इकाई 5

कोशिका भित्ति और कोशिका कला

इकाई की रूपरेखा

5.1 प्रस्तावना

उद्देश्य

5.2 कोशिका भित्ति

कोशिका भित्ति की रासायनिक प्रकृति

कोशिका भित्ति की संरचना

कोशिका भित्ति के कार्य

जीवाणवीय कोशिका भित्ति

5.3 कोशिका कला

कोशिका कला की संरचना के विभिन्न मॉडल

कोशिका कला का रासायनिक संयोजन

5.4 कोशिका कला की तरलता

कला तरलता का महत्व

कला तरलता को बनाए रखना

5.5 कोशिका कला के कार्य

5.6 सारांश

5.7 अंत में कुछ प्रश्न

5.8 उत्तर

5.1 प्रस्तावना

पिछली इकाई में आपने कोशिका के विषय में पढ़ा है। अब इस इकाई में आप पादप कोशिका भित्ति (cell wall) और कोशिका कला (cell membrane) के विषय में विस्तार से पढ़ेंगे। पूर्वकेन्द्रकी और ससीमकेन्द्रकी कोशिकाओं दोनों में कोशिका कला पाई जाती है। कोशिका कला कोशिका का अभिन्न भाग बनाती है और कोशिका की सीमा को निर्धारित करती है। ये कोशिका की आंतरिक अंर्तवस्तुओं को बाहरी परिवेश से पृथक करती है। जीवाणु, कवक, शैवाल और उच्चतर पादपों की कोशिकाएं कोशिका कला के अतिरिक्त दृढ़ कोशिका भित्ति से भी आवरित रहती हैं। जंतु कोशिकाओं में कोशिका भित्ति नहीं पाई जाती हैं। कोशिका कला को प्लैज्मा/जीवद्रव्य कला पाई जाती है। कोशिका कला को प्लैज्मा/जीवद्रव्य कला (plasma membrane) भी कहते हैं। ये कोशिका को संरचनात्मक सहारा प्रदान करती है और एक वरणात्मक पारगम्यता अवरोध की भांति कार्य करती है, जिससे होकर कुछ विशिष्ट अणु ही आर-पार जा सकते हैं।

उद्देश्य

इस इकाई के अध्ययन के बाद, आप :

- ❖ कोशिका भित्ति की संरचना और संयोजन का वर्णन कर सकेंगे;
- ❖ कोशिका भित्ति के विभिन्न कार्यों को बता सकेंगे;
- ❖ कोशिका कला की संरचना और संयोजन को बता सकेंगे;
- ❖ कोशिका कला की संरचना के लिए प्रस्तुत किए गए विभिन्न मॉडल के बीच अन्तर कर सकेंगे; और
- ❖ कोशिका कला द्वारा किए जाने वाले विभिन्न कार्यों को जान सकेंगे।

5.2 कोशिका भित्ति

ऐगार-ऐगार एक जैली जैसा पदार्थ है, जिसे लाल शैवाल *ग्रैसीलेरिया* (*Graciliaria*) और *जेलीडियम* (*Gelidium*) से प्राप्त किया जाता है। यह एगेरोस (एक पोलीसैकेराइड) और एगेरोपेक्टिन का बना होता है।

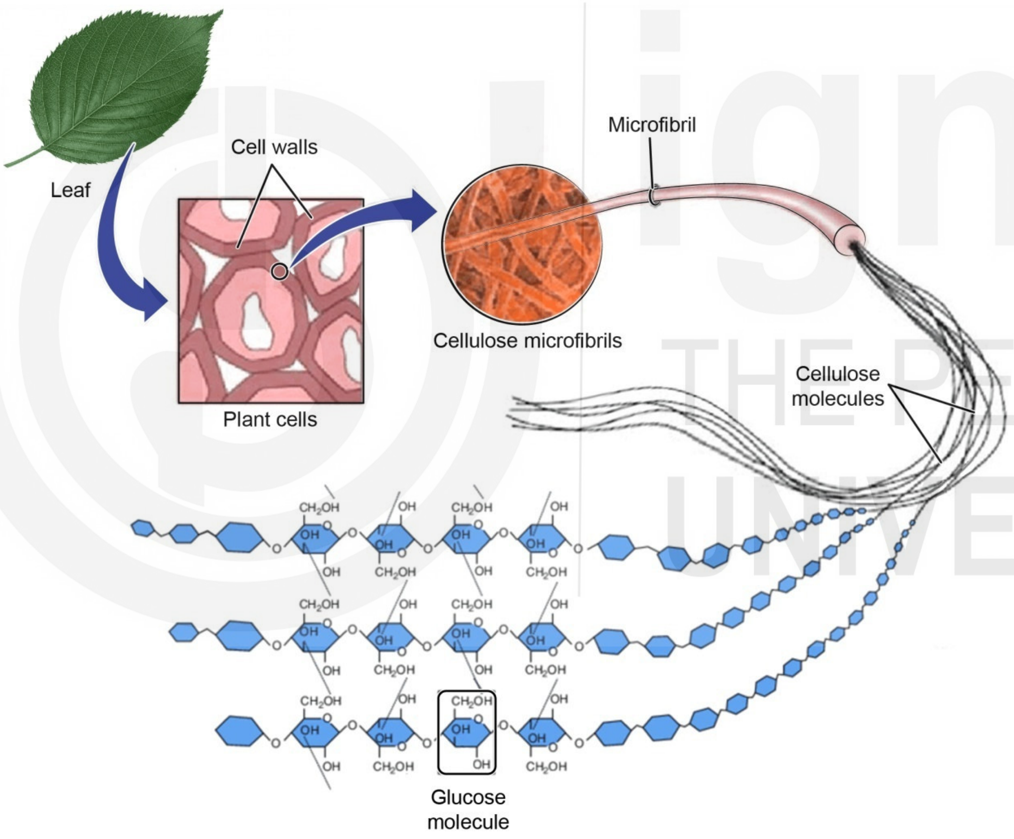
कोशिका भित्ति एक दृढ अर्ध-पारगम्य परत होती है जो जीवाणुओं, शैवालों, पादपों और कवकों की काशिकाओं को घेरे रहती है। ये कोशिका कला के बाहर पाई जाती है। ये मुख्य रूप से कोशिका को संरचनात्मक सहारा और आकार प्रदान करती है। कोशिका भित्तियां पूर्वकेन्द्रकी और ससीमकेन्द्रकी पादप कोशिकाओं दोनों में पाई जाती हैं। पादप कोशिका भित्ति के प्रमुख घटक सेलूलोस (cellulose) हेमीसेलुलोस (hemicellulose) और पेक्टिन (pectin) हैं जबकि पूर्वकेन्द्रकी कोशिका भित्ति पेप्टिडोग्लाइकनों (peptidoglycans) की बनी होती है। कवकों और प्रोटिस्टों की कोशिका भित्ति का रासायनिक संयोजन पादपों की कोशिका भित्ति के से अलग होता है। कवकीय कोशिका भित्ति काइटिन के बहुलक (polymer) **N-एसीटिल ग्लूकोसेमीन** (N-acetylglucosamine) की बनी होती है, जबकि शैवालों की कोशिका भित्तियां पोलीसैकेराइडों और ग्लाइकोप्रोटीनों जैसे ऐगार (agar) और कैराजीनिन की बनी होती हैं। इस भाग में आप पादप कोशिका भित्ति की संरचना और कार्यों के विषय में पढेंगे।

5.2.1 कोशिका भित्ति की रासायनिक प्रकृति

पौधों में कोशिका भित्ति मुख्य रूप से सेलुलोस की बनी होती है। सेलुलोस (पोलीसैकेराइड) है जो ग्लूकोस अणुओं की एक साथ जुड़ी लंबी श्रृंखलाओं का बना होता है। ये श्रृंखलाएं एक दूसरे के समानान्तर स्थित रहकर पूल (bundle) बनाती हैं (चित्र 5.1)। सेलुलोस अणुओं की 100 श्रृंखलाओं का पूल प्राथमिक तंतुक (elementary fibril) बनाता है जिसे **मिसेल** (micelle) कहते हैं। लगभग 20 मिसेल समानान्तर रूप से व्यवस्थित होकर **सूक्ष्मतंतुक** (microfibrils) बनाते हैं जो लगभग 25 नैनोमीटर (nm) मोटे और 2-7 माइक्रोमीटर (µm) लंबे होते हैं। सूक्ष्मतंतुक सेलुलोस तंतुओं के बड़े आमाप के पूल बनाते हैं (0.5 माइक्रो मीटर मोटाई के) जिनको **वृहद तंतुक** (macrofibril) कहते हैं। ये तंतुक मिलकर कोशिका भित्ति का मुख्य ढांचा बनाते हैं।

सेलुलोस के अतिरिक्त, विभिन्न अन्य रासायनिक पदार्थ जैसे हेमीसेलुलोस, पेक्टिन, लिग्निन, क्यूटिन और काइटिन भी कोशिका भित्ति में पाए जाते हैं। कोशिका भित्ति में कुछ खनिज जैसे कैल्सियम और मैग्नीशियम भी पाए जाते हैं। हेमीसैलुलोस मोनोसैकेराइड इकाइयों के बने होते हैं जो जाइलोस (xylose) तथा अन्य अनावेशित

शर्कराओं (uncharged sugars) जैसे एरेबीनोस (arabinose) और गैलेक्टोस (galactose) की छोटी पार्श्व श्रृंखलाओं के साथ एकसाथ व्यस्थित रहते हैं (जैसे सेलुलोस में)। पैक्टिन पैक्टिक पोलीसैकेराइडों, ग्लूकूरोनिक (glucuronic) और गैलेक्टॅरोनिक अम्लों (galacturonic acid) का बना होता हैं। गैलेक्टूरोनिक अम्ल और रैम्नोस (rhamnose) शर्करा अवशिष्ट पैक्टिनों का रेखीय आधार बनाते हैं। लिग्निन ही के साथ सुबेरिन और क्यूटिन मिलकर कोशिका भित्ति प्लास्टिक कहलाते हैं। इनमें अनेक कार्बनिक यौगिक तिर्यक बंधन करके त्रिविम संजाल (नेटवर्क) बनाते हैं। लिग्निन ऐरोमेटिक एल्कोहॉलों के फीनोली बहुलकों का विविध समूह हैं। ये मुख्य रूप से द्वितीयक कोशिका भित्तियों में निक्षेपित रहते हैं और पौधों को दृढ़ता प्रदान करते हैं। विभिन्न बहुलकों के बीच तिर्यक बंधन (cross linking) से कोशिका भित्ति दृढ़ हो जाती है जो उसे सूक्ष्मजीवों द्वारा वेधन के लिए प्रभावी अवरोध बनाती है। काइटिन ग्लूकोसेमीन इकाइयों का बना एक बहुलक है। सेलुलोस, हेमीसेलुलोस और लिग्निन एकदूसरे के साथ गुंथे रहकर कॉम्प्लैक्स मैट्रिक्स बनाते है। पादप कोशिका भित्तियो ंके भौतिक-रासायनिक गुणों का निर्धारण इन कोशिका भित्ति बहुलकों के स्थानिक संगठन और परस्पर-क्रियाओं द्वारा निर्धारित होता है।

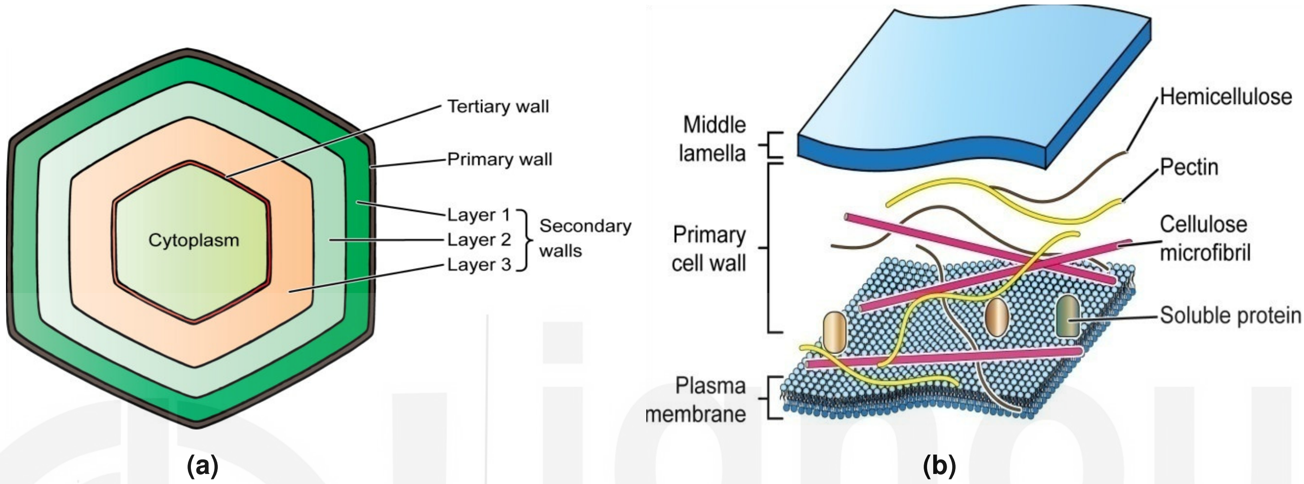


चित्र 5.1 : सेलुलोस सूक्ष्मतंतुकों की उपस्थिति और सेलुलोस के संयोजन को दर्शाती हुई कोशिका भित्ति की संरचना।

5.2.2 कोशिका भित्ति की संरचना

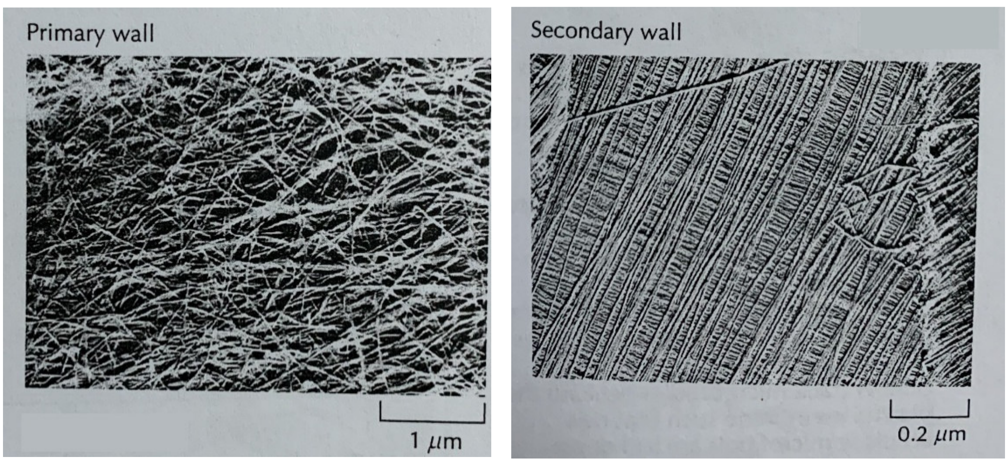
कोशिका भित्ति तीन परतों की बनी होती है जिनमें मुख्यरूप से प्राथमिक कोशिका भित्ति, द्वितीयक कोशिका भित्ति और मध्य पटलिका (middle lamella) सम्मिलित हैं। कुछ पौधों में एक तृतीयक कोशिका भित्ति भी पाई जा सकती है (चित्र 5.2 a)। मध्य पटलिका निकटवर्ती कोशिकाओं की प्राथमिक भित्तियों के बीच में एक जोड़ने वाली परत बनाती हैं। यह पेक्टिन (कैल्सियम और मैग्नीशियम पेक्टेट), सेलुलोस और विभिन्न बहुलकों की बनी होती है। ये एक गाढ़ा, जैली जैसा पदार्थ है और एक आसंजक पदार्थ की भांति

कार्य करता है जो निकटवर्ती कोशिकाओं की प्राथमिक कोशिका भित्तियों को जोड़ता है। प्राथमिक कोशिका भित्ति परत मध्य पटलिका और कोशिका कला के बीच बनती है। ये प्राथमिक रूप से सेलुलोस सूक्ष्मतंतुओं की बनी होती है जो जेल जैसे मैट्रिक्स में पाया जाता है जिसमें पेक्टिक पदार्थ और हेमीसेलुलोस रेशे होते हैं (चित्र 5.2 b)। यह परत सामान्यतः 1-3 माइक्रोमीटर मोटी होती है। प्राथमिक कोशिका भित्ति पतली और प्रत्यास्थ होती है लेकिन पुरानी कोशिकाओं में यह मोटी और दृढ़ हो जाती है। यह कोशिका को शक्ति और लचीलापन प्रदान करती है, जिसकी कोशिका वृद्धि के समय आवश्यकता होती है।



चित्र 5.2 : a) तीन परतों को दर्शाते हुए कोशिका भित्ति की संरचना; b) कोशिका भित्ति की संरचना का आरेखी प्रदर्शन।

कुछ परिपक्व और विशेषीकृत कोशिकाओं में द्वितीयक कोशिका भित्ति प्राथमिक कोशिका भित्ति और कोशिका कला के बीच में बनती है। ये लगभग 5 से 10 माइक्रोमीटर मोटी होती है। द्वितीयक कोशिका भित्ति के बन जाने के बाद, जीवद्रव्य की अंतर्वस्तुएं विघटित हो जाती हैं। द्वितीयक कोशिका भित्तियां सामान्यतः तीन परतों की बनी होती है जो अपने सेलुलोस सूक्ष्मतंतुओं के अभिविन्यास में भिन्न होती हैं (चित्र 5.3)। ये बाहरी परत (परत 1), मध्यपरत (परतर 2) और भीतरी परत (परत 3) हैं। उत्तरोत्तर परतें एक दूसरे से भिन्न कोणों पर बनती हैं। अधिकांश पौधों में, सूक्ष्मतंतुकों में सेलुलोस होता है, लेकिन कभी-कभी इनमें अन्य पोलीसैकेराइड जैसे लिग्निन भी हो सकते हैं जो भित्ति को मजबूती देते हैं और संवहनी ऊतकों (vascular) तक जल को पहुंचाने में सहायता करते हैं। कुछ शैवालों में, सूक्ष्मतंतुक पोलीसैकेराइडों जैसे जाइलन और मैनन के बने होते हैं।

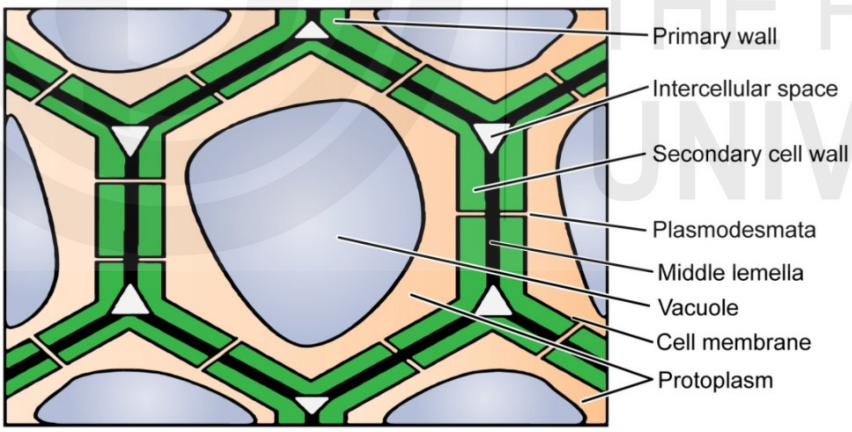


चित्र 5.3 : पौधों की प्राथमिक और द्वितीयक कोशिका भित्ति जैसी कि क्रमवीक्षण इलैक्ट्रोन सूक्ष्मदर्शी में दिखाई देती है।

कुछ पादप कोशिकाओं में, द्वितीयक कोशिका भित्ति के नीचे एक तृतीयक कोशिका भित्ति बन जाती है। ये अपनी आकारिकी, रसायन विज्ञान और अभिरंजन गुणों में प्राथमिक और द्वितीयक कोशिका भित्तियों से भिन्न होती है। तृतीयक भित्ति सेलुलोस और जाइलन की बनी होती है। ये परत बहुत पतली होती है और यह सामान्यतः जिम्नोस्पर्म्स (अनावृतबीजी पादपों) की दारू वाहिनिकाओं (xylem tracheids) में पाई जाती है।

इलैक्ट्रोन सूक्ष्मदर्शी से किए गए अध्ययनों ने दिखाया है कि अधिकांश पादपों में कोशिका भित्ति दो मुख्य भागों की बनी होती है i) सूक्ष्मतंतुक, जो सेलुलोस के बने होते है और ii) आधारी पदार्थ या मैट्रिक्स जिसमें तंतुक अंतःस्थापित रहते हैं। पादप कोशिका भित्ति का परा-संरचनात्मक संगठन एक प्रजाति से दूसरी प्रजाति में भिन्न होता है। अधिकांश पादपों में, सेलुलोस के क्रिस्टलीय सूक्ष्मतंतुक सेलुलोस, हेमीसेलुलोस और पेक्टिन के अक्रिस्टलीय मैट्रिक्स में अंतःस्थापित रहते हैं। सूक्ष्मतंतुकों की मात्रा और अभिविन्यास विभिन्न कोशिकाओं की कोशिका भित्तियों में भिन्न हो सकता है। प्राथमिक कोशिका भित्ति में सूक्ष्मतंतुक ढ़ीला आधारी ढांचा बनाते हैं क्योंकि ये कोशिका भित्ति के सभी तलों में पाए जाते हैं; जबकि द्वितीयक भित्ति में, सघन रूप से व्यवस्थित अपेक्षाकृत मोटे सूक्ष्मतंतुक पाए जाते हैं जो समांनात्तर रूप में व्यवस्थित रहते हैं (चित्र 5.3)।

पादप कोशिकाओं की कोशिका भित्तियां और मध्य पटलिकाएं सतत् परतों के रूप में नहीं पाई जाती हैं, बल्कि एकदूसरे के साथ कोशिकाद्रव्यी संबन्धन बनाए रखने के लिए इनमें सूक्ष्म छिद्र पाए जाते है। निकटवर्ती कोशिकाओं के बीच ऐसे कोशिकाद्रव्यी संबन्धन या सेतु **प्लैस्मोडेस्मेटा** (Plasmodesmata) कहलाते है (चित्र 5.4)। विभज्योतकी (meristematic) कोशिकाओं के प्लैस्मोडेस्मेटा सपीपवर्ती कोशिकाओं के प्लैस्मोडोस्मेटा के साथ सतत्ता में पाए जाते है। इन प्लैस्मोडेस्मेटा से होकर पोषक पदार्थों, घुली हुई गैसों, आयनों और अन्य पदार्थों युक्त विलयन का अन्तरकोशिकीय स्थानांतरण होता है।



चित्र 5.4 : निकटवर्ती कोशिकाओं के साथ प्लैस्मोडेस्मेटा संबन्धों को दर्शाती कोशिका भित्ति।

5.2.3 कोशिका भित्ति के कार्य

- संवहनी पादपों में कोशिका भित्ति का मुख्य कार्य कोशिका को यांत्रिक शक्ति प्रदान करना है।
- कोशिका भित्ति पौधों में सहायक कंकालीय आधारी ढांचे के रूप में कार्य करती है।
- कोशिका भित्ति कोशिका के आकार को बनाए रखती है। कोशिकाएं **स्फीति दाब** (turgor pressure) विकसित कर लेती हैं, जो कोशिका की अंर्तवस्तुओं द्वारा कोशिका भित्ति पर डाला जाने वाला दाब है।

- कोशिका भित्ति उपापचयी प्रक्रियाओं जैसे अवशोषण, पदार्थों के स्त्रवण और वृद्धि और विकास के नियंत्रण में भूमिका निभाती है।
- ये एक भंडारण इकाई की भांति कार्य करती है और विशेष रूप से बीजों में कार्बोहाइड्रटों का भंडारण करती है। यह नियंत्रक अणुओं के भंडारण स्थल की भांति भी कार्य करती है, जो रोगजनी सूक्ष्मजीवों की उपस्थिति का बोध कराते हैं।
- कोशिकाओं के अंदर और बाहर जल, पोषकों और खनिजों की गति भी कोशिका भित्ति द्वारा नियंत्रित होती है।

बोध प्रश्न 1

क) एक शब्द में उत्तर दीजिए :

i) यह कोशिका भित्ति को बनाने वाला मुख्य घटक है।

ii) सेलुलोस इन अणुओं की लंबी श्रृंखला का बना होता है।

iii) सेलुलोस अणुओं की श्रृंखलाए पूलों को बनाने के लिए एकदूसरे के समानान्तर स्थित रहती हैं।

iv) कभी-कभी कुछ पौधों की कोशिकाभित्ति में यह कोशिका भित्ति परत भी पाई जाती है।

v) अधिकांश पौधों में सेलुलोस के क्रिस्टलीय सूक्ष्मतंतुक इसमें अंतःस्थापित रहते हैं।

vi) निकटवर्ती कोशिकाओं के बीच पाए जाने वाले कोशिकाद्रव्यी सेतु अथवा संधिस्थल।

ख) रिक्त स्थानों को भरिए :

i) .... कोशिकाओं में कोशिका भित्ति अनुपस्थित होती है।

ii) प्राथमिक कोशिका भित्ति में .... का ढ़ीला आधारी ढांचा पाया जाता है।

iii) पादप कोशिका भित्ति और मध्य पटलिका में .... पाए जाते हैं जो निकटवर्ती कोशिकाओं के साथ कोशिकाद्रव्यी संबन्धन बनाते हैं।

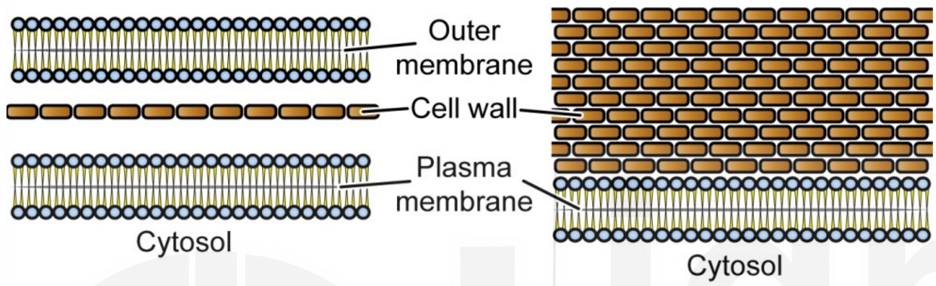
iv) .... कोशिका भित्ति की गाढ़ी जैली जैसी बाहरी परत होती है।

v) कुछ शैवालों में सूक्ष्म तंतुक .... और मैनन के बने होते हैं।

ग) पादपों में कोशिका भित्ति के मुख्य कार्यों को सूचीबद्ध कीजिए।

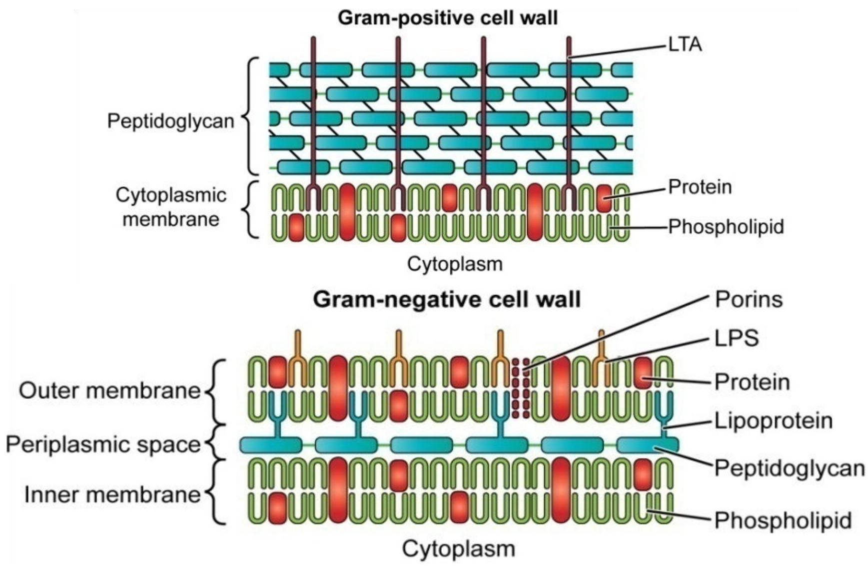
5.2.4 जीवाणवीय कोशिका भित्ति

कोशिका भित्ति जीवाणुओं को दृढ़ और विशिष्ट आकार प्रदान करती हैं। उदाहरण के लिए, कुछ जीवाणु जैसे *ई. कोलाई* (*E. coli*) छड़ाकार होते हैं, जबकि अन्य जैसे *न्यूमोकॉकस* (*Pneumococcus*) और *स्टेफाइलोकॉकस* (*Staphylococcus*) गोल होते हैं। अपनी कोशिका भित्ति के अभिरंजन के आधार पर (जिसे ग्रैम अभिरंजन; Gram staining कहते हैं) जीवाणुओं को व्यापक रूप से दो प्रकारों में वर्गीकृत किया गया है – ग्रैम ग्राही (Gram +ve) और ग्रैम अग्राही (Gram-ve)। ग्रैम अग्राही जीवाणु जैसे *ई. कोलाई* (*E.coli*) में दोहरा कला तंत्र पाया जाता है जिसमें प्लैस्मा कला एक बाहरी पारगम्य कला से घिरी रहती है। भीतरी और बाहरी कला के बीच में पतली कोशिका भित्ति पाई जाती है। इसके विपरीत, ग्रैम ग्राही जीवाणुओं जैसे *स्टेफाइलोकॉकस ऑरियस* (*Staphylococcus aureus*) एक ही प्लैस्मा कला की उपस्थिति दर्शाते हैं जो मोटी कोशिका भित्ति से घिरी रहती है। ग्रैम ग्राही और ग्रैम अग्राही जीवाणुओं दोनों की कोशिका भित्तियों का मुख्य घटक पेप्टीडोग्लाइकन की परत है जिसमें रेखीय पोलीसैकेराइड श्रृंखला होती है, जो छोटे पेप्टाइडों से तिर्यक बंधों द्वारा जुड़े रहते हैं (चित्र 5.5)। पेप्टीडोग्लाइकन परत की मोटाई अथवा बाहरी लिपिड कला की उपस्थिति या अनुपस्थिति द्वारा ग्रैम ग्राही और ग्रैम अग्राही जीवाणुओं को विभेदित किया जाता है।



चित्र 5.5 : a) ग्रैम अग्राही; और b) ग्रैम ग्राही जीवाणुओं की कोशिका भित्ति की संरचना में अन्तर।

ग्रैम ग्राही जीवाणुओं को ग्रैम अभिरंजन करने के बाद प्रकाश सूक्ष्मदर्शी से देखने पर स्पष्ट बैंगनी प्रगटन दिखाई देता है। ऐसा कोशिका भित्ति की मोटी पेप्टीडोग्लाइकन परत में बैंगनी क्रिस्टल वॉयलेट रंजक के बने रह जाने के कारण होता है (चित्र 5.6)। इसमें विभिन्न *स्टेफाइलोकॉकस* और कुछ *इस्ट्रिया* (*Istria*) की प्रजातियां सम्मिलित हैं। ग्रैम अग्राही जीवाणु पीत लाल से रंग के दिखाई देते हैं। ऐसा इसलिए है क्योंकि उनकी कोशिका भित्ति क्रिस्टल वॉयलेट रंजक को नहीं लेती है और सिर्फ सैफ्रेनिन रंजक से अभिरंजित होती है, उदाहरण *एन्टेरोकॉकस* स्पीं (*Enterococcus* sp.), *साल्मोनेला* स्पी. (*Salmonella* sp.) और *सूडोमोनस* स्पी. (*Pseudomonas* sp.)।



चित्र 5.6 : ग्रैम ग्राही और ग्रैम अग्राही जीवाणुओं द्वारा रंजक बंधन। LTA-लिपोटीकोइक अम्ल LPS-लिपोपोलीसैकेराइड।

बोध प्रश्न 2

क) कोशिका भित्ति और कोशिका कला के संदर्भ में ग्रैम ग्राही और ग्रैम अग्राही जीवाणु किसप्रकार एकदूसरे से भिन्न होते हैं?

ख) निम्नलिखित को परिभाषित कीजिए:

i) सेलुलोस

ii) मिसेल

iii) प्लैस्मोडेस्मेटा

5.3 कोशिका कला

पूर्वकेन्द्रकी और ससीमकेन्द्रकी कोशिकाएं दोनों ही कोशिका कला (प्लैज्मा कला, कोशिकाद्रव्यी कला या प्लास्मालेमा) से घिरी रहती हैं। कोशिका कला कोशिका की भीतरी अंर्तवस्तुओं को बाहरी परिवेश से पृथक करती है। कोशिका कला की खोज स्वीडन के वनस्पति विज्ञानी **कार्ल नागेली** (Carl Nageli) और **सी. क्रेमर** (C. Cramer) द्वारा 1885 में की गई थी। **कार्ल विल्हेम नागेली** ने ही 'कोशिका कला' नाम दिया था। उन्होंने देखा कि कोशिका सतह सतत् नहीं थी, और ये कोशिकाद्रव्य की तुलना में अधिक गाढ़ी और अधिक सघन थी। कला के ढांचे में लिपिड द्विपरत होती है और बाहरी सतहों पर परिधीय प्रोटीनों के रूप में अथवा मूलभूत द्विपरतीय संरचना के आरपार प्रोटीन वितरित रहते हैं और कला ट्रांसपोर्टरों (membrane transporters) की तरह कार्य करते हैं।

कोशिका कला वरणात्मक रूप से पारगम्य प्रकृति की होती है, अतः ये एक अवरोध के रूप में कार्य करती है जो कोशिकाओं के अंदर और बाहर पदार्थों की गति को नियंत्रित करते हैं। कला के प्रोटीन अणु अपने विशिष्ट गुणों के कारण उसके अनेक कार्यों को करते हैं। कला प्रोटीन कला पर होने वाली अभिक्रियाओं को उत्प्रेरित करते हैं और विशिष्ट पदार्थों के अभिगमन और कोशिका के अंदर और बाहर रासायनिक सूचना के आदानप्रदान में सहायक होते हैं।

5.3.1 कोशिका कला की संरचना के विभिन्न मॉडल

कोशिका कला के संरचनात्मक संगठन को समझाने के लिए वैज्ञानिकों द्वारा विभिन्न मॉडल प्रस्तुत किए गए हैं। यहां हम इनमें से कुछ प्रमुख मॉडलों की चर्चा कर रहे हैं :

i) ओवरटोन का लिपिड परत मॉडल

चार्ल्स अर्नेस्ट ओवरटोन (Charles Earnest Overton) ने 1900 में यह मॉडल प्रस्तुत किया था। इस मॉडल के अनुसार कोशिका कला लिपिडों की पतली परत की बनी थी। उन्होनें बताया कि कार्बनिक विलायकों में घुलनशील यौगिक कोशिकाओं में जल में घुलनशील यौगिकों की अपेक्षा अधिक तेजी से प्रवेश कर जाते थे। ये अन्तर वरणात्मक

पारगम्यता के कारण थे। लिपिड में घुलनशील पदार्थ कोशिका में चले जाते थे क्योंकि ये कला में उपस्थित संगत लिपिड तत्वों में घुल जाते थे। ओवरटोन के अनुसार कोलेस्टेरॉल और लेसीथिन कोशिका कला के मुख्य लिपिड संघटक थे।

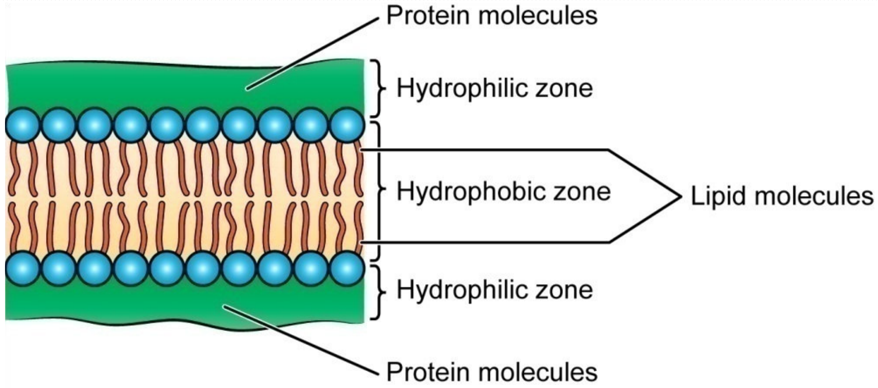
ii) लिपिड द्विपरत मॉडल

कोशिका कला की संरचना का लिपिड द्विपरत (lipid bilayer) अथवा द्विआण्विक लिपिड मॉडल (bimolecular lipid model) **ई. गोर्टर** (E.Gorter) और **एफ. ग्रेन्डेल** (F. Grendel) द्वारा 1925 में दिया गया था। इस मॉडल के अनुसार कोशिका कला लिपिड की दो परतों की बनी होती है। उन्होंने ये भी सुझाव दिया कि लिपिड अणुओं के शीर्ष भाग जल की ओर अभिमुख (जलरागी) परत बनाते हैं और ध्रुवीय सिरे अंदर की ओर अभिमुख होते हैं (जलभीत)। यद्यपि ये मॉडल कोशिका कला की यथार्थ संरचना को नहीं समझाता है, लेकिन इसने निश्चित रूप से कला संरचना के भावी मॉडल के लिए आधारशिला रखी।

1935 में, **जे. एफ. डेनिएली** (J.F. Danielli) और **ई. एन हार्वे** (E.N. Harvey) ने बताया कि कोशिकाओं में तेल बिंदुकण और अन्य अंर्तविष्ट पदार्थों की सतह लिपिड की एक संगठित परत और प्रोटीन की एक परत से घिरे रहते हैं। ये अनुमान किया गया कि प्रोटीन, जो जलयोजित अणुओं की एक एकआण्विक परत (monomolecular layer) के बने होते हैं, जलीय कोशिकाद्रव्य की ओर अभिमुख होते हैं और साथ ही लिपिड परत के ध्रुवीय भाग से परस्परक्रिया करते हैं।

iii) सेन्डविच मॉडल अथवा लिपिड प्रोटीन मॉडल

1935 में, **जे. एफ डेनियली** (J.F. Danielli) एवं **एच. डावसन** (H. Davson) ने कोशिका कला का सैंडविच (Sandwich) या लिपिड–प्रोटीन (Lipid Protein Model) मॉडल प्रस्तुत किया। इसको डावसन–डेनियली मॉडल भी कहते हैं। इस मॉडल में सुझाया गया कि कोशिका कला लिपिड द्विपरत की बनी होती है और इसमें बाहरी और भीतरी सतह दोनों पर गोल प्रोटीनों (globular proteins) का अस्तर होता है (चित्र 5.7)। 1950 में, इन दोनों ने इसे समझाया कि कला की वरणात्मक पारगम्यता लिपिड द्विपरत के प्रोटीन से अस्तरित रंध्रों की उपस्थिति के कारण थी जिसने ध्रुवीय विलेयों और आयनों के अंदर आने और बाहर जाने को संभव बनाया। विभिन्न अणुओं द्वारा कोशिका कला का वेधन करने की चाल के आधार पर, उन्होंने पूर्वानुमान किया कि लिपिड द्विपरत 6.0 नैनोमीटर मोटी और दोनों प्रोटीन परतों में से प्रत्येक लगभग 1.0 नैनोमीटर मोटी थी, अतः कला की मोटाई लगभग 8.0 नैनोमीटर थी। सतह प्रोटीनों और द्विआण्विक लिपिड अणुओं के बीच विद्युतस्थैतिक परस्पर क्रियाएं होती हैं। ऐसी कला वरणात्मक पारगम्यता प्रदर्शित करती है। ये मॉडल विभिन्न आमाप और विलेयता के अणुओं और विभिन्न आवेश के आयनों के बीच अन्तर करने में सक्षम था। इस मॉडल को इलैक्ट्रोन सूक्ष्मदर्शीय अध्ययनों से भी समर्थन मिला। उच्च आवर्धन के इलैक्ट्रोन माइक्रोग्राफों ने दिखाया कि कला दो गहरे रंग की समानान्तर पट्टियों (प्रोटीन आलेपन की) के साथ ही उनके बीच हल्के रंग के क्षेत्र (फोस्फोलिपिड) की बनी दिखाई देती है। लेकिन, इस मॉडल की सबसे बड़ी कमी ये थी कि इसमें सभी कलाओं को एक समान मोटाई की और सममितीय भीतरी और बाहरी सतहों वाली माना गया था। इसमें कला से होकर कुछ पदार्थों की वरणात्मक पारगम्यता के कारण को भी स्पष्ट नहीं किया गया था।



चित्र 5.7 : कोशिका कला के डावसन–डेनियली द्वारा प्रस्तावित सैन्डविच मॉडल का आरेखी प्रदर्शन।

iv) रॉबर्टसन का एकक कला मॉडल

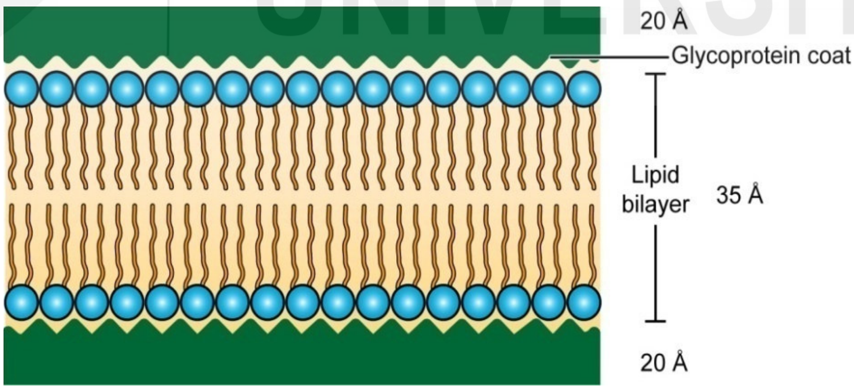
एंगस्ट्रोम (Aº) इकाई की SI का भाग नहीं है, लेकिन यह प्रकाश की तरंग दैर्ध्य और कोशिकीय संघटकों के मापन की एक महत्वपूर्ण इकाई है

1 Aº (एंगस्ट्रोम) = 10^{-10} मीटर

= 10^{-4}माइक्रोमीटर

= 0.1 नैनोमीटर

1950 के दशक के अंतिम वर्षों में **जे. डी. रोबर्टसन** ने **एकक कला मॉडल** (Unit Membrane Model) प्रस्तुत किया, जिसमें उन्होंने दिखाया कि ओस्मियम टैट्राऑक्साइड से स्थिरीकृत कला में **त्रिस्तरीय प्रगटन** दिखाई देता है जिसमें दो समानान्तर गहरे रंग की बाहरी परतें (ऑस्मियमरागी; osmiophillic) और हल्के रंग की मध्य परत (ऑस्मियमभीत; osmiophobic) होती है। इस मॉडल को त्रिस्तरीय इसलिए कहा गया था क्योंकि इसमें दो प्रोटीन परतों के बीच में एक द्विआण्विक लिपिड परत पाई जाती है। कोशिका कला को इलैक्ट्रोन सूक्ष्मदर्शी में देखने पर उसमें दो सघन ऑस्मियमरागी पट्टियां एक स्पष्ट क्षेत्र द्वारा पृथक्कृत दिखाई देती हैं। रॉबर्टसन के मॉडल के अनुसार कोशिका/प्लैज्मा कला प्रोटीन की बाहरी और भीतरी परत के बीच द्विआण्विक लिपिड परत की बनी दिखाई देती है जो परतदार शीट संरूपण में व्यवस्थित होती है (चित्र 5. 8)। प्रत्येक पट्टी प्रोटीन (20 Aº) और लिपिडों के ध्रुवीय समूह (5 Aº) की बनी होती है। स्पष्ट/स्वच्छ क्षेत्र 25 Aº मोटाई का और द्विआण्विक लिपिड परत का बना होता है, जिसमें ध्रुवीय समूह नहीं होते हैं। अतः, एकक कला 75 Aº मोटी होती है जिसमें बीच में 35 Aº की लिपिड परत और उसके दोनों तरफ 20 Aº मोटाई की प्रोटीन परतें होती हैं।

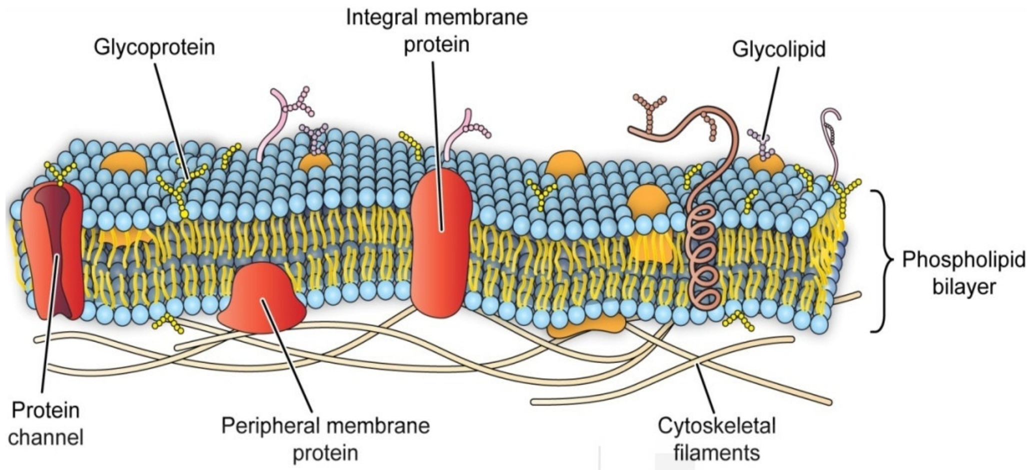


चित्र 5.8 : एकक कला मॉडल।

v) तरल मोजैक कला मॉडल

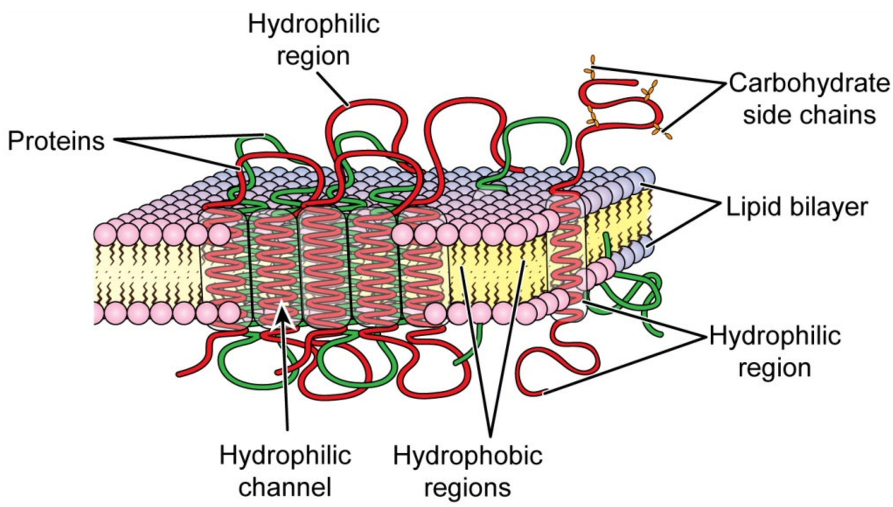
कोशिका कला की संरचना को स्पष्ट करने के लिए **तरल मोजैक कला मॉडल** (Fluid Mosaic Membrane Model) को 1972 में **एस.जे. सिंगर** एवं **गार्थ एल. निकलसन** (S.J. Singer and Garth L.Nicolson) द्वारा दिया गया था। इस मॉडल के अनुसार लिपिड द्विपरत अपेक्षाकृत तरल अवस्था में पाई जाती है। कोशिका कला में पाए जाने वाले फोस्फोलिपिड, कोलेस्टेरॉल, प्रोटीन और कार्बोहाइड्रेट जैसे पदार्थ इसे तरलता का

गुण प्रदान करते हैं। इन संघटकों का अनुपात विभिन्न प्रकार की कोशिकाओं में भिन्न होता है। प्रत्येक एकलपरत में उपस्थित लिपिड कला के तल में पार्श्व रूप से गति करने में सक्षम होते हैं। कोशिका कला से सामान्य रूप से संबद्ध प्रोटीनों में आंतर प्रोटीन (integral protein) और परिधीय प्रोटीन (peripheral protein) सम्मिलित हैं (चित्र 5.9)।



चित्र 5.9 : तरल मोज़ैक कला मॉडल का त्रिविम (3-D) प्रदर्शन।

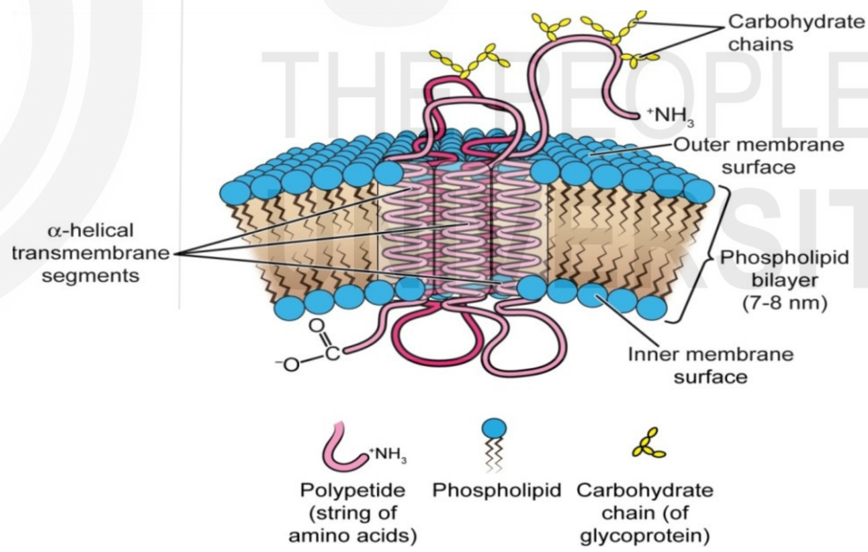
सतह पर पाए जाने वाले प्रोटीन **परिधीय (बाह्य)** और द्विपरत के आरपार विस्तारित प्रोटीन अथवा कला में अंतस्थापित (embedded) प्रोटीन आंतर (आंतरिक) प्रोटीन होते हैं। **चैनल प्रोटीन** (channel protein) आंतर प्रोटीन का उदाहरण है। प्रोटीन कोशिका के अंदर और बाहर वरणात्मक रूप से किसी पदार्थ विशेष जैसे आयनों के आने-जाने को संभव बनाता है। लिपिड द्विपरत की सतह पर उपस्थित प्रोटीन अणु चैनलों (channel) और पंपों (pump) की भांति कार्य करते हैं। प्रोटीन अणु लिपिड द्विपरत के तल में पार्श्व रूप से गति कर सकते हैं। ये द्विपरत के आरपार एक से दूसरी सतह पर कम ही "फ्लिप-फ्लॉप" (flip-flop) करते हैं। बाहरी सतह पर कुछ लिपिड ग्लाइकोलिपिडों को बनाने के लिए कार्बोहाइड्रेटों के साथ कॉम्प्लैक्स बनाते हैं। अध्ययन सुझाते है कि जलरागी और जलभीत परस्परक्रियाएं दोनों कोशिका कला में उपस्थित अणुओं के त्रिविम (3-D) आकार का निर्धारण करने में सहायक होती हैं और कला तरलता को भी नियंत्रित करती हैं (चित्र 5.10)। विशेषरूप से जलभीत परस्पर क्रियाएं कला में मुख्य रूप से परिधीय प्रोटीनों की स्थानिक स्थिति का निर्धारण करती हैं।



चित्र 5.10 : तरल मौजक कला मॉडल के आधार पर कोशिका कला की संरचना।

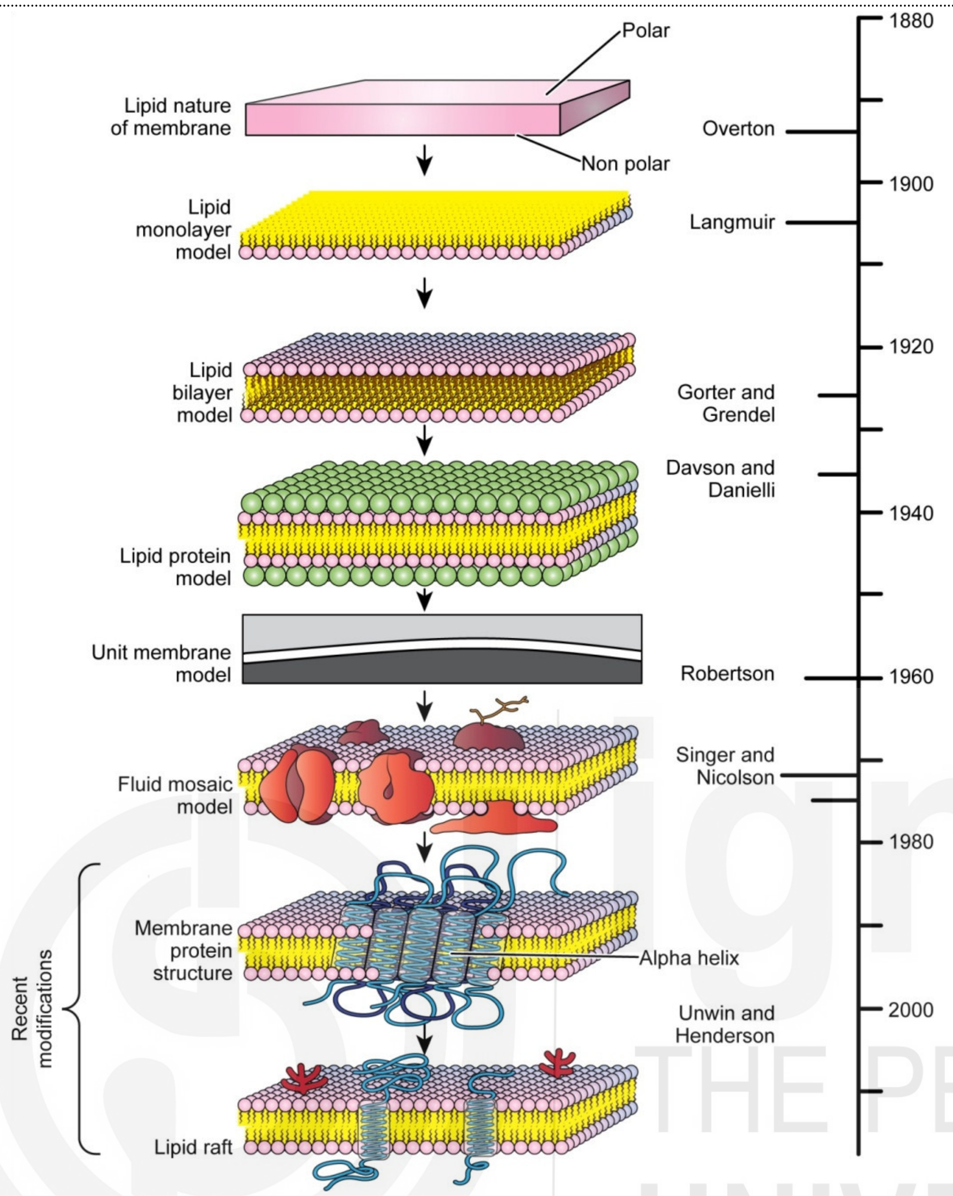
कोशिका अभिज्ञान प्रोटीन (cell recognition proteins) आंतर प्रोटीनों का एक अन्य प्रमुख वर्ग हैं। इन प्रोटीनों की अन्य कोशिकाओं द्वारा आसानी से पहचान कर ली जाती है। जो प्रोटीन कोशिका के बाहर किसी विशिष्ट अणु से वरणात्मक रूप से बद्ध हो जाता है, उसे **ग्राही** (receptor) कहते हैं। ग्राही से बद्ध होकर उसे सक्रियित करने वाला विशिष्ट अणु **लिगान्ड** (ligand) कहलाता है।

बाद में 1970 के दशक में, **अनविन एवं हैन्डरसन** (Unwin and Handerson) ने पता लगाया कि अधिकांश कला प्रोटीनों में एल्फा कुंडलिनी (α-helix) पारकला (transmembrane) खंड होते हैं। पारकला खंड प्रोटीन को कला से जोड़ देते हैं और लिपिड द्विपरत में उसे उचित संरेखण में बनाए रखते हैं। उत्तरोत्तर पारकला खंड जलरागी प्रोटीनों के छोटे लूप (छल्लों) द्वारा एकदूसरे से जुड़े रहते हैं जो कला की ध्रुवीय सतहों में विस्तारित या उनसे बाहर निकले रहते हैं। एक या अधिक पारकला खंड पारकला प्रोटीनों को लिपिड द्विपरत के अंदर थामे रखते हैं (चित्र 5.11)। कला प्रोटीन और लिपिड विशेष के बीच परस्परक्रिया अत्यधिक विशिष्ट होती है और ये कला प्रोटीन की संरचना और कार्य के लिए महत्वपूर्ण होती है। लिपिड द्विपरत वह मैट्रिक्स प्रदान करती है जिसमें कला प्रोटीन आंशिक अथवा पूर्ण रूप से अंतःस्थापित होते हैं और कला में प्रोटीनों के ऊर्ध्व स्थापन और दृढ़ समाकलन में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। लिपिड बंधन ओलिगोमेरिक और मल्टीसबयूनिट कॉम्प्लैक्सों की एसेम्बली (सम्मुचयन) और स्थिरीकरण में भी सहायता करते हैं। कला प्रोटीनों और लिपिड द्विपरत के बीच परस्पर क्रियाएं विसरण अवरोधों को बनाए रखती हैं और संरचनात्मक पुर्नविन्यासों को संभव बनाती हैं। अतः प्रोटीन लिपिड परस्पर क्रियाओं की कला प्रोटीनों की एसेम्बली, स्थायित्व और कार्य करने के लिए आवश्यकता होती है।



चित्र 5.11 : पारकला खंडों को दर्शाते हुए कोशिका कला का आरेखी प्रदर्शन।

कोशिका कला के वर्तमान मॉडल (अनविन एवं हैन्डरसन द्वारा सुझाया गया) के विकास की घटनाओं के समयबद्ध अनुक्रम को चित्र 5.12 में प्रदर्शित किया गया है। ओवरटोन ने कला की लिपिड प्रकृति को बताया। एक लिपिड परत से दो लिपिड परतों के होने को गोर्टर एवं ग्रेन्डेल के लिपिड द्विपरत मॉडल में देखा गया। बाद में डावसन एवं डेनिएली के लिपिड प्रोटीन मॉडल में प्रोटीन अणुओं की उपस्थिति को बताया गया। उन्नत तकनीकों के विकास के साथ परिधीय (बाह्य) और आंतर प्रोटीनों की उपस्थिति का पता चला (तरल मौजेक मॉडल)। इसके बाद कला प्रोटीनों में पारकला/ट्रांसमेम्ब्रेन खंडों की उपस्थिति को रिपोर्ट किया गया। बाद में अनविन और हैन्डरसन ने सुझाया कि पारकला/ट्रांसमेम्ब्रेन खंड प्रोटीनों को लिपिड द्विपरत के अंदर थामें रखते हैं।



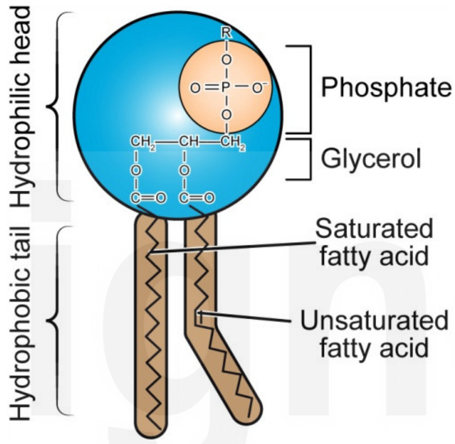
चित्र 5.12 : कोशिका कला के वर्तमान तरल मोजैक मॉडल के विकास की घटनाओं का समय बद्ध अनुक्रम (कार्प के 8 वें संस्करण से रूपांतरित)।

5.3.2 कोशिका कला का रासायनिक संयोजन

कोशिका कला मुख्य रूप से अनेक प्रोटीन, लिपिड और अल्प मात्रा में ओलिगोसैकेराइडों (oligosaccharides) की बनी होती है जो लिपिड (ग्लाइकोलिपिड) अथवा प्रोटीन (ग्लाइकोप्रोटीन) से संबद्ध होते हैं। कोशिका कला में लिपिड-प्रोटीन अनुपात में अत्यधिक भिन्नता पाई जाती है (1:4 से 4:1 तक)।

कला लिपिड – कोशिका कलाओं में लिपिड होते हैं जो उभय संवेदी (amphipathic) प्रकृति के होते हैं अर्थात् इनमें जलरागी और जलभीत समूह दोनों पाए जाते हैं। कला में तीन प्रकार के लिपिड पाए जाते हैं, जो फोस्फोलिपिड (phospholipid), कोलेस्टेरॉल (cholesterol) और गैलेक्टोलिपिड (galactolipid) हैं। प्रत्येक प्रकार की कला में इनका संयोजन भिन्न होता है। लिपिड कला में फोस्फोलिपिड अणु और दो वसा अम्ल अणु तीन-कार्बन ग्लिसरॉल ढांचे के पहले और दूसरे कार्बन से जुड़े रहते हैं और दो जलभीत पुच्छ (tails) बनाते हैं जिनमें संतृप्त या असंतृप्त वसा अम्ल होते हैं, जबकि फॉस्फेट युक्त समूह तीसरे कार्बन से जुड़कर एक जलरागी शीर्ष भाग बनाता है। अतः फोस्फोलिपिड अणु में एक जलरागी शीर्ष और दो जलभीत पुच्छ होती है (चित्र 5.13)।

फॉस्फेट युक्त जलरागी "शीर्ष" ध्रुवीय प्रकृति का होता है जबकि लिपिड युक्त जलभीत 'पुच्छ' अ-ध्रुवीय प्रकृति की होती है। असंतृप्त वसा अम्ल जलभीत पूंछो में वक्र बनाते हैं। ग्लिसरॉल के आधारी ढांचे वाले फोस्फोलिपिड **फोस्फोग्लिसराइड** (phosphologlyceride) कहलाते हैं, जबकि जिनमें एक अतिरिक्त फॉस्फेट समूह इससे जुड़ा रहता है, वे **फोस्फोडाइग्लिसराइड** (phosphodiglyceride) कहलाते हैं। फोस्फोलिपिडों में एक अतिरिक्त समूह होता है, जो सामान्यतः कोलीन (जो फोस्फेटाइडिलकोलीन बनाता है), एथेनॉल एमीन (जो फॉस्फेटाइडिलएथेनॉलएमीन बनाता है) अथवा सीरीन (जो फॉस्फेटाइडिलइनोसिटोल बनाता है) होता है। फोस्फोलिपिड पुच्छ के वसा अम्ल हाइड्रोजन परमाणुओं से बद्ध होकर संतृप्त हो जाते हैं। फोस्फोलिपिडों के जलरागी शीर्ष साइटोसोल में उपस्थित जल के साथ हाइड्रोजन बंघ बनाते हैं। कला के जलरागी क्षेत्र फोस्फोलिपिड द्विपरत के जलभीत क्षेत्र से परस्परक्रिया करते हैं।



चित्र 5.13 : फोस्फोलिपिड अणु की संरचना।

लगभग 5-20% फोस्फोलिपिड जैसे फोस्फेटाइडिलइनोसिटोल (phosphatidylinositol), फोस्फेटाइडिलसीरीन (phosphatidylserine), कार्डियोलिपिन (cardiolipin), फोस्फेटाइडिल ग्लिसरॉल (phosphatidyl glycerol) और सल्फोलिपिड (sulpholipids) अम्लीय होते हैं। ये अम्लीय फोस्फोलिपिड श्रृणात्मक आवेश के होते हैं, लेकिन उदासीन pH वाले अन्य फोस्फोलिपिडों पर कोई आवेश नहीं होता है।

प्रोटीनों और फोस्फोलिपिडों का वितरण कोशिका कला को असममिति बना देता है। कोलीन, फोस्फोलिपिड और ग्लाइकोलिपिड द्विपरत के बाहरी अर्धभाग में पाए जाते हैं, और ऐमीनो फोस्फोलिपिड उसके भीतरी या कोशिकाद्रव्यी अर्धभाग में स्थित रहते हैं। लिपिडों का एक अन्य वर्ग स्फिंगोलिपिड (sphingolipids) जिनमें स्फिंगोसीन होते है जो वसा अम्ल से अपने एमीनो समूह द्वारा जुड़े रहते हैं। ये लिपिड कोलेस्टेरॉल और कुछ कला संबद्ध प्रोटीनों के साथ जुड़कर कला की सतह पर कुछ लिपिड उपक्षेत्र (lipid subdomain) बनाते हैं जिनको राफ्ट (Raft) कहते हैं। ऐसा माना जाता है कि लिपिड राफ्ट कला में विशिष्ट संगठक केन्द्रों की भांति कार्य करते हैं और कला की तरलता और प्रोटीन के अभिगमन को प्रभावित करते हैं।

कला कार्बोहाइड्रेट – कोशिका कला में, कार्बोहाइड्रेट शर्करा की छोटी शाखित श्रंखलाओं के रूप में पाए जाते हैं जो या तो बाह्य परिधीय प्रोटीन (जो ग्लाइकोप्रोटीन बनाते हैं) अथवा बाहरी लिपिड परत में फोस्फोलिपिड अणुओं के ध्रुवीय सिरों से जुड़े रहते हैं (ग्लाइकोलिपिड बनाते हैं)। कार्बोहाइड्रेट भीतरी सतह पर नहीं पाए जाते हैं। ओलिगोसैकेराइड श्रृंखलाएं ग्लाइकोप्रोटीन और ग्लाइको लिपिड जो कलाओं में पाए जाते हैं, छह शर्कराओं – डी-गलैक्टोस (D-Galactose) डी-मैनोस (D-mannoss) एल-

फ्यूकोस (L-Fucose), एन-एसीटिल न्यूरेमीनिक अम्ल (N-acetyl neuraminic acid) (जिसे सिऐलिक अम्ल भी कहते हैं), एन-एसीटिल डी-ग्लूकोसेमीन (N-acetyl D-glucosamine) और एन-एसीटिल-डी-गैलेक्टोसेमीन (N-acetyl D-galactosamine) के संयोजन से बनते हैं।

कला प्रोटीन – प्रोटीन अधिकांश जैविक कलाओं के मुख्य संघटक होते हैं। ये न सिर्फ कला की यांत्रिक संरचना में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं बल्कि अभिगमन के लिए वाहक/कैरियर (carrier) या चैनल (channel) के रूप में भी कार्य करते हैं। ये नियंत्रण करने अथवा लिगान्ड की पहचान करने में भी सम्मिलित हो सकते हैं। अनेक एन्जाइम, एन्टीजन और विभिन्न प्रकार के ग्राही अणु कोशिका कला पर पाए जाते हैं। कोशिका कला के बाहरी और भीतरी क्षेत्रों में विभिन्न प्रकार के परिधीय प्रोटीन भिन्न मात्राओं में पाए जाते हैं। कला प्रोटीन का यह अनियमित वितरण कला असममिति (membrane asymmetry) कहलाता है।

कला प्रोटीनों के एन्जाइमी गुण – कला प्रोटीनों में एन्जाइमी क्रिया भी पाई जाती है। विभिन्न कोशिकाओं की कोशिका कला में उपस्थित एन्जाइमों में *एसीटिल फॉस्फेटेस, एसीटिलकोलीन एस्टरेस, एसिड फॉस्फेटेस, एडीनोसिन ट्राईफॉस्फेटेस, एडीनिलेट साइक्लेस, एल्केलाइन फॉस्फटेस, एल्केलाइन फोस्फोडाइएस्टरेस, एमीनो पेप्टीडेस, लैक्टेस, माल्टेस, NADH ऑक्सीडाइजिंग* एन्जाइम और अन्य एन्जाइम सम्मिलित हैं। कला एन्जाइम दो प्रकार के होते है :

i) एक्टोएन्जाइम (Ectoenzymes) : इनकी उत्प्रेरकी क्रिया कोशिका कला की बाह्य सतह से जुड़ी होती है।

ii) एन्डोएन्जाइम (Endoenzyme) : इनकी उत्प्रेरकी क्रिया कोशिका कला की भीतरी सतह से जुड़ी होती है।

बोध प्रश्न 3

क) रिक्त स्थानों को भरिए :

i) तरल मोजैक कला मॉडल में कहा गया है कि कोशिका कला में .... तरल अवस्था में पाई जाती है।

ii) जे. एफ. डेनियली और एच. डावसन ने कोशिका कला का .... मॉडल प्रस्तुत किया था, जिसमें दिखाया गया कि .... अणु लिपिड द्विपरत से संबद्ध थे।

iii) जे. डी रोबर्टसन ने दिखाया कि ऑस्मियम टेट्राऑक्साइड से स्थिरीकृत कला में विशिष्ट .... प्रकटन दिखाई देता है जिसमें दो बाहरी समानान्तर गहरे रंग की (ऑस्मियमरागी परतें) और एक मध्य हल्के रंग की (ऑस्मियमभीत) परत पाई जाती हैं।

iv) कला लिपिड में जलरागी और जलभीत क्षेत्र दोनों उपस्थित होते हैं, वे .... प्रकृति के होते हैं।

v) फोस्फोलिपिड अणु में एक .... शीर्ष और .... जलभीत पुच्छ होती हैं।

ख) कॉलम A में दिए गए वैज्ञानिकों के नामों का कॉलम B में उनके द्वारा प्रस्तुत किए गए मॉडल से मिलान कीजिए :

	कॉलम A		कॉलम B
i)	सी. ई. ओवरटोन	1)	एकक कला मॉडल
ii)	गोर्टर एवं ग्रेन्डेल	2)	तरल मोजैक मॉडल
iii)	डेनियली एवं डावसन	3)	लिपिड परत मॉडल
iv)	सिंगर एवं निकलसन	4)	लिपिड प्रोटीन मॉडल
v)	जे. डी. रोबर्टसन	5)	लिपिड द्विपरत मॉडल

5.4 कोशिका कला की तरलता

आप स्वयं ये देख सकते हैं कि जल कम श्यान (गाढ़ा) होने के कारण आसानी से प्रवाहित होता है जबकि शहद अधिक श्यान/गाढ़ा होने के कारण आसानी से प्रवाहित नहीं होता है।

कोशिका कला तरलता (Cell membrane fluidity; CMF) एक ऐसा प्राचल है जो कोशिका कला के अंदर लिपिड, प्रोटीन और अन्य जैवअणुओं की गति का वर्णन करता है। यह कोशिका कला की लिपिड द्विपरत की श्यानता (viscosity) से संबन्धित है। तरलता कला के अंदर लिपिड और प्रोटीन कितनी आसानी से प्रवाहित या विसरित हो सकते हैं, इसका निर्धारण करती है, जबकि श्यानता प्रवाह के लिए प्रतिरोधकता का मापन करती है। तरलता और श्यानता विलामानुपाती रूप से संबन्धित हैं। लिपिड क्रिस्टलीय ठोस प्रावस्था अथवा द्रव प्रावस्था में पाए जा सकते हैं, जो तापमान पर निर्भर करता है। असंतृप्त वसा अम्ल फोस्फेटाइडिल कोलीन और फोस्फेटाइडिल एथेनॉल एमीन की बनी कृत्रिम द्विपरत में दिखाई देती हैं। यदि द्विपरत का तापमान लगभग 37º C हो तो लिपिड अपेक्षाकृत तरल या द्रव जैसी अवस्था में पाए जाते हैं। लिपिड द्विपरत एक द्वि-विमी द्रव क्रिस्टल के रूप में दिखाई देती है। अणु इस तापमान पर अपना विशिष्ट अभिविन्यास भी बनाए रखते हैं। यदि तापमान कम कर दिया जाए, तो द्विपरत की प्रकृति बदल जाती है। लिपिड सामान्य द्रव जैसी अवस्था से 'हिमशीतित' क्रिस्टलीय जेल में परिवर्तित हो जाते हैं। इससे फोस्फोलिपिडों की गति सीमित हो जाती है। वह तापमान जिसपर ये परिवर्तन होता है, **संक्रमण तापमान** (transition temperature) कहलाता है।

कोशिका कला की आण्विक गतिकी और मोजैक संगठन कला तरलता मे योगदान देते हैं और कला के कार्यों में इनकी महत्वूपर्ण भूमिका होती है।

5.4.1 कला तरलता का महत्व

तरलता कला प्रोटीनों का एक स्थान विशेष पर समूहित होकर विशेषीकृत संरचनाएं बनाना संभव बनाती है जिनको **प्रतिच्छेद संधियां** (intersection junctions), **प्रकाशग्राही कॉम्प्लैक्स** (light capturing complex) और सिनेप्स/अंर्तग्रंथन (synapses) कहते हैं। कला तरलता बगैर सचलता की दृढ़, संगठित संरचना और पूर्णतः तरल; अ-श्यान (nonviscous) द्रव, जिसमें कला संघटकों का कोई अभिविन्यास और कोई यांत्रिक

सहारा नहीं होता है, के बीच संतुलन प्रदान करती है। तरलता कला के अंदर परस्परक्रियाओं का होना संभव बनाती है और कलामय परत के द्रव मैट्रिक्स में लिपिड और प्रोटीन संघटकों को प्रवेश कराकर कला के सम्मुचयन में भूमिका निभाती है। मौलिक कोशिकीय प्रक्रियाएं जैसे गति, वृद्धि, विभाजन, अन्तराकोशिकीय संधियों का निर्माण, स्त्रवण और एन्डोसाइटोसिस (endocytosis) कला संघटकों की गति यानी कला की तरलता पर निर्भर करती हैं।

कोशिका कला के आरपार संकेत/सिग्नल स्थानांतरण (signal transfer) के लिए कला पार ग्राहियों की परस्परक्रियाएं कला की बाहरी सतह पर लिगान्ड के बद्ध होने में सहायता करते हैं और कला की भीतरी सतह पर उपस्थित एन्जाइमों की क्रिया को उद्दीपित करते हैं। कला तरलता परस्परक्रिया कर रहे अणुओं के एकसाथ आने और आवश्यक क्रिया करने और फिर अलग हो जाने को संभव बनाती है।

5.4.2 कला तरलता को बनाए रखना

बदलती स्थितियों में कला की तरलता का नियंत्रण अनिवार्य है। ऐसा मुख्यरूप से फोस्फोलिपिडों को नियंत्रित करके किया जाता है। कला तरलता का रखरखाव कोशिकीय स्तर पर समस्थैतिकी दर्शाता है। यदि कोशिकाओं के संवर्ध (culture) का तापमान कम कर दिया जाए, तो कोशिकाएं उपापचयी रूप से अनुक्रिया करती हैं, जिसकी मध्यस्थता एन्जाइमों के द्वारा होती है जो कला को 'रीमॉडल' (remodel) कर सकते हैं। रीमॉडलिंग वसीय एसिल श्रृंखलाओं में एकल बंधों का वि-संप्तृप्तीकरण करके द्विबंध के बनने और विभिन्न अणुओं के बीच श्रृंखलाओं की फेरबदल करके दो असंतृप्त वसा अम्लों युक्त फोस्फोलिपिड बना कर की जाती है। कोशिका असंतृप्त वसा अम्लों के संश्लेषण को बढ़ावा देकर संश्लेषित होने वाले फोस्फोलिपिडो के प्रकार को बदल देती है।

ब्राउनियन गति (Brownian movement), विसरण और कला संगठन कोशिका कला गतिकी के मौलिक आधार हैं। ब्राउनियन गति के सिद्धान्त के अनुसार अणु निरंतर गतिशील अवस्था में रहते हैं। तापीय विक्षोभन प्रक्रियाओं के फलस्वरूप ये एकदूसरे से टकराते हैं और आगे पीछे गति करते हैं। अन्य अणुओं के साथ टक्कर जैवअणुओं के विसरण को कम कर देती है। माध्यम का आण्विक घनत्व विसरण की दर को प्रभावित करता है। यदि घनत्व अधिक हो, तो विसरण की दर कम होगी।

सजीव कोशिका कला क्षेत्र अपनी लंबाई के संदर्भ में समांग नहीं होते हैं। ऐसा संयोजन में भिन्नता, असममित संगठन और कला की मोटाई के कारण होता है। एन्जाइम क्रियाएं, कला पुर्नचक्रण और संकेतन की घटनाएं कोशिका कला के साम्य को निरंतर बिगाड़ती रहती हैं। ये घटनाएं अणुओं के सबसेट की सांद्रता को बढ़ा देती हैं जिससे छोटे क्षेत्र (domains) बन जाते हैं और विषमांगता निर्मित हो जाती है। तरल मोजैक मॉडल के अनुसार कला प्रोटीन कम सांद्रता में उपस्थित हाने पर समांगी लिपिड द्विपरत में एकलकों (monomers) के रूप में वितरित रहते हैं। जब प्रोटीन पास-पास सटे परिवेश में प्राथमिकता के आधार पर संबन्धन बनाते हैं तो कला संगठन की अधिक मौजेक और अत्यधिक गतिक स्थिति दिखाई देती है। लिपिडों और प्रोटीनों की विविधता और संगठन कोशिका कलाओं में विषमांगता के स्तर को प्रभावित करते हैं।

बोध प्रश्न 4

क) बताइए कि निम्नलिखित कथन 'सत्य' है या 'असत्य' है :

i) तरलता और श्यानता एकदूसरे के समानुपाती होते हैं।

ii) अणु गतिकी और मोजैक संगठन कोशिका कला की तरलता में योगदान करते हैं।

iii) तरलता द्रव मैट्रिक्स में लिपिड और प्रोटीन संघटकों के समावेशन द्वारा कला के सम्मुचयन (एसेम्बली) में भूमिका निभाती है।

iv) संक्रमण तापमान पर लिपिड अपनी सामान्य द्रव जैसी अवस्था से 'हिमशीतित' क्रिस्टलीय जेल में परिवर्तित हो जाते हैं।

v) कला तरलता परस्परक्रिया करने वाले अणुओं का पास आना और आवश्यक अभिक्रिया करना संभव नहीं होने देती है।

ख) कला तरलता के महत्व पर लघुटिप्पणी लिखिए।

5.5 कोशिका कला के कार्य

- कोशिका कला का मुख्य कार्य कोशिका की अपने आसपास के परिवेश में होने वाले पर्यावरणीय परिवर्तनों और बाहरी क्षति से सुरक्षा प्रदान करना है।

- कोशिका कला कोशिका कंकाल को बनाए रखती है और इसतरह कोशिका को आकार प्रदान करती है। ये कोशिका और अंगकों को घेरे रहती है और उनको स्थिरता और सहारा प्रदान करती है।

- कोशिका कला अंतराकोशिकीय और कोशिकाबाह्य खंडों के बीच पदार्थों की सांद्रता में अंतर को नियंत्रित करके कोशिका विभव को बनाए रखती है।

- ये वरणात्मक पारगम्यता का विशिष्ट गुण प्रदर्शित करती है। इसका अर्थ है कि सिर्फ कुछ अणु इसमें से होकर निकल सकते हैं ओर अन्य का कोशिका में प्रवेश नहीं हो सकता है। जल, ऑक्सीजन और कार्बन डाइऑक्साइड आसानी से इसमें से होकर निकल जाते हैं। अतः, कोशिका कला एक ऐसे अवरोध की भांति कार्य करती है जो कोशिका के अंदर अनिवार्य संघटकों (पोषकों) को बनाए रखती है और अवांछित पदार्थों को कोशिका के बाहर निकाल देती है।

- प्रोटीन आयनों और अन्य जैविक अणुओं के कोशिका कला के आरपार आने-जाने की मध्यस्थता करते हैं। ये कोशिका के अंदर और बाहर अणुओं की वरणात्मक गति के लिए जिम्मेदार होते हैं। आंतर प्राटीन (intrinsic protein) अभिगमन तंत्र की भांति कार्य करते हैं जो आयनों का सीधे कोशिका में विसरण अथवा विलेयों का कला से होकर सीधे कोशिका के बाहर विसरण करना संभव बनाते हैं।

- कोशिका कला कोशिकाओं के बीच संप्रेषण और संकेतन में सहायता करती है। इसके प्रोटीन कोशिकाओं के बीच परस्पर क्रियाओं को नियंत्रित करते हैं और ऐसे

स्रोत के रूप में कार्य करते हैं, जिससे होकर कोशिका अपने पर्यावरण से संकेतों को ग्रहण करती है।

- कलाओं की लिपिड और जलीय प्रावस्थाओं के बीच के अंतरफलक पर स्थित प्रोटीन/एन्जाइम विभिन्न कोशिकीय प्रक्रियाओं को करने में सहायक होते हैं। विशिष्ट कला प्रोटीन जिनकों ट्रांसपोर्ट प्रोटीन (transport protein) कहते हैं, विलेयों की निष्क्रिय अभिगमन द्वारा कला के पार गति को संभव बनाते हैं जिसके विषय में आप पहले ही BBYCT-137 पाठ्यक्रम की इकाई-2 में पढ़ चुके हैं। कुछ ट्रांसपोर्ट प्रोटीन **चैनल प्रोटीन** कहलाते हैं। ये प्रोटीन कला के आरपार जलीय चैनल बनाते हैं और उचित आमाप और आवेश के विलेयों का सामान्य मुक्त विसरण के द्वारा द्विपरत के आारपार जाना संभव बनाते हैं। कुछ अन्य ट्रांसपोर्ट प्रोटीन, जिनको **कैरियर/वाहक प्रोटीन** कहते हैं किसी विशिष्ट अणु से बद्ध होते हैं और उसे द्विपरत के आरपार सुगमित विसरण (facilitated diffusion) की प्रक्रिया द्वारा स्थानांतरित करते हैं। वाहक/कैरियर प्रोटीन अत्यधिक विशिष्ट होते हैं और सिर्फ एक ही प्रकार के रासायनिक यौगिक जैसे आयनों अथवा शर्कराओं अथवा सिर्फ किसी एक प्रकार के अणुओं का अभिगमन करते हैं।

  कुछ ट्रांसपोर्ट प्रोटीन जो प्रोटीन कॉम्प्लैक्सों के रूप में पाए जाते हैं सिर्फ किसी उद्दीपन विशेष की अनुक्रिया में ही खुलते हैं। ऐसे अस्थायी आवागमन के पथ द्वारित रंध्र (gated pores) अथवा द्वारित चैनल (gated channels) कहलाते हैं। द्वारित रंध्र कोशिका सतह ग्राहियों की लिगान्ड बंधन की अनुक्रिया में अथवा कोशिका बाह्य या अंतराकोशिकीय सांद्रता में परिवर्तन के कारण अथवा कला विभव में परिवर्तनों के कारण खुलते हैं।

- पदार्थ निष्क्रिय अभिगमन (ऊर्जा के उपयोग के बगैर सरल या सुगमित विसरण के द्वारा), सक्रिय अभिगमन (सांद्रता विभव के विरूद्ध ऊर्जा के उपयोग के द्वारा) अथवा कला आशयों में पदार्थों के परिबद्ध हो जाने (पिनोसाइटोसिस, एक्सोसाइटोसिस, एन्डोसाइटोसिस) (बॉक्स 5.1) के द्वारा कला के आरपार गति कर सकते हैं। आप पहले ही कार्यिकी पाठ्यक्रम (BBYCT-137) के खंड I की इकाई 2 और 4 में इन प्रक्रियाओं के विषय में विस्तार से पढ़ चुके हैं।

- कोशिका कला की बाहरी सतह पर हार्मोन ग्राही होते हैं जो विशिष्ट हार्मोनों की पहचान करते हैं और कोशिका के अंदर सूचना को पहुंचाते हैं।

बॉक्स 5.1 : सक्रिय और निष्क्रिय अभिगमन।

सक्रिय अभिगमन में आयनों ऊर्जा के उपयोग द्वारा और उपापचयजों की उनके विद्युत रासायनिक विभव के विरूद्ध गति सम्मिलित है। शर्करा और आयन एक ही पारकला (transmembrane) वाहक प्रोटीन से भिन्न स्थानों पर बद्ध होते हैं, जो सक्रिय अभिगमन द्वारा शर्करा के कोशिका में गति करने में सहायक होता है, जबकि Na^+ निष्क्रिय अभिगमन द्वारा गति करता है। विलेयों, वृहदाणुओं और कणों का कला के आरपार सक्रिय अभिगमन कला-बद्ध आशयों के निर्माण अथवा कोशिका कला के साथ आशयों के युग्मन के द्वारा भी होता है। पदार्थ कोशिका में कोशिका कला के एक छोटे भाग से परिबद्ध होकर पहुंचते हैं, जो पहले अंर्तवलन (invagination) करती है और फिर उसका वह भाग कटकर अंतराकोशिकीय आशय बनाता है जिसमें पदार्थ होता है (एन्डोसाइटोसिस)।

बोध प्रश्न 5

क) निम्नलिखित शब्दों को परिभाषित कीजिए :

i) ब्राउनियन गति

ii) श्यानता

iii) हार्मोन ग्राही

iv) एन्डोसाइटोसिस

ख) रिक्त स्थानों को भरिए :

i) .... कोशिका कला का एक गुण है, जिसके द्वारा कला में लिपिड, प्रोटीन और अन्य जैवअणुओं की मुक्त गति होती है।

ii) आयनों और अन्य जैवअणुओं का कला के आरपार आवागमन .... की मध्यस्थता से होता है।

iii) कोशिका कला कोशिकाओं के बीच .... और .... में सहायता करती है।

iv) .... ट्रांसपोर्ट प्रोटीन हैं जो सिर्फ किसी उद्दीपन विशेष की अनुक्रिया में ही खुलते हैं।

v) कोशिका कला की बाहरी सतह पर स्थित .... विशिष्ट हार्मोनों की पहचान करते हैं और कोशिका के भीतर इस सूचना को पहुंचाते हैं।

5.6 सारांश

- उच्चतर पादपों की कोशिकाभित्ति पोलीसैकेराइडों और प्रोटीनों के जेल जैसे मैट्रिक्स में अंतःस्थापित सेलुलोस और हेमीसेलुलोस की बनी होती है। कवकों की कोशिका भित्ति काइटिन की बनी होती है और शैवालों की पोलीसैकेराइडों और ग्लाइकोप्राटीनों की बनी होती है। कोशिका भित्ति द्वारा जल का अंर्तग्रहण पादप कोशिकाओं का विस्तारित होना संभव बनाता है।

- जीवाणवीय कोशिका भित्ति का मुख्य संघटक एक पेप्टीडोग्लाइकन है जिसमें पोलीसैकेराइडों की श्रृंखलाएं छोटे पेप्टाइडों द्वारा तिर्यकबंधित रहती हैं।

- पादपों की कोशिका भित्ति में विभेदित तीन परतें-प्राथमिक कोशिका भित्ति, मध्य पटलिका और द्वितीयक कोशिका भित्ति हैं। कभी-कभी एक तृतीयक कोशिका भित्ति भी पाई जा सकती है।

- निकटवर्ती कोशिकाओं के बीच कोशिकाद्रव्यी संधियों या सेतुओं को प्लैस्मोडेस्मेटा कहते हैं। पादप कोशिकाओं में कोशिका भित्ति का मुख्य कार्य पौधों को यांत्रिक शक्ति प्रदान करना है। यह रोगाणुओं से सुरक्षा प्रदान करती है और परासरण दाब के कारण कोशिका को फूलने से भी बचाती है।

- कोशिका कला की मौलिक संरचना फोस्फोलिपिड द्विपरत की बनी होती है, जिसमें ग्लाइकोलिपिड और कोलेस्टेरॉल होते हैं।

- कोशिका कला की संरचना को स्पष्ट करने के लिए विभिन्न मॉडल प्रस्तुत किए गए हैं। इनमें ओवरटोन का लिपिड परत मॉडल, लिपिड द्विपरत मॉडल, सैन्डविच मॉडल या लिपिड-प्रोटीन मॉडल, रॉबर्टसन का एकक कला मॉडल और तरल मोजैक मॉडल सम्मिलित हैं।

- सर्वाधिक मान्य मॉडल तरल मौजेक मॉडल है जिसे सिंगर एवं निकलसन द्वारा प्रस्तुत किया गया था। इस मॉडल में कहा गया है कि परिधीय और आंतर प्रोटीन फोस्फोलिपिडों में अंतःस्थापित रहते है। कला प्रोटीन, कार्बोहाइड्रेट, लिपिड और ओलिगोसैकराइडों का अल्प प्रतिशत लिपिडों (ग्लाइकोलिपिड) अथवा प्रोटीनों (ग्लाइकोप्रोटीन) से संबद्ध हो सकता है। लिपिड अपेक्षाकृत तरल द्रव जैसी अवस्था में पाए जाते हैं।

- जैवअणुओं और आयनों का कला के आरपार अभिगमन या तो निष्क्रिय रूप से मुक्त विसरण या सुगमित विसरण द्वारा अथवा सक्रिय अभिगमन के द्वारा होता है जिसमें पदार्थ को अपनी सांद्रता प्रवणता के विपरीत गति करने के लिए ऊर्जा की आवश्यकता होती है। कोशिका कला अणुओं और कणों के प्रवेश और निकास के लिए गतिक, नियंत्रक अवरोध की भांति कार्य करती है।

5.7 अंत में कुछ प्रश्न

1. उच्चतर पादपों की कोशिका कला की संरचना और रासायनिक संयोजन का वर्णन कीजिए।

2. कोशिका भित्ति के संरचनात्मक संगठन और कार्य में सूक्ष्मतंतुकों और लिग्निन की भूमिका की विवेचना कीजिए।

3. पादप कोशिका भित्ति की संरचना का स्पष्ट, सुनामांकित आरेख बनाइए।

4. प्राथमिक और द्वितीयक कोशिका भित्ति के बीच अन्तर बताइए।

5. ग्रैम ग्राही और ग्रैम अग्राही जीवाणुओं के बीच अन्तरों को सुनामांकित आरेख के साथ स्पष्ट कीजिए।

6. कोशिका कला के रासायनिक संयोजन का वर्णन कीजिए और कोशिका कला की संरचना को बनाए रखने और उसके कार्यों में फोस्फोलिपिडों और ग्लाइकोलिपिडों की भूमिका पर चर्चा कीजिए।

7. कोशिका कला का तरल मोजैक मॉडल सबसे उपयुक्त मॉडल हैं। स्पष्ट कीजिए।

8. कोशिका कला के मुख्य कार्य क्या हैं?

9. कोशिका कला के एकक कला मॉडल का संक्षेप में वर्णन कीजिए।

10. कला तरलता क्या है? इसकों कैसे बनाए रखा जाता है?

11. निम्नलिखित के बीच अन्तर बताइए :

    i) परिधीय प्रोटीन और आंतर प्रोटीन

    ii) वाहक/कैरियर प्रोटीन और चैनल प्रोटीन

    iii) निष्क्रिय अभिगमन और सक्रिय अभिगमन

5.8 उत्तर

बोध प्रश्न

1. क) i) सेलुलोस

      ii) ग्लूकोस

      iii) मिसेल

      iv) तृतीयक

      v) अक्रिस्टलीय मैट्रिक्स

      vi) प्लैस्मोडेस्मेटा

   ख) i) जंतु

      ii) सूक्ष्मतंतुक

      iii) प्लैस्मोडेस्मेटा

      iv) मध्य पटलिका

      v) जाइलन

   ग) उपभाग 5.2.3 को देखिए।

2. क) उपभाग 5.2.5 को देखिए।

   ख) i) सेलुलोस एक कार्बोहाइड्रेट (पोलीसैकेराइड) है जो ग्लूकोस अणुओं की साथ जुड़ी लंबी श्रृंखलाओं के बने होते हैं।

      ii) सेलुलोस अणुओं की लगभग 100 श्रृंखलाओं का पूल प्राथमिक तंतुक बनाता है जिसे मिसेल कहते हैं।

      iii) समीपवर्ती कोशिकाओं के बीच कोशिकाद्रव्यी संधियां अथवा सेतु प्लैस्मोडेस्मेटा कहलाते हैं।

3. क) i) लिपिड द्विपरत

      ii) सैन्डविच, प्रोटीन

      iii) त्रिस्तरीय

iv) उभयसंवेदी

v) जलरागी, दो

ख) i) लिपिड परत मॉडल

ii) लिपिड द्विपरत मॉडल

iii) लिपिड प्रोटीन मॉडल

iv) तरल मोजैक मॉडल

v) एकक कला मॉडल

4. क) i) असत्य; ii) सत्य; iii) सत्य; iv) सत्य; v) असत्य

ख) उपभाग 5.4.1 को देखिए।

5. क) i) ब्राउनियन गति तापीय विक्षोभ की प्रक्रियाओं के फलस्वरूप आगे-पीछे उछलने के कारण एक दूसरे के साथ टकराने वाले अणुओं की सतत् गति है।

ii) श्यानता प्रवाह के लिए प्रतिरोध का मापन है। तरलता और श्यानता विलोमानुपाती होते हैं।

iii) कोशिका कला में ग्राही होते हैं जो विशिष्ट हार्मोनों की पहचान करके कोशिका के अंदर उसकी सूचना भेज देते हैं। हार्मोन ग्राही कोशिका कला की बाहरी सतह पर स्थित होते हैं।

iv) एन्डोसाइटोसिस – वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा पदार्थ कोशिका कला के एक छोटे भाग में परिबद्ध होने के बाद कोशिका में प्रवेश करते हैं। इस भाग का पहले अंर्तवलन होता है और फिर ये एक अंतराकोशिकीय आशय बनाता है जिसमें प्रवेश कराए जाने वाला पदार्थ परिबद्ध रहता है।

ख) i) तरलता

ii) प्रोटीन

iii) संचार/संप्रेषण, संकेतन

iv) द्वारित रंध्र या द्वारित चैनल

v) हार्मोन ग्राही

अंत में कुछ प्रश्न

1. उपभाग 5.2.1 और 5.2.2 को देखिए।

2. भाग 5.2 को देखिए।

3. चित्र 5.2 को देखिए।
4. उपभाग 5.2.2 को देखिए।
5. उपभाग 5.2.4 को देखिए।
6. उपभाग 5.3.2 को देखिए।
7. उपभाग 5.3.1 को देखिए।
8. भाग 5.5 को देखिए।
9. उपभाग 5.3.1 को देखिए।
10. उपभाग 5.4.1 और 5.4.2 को देखिए।
11. i) उपभाग 5.3.1 को देखिए।
    ii) भाग 5.5 को देखिए।
    ii) भाग 5.5 को देखिए।

चित्रों के लिए आभार

चित्र 5.3 : स्रोत https://www.google.com/imgres?imgurl=https%3A%2F%2Fi.pinimg.com%2F

Videos suggested for watching

https://www.youtube.com/watch?v=re4kAtxViiQ

https://www.youtube.com/watch?v=78cjL-o2aoc

https://www.youtube.com/watch?v=fotU_yxJkrk