्रोमियर से जुड़े रहते हैं।
- समसूत्री तर्कु, सूक्ष्म नलिकाओं के जमावड़े की प्रक्रिया प्रारंभ हो जाती है। कोशिका जीवद्रव्य के ये प्रोटीनयुक्त घटक इस प्रक्रिया में सहायता करते हैं। पूर्वावस्था के अंत में यदि कोशिका को सूक्ष्मदर्शी से देखा जाता है तो इसमें गॉल्जीकाय, अंतर्द्रव्यी जालिका, केंद्रिका व केंद्रक आवरण दिखाई नहीं देता है।

10.2.2 मध्यावस्था

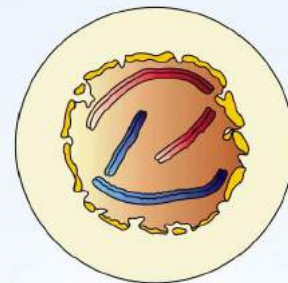
केंद्रक आवरण के पूर्णरूप से विघटित होने के साथ समसूत्री विभाजन की द्वितीय अवस्था प्रारंभ होती है, इसमें गुणसूत्र कोशिका के कोशिका द्रव्य में फैल जाते हैं। इस अवस्था तक गुणसूत्रों का संघनन पूर्ण हो जाता है और सूक्ष्मदर्शी से देखने पर ये स्पष्ट रूप से दिखाई देने लगते हैं। यही वह अवस्था है जब गुणसूत्रों की आकृति का अध्ययन बहुत ही सरल तरीके से किया जा सकता है।

मध्यावस्था गुणसूत्र दो संतति अर्धगुणसूत्रों से बना होता है जो आपस में गुणसूत्रबिंदु से जुड़े होते हैं (चित्र 10.2 ब)। गुणसूत्रबिंदु के सतह पर एक छोटा बिंब आकार की संरचना मिलती है जिसे काइनेटोकोर कहते हैं। सूक्ष्म नलिकाओं से बने हुए तर्कुतंतु के जुड़ने का स्थान ये संरचनाएं (काइनेटोकोर) हैं, जो दूसरी ओर कोशिका के केंद्र में स्थित गुणसूत्र से जुड़े होते हैं। मध्यावस्था में सभी गुणसूत्र मध्यरेखा पर आकर स्थित रहते हैं। प्रत्येक गुणसूत्र का एक अर्धगुणसूत्र एक ध्रुव से तर्कुतंतु द्वारा अपने काइनेटोकोर के द्वारा जुड़ जाता है, वहीं इसका संतति अर्धगुणसूत्र तर्कुतंतु द्वारा अपने काइनेटोकोर से विपरीत ध्रुव से जुड़ा होता है (चित्र 10.2 ब)। मध्यावस्था में जिस तल पर गुणसूत्र पंक्तिबद्ध हो जाते हैं, उसे **मध्यावस्था पट्टिका** कहते हैं। इस अवस्था की मुख्य विशेषता निम्नवत है:

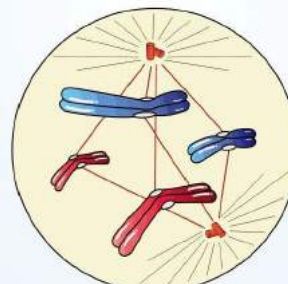
- तर्कुतंतु गुणसूत्र के काइनेटोकोर से जुड़े रहते हैं।
- गुणसूत्र मध्यरेखा की ओर जाकर मध्यावस्था पट्टिका पर पंक्तिबद्ध होकर ध्रुवों से तर्कुतंतु से जुड़ जाते हैं।



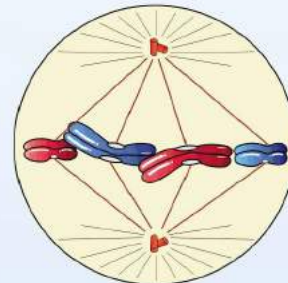
प्रारंभिक पूर्वावस्था



पश्चपूर्वावस्था
(अ)

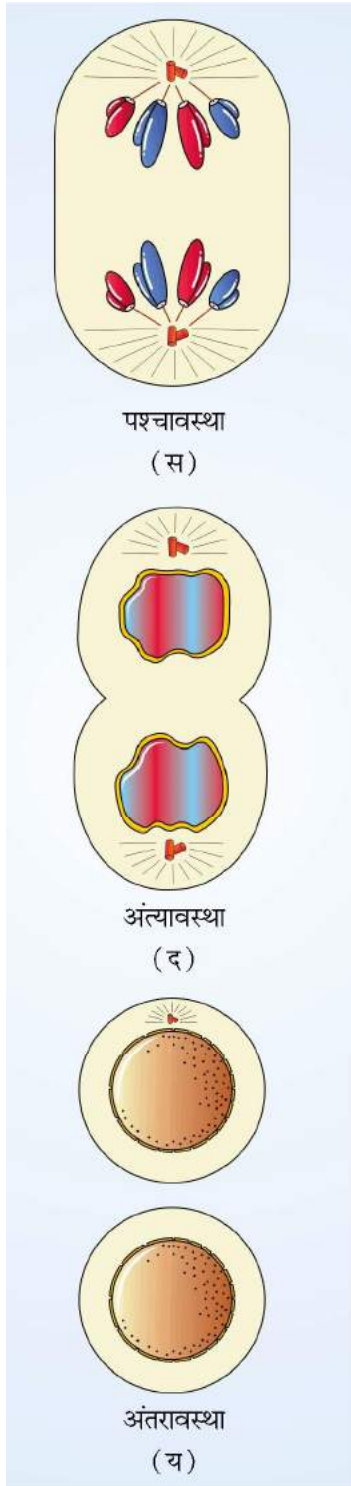


मध्यावस्था की ओर
परिवर्तन



मध्यावस्था
(ब)

चित्र 10.2 अ एवं ब सूत्री विभाजन की अवस्थाओं का चित्रात्मक दृश्य



चित्र 10.2 स से य सूत्री विभाजन की अवस्थाओं का चित्रात्मक दृश्य

10.2.3 पश्चावस्था

पश्चावस्था के प्रारंभ में मध्यावस्था पट्टिका पर आए प्रत्येक गुणसूत्र एक साथ अलग होने लगते हैं, इन्हें संतति अर्धगुणसूत्र कहते हैं जो कोशिका विभाजन के बाद बनने वाले नए संतति केंद्रक का गुणसूत्र बनेंगे, वे विपरीत ध्रुवों की ओर जाने लगते हैं। जब प्रत्येक गुणसूत्र मध्यांश पट्टिका से काफी दूर जाने लगता है तब प्रत्येक का गुणसूत्रबिंदु ध्रुवों की ओर होता है जो गुणसूत्रों को ध्रुवों की ओर जाने का नेतृत्व करते हैं, साथ ही गुणसूत्र की भुजाएं पीछे आती हैं (चित्र 10.2 स)। पश्चावस्था की निम्न विशेषताएं हैं :

- गुणसूत्रबिंदु विखंडित होते हैं और अर्धगुणसूत्र अलग होने लगते हैं।
- अर्धगुणसूत्र विपरीत ध्रुवों की ओर जाने लगते हैं।

10.2.4 अंत्यावस्था

सूत्री विभाजन की अंतिम अवस्था के प्रारंभ में अंत्यावस्था गुणसूत्र जो क्रमानुसार अपने ध्रुवों पर चले गए हैं; असंघनित होकर अपनी संपूर्णता को खो देते हैं। एकल गुणसूत्र दिखाई नहीं देता है व अर्धगुणसूत्र द्रव्य दोनों ध्रुवों की तरफ एक समूह के रूप में एकत्रित हो जाते हैं (चित्र 10.2 द)। इस अवस्था की मुख्य घटनाएं निम्नवत हैं:

- गुणसूत्र विपरीत ध्रुवों की ओर एकत्रित हो जाते हैं और इनकी पृथक् पहचान समाप्त हो जाती है।
- गुणसूत्र समूह के चारों तरफ केंद्रक झिल्ली का निर्माण हो जाता है।
- केंद्रिका, गॉल्जीकाय व अंतर्द्रव्यी जालिका का पुनर्निर्माण हो जाता है।

10.2.5 कोशिकाद्रव्य विभाजन (Cytokinesis)

सूत्री विभाजन के दौरान द्विगुणित गुणसूत्रों का संतति केंद्रकों में संपृथक्कन होता है जिसे केंद्रक विभाजन (Karyokinesis) कहते हैं। कोशिका विभाजन संपन्न होने के अंत में कोशिका स्वयं एक अलग प्रक्रिया द्वारा दो संतति कोशिकाओं में विभाजित हो जाती है, इस प्रक्रिया को कोशिकाद्रव्य विभाजन कहते हैं (चित्र 10.2 य)। प्राणी कोशिका का विभाजन जीवद्रव्यकला में एक खांच बनने से संपन्न होता है। खांचों के लगातार गहरा होने व अंत में केंद्र में आपस में मिलने से कोशिका का कोशिकाद्रव्य दो भागों में बँट जाता है। यद्यपि पादप कोशिकाएं जो अपेक्षाकृत अप्रसारणीय कोशिका भित्ति से घिरी होती हैं अतः इनमें कोशिकाद्रव्य विभाजन दूसरी भिन्न प्रक्रियाओं द्वारा संपन्न होता है। पादप कोशिकाओं में नई कोशिका भित्ति निर्माण कोशिका के केंद्र से शुरू होकर बाहर की ओर पूर्व स्थित पार्श्व कोशिका भित्ति से जुड़ जाता है। नई कोशिकाभित्ति निर्माण एक साधारण पूर्वगामी रचना से प्रारंभ होता है जिसे **कोशिका पट्टिका** कहते हैं, जो दो सन्निकट कोशिकाओं की भित्तियों के बीच मध्य पट्टिका को दर्शाती है। कोशिकाद्रव्य विभाजन के समय कोशिका अंगक जैसे सूत्रकणिका (माइटोकॉण्ड्रिया)

व प्लैस्टिड लवक का दो संतति कोशिकाओं में वितरण हो जाता है। कुछ जीवों में केंद्रक विभाजन के साथ कोशिकाद्रव्य का विभाजन नहीं हो पाता है; इसके परिणामस्वरूप एक ही कोशिका में कई केंद्रक बन जाते हैं। ऐसी बहुकेंद्रकी कोशिका को **संकोशिका** कहते हैं (उदाहरणार्थ- नारियल का तरल भ्रूणपोष)।

10.3 सूत्री कोशिका विभाजन का महत्व

सूत्री विभाजन या मध्यवर्तीय विभाजन केवल द्विगुणित कोशिकाओं में होता है। यद्यपि कुछ निम्न श्रेणी के पादपों एवं सामाजिक कीटों में अगुणित कोशिकाएं भी सूत्री विभाजन द्वारा विभाजित होती हैं। सूत्री विभाजन का एक प्राणी के जीवन में क्या महत्व है, इसको समझना काफी आवश्यक है।

क्या आप कुछ ऐसे उदाहरण जानते हैं जहाँ आपने अगुणित व द्विगुणित कीटों के बारे में पढ़ा है। इस विभाजन से बनने वाली द्विगुणित संतति कोशिकाएं साधारणतया समान आनुवंशिक अवयव वाली होती है। बहुकोशिकीय जीवधारियों की वृद्धि सूत्री विभाजन के कारण होती है। कोशिका वृद्धि के परिणामस्वरूप केंद्रक व कोशिकाद्रव्य के बीच का अनुपात अव्यवस्थित हो जाता है। इसलिए यह आवश्यक हो जाता है कि कोशिका विभाजित होकर केंद्रक कोशिकाद्रव्य अनुपात को बनाए रखे। सूत्री विभाजन का एक महत्वपूर्ण योगदान यह है कि इसके द्वारा कोशिका की मरम्मत होती है। अधिचर्म की उपरी सतह की कोशिकाएं, आहार नाल की भीतरी सतह की कोशिकाएं एवं रक्त कोशिकाएं निरंतर प्रतिस्थापित होती रहती है।

10.4 अर्धसूत्री विभाजन

लैंगिक प्रजनन द्वारा संतति के निर्माण में दो युग्मकों का संयोजन होता है, जिनमें अगुणित गुणसूत्रों का एक समूह होता है। युग्मक का निर्माण विशिष्ट द्विगुणित कोशिकाओं से होता है। यह विशिष्ट प्रकार का कोशिका विभाजन है, जिसके द्वारा बनने वाली अगुणित संतति कोशिकाओं में गुणसूत्रों की संख्या आधी हो जाती है। इस प्रकार के विभाजन को **अर्धसूत्री विभाजन** कहते हैं। लैंगिक जनन करने वाले जीवधारियों के जीवन चक्र में अर्धसूत्री विभाजन द्वारा अगुणित अवस्था उत्पन्न होती है एवं निषेचन द्वारा द्विगुणित अवस्था पुनःस्थापित होती है। पादपों एवं प्राणियों में युग्मकजनन के दौरान अर्धसूत्री विभाजन होता है, जिसके परिणामस्वरूप अगुणित युग्मक उत्पन्न होते हैं। अर्धसूत्री विभाजन की मुख्य विशेषताएं निम्नवत हैं:

- अर्धसूत्री विभाजन के दौरान केंद्रक व कोशिका विभाजन के दो अनुक्रमिक चक्र संपन्न होते हैं, जिसे **अर्धसूत्री I** व **अर्धसूत्री II** कहते हैं। इस विभाजन में डीएनए प्रतिकृति का सिर्फ एक चक्र पूर्ण होता है।
- S अवस्था में पैतृक गुणसूत्रों के प्रतिकृति के साथ समान संतति अर्धगुणसूत्र बनने के बाद अर्धसूत्री I अवस्था प्रारंभ होती है।
- अर्धसूत्री II विभाजन में समजात गुणसूत्रों का युगलन व पुनर्योजन होता है।

- अर्धसूत्री II के अंत में चार अगुणित कोशिकाएं बनती हैं। अर्धसूत्री विभाजन को निम्न अवस्थाओं में वर्गीकृत किया गया है :

अर्धसूत्री I	अर्धसूत्री II
पूर्वावस्था I	पूर्वावस्था II
मध्यावस्था I	मध्यावस्था II
पश्चावस्था I	पश्चावस्था II
अंत्यावस्था I	अंत्यावस्था II

10.4.1 अर्धसूत्री विभाजन I

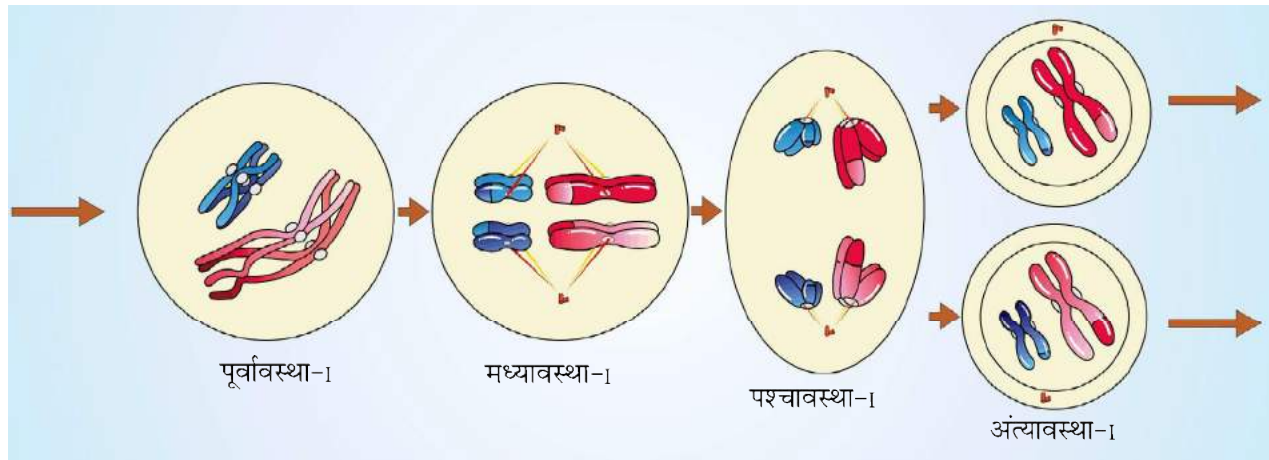
पूर्वावस्था I : अर्धसूत्री विभाजन I की पूर्वावस्था की तुलना समसूत्री विभाजन की पूर्वावस्था से की जाए तो, यह अधिक लंबी व जटिल होती है। गुणसूत्रों के व्यवहार के आधार पर इसे पाँच प्रावस्थाओं में उपविभाजित किया गया है जैसे-तनुपट्ट (लेप्टोटीन), युग्मपट्ट (जाइगोटीन), स्थूलपट्ट (पैकेटीन), द्विपट्ट (डिप्लोटीन) व पारगतिक्रम (डायकाइनेसिस)।

साधारण सूक्ष्मदर्शी द्वारा देखने पर **तनुपट्ट** (लेप्टोटीन) अवस्था के दौरान गुणसूत्र धीरे-धीरे स्पष्ट दिखाई देने लगते हैं। गुणसूत्र का संहनन (कॉम्पैक्शन) पूरी तनुपट्ट अवस्था के दौरान जारी रहता है। इसके उपरान्त पूर्वावस्था I का द्वितीय चरण प्रारंभ होता है, जिसे **युग्मपट्ट** कहते हैं। इस अवस्था के दौरान गुणसूत्रों का आपस में युग्मन प्रारंभ हो जाता है और इस प्रकार की संबद्धता को सूत्रयुग्मन कहते हैं।

युग्मपट्ट (जाइगोटीन) : इस प्रकार के गुणसूत्रों के युग्मों को समजात गुणसूत्र कहते हैं। इस अवस्था का इलेक्ट्रॉन सूक्ष्मलेखी यह दर्शाता है कि गुणसूत्र सूत्रयुग्मन के साथ एक जटिल संरचना का निर्माण होता है, जिसे सिनेप्टोनिमल सम्मिश्र कहते हैं। जिस सम्मिश्र का निर्माण एक जोड़ी सूत्रयुग्मित समजात गुणसूत्रों द्वारा होता है, उसे **युगली** (bivalent) अथवा **चतुष्क** (tetrad) कहते हैं। यद्यपि ये अगली अवस्था में अधिक स्पष्ट दिखाई पड़ते हैं। पूर्वावस्था I की उपर्युक्त दोनों अवस्थाएं **स्थूलपट्ट** (Pachytene) अवस्था से अपेक्षाकृत कम अवधि की होती हैं। इस अवस्था के दौरान युगली गुणसूत्र चतुष्क के रूप में अधिक स्पष्ट दिखाई देने लगते हैं।

इस अवस्था में पुनर्योजन ग्रंथिकाएं दिखाई देने लगती हैं जहाँ पर समजात गुणसूत्रों के असंतति अर्धगुणसूत्रों के बीच विनिमय (क्रॉसिंग ओवर) होता है। विनिमय दो समजात गुणसूत्रों के बीच आनुवंशिक पदार्थों के आदान-प्रदान के कारण होता है। विनिमय एंजाइम द्वारा नियंत्रित प्रक्रिया है व जो एंजाइम इस प्रक्रिया में भाग लेता है, उसे रिक्काम्बीनेज कहते हैं। दो गुणसूत्रों में आनुवंशिक पदार्थों का पुनर्योजन जीन विनिमय द्वारा अग्रसर होता है। समजात गुणसूत्रों के बीच पुनर्योजन स्थूलपट्ट अवस्था के अंत तक पूर्ण हो जाता है, जिसके परिणामस्वरूप विनिमय स्थल पर गुणसूत्र जुड़े हुए दिखाई पड़ते हैं।

द्विपट्ट (डिप्लोटीन) के प्रारंभ में सिनेप्टोनिमल सम्मिश्र का विघटन हो जाता है और युगली के समजात गुणसूत्र विनिमय बिंदु के अतिरिक्त एक दूसरे से अलग होने लगते



चित्र 10.3 अर्धसूत्रण की अवस्थाएं

हैं। विनिमय बिंदु पर X आकार की संरचना को **काएज्मेटा** कहते हैं। कुछ कशेरुकी प्राणियों के अंडकों में द्विपट्ट महीनों या वर्षों बाद समाप्त होती है।

अर्धसूत्री पूर्वावस्था I की अंतिम अवस्था **पारगतिक्रम (डायाकाइनेसिस)** कहलाती है। जिसमें काएज्मेटा का उपांतीभवन हो जाता है, जिसमें काएज्मेटा का अंत होने लगता है। इस अवस्था में गुणसूत्र पूर्णतया संघनित हो जाते हैं व तर्कुतंतु एकत्रित होकर समजात गुणसूत्रों को अलग करने में सहयोग प्रदान करते हैं। पारगतिक्रम के अंत तक केंद्रिका अदृश्य हो जाती है और केंद्रक-आवरण झिल्ली भी विघटित हो जाता है। पारगतिक्रम मध्यावस्था की ओर पारगमन को निरूपित करता है।

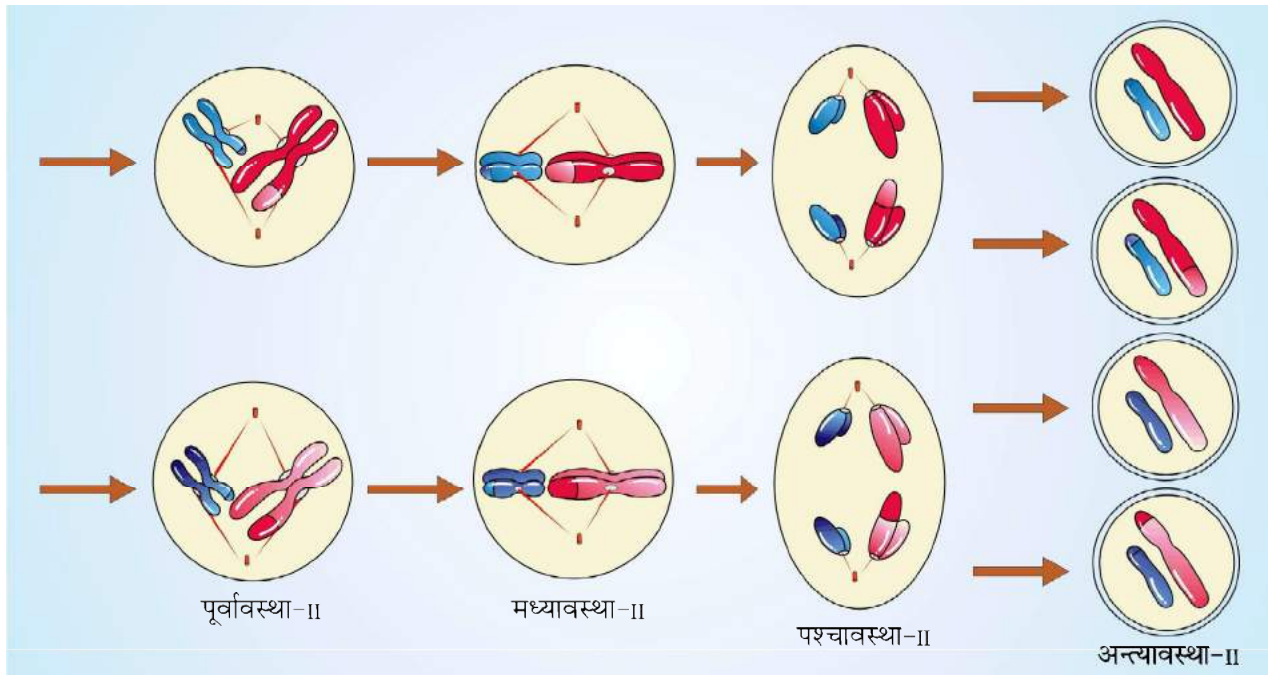
मध्यावस्था I : युगली गुणसूत्र मध्यरेखा पट्टिका पर व्यवस्थित हो जाते हैं (चित्र 10.3)। विपरीत ध्रुवों के तर्कुतंतु की सूक्ष्मनलिकाएं समजात गुणसूत्रों के जोड़ों से अलग-अलग चिपक जाती हैं।

पश्चावस्था I : समजात गुणसूत्र पृथक् हो जाते हैं, जबकि संतति अर्धगुणसूत्र गुणसूत्रबिंदु से जुड़े रहते हैं (चित्र 10.3)।

अंत्यावस्था I : इस अवस्था में केंद्रक आवरण व केंद्रिक पुनः स्पष्ट होने लगते हैं, कोशिकाद्रव्य विभाजन शुरू हो जाता है और कोशिका की इस अवस्था को कोशिका द्विक कहते हैं (चित्र 10.3)। यद्यपि बहुत से मामलों में गुणसूत्र का कुछ छितराव हो जाता है जबकि अंतरावस्था केंद्रक में पूर्णतया फैली अवस्था में नहीं मिलते हैं। दो अर्धसूत्री विभाजन के बीच की अवस्था को अंतरालावस्था (इंटरकाइनेसिस) कहते हैं और यह सामान्यतया कम समय के लिए होती है। उसके बाद पूर्वावस्था II आती है जो पूर्वावस्था I से काफी सरल होती है।

10.4.2 अर्धसूत्री विभाजन II

पूर्वावस्था II : अर्धसूत्री विभाजन II गुणसूत्र के पूर्ण लंबा होने के पहले व कोशिकाद्रव्य विभाजन के तत्काल बाद प्रारंभ होता है। अर्धसूत्री विभाजन I के विपरीत अर्धसूत्री विभाजन II सामान्य सूत्री विभाजन के समान होता है। पूर्वावस्था II के अंत तक केंद्रक



चित्र 10.4 अर्धसूत्रण की अवस्थाएं

आवरण अदृश्य हो जाता है (चित्र 10.4)। गुणसूत्र पुनः संहनित हो जाते हैं।

मध्यावस्था II : इस अवस्था में गुणसूत्र मध्यांश पर पंक्तिबद्ध हो जाते हैं और विपरीत ध्रुवों की तर्कुतंतु की सूक्ष्मनलिकाएं, इनके संतति अर्धगुणसूत्र के काइनेटोकोर से चिपक जाती हैं (चित्र 10.4)।

पश्चावस्था II : इस अवस्था में गुणसूत्रबिंदु अलग हो जाते हैं और इनसे जुड़े संतति अर्धगुणसूत्र कोशिका के विपरीत ध्रुवों की ओर चले जाते हैं (चित्र 10.4)।

अन्त्यावस्था II : यह अवस्था अर्धसूत्री विभाजन की अंतिम अवस्था है, जिसमें गुणसूत्रों के दो समूह पुनः केंद्रक आवरण द्वारा घिर जाते हैं। कोशिकाद्रव्य विभाजन के उपरान्त चार अगुणित संतति कोशिकाओं का कोशिका चतुष्टय बन जाता है (चित्र 10.4)।

अर्धसूत्री विभाजन एक ऐसी प्रक्रिया है जिसके द्वारा लैंगिक जनन करने वाले जीवों की प्रत्येक जाति में विशिष्ट गुणसूत्रों की संख्या पीढ़ी दर पीढ़ी संरक्षित रहती है। यद्यपि विरोधाभासी प्रक्रिया के परिणाम स्वरूप गुणसूत्रों की संख्या आधी हो जाती है। इसके द्वारा जीवधारियों की जनसंख्या में एक पीढ़ी से दूसरी पीढ़ी तक आनुवंशिक विभिन्नताएं बढ़ती जाती हैं। विकास प्रक्रिया के लिए विभिन्नताएं अत्यंत महत्वपूर्ण हैं।

सारांश

कोशिका सिद्धांत के अनुसार एक कोशिका का निर्माण पूर्ववर्ती कोशिका से होता है। इस प्रक्रिया को कोशिका विभाजन कहते हैं। लैंगिक जनन करने वाले किसी भी जीवधारी का जीवन चक्र एक कोशिकीय युग्मनज (जाइगोट) से प्रारंभ होता है। कोशिका विभाजन जीवधारी के वयस्क बनने के बाद भी रुकता नहीं है; बल्कि यह उसके जीवन भर चलता रहता है। उन अवस्थाओं को जिनके अंतर्गत कोशिका एक विभाजन से दूसरे विभाजन की ओर गुजरती है, उसे कोशिका चक्र कहते हैं। कोशिका चक्र में दो प्रावस्थाएं होती हैं (1) अंतरावस्था- कोशिका विभाजन की तैयारी की प्रावस्था तथा (2) सूत्री विभाजन- कोशिका विभाजन का वास्तविक समय। अंतरावस्था को पुनः G_1 , S व G_2 प्रावस्थाओं में विभाजित किया गया है। G_1 प्रावस्था में कोशिका सामान्य उपापचयी क्रिया संपन्न करते हुए वृद्धि करती है। इस अवस्था में अधिकांश अंगकों का द्विगुणन होता है। S प्रावस्था में डीएनए प्रतिकृति व गुणसूत्र द्विगुणन होता है। G_2 प्रावस्था में कोशिकाद्रव्य की वृद्धि होती है। सूत्री विभाजन को चार अवस्थाओं में विभाजित किया गया है जैसे पूर्वावस्था, मध्यावस्था, पश्चावस्था व अंत्यावस्था। पूर्वावस्था में गुणसूत्र संघनित होने लगते हैं। साथ ही तारककेंद्र विपरीत ध्रुवों की ओर चले जाते हैं। केंद्रक आवरण व केंद्रिक विलोपित हो जाते हैं व तर्कुतंतु दिखना प्रारंभ हो जाते हैं। मध्यावस्था में गुणसूत्र मध्य पट्टिका पर पंक्तिबद्ध हो जाते हैं। पश्चावस्था के दौरान गुणसूत्रबिंदु विभाजित हो जाते हैं और अर्धगुणसूत्र विपरीत ध्रुवों की ओर चलना प्रारंभ कर देते हैं। अर्धगुणसूत्रों के ध्रुवों पर पहुँचने के बाद गुणसूत्रों का लंबा होना प्रारंभ हो जाता है, व केंद्रिक तथा केंद्रक आवरण पुनः स्पष्ट होने लगते हैं। यह अवस्था अंत्यावस्था कहलाती है। केंद्रक विभाजन के बाद कोशिकाद्रव्य का विभाजन होता है, इसे कोशिकाद्रव्य विभाजन कहते हैं। अतः सूत्रीविभाजन को समविभाजन भी कहते हैं, जिसके द्वारा संतति कोशिका में पितृकोशिकाओं के समान गुणसूत्रों की संख्या बरकरार रहती है।

सूत्री विभाजन के विपरीत अर्धसूत्री विभाजन उन द्विगुणित कोशिकाओं में होता है, जो युग्मक निर्माण के लिए निर्धारित होती हैं। इस विभाजन को अर्धसूत्री विभाजन भी कहते हैं। इस विभाजन के बाद बनने वाले युग्मकों में गुणसूत्रों की संख्या आधी हो जाती है। लैंगिक जनन में युग्मकों के संगलन से पैतृक कोशिका में पाए जाने वाले गुणसूत्रों की संख्या की वापसी हो जाती है। अर्धसूत्री विभाजन को दो अवस्थाओं में विभाजित किया गया है। अर्धसूत्री विभाजन I व अर्धसूत्री विभाजन II, प्रथम अर्धसूत्री विभाजन में समजात गुणसूत्र जोड़े युगली बनाते हैं तथा इनमें विनिमय होता है। अर्धसूत्री विभाजन I की पूर्वावस्था लंबी होती है व पाँच उपअवस्थाओं में विभाजित की गई है। ये अवस्थाएं हैं- तनुपट्ट (लेप्टोटीन), युग्मपट्ट (जाइगोटीन), स्थूलपट्ट (पैकीटीन), द्विपट्ट (डिप्लोटीन) व पारगतिक्रम (डाया काइनेसिस)। मध्यावस्था- I के समय युगली मध्यावस्था पट्टिका पर व्यवस्थित हो जाते हैं। इसके पश्चात पश्चावस्था I में समजात गुणसूत्र अपने दोनों अर्धगुणसूत्रों के साथ विपरीत ध्रुवों की ओर चले जाते हैं। प्रत्येक ध्रुव जनक कोशिका की तुलना में आधे गुणसूत्र प्राप्त करता है। अंत्यावस्था I के समय केंद्रक आवरण व केंद्रिक पुनः दिखाई देने लगते हैं। अर्धसूत्री विभाजन II सूत्री विभाजन के समान होता है। पश्चावस्था II के समय संतति अर्धगुणसूत्र आपस में अलग हो जाते हैं। इस प्रकार अर्धसूत्री विभाजन के पश्चात चार अगुणित कोशिकाएं बनती हैं।

अभ्यास

1. स्तनधारियों की कोशिकाओं की औसत कोशिका चक्र अवधि कितनी होती है?
2. जीवद्रव्य विभाजन व केंद्रक विभाजन में क्या अंतर है?
3. अंतरावस्था में होने वाली घटनाओं का वर्णन कीजिए।
4. कोशिका चक्र का G₀ (प्रशांत प्रावस्था) क्या है?
5. सूत्री विभाजन को सम विभाजन क्यों कहते हैं?
6. कोशिका चक्र की उस अवस्था का नाम बताएं, जिसमें निम्न घटनाएं संपन्न होती हैं-
 - (i) गुणसूत्र तर्कु मध्यरेखा की तरफ गति करते हैं।
 - (ii) गुणसूत्रबिंदु का टूटना व अर्धगुणसूत्र का पृथक् होना।
 - (iii) समजात गुणसूत्रों का आपस में युग्मन होना।
 - (iv) समजात गुणसूत्रों के बीच विनिमय का होना।
7. निम्न के बारे में वर्णन करें।
 - (i) सूत्रयुग्मन (ii) युगली (iii) काएज्मेटा
8. पादप व प्राणी कोशिकाओं के कोशिकाद्रव्य विभाजन में क्या अंतर है?
9. अर्धसूत्री विभाजन के बाद बनने वाली चार संतति कोशिकाएं कहाँ आकार में समान व कहाँ भिन्न आकार की होती हैं?
10. सूत्री विभाजन की पश्चावस्था अर्धसूत्री विभाजन की पश्चावस्था I में क्या अंतर है?
11. सूत्री व अर्धसूत्री विभाजन में प्रमुख अंतरों को सूचीबद्ध करें?
12. अर्धसूची विभाजन का क्या महत्व है?
13. अपने शिक्षक के साथ निम्न के बारे में चर्चा करें-
 - (i) अगुणित कीटों व निम्न श्रेणी के पादपों में कोशिका विभाजन कहाँ संपन्न होता है?
 - (ii) उच्च श्रेणी पादपों की कुछ अगुणित कोशिकाओं में कोशिका विभाजन कहाँ नहीं होता है?
14. क्या S प्रावस्था में बिना डीएनए प्रतिकृति के सूत्री विभाजन हो सकता है?
15. क्या बिना कोशिका विभाजन के डीएनए प्रतिकृति हो सकती है?
16. कोशिका विभाजन की प्रत्येक अवस्थाओं के दौरान होने वाली घटनाओं का विश्लेषण करें और ध्यान दें कि निम्न लिखित दो प्राचलों में कैसे परिवर्तन होता है?
 - (i) प्रत्येक कोशिका की गुणसूत्र संख्या (N)
 - (ii) प्रत्येक कोशिक में डीएनए की मात्रा (C)