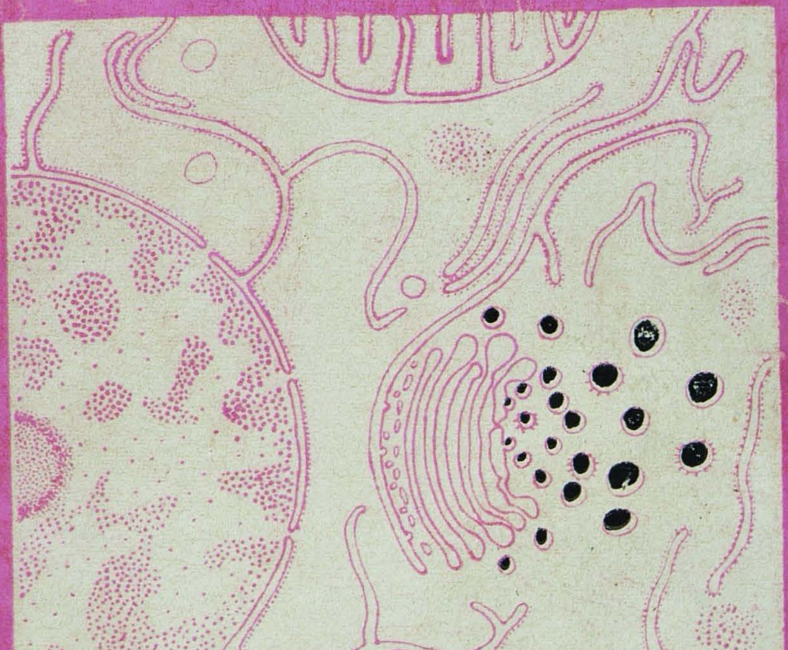
# செல்லியக்கவியல்

## (CELL PHYSIOLOGY)

டாக்டர் கு. பெரியசாமி



தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

த. பா. நி. (க. வெ.) வரிசை எண்—802

# செல்லியக்கவியல்

ஆசிரியர்

டாக்டர் கு. பெரியசாமி, எம். எஸ்சி., பிஎச்.டி.,
தாவரவியல் பேராசிரியர்,
சென்னைப் பல்கலைக் கழகத்
தன்னாட்சிப் பட்ட மேற்படிப்பு மையம்,
திருச்சிராப்பள்ளி-620 020

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

First Edition— April, 1978
Number of Copies — 2000

T. N. T. B. S. (C.P.) No. 802

© Government of Tamilnadu

CELL PHYSIOLOGY

Dr. K. PERIASAMY

**Price Rs. 12-15**

Published by the Tamilnadu Textbook Society under the Centrally Sponsored Scheme of Production of books and literature in regional languages at the University level, of the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Culture), New Delhi.

This book has been printed on concessional paper made available by the Government of India.

*Printed by*
BALMURSUNS PRINTERS
74, Sir Theagaraya Road, Pondy Bazaar,
Madras-600 017

# அணிந்துரை

(திரு. செ. அரங்கநாயகம், தமிழகக் கல்வி அமைச்சர்)

தமிழைக் கல்லூரிக் கல்வி மொழியாக ஆக்கிப் பதினேழாண்டுகள் ஆகிவிட்டன. குறிப்பிட்ட சில கல்லூரிகளில் இளங்கலை வகுப்புவரை மாணவர்கள் தங்கள் பாடங்கள் அனைத்தையும் தமிழிலேயே கற்று வந்தனர். 1969ஆம் ஆண்டிலிருந்து அறிவியல் பாடங்களையும் தமிழிலேயே கற்பிக்க ஏற்பாடு செய்துள்ளோம். தமிழிலேயே கற்பிப்போம் என முன்வந்துள்ள கல்லூரி ஆசிரியர்களின் ஊக்கம், பிற பல துறைகளில் தொண்டு செய்வோர் இதற்கெனத் தந்த உழைப்பு, தங்கள் சிறப்புத் துறைகளில் நூல்கள் எழுதித்தர முன்வந்துள்ள நூலாசிரியர்கள் தொண்டுணர்ச்சி இவற்றின் காரணமாக இத்திட்டம் நம்மிடையே மகிழ்ச்சியும் மனநிறைவும் தரத்தக்க வகையில் நடைபெற்று வருகிறது. இவ்வகையில் கல்லூரிப் பேராசிரியர்கள் கலை, அறிவியல் பாடங்களை மாணவர்களுக்குத் தமிழிலேயே பயிற்றுவிப்பதற்குத் தேவையான பயிற்சியைப் பெறுவதற்கு மதுரைப் பல்கலைக்கழகமும் சென்னைப் பல்கலைக்கழகமும் ஆண்டுதோறும் எடுத்துவரும் பெருமுயற்சியைக் குறிப்பிட்டுச் சொல்லவேண்டும்.

வரலாற்றியல், அரசியல், உளவியல், பொருளியல், மெய்ப்பொருளியல், புவியியல், புவியமைப்பியல், மனையியல், கணிதவியல், இயற்பியல், வேதியியல், உயிரியல், வானியல், புள்ளியியல், விலங்கியல், தாவரவியல், பொறியியல், சட்டவியல் ஆகிய எல்லாத் துறைகளிலும் மூல நூல்கள், மொழிபெயர்ப்பு நூல்கள் என்று இரு வகையிலும் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம் நூல்களை வெளியிட்டு வருகிறது.

இவற்றுள் ஒன்றான **செல்லியக்கவியல்** என்னும் இந்நூல் தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனத்தின் 802ஆவது வெளியீடாகும். கல்லூரித் தமிழ்க்குழுவின் சார்பில் வெளியான 35 நூல்களையும் சேர்த்து இதுவரை 837 நூல்கள் வெளிவந்துள்ளன. இந்நூல் மைய அரசு, கல்வி, சமூக நல அமைச்சகத்தின் 'மாநில மொழியில் பல்கலைக்கழக நூல்கள் வெளியிடும் திட்ட'த்தின்கீழ் வெளியிடப்படுகிறது.

தமிழில் பயிலும் மாணவர்கள் உலக மாணவர்களிடையே சிறந்த இடம் பெறவேண்டும் என்பதே நம் குறிக்கோளாகும். கல்லூரிகளிலும் பல்கலைக்கழகங்களிலும் கலையியற் பாடங்களையும், அறிவியற் பாடங்களையும், தொழில்நுட்ப அறிவுப் பாடங்களையும் பயிலுகின்ற மாணவர்கள், அவற்றைத் தமிழில் பயில வேண்டும் என்பதை வலியுறுத்தி வருவதற்குக் காரணம், தமிழறிவு வளர வேண்டும் என்பதைவிட, தமிழ் மக்களின் அறிவு ஆற்றல் எளிதாக, விரைவாக வளர வேண்டும் என்பதுதான். 'எதிலும் தமிழ்; எங்கும் தமிழ்' என்னும் குறிக்கோளை நிறைவேற்ற வேண்டிய கடப்பாடு தமிழக ஆசிரியப் பெருமக்களையும் மாணவர்களையும் சார்ந்ததாகும். தமிழ்நாட்டுப் பல்கலைக்கழகங்களின் பல்வகை உதவிகளுக்கும் ஒத்துழைப்புக்கும் நம் மனம்கலந்த நன்றி உரித்தாகுக!

செ. அரங்கநாயகம்

# பொருளடக்கம்


| | | பக்கம் |
|---|---|---|
| 1. | தொடக்க முன்னுரை ... | 1 |
| 2. | செல் கோட்பாட்டின் தோற்றம் ... | 5 |
| 3. | செல் நுண்ணமைப்பு ... | 12 |
| 4. | செல்லியக்கத்தை அறிவதற்கான வழிவகைகள் ... | 33 |
| 5. | செல்லியக்கத்தை அறிவதற்கான பொதுவேதியியல் ... | 40 |
| 6. | செல்லியக்கத்தின் அடிப்படை வேதிப்பொருள்கள் ... | 72 |
| 7. | செல்லியக்கத்தின் ஆற்றல்-உயிர்ப்பு ... | 123 |
| 8. | செல்லியக்கத்தின் ஆற்றல்-ஒளிச்சேர்க்கை ... | 164 |
| 9. | செல் சவ்வும் அதன் பணிகளும் ... | 204 |
| 10. | கோல்கி உறுப்பு ... | 240 |
| 11. | லைசொசோம், சென்டிரியோல், சிலியம் முதலியன ... | 251 |
| 12. | பகுப்பிடைநிலை நியூக்ளியஸ் ... | 266 |
| 13. | குரோமொசோம் அமைப்பு ... | 284 |
| 14. | செல்லதிகரிப்பு ... | 300 |
| 15. | மரபுக் குறியீடும் புரோட்டீன் தயாரிப்பும் ... | 343 |
| 16. | மரபுக் குறியீடும் ஜீனும் ... | 367 |
| 17. | செல்லின் மொத்த இயக்கம்-இடவழித் தொடர்பு ... | 384 |
| 18. | செல்லியக்கமும் சூழ்நிலையும் ... | 404 |
| | மேற்கோள் நூற்பட்டியல் ... | 422 |
| | கலைச்சொற்கள் ... | 425 |

# 1. தொடக்கவுரை

அறிவியலில் 'செல்' எனக் குறிப்பிடப்படுவது உயிர் என்னும் பண்பைத் தம்மிடத்தே கொண்டுள்ளனவற்றின் அடிப் படை அலகாக அமைந்து காணப்படுவதொன்ருகும். ஆதலின் உயிர்களின் இயக்கத்துக்கு அடிப்படையாயமைவது செல்லியக் கமே எனக் கூறலாம். உயிர்களில் வெளிப்படையாகக் காணப் படக்கூடிய அசைவு, நகர்வு, வளர்ச்சி முதலிய இயக்கங்களல் லாமல் வெளிப்படையாகக் காணப்படாத பலவகையான உள்ளியக் கங்களும் இடைவிடாது நடைபெறுகின்றன.

செல்களின் கூட்டிஞல் அமையப் பெற்ற திசுக்களின் இயக் கங்களுக்கும், திசுக்களின் கூட்டிஞல் அமையப்பெற்ற உறுப்பு களின் இயக்கங்களுக்கும் செல்லியக்கமே அடிப்படையெனினும் உயிரின் கட்டுக்கோப்பில், திசு, உறுப்பு, முழு உயிர், சமுதாயம் என்ற நிலேகளில் வெளிப்படும் இயக்கங்களில் செல்லியக்கத்தி லிருந்து வேறுபட்டவையாகும். பல துளி வெள்ளமாயினும், ஒரு துளியின் இயக்கத்திலிருந்து வெள்ளத்தின் இயக்கம்வேறுபடுவது போல், செல்களின் கூட்டமைப்பால் செல்லியக்கத்திலிருந்து வேறுபடும் பல கூட்டியக்கங்கள் உருவாகின்றன. இவ்வியக்கங் களின் கூட்டே உயிரியக்கமாகிறது.

காலப்போக்கில் பார்க்கும்பொழுது, உயிரியக்கத்தைப்பற்றிய நம்மறிவு முழு உயிர் இயக்கத்திலிருந்தே படிப்படியாக செல்லி யக்கம் வரை வளர்ந்து வந்துள்ளது. ஏனெனில், முழு உயிர் இயக் கத்தைப் போலல்லாமல் மற்ற இயக்கங்களைக் காணவும் அவற்றின் தன்மையை ஆயவும் நுண்கருவிகளும் மற்றும் வேதியியல், இயற் பியல் முதலிய துறைகளின் அறிவு வளர்ச்சியும் இன்றியமையாதன வாகின்றன. எனவே, இன்னோன்ன பிறதுறைகளின் அறிவு வளர்ச்சியைச் சார்ந்தே உயிர்களின் இயக்கத்தைப் பற்றிய அறிவும் வளர்ச்சியடைந்துள்ளது.

தாவர வளர்ச்சியைப்பற்றி வான் ஹெல்மான்ட் (Van Helmont) என்பவர் நடத்திய சோதனையே உயிர் இயக்கத்தைப் பற்றி அறிவியலடிப்படையில் நடத்தப்பட்ட முதற்சோதனையாகும் என்று கூறுவர். வில்லோ (Willow) எனப்படும் தாவரத்தின் நாற்றைப் பெரியதொரு மரத்தொட்டியில் நிரப்பிய மண்ணில் அவர் நட்டார். ஐந்தாண்டுகள் தண்ணீரைத் தவிர வேறொன்றும் பெறுமலே அது வளர்ந்தது. அதன் பிறகு அவர் கவனமாக மண்ணிலிருந்து வேரோடு மரத்தை வேருக்கி அதன் எடை எவ்வளவு கூடியது என்று கண்டுபிடித்தார். மண்ணின் எடையில் ஏதாவது மாற்றம் ஏற்பட்டுள்ளதா என்பதையும் சோதித்தார். தாவரத்தின் எடை வெகுவாக அதிகரித்திருந்தாலும் மண்ணின் எடை ஏறக்குறைய ஆரம்ப எடையாக இருந்ததைக் கண்டார். அதிலிருந்து மண்ணே தாவரத்தின் உடலாகிறது என்ற பழைய கொள்கை தவறானது என்பதையும், தண்ணீரும் மண்ணல்லாத மற்றப் பொருள்களுமே தாவரத்தின் உடற்பகுதியாகின்றதென்பதையும் வான்ஹெல்மான்ட் நிரூபித்தார்.

வான் ஹெல்மான்டுக்குப் பிறகு ஜோசப் பிரீஸ்ட்லி (Joseph Priestly) என்பவர் உயிர்களுக்கும் காற்றுக்கும் உள்ள தொடர்பு பற்றிச் செய்த சோதனைகள் உயிரியக்க அறிவு வளர்ச்சியில் மிக முக்கியமானவைகளாகும். பொருள்கள் எரியும்பொழுது காற்றிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளும் ஐந்தில் ஒரு பங்கான அதே வாயுவை உயிர்களும் எடுத்துக்கொள்ளுகின்றன என்பதும், அவ்வாறு எடுத்துக்கொள்ளப்படும் வாயுவைப் புதுப்பிக்கும் ஆற்றலைத் தாவரங்கள் பெற்றுள்ளன என்பதும் அவருடைய சோதனைகளிலிருந்து அவர் அனுமானித்த முடிவுகளாகும். அதைத் தொடர்ந்து தாவரங்களின் தனிப்பட்ட இயக்கமான ஒளிச்சேர்க்கையை, ஜான் இங்கன் ஹௌஸ் (Jan Ingen Housz) என்பவர் கண்டறிந்தார்.

மேற்சொன்ன ஆரம்ப அடிப்படை ஆய்வுகளுக்குப் பிறகு உயிரியலில் செல்கோட்பாடும், உயிர்மருஉக் கோட்பாடும், வேதியியலில் அணுக்கோட்பாடும் தோன்றின. இயற்பியலிலும் வேகமான அறிவு வளர்ச்சி ஏற்பட்டது. உயிருறுப்புகள், திசுக்கள் ஆகியவற்றின் இயக்க நுணுக்கங்கள் மைக்கிராஸ்கோப்பினுதவியாலும், மற்ற சாதனங்களாலும் அறியப்பட்டன.

1865ஆம் ஆண்டு கிரிகர் மெண்டல் (Gregor Mendel) என்ற ஆஸ்திரிய நாட்டுப் பாதிரியால் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட மரபியலின்

அடிப்படை விதிகளை 1900ஆம் ஆண்டில் உயிரியலுலகம் அறிந்தது. அதைத் தொடர்ந்து செல்லே மரபியலின் அடிப்படையுமாகு மென்ற கோட்பாடு உருவானது. அது முதல் செல்லியல், மரபியல், இயற்பியல் ஆகிய மூன்று துறைகளும் ஒன்றோடொன்று இணைந்து வளரலாயின. சமீப காலத்தில் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பும், உயர் சுழல்விசையால் செல்லினுள்ளடங்கிய நுண்ணுறுப்புகளைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கும் முறைகளும், உயிர் வேதியியலில் ஏற்பட்ட முன்னேற்றமும் செல்லின் நிலையில் மட்டுமன்றி மூலக்கூறு நிலையில் செல் நுண்ணுறுப்புகளின் இயக்கங்களை ஆய்ந்தறியும் அளவுக்கு முன்னேற்றத்தை ஏற்படுத்தியுள்ளன.

செல்லினும் நுண்ணிய செல்லுறுப்புகளில் நிகழும் இயக்கங்களை வேதிய மாற்றங்களாகவும், வேதிய மாற்றத் தொடர்களாகவும், பகுத்தறியப்படும் நிலையில் இன்று ஏராளமான உண்மைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டு வருகின்றன. ஆயினும், ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டபடி வேதியமாற்றங்களின் தொகுப்பே செல்நுண்ணுறுப்பின் இயக்கமோ, செல் நுண்ணுறுப்புகளின் தொகுப்பே முழு செல்லின் இயக்கமோ, முழு செல்லின் இயக்கத்தொகுப்பே திசு இயக்கமோ, திசு இயக்கத் தொகுப்பே முழு உயிரின் இயக்கமோ ஆகாது. வேதிய மாற்றங்களாகத் தோற்றமளிக்கும் அடிப்படை இயக்கங்கள் முடிவில் முழு உயிரின் இயக்கங்களை எவ்வாறு தோற்றுவிக்கின்றன என்பதை அறிவதே இயங்கியலின் குறிக்கோளாமெனக் கொள்வோமாயின், இக் குறிக்கோளை நோக்கிக் குறிப்பிடத்தக்க முன்னேற்றம் இன்னும் ஏற்படவில்லையென்றே சொல்லலாம். ஏனெனில், செல் நுண்ணியக்கங்களை ஆராய்ந்தறிவது மிகச்சிக்கலான, நுண்மையான காரியமாகையால் இதுபற்றிய தனியொருவரின் அல்லது குழுவின் ஆய்வுகள் மிகக்குறுகிய வரையறையினுள்ளடங்கியிருக்கின்றன. இவ்வாறு ஒவ்வொருவரும் தமது குறுகிய வரையறையினுள் மட்டும் செயலாற்றுவதால், இவ் வரையறைகளிடையே உள்ள தொடர்புகளையும், தொடர்புகளாலேற்படும் விளைவுகளையும், உய்த்தறிவதற்கான அவகாசமும் ஆற்றலும் பெரும்பாலானவர்களிடம் இல்லை.

ஆயுட்காலம் முழுதும் தமது குறுகிய நுண்வரையறையினுள் அடங்கிய ஆய்வுகளையே செய்து முடிக்கலாகா நிலையில், அப்படிப்பட்ட நூற்றுக்கணக்கான வரையறைகளில் ஏற்படும் அறிவு வளர்ச்சியை ஒரு சேர அறிந்து ஒருங்கிணைத்து அவற்றின்

தொடர்புகளைக் கூட்டியறிவது, பகுத்தறியுமடிப்படையில் சோதனை களாற்றும் அறிவியலாய்வாளர்களின் ஆற்றலுக்கு அப்பாற்பட்டதொரு செயலாகும்.

தொகுத்தறியுமடிப்படையில் செயலாற்றும் தத்துவ மனப் பாங்கினையுடைய சிந்தனையாளர்களே பல்வேறு துறைகளினறிவையும் மனோவெளியிலொருங்கிணைத்துச் சிந்தனைச் சித்தாந்தங்களை உருவாக்க முடியும். சாதனைக்கேதுவான சாதனங்களைச் சாதித்துச் சாதனை புரிவது மனமேயாதலின், மனோவெளியினும் சிறந்த சோதனைச்சாலை வேறெதுவுமில்லை. சூக்குமமான மனோவெளியின் சிந்தனையோட்டத்தில் உருவான சித்தாந்தங்களே, தூரமான சோதனைச்சாலையின் சோதனைகளுக்கு வழிகாட்டியாக அறிவியலின் எல்லாத்துறைகளிலும் அவ்வப்போது அமைந்து வந்துள்ளன. செல்லைப்பற்றியும் செல்லூடியக்கத்தைப்பற்றியும் சமீபகாலத்தில் மிக வேகமாக வளர்ந்து சேர்ந்துள்ள அறிவுக்கற்றை, அதனுள்ளூடுருவி வழிகாட்டும் சித்தாந்தங்களை இன்று எதிர்நோக்கியுள்ளது எனலாம்.

# 2. செல் கோட்பாட்டின் தோற்றம்

உயிரியலின் ஒரு முக்கிய அடிப்படையாக இன்று அமைந்துள்ள செல் கோட்பாடு திடீரென்று ஒரு நாளில் உருவானதல்ல. மற்றும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஆண்டிலோ, குறிப்பிட்ட நபராலோ அது வெளியிடப்பட்டது என்றும் சொல்லுவதற்கில்லை. பலரால் பல காலங்களில் படிப்படியாகக் கண்டறியப்பட்ட உண்மைகளின் தொகுப்பே செல் கோட்பாடாக உருவாயிற்று.

செல் கோட்பாட்டின் தோற்றத்துக்கு மிக இன்றியமையாத சாதனமாக அமைந்தது ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பாகும். ஏனெனில் பெரும்பாலான செல்கள் வெறுங்கண்ணுல் காணப்படமுடியாத நுண்ணுருவை உடையனவாகும். ஆகவே, மைக்கிராஸ்கோப் கண்டுபிடிக்கப்படும் வரை உயிர்களில் செல்லென்ற அமைப்பு இருக்கக்கூடும் என்பதைக் கற்பனை செய்யவும் இடமில்லை.

முதன்முதல் 1665ஆம் ஆண்டில் ராபர்ட் ஹூக் (Robert Hooke) என்ற ஆங்கிலேய விஞ்ஞானிதான் செல்லினை மைக்கிராஸ்கோப்பின் வழியாகக் கண்டவராவார். கார்க் தக்கையானது, ஏன் அவ்வளவு லேசாக இருக்கிறது என்பதை அறிய விரும்பிய அவர் தமது மைக்கிராஸ்கோப்பின் மூலம் அதற்கு விடை கிடைக்குமா என்று காண முயன்றார். கார்க் தக்கையிலிருந்து மிக மெல்லிய சீவலொன்றைக் கூரிய கத்தியால் சீவி அச் சீவலை மைக்கிராஸ்கோப்பின் மூலம் பார்த்தார். தேனடையிலிருப்பது போன்ற பல சிறு சிறு அறைகள் அதிலிருப்பதைக் கண்டு வியப்படைந்தார். அறை என ஆங்கிலத்தில் பொருள்படும் 'செல்' என்ற பெயரை இவ் வறைகளுக்குச் சூட்டினார். ஆனால், உண்மையில் ராபர்ட் ஹூக் கண்டது செல்களின் வெற்றுக் கூடுகளேயாகும். அவற்றின் மிக முக்கியமான உட்பொருள் அவற்றில் இல்லையென்று அவருக்குத் தெரியவில்லை. மற்றும் செல்லைப் பற்றி மேலும் அறிய அவர் அக்கறைப்படவில்லை.

ராபர்ட் ஹூக்கின் காலத்தில் டச்சு நாட்டில் வாழ்ந்தவரான ஆன்டன் வான் லீவென் ஹூக் (Anton von Leeuwenhoek) என்ப

வர் தமது மைக்கிராஸ்கோப்பினுல் வேறு பலவற்றைக் கண்டார். அவர் உயிரியல் கற்றறிந்தவரல்லராயினும், கண்ணுடி வில்லைகளைத்

படம் 2.1
ஆன்டன் வான் லீவென் ஹூக்

தேய்த்து மிகச் சீரிய குவிலென்சுகளைத் தயாரிப்பதில் மிக வல்ல வராக இருந்தார். தமது லென்சுகளைக் கொண்டு அவர் தயாரித்த மைக்கிராஸ்கோப்பின் மூலம் பூஞ்சணங்கள், தேனீயின் வாய்ப் பாகங்கள், பேன் முதலிய பலவற்றிலும் வெறுங்கண்ணுல் காணு தற்கியலாத பல நுண்ணமைப்புகள் தெரிவதைக் கண்டார். ஒரு நாள் ஒரு துளி சாக்கடை நீரைத் தமது மைக்கிராஸ்கோப்பினுல் பார்த்த அவர் அத் துளியில் பல்லாயிரக்கணக்கான நுண் ணுயிர்கள் நீந்தி, நகர்ந்து மிதந்து கொண்டிருப்பதைக் கண்டு பெருவியப்படைந்தார். இவற்றில் பெரும்பாலானவை பாக்டீரி யாக்களும் மற்றவை ஒருசெல்லுயிரிகளு மாகும். தாம் கண்ட அதிசய உண்மைகளை அவர் லண்டனிலிருந்த ராயல் சொசைட்டி எனப்படும் அறிவியல் கழகத்துக்கு எழுத அவர்களும் தமது வெளியீடுகளில் அவற்றை வெளியிட்டனர். (படம் 2-1)

செல்லியலறிவின் முன்னேடிகளான மேற்சொன்ன இருவரும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று வேறுபடும் இரு நிலைகளில் செல்களைக் கண்ட

னர். ராபர்ட் ஹூக் கண்டது பல்லாயிரக்கணக்கான செல்களாலமைந்த பல செல்லுயிரியின் செல்களாகும். லீவென் ஹூக் கண்டதோ ஒரே ஒரு செல்லாலமைந்த செல்லுயிரிகளின் செல்களாகும். அவ்வாறு உயிரமைப்பின் இரு கோடிகளிலும் அமைந்த செல்களை இவ்விருவரும் கண்டனரெனினும் உயிர்களைப் பற்றி அறிந்து கொள்ளுவதற்கு செல் எவ்வளவு முக்கியமானது என்பதை அப்போது ஒருவரும் உணரவில்லை. ஆயினும், அவர்களைத் தொடர்ந்து அநேகர் அநேக உயிர்களில் செல்களிருப்பதை மைக்கிராஸ்கோப்பின் மூலம் காணத் தொடங்கினர்.

நெஹமியா குரூ (Nehemiah Grew) என்பவர் தாவரங்களின் பல பாகங்களில் அவர் கண்ட செல்களை மிகத் தெளிவாகப் படம் வரைந்து காட்டினார். ஜெர்மெனியைச் சேர்ந்த கே. எஃப். உல்ஃப் (K. F. Wolff)என்ற உயிரியலார் தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகிய எல்லா உயிர்களுமே செல்லமைப்பைப் பெற்றிருப்பதாகச் சொன்னார். 1809ஆம் ஆண்டில் லாமார்க்(Lamarck)என்ற ஃபிரெஞ்சு உயிரியலார் உயிர்களனைத்தும்செல்லாலமைந்தன என்பதை உணர்ந்து 'விலங்கியல் தத்துவம்' என்ற நூலில் பின்வருமாறு எழுதினார்: 'உயிர் வாழ்வன யாவும் செல் தொகுதிகளாலமைந்த திசுக்களைக் கொண்டனவாகும்.' மற்றும் உயிர்த்திசுக்களில் பலவித நீர்கள் வேகமாக ஓடுகின்றன என்றும், ஒவ்வொரு செல்லினுள்ளும் வழவழப்பான பொருள் உள்ளதென்றும் குறிப்பிட்டார். செல்களினுள்ளிருப்பதாகச் சொல்லப்பட்ட இவ் வழவழப்பான பொருளின் தன்மையைக் கண்டறிய முற்பட்ட ராபர்ட் பிரௌன் (Robert Brown) என்ற ஆங்கில விஞ்ஞானி, செல்லினுள்ளிருக்கும் வழவழப்பான பொருளில் வட்டவடிவமான புள்ளி போன்ற ஓர் அமைப்பு தனிப்பட்டுத் தெரிவதைக் கண்டார். இதற்கு நூக்ளியஸ் என்ற பெயரை 1833ஆம் ஆண்டில் அவர் சூட்டினார். ஆகவே, முதன்முதலில் செல் காணப்பட்ட பின் நூற்றைம்பது ஆண்டுகளுக்குப் பிறகே செல்லின் உயிர்வாழ் பகுதியின் உறுப்பொன்று கண்டறியப்பட்டுப் பெயரிடப்பட்டது.

அதே காலத்தில் ஹென்ரி டுரோசெ (Henri Dutrochet) என்ற ஃபிரெஞ்சு விஞ்ஞானி தொட்டாற்சுருங்கிச் செடியாகிய மைமோசா பூடிகா (Mimosa pudica) என்ற தாவரத்தைப் பற்றி ஆராய்ந்து கொண்டிருந்தார். அதன் உள்ளமைப்பைக் கண்டறியும் முயற்சியில் அதனுடைய நடுத் தக்கைத் திசுவைப் பார்த்துக் கொண்டிருந்தபொழுது திடீரென்று அவருக்கு ஒரு கருத்து உதயமாயிற்று. அதாவது முன்பு நெஹமியா குரூ என்பவர் எண்ணியபடி சோப்புக் குமிழிகளைப் போல் செல்கள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று ஒரே ஒரு

சுவரால் பிரிக்கப்பட்டனவாக இராமல் ஒவ்வொரு செல்லும் அதற்கான தனிப்பட்ட சுவரைப் பெற்றிருக்க வேண்டும் என்பதே அக் கருத்தாகும். ஆனால் அது உண்மையாயின், திசுவாக இணைந்திருக்கும் செல்களை ஒன்றிலிருந்து ஒன்று தனிப்படுமாறு பிரிப்பது சாத்தியமாக வேண்டும். இது முடியுமா என்று பலவிதமான பொருள்களைக் கொண்டு முயன்று பார்த்தார். கடைசியில் நைட்ரிக் அமிலத்தைக் கொண்டு இதைச் செய்து முடித்தார். தொட்டாற் சுருங்கித் தாவரத்தில் மட்டுமல்லாமல் மற்றும் பல்வேறு தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகியவற்றின் திசுக்களிலும் செல்களைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கமுடியும் என்று கண்டார். தாம் கண்டவற்றை அவர் 1824ஆம் ஆண்டு வெளியிட்டார். அதில் அவர் பின்வருமாறு எழுதினார்: 'விலங்குகளின் திசுக்களை உருவாக்கும் உருண்டை வடிவமான அலகுகள் யாவும் உண்மையில் மிகச்சிறு உருண்டைகள் போன்ற செல்களேயாகும்...... அவை ஒன்றோடொன்று சிறு பலத்தோடு ஒட்டிக் கொண்டுள்ளன......ஆகவே விலங்குகளின் திசுக்களெல்லாம் உருவத்தில் வேறுபடும் செல்களின் கூட்டேயாகும்......செல் என்ற ஓரே ஓர் அடிப்படை அலகால் வியக்கத்தக்க பலவித வேறுபாடுகளைக் கொண்ட உயிர்த் திசுக்களும் உருவங்களும் உருவாதல் கற்பனையையும் கடந்ததாக உள்ளது.'

இவ்வாறு பல உயிரியலார்களின் ஆராய்ச்சிகளால் செல்லைப் பற்றிய பல உண்மைகள் வெளிப்பட்டன. ஆயினும், செல் என்பது உயிர்களனைத்துக்கும் பொதுவான அலகாகும் என்று உணரப்படவில்லை. அறிவியலின் வளர்ச்சியில் பல சமயங்களில் முக்கியமான கண்டுபிடிப்புகளின் பெருமைகூட ஒரு பொதுநோக்கில் எடுத்துச் சொல்லப்படும்வரை பலரால் பாராட்டப்படாமலிருந்திருக்கிறது. செல்லைப்பற்றிய செய்திகளும் அவ்வாறானதெனலாம். கடைசியில் உயிர்களில் செல்லின் பொதுமையை அனைவரும் உணரும்படி வலியுறுத்திய பெருமை மத்தியாஸ் ஜேகப் ஷ்லைடன் (Mathias Jacob Schleiden), தியடோர் ஷ்வான் (Theodor Schwann) என்ற இரு ஜெர்மன் உயிரியலாரைச் சேர்ந்ததாகக் கருதப்படுகிறது. முந்தையவர் முக்கியமாகத் தாவரங்களையும், பிந்தையவர் விலங்குகளையும் ஆய்ந்தவராவார்கள். ஒருவரை ஒருவரறியாத அவர்களிருவரும் ஒரு விருந்தில் சந்தித்து உரையாட நேர்ந்தபொழுது செல்லானது உயிர்களனைத்துக்குமே பொதுவான அலகாயிருக்கலாமென்ற கருத்து அவர்களுக்கு ஏற்பட்டது. அக் கருத்து உண்மைதானா என்பதை நிர்ணயிக்கப் பல்வேறு தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகியவற்றின் பல பாகங்களையும் உற்றுநோக்கினார்கள். அவர்கள் ஆய்ந்த அனைத்திலும் செல்லமைப்பை விதிவிலக்கின்றிக் கண்ட

தால் 1838ஆம் ஆண்டு ஷ்லைடனும், 1839ஆம் ஆண்டு ஷ்வானும் செல் கோட்பாடு என்று சொல்லப்படும் பொதுக் கருத்தினை வெளியிட்டார்கள்.

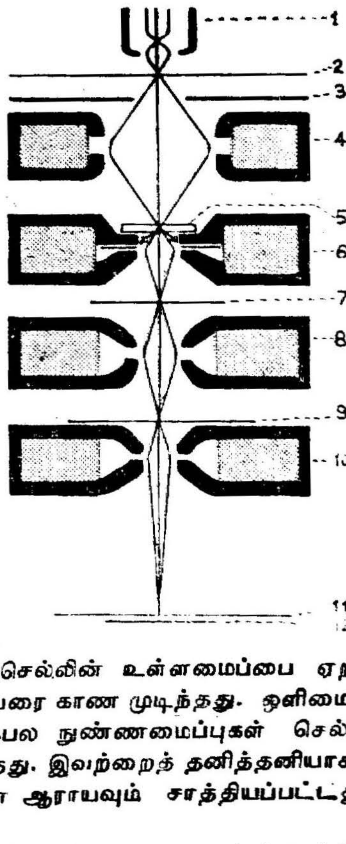
அப்போது உருவான செல் கோட்பாடு ஏறக்குறைய அதே உருவில் இன்றும் நிலவுகிறது. உயிர் வாழ்வனவற்றின் அமைப்பு, இயக்கம் ஆகிய இரண்டுக்கும் செல்லே அடிப்படை அலகாகும் என்பதும், செல்கள் மற்ற செல்களிலிருந்து மட்டுமே தோன்ற முடியும் என்பதுமே செல் கோட்பாட்டின் முக்கியக் கருத்துகளாகும். செல் கோட்பாடு தோன்றியபோது செல்கள் செல்களிலிருந்தே தோன்றமுடியும் என்பது வலியுறுத்தப்பட்டாலும் ஒரு செல்லிலிருந்து மற்றொரு செல் எவ்வாறு தோன்றுகிறது என்பதை அவர்கள் தெளிவாக அறியவில்லை. திசுக்களின் செல்லிடைவெளிகளில் செல்கள் உண்டாகின்றன என்று சிலர் எண்ணினர். மற்றும் சிலர் செல்லின் நூக்ளியசிலிருந்து செல்கள் மொட்டுகளாக உண்டாகின்றன என்று கூறினர். வேறு சிலர், ஒரு செல் பலவாகப் பிரிவதால் செல்கள் தோன்றுகின்றன என்றனர். இவ்வாறான வேறுபட்ட கருத்துகளுக்குக் காரணம் அவர்கள் சிக்கலான அமைப்புடைய முதிர்ந்த திசுக்களையே ஆராய்ந்ததாகும். முதிர்ந்த திசுக்களில் புதிய செல்கள் அதிகமாகவும் வேகமாகவும் உண்டாவதில்லை.எனவே, புதிய செல்கள் உண்டாகும் விதத்தைத் தெளிவாக அறிய முடியவில்லை. ஆனால் சிலர் எளிய அமைப்புடைய தாவரங்களையும், வளர்திசுக்களையும் ஆராய்ந்தபொழுது ஒரு செல் இரண்டாகப் பகுப்புறுவதன் மூலமே புதிய செல்கள் உண்டாகின்றன என்ற உண்மை தெளிவாயிற்று. ராபர்ட் ரெமெக் (Robert Remek), ருடால்ஃப் வீர்சோவ் (Rudolph Virchow) ஆகிய இருவரும் இத்தகைய ஆராய்ச்சிகளைச் செய்தவர்களில் முக்கியமானவர்களாவர்.

செல் கோட்பாட்டினால் செல்லின் முக்கியத்துவம் அதிகரித்தது. செல்லைப்பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் பெருகின. 1846ஆம் ஆண்டு வான் மோல் (Van Mohl) என்பவர் செல்லிலிருக்கும் வழவழப்பான பொருளே உயிரின் அடிப்படை என்று தீர்மானித்து அதற்குப் 'புரோட்டோபிளாசம்' (Protoplasm) என்று பெயரிட்டார். அது முதல் புரோட்டோபிளாசமே உயிரின் மூல அடிப்படையாகக் கருதப்படலாயிற்று. முதன்முதல் ராபர்ட் ஹூக்கால் காணப்பட்டதும், புரோட்டோபிளாசத்தைச் சுற்றியமைந்ததுமான செல் சுவர், புரோட்டோபிளாசத்தால் உண்டாக்கப்படுவதொன்றாயினும் உயிர்ப்பொருளைச் சூழ்ந்த உயிரற்ற கூடாகும் என அனுமானிக்கப்பட்டது.

புரோட்டோபிளாசத்தின் தன்மை, அமைப்பு முதலியன வற்றையும், செல் பகுப்பின் நுணுக்கங்கள் பற்றியும் மேலும் அறிந்துகொள்ள, மைக்கிராஸ்கோப்பின் துல்லியமும், செல்லின் பகுதிகளைச் சாயமேற்றும் முறைகளும் முன்னேற்றமடைய வேண்டியிருந்தது. இத் துறைகளில் முன்னேற்றம் ஏற்படச் செல்லைப்பற்றிய அறிவும் வளரலாயிற்று. ஸ்ட்ராஸ்பர்கர் (Strasburger) என்பவர், மெட்டாசிஸ் எனப்படும் செல் பகுப்பு முறையையும் அப் பகுப்பின்போது நூக்ளியசிலிருந்து குரோமோசோம்கள் தோன்றுவதையும், குரோமோசோம்களின் ஒழுங்கான நடவடிக்கையையும் கண்டறிந்தார். குரோமோசோம்களின் எண்ணிக்கை, உருவம், அமைப்பு ஆகியவை வெவ்வேறு இனங்களில் வேறுபடுவதும் தெரியவந்தது. பாலினப் பெருக்கத்தின் போது கேமீட்டுடன் இணைவதால் இரட்டிப்பாக்கப்படும் குரோமோசோம் எண்ணிக்கை ஏதோ ஒரு நிலையில் மீண்டும் பாதியாகக் குறைக்கப்படவேண்டிய அவசியமும் உணரப்பட்டது. இக் குறைப்பு நடைபெறும் பகுப்பான மியாசிஸ் எனப்படும் குன்றல் பகுப்பையும் ஸ்ட்ராஸ்பர்கரே கண்டுபிடித்தார்.

ராபர்ட் ஹூக் காலத்தியதைவிடப் பல மடங்கு, பலவழிகளில் ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பானது சீர்மை பெற்றதெனினும் ஒளியே அதன் அடிப்படையாதலால் ஒளியின் அலை நீளத்தால் நிர்ணயிக்கப்படும் வரையறைக்குமேல் அதன் நுண்மையை அதிகப் படுத்த முடியாது. எனவே, வெறுங் கண்ணால் காண முடியாத செல்லையும், செல்லின் நுண்ணமைப்புகளை ஓரளவுக்கும் ஒளி மைக்கிராஸ்கோப் புலப்படுத்தியதென்றாலும் அவை செல்லியக்கத்தின் நுணுக்கங்களை அறிந்து கொள்ளப் போதுமானதாக இல்லை. அதனால் மைக்கிராஸ்கோப்பின் நுண்மையும், செல்லின் உறுப்புகளைத் தனிப்படுத்தும் வழி வகைகளும், உயிர் வேதியியல் முறைகளும் முன்னேற்றமடைய வேண்டிய அவசியம் ஏற்பட்டது. ஆயினும், மரபியலின் தந்தை எனப்படுபவரும் உயிரியல் விஞ்ஞானிகளில் தலைசிறந்த ஒருவருமாகிய கிரிகர் மெண்டல் (Gregor Mendel) என்பவர் 1865ஆம் ஆண்டு கண்டறிந்து, 1900ஆம் ஆண்டில் உயிரியலுலகத்துக்குத் தெரிய வந்த மரபியல் விதிகளிலிருந்து மரபியலுக்கும் செல்லில் காணப்படும் குரோமோசோம்களுக்கும் நேரடியான தொடர்பு உள்ளதென்று நிலை நாட்டப்பட்டது. அதன் காரணமாக ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பில் நன்கு புலனாகும் குரோமோசோம்களின் அமைப்பும், இயக்கமும் வெகுவாக ஆராயப்பட்டன.

செல்லியல் மரபியல் வேகமாக முன்னேறிக் கொண்டிருந்த அதே சமயத்தில் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பும் (படம் 2.2)




படம் 2:2

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பின் அமைப்பு.

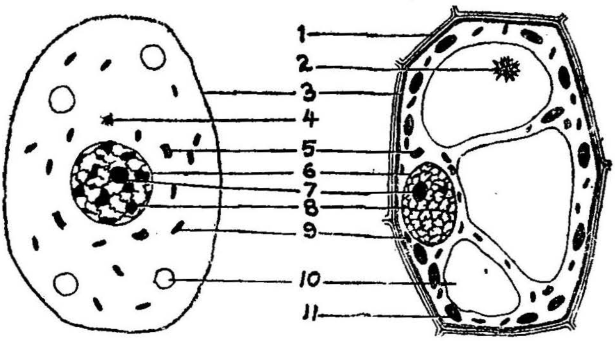
1. எலெக்ட்ரான் கோறுவி
2. கதிர் குறுக்குமாற்றம்
3. ஆனோடு
4. கன்டென்சர் லென்ஸ்
5. பொருள் மட்டம்
6. அப்ஜெக்டிவ்லென்ஸ்
7. முதல் நிலை பிம்பம்
8. இடைநிலை லென்ஸ்
9. இரண்டாம் நிலை பிம்பம்
10. கடைசி பிம்பமுண்டாக்கும் லென்ஸ்
11. திரை
12. நிழற்படத்தட்டு.

உயர் சுழல் விசையால் செல்லின் உள்ளுறுப்புகளைத் தனித் தனியாகப் பிரித்தெடுக்கும் முறைகளும், இயற்பியலில் X கதிர் சிதர்வு ஆராய்ச்சி முறைகளும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பினால் ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பைவிட ஆயிரம் மடங்கு நுண்மையாகச் செல்லின் உள்ளமைப்பை ஏறக் குறைய மூலக்கூறுகளின் நிலைவரை காண முடிந்தது. ஒளிமைக் கிராஸ்கோப்புக்குப் புலப்படாதபல நுண்ணமைப்புகள் செல்லினுள் அமைந்திருப்பது தெரிந்தது. இவற்றைத் தனித்தனியாகப் பிரித்து அவற்றின் இயக்கங்களை ஆராயவும் சாத்தியப்பட்டது.

செல்லுறுப்புகளின் அமைப்புக்கும் இயக்கத்துக்கும் நெருங்கிய தொடர்பு இருப்பது தெரிய வந்ததால் இவ்விரண்டும் பலவாறாக ஆராயப்படலாயின. முழு உயிர் இயக்கம் அதன் வெளியுறுவமைப்பைச் சார்ந்திருப்பது போலவே, உயிரியகத்தின் அடிப்படை அலகான செல்லியக்கமும் அதன் உள்ளமைப்பைச் சார்ந்திருப்பது வியக்கத்தக்கதாகும்.

# 3. செல் நுண்ணமைப்பு

செல்லினுள்ளமைந்த நுண்ணுறுப்புகளொவ்வொன்றும் சில குறிப்பிட்ட இயக்கங்களின் நிலைக்களனுக இருக்கிறது. அவ்வியக்கங்களுக்கு ஏற்ப அவற்றின் அமைப்பு உள்ளது. எனவே, செல் நுண்ணுறுப்புகளின் அமைப்பை அறிந்துகொள்ளுவதே



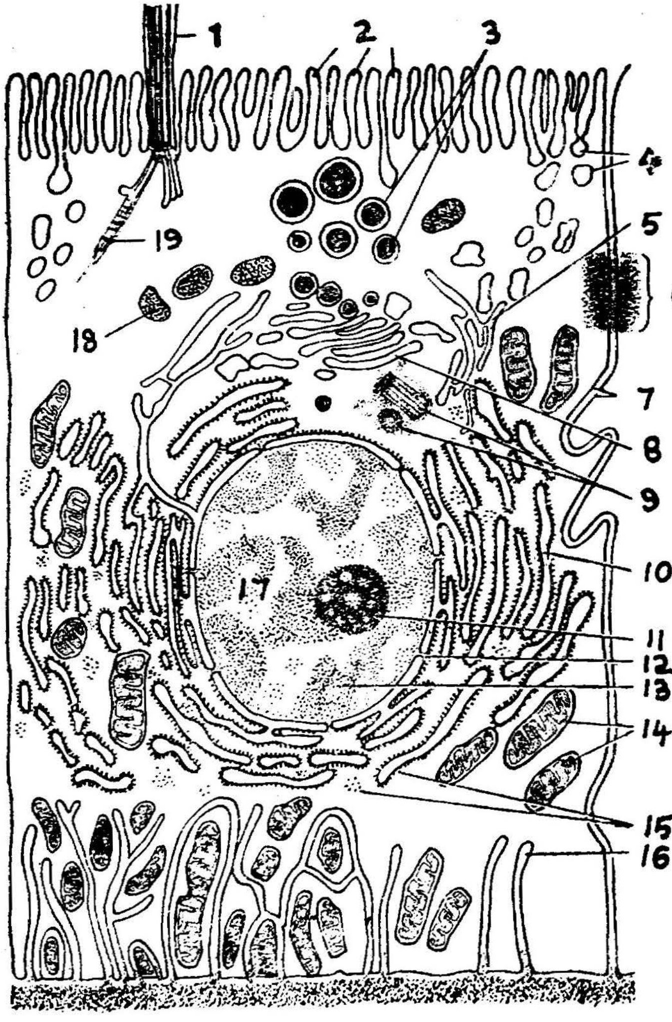

படம் 3.1
ஒளி மைக்ராஸ்கோப்பில்
விலங்கு செல், தாவர செல் ஆகியவற்றின் தோற்றம்.

1. நடு லேமெல்லா; 2. படிவ உள்ளீடு; 3. பிளாஸ்மா சவ்வு; 4. சென்ட்ரியோல்; 5. கோல்கி உறுப்பு; 6. நூக்ளியஸ்; 7. நூக்ளியோலஸ்; 8. குரோமேட்டின்; 9. மைட்டோகோன்றியம்; 10. வேக்யூல்; 11. பசுங்கணிகம்.

அவற்றின் இயக்கத்தை அறிவதற்கான முதற்படியாகும். எனினும், நுண்ணுறுப்புகளின் தனியமைப்பை அறிந்துகொள்ளுவதற்கு முன்பு செல்லினுள் அவ்வுறுப்புகள் எங்கெங்கு எவ்வாறு அமைந்துள்ளன, அவற்றினிடையே உள்ள தொடர்புகள் என்ன என்பனவற்றைத் தெரிந்துகொள்ளுவதும் அவசியம். ஒளி மைக்ராஸ்கோப்பின் மூலமும், எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் குறைவான பெருக்கத்திலும் கண்டறியக்கூடிய செல் நுண்ணமைப்பைப்பற்றி இனி பார்ப்போம். (படங்கள் 3.1, 3.2, 3.3.)

### செல்லமைப்பு

செல்லினுடைய உயிர் வாழ் பகுதியின் வெளி விளிம்பாக அமைந்திருப்பது பிளாஸ்மா சவ்வு (Plasma membrane) அல்லது

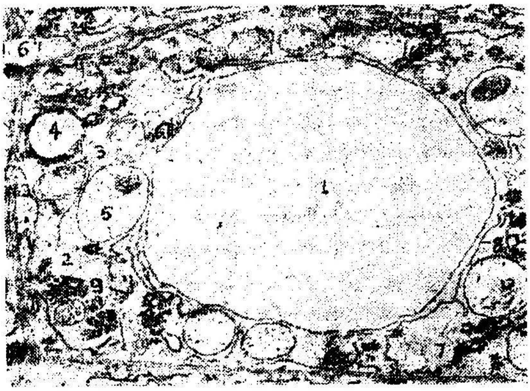



படம் 3.2

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் விலங்கு செல்லின் தோற்றப் படம்.

1. சிலியம்; 2. மைக்ரோவில்லிகள்; 3. சுரப்புக் குமிழ்கள்; 4. பினோசைட்டோசியக் குமிழ்கள்; 5. மழமழப்பான எண்டோபிளாச வலை; 6. டெஸ்மொசோம்; 7. பிளாஸ்மாசவ்வு; 8. கோல்கி உறுப்பு; 9. சென்ட்ரியோல்கள்; 10. புள்ளியுற்ற எண்டோபிளாசவலை; 11. நூக்ளியோலஸ்; 12. நூக்ளிய உறை; 13. குரோமேட்டின்; 14. மைட்டோகோன்றியம்; 15. ரைபோசோம்கள்; 16. செல்-சவ்வு மடிப்பு; 17. நூக்ளியஸ்; 18. லைசோசோம்; 19. சிலிய அடிவேர்.

பிளாஸ்மாலெம்மா (Plasmalemma) எனப்படும் செல் சவ்வாகும். இதை ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பில் துல்லியமாகக் காணுவது சிரமம்.



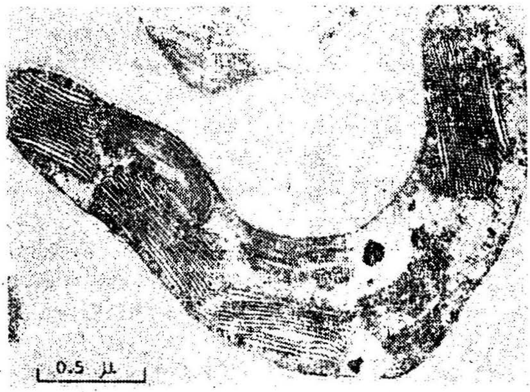

படம் 3.3
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்
ஸ்டெல்லேரியா மீடியா என்னும் தாவரசெல்லின் தோற்றம்.
1. நூக்ளியஸ்; 2. எண்டொபிளாசவலை; 3. மைட்டோகோன்றியங்கள்; 4. சேமிப்புணவு; 5. புரோபிளாஸ்டிடு; 6. செல்சுவர்; 7. வேக்யூல்; 8. எண்டோபிளாசவலை; 9 கோல்கி உறுப்பு.

ஏனெனில் இது மொத்தம் 75A° தடிப்புள்ள மிக மெல்லிய சவ்வாகும்[1]. இச் சவ்வின் வெளியே பொதுவாக செல்லாலுண்டாக்கப் படும் உயிரற்ற பொருட்சூழல் காணப்படுகிறது. கிளைகோ சூழல் (Glycocalyx) என்ற பொதுப்பெயரால் குறிப்பிடப்படும் இச் சூழல் பல்வேறு வகைப்பட்டதாகும். தாவர செல்களில் இது உறுதி வாய்ந்த, கெட்டியான செல்சுவராகக்(Cell wall)காணப்படுகிறது. விலங்கு செல்களில் உறுதியற்ற மெல்லிய அல்லது தடித்த சூழலாக அமைகிறது.

பிளாஸ்மா சவ்வும் அதனுள்ளடங்கிய பொருள்களும் சேர்ந்து புரோட்டோபிளாசம் (Protoplasm) எனப்படும். புரோட்டோ

[1] பொதுவாக செல்களும் செல் நுண்ணுறுப்புகளும் ஒரு மில்லிமீட்டர் அளவுக்கும் குறைந்தவையாதலால், அவற்றின் அளவைக் குறிப்பிட மில்லி மீட்டருக்குக் குறைவான அளவுகள் பயன்படுத்தப்படுகின்றன. மில்லி மீட்டருக்கு அடுத்த சிறிய அளவு $\mu$ என்ற குறியால் குறிப்பிடப்படும் மைக்ரான் (Micron) என்பதாகும். இது ஒரு மில்லிமீட்டரில் ஆயிரத்திலொரு பங்காகும் (1/1000 mm = 1 $\mu$) மைக்ரானைவிடச்சிறியது m$\mu$ எனக் குறிப்பிடப்படும் மில்லி மைக்ரானகும் (Millimicron). இது மைக்ரானில் ஆயிரத்திலொரு பங்காகும் (1/1000$\mu$ = 1 m$\mu$). மில்லிமைக்ரானை விடச் சிறியதும்A° எனக் குறிப்பிடப் படுவதுமான ஆங்ஸ்ட்ராங் (Angstrong) என்பது மில்லிமைக்ரானில் நூற்றி லொரு பங்காகும். 100m$\mu$ = 1A°).

பிளாசத்தை சைட்டோபிளாசம், நூக்ளியஸ் என இரு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். நூக்ளியசானது எப்போதும் சைட்டோ பிளாசத்தினுள் புதைந்திருக்கிறது. நூக்ளியசைச் சூழ்ந்துள்ள சைட்டோபிளாசத்தின் வெளி விளிம்பே செல் சவ்வாகும். உயர் தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகிய அனைத்தின் செல்களிலும் சைட்டோபிளாசத்தினுள் நூக்ளியஸ் என்ற தனிப்பட்ட அமைப்பு காணப்பட்டாலும் பாக்டீரியங்கள் நீலப் பசும்பாசிகள் முதலிய தாழ் உயிர்களில் தனிப்பட்ட நூக்ளியஸ் என்ற அமைப்பு காணப்படு வதில்லை. அப்படி நூக்ளியஸ் என்ற தனிப்பட்ட உறுப்பைப்




படம் 3.4
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்
கிராம் நெகடிவ் பாக்டீரிய செல்லின் தோற்றம்.

பெற்றிராத செல்கள் புரோகாரிய (Prokaryotic) செல்கள் என்றும் (படம் 3.4) நூக்ளியஸ் உள்ள செல்கள் யூகாரிய (Eukaryotic) செல்கள் என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன.

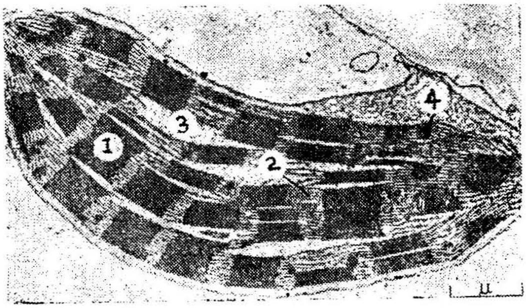
நூக்ளியசின் வெளி விளிம்பு நூக்ளியஸ் சவ்வு எனப்படும் அமைப்பாகும். இதுவே சைட்டோபிளாசத்திலிருந்து நூக்ளியசைத் தனிப்படுத்துகிறது. நூக்ளியசினுள் நூக்ளியோலஸ் எனப்படும் உருண்டை வடிவமான அமைப்பும், செல் பகுப்பின்போது உரு வாகும் குரோமோசோம்களும் அடங்கியுள்ளன. பகாநிலை நூக்ளிய சினுள் (Interphase nucleus) குரோமோசோம்கள் எப்படிப்பட்ட உருவத்தையும், தன்மையையும் பெற்று உள்ளன என்பது இன்னும் தெளிவாகத் தெரியவில்லை. குரோமோசோம்கள் உப்பி ஒன்றையொன்று தொட்டுக் கொண்டுள்ளன என்று சிலரும், முறுக்கவிழ்ந்து மிக மெல்லிய இழைகளாகப் பரவியுள்ளன என்று

சிலரும் கருதுகிருர்கள். எப்படியாயினும் நூக்ளியோலஸ், குரோமோ சோம்கள் ஆகியவை நூக்ளியஸ் சாறு (Nuclear sap) எனப்படும் வழவழப்பான திரவத்தால் சூழப்பட்டுள்ளன. மற்றும் பகாநிலை நூக்ளியசினுள், ஆழ்ந்த சாயமேற்கும் தன்மையை உடைய வலை போன்ற அமைப்பு காணப்படுகிறது. குரோமோசோம்களாலமைந்த தாகக் கருதப்படும் இவ் வலை குரோமேட்டின் (Chromatin) எனப் படும். குரோமேட்டினில் சில பகுதிகள் தடிப்பான முடிச்சுகள் போல் காணப்படுகின்றன. ஹெட்டிரோகுரோமேட்டின் (Hete-rochromatin) அல்லது கேரியோசோம்கள் (Karyosome) எனப்படும் இவை உயிருள்ள நூக்ளியசிலும் எளிதில் காணப்படக் கூடியவையாகும். ஹெட்டிரோகுரோமேட்டினைத் தவிர்த்த மற்ற குரோமேட்டின் பகுதி யூகுரோமேட்டின் (Euchromatin) எனப்படும். கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்ட நூக்ளியசில் யூ குரோமேட்டினைவிட ஹெட்டிரோகுரோமேட்டின் எளிதாகவும், அதிகமாகவும் சாயமேற்கும் தன்மையைப் பெற்றுள்ளது. குரோமேட்டின் முழுவதிலும் டியாக்சி ரிபோ நியூக்ளிக் அமிலம்(Deoxy ribo nucleic acid) விரவியுள்ளது என்றும், ஆனல், ஹெட்டிரோகுரோமேட்டினில் யூகுரோமேட்டினிலுள்ளதைவிட மிகுந்த அடர்த்தியாக உள்ளது என்றும் அறியப்பட்டுள்ளது.

நூக்ளியசைத் தவிர மற்றும் பல நுண்ணுறுப்புகள் சைட்டோ பிளாசத்திலமிழ்ந்துள்ளன. இவற்றில் ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பினுல் காணக் கூடியவை கணிகங்கள் (plastids), மைட்டோ கோன்றியங்கள் (Mitochondria), கோல்கி உறுப்பு (Golgi apparatus), சென்ட்ரியோல் (Centriole), வேக்யூல்கள் Vacuoles) என்பவையாகும். இவற்றில் கணிகங்கள் தாவர செல்களில் மட்டுமே காணப்படுபவை. சென்ட்ரியோல் விலங்கு செல்களில் மட்டுமே காணப்படுபவை. மற்றவை தாவர செல்கள், விலங்கு செல்கள் ஆகிய யாவற்றிலும் காணப்படுபவையாகும்.

தாவர செல்களில் காணப்படும் கணிகங்கள் மற்ற நுண்ணுறுப்புகளைவிட உருவத்தில் பெரியவையாகும். சில செல்களில் இவை நூக்ளியசைவிடப் பெரியவையாகக்கூட இருக்கின்றன. கணிகங்கள் பொதுவாகப் பலவித நிறமிகளைக் கொண்டிருப்பவையாதலால் உயிருள்ள செல்லில் எளிதில் புலனுகக்கூடியவையாகும். நிறமிகளில் மிக முக்கியமானது குளோரோஃபில் (Chlorophyll) எனப்படும் பச்சை நிறமியாகும். பச்சை நிறமியைக் கொண்ட கணிகங்கள் பசுங்கணிகம் (Chloroplast) அல்லது பசுணி எனக் குறிப்பிடப்படுகின்றன (படம் 3-5). இவ்வுலகில் உயிர் வாழ்க்கைக்குத் தேவையான சக்தியைச் சூரிய

ஒளியிலிருந்து பெறுகிற காரியமான ஒளிச்சேர்க்கை (Photosynthesis) இப் பசுஞ்ணிகளில் மட்டுமே நடைபெறுகிறது.

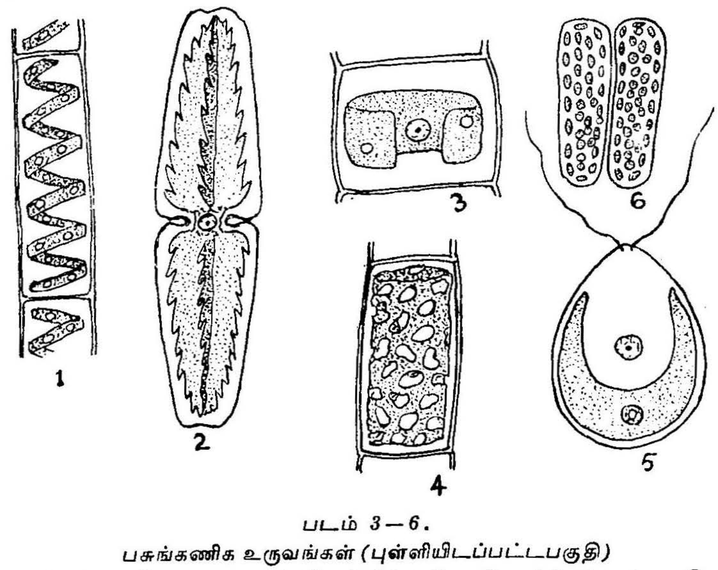



படம் 3—5.

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் மக்காச் சோளத்தின் பசுங்கணிகத் தோற்றம்.

1. கிரானு 2. கிரானு இடைப் பகுதியிலே மெல்லாக்கள்; 3. ஸ்ட்ரோமா.

பச்சைநிறமில்லாத மற்ற நிறமிகளைக் கொண்டுள்ள கணிகங்கள் நிறக்கணிகங்கள் (Chromoplasts) என்று சொல்லப்படுகின்றன.



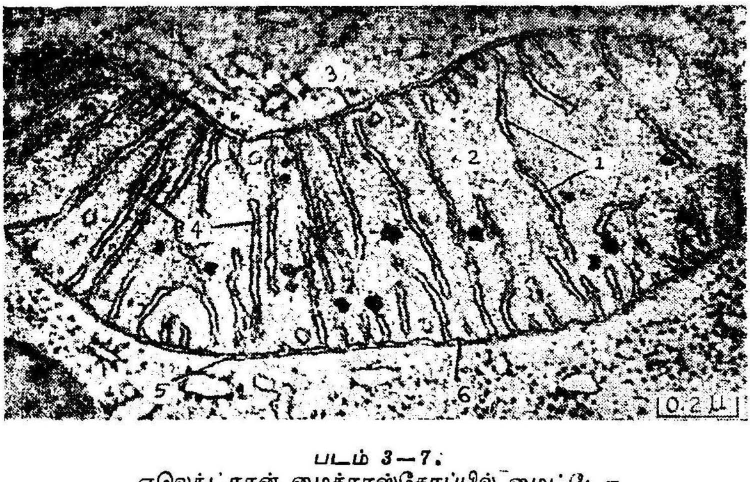

படம் 3—6.

பசுங்கணிக உருவங்கள் (புள்ளியிடப்பட்டபகுதி)

1. ஸ்பைரோகைரா; 2. டெல்மிடு; 3. யூலோத்ரிகஸ்; 4. ஊடொகோனியம்; 5. கிளாமைடொமோனஸ்; 6. ஆஞ்சியொஸ்பெர்ம் தாவரம்.

நிறமற்ற கணிகங்கள், வெண் கணிகங்கள் (Leucoplasts) எனப் படுகின்றன. ஒரு செல்லில் பல கணிகங்கள் காணப்படுகின்றன. அவற்றின் உருவம் பல்வேறு வகைப்படுகிறது. குறிப்பாகப் பசுங்கணிகங்களின் உருவம் அநேக வேறுபாடுகளைக் காட்டு கிறது. சில பாசிகளில் ஒரு செல்லில் ஒரே ஒரு பெரிய பசுணி மட்டும் அமைந்துள்ளது. அது வலை, கிண்ணம், வளையம், விண்மீன் ஆகிய பல உருவங்களைப் பெற்றிருக்கலாம். உயர் தாவரங்களில் பொதுவாகச் சிறு சிறு தட்டு போன்ற அநேக பசுணிகள் ஒரு செல்லில் அமைந்துள்ளன. (படம் 3—6)

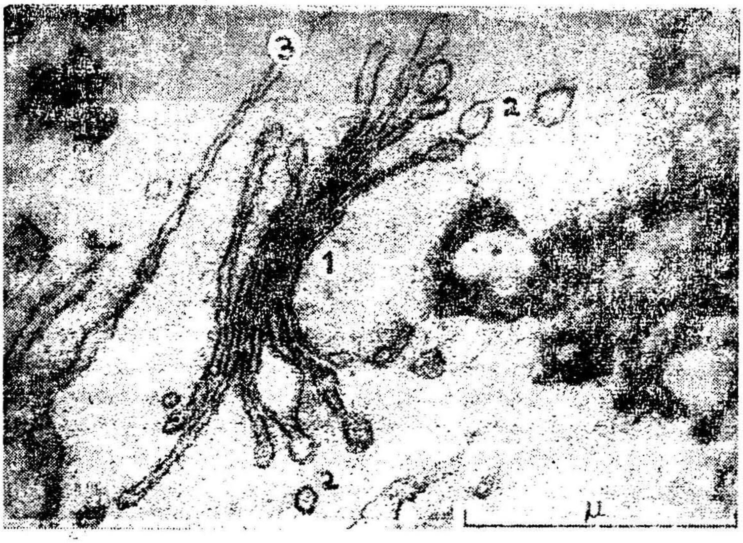
மைட்டோகோன்றியங்கள் என்பவை வளைந்த உருளை அல்லது இழை போன்ற உருவத்தை உடையன. இவை சைட்டோ பிளா சத்தின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் காணப்படுகின்றன. கணிகங்களை விடச் சிறிய உருவத்தை உடைய இவை கொன்று நிலையுறுத்தப் பட்ட செல்களை ஒளிமைக்கிராஸ்கோப்பில் பார்க்கும்போது நுண் துகள்களைப் போல் தோற்றமளிக்கின்றன. இவற்றின் உள் ளமைப்பை எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பினுல் மட்டுமே காண லாம். (படம் 3-7) வேதிப்பொருள்களில் அடங்கிய சக்தியைவெளிப் படுத்தும் முக்கிய கிரியையான உயிர்ப்பின் (Respiration) பெரும் பகுதி மைட்டோகோன்றியங்களில் நடைபெறுவதாக அறியப் பட்டுள்ளது.




படம் 3—7.
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் மைட்டோ காண்றியத்தின் தோற்றம்.

1. கிரிஸ்டா இடைவெளி; 2. மேட்ரிக்ஸ்; 3. வெளிச்சவ்வு; 4. கிரிஸ்டாக்கள்; 5. சுற்றுப்புற வெளி; 6. உட்சவ்வு.

கோல்கி உறுப்பு அல்லது கோல்கி சாதனம் (Golgi Apparatus) என்பது ஒளிமைக் கிராஸ் கோப்பினுல் தெளிவாகக் காணப்படக் கூடாத ஒரு நுண்ணமைப்பாகும். எனவே, எலெக்ட்ரான் மைக் கிராஸ் கோப் கண்டு பிடிக்கப்படும்வரை இதன் இருப்பு, அமைப்பு ஆகியவற்றைப்பற்றி பல்வேறு கருத்துகளும் கருத்து வேற்றுமை களும் நிலவின. ஆனுல் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப் வந்த பிறகு கோல்கி உறுப்பு எல்லா பூகார்ய செல்களிலும் காணப்படும் தனிப்பட்ட நுண் உறுப்பென்பது ஐயமற நிருபிக்கப்பட்டது. கோல்கி உறுப்பு சவ்வாலான தட்டையான பைகளின் அடுக்கா லமைந்ததாகும். (படம் 3—8) இது சைட்டொபிளாசத்தின் பல பாகங்களில் காணப்படலாம். (படம் 3—9) இதன் பணி என்ன வென்று இன்னமும் தெளிவாகத் தெரியவில்லையாயினும், சில குறிப்பிட்ட வேதிப் பொருள்களைச்சுரத்தலும், தயாரித்தலும் இதில் நடைபெறுவதாகத் தெரியவந்துள்ளது.




படம் 3—8.
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் கோல்கி உறுப்பின் தோற்றம்.
1. டிக்டியொசோம்; 2. சுரப்புக்குமிழ்கள்; 3. என்டொபிளாசவலை.

சென்ட்ரியோல் என்பது விலங்கு செல்களில் நியூக்ளியசின் அருகில் காணப்படுகிறது. செல் பகுப்புக்குச் சற்றுமுன் சென்ட் ரியோல் இரண்டாகப் பகுப்புற்று இரு புள்ளிகளாகக் காணப் படுகிறது. சென்ட் ரியோலைச் சூழ்ந்து ஒழுங்கற்ற உருவமுடைய இடியோசோம் (Idiozome) எனப்படும் அமைப்பு காணப்படுகிறது.

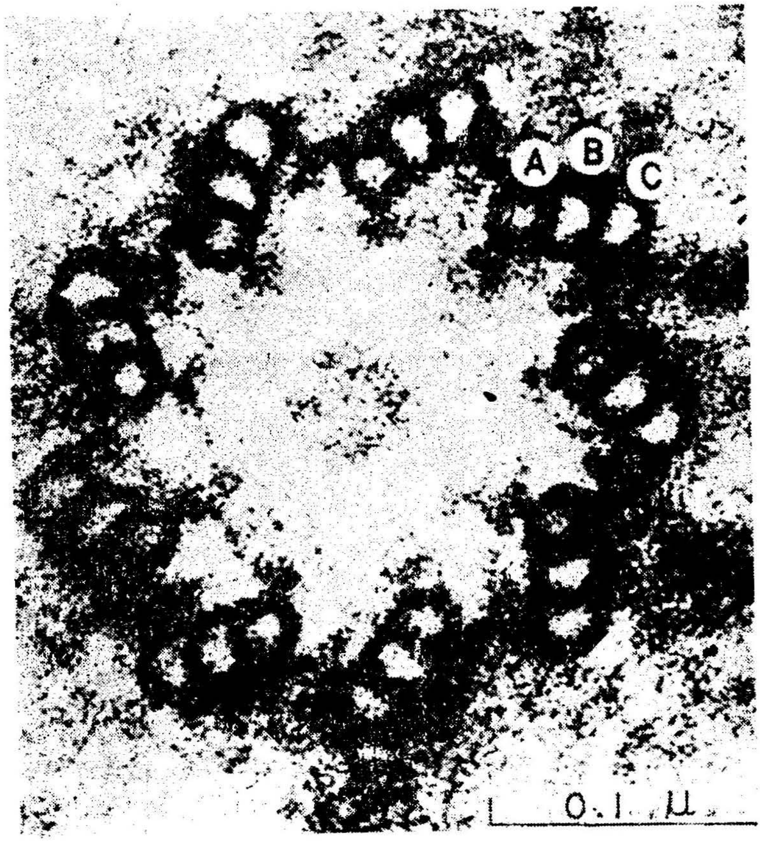
இது அமிலத் தன்மையான சாயங்களை எடுத்துக் கொள்ளும் தன்மை உடையது. சென்ட்ரியோல், இடியோசோம் ஆகிய

படம் 3—9:
மக்காச் சோளத்தின் வேர்த் தொப்பி செல்லில்
கோல்கி உறுப்புகள் பரவியிருப்பதன்
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப் தோற்றம்.
1. செல்சுவர்; 2. டிக்டியொசோம்; 3. கோல்கி குமிழ்கள்.

இரண்டும் சேர்ந்து சென்ட்ரோசோம் (Centrozome) என்றும் குறிப்பிடப்படுகிறது. செல் பகுப்பின்போது குரோமோசோம்களை நகர்த்தப் பயன்படும் கதிர் இழைகளை உண்டாக்கும் பணியை சென்ட்ரியோல் செய்கிறது. இதன் நுண்ணமைப்பு எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பின் மிகுபெருக்கத்தால் மட்டுமே காணப்படக் கூடியதாகும். (படம் 3—10)

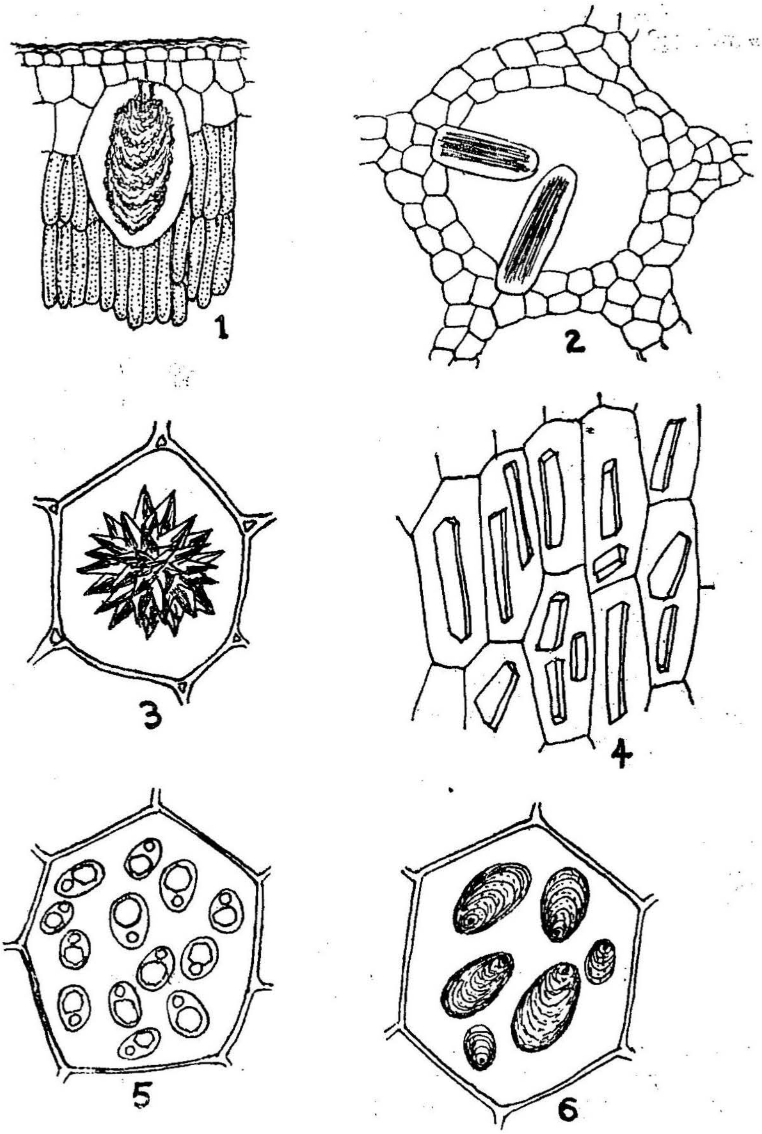
வேக்யூல்கள் என்பவை செல் சாற்றை (Cell Sap) உள்ளடக்கிய அமைப்புகளாகும். தாவர செல்களில் வேக்யூல்கள் பொதுவாக மிகப் பெரியவையாகவும், விலங்கு செல்களில் நுண்ணியவையாகவும் இருக்கின்றன. வேக்யூலின் வெளி விளிம்பாக அமைந்து சைட்டோபிளாசத்திலிருந்து வேக்யூலைப்பிரிக்கும்சவ்வு ட்டானோபிளாஸ்ட் (TonoPlast) எனப்படும். வேக்யூல்கள் பொதுவாகச் செல்லுக்குத் தேவையான கனிம உப்புக்களையும் (Mineral Salts) செல்லின் கழிவுப் பொருள்களையும்உள்ளடக்குபவையாகும். எனவே மற்ற செல் நுண்ணுறுப்புகளைப் போலல்லாமல் இவை உயிரியக்கத்தில் நேரடியாக ஈடுபடாதனவாகும்.

வேக்யூல்களைத் தவிர வேறு பல உயிரற்ற சேமிப்புப் பொருள் களும், கழிவுப் பொருள்களும் சைட்டோபிளாசத்திலோ அல்லது




படம் 3—10.
எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் சென்ட்ரியோல்குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம்.

வேக்யூலினுள்ளோ காணப்படலாம். இவற்றில் முக்கியமானவை பல தாவரச் செல்களில் காணப்படும் ஸ்டார்ச் மணிகள் (Starch Grains), அலிரோன் மணிகள் (Aleurone Grains), எண்ணெய்த் துணுக்குகள் (Oil Droplets) முதலியனவும், கால்சியம் ஆக்சலேட் (Calcium Oxalate), கால்சியம் கார்பனேட்(Calcium Carbonate) முதலிய வேதிப் பொருள்களின் படிகங்களால் சிஸ்டோலித் (Cystolith), ரேஃபைடு (Raphide), ட்ரூஸ் (Druse) எனப்படும் பல்வேறு உருவங்களிலமைந்தனவுமாகும். (படம் 3—11)

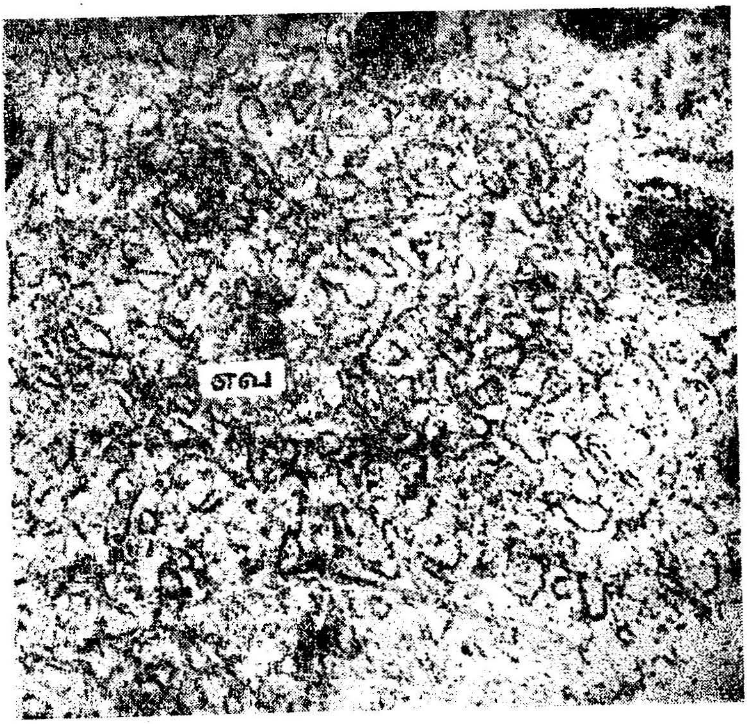



படம் 3—11

தாவர செல்களில் காணப்படும் சில உயிரற்ற உள்ளீடுகள்.

1. சிஸ்டோலித்; 2. ரேஃபைடு; 3. டுரூசு; 4. நீள் வடிவப் படிகங்கள்; 5. அலிரோன் மணிகள்; 6. ஸ்டார்ச் மணிகள்

ஒளிமைக்கிராஸ்கோப்பினால் காணப்படக்கூடிய மேற்சொல்லப் பட்ட செல்லுறுப்புகளைத் தவிர, எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பினால் மட்டும் புலனாகக்கூடிய எண்டோபிளாசவலை (Endo-palasmic Reticulum), ரைபோசோம்கள் (Ribosomes), லைசோசோம் கள் (Lysosomes), பெராக்சிசோம்கள் (Peroxisomes) ஆகியவை மற்ற செல்நுண்ணறுப்புகளாகும். எண்டோபிளாசவலை என்பது சவ்வாலமைந்து சைட்டோபிளாச முழுதும் பரவியிருக்கும் வலை போன்ற அமைப்பாகும். (படம்3 –12) ரைபோசோம்கள் என்பவை



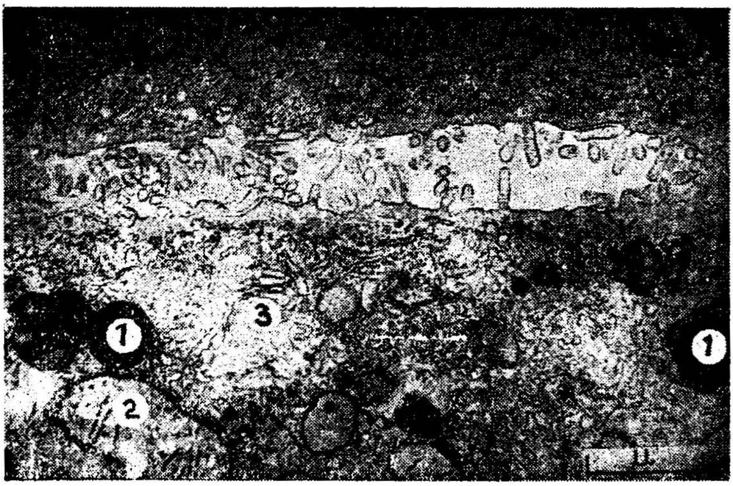

படம் 3—12.
என்டொபிளாச வலையின் எலெக்ட்ரான்மைக் கிராஸ்கோப்தோற்றம்.

எவ-என்டொபிளாசவலை.

எண்டோபிளாச வலையில் ஒட்டிக்கொண்டோ, அல்லது தனித்தோ உள்ள இருகூறுலான நுண்குருணைகளாகும். லைசோசோம்கள் செல்லுக்கு ஊறுவிளைக்கும் நொதிகளைத் தம்முள்ளடக்கி, செல்லைப் பாதிக்கும் பொருள்களைச் சூழ்ந்து சீரணித்து அழிக்கும் நுண்ணமைப்புகளாகும். (படம் 3–13) பெராக்சிசோம்கள் சில குறிப்

பிட்ட உயிர்வேதிக்கிரியைகள் நிகழும் தனிப்பட்ட அமைப்புடைய நுண்ணுறுப்புகளாகும்.(படம் 3—14)

மேற் கூறப்பட்ட அதிநுண்ணுறுப்புகளின் விரிவான அமைப்பு அவற்றின் இயக்கங்களை விவரிக்கும் பகுதிகளில் சொல்லப்படும். மற்றும் மைக்ரோட்யூப்யூல்கள் என்பனவும் செல்லின் இயக்கத்தில் முக்கியபங்கு வகிப்பனவாகும். (படம்3—15)



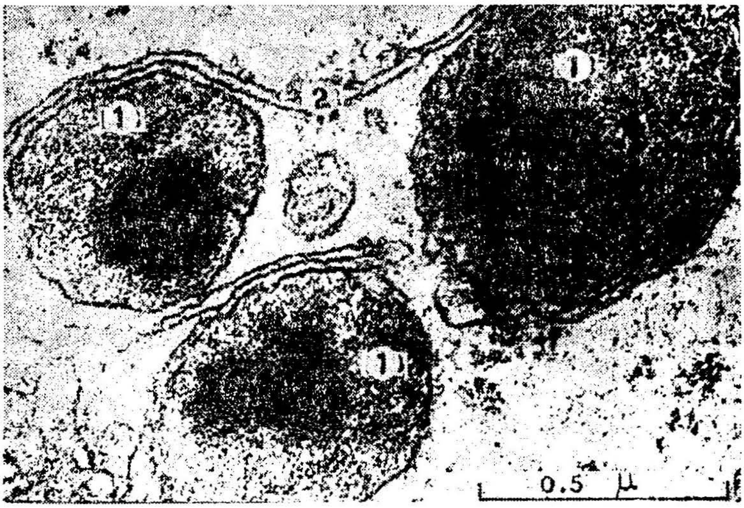

படம் 3—13,
எலியின் கல்லீரல் செல்லில் உள்ள லைசோசோம்களின் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப் தோற்றம்.
1. லைசோசோம்; 2. மைட்டோகான்றியம்; 3. கோல்கி உறுப்பு.

### மீசோ பிளாசம் (Mesoplasm)

மேற் சொல்லப்பட்ட செல்லுறுப்புகள் அமிழ்ந்திருக்கும் நிலைக்களனுகவும், செல் சவ்வினுள் நிரம்பியிருக்கும் தொடர் திரவமாகவும் உள்ளது மீசோபிளாசம் எனப்படும். அதாவது மற்ற செல்லுறுப்புகள் ஒன்றோடொன்று தொடர்பில்லாமல் தனித் தனியாக இருக்கும்போது, செல்லில் அவற்றைச் சூழ்ந்துள்ள மீசோபிளாசம் மட்டும் ஒரே தொடர்ச்சியான திரவமாக உள்ளது. மீசோபிளாசத்தின் தனிப்பட்ட இயல்பைக் கண்டறிவது மிகச் சிரமமாகும். ஏனெனில், அதில் ஆழ்ந்திருக்கும் மற்ற நுண்ணுறுப் புகள் அனைத்தையும் விலக்கித் தனியாகப் பிரித்தெடுப்பது இய லாததாகும். எனவே மீசோபிளாசத்தின் இயல்பைப்பற்றிய

கணிப்புகளை முழு சைட்டோபிளாசத்தின் இயல்பிலிருந்தே செய்ய வேண்டியுள்ளது.

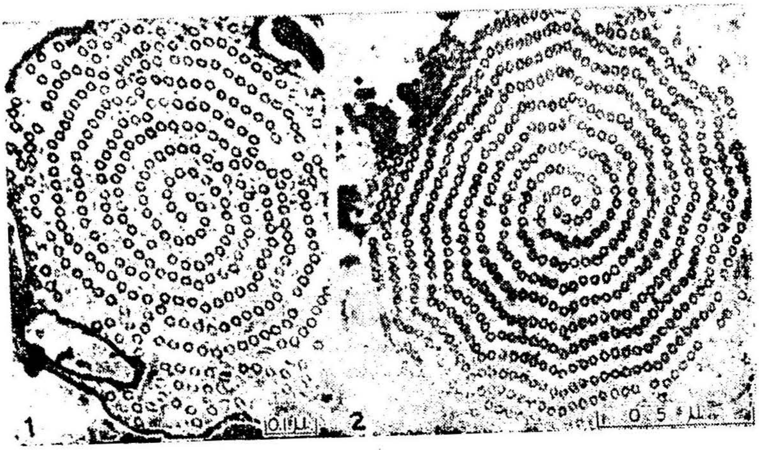
ஒளிமைக்கிராஸ்கோப்பில் நோக்கும்போது, மீசோபிளாசம் பெரும்பாலும் வெறுமையான தோற்றமளிக்கிறது. ஆனால், அதிலிருக்கும் சிறு கொழுப்புத் துகள்கள் பிரௌனியன் அசைவைக் (Brounian Movement) காட்டலாம். ஒரு மிக்சோமைசிட் (Myxomycete) பூஞ்சணத்தின் பிளாஸ்மோடியத்தை நுண்ணிய




படம் 3—14.
எலியின் கல்லீரல் செல்லில் உள்ள பெராக்சி சோம்களின் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப் தோற்றம்.
1. பெராக்சிசோம்; 2. என்டொபிளாசவலை (மழமழப்பானது).

சல்லடையின் வழியாகச் செலுத்தினால், சல்லடையைத் தாண்டி வரும் பிளாஸ்மோடியம் தனது இயல்பில் மாற்றமடைவதில்லை. ஆனால், அதிக அழுத்தத்துடன் சல்லடைவழியாகச் செலுத்தினால் அதன் இயல்பு மாறி இறந்துவிட நேரிடலாம். இதிலிருந்து தெரியவருவது யாதெனில், சைட்டோ பிளாசத்தில் மெதுவான இடப் பெயர்ச்சியினால் பாதிக்கப்படாதனவும், வேகமான இடப் பெயர்ச்சியினால் இயல்பழிபனவுமான கட்டமைப்புகள் அமைந்திருக்கின்றன என்பதாகும். இவை ஒன்றோடொன்று பின்னிக் கொண்டிருக்கும் நீண்ட புரோட்டின் இழைகளாக இருக்கலாமென்றும், அவையே சைட்டோபிளாசத்தின் பிசுக்கு அல்லது விஸ்காசிட்டிக்கும் (Viscosity) காரணமாகலாமென்றும் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் கண்டுபிடிக்கப்படுவதற்கு

முன்பு கருதப்பட்டது. எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் கண்டு பிடிக்கப்பட்ட பிறகு, வெறுமையானதென்று கருதப்பட்ட மீசோ பிளாசத்தில் செல் சவ்வு போன்ற சவ்வு வலையாலமைந்த எண்டோபிளாஸ வலையும், (Endoplasmic Reticulum) அவ் வலை யைச் சார்ந்தும் சாராமலும் அமைந்துள்ள ரைபோசோம்களும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவற்றைத் தவிர மைக்ரோட்யூபூல்கள் (Microtubules) என்ற நுண்ணிழைகளும் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. (படம்3—15) இவை யாவையும் சைட்டோபிளாசத்தின் நுண்ணு




படம் 3—15.

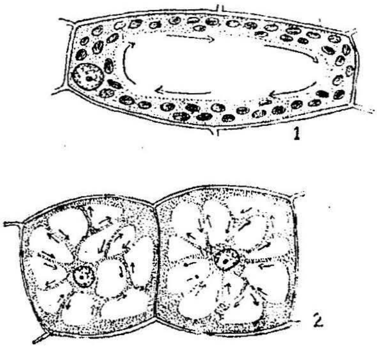
விலங்கு செல்லின் மைக்ரொட்யூப்யூல்களின் குறுக்கு வெட்டு; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப் தோற்றம்.

1. நடுப்பகுதியில்; 2. அடிப்பகுதியில்.

றுப்புகளெனக் கொள்ளப்பட்டாலும் இவை தவிர மீதிப் பகுதியை மீசோ பிளாசமென்றே குறிப்பிடவேண்டும். இது எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பிலும் வெறுமையாகவே தெரிவதால் இதன் அமைப்பை மேலும் கண்டறியக் கூடவில்லை. எனினும் இதுவே செல்லுப்புகளனைத்தையும் ஒருங்கிணைக்கும் களமாகவும், வெவ் வேறு செல்லுறுப்புகளின் இயக்கங்களைச் சேர்த்து ஒருங்கிணைந்த செல்லியக்கமாக ஒழுங்கு படுத்தும் சாதனமாகவும் இருக்கக் கூடுமென்று சொல்லலாம்.

பல செல்களில் காணப்படும் சைட்டொபிளாசப்பாய்வு (Cytoplasmic Streaming) ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பில் எளிதில் புலனாகும் ஒரு செல்லியக்கமாகும். (படம் 3—16) இது எவ்வாறு நிகழுகிறது. என்பது ஒரு புறமிருக்க இதில் பாயும் பகுதியில் முக்கிய மானது மீசோபிளாசமாக இருக்கவேண்டுமென்று சொல்லலாம். மைட்டோகோன்ரியுங்கள், பசுங்கணிகங்கள் முதலியன செல்லில்

இடம்விட்டு இடம் நகர்ந்து செல்வது அவற்றின் தன்னியக்கத்தினலா அல்லது அவற்றைச் சூழ்ந்திருக்கும் மீசோபிளாசத்தின் பாய்வுகளினலா என்று நிச்சயமாகச் சொல்லமுடியாது. சைட்டோ பிளாசப்பாய்வைப் பற்றிச் செய்யப்பட்டுள்ள பல சோதனைகளிலிருந்து மற்றெல்லா இயக்கங்களையும் போல் இதுவும் வெப்பம், அழுத்தம் முதலிய அமிசங்களைப் பொருத்ததாகுமெனத் தெரிகிறது. சைட்டொபிளாசப் பாய்வுடைய ஒரு செல்லைச் சூழ்ந்த திரவத்தை சதுர அங்குலத்துக்கு 1500 பவுண்டுகளுக்கும் மேற்பட்ட அமுக்கத்துக்குட்படுத்தினல் பாய்வு நின்றுவிடுகிறது. ஆனல், இதனல் செல்லுக்கு நிரந்தர ஊறெதுவும் ஏற்படுவதில்லை. அமுக்கத்தைக் குறைத்தால் மீண்டும் பாய்வு தொடங்குகிறது.

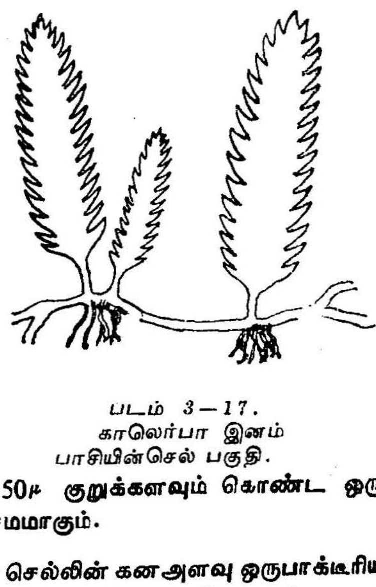


படம் 3—16.
சைட்டோபிளாசப்பாய்வுகள்.
1. ஒரு திசைச் சுழற்சி; 2. பல திசைஓட்டம்.

**செல் பரிமாணம்**

எந்தவொரு அமைப்பின் இயக்கமும் அதன் பரிமாணத்தைப் பொருத்ததாகவே உள்ளது. உதாரணமாக ஒரு ரயில் எஞ்சின் குறிப்பிட்ட பரிமாண எல்லைகளுக்குள்ளடங்கியே அமையமுடியும். பரிமாணத்துக்கும் இயக்கத்துக்கும் இடையேயுள்ள பொதுத் தொடர்பு செல்களுக்கும் அவற்றின் இயக்கத்துக்கும் பொருந்துவதாகும். பல பாகங்களைக் கொண்ட எஞ்ஜினைப் போல், பல நுண்ணுறுப்புகளைக்கொண்ட செல்லின் இயக்கம் அதன் பரிமாணத்தை அனுசரித்ததாகவே இருக்கவேண்டுமாதலால், செல்லின் பரிமாணம் செல்லியக்கத்தின் ஒரு முக்கிய அமிசமாகிறது. ஆனல், செல்லின் பரிமாணத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடுவது மிகச்சிரமமாகும். ஏனெனில் செல் ஒழுங்கற்ற உருவத்தை உடையது. எனவே, செல் பரிமாணத்தைப்பற்றிய ஆய்வுகள் மிகக் குறைவாகும். அதுவும் பெரும்பாலும் செல்களின் பரிமாணங்கள் ஒப்புப் பரிமாணங்களாகவே குறிப்பிடப்படுகின்றன. அதாவது வெவ்வேறு திசுக்களிலுள்ள வெவ்வேறு பரிமாணங்களையுடைய செல்களின் பரிமாண விகிதங்கள் என்ன என்பதே குறிப்பிடப்படுகின்றன. இவையும் ஓரளவுக்குப் பயன்படுபவையாயினும், செல்லின் தற்பரிமாணமே அதைவிட முக்கியமாகும்.

தாவரசெல்கள் திடமான செல்சுவரைப் பெற்று உருவம் மாருமலிருப்பதால், விலங்குசெல்களைவிடத் தாவர செல்களின் பரிமாணத்தைக் கணக்கிடுவது எளிதாகும். செல்களின் பரிமாணம் மிக வேறுபடுவதாகும். வெவ்வேறு திசுக்களிலுள்ள செல்கள் வெவ்வேறு பரிமாணத்தைப் பெற்றிருப்பதல்லாமல், ஒரே திசுவிலுள்ள செல்களும், ஒரே செல் அதன் வளர்ச்சியின் வெவ்வேறு படிகளிலும், பரிமாணத்தில் வேறுபடுகின்றன. தாவரங்களில், சில பாசிகளின்பன்நூக்ளியஸ் செல்களும், சில விலங்குகளின் முட்டை செல்களும் பரிமாணத்தில் மிகப் பெரியவையாகும். வெலோனியா(Valonia), காலர்பா(Caulerpa) முதலிய பாசிகளின் (படம் 3—17)செல்கள் பல கனசென்டி மீட்டர் பரிமாணத்தைப் பெற்றுள்ளன. தாவரத்தண்டுகளின் புறணிப் பகுதியிலுள்ள பாரங்கைமா செல்கள் (படம்3—18)50 முதல் 300μ நீளத்தையும் 60 முதல் 100μ அகலத்தையும் பெற்றிருக்கலாம். முதிர்ந்த வேரின் ஒரு பகுதியில், திசுவின்மொத்த பரிமாணத்தையும் அதிலடங்கிய செல்களினெண்ணிக்கையையும் கொண்டு கணக்கிடப்பட்ட செல்லின் சராசரி கனபரிமாணம் 2.0X10[7] செ.மீ. 3 ஆகும். இது 100μ நீளமும் 50μ குறுக்களவும் கொண்ட ஒரு உருளையின் கன அளவுக்குச் சமமாகும்.

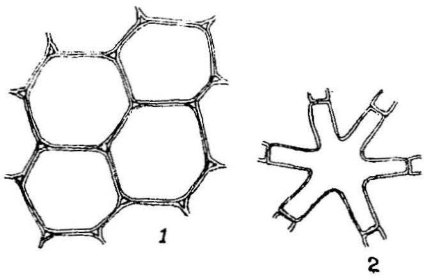


படம் 3—17.
காலெர்பா இனம்
பாசியின்செல் பகுதி.

மேற்சொன்ன பாரங்கைமா செல்லின் கனஅளவு ஒருபாக்டீரிய செல்லினதைவிடச் சுமார் ஆயிரம் மடங்கு அதிகமாகும். ஒரு விலங்கு செல்லினளவும் ஏறக்குறைய தாவர செல்லைப் போன்றதே. இவ்வாறு அளவுகளை ஒப்பிடுதல் சில சமயம் உண்மைக்குப் புறம்பாகலாம். ஏனெனில் ஒரு பாரங்கைமா செல்லின் கன அளவில் 5% செல் சுவராகவும், 5%க்கும் குறைவாகவே புரோட்டோபிளாசமாகவும் மீதி 90% வேக்யூலாகவும் இருக்கலாம். ஆனல் பாக்டீரிய செல்லிலும், விலங்கு செல்லிலும் பெரிய வேக்யூல் இல்லாததால் அவற்றினளவில் பெரும்பகுதி புரோட்டோபிளாசமாகவும், சிறு அளவே வேக்யூலாகவும் அமைந்திருக்கிறது.

செல்களின் வற்றெடையும் அவற்றின் கன அளவைப் போலவே மிகவும் வேறுபடக் கூடியதாகும். வேரின் முதிர்ந்த

பகுதியிலுள்ள ஒரு செல்லின் சராசரி எடை 6° 0X10⁻9 கிராம் என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. செல்லின் பெரும்பகுதி தண்ணீ ராகும் எனக் கொண்டால் வற்றெடையைவிட இயல்பெடை (Fresh Weight) ஏறக்குறைய நூறு மடங்காகிறது. ஒரு தாவர செல்லின் வற்றெடை, பாக்டீரிய அல்லது விலங்கு செல் களினதைவிடப் பொதுவாக அதிகமாக இருக்கிறது. ஆனல், இவற்றை ஒப்பிட்டுப் பார்ப்பது தவருகும். ஏனென்றல் தாவர செல்களில் செல் சுவர் இருப்பதால் அவற்றின் வற்றெடையில் பெரும்பாகம் செல் சுவராலானதாகிறது. சில தாவர செல்களின் வற்றெடையில் சுமார் 90% செல் சுவரினுடையதாகலாம். ஆனல் பாக்டீரிய செல்களிலும், விலங்கு செல்களிலும் அவற்றின் வற்றெடையில் ஒரு சிறு பகுதியே செல் சுவராலானதாகும்.



1

2

படம் 3—18ஜ
பாரங்கைமா செல் உருவங்கள்.
1. சேமிப்பு பாரங்கைமா; 2. நட்சத்திர பாரங்கைமா

செல்லின் கன அளவு, வற்றெடை அல்லது இயல்பெடை ஆகியவை செல்லியக்கத்தில் முக்கியத்துவம் உள்ளனவாகும். ஏனெனில், செல்லியக்கத்தின் வேகம் இவற்றைப் பொருத்து எவ்வாறு அமைகிறது என்று கணக்கிடப் படுகிறது. ஆனல், இவ்வித கணக்கீடுகளில் மிகுந்த கவனம் தேவையாகும். ஏனெனில் வேக்யூல், செல்சுவர் ஆகிய இயக்கமற்ற செல் பகுதிகளைப் பெற்ற தாவர செல்களின் இயக்கத்தை விலங்கு அல்லது பாக்டீரிய செல்களோடு ஒப்பிட்டால் தாவர செல்களின் இயக்கம் மிக மந்தமாக இருப்பதாகக் காணப்படலாம். எனவே செல்லின் மொத்த அளவுகளோடு ஒப்பிடாமல் செல்லின் இயங்கு பகுதியாகிய புரோட்டோபிளாசத்தினளவோடு செல்லியக்கத்தின் வேகத்தை ஒப்பிடுவதே ஏற்புடைத்தாகும்.

செல்லியக்கத்தின் மூலகாரணமாக அமைபவை புரோட்டீன் களேயாகும். எனவே வேறெதையும் விடச் செல்லின் இயக்கம்

அதன் புரோட்டீனளவோடு நெருங்கிய தொடர்புடையதாகும். மேற் குறிப்பிடப்பட்ட தாவரவேர் செல்லின் புரோட்டீனளவு 2X10-9 கிராம் என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. செல்லின் இயல் பெடையோடு ஒப்பிடும்பொழுது இது மிகக் குறைவானதாகும். புரோட்டீன் மூலக்கூறெடை (Molecular Weight) சராசரி ஒரு மில்லியன் எனக்கொண்டால் மேற்சொன்ன புரோட்டீனளவில் $10^8$ புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளமைந்திருக்கும். இவற்றை ஒற்றை மூலக்கூறின் கனமுடைய அடுக்காகப் பரப்பி வைத்தால் அதன் பரப்பு சுமார் 400,000$\mu^2$ ஆகும். ஒரு செல்லின் சராசரி வெளிப்பரப்பு சுமார் 20,000$\mu^2$ ஆகும். இவற்றிலிருந்து செல்லில் அதன் புரோட்டீன் சுமார் இருபது மூலக் கூறடுக்குகளைக் கொண்டதாக அமைந்திருக்கிறது என்று சொல்லலாம்.

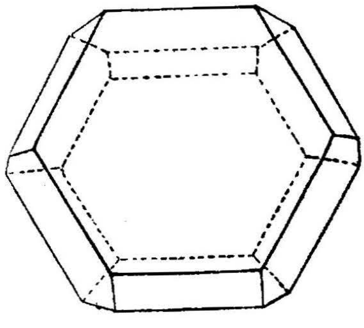
புரோட்டோ பிளாசத்தின் பல்வேறு பகுதிகளின் அளவு என்ன என்று கணக்கிடுவது மிகச் சிரமமாகும். நூக்ளியசின் குறுக்களவு சுமார் 10$\mu$ என்று கொண்டால் அதனுடைய கன அளவு சைட்டோபிளாசத்தின் கன அளவில் சுமார் 2% ஆகும். நூக்ளியசினுடைய புரோட்டீனளவு நேரடியாக நிர்ணயிக்கப்படவில்லை யென்றாலும் அதன் டி. என். ஏ (DNA) அளவு $4X10^{-11}$ கிராம் எனலாம். நூக்ளியசினுடைய புரோட்டீனில் DNA 20% எனக் கொண்டால் நூக்ளியசின் மொத்த புரோட்டீனளவு $2X10^{-10}$ கிராம் ஆகிறது. இது செல்லினுடைய புரோட்டீனில் சுமார் 10% ஆகும். செல்லினுடைய புரோட்டீனில் பெரும் பகுதி (90%) சைட்டோபிளாசத்திலமைந்திருந்தாலும், சைட்டோபிளாசத்தின ளவில் 2% அளவே உள்ள நூக்ளியசில் 10% புரோட்டீனமைந் திருப்பதால், சைட்டோ பிளாசத்திலிருப்பதை விட நூக்ளியசில் புரோட்டீன் அதிக அடர்த்தியாக உள்ளது என்று தெரிகிறது. செல்லின் மைட்டோ கோன்றியம், பசுங்கணிகம் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கையும் மொத்த அளவும் என்ன என்பதும், அவற்றி லடங்கிய சைட்டோபிளாசத்தினளவு என்ன என்பதும் இதுகாறும் கணக்கிடப்படவில்லை.

### செல்லுரு

செல்லின் பரிமாணத்தைப் போலவே அதன் உருவமும் செல்லியக்கத்தோடு நெருங்கிய தொடர்புடையதாகும். முக்கிய மாகச் செல்லின் கன அளவுக்கும் அதன் வெளிப்பரப்புக்கும் உள்ள விகிதம் செல்லின் உருவத்தைப் பொருத்தமைவதாகும். வெளிப்பரப்பின் விகிதம் குறையக் குறைய, சைட்டோ பிளாசத்தின் அதிக பகுதி வெளிப்பரப்பிலிருந்து தொலைவில்

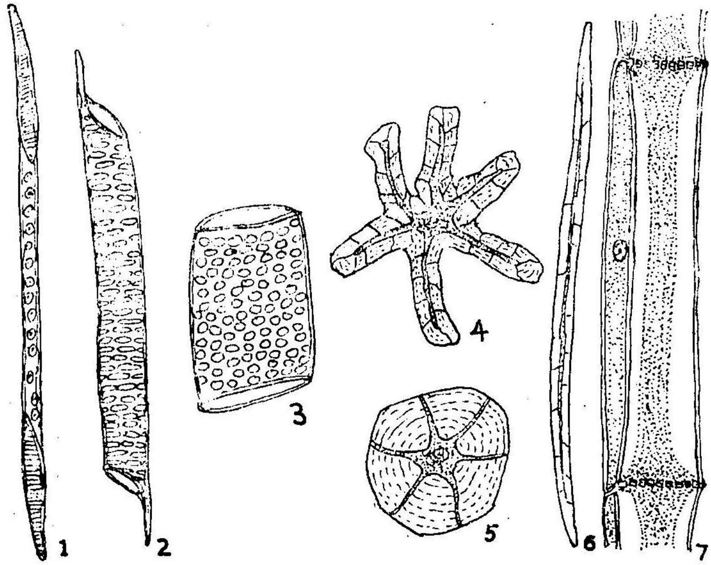
அமைகிறது. எனவே வெளிப்பரப்பிலிருந்து பொருள்கள் உட்பகுதியின் சைட்டோ பிளாசத்தை அடையுமுன் அதிக தூரத்தைக் கடக்க வேண்டி வருகிறது. ஆனால், பெரிய நடுவேக்யூலை உடைய செல்களில் சைட்டோ பிளாசமானது செல்லின் வெளிப்பரப்பில் மெல்லிய படலமாக அமைவதால் சைட்டொ பிளாசத்தின் எப் பகுதியும் வெளிப்பரப்பிலிருந்து அதிகம் விலகியிருக்காது.

பல செல்களைக் கொண்ட உயிர்களின் செல்லுரு, பெரும்பாலும் செல்லமைந்திருக்கும் திசுவின் தன்மையாலும், அருகில் அமைந்துள்ள செல்களின் பாதிப்பாலும் உருவாகிறது, ஒருசெல் ஏற்கக்கூடிய மிக எளிய உருவம் கோளவடிவமாகும். ஆனால், கோளவடிவ செல் பொதுவாகச் செல் திசுக்களில் காணப்படுவதில்லை. கோளவடிவத்தை அதனைச் சூழ்ந்துள்ள மற்ற கோளவடிவங்கள் அழுத்தும் போது, கோளங்கள் ஒன்றின் மேலொன்று வழுக்கி நகரக் கூடியனவாயின், அக்கோளங்கள் எல்லாம் டெட்ராகை டெக்கா ஹீட்ரான் (Tetrahaidecahedron) எனப்படும் பதினான்கு பக்க உருவத்தை அடைகின்றன: இப்பதினான்கு பக்க உருவத்தில் எட்டு, அறுசம கோணப் பரப்புகளும் ஆறு சதுரப்பரப்புகளும் இருக்கின்றன. (படம் 3—19) இந்த உருவே தாவர செல்களின் அடிப்படை உருவென்றும், இந்த அடிப்படை உருவின் மாற்றத்தினால் வெவ்வேறு உருவங்களை அவை அடைகின்றன என்றும் கருதப்படுகிறது. தாவர செல்களில் பாரங்கைமா செல்களும், நீண்ட உருவத்தையுடைய கேம்பிய செல்களும், கொலங்கைமா செல்களும் பெரும்பாலும் இந்த அடிப்படை உருவத்தைப் போன்றே பதினான்கு பக்கங்களைப் பெற்றுள்ளன என்று தெரிகிறது. பதினான்குக்கும் அதிகமான பக்கங்களும் சில செல்களில் காணப்படலாம். நீண்ட நார் செல்களும், சைலக்குழல், புளோயக் குழல் போன்றவை செல்கள் வெகுவாக நீளுவதால் உண்டாகின்றன. (படம் 3.20) விலங்கு செல்களுக்குச்



படம் 3—19:
டெட்ராகைடெக்கா
ஹீட்ரான் உருவம்

செல் சுவர் இல்லாததால் அவை நிலையான நிரந்தர உருவத்தைக் கொண்டிருப்பதில்லை. விலங்கு செல்களில் தசை செல்கள் ஒரே

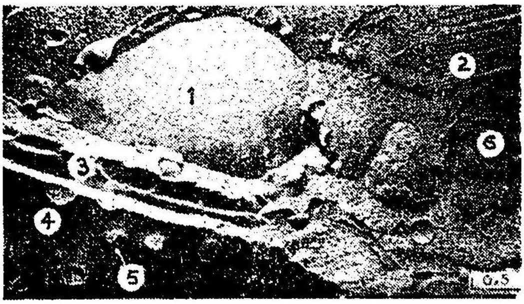



படம் 3—20.

சைலம், புளோயம், நார் செல் உருவங்கள்.

1. சைலம் டிராக்கீடு; 2,3. சைலக் குழல் படிகள்; 4,5. கல் செல்கள்; 6. நார் செல்; 7. புளோயத்தின் சல்லடைக் குழாய், துணை செல்கள்.

திசையில் நீண்டுள்ளன. நரம்பு செல்கள் பலபடியாகக் கிளைத்து கிளைகள் மிக நீண்டுள்ள உருவத்தைப் பெற்றுள்ளன.




படம் 3—21.

வெங்காயத்தின் வேர்நுனி செல் பகுதியின் எலெக்ட்ரான்மைக்ராஸ்கோப் தோற்றம்

1. வேக்யூல்; 2. கோல்கி உறுப்பு; 3. எண்டோபிளாசவலை; 4. நியூக்ளியஸ்; 5. நியூக்ளியதுளை; 6. மைட்டோகான்றியம்.

# 4. செல்லியக்கத்தை அறிவதற்கான வழிவகைகள்

செல்லியக்கத்தை அறிவதற்கு அதன் மொத்த நுண்ணமைப்பைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ளுவது அவசியமாயினும், செல்லினுள் அதன் நுண்ணுறுப்புக்களும், பல்வேறு வேதிக்கூட்டுப் பொருள்களும் எங்கெங்கு அமைந்துள்ளன என்பதை அறிந்து கொள்ளுவது மிக முக்கியமாகும். இது மிகச் சிரமமான காரியமாயினும்இதற்கான வழிவகைகள் சமீபகாலத்தில் வகுக்கப்பட்டுள்ளன. இவை முக்கியமாக இரண்டு வகைப்படும். முதலாவது திசுவை நைய அரைத்துத் திரவமாக்கி அத் திரவத்தைச் சுழல் விசைக்கு ஆட்படுத்தி, வெவ்வேறு சுழல் விசைகளில் பிரியும் வெவ்வேறு பகுதிகளைப் பிரித்தெடுப்பதாகும். இரண்டாவது, சில வேதிப் பொருள்களை உயிருள்ள அல்லது கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்ட செல்லினுள் செலுத்திக் குறிப்பிட்ட பொருள்கள் எங்கெங்கு உள்ளன என்று கண்டறிவதாகும்.

**சுழல்விசை :**

முதலாவது வழியில், கூடியவரை ஒரே வகையான செல்களாலமைந்த திசுவானது முதலில் அதிவேகமாகச் சுழலும் கூரிய கத்திகளைக் கொண்டு மிக நுண்ணிதாக வெட்டப்படுகிறது. இதற்கு சிதற்றுதல் அல்லது மேசரேசன் (Maceration) என்று பெயர். திசுவை மட்டும் தனியாகச் சிதற்றுவதில்லை; சில குறிப்பிட்ட வேதிப் பொருள்களின் கரைசலான திரவ ஊடகத்தில் சிதற்றப்படுகிறது. இத்திரவத்தின் தன்மையும் சிதற்றப்படும் வேகமும் மிக முக்கியமாகக் கவனிக்கப்பட வேண்டியவையாகும். ஏனெனில் பெரும்பான்மையான செல்லுறுப்புக்கள் தெரிகடத்து (Selectively permeable)சவ்வுகளால் சூழப்பட்டு, உயர்ஆஸ்மாசிய (Highosmotic) அழுத்தக் கரைசல்களை உள்ளடக்கியனவாகும். எனவே, இவற்றினுள்ளடங்கிய கரைசல்களின் ஆஸ்மாசிய அழுத்தத்தை உடைய திரவத்தால் இவை சூழப்பட்டிருந்தாலன்றி இவற்றின் இயல்பு மாறிவிடும். தண்ணீர் அல்லது குறை ஆஸ்மாசிய அழுத்த திரவத்தில் இவை வெடித்துச் சிதறிவிடும்.

அவற்றைவிட உயர் அழுத்தத் திரவத்தில் சுருங்கிச் சிறுத்துவிடும். மற்றும் ஆஸ்மாசிய அழுத்தத்தைத் தவிர, ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி (Hydrogen ion concentration), அயனிக் கூட்டு (Ionie composition) முதலியனவும் ஏற்புடையதாக இருக்க வேண்டும். இல்லாவிட்டால் நுண்ணுறுப்புக்களின் இயல்பும், அவற்றிலடங்கிய நொதிகளின் தன்மையும் மாற்றமடையக் கூடும்.

சிதற்றி நுண்மையாக்கப்பட்ட திரவத்திலிருந்து வெவ்வேறு செல்லுறுப்புக்களைப் பிரிப்பதற்கு சுழல்விசை பயன்படுத்தப் படுகிறது. சுழற்சியாலேற்படும் மையத்தறு விசையினால் (Centrifugal force) ஒரு திரவத்திலமிழ்ந்திருக்கும் துகள்கள் அவற்றின் கனஅளவு, அடர்த்தி ஆகியவற்றைப் பொருத்து நகர்ந்து செல்லுகின்றன. பெரிய அளவையும், அதிக அடர்த்தியையும் உடையன வேகமாக நகருகின்றன. அளவும், அடர்த்தியும் குறையக் குறைய மெதுவாக நகருகின்றன. இதன் காரணமாக, ஒரே சீரானமையத்தறு விசைக்கு ஆட்படுத்தப்படும் ஒரு குழலிலடங்கிய திரவத்திலமிழ்ந்திருக்கும் துகள்களில் மிகப்பெரிதும் உயர் அடர்த்தியுமானவை முதலிலும் மற்றவை அவற்றின் அளவு, அடர்த்தி ஆகியவற்றுக்கேற்ப படிப்படியாகப் அடுத்தடுத்தும் குழலினடியில் சென்று தங்குகின்றன. அதேபோல் ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்தில் பெரிய, அடர்த்திமிக்கவை குறைவான மையத்தறு விசையாலும், சிறிய, அடர்த்தி குறைந்தவை அதிக மையத்தறு விசையாலும் அடித்தங்குகின்றன. பொதுவாகச் சிதற்றத்திரவம் படிப்படியான உயர் மையத்தறு விசைக்காட் படுத்தப்படுகிறது. ஒவ்வொரு படியிலும் அடித்தங்கும் மண்டி தனித்தனியாகப் பிரித்தெடுக்கப்படுகிறது. விசை உயர உயரப் பிரியும் நுண்ணுறுப்புக்களின் கன அளவும், அடர்த்தியும் குறைகின்றன.

மையத்தறுவிசையால் பிரிப்பதைப் படிப்படியாக ஒன்றைவிடஒன்று அதிக கன அடர்த்தி உள்ள திரவங்களை உபயோகித்துச் செய்வது மேலும் சிறந்த வழியாகும். வெவ்வேறு கன அடர்த்திகளையுடைய பலதிரவங்களைக் கொண்ட ஒரு குழாயை அசையாமல் நிறுத்தி, அதில் கனஅளவிலும் அடர்த்தியிலும் வேறுபாடில்லாத பெரிய துகள்களை இட்டுப் புவி ஈர்ப்பு விசையால் மண்டும்படிச் செய்தால், அத் துகள்கள் அவற்றின் கன அடர்த்திக்குச் சமமான கனஅடர்த்தியை உடைய திரவத்தை அடைந்து மண்டி நிற்கும். அதேபோல் வெவ்வேறு கனஅடர்த்திகளையுடைய திரவங்களைக் கொண்ட குழாயை மையத்தறு விசைக்கு ஆட்படுத்தினால் அக்குழலிலிருக்கும் வெவ்வேறு கன

அடர்த்தியும் அளவும் கொண்ட துகள்கள் தமது அடர்த்திக் கேற்ப வெவ்வேறு மட்டங்களில் பிரிந்து நிற்கும்.

பொதுவாகப் பலராலும் கையாளப்படும் வழி, ஒரே அடர்த்தி யுள்ள நீர்த்திரவத்தில் செல் சிதறலை மையத்தறு விசைக்கு உட்படுத்துவதாகும். மையத்தறு விசையின் அளவு, புவிஈர்ப்பு விசையில் எத்தனை மடங்கு என்று குறிப்பிடப்படும். திரவத்தி லடங்கிய செல் சிதறலை முதலில் 1000 மடங்கு விசைக்கு உட்படுத் தினால், செல் சுவரிலிருந்து பெறப்பட்ட பெரிய துகள்களும், நூக்ளி யஸ்களும் மண்டி விடுகின்றன. அடுத்தபடியாக மேலேயுள்ள திரவத்தை எடுத்து 6000 மடங்கு விசைக்கு உட்படுத்தினால் பசுங்கணிகங்கள் மண்டுகின்றன. மேலுள்ள திரவத்தை மூன்றாவது படியாக 20,000 மடங்கு விசைக்கு உட்படுத்தினால், மைட்டோகோன்றியங்கள் மண்டிப் பிரிகின்றன. கடைசிபடியில் 60,000 முதல் 100,000 மடங்கு விசையில் மைக்ரொசோம்கள் மண்டிப் பிரிகின்றன. அதன் பிறகு மிஞ்சும் திரவத்தில் நீரில் கரையாத துகள்கள் இரா. நீரில் கரையக்கூடியசெல் பொருள்கள் மட்டுமே இருக்கும். எனவே, இது செல்லின் நீர்கரைப்பகுதி (Soluble fraction) எனப்படும். இதிலிருக்கும் செயல் திறனுள்ள புரொட்டீன்களும், நொதிகளும் கரையும் புரோட்டீன்கள் அல்லது கரையும் நொதிகளென்று சொல்லப்படும்.

செல் சிதறல் தயாரிப்பு ஒன்றிலிருந்து மையத்தறு விசையால் பல கூறுகளைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கக் கூடுமென்றாலும், பொதுவாக இரண்டுக்கு மேற்பட்ட கூறுகளைப் பிரித்தெடுப்பதில்லை. நியூக்ளியஸ்கள் தனிப்பட்ட தயாரிப்புகளிலிருந்து பிரிக்கப்படு கின்றன. ஏனென்றால், மற்ற செல்லுறுப்புக்களைப் பிரிப்பதற்குத் தேவையான சிதறலில் நியூக்ளியஸ்கள் சிதறி உருக்குலைந்து விடு கின்றன. அதே போல் பசுங்கணிகங்களுடைய திசுக்களில் பசுங் கணிகங்களைப் பிரிக்கத் தனிப்பட்டதயாரிப்புத் தேவைப்படுகிறது இவற்றைப் பிரித்த பிறகு மீதியுள்ள திரவத்தை மீண்டும் சிதற்றி மற்ற கூறுகளைப் பிரிக்கவேண்டும். இல்லாவிட்டால் பசுங்கணிகங்களின் சிதறல்கள் மற்ற கூறுகளிலும் கலந்து கொள்ளும்.

மையத்தறு விசை வழி மிகப் பயனுள்ளதாயினும் அது பல வரையறைகளுக்குட்பட்டதாகவும் பல குறைபாடுகளைக் கொண்டதாகவும் உள்ளது. செல் சிதறல் துகள்கள் தனித்தனி யாகப் பிரிவது அவற்றின் கன அளவையும், அடர்த்தியையும் மட்டுமே பொருத்ததாகையால் இப்பண்புகளில் மட்டும் ஒத்த,

ஆனால் அமைப்பிலும் இயக்கத்திலும் வேறுபடும் பலவகைப்பட்ட உறுப்புக்கள் ஒரே கூருகவே பிரியும். ஆகவே அப்படிப்பட்ட கூறு பலவகைப்பட்ட உறுப்புக்களின் கூட்டாகுமேயன்றி தனிப் பட்ட ஒரு உறுப்பை மட்டும் உடையதாகாது. அதிலுள்ள உறுப்புக்களை இம்முறையினால் தனித்தனியாகப் பிரிக்க முடியாது. முக்கியமாக மைட்டொ கோன்றியக் கூறினைப் பிரிப்பது இக்குறை பாட்டினால் வெகுவாகப் பாதிக்கப்படுகிறது. அதேபோல் ரைபொசோம்களொட்டிய என்டொபிளாசவலையின் சிதறலைக் கொண்ட மைக்ரொசோம் கூறில், மைட்டொகோன்றியங்களைப் போன்ற பிறஉறுப்புக்களின் சிதறல்களும் கலந்து கொள்ளுகின்றன அப்படிப் பல்வேறு உறுப்புக்களைக் கொண்ட கூறுகளிலிருந்து குறிப் பிட்ட செல்லுறுப்புக்களின் தனிப்பட்ட இயக்கங்களையும். பணிகளை யும் கண்டறிவது இயலாததாகும். ஒரு கூறில் அழுக்காக்க கலந் துள்ள வேறு உறுப்புக்களின் இயக்கமும் அக்கூறில் பெரும் பகுதியா யமைந்த உறுப்புக்களின் இயக்கத்தோடு சேர்த்து கணிக்கப்பட வேண்டிவருவதால் உண்மையில் ஒரு உறுப்புக்கு இல்லாத இயக்கம்அதற்கு உள்ளதாகக் கருதப்படக்கூடியநிலை ஏற்படுகிறது. எனினும், செல் சிதறல் முறைகள், அதனோடு கலக்கப்படும் திரவங்களின் தன்மை முதலியவற்றால், இக்குறைபாட்டினைக் குறைத்துத் தனிப்பட்ட ஒரே உறுப்பினைக் கொண்ட கூறுகளைப் பிரித்தெடுக்கப் பல ஆராய்ச்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டு அவற்றில் பெருமளவுக்கு வெற்றியும் பெறப்பட்டுள்ளது.

கடைசியாக மீதியாகும் கரைசல் திரவத்தின் தன்மையும் மிகச் சிக்கலானதாகும். அதிலடங்கிய புரொட்டீன்கள், நொதிகள் முதலியவை நீரில் கரைவன என்பது திண்ணமாயினும் செல்லிலும் அவை செல்லுறுப்புகளுக்குள்ளடங்காது:, மீசோ பிளாசத்தில் கரைந்த நிலையிலிருந்தனவாகும் என்று சொல்ல முடியாது. ஏனெனில் செல்லைச் சிதற்றும்போது, அதன் பல நுண் ணுறுப்புக்களும் பிய்ந்து போவதால் அவற்றினுள் மட்டும் அடங்கி இருந்த புரொட்டீன்களும், நொதிகளும் கரைசல் திரவத்தில் கலந்துகொள்ள மிகுந்த வாய்ப்பு இருக்கிறது. எனவே கரைசல் திரவத்தின் இயக்கம் செல்லினுடைய மீசோ பிளாசத்தி னுடைய இயக்கமேயாகும் என்று சொல்ல முடியாது. எனினும் பல்வேறு செல்லுறுப்புக்களின் தனித்தனி இயக்கத்தோடு, கரைசல் திரவத்தின் இயக்கத்தை ஒப்பிட்டு நோக்கி மீசோ பிளாசத்தின் தனிப்பட்ட இயக்கத்தை ஓரளவுக்கு உய்த்து ணரலாம்.

**ஒளியலையும் சாயமேற்றலும்**

செல்லுறுப்புக்களின் தன்மையையும் இயக்கத்தையும் செல்லி லிருந்து பிரிக்காமல் செல்லினுள் அவை இயற்கையாக இருக்கும் நிலையில் கண்டறிவது, செல்லியக்கத்தை அறிவதற்குப் பயன்படும் இரண்டாவது முக்கிய வழியாகும். முன் சொல்லப்பட்ட மையத் தறுவிசையால் செல்லுறுப்புக்களைப் பிரித்து அவற்றின் இயக்கங் களைத் தனித்தனியாக அறிவதைவிட இவ்வழி மிகச் சிறந்த தாகும், எனினும் இதில் முன்னையதைவிடச் சிக்கல்களும், சிரமமும் அதிகமாகும். இவ்வழியில் கையாளப்படும் முக்கியமுறை, செல்லின் பல பகுதிகளிலும் உள்ள வேதிப்பொருள்களின் தன்மை யைக் கண்டறிவதாகும். இதில் மிக எளிமையான முறை, செல்லின் வழியாகச் சிறு ஒளிக்கீற்றைச் செலுத்தி, வெளிப்படும் ஒளியில் என்னென்ன ஒளியலைகள் உறிஞ்சப்பட்டுள்ளன என் பதைக் காணுவதாகும். ஆனால் இதற்குத் தேவையான சாதனங்கள் மிகச் சிக்கலான அமைப்புடையனவாகும். செல்லின் சிறு பகுதிகளில் மட்டும் ஒளிக்கீற்றைச் செலுத்தவேண்டுமாதலால் இதில் மைக்கிராஸ்கோப் ஒரு முக்கிய அங்கமாகும். செலுத்தப் படும் ஒளியினளவும், ஒளியலைகளிலேற்படும் மாற்றங்களும் மிக நுண்மையானதால் அவற்றை அளந்து கணக்கிட்டுக் குறிக்க மிகச் சிக்கலான சாதனங்கள் தேவைப்படுகிறது. மற்றும் வேறு படும் தன்மையை உடைய பகுதிகளின் வழியாக ஒளி ஊடுருவிச் செல்லுவதால், அவற்றில் ஒளி விலகல், ஒளிச்சிதறல் முதலியவை ஏற்படக்கூடும். இவற்றினளவையும், இயல்பையும் கண்டறிந்து கொள்ளுவது மிகக் கடினமாகும்.

ஒளி செலுத்தும் முறைக்குச் சாயமேற்றாத அல்லது சாய மேற்றிய செல்களை ஆட்படுத்தலாம். சில குறிப்பிட்ட ஒளி அலை நீளங்களைத் தெளிவாக உறிஞ்சிக்கொள்ளும் வேதிப்பொருள்கள் உள்ள செல்களைச் சாயமேற்றாமலே சோதிக்கலாம். குறிப்பாகச் செல்லில் நூயூக்ளிக் அமிலங்கள் எவ்வாறு பரவியுள்ளன என்பதை அறிய இம்முறை வெகுவாகப் பயன்படுத்தப்படுகிறது. நுயூக்ளிக் அமிலங்கள் 260$\mu$ அலை நீளத்தையும், பச்சையம் 420 $\mu$ அலை நீளத்தையும், நீக்கரிப்புற்ற சைட்டொகுரோம் C (Reduced Cytochrome C) 55$\mu$ அலைநீளத்தையும் பிரதானமாக உறிஞ்சிக்கொள்ளுகின்றன.

அனேக செல்லுறுப்புக்களும், பொருள்களும் குறிப்பிட்ட சில பொருள்களோடு சேர்ந்து நிறங்களை உண்டாக்கும் தன்மையைக் கொண்டனவாகும். அவ்வாறு நிறமெய்திய பொருள்கள் தாம்

அடையும் நிறத்துக்கேற்ப ஒளியலைகளை உறிஞ்சிக் கொள்ளுமாகையால், ஒற்றை நிற ஒளியைச் (Monochromatic Light) செலுத்தி ஒரு குறிப்பிட்ட பொருள் செல்லில் எங்கெங்கு உள்ளது என்று அறியலாம். ஆனால், இதன் வெற்றிக்கு ஒரு குறிப்பிட்ட பொருள் மட்டும் குறிப்பிட்ட நிறத்தை அடைவதும், வேறு எப்பொருளும் அதே நிறத்தை எய்தாமலிருப்பதும் அவசியமாகும். துல்லியமாக இந்நிலை அபூர்வமாகவே காணப்படுகிறது. எனினும், இம்முறையைப் பயன்படுத்தி நிறமெய்தும் பல பொருள்களின் அளவு நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளது. முக்கியமாக நூக்ளிக் அமிலமாகிய டிஎன்ஏ (DNA) யின் அளவும் ஃபாயில்ஜன் (Feulgen) சாயமேற்று முறையில் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

ஃபாயில்ஜன் சாயமேற்றுமுறைக்கு, முதலில் திசுவை அசிடிக் ஆல்கஹாலில் (acetic alcohol) கொன்று நிலையுறுத்த வேண்டும். பிறகு திசுவைப் பதினைந்து நிமிடங்களுக்கு 1.0 நார்மல் ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தில் 60°c வெப்பத்தில் வைக்க வேண்டும். இந்த நடவடிக்கை தாவர செல்களை ஒன்றோடொன்று பிணைக்கும் நடுலேமல்லாவிலுள்ள(Middle Lamella) கால்சியம் பெக்டேட்டை (Calcium Pectate) பெக்டிக் அமிலமாக மாற்றிச் செல் பிணைப்பை அகற்றுவதோடு, (DNA) யின் அமைப்பிலும் குறிப்பிட்ட மாற்றங்களைச் செய்கிறது. இதன் பிறகு திசுவைத் தூய வடிநீரால் கழுவிய பிறகு ஷிஃப் சோதனைத் திரவம் (Shi’ffs Reagent) எனப்படும் நிறம் நீக்கிய ஃபுக்சின் கரைசலில் (Decolourised Basic Fuchsin) இட்டால் DAN ஆனது தனிப்பட்ட ஒரு செந்நிறத்தை அடைகிறது. இம்முறையினுடைய சிறப்பு யாதெனின் (1) இதில் DNA மட்டுமே நிறமடைகிறது. (2) அடையும் நிறம் வேறு பொருள்களினால் பாதிக்கப்படுகிறது. (3) செல்லினுள் DNA சில குறிப்பிட்ட இடங்களில் மட்டுமே அமைந்திருக்கிறது.

செல்லில் சாயமேற்றத் தேவையில்லாத முறைகளை உயிருள்ள செல்களின் மீது பயன்படுத்தலாம். ஆனால் சாயமேற்றுவது தேவையாயின் செல்லைக் கொன்று நிலையுறுத்த வேண்டும். அவ்வாறு கொன்று நிலையுறுத்துவதில் மிகுந்த கவனம் தேவைப்படுகிறது. உயிருள்ள செல்லில் இருக்கும் பொருள்களின் இடமும் தன்மையும் மாறாது நிலையுறுத்த வேண்டுவதவசியம். இதில் முக்கியமான சிரமம் என்னவென்றால் செல்லினுள்ளடங்கிய பொருள்களனைத்தையும் மாறாது நிலையுறுத்தக்கூடிய பொருள் எதுவும் கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. ஆனால் குறிப்பிட்ட சில பொருள்களை மட்டும் நிலையுறுத்தக் கூடிய பொருள்கள் உள்ளன.

ஆகவே அவற்றை உபயோகித்து அவ்வப்பொருள்களைப் பற்றி அறியலாம்.

மேற் சொன்ன செல்வேதிய (Cytochemical) முறைகளின் சிரமங்களை ஓரளவுக்குக் குறைப்பது சில செல்லுறுப்புக்களின் இயக்கத்தைச் செல்லினுள்ளிருக்கும் போதும், செல்லிலிருந்து தனிப்படுத்தியும் அறியக்கூடுமென்பதே இவற்றை ஒப்பிட்டுப் பார்க்கும் போது அவற்றின் இயக்கங்களைப் பற்றிய உண்மைகளை மேலும் துல்லியமாக அறிந்து கொள்ள முடிகிறது.

# 5. செல்லியக்கத்தை அறிவதற்கான பொதுவேதியல்

மனித அறிவின் தொடக்க காலத்திலிருந்தே, உலகின் கண் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபடும் பல பொருட்கள் அமைந்திருப்பதை அவன் உணர்ந்ததைப் போலவே, தன்னைச் சுற்றியுள்ளனவற்றில் இடைவிடாது நிகழும் மாற்றங்களையும் கண்டிருக்கிறான். மாற்றங்களின் தன்மை, மாற்றங்களின் அடிப்படைக் காரணங்கள் ஆகியவற்றை அறிய அன்றுமுதல் இன்றுவரை அறிவியலார் பலர் இடைவிடாது முயன்று வந்துள்ளனர். வேதியலறிவின் வளர்ச்சிக்கு வித்தாக அமைந்தது ரசவாத நம்பிக்கையாகும். ஆனால் ரசவாதிகள் எண்ணியது போல் ரசவாதம் எளிதாக இல்லை, அதற்கு முன் வேதிய மாற்றங்களைப் பற்றிய பல அடிப்படை உண்மைகளைத் தெரிந்து கொள்ள வேண்டியிருந்தது.

மாற்றத்தைப் பற்றிய அறிவு முன்னேற்றத்துக்குப் பதினெட்டாம் நூற்றாண்டின் இறுதியில் அண்டாய்ன் லவாசியர் (Antoine Lavoisier) காலம் வரை இரண்டு முட்டுக்கட்டைகள் இருந்து வந்தன. முதலாவது மாற்றத்தை யறிவதற்கு, மாற்றத்தில் மாறாதன எவை என்பதை அறியவேண்டுமென்ற கருத்து உண்டாகாததாகும். முரண்பாடான இக்கருத்தின் அடிப்படை விளக்கத்தை உலகுக்கு அளித்ததே லவாசியரின் ஒப்பற்ற பணியாகும். பொருளை உண்டாக்கவோ அழிக்கவோ முடியாது என்பதையும், தனிமங்களின் அணுக்கள் வேதிய மாற்றங்களின் போது மாறுவதில்லை என்பதையும் அவர் நிரூபணஞ் செய்தார். அதற்குப் பிறகுதான் வேதிய மாற்றமென்பது அதிலீடுபடும் பொருள்களிலடங்கிய தனிமங்களின் அணுக்களுடைய மாற்றுச் சேர்க்கைகளன்றி வேறில்லை என்ற உண்மை நிலைநாட்டப்பட்டது.

மாற்றத்தைப் பற்றிய அறிவு முன்னேற்றத்துக்கு இருந்த இரண்டாவது தடை, முதலாவதைப் போல் எளிதாக அகற்றப்படக்கூடியதாக இல்லை. மாற்றத்தை நிகழ்த்தும் காரணகர்த்தா எது என்பது, அறிவியல் சோதனைகளைத் தாண்டி மனிதனுடையு

கற்பனைச் சிந்தனை சக்தியின் உயர்நிலையில் விடைகாணவேண்டிய தொரு விஷயமாக இருந்தது. பல இயக்கங்களுக்கும், மாற்றத்துக்கும் காரணமான புவி ஈர்ப்பு விசைக் கோட்பாடுதான் இது சம்பந்தமாக முதன் முதல் தோன்றிய பெரிய சிந்தனைச் சித்தாந்தமென்று சொல்லலாம். இக்கோட்பாட்டை உருவாக்குவதில் பங்கு பெற்றவர்கள் கலிலியோவும் (Galileo), குறிப்பாக நியூட்டனும் (Newton) ஆவார்கள். ஆனால் மாற்றங்களை நிகழ்த்தும் காரணகர்த்தாவாகிய ஆற்றலைப் பற்றி நியூட்டன் காலத்தவராகிய ஃபூஜென்ஸ் (Huygens) என்பவர் சில தெளிவற்ற கருத்துக்களை வெளியிட்டாராயினும் அதற்குப் பிறகு சுமார் 150 ஆண்டுகளுக்குப் பிறகே ஆற்றலைப் பற்றிய தெளிவான கருத்துகள் உருவாயின.

## அசைவும் ஆற்றலும்

பொருளின் அடிப்படை மூலமாகிய அணுக்கள் கண்ணுக்குப் புலனாகாதவையெனினும். அவற்றின் கூட்டாலான பொருள் கண்ணுக்குப் புலனாவதால், பொருளின் மிக நுண்ணிய பகுதியே அணுவாகும் என்ற கருத்தைக் கற்பனையாக ஏற்றுக் கொள்ளுவது மிகக் கடினமில்லை. ஆனால், புலன்களுக்கு நேரடியாகப் புலனாகாது மனித ஆற்றலின் உச்சமாகிய மனோ வெளியின் கற்பனையில் மட்டும் இலங்கக்கூடிய சித்தாந்தக் கருத்துகள் தோன்றுவதும், அவை ஏற்றுக் கொள்ளப்படுவதும் எளிதல்ல. அசைவை ஏற்படுத்த விசை தேவை என்பது பழங்காலமுதலே உணரப்பட்டதொரு கருத்தாயினும், விசை என்பது என்ன, அதற்கும் அதனாலுண்டாகும் அசைவுக்கும் உள்ள தொடர்புகள் என்ன என்பது வெகுகாலமாக அறியப்படவில்லை. பதினேழாம் நூற்றாண்டின் அறிவியல் மலர்ச்சியின் ஒரு முக்கியசாதனை விசை, ஆற்றல் முதலியவற்றை அளந்தறியும் வழிகளை வகுத்ததாகும். பொருட்களின் பொருண்மை (Mass) வேகம் (Velocity) வேகமிகுப்பு (Accleration) என்பனவான அளந்தறியக்கூடிய இயல்புகள் விசையோடு தொடர்புகொண்டதென்பதையும், அவ்வளவைகளின் மூலம் விசையையும் அளந்து குறிப்பிடலாமென்பனவற்றை நியூட்டன் தனது அசைவு விதிகளினால் உலகுக்கறிவித்தார். தூலமான பொருளையன்றி சூக்குமமான விசையையும் அளக்கலாம் என்ற கண்டுபிடிப்பே விசையின் வெவ்வேறு தன்மைகளான அசைவு, வெப்பம், மின்னாற்றல், காந்தம், ஒளி முதலியனவற்றைப்பற்றிய அறிவு வளர்ச்சிக்கு ஆதாரமாக அமைந்தது. ஆயினும் இடையறாமாற்றத்தின் நிலைக்களனாக நிலவும் உயிரியக்கம் நியூட்டனின் அசைவுவிதிகளின் கட்டுக் கோப்பினுள்

அடங்குவதல்ல. ஆயினும் உயிரியக்கத்துக்கும் மற்றெல்லா இயக்கங்களுக்கும் பொதுவானது ஆற்றல் என்பதை உருவகப்படுத்த நியூட்டனின் அசைவு விதிகள் வழி வகுத்தன எனலாம்.

## நியூட்டன் விதிகள்

நியூட்டனுடைய முதல் விதியின்படி நகரும் ஒரு பொருள் அதற்குப் புறம்பான சக்தியின் குறுக்கீடில்லா விட்டால் நகர்ந்து கொண்டே இருக்கும் எனக் கூறுகிறது. இதிலிருந்து நகரும் ஒரு பொருள் தன்னை நகர்த்திய விசையிலிருந்து நகராமலிருக்கும் பொருளிடமில்லாத ஒன்றைப் பெறுகிறது என்பது புலனாகிறது. இந்த ஒன்றை நியூட்டன், மொமென்டம் (Momentum) என்றும் அது பொருளின் பொருண்மை அதன் வேகம் ஆகிய இரண்டின் பெருக்கமாகுமென்றும் கூறினார். (Mass × Velocity or mv) விசை என்பது என்ன வென்று நியூட்டன் சொல்லவில்லையென்றாலும், அளந்தறியும் விதத்தில் அதனை விளக்கமுற்பட்டார். நகரும் ஒரு பொருளின்மீது வேறு விசை செயல்பட்டாலன்றி அதனுடைய வேகம் மாறாதாகையால், விசையினளவை ஒரு பொருளின் வேக மாற்றத்தைக் கொண்டு கணக்கிடலாமல்லவா? இதன்படி விசை என்பது பொருண்மை X வேகமாற்றம் (ma) ஆகும்.

மேற் சொல்லப்பட்ட மொமென்டம், விசை ஆகியவற்றில் ஆற்றலைப் பற்றியப் பேச்சில்லை. எனினும், மொமென்டம் அழியாத் தன்மைத்தாகும் என்று நியூட்டன் கூறியது ஆற்றலைப் பற்றிய சித்தாந்தம் உருவாக ஏதுவாயிற்று. நமக்குப் புலனாகும், அல்லது நம்மாலுண்டாக்கப்படும் விசையின் குறுக்கீடில்லாமலே, உராய்வின் தடுப்பு காரணமாகவே நகரும் ஒரு பொருளின் வேகம் குறைந்து அது கடைசியில் நின்று விடுவது எல்லோரும் அறிந்த தொன்றாகும். இச்சம்பவத்தில் நகரும் பொருளினுடைய மொமென்டம் வேறு எப்பொருளுக்கும் மாற்றப் படவில்லை. அப்படியானால் அந்த மொமென்டம் என்னவாயிற்று? அழிந்துவிட்டது என்று சொன்னால் அது மொமென்டம் அழியாதது என்ற கொள்கைக்கு முரண்பாடாகும். உண்மை என்னவென்றால் உராய்வினால் வெப்பம் ஏற்படுகிறது. எனவே, நகரும் பொருளினுடைய மொமென்டம் வெப்பமாக மாறுகிறது. வேகமாற்றத்தை அளக்க முடிவதுபோல் வெப்ப மாற்றமும் அளக்கக் கூடியதே. ஆனால் வெப்பம் என்பது ஒரு ஆற்றலாகும். நகரும் பொருளின் மொமென்டம் விசை X பொருண்மை யாகும். அப்பொருள் நிற்கும் பொழுது அதன் பொருண்மை மாறுவதாகத் தெரியவில்லை.

ஆனல், விசை அற்று விடுகிறது இதிலிருந்து விசையே வெப்பமாக மாறுகிறது என்ற உண்மை தெரிய வருகிறது.

விசையைப்பற்றி நியூட்டன் சொன்ன மற்ருெரு கருத்து ஆற்றல் கோட்பாட்டினை உருவாக்க மேலும் வழி வகுத்தது. அதாவது ஒரு விசை ஒரு பொருளின்மீது ஒரு முறை செயல்பட்டு அதை நகர்த்திவிட்டு நின்றுவிடாமல் தொடர்ந்து குறிப்பிட்ட காலம் செயல்பட்டுக் கொண்டே இருக்கலாம். அப்போது நகரும் பொருளின் மீது அவ்விசை ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம் செயல்படும். அவ்வாறு செயல்படும் போது அவ்விசையினளவை வேலை என்று குறிப்பிடலாம். வேலைக்கும் விசைக்குமுள்ள தொடர்பை வேலை = விசை X தூரம் $= \frac{1}{2} mv^2$ என்ற சமன்பாட்டால் நியூட்டன் விளக்கினர். எனவே, முன் குறிப்பிட்டபடி விசையானது வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றமடைகிறது என்ருல் வேலையையும் வெப்ப ஆற்றலாக மாற்றலாமென்பதும், வெப்ப ஆற்றலினளவிலிருந்து வேலையினளவை நிர்ணயிக்கலாமென்பதும் புலனுகின்றன. வேலை வெப்ப ஆற்றலாக மாறுகிறதென்ருல் மின் விசை, ஒளி போன்ற வேறு ஆற்றல்களும் வெப்ப ஆற்றலாக மாறுமா என்ற ஐயப்பாடு எழுகிறது.

## ஆற்றலை அளத்தல்

நியூட்டனுக்குப் பிறகு விசை, வேலை, வெப்ப ஆற்றல் ஆகியவற்றினிடையேயுள்ள தொடர்பினை ஆராய்ந்து அதன் காரணமாக ஆற்றல் கோட்பாட்டினை உருவாக்குவதில் முக்கிய பங்கு பெற்றவர்கள் கவுன்ட் ரம்ஃபோர் (Count Rumford), ஜூலிஸ்மேயெர் (Julius Mayer), ஜேம்ஸ் ஜோல் (James Joule), ஹெர்மன் ஹெம்ஹோல்ட்ஸ் (Hermann Helmholtz) ஆகிய நால்வருமாவர். ஒரு இரும்புக் குழலைக் கடையும்போது உண்டாகும் வெப்பத்தை கவுன்ட் ரம்ஃபோர்டு அளந்தார். ஆற்றல் அழிவற்றது என்ற கொள்கையை மேயெர் தெளிவாக விளக்கினர். வேலைக்கும் வெப்பத்துக்கும் உள்ள சமன்பாட்டை ஜேம்ஸ் ஜோல் பல வாற்ருலும் நிரூபித்தார். மின்சக்தி ஜெனரேட்டரொன்றிலிருந்து ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு வெப்பத்தை உண்டாக்கக் கூடிய மின்னுற்றலை வெளிப்படுத்துவதற்கு, அந்த ஜெனரேட்டரை இயக்குவதில் நடைபெறும் வேலையினளவையும், குறுகிய குழாயின் வழியாகப் பாயும் உராய்வினுல் ஒரு குறிப்பிட்ட வெப்பமடைவதற்குத் தண்ணீரைப் பாய்ச்சத் தேவையான வேலையினளவையும், அமுக்கத்தினுல் ஒரு வாயுவைக் குறுக்கிக் குறிப்பிட்ட வெப்பமடையச் செய்வதற்குத் தேவையான வேலையினளவையும்,

ஜோல் துல்லியமாக அளந்து கணக்கிட்டார். இவை எல்லா வற்றிலும், வேலையினளவுக்கேற்ப வெப்பமுண்டாகிறதென்று தெரிய வந்தது. அப்படியாயின் வெவ்வேறுவித வேலைகளிலும் பொதுவான ஒரு அமிசம் இருக்கிறது என்று புலனாகிறது.

ஹெர்மன் ஹெம் ஹோல்டஸ், எந்த ஒரு அமைப்பின் வேலைத்திறனும் அதிலடங்கிய ஆற்றலைத் பொருத்ததேயாகு மென்றும், அந்த ஆற்றலானது வேலையின்போது ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றுக்கு மாறுகிறது என்றும், ஆற்றல் அழிவற்றது என்றும் கணித ரீதியில் நிரூபணம் செய்தார். ஆகவே பொருளைப்போலவே ஆற்றலும் அழிவற்றதென்றால், அனைத்து நிகழ்ச்சிகளிலும், மாற்றங்களிலும் பொருள், ஆற்றல் என்ற இரு அழியா அமிசங்கள் நிலையாக உள்ளன என்றாகிறது. ஆனால், சமீபகாலத்தில் பொருள் ஆற்றல் இரண்டும் ஒன்றே என்றும், ஒன்று மற்றொன்றாக மாற்ற மடையலாமென்றும், இவ்விரண்டின் கூட்டுத் தொகையே அழியா நிலை பெற்றதென்றும் அயின்ஸ்டீன் (Einstein) என்ற தலைசிறந்த அறிவியலார் கணித ரீதியாக நிரூபித்துள்ளார். ஆற்றலுக்கும் பொருண்மைக்கும் உள்ள தொடர்பைப் புகழ்பெற்ற சமன்பாடாகிய $E=mc^2$ என்பதன் மூலம் குறிப்பிட்டார். இதில் E என்பது ஆற்றலையும், m என்பது பொருண்மையையும், c என்பதுஒளியின் வேகத்தையும் குறிப்பனவாகும்.

மேற்சொன்னவாறு ஆற்றலின் செயலுருவங்களும் நிலைத் தன்மையும் கணித ரீதியான நிரூபணத்துக்கும், விளக்கத்துக்கும் உட்படும் வண்ணம் உருவகப்படுத்தப்பட்டதென்றாலும், ஆற்றல் என்பது ஒரு சூக்குமமேயாகும். ஏனெனில் ஆற்றலின் செயல் வடிவங்களான வெப்பம், அசைவு, ஒளி முதலியனவற்றை நாம் அறியலாமேயன்றி இவற்றிற்கெல்லாம் பொதுவான ஆற்றல் என்பது என்னவென்று அறிந்தவரில்லை.

## வெப்பச் செயலியல் விதிகளும் கிரியாவற்றலும்

ஆற்றல் அழிவற்றது, என்ற ஹெம்ஹோல்ட்சின் கொள் கையே வெப்பச் செயலியலின் (Thermodynamics) முதல்விதி யாயிற்று. ஏனென்றால் ஆற்றல் மாற்றங்களைக் கண்டறிவதற்கு அது ஒரு புதிய துறையைத் தோற்றுவித்தது. மற்றும் ஆற்றல் மாற்றங்களைப் பற்றி அறிந்து கொள்ள ஒரு பரந்த அடிப்படைக் கருத்தாக அது அமைந்தது. இதனடிப்படையில், உயிர்களின் இயக்கங்களும் ஆற்றல் மாற்றங்களின் நிகழ்ச்சியேயாகும் என்று கருத முடிந்தது. உணவு செரிப்பதிலும், தாவரங்கள் ஒளிச்

சேர்க்கை நடத்தும்போதும் நிகழும் அடிப்படையான சம்பவங்கள் ஆற்றல் மாற்றங்களேயாகுமாதலால், அம்மாற்றங்களின் போக்கையும், தன்மையையும் கண்டறிவதே அந்நிகழ்ச்சிகளைப் பற்றிய உண்மையைத் தெரிந்து கொள்ளும் வழியாகும்.

ஆற்றல் மாற்றங்களைத் தெரிந்து கொள்வதற்கு மற்ருெரு முக்கியமான கேள்விக்கு விடை தெரியவேண்டி வந்தது. அதாவது ஆற்றல் மாற்றங்கள் எப்போது எந்நிலையில் நடைபெறுகின்றன. எந்நிலையில் நடைபெறமுடியாது என்ற கேள்வியாகும். இதற்கு விடைகாணும் முயற்சியில் கிரியாவாற்றல் (Free Energy) என்னும் கோட்பாடு தோன்றியது. கிரியாவாற்றல் என்பது எந்தவொரு பொருளிலும் அடங்கிய வேலைத்திறனுடைய ஆற்றலாகும். இவ்வாற்றல் வேலையைச் செய்கிறதா அல்லது வேலையைச் செய்யாமல் முடங்கியிருக்கிறதா என்பதைப் பார்க்க வேண்டியதில்லை. உயிரியலுக்கு மிகமுக்கியமான வேதிமாற்ற விதி என்னவென்ருல், ஒரு கிரியை நடைபெற வேண்டுமென்ருல், கிரியையிலீடுபடும் பொருள்களிலிருப்பதைவிடக் கிரியையால் விளையும் பொருள்களில் கிரியாவாற்றல் குறையவேண்டுமென்பதாகும். இதன்படி உயிர்களின்செல்களில் நடைபெறும் எல்லா வேதிமாற்றங்களிலும் கிரியாவாற்றற் குறைப்பு ஏற்படவேண்டுமென்பது நிச்சயமாகிறது. மற்றும் இவ்விதி எல்லாக் கிரியைகளுக்கும் பொருந்துமாதலால் உயிரற்ற ஜட உலகில் நடைபெற முடியாத எந்தக் கிரியையும், உயிரினும் நடைபெறமுடியாது என்று சொல்லலாம். அவ்வாறு ஜட உலகில் நடைபெற முடியாத தனிப்பட்ட கிரியை எதுவும் உயிரில் இல்லையென்ருல், ஜட உலகில் நடைபெறும் ஒரு கிரியை அதே போக்கில் நடைபெறுகிறதா அல்லது உயிருலகுக் கென்ற தனிப்பட்ட போக்குகள் உளவா என்பதை அறிய வேண்டியதாயிற்று. உதாரணமாக குளுகோஸ் சர்க்கரையைச் சூடுபடுத்தி அது ஆக்சிஜன் வாயுவோடு சேரும் வேதிக்கிரியை நிகழும்படிச் செய்தால், அக்கிரியையால் விளைபவை கார்பன்டைஆக்சைடும், தண்ணீருமாகும். முன் சொன்ன விதியின்படி குளுகோஸ், ஆக்சிஜன் ஆகிய இரண்டிலும் அடங்கியுள்ள கிரியாவாற்றலைவிடக் கார்பன்டைஆக்சைடிலும், தண்ணீரிலும் அடங்கிய கிரியாவாற்றல் குறைவானதாக இருக்கவேண்டும். இல்லாவிட்டால் இக்கிரியை நிகழமுடியாது. ஜட உலகில் குளுகோசும், ஆக்ஸிஜனும் சேர்ந்து கார்பன்டைஆக்சைடாகவும், தண்ணீராகவும் மாற்றமடையும் இக் கிரியை, உயிர்களின் செல்களிலும் இடைவிடாது நடைபெருவதொன்ருகும். ஆயினும் ஜட உலகில் இக் கிரியை நடைபெறத்தேவையான வெப்பநிலை

உயிர் செல்களில் இல்லை. எனவே இக்கிரியை ஜட உலகில் நடை பெறும் போக்கிலிருந்து மாறுபட்ட போக்கில் உயிர் செல்களில் நடைபெறவேண்டுமென்று தெரிகிறது.

ஒரு கிரியையினுல் ஏற்படும் கிரியாவாற்றற் குறைவு எவ்வளவோ அவ்வளவே அக்கிரியையின் வேலைத்திறனுகும். குளுகோசின் ஒரு மோல் (Mole) முழுதும் கார்பன்டைஆக்சைடாகவும், தண்ணீராகவும் மாறினுல் 673 கிலோ கலோரிகள் (Kilo Calories) வெப்ப ஆற்றல் கிடைக்கிறது. எனவே ஒரு மோல் குளுகோசிலும் அதனேடு சேரும் ஆக்சிஜனிலுமுள்ள கிரியா வாற்றலைவிட அவற்றிலிருந்து உண்டான கார்பன்டைஆக்சைடிலும், தண்ணீரிலும் 673 கிலோ கலோரி கிரியா வாற்றல் குறைவு என்று சொல்லலாம், இக்கிரியையின் வேலைத் திறனும் 673கிலோ கலோரி வெப்ப ஆற்றலின் வேலைத் திறனுகும், ஜட உலகில் நடைபெறும் போக்கில் இக்கிரியை நடைபெற்ருலும், உயிர் செல்களில் நடைபெறும் போக்கில் நடை பெற்ருலும் அதன் மொத்த வேலைத் திறன் 673 கிலோ கலோரிகளேயாகும். எனவே கிரியாவாற்றலினளவை நிர்ணயிப்பது வேலைத் திறனைக் கண்டறிய மிக முக்கியமாகும்.

வேதிக்கிரியைகளில் பல, இரு திசைகளிலும் ஒரே சூழ்நிலையில் இயல்பாக நடைபெறுவனவாகத் தெரிகின்றன. உதாரணமாக, எதைல் ஆல்கஹாலையும் (Ethyl Alcohol), அசிடிக் அமிலத்தையும் (Acetic Acid) சம அளவில் கலந்து வைத்தால், எதைல் அசிடேட்டும். (Ethyl Acetate) தண்ணீரும் உண்டாகின்றன. இதன் சமன்பாடு

$$C_2H_5OH + COOH_3CH_3 \longrightarrow C_2H_5OOCH_3 + H_2O.$$

ஆனுல் எதைல் அசிடேட்டையும், தண்ணீரையும் சம அளவில் கலந்து வைத்தால், எதைல் ஆல்கஹாலும், எதைல் அசிடேட்டும் உண்டாகின்றன. இதன் சமன்பாடு மேற்சமன்பாட்டுக்கு எதிரானதாகும்.

$$C_2H_5OOCH_3 + H_2O \longrightarrow C_2H_5OH + CH_3COOH.$$

கிரியா சக்திக் குறைப்பினுல் மட்டுமே மாற்றம் நிகழுமென்பதுண்மையாயின், ஒன்றுக்கொன்று எதிரிடையான மேற்சொன்ன இரு கிரியைகள் நடைபெறுவதெப்படி?

இதில் கவனிக்கப்பட வேண்டிய முக்கியமான விஷயம் என்னவென்ருல், மேற்சொன்ன இரு கிரியைகளிலுமே கிரியையிலீடுபடும் ஆரம்பப் பொருட்கள் முழுதும் கிரியையின் விளைபொருள்களாக

மாறுவதில்லை. கிரியையிலீடுபடும் பொருள்களும், கிரியையின் விளைபொருள்களும் ஒரு குறிப்பிட்ட அடர்த்தியில் கலந்துள்ள செயலறு கலவையாகக் (Equili brium Mixture) கிரியைக் களம் மாறுகிறது. இதை $C_2H_5OH + CH_3OOH \leftrightarrow C_2H_5OOCH_3 + H_2O$ என்ற சமன்பாட்டால் குறிப்பிடலாம். இக்கலவையின் கிரியா வாற்றல் சமன்பாட்டிலிருபுறமுள்ள பொருள்களின் கிரியா வாற்றலைவிடக் குறைவாகும். எனவே சமன்பாட்டிலிருபுறமுள்ள பொருள்களின் ஒப்பு அடர்த்தியைப் பொருத்து கிரியையின் திசை நிர்ணயிக்கப்படுகிறது.

செயலறு நிலையிலுள்ள ஒரு களத்தின் செயலறு நிலையை நிர்ணயிக்கும் சில அமிசங்களில் ஏதாவதொன்று மாற்றமடைந்தால் அம்மாற்றத்தை ஈடு கட்டும் வகையில் அக்களத்தில் மாற்றம் நிகழும் என்ற ஒரு விதியை 1885-ல் லிசேட்டிலியர் (Le Chatelier) என்பவர் வகுத்தார். இதன்படி, மேற்குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டின் இருபுறமுள்ள பொருள்களில் ஏதாவதொன்றை அகற்றி அதன் அடர்த்தியைக் குறைத்தால், அக்குறைப்பை ஈடுகட்டுவதற்காக அத் திசையில் கிரியை நிகழும். இவ்விதியானது உயிரியக்கத்தின் கிரியைப் போக்கினை விளக்குவதற்கு ஒரு முக்கிய படியாக அமைந்தது. ஏனெனில் செல்லானது பல்வேறு வேதிப்பொருள்கள் சேர்ந்து பெரும்பாலும் செயலறுகலவை நிலையிலுள்ள களமாகுமென்று கருதப்பட்டது. ஆகவே அவ்வப்போது ஏற்படும் தேவைகளுக்கேற்பக் குறையும் பொருளைப் பொருத்து இக்களத்தின் வேதியக் கிரியைகளின் போக்கும் திசையும் நிர்ணயிக்கப்படலாமென்று கருதப்படலாயிற்று. உதாரணமாகத் தசை செல்லொன்று வேகமாகச் செயல்படும்போது, உயிர்ப்புக்கிரியையின் விளைபொருள்களை வேகமாக அகற்றி உயிர்ப்பின் வேகத்தை அதிகரித்து அதிக ஆற்றலைப் பெறுகிறது எனலாம்.

அனைத்துக்கிரியைகளுக்கும் மூலாதாரமாக விளங்குவது கிரியாவாற்றல் ஆதலின், கிரியாவாற்றலின் அளவை அறிந்து கொள்ளுவது மிக முக்கியமாகும். ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டபடி, கிரியாவாற்றற் குறைப்பின்போது, குறையும் கிரியாவாற்றல் வேலை அல்லது செயல் திறனுடைய விசையாகிறது. ஆனால், ஒரு பொருளில் உள்ள மொத்த கிரியாவாற்றல் அப்பொருளின் முழு செயல் திறனுகும். இதனை எவ்வாறு கணக்கிடலாம்?

விசையாலுந்தப்படும் வேலைகள் யாவும் இடப்பெயர்ச்சியை உண்டாக்குகின்றன. வேதிக்கிரியைகளைப் பொருத்தவரை, அவை யாவும் அணுக்களின் இடப்பெயர்ச்சியேயாகும் எனலாம். வேதிக்

கூட்டுப் பொருள்களிலுள்ள அணுக்கள் வெளியேறுவதும், வேறொரு பொருளோடு சேருவதும், கூட்டுப் பொருள்களின் மூலக்கூறுகள் அப்படியே வேறு மூலக்கூறுகளுடன் சேருவதும் வேதிக்கிரியைகளில் நடைபெறும் இடப்பெயர்ச்சிகளாம். இவற்றில் வெவ்வேறு தனிமங்களின் அணுக்களும், மூலக்கூறுகளும் ஒன்றோடொன்று பிணைவதிலும், பிரிவதிலும் ஆற்றல் மாற்றங்கள் ஏற்படுகின்றன. பொதுவாக ஒரு தனிமத்தின் அணு அல்லது மூலக்கூறிலுள்ள கிரியாவாற்றலைவிட அதன் வேதிக் கூட்டுப்பொருளின் கிரியாவாற்றல் அதிகம். ஏனெனில் வெவ்வேறு தனிமங்களின் மூலக்கூறுகளையும் அணுக்களையும் வேதிக்கூட்டுப் பொருளாகப் பிணைப்பதற்கு ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. இக்கிரியைகள் யாவற்றிலும் தனிமங்களின் அணுக்கள் சிதைந்து வேறொரு தனிமத்தின் அணுவாக, மாறுவதில்லை. எனவே வேதிய மாற்றங்களில் ஈடுபடும் கிரியாவாற்றல் நிலையான அணுக்களின் இடப்பெயர்ச்சிகளினாலேற்படும் வேதி பிணைப்புகளின் ஆற்றலேயாகும். வேதிப்பிணைப்புகள் பலவாறனவை. பிணைப்பின் தன்மையைப் பொருத்தும், பிணைக்கப்படும் தனிம அணுக்கள், அல்லது மூலக்கூறுகளைப் பொருத்தும் அவற்றின் ஆற்றல் வேறுபடுகிறது. ஆனால் இவற்றின் பொதுவானதொரு தன்மை யாதெனின், யாவற்றிலும் தனிமங்களின் அணுக்களும், மூலக்கூறுகளும் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒழுங்கு நிலையில் அமைக்கப்படுகின்றன என்பதாம். இதிலிருந்து தெரிவது என்னவென்றால் ஒரு ஒழுங்கு நிலையிலுள்ள பொருளில் ஒழுங்கற்ற நிலையிலுள்ளதைவிடக் கிரியாவாற்றல் அதிகம் என்பதாம்.

வெப்ப இயங்கியலின் இரண்டாவது விதமே மேற்சொன்ன கருத்தாகும். இதன்படி இவ்வண்டத்தில் என்ட்ரோபி (Entropy) எனப்படும் ஒழுங்கின்மை இடைவிடாமல் அதிகரித்துக் கொண்டிருக்கிறது என்று சொல்லப்படுகிறது. அதாவது கிரியாவாற்றலின் குறைப்பானது ஒழுங்கின் குலைவு அல்லது ஒழுங்கின்மையின் அதிகரிப்பாகிறது. கிரியாவாற்றல் குறைப்பில்லாத இயக்கம் இல்லையாதலால், இடைவிடா இயக்கங்களின் களனாகவுள்ள அண்டத்தில் கிரியாவாற்றல் குறைப்பும் அதற்கேற்ப ஒழுங்கின்மை அதிகரிப்பதும் இடைவிடாமல் நடைபெறுகின்றன. அப்படியானால் நாளடைவில் அண்டத்தில் ஒழுங்கின்மை பூரணமாகிவிட்டால் அதற்குப் பிறகு இயக்கமனைத்தும் நின்றுவிட வேண்டுமல்லவா? ஆம் அப்படித்தான் நடைபெறும் என்று கருதப்படுகிறது. இப்பரிபூரண செயலறு நிலையை அண்டம் எய்தப் பல்லாயிரங்கோடி ஆண்டுகள் செல்லலாமென்றாலும், முதலில்

ஒழுங்கு நிலை எவ்வாறு ஏற்பட்டது என்ற கேள்விக்கு விடை தெரியவில்லை.

மேற்சொன்ன விதியினடிப்படையில் உயிர்களைப் பார்க்கும் போது உயிர்களெல்லாம் மிகவுயர்ந்த ஒழுங்கமைப்பின் உருவங்களாகும். இந்த ஒழுங்கமைப்பை உண்டாக்குவதற்கும், அவ்வொழுங்குக் குலையாமல் நிலைப்பதற்கும் இடைவிடாமல் இயக்கமும், இயக்கத்துக்கு ஆற்றலும் அவசியமாகின்றன. ஆனால் முன் சொன்னபடி கிரியாவாற்றற் குறைப்பும் அதனோடு சார்ந்த ஒழுங்கின்மையதிகரிப்புமில்லாமல் இயக்க ஆற்றல் இல்லையாதலால், உயிர்களின் ஒழுங்கை உண்டாக்கவும், நிலையுறுத்தவும் எங்கோ ஓரிடத்தில் ஒழுக்கக் குறைப்பும், கிரியா வாற்றற் குறைப்பும் நடைபெற வேண்டும். அவ்வாறு நடைபெறும் இடம் சூரியனேயாகும். சூரியனில் நிகழும் கிரியா வாற்றற் குறைப்பினால் வெளிப்பட்டு, உலகை இடைவிடாது வந்தடையும் ஆற்றலே இங்குள்ள உயிர்களின் ஒழுங்கமைப்பை, உண்டாக்கவும் நிலையுறுத்தவும் காரணமாகிறது.

வேதிய, பௌதிக விதிகளின் அடிப்படையில் உயிரைப் பற்றி முழுவதும் அறிந்து கொள்ள முடியாது; ஏனென்றால் ஜட உலகின் வேதிய பௌதிக முறைகளுக்கு அப்பாற்பட்ட தனிப்பட்ட பண்புகள் உயிருக்கு உண்டு என்ற கருத்து பழங்கால முதலே தொடர்ந்து வந்துள்ளது. இன்றும் இக்கருத்தை ஆதரிக்கும் அறிவியலார் உளர். வேதிய பௌதிக அறிவு வளராத காலத்தில் உயிர் என்பது, ஜடப்பொருள்களாலான தெனினும், அதன் இயக்கங்கள் ஜட உலகுக்கப்பாற்பட்ட சூக்குமங்களையுடையது என்று பலராலும் கருதப்பட்டது. (Louis pasteur) என்ற சிறந்த உயிரியலார் கூட இக் கருத்தை ஆதரித்தார். ஆனால் வேதியலறிவும், குறிப்பாக உயிர் வேதியலறிவும் வளரவளர, முன்பு உயிரின் களத்தில் மட்டுமே நிகழக்கூடும் என்ற கருதப்பட்ட பல இயக்கங்கள், வெளியிலும் நடைபெறக் கூடும் என்று தெரியவந்தது. அதனால் உயிரின் தன்மையையும், இயக்கங்களையும், வேதிய பௌதிக விதிகளின் அடிப்படையில் முழுமையாக அறியவும், விளக்கவும் கூடும் என்ற கருத்து வலியுறத் தொடங்கியது. இன்று பெரும்பாலான உயிரியக்கங்கள் உயிர் வேதியியலினால் விளக்கம் பெற்றுள்ளதல்லாமல். அவ்வியக்கங்களை வெளியிலும் நடைபெறச் செய்ய முடிகிறது. எனினும், மிகச் சிக்கலான அமைப்பையுடைய உயிர்க்களத்தின் எண்ணிறந்த இயக்கங்களின் கூட்டால் விளைந்து ஜட உலகிலிருந்து உயிருலகைத் தனிப்படுத்தும் பண்புகளை உயிர்க்களத்துக்கு வெளியில் இன்னும் உண்டாக்க

முடியவில்லை. ஆனால், நாளடைவில இதுவும் சாத்தியமாகு மென்றும், அப்போது உயிரியக்கங்கள் முழுவதும் வேதிய பௌதிக விதிகளால் விளக்கப்படுமென்றும் பெரும்பாலான அறிவியலார் கருதுகின்றனர். எனினும் என்னதான் வேதிய பௌதிக விதி களால் உயிரியக்கங்களை விளக்கினாலும் உயிரின் சூக்குமப் பண்புக ளான காட்சி, அறிவு, சிந்தனை முதலியன வேதிய பௌதிக விதிகளுக்கு அப்பாற்பட்டனவாகவே இருக்கும் என்று கருது வோரும் உளர். ஆயினும், உயிரின் தன்மையையும், அதன் இயக் கங்களையும் வேதிய பௌதிக விதிகளின் அடிப்படையில் ஆராய்ந் தறிய முயலுவது பயனற்றது என்று சொல்லுவோர் யாரும் இலர்.

இவ் வத்தியாயத்தில் முன் சொல்லப்பட்ட ஆற்றல், விசை, வேலை ஆகியவை உயிரற்றவை, உயிருள்ளவை என்ற வேறு பாடின்றி எல்லா இயக்கங்களுக்கும் மூலாதாரமானவை எனினும் அவ்வியக்கங்களுக்கு ஆட்படும் அணுக்களும், அணுக்கலா லமைந்த மூலக் கூறுகளும் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன. அவற்றின் கிரியாவாற்றல் எங்கு எவ்வாறு செயல்படுகிறது என்பவற்றையும் அறிந்தாலன்றி உயிரியக்கத்தைப்பற்றித் தெரிந்துகொள்ள முடியாது.

## அணுக் கோட்பாடு

1870-ம் ஆண்டில் மென்டலீவ் (Mendeleev) என்பவர் தனிமங்களின் ஒப்புவரிசையை (Periodic table of elements) வெளி யிட்டபோது அணுக்களைப் பற்றியும், மூலக்கூறுகளைப்பற்றியும் இரண்டு முக்கிய உண்மைகள் அறியப்பட்டிருந்தன. (1) அணுவை உழுவாக்கி நிலையுறுத்தும் ஆற்றல் மிக வலுவானதாகையால் அணு தனது நிலையில் எளிதாக மாறாது. ஆகவே, அணுக்களின் கூட்டாலமையும் மூலக் கூறுகளும் இயல்பாக நிலைமாற்றமடை யாதனவாகும். (2) ஒரு மூலக் கூறின் பண்புகள் அதிலமைந்த அணுக்களின் தனித்தனிப் பண்புகளின் கூட்டல்ல. மாறாகப் பல்வேறு அணுக்கள் ஒரு மூலக் கூறாக ஒன்று சேரும்போது அவற்றின் பண்புகள் ஒன்று கலந்து முற்றிலும் வேறான பண்பு களைத் தோற்றுவிக்கக் கூடுமாதலால், ஒரு மூலக்கூறிலமைந்த அணுக்களின் பண்புகளைக்கொண்டு, அம்மூலக் கூறின் பண்புகளை நிர்ணயிக்கமுடியாது. இவ்விரண்டு உண்மைகளிலு மிருந்து, அணுக்களின் தன்மை என்ன, அவை எவ்வாறு மூலக் கூறுகளாயமைகின்றன. மென்டலீவின் ஒப்பு வரிசைப்படி, ஒரே வரிசையிலமைந்த வெவ்வேறு அணுவெடைகளை (atomic weight) உடைய தனிமங்கள் ஒத்த பண்புகளைப் பெற்றிருப்ப தேன் என்ற கேள்விகள் எழுந்தன.

இவை பற்றிய ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து மனித உள்ளத்தின் கற்பனுசக்தியின் உச்சநிலையில் தோன்றியதுதான் இன்றைய அணுக்கோட்பாடு. இதன்படி அணுவென்பது நேர் மின்னேற்ற மையத்தை எதிர் மின்னேற்றம் சூழ்ந்து சுழலும் அமைப்பாகும் என்று கருதப்படுகிறது. நேர்மின்னேற்றஅணுத்துகள் புரோட்டான் (Proton) என்றும் எதிர் மின்னேற்ற அணுத்துகள் எலெக்ட்ரான் (electron) என்றும் பெயரிடப்பட்டுள்ளன. ஆகவே அணுவில் மையத்திலிருக்கும் புரோட்டான்களைச் சுற்றி எலெக்ட்ரான்கள் சூழ்ந்து சுற்றிச் சுழலுகின்றன என்று சொல்லலாம். அணுவின் மற்றும், மின்னேற்றமற்ற நியூட்ரான் (neutron) எனப்படும் துகள் களும், வேறு சில துகள்களும் அடங்கியிருக்கலாம். இவற்றில் நியூட்ரான் என்பது அணு மையத்தில் புரோட்டான்களுக்கிடை யில் அமைந்திருப்பனவாகும். மற்றும் ஒரு நியூட்ரானின் எடை ஒரு புரோட்டானின் எடைக்குச் சமமாகும். புரோட்டான்களையும், நியூட்ரான்களையும்விட எலெக்ட்ரான்கள் மிக எடை குறைந்தவை யாகும். ஆனால், மின்னேற்றத்தைப் பொருத்தவரை ஒரு எலெக்ட் ரானின் எதிர் மின்னேற்றத்தினளவே புரோட்டானின் நேர் மின்னேற்றமாகும். மற்றும் அணு மையத்தில் எத்தனை புரோட் டான்களுள்ளனவோ அத்தனை எலெக்ட்ரான்கள் அதைச் சூழ்ந்து சுழலுவதால், நேர், எதிர் மின்னேற்றங்கள் சமமாகி அணுவானது மின்னேற்றமற்றதாகிறது.

பெரும்பாலான தனிமங்களின் அணுவை நிலையுறுத்தும் சக்தி மிக வலிவானதாகையால், அணுக்கள் வேதி மாற்றங்களிலீடுபடும் போது அவற்றின் நிலை மாறுவதில்லை. அவ்வாறு நிலை மாருமல் எப்படி அணுக்கள் வேறு அணுக்களோடு சேர்ந்து வேதிய மூலக் கூறுகளை உண்டாக்குகின்றன? அணுவின் மொத்த எடையும் ஏறக்குறைய அணு மையத்திலமைந்திருப்பதையும், அணுவின் வெளிவிளிம்பாக அமைந்திருப்பவை எலெக்ட்ரான்களேயாகுமென் பதையும் சிந்திக்குமிடத்து, அணுக்கள் மூலக்கூறுகளாகச் சேரு வதில் அணுக்களின் எலெக்ட்ரான்கள் மட்டுமே பங்குக் கொள்ளக் கூடுமென்றும், மையப்பகுதி பாதிக்கப்படாதென்றும் கருதவேண்டி யுள்ளது. அப்படியாயின் அணுவின் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந் துள்ள விதமே அணுக்கள் மூலக்கூறுகளாகச் சேருவதைக் கட்டுப் படுத்தும் அமிசமாக இருக்க வேண்டும். எனவே, அணுக்களில் எலெக்ட்ரான்கள் எப்படியமைந்துள்ளன என்று தெரிந்தால், அவற்றின் வேதி ஈடுபாடுகளைத் தெளிவாக அறியக்கூடும்.

மெண்டலீவின் தனிம ஒப்பு வரிசையிலிருந்து, வேறுபடும் அணுவெடைகளையும் வேறுபடும் எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கையை

யும் உடைய பலதனிமங்கள் ஒரே மாதிரியான வேதி ஈடுபாடுகளைப் பெற்றுள்ளன என்பது தெரியவந்தது. உதாரணமாக, ஃபுளோரின் (florine), குளோரின் (chlorine), புரோமின் (bromine), அயொடின் (iodine) ஆகிய தனிமங்களின் அணுவெடை முறையே 19 முதல் 127 வரையும், எலக்ட்ரான் எண்ணிக்கை 9 முதல் 53 வரையும் உள்ளன. ஆனாலும் இவையாவும் வேதி ஈடுபாடுகளில் மிகுந்த ஒருமைப் பாட்டினைக் காட்டுகின்றன. 9 எலெக்ட்ரான்களையுடைய ஒரு தனிம அணுவும், 53எலெக்ட்ரான் களையுடைய ஒரு தனிம அணுவும் ஒத்த வேதி ஈடுபடுகளைக் கொண்டுள்ளன என்பதிலிருந்து அனுமானிக்கக் கூடியது யாதெனின், இவ்விரண்டின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு வரிசையில், குறிப்பாக வெளி விளிம்பாயமைந்த எலெக்ட்ரான்களின் அமைப்பில் ஏதோ ஒற்றுமை இருக்கிறது என்பதாம்.

## அணுவில் எலெக்ட்ரான் அமைப்பு

அணுக்களின் வேதிய ஈடுபாடுகளைப் பற்றிய உண்மைகளி லிருந்தும், மற்றபல பௌதிக இயல்புகளுலிருந்தும், அவற்றின் எலெக்ட்ரான்கள் எவ்வாறு அமைந்துள்ளன என்பதற்குப் பொது விதிகள் நிர்ணயிக்கப்பட்டுள்ளன. இதன்படி அணுவின் மையத்தைச் சுற்றி எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்து ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட வட்டங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் சுழலுவதாகக் கருதப்படுகிறது. இவ்வட்டங்கள் உள்ளிருந்து வெளிப்புறமாக K, L, M, N, O, P என்று அதிக பட்சம் ஆறு ஆகும். வெளிப்புறமாகச் செல்லச் செல்ல வட்டத்தின் சுற்றளவும், அதிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கையும் அதிகரிக்கின்றன. K வட்டத்தில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்களும், L, M, N, O, P வட்டங்களில் முறையே 8, 18, 35, 50, 72 அதிகபட்ச எலக்ட்ரான்களும் இருக்கலாம். மற்றும் எலெக்ட்ரான்களின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் போது உட்சுற்றின் அதிகபட்ச எலெக்ட்ரான்கள் நிறைந்த பின்னரே அதற்கும் வெளிச் சுற்றில் எலெக்ட்ரான்கள் அமையக்கூடும். எனவே, ஒரு அணுவின் வெளிச் சுற்றில் எலெக்ட்ரான்களின் அதிக பட்ச எண்ணிக்கை நிறைந்தோ, நிறையாமலோ வேறு படலாமன்றி உட்சுற்றுகளில் எப்போதும் அச்சுற்றுகளின் அதிக பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் நிறைந்தே அமைந்திருக்கும். ஆனால், K சுற்றைத் தவிர மற்ற சுற்றுகள் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட உபசுற்று களாக அமைகின்றன. L, M, N, O, P ஆகியவற்றிற்கு முறையே 2, 3, 4, 5, 6 உபசுற்றுகள் உள்ளன. ஒவ்வொரு சுற்றிலும் அதன் உள் உபசுற்றில் 2 எலெக்ட்ரான்களும் அடுத்த உப சுற்று

ஒவ்வொன்றிலும், அதற்குள்ளமைந்த உபசுற்றைவிட 4 எலெக்ட்ரான்கள் அதிகமாகவும் அமையும். உதாரணமாக நான்கு உப சுற்றுகளுடைய N சுற்றில் முறையே 2, 6, 10, 14 எலெக்ட்ரான்கள் உபசுற்றுகளில் அமைந்திருக்கின்றன. அதுவும் உள் உப சுற்றின் அதிகபட்ச எலெக்ட்ரான்கள் நிறைந்த பின்னரே பொதுவாக அடுத்த வெளி உபசுற்றில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைய முடியுமெனினும் அதிக எலெக்ட்ரான்களையுடைய சில அணுக்களில் உள் உபசுற்று பூர்த்தியாவதற்கு முன்பே அடுத்த வெளி உப சுற்றில் எலெக்ட்ரான்களமையலாம். இவ்விதிகளின்படி சில தனிமங்களில் எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்துள்ள விதம் கீழ்காணும் பட்டியல் 5.1ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

பட்டியல் 5.1

உயிர்க்களத்தில் காணப்படும் முக்கிய தனிமங்களின் எலெக்ட்ரான் அமைப்பும், செயலற்றவாயுக்களின் (inert gases) எலெக்ட்ரான் அமைப்பும்.

| | K | L | M | N |
|---|---|---|---|---|
| சுற்றின் பெயர்:-- | K | L | M | N |
| உபசுற்றின் எண்:— | 1 | 1 2 | 1 2 3 | 1 2 3 4 |
| அதிக பட்ச எலெக்ரான்கள்: | 2 | 2 6 | 2 6 10 | 2 6 10 14 |

| தனிமங்கள் | எலெக்ட்ரான் எண்ணிக்கை |
|---|---|
| ஹைட்ரஜன் | 1 |
| ஹீலியம் | 2 |
| கார்பன் (கரி) | 2 2 2 |
| நைட்ரஜன் | 2 2 3 |
| ஆக்ஸிஜன் | 2 2 4 |
| நியான் | 2 2 6 |
| சோடியம் | 2 2 6 1 |
| பாஸ்பரஸ் | 2 2 6 2 3 |
| சல்பர்(கந்தகம்) | 2 2 6 2 4 |
| குளோரின் | 2 2 6 2 5 |
| ஆர்ககன் | 2 2 6 2 6 |
| அயான்(இரும்பு) | 2 2 6 2 6 6 2 |
| கிரிப்டான் | 2 2 6 2 6 10 2 6 |

**அணுவமைப்பும் வேதி ஈடுபாடும்**

மேற்சொன்ன விதிகளின்படியான அணுவமைப்புக்கும் அதன் வேதி ஈடுபாட்டுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்னவென்று பார்ப்போம்?

இதுபற்றிய முக்கிய விதியாதெனின், வாய்ப்பு கிடைத்தால் ஒரு அணு தனது எலெக்ட்ரானெண்ணிக்கை அதற்கு மிக நெருங்கிய செயலற்ற வாயுவின் எலெக்ட்ரானமைப்பைப் பெறும் வண்ணம் வேதி ஈடுபாடு நிகழ்த்தும் என்பதாம். பட்டியல் 5—1ஐப் பார்க்கும்போது, செயலற்ற வாயுக்களினணுக்களிலெல்லாம் வெளிச்சுற்று அல்லது வெளி உபசுற்று அதிகபட்ச எலெக்ட்ரான்களால் நிறைந்தவை என அறியலாம். எனவே, மேற்சொன்ன விதியை வேறுவிதமாகவும் சொல்லலாம். அதாவது வாய்ப்புக் கிடைத்தால் ஒரு அணு அதன் வெளிச்சுற்று அல்லது உபசுற்றில் அதிகபட்ச எலெக்ட்ரான்களைப் பெறும்வண்ணம் வேதிய ஈடுபாடு கொள்ளும் என்பதாம். செயலறு வாயுக்களைத் தவிர மற்ற தனிமங்களிலெல்லாம் அணுவின் வெளிச்சுற்று அல்லது உபசுற்றில் அதிகபட்ச எலெக்ட்ரான்களைவிட ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எலெக்ட்ரான்கள் குறைவாக உள்ளன என்பதும் பட்டியல் 5—1ல் இருந்து தெரியவரும்.

ஒரு தனிம அணு செயலறு வாயுவின் எலெக்ட்ரானமைப்பை இருவழிகளில் பெறலாம். ஒன்று வெளிச்சுற்று அல்லது உபசுற்றில் குறைவாயுள்ள எலெக்ட்ரான்களைப் பெறுவது; இரண்டு பூர்த்தியாகாத வெளிச்சுற்று அல்லது உபசுற்றிலிலுள்ள எலெக்ட்ரான்களை இழப்பது. இவ்விரண்டு நடவடிக்கைகளிலுமே அணுவின் மின்னேற்றச் சம நிலைகுலைந்து முந்தயதில் எதிர் மின்னேற்ற அணுவாகவும், பிந்தயதில் நேர்மின்னேற்ற அணுவாகவும் மாறுகிறது. அவ்வாறு எலெக்ட்ரான் மாற்றத்தால் நேர்மின்னேற்றமடையும் இயல்பினையுடைய ஒரு அணுவும், எதிர் மின்னேற்றமடையும் இயல்பினையுடைய ஒரு அணுவும் வாய்ப்பு நேரும்போது ஒன்றையொன்று ஈர்த்து வலுவான வேதிப்பிணைப்பினால் இணையக்கூடுவனவாகும். உதாரணமாக சோடியத்தில், நியான் என்னும் செயலற்ற வாயுவை விட M சுற்றில் ஒரு எலெக்ட்ரான் மட்டும் அதிகமாகவும், குளோரினில் ஆர்கான் என்ற செயலற்ற வாயுவைவிட M சுற்றின் இரண்டாவது உபசுற்றில் ஒரு எலெக்ட்ரான் குறைவாகவும் இருக்கின்றன. எனவே சோடியம் அணு ஒரு எலெக்ட்ரானை இழந்தால் நியானைப் போன்ற ஆனால் நேர்மின்னேற்ற அணுவாகவும், குளோரின் ஒரு எலெக்ட்ரானைப் பெற்றால் ஆர்கானைப் போன்ற ஆனால் எதிர் மின்னேற்ற அணுவாகவும் மாறும் வாய்ப்புள்ளது. ஆகவே சோடிய அணுவும் குளோரின் அணுவும் கலக்கும்போது ஒன்றோடொன்று வலுவாகச் சேர்ந்து சோடியம் குளோரைடு மூலக்கூறுகின்றன. இவ்வாறு இரு வேறு தனிம அணுக்கள் பரஸ்பரம் தமக்குத் தேவைப்படும் எலெக்ட்ரான் தேவையைப் பூர்த்தி செய்து மூலக்கூறாக இணைவதற்கு மின்னேற்றப்பிணைப்பு

(electrovalent bond) என்று பெயர். அணுக்களிடையே ஏற்படும் வேதிப் பிணைப்புகளில் இதுவே மிக வலுவானதாகும்.

ஒரு சோடியம் குளோரைடு படிகமானது' நேர் மின்னேற்ற சோடியம் அயனிகளும் எதிர் மின்னேற்ற குளோரின் அயனிகளும் சமநிலையிலமைந்துள்ளதாகும். ஆனால், சோடியம் குளோரைடு படிகத்தைத் தண்ணீரில் கரைத்தால் ஒன்றோடொன்று நெருங்கிப் பிணைந்திருக்கும் இருவித அயனிகளும் தனித்தனியாகப் பிரிந்து கொள்ளுகின்றன. இதில், படிகமாக இருக்கும்போது வலுவான மின்னேற்றப் பிணைப்பால் இணைந்திருக்கும் அயனிகள் தண்ணீரில் மட்டும் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று பிரிவானேன் என்ற கேள்வி எழுகிறது.

மின்னேற்றக் கரைசல்களில் அயனிகளிடையே தண்ணீரின் மூலக்கூறுகள் புகுந்து அயனிப் பிரிவை ஏற்படுத்துகிறது என்று போதுவாகக் கருதப்படுகிறது. தண்ணீரின் மூலக்கூறுகள் அவற்றின் ஹைட்ரஜன் முனையில் சற்றே நேர் மின்னேற்றத் தையும், ஆக்சிஜன் முனையில் சற்றே எதிர் மின்னேற்றத்தையும் பெற்றவை போல நடந்து கொள்ளுகின்றன. ஆகவே, அவற்றின் நேர் மின்னேற்றமுனை எதிர் மின்னேற்ற அயனிகளாலும் எதிர் மின்னேற்ற முனை நேர்மின்னேற்ற அயனினிளாலும் ஈர்க்கப் படுகிறது. இதனால் ஒவ்வொரு அயனியும் தண்ணீரின் மூலக்கூறு களால் சூழப்படுவதால் எதிரான அயனிகளிடையே நெருங்கிய தொடர்பு ஏற்படாமல் தடுக்கப்படுகிறது. அயினிகளிடையேயுள்ள மின்னீர்ப்பு விசை இதனால் குறைகிறது. மின்னேற்றக் கரைசல் களின் சில பண்புகளை மேற்சொன்ன கருத்தினால் விளக்க முடி கிறது: உதாரணமாகப் பொட்டாசியம் அயனிகளைவிடச் சோடியம் அயனிகள் தண்ணீரில் மெதுவாகவே ஊடுபரவுகின்றன. ஆனால், பொட்டாசியம் அயனிகளைவிடச் சிறியவையான சோடியம் அயனிகள் ஊடுபரவும் போது குறைவான எதிர்ப்புக்கு ஆளாகுமா தலால், பொட்டாசியம் அயனிகளைவிட வேகமாக ஊடுபரவ வேண்டும். ஏன் அவ்வாறு நடைபெறவில்லை யென்பதற்குப் பின் வரும் விளக்கம் அளிக்கப்படுகிறது. சோடியம் அயனியின் 10 எலெக்ட்ரான்கள் மூன்று உபசுற்றுக்களிலும், பொட்டாசியம் அயனியின் 18 எலெக்ட்ரான்கள் ஐந்து உப சுற்றுக்களிலும் அமைந் திருக்கின்றன. ஆனால் இரண்டின் நேர் மின்னேற்றமும் சமமாகையால், சிறிய சோடிய அயனியில் அம்மின்னேற்றம் பெரிய பொட்டாசியம் அயனியிலிருப்பதைவிட அடர்த்தியாக அமைந்திருக்க வேண்டும். அடர்த்தி மிகுந்த மின்னேற்றம் வலிவு மிக்கதாகையால், அதிகத் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளை

ஈர்த்துக் கொள்ளும். எனவே, அதிகத் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளால் சூழப்பட்ட சோடியம் அயனி தண்ணீரில் பொட்டாசியம் அயனியைவிடப் பெரிதாகிறது. திட, கரைசல் நிலைகளில் அயனிகளின் ஆரத்தை (radius) நேரடியாக அளக்க முடியும். திட நிலையில் லித்தியம் (litium), சோடியம், பொட்டாசியம் ஆகிய மூன்று ஒத்த பண்புடைத் தனிமங்களின் அயனி ஆரங்கள் அவற்றின் அணுவெடை அதிகரிப்புக்கேற்ப முறையே 0.78, 0.98, 1.33 ஆங்ஸ்ட்ராம்களாக அதிகரிக்கின்றன. ஆனால் கரைசலில், நீர் சூழயனிகளின் ஆரம் முறையே 3.66, 2:81, 1.88 ஆங்ஸ்டாம் களாகின்றன, இதிலிருந்து, அயனியின் மின்னேற்ற அடர்த்தியைப் பொருத்துத் தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் அயனியைச் சுற்றி ஈர்த்துக் கொள்ளப்படுவது நன்கு தெரிகிறது. இதனல் பொதுவாகத் தண்ணீரானது, அயனிகளின் மின்னேற்றப் பிணைப்பின் வலிவை வெகுவாகக் குறைத்து விடுகின்றன. உயிர்க் களத்தில் தண்ணீரே மற்றெல்லாப் பொருள்களையும்விட அதிகமாதலால், அதில் மின்னேற்றப் பிணைப்பினல் மூலக்கூறுகள் நிலையுறுத்தப்படுவது அரிதாகும்.

## கூட்டுப் பிணைப்பு

அணுக்கள் மூலக் கூறுகளாயிணைவது மின்னேற்றப் பிணைப்பினல் மட்டுமேயன்று. இரண்டு அணுக்கள் தமது வெளிச் சுற்றுக்களின் எலெக்ட்ரான்களைத் தம்முள் பகிர்ந்து கொள்ளலாம். உதாரணமாக ஆக்சிஜன் அணுவின் L சுற்றில் இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் குறைவாக இருக்கிறது. கார்பன் அணுவின் L சுற்றில் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் மட்டும் இருப்பதால், அச் சுற்றில் நான்கு எலெக்ட்ரான்கள் குறைவாக இருப்பதாகவோ அதிகமாக இருப்பதாகவோ கொள்ளலாம். ஏனென்றல் அது நான்கு எலெக்ட்ரான்களை இழந்து ஹீலியம் அணுவைப்போன்ற நேர்மின்னேற்ற அயனியாகவோ, நான்கு எலெக்ட்ரான்களைப் பெற்று நியான் அணுவைப்போன்ற எதிர் மின்னேற்ற அயனியாகவோ மாற்றமடையலாம். இவ்விரு நிலைகளையும் தோற்றுவிக்கக்கூடிய விசை சமமாதலால் கார்பன் அணு இரு நிலைகளுக்கும் சமமாக ஊசலாடுவ தொன்றும். எனவே இப்படிப்பட்ட அணு நடுநிலை மின்னணு (neutral atom) எனப்படுகிறது. உண்மையில் கார்பன்தான் உயிர்ப்பொருளில் காணப்படும் அணுக்களெல்லாவற்றிலும் அதி நடுநிலைமின்னணுவாகும். கார்பனும், ஆக்சிஜனும் கார்பன்டை ஆக்சைடு மூலக் கூருகச் சேரும்போது, ஒரு கார்பன் அணுவும் இரண்டு ஆக்சிஜன் அணுக்களுக்கும் சேர்ந்து தமது வெளி எலெக்ட்ரான்களைப் பகிர்ந்து கொள்ளுகின்றன. உண்மையில் ஒரு

சமயம் கார்பன் அணு தனது நான்கு வெளி எலெக்ட்ரான்களை அணுவுக்கிரண்டாக இரண்டு ஆக்ஸிஜன் அணுக்களுக்கு ஈந்தும், மற்ற சமயத்தில் ஆக்ஸிஜன் தனது இரு அணுக்களிலிருந்து நான்கு எலெக்ட்ரான்களைக் கார்பன் அணுவுக்கு ஈந்தும் பகிர்ந்து கொள்ளுவதாகக் கருதப்படுகிறது. மற்றும் இத்தகைய எலெக்ட்ரான் பகிர்வு முறையில், எத்தனை எலெக்ட்ரரன்கள் பகிர்ந்து கொள்ளப்பட்டாலும் அவை ஜோடிகளாகவே செயல்படுமென்று கருதப்படுகிறது. அதாவது ஒரு அணுவின் ஒரு எலெக்ட்ரான் மற்ற அணுவின் ஒரு எலக்ட்ரானோடு பகிர்ந்து கொள்ளப்பட்டு ஒரு ஜோடியாகிறது. இவ்விரண்டு எலெக்ட்ரான்களும் இரு அணுக்களுக்குமிடையே சமமாகச் சுழலுவதால் அவ்வணுக்கள் மின்னேற்ற அயனிகளாக மாறுவதில்லை. ஆனால், அவற்றிடையே ஏற்படும் எலெக்ட்ரான் பகிர்வே அவற்றைப் பிணைக்கும் விசையாகிறது. இப்படிப்பட்ட பிணைப்பு கூட்டுப்பிணைப்பு (covalent bond) என்று சொல்லப்படுகிறது. இதன் வலிவு மின்னேற்றப் பிணைப்பின் வலிவைவிடக் குறைந்ததாகும். சில கூட்டுப் பிணைப்புகள் மிக வலிவற்றவையாக இருப்பதால் எளிதில் பிரிந்து போகக் கூடியனவாகும். செல்லுனுள்ளிருக்கும் பல மூலக் கூறுகள் வலிவற்ற கூட்டுப் பிணைப்பினால் உருவாகியிருக்கலாமாதலால், செல்லிலிருந்து, அவற்றை வேதிய பௌதிக முறைகளில் தனிப்படுத்தும்போது அப் பிணைப்புகள் பிரிந்து மூலக் கூறுகள் மாறி விட ஏதுவுண்டு. எனவே, அவ்வாறு மூலக்கூறுகள் மாற்றமடையாமல் அவற்றைப் பிரித்தெடுப்பது செல்லினுளுள்ள மூலக் கூறுகளின் தன்மையைப் பற்றி அறிந்துகொள்ள மிக முக்கியமாகும். இதற்காகப் பல ஆராய்ச்சிகளின் மூலம் பல வழிவகைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன.

**கார்பன், ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன்:**

உயிர்ப்பொருளில் பெருவாரியாகக் காணப்படும் கார்பன், ஆக்சிஜன், ஹைடரஜன் ஆகிய மூன்று தனிம அணுக்களும் சில தனிப்பட்ட தன்மைகளைப் பெற்றுள்ளன. முன்பே குறிப்பிட்டபடி கார்பன் அணு மற்றெந்த அணுவையும் விட மின்னேற்றச் சமநிலை அணுவாகும். ஆக்சிஜனே உயிர்ப் பொருளில் காணப்படும் மற்றெந்த அணுவையும் விட அதிக எதிர்மின்னேற்றத் தன்மையைக் காட்டும் அணுவாகும். கார்பன் அணுவும், ஆக்சிஜன் அணுவும் இணைதில்ல் கூட்டுப் பிணைப்பு மட்டுமன்றி ஓரளவுக்கு மின்னேற்றப் பிணைப்பும் ஏற்படுவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஏனென்றால் ஆக்சிஜன் எவ்வாறு வேதிச் சேர்க்கையுற்றாலும், தனது அணுவின் எலெக்ட்ரான்களை விட அதிக எலெக்ட்ரான்

களைப் பெறவே முயலுகிறது. எனவே தான் தண்ணீர் மூலக் கூறிலும், முன் குறிப்பிட்டபடி, ஆக்சிஜன்முனை எப்போதும் சற்றே அதிக எதிர்மின்னேற்றத்தைப் பெற்றதாகிறது. அங்ககவேதிக் கூட்டுகளின் (Qrganic compounds) கரையுந்தன்மை அவற்றின் மூலக் கூறிலுள்ள ஆக்சிஜனணுவின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்தே பெரும்பாலும் அமைவது ஆக்சிஜனணுவின் எதிர் மின்னேற்றத் தன்மையினாலாகுமென்று கருதப்படுகிறது.

தனிம அணுக்களெல்லாவற்றிலும் மிகத் தனித்தன்மை பெற்றது ஹைட்ரஜன் அணுவாகும். ஏனெனில் ஒரே ஒரு எலெக்ட்ரானை இழப்பதாலோ, பெறுவதாலோ நிலைத்த அயனியாக அது மாறக்கூடும். ஒரு எலெக்ட்ரானைப் பெற்றால் அது ஹீலியம் அணுவைப் போன்ற எதிர்மின்னேற்ற அயனியாகவும், ஒரு எலெக்ட்ரானை இழந்தால் அணுவமைப்பினில் மிகச்சிறிய நேர்மின் னேற்றப் புரோட்டானாகவும் மாறுகிறது. கார்பன், அணுவோடு கூட்டிணைப்பையும், ஆக்சிஜன் அணுவோடு கூட்டு, மின்னேற்றப் பிணைப்புகள் கலந்த இணைப்பையும் பெறுகிறது. ஹைட்ரஜன் அணுஎதிர் முன்னேற்ற அயனியாகச் செயல்படக் கூடுமெனினும், ஆக்சிஜன், நைட்ரஜன் ஆகியவற்றோடு சேரும் பொழுது எப் போதும் நேர்மின்னேற்ற அயனியாகவே செயல்படுகிறது.

**கரைசலின் சில பண்புகள்**

உயிருக்குத் தண்ணீர் எவ்வளவு முக்கியமானது என்பது வெகு காலத்துக்கு முன்பிருந்தே தெரிந்ததொன்றாகும். முடக்க நிலையிலுள்ள விதைகள், ஸ்போர்கள் முதலிய சில உயிர்வாழ் பொருள்களைத் தவிர, செல்கள் பொதுவாக 80%க்கும் மேல் தண்ணீரைக் கொண்டிருப்பதுடன், நேரடியாகவோ, மறைமுக மாகவோ தண்ணீர்க் கரைசலினால் சூழப்பட்டிருக்கின்றன. ஒற்றைச் செல்லுயிர்கள் நீரில் வாழ்கின்றன. பல் செல்லுயிர் களில் பல நீரினுள் வாழாவிட்டாலும், அவற்றின் வெளிப்புறச் செல்கள் மட்டுமே நீரற்ற சூழ்நிலையைச் சந்திக்கின்றன. உட்புறச் செல்கள் நீர்க் கரைசல்களால் சூழப்பட்டே இருக்கின்றன. வெளிப்புறச் செல்களும், உட்புறச் செல்களிலிருந்து தண்ணீர் வெளியேறா வண்ணம் பாதுகாப்பாகவே அமைந்துள்ளன. தண்ணீரில்லா விட்டால் இலைகள் வாடுவதையும், தண்ணீரைப் பெற்றவுடனே தளதளப்பாவதையும் ஆதிகாலந் தொட்டே மனிதன் அறிந்திருக்க வேண்டும். உயிர்த்திசுக்களெல்லாம் செல்லாலானவை என்று தெரிந்த பிறகு செல்கள் தண்ணீரை எடுத்துக் கொண்டு விறைப்பாவதே இலைகள் தளதளவென்றாவ தற்குக் காரணமென்றும், தாவர செல்கள் வலுவான செல் சுவரால்

சூழப்பட்டிருப்பதால், வெடித்துப் போகும் அபாயமின்றி அதிக தண்ணீரை உறிஞ்சிக் கொள்ளக் கூடுமென்றும் கருதப்படலா யிற்று. ஆனால், செல்கள் எவ்வாறு தண்ணீரை எடுத்துக் கொள்ளுகின்றன. செல்லியக்கத்தில் தண்ணீரின் பங்கு என்ன என்பனவற்றை அறிவது எளிதாக இல்லை.

சுமார் நூறாண்டுகளுக்கு முன்பே, தாவர செல்கள் நஞ்சல்லாத பல பொருள்களின் அடர்கரைசலால் சூழப்பட்டால் செல்களின் புரோட்டோபிளாசம் செல்சுவரிலிருந்து சுருங்கிக் கொள்ளுகின்றனவென்றும், அவற்றை மீண்டும் தண்ணீரிலிட்டால், அவற்றின் புரோட்டோபிளாசம் விரிந்து பழைய நிலையை அடைகின்றன என்றும் அறியப்பட்டது. இதைப்பற்றி மேற்கொள்ளப் பட்ட பல ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து செல்கள் தண்ணீரை இழப்பதனுல் சுருங்கவும், தண்ணீரைப் பெறுவதனுல் விரியவும் நேரிடுகிறது என்று தெரிய வந்தது. தண்ணீர் செல்லைவிட்டு வெளியேறவும், செல்லுக்குள் புகவும், செல்லினுள்ளும், வெளியிலும் இருக்கும் தண்ணீரில் கரைந்துள்ள கரைபொருளின் அடர்த்தியே காரணமாகுமென்றும் தீர்மானிக்கப்பட்டது. வெளியிலுள்ள கரைசலில் கரைபொருளின் அடர்த்தி மிகுந்திருந்தால் செல்லிலிருந்து தண்ணீர் வெளியேறுகிறது. அதற்கு எதிர்மாறாக இருந்தால் செல்லுக்குள் தண்ணீர் புகுகிறது. மற்றும், தண்ணீரை மட்டும் உள்ளும் புறமும் செல்ல அனுமதித்து, கரைசலிலுள்ள கரைபொருட்களை அனுமதிக்காத அமைப்பைச் செல்லின் வெளிவிளிம்பு பெற்றிருக்கிறது என்றும் அனுமானிக்கப்பட்டது ஆஸ்மாசில் (Osmosis) : வில்லெம் பெஃப்பர் (Wilhelm Pfeffer) என்பவர் ஒரு களிமண் பாத்திரத்தின் சுவற்றில் மேற்சொன்ன அமைப்பை உண்டாக்கினுர். பாத்திரத்தில் பொட்டாசியம் ஃபெர்ரோசையனைடு (potassium ferrocyanide) கரைசலை நிரப்பி அதை காப்பர் சல்பேட் (copper sulphate) கரைசலில் மூக்கி வைத்தார். நுண்துவாரங்களுள்ள களிமண் பாத்திரச்சுவர் வழியாக மின்சாரத்தைப் பாய்ச்சுவதன் மூலம், பொட்டாசியம் ஃபெர்ரோசயனைடும், காமபர் சல்பேட்டும் வேதிச் சேர்க்கையாலிணைந்து உண்டாக்கும் காப்பர் ஃபெர்ரோசயனைடு (copper ferrocyanide) சுவர்த்துளைகளில் படிகிறது. இதனுல் களிமண் பாத்திரச்சுவர் தண்ணீரை மட்டும் உள்ளும் புறமும் அனுமதித்து தண்ணீரில் கரைந்துள்ள பொருள்களை அனுமதியாது தெரிகடத்தும், (semipermeable) தன்மையை அடைகிறது. இந்தப் பாத்திரத்தில் பல்வேறு கரைசல்களை நிரப்பி, ஒவ்வொன்றிலும் தண்ணீர் உட்புகும் விசையை பெஃபர் கணக்கிட்டார். அதிலிருந்து, பாத்திரத்தினுள்ளிருக்கும் கரைசலின் கரைபொருளடர்த்திக்கு நேர்விகிதத்தில் தண்ணீரின் உட்புகும் விசை இருக்கிறதென்று நிர்ணயித்தார். இவ்வாறு ஒரு

தடுப்பினூடே தண்ணீரைத் தவிர மற்ற கரை பொருள்கள் செல்லாதது ஆஸ்மாசிஸ் (osmosis) என்றும் அதன் விசை ஆஸ்மாசிய அமுக்கமென்றும் (osmofic pressure) சொல்லப்படுகின்றன.

ஆஸ்மாசிஸ் நடைபெறக் காரணம் யாதெனின், தண்ணீரில் ஒருபொருள் கரைந்தால், கரையும் பொருளின் அடர்த்திக்கேற்ப கரைசலில் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளின் விகிதம் குறைகிறது. கரை பொருளடர்த்தி வேறுபடும் இருகரைசல்களைத் தெரிகடத்தும் தடுப்பால் பிரித்தால், கரை பொருளடர்த்தி குறைந்த கரைசலில் மற்றதைவிடத் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளின் விகிதம் அதிகமாதலால் அவை தண்ணீர் மூலக் கூறுகளின் விகிதம் குனறவான மற்ற கரைசலிலிருந்து வருவதைவிட அதிக எண்ணிக்கையில் தடுப்பைத் தாண்டிச் சென்று இரண்டு கரைசல்களிலும் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளின் விகிதத்தைச் சமன்படுத்தும் வகையில் செயல்படுகின்றன, எனவே ஆஸ்மாசிஸ் விசை கரைபொருளடர்த்திக்கு நேர் விகிதத்திலமைகிறது. சில கரைசல்களின் ஆஸ்மாசிய அமுக்கம் பட்டியல் 5.2ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

**பட்டியல் 5-2 சில கரைசல்களின் ஆஸ்மாசிய அமுக்கம் 20°C வெப்பத்தில்**

| கரைபொருள் | மோலர் அடர்த்தி | ஆஸ்மாசிய அமுக்கம் (வளிவெளிகள்) |
|---|---|---|
| குளுகோஸ் | 0.01 | 0.24 |
| | 0.1 | 2.45 |
| | 0.5 | 13.22 |
| | 1.0 | 27.67 |
| சுக்ரோஸ் | 0.01 | 00.24 |
| | 0.1 | 2.51 |
| | 0.5 | 13.77 |
| | 1.0 | 32.89 |
| சோடியம் குளோரைடு | 0.01 | 0.47 |
| | 0.1 | 4.51 |
| | 0.5 | 22.25 |
| | 1.0 | 46.5 |

**ஊடு பரவல்** (Diffusion )ஆஸ்மாசிசானது, ஊடுபரவல் என்னும் பொதுநிகழ்ச்சியின் ஒருபகுதியேயாகும். ஆஸ்மாசிசில் நகரும் பொருள் தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் மட்டுமே. தண்ணீர் மூலக் கூறுகளை மட்டுமேநகர அனுமதிக்கும் தடுப்பால் இது சாத்தியமாகிறது.

ஆனால் அத்தடுப்பைஅகற்றினால் மூலக்கூறுகளின் நகர்வு வேருகிறது. தண்ணீர் மூலக்கூறுகள் மட்டுமல்லாமல், கரைபொருளின் மூலக் கூறுகளும் நகர்ந்து மொத்தக் கரைசலில் மூலக் கூறுகளெல்லாம் சம அடர்த்தி அடையும். மூலக் கூறுகளவ்வாறு நகரும் வேகமானது, அவற்றின் பரிமாணம், கரைதிறன், அடர்த்தி ஆகியவற்றைப் பொறுத்து அமையும். சிறிய, உருண்டை வடிவ மூலக்கூறுகள் பெரிய, நீள்வடிவ மூலக் கூறுகளை விடக்குறைவான உராய்வையும் எதிர்ப்பையும் எதிர்கொள்ளுமாதலால், வேகமாக நகரும். அதேபோல் கரைதிறனதிகமுள்ள மூலக்கூறுகள், கரைத்திறன் குறைந்தனவற்றை விடவும், அடர்த்தி மிக்கவை அடர்த்தி குறைந்தனவற்றை விடவும் வேகமாக ஊடுபரவும் ஆனால், மற்ற அமிசங்கள் ஊடுபரவும் வேகத்தை மட்டுமே பாதிக்கும்போது அடர்த்தி வித்தியாசம் மட்டும் வேகத்தை மட்டுமன்றி, திசையையும் நிர்ணயிக்கிறது. அதாவதுஅடர்த்தி மிகுந்த இடத்திலிருந்து, அடர்த்தி குறைந்த திசையில் மட்டுமே மொத்தத்தில் அதிக மூலக்கூறுகள் ஊடுபரவிச் செல்லும்.

ஊடுபரவலின் வேகத்தையும், அளவையும் அளப்பது மிகச் சிரமமாகும். ஆனாலும் ஏ. இ. ஃபிக் (A. E Fik) என்பவர் சில அனுமானங்களின் அடிப்படையில் ஊடுபரவு விதி ஒன்றைக் கண்டுபிடித்தார். அதாவது $S = -D\ dc/dx$ என்பதாம். இதில் s என்பது ஊடுபரவும் வேகத்தையும், dc என்பது 1 சதுர சென்டி மீட்டர் பரப்பளவுள்ள குழாயிலடங்கிய கரைசலில் ஊடுபரவலால் ஓரிடத்திலேற்படும் அடர்த்தி வேறுபாட்டையும், dx என்பது அடர்த்தி வேறுபாடு உண்டாகும் தூரத்தையும், D என்பது ஊடு பரவு திறனையும் குறிப்பதாகும். ஊடுபரவு திறன் ஒவ்வொரு மூலக்கூறுக்கும் தனிப்பட்டதாகும். மேற்சொன்னபடி ஊடுபரவு திறன் மூலக்கூறின் பரிமாணம், உருவம், கறைதிறன் ஆகியவற்றைப் பொருத்ததாகும். இவ்விதியினடிப்படையில் பல கரைபொருள்களின் ஊடுபரவுத் திறனைக் கணக்கிட்டு, மூலக்கூறெடையோடு அதற்குள்ள தொடர்பை நிர்ணயிக்க முற்பட்டார்கள். மூலக்கூறெடைக்கு எதிர்விகிதத்தில் ஊடுபரவு திறனிருக்கவேண்டும் என்ற அனுமானம் ஓரளவுக்கே உண்மையாயிருப்பது தெரியவந்தது. ஏனென்றால் மூலக்கூறின் எடையைத் தவிர, அதன் உருவமும், ஊடுபரவு களத்தின் பிசுக்கும் (viscocity) ஊடுபரவு திறனைக் கட்டுப்படுத்தும் அம்சங்களாக இருக்கின்றன மூலக்கூறின் உருவத்தை நிர்ணயிப்பது அவ்வளவு எளிதானதல்ல. இப்போது இவற்றிற்கான பல வழிமுறைகள் வகுக்கப்பட்டுள்ளன என்றாலும், 1905ம் ஆண்டிலேயே சதர்லேண்டு (Sutherland) என்பவர், பல கரைசல்களில் ஊடுபரவு

திறன் ஏறக்குறைய மூலக்கூறெடையின் க்யூப்ரூட்டுக்கு (cube root) எதிர்விகிதத்தில் அமைந்திருப்பதாகக் கண்டார். இதிலிருந்து செல்லுக்குள்ளும், செல் சவ்வைத்தாண்டியும் ஊடுபரவு திறன் எல்லா மூலக் கூறுகளுக்கும் ஏறக்குறைய சமமாகும் என்று தெரியவந்தது. ஏனென்றால் மேற்சொன்ன கணக்குப்படி, மூலக்கூறெடை 27 மடங்கு அதிகரித்தால் ஊடுபரவுதிறன் மூன்றில் ஒரு பங்கே குறையும். எனவே ஊடுபரவுதலை நிர்ணயிக்கும் அமிசங்களில் அடர்த்தியே பிரதானமானது என்று சொல்லலாம்.

அயனிப் பிரிவு (Dissociation): ஊடுபரவுதல், ஆஸ்மாசிஸ் ஆகியவை கரைபொருள் மூலக்கூறுகளின் அடர்த்தி விகிதத்தை நேரடியாகப் பொறுத்ததென்று கண்டோம். சில கரைபொருள்கள் தண்ணீரில் கரைந்ததும், அயனிகளாகப் பிரிகின்றன இதைப்பற்றி முதன் முதல் விரிவான சோதனைகள் செய்தவர் மைக்கேல் ஃபாரடே (Michael Faraday) ஆவார். கரைசல்களைப் பொதுவாக இரண்டு வகையாகப் பிரிக்கலாமென்று அவர் கண்டார். ஒன்று மின்னேற்றக்கரைசல் (electrolyte), இரண்டு மின்னேருக் கரைசல் (non electrolyte) மின்னேற்றக் கரைசலில், கரைபொருளின் மூலக் கூறுகள் நேர், எதிர் மின்னேற்ற அயனிகளாகப் பிரிந்திருக்கின்றன. ஆனால் மின்னேருக் கரைசல்களில், கரைபொருளின் மூலக்கூறுகள் அயனிகளாகப் பிரியாமல் மூலக்கூறுகளாகவே இருக்கின்றன. ஆகையால் மின்னேற்றக் கரைசல்கள் நல்ல மின் கடத்திகளாகவும், மின்னேருக் கரைசல்கள் மின்கடத்தாதனவாகவும் இருக்கின்றன. ஊடுபரவல் ஆஸ்மாசிஸ் ஆகியவற்றைப் பொருத்தவரை, மின்னேற்றக் கரைசல்களில் கரைபொருளின் மூலக் கூறு ஒவ்வொன்றும் இரண்டு அயனிகளாகப் பிரிவதால் மூலக்கூறின் அடர்த்தியைவிட அயனி அடர்த்தி இரண்டு மடங்காகிறது. கரைசல்களில் அயனிகள் தனித் துகள்களாக நடந்து கொள்ளுவதால், மின்னேற்றக் கரைசல்களின் ஆஸ்மாசிய அழுக்கம் கரைபொருளடர்த்தியைப்போல் ஏறக்குறைய இரண்டு மடங்காகிறது. பட்டியல் 5.2ல் இருந்து இதை உணரலாம். மின்னேற்றமுள்ள சோடியம் குளோரைடு கரைசல், குளுகோஸ் சுக்ரோஸ் ஆகியவற்றின் மின்னேருக் கரைசலைவிட ஏறக்குறைய இருமடங்கு ஆஸ்மாசிய அழுக்கத்தைக் காட்டுகிறது.

மின்னேற்றக் கரைசல்களில் கரை பொருளின் மூலக்கூறுகள் அனைத்தும் அயனிகளாகப் பிரிகின்றனவா, அல்லது சில மட்டுமே பிரிகின்றனவா என்பது முக்கியமான கேள்வியாகும். ஹைட்ரோ

குளோரிக் அமிலம், சோடியம் குளோரைடு முதலியவற்றின் மின்னேற்றக் கரைசல்கள், சம மோலார் அடர்த்தி பெற்றவை யாயின், சமமான ஆஸ்மாசிய அழுக்கத்தைக் காட்டுகின்றன. ஆனால், அசிடிக்ஆசிட், அமோனியம் ஹைட்ராக்சைடு முதலிய வற்றின் அதே மோலார் அடர்த்தியுள்ள கரைசல்கள் குறைவான ஆஸ்மாசிய அழுக்கத்தைக் காட்டுகின்றன. எனினும் இது குளு கோஸ் போன்ற மின்னேருக் கரைசல்களின் ஆஸ்மாசிய அழுக் கத்தைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. மற்றும் சோடியம் குளேரைடு ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலம் ஆகியவற்றின் கரைசல், அசிடிக் அமிலம், அமோனியம் ஹைட்ராக்சைடு ஆகியவற்றின் அதே மோலார் அடர்த்திக் கரைசல்களைவிட அதிகமான மின்சக்தியைக் கடத்துகின்றன. அதற்குக் காரணம் யாதெனில் மின்னேற்றக் கரைசலை உண்டாக்கும் கரை பொருள்களின் மூலக்கூறுகள் ஒரே அளவான அயனிப் பிரிவை அடைவதில்லை என்பதாம். ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலம், சோடியம் குளோரைடு முதலிய வற்றின் மூலக்கூறுகள் முழுவதுமே அயனிப்பிரிவு அடைகின்றன. ஆகவே இவற்றின் கரைசல்கள் அதிமின்னேற்றக் கரைசல் (strong electrolyte) எனப்படுகின்றன. அசிடிக் அமிலம், அமோனியம் ஹைட்ராக்சைடு முதலியவற்றின் மூலக்கூறுகள் ஓரளவே அயனிப் பிரிவடைகின்றன. எனவே, இவற்றின் கரை சல்கள் குறை மின்னேற்றக் கரைசல் (Weak electrolyte) எனப்படு கின்றன.

துல்லியமான கனிதமுறையில் குறிக்கப்படாமல், அதிகம், குறைவு எனப்படும் தோராயக் குறிப்பீடுகளுக்கு அறிவியலில் அதிகப் பயனில்லை. எனவே சில பொருள்கள் அதிக அயனிப் பிரிவையும், சில குறைவான அயனிப்பிரிவையும் அடைகின்றன என்பதை வைத்து அவற்றைப் பற்றித் துல்லியமாக எதனையும் அறிந்துகொள்ள முடியாது அயனிப் பிரிவைப் பற்றி துல்லியமான கணக்கீடுகளுக்கு முதன் முதல் வழி வகுத்தவர் அர்ரீனியஸ் (Arrhenius) என்பவராவார். குறை மின்னேற்றக் கரைசலில், கரை பொருளின் மூலக்கூறுகள் அயனிகளாகப் பிரியும் அதே சமயத்தில் அயனிகள் சேர்ந்து மூலக்கூறுகளாவதும் நடைபெறும் என்று அவர் அனுமானித்தார். இவ்விரண்டும் சமவேகத்தில் நடை பெற்றால் கரைசலில் மூலக்கூறுகள், அயனிகள் ஆகியவற்றின் எண்ணிக்கையும் சமநிலையிலிருக்கும். இது சமநிலைக்கட்டம் (equilibrium point) எனப்படும். இந்த சமநிலைக் கட்டத்தைக் கரைசலின் மோலர் அடர்த்தியிலிருந்து காண அர்ரீனியஸ் ஒரு சமன்பாட்டை வகுத்தார். உதாரணமாக அசிடேட் அயனிகளா

கவும், ஹைட்ரஜன் அயனிகளாகவும் பிரியும் அசிடிக் அமிலக் கரைசலின்சமநிலைக்கட்டத்தைக் குறிக்கும் சமன்பாடு

$$\frac{[CH_3\ CON^-]\ [H^+]}{[CH_3\ COOH]} = K$$

என்பதாம். இதில் K என்பது அயனிப் பிரிவுத் திறனாகும். அசிடிக் அமிலத்தின் அயனிப் பிரிவுத்திறன் 25°C வெப்பத்தில் $1.75 \times 10^{-5}$ ஆகும். வெவ்வேறு பொருள்களின் அயனிப் பிரிவுத்திறன் வெவ் வேறாக உள்ளது. இத்திறன் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, அயனிப் பிரிவடையும் மூலக்கூறுகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது. ஆனால், இதில் முக்கியமாகக் கவனிக்க வேண்டியது என்ன வென்றால் அயனிப் பிரிவடையும் மூலக்கூறுகளின் ஒப்புவிகிதம் கரைசலின் அடர்த்தியைப் பொருத்ததாகும் என்பதே. எனவே ஒரு குறை மின்னேற்றக் கரைசலில், கரைபொருளின் அடர்த்தி குறையக் குறைய, அயனிப் பிரிவடையும் மூலக்கூறுகளின் விகிதம் அதிகரிக்கிறது. ஆனால், அதிமின்னேற்றக் கரைசல்களில் கரை பொருளின் பல்வேறு அடர்த்திகளிலும், எல்லா மூலக்கூறு களுமே அயனிப் பிரிவடைகின்றன. ஆனால் மிக அதிக அடர்த்தியில், குறை மின்னேற்றக் கரைசல்களில் மேற் சமன் பாட்டின்படி அயனிப் பிரிவு நடைபெறுவதில்லை. அதேபோல் அதிமின்னேற்றக் கரைசல்களிலும் எல்லா மூலக்கூறுகளும் அயனி களாகப் பிரிந்திருப்பதில்லை.

**ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி அல்லது PH மட்டம்**

செல்லியக்கத்தைப்பற்றி அறிந்து கொள்ளுவதற்கு, ஹைட் ரஜன் அயனிகளின் அடர்த்தி விகிதம் ஆகியவை மிக முக்கியமான தாகும். ரிங்கர் (Ringer) என்பவர் தவளையிலிருந்து வெட்டி எடுக்கப்பட்ட தவளை இதயத்துடிப்பு நில்லாமல் தொடரச்செய்யக் கூடிய ஒரு கரைசலைக் கண்டுபிடிக்க முயன்றபோது, கால்சியம், சோடியம், பொட்டாசியம் ஆகியவை ஒரு குறிப்பிட்ட விகிதத்தில் அமைந்த கரைசலைக் கண்டுபிடித்தார். ஆனால் அதில் கொஞ்சம் சோடியம் பைகார்பனேட்டைச் சேர்த்து, காரத்தன்மையைச் சற்றே அதிகரித்தால், இதயத்துடிப்பு மேலும் நல்ல முறையில் நடைபெறுவதைக் கண்டார். எனவே அதிகமான காரத் தன்மையோ, அமிலத்தன்மையோ உயிரைக் கொல்லுமாயினும், இவற்றின் சிறு வேறுபாடுகள் உயிரியக்கத்தை மாற்றியமைக்கக் கூடியது என்று தெரிய வந்தது. உண்மையில் ஏறக்குறைய எல்லா செல்லியக்கங்களும் ஹைட்ரஜன் அயனிகளினால் முறைப் படுத்தப்படுகின்றன என்று தெரிய வந்துள்ளது. எனவே கரைசல் களில் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி எவ்வாறு முறை ப்படுத்தப் படுகிறது என்பதை அறிவது மிக அவசியமாகும்.

ஒரு அதிமின்னேற்றக் கரைசலின் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியைக் கூட்டுவதோ, குறைப்பதோ எளிதல்ல. ஆனால் செல்களில் வெகுவாகக் காணப்படுவது குறை மின்னேற்றக் கரைசல்களாகும். குறை மின்னேற்றக் கரைசலில் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி எவ்வாறு முறைபடுத்தப்படுகிறதென்பதை அர்ரீனியஸ் விதியிலிருந்து ஒருவாறு அறியலாம். இவ்விதியின் படி குறைமின்னேற்றமுடைய அசிடிக் அமிலத்தின் கரைசலில், ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியையும், அசிடேட் அயனி அடர்த்தியையும் பெருக்கி, அசிடிக் அமில மூலக்கூறு அடர்த்தியால் வகுத்தால் வரும் அளவு எப்போதும் மாறுததாக இருக்கும். இதில் ஹைட்ரஜன் அயனிகள் எப்பொருளிலிருந்து வந்தவையாக இருக்க வேண்டுமென்று சொல்லப்படவில்லை. ஆகவே அசிடிக் அமிலக்கரைசலில், மற்றொரு ஹைட்ரஜன் அயனித் தோற்றுவியான ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தைச் சேர்த்தால், அதன் ஹைட்ரஜன் அயனிகளும் அசிடிக் அமிலத்தின் அயனிப் பிரிவு சமநிலையில் ஈடுபடுகின்றன. (ஆனால் குளோரைடு அயனிகள் ஈடுபடா.) ஹைட்ரோ குளோரிக் அமிலத்தைச் சேர்த்ததால் வெளிப்படையாக எந்த மாற்றமும் நிகழாதாயினும் மொத்த கரைசலில் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியையும் அசிடேட் அயனி அடர்த்தியையும் பெருக்கி வரும் தொகை அதிகரிக்கும். ஆகவே அயனிப் பிரிவு சமநிலை மாறுமலிருக்க வேண்டுமென்றால், அசிடிக் அமில மூலக்கூறுகளினடர்த்தியும் தகுந்த அளவு அதிகரிக்க வேண்டும். உண்மையில், அதிகரித்த ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் ஒருபகுதி அசிடேட் அயனிகளுடன் சேர்ந்து, அசிடிக் அமில மூலக்கூறுகளாகின்றன. ஆகவே அயனிப்பிரிவு சமநிலையில் மொத்த கரைசலின் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியை, அசிடேட் அயனி அடர்த்தியால் பெருக்கி, அசிடிக் அமில மூலக்கூறு அடர்த்தியால் வகுத்தால், அசிடிக் அமிலம் மட்டும் கரைந்த கரைசலுக்குப் பெறப்படும் அதே அளவு தான் வரும். அதாவது அயனிப்பிரிவு சமநிலையிலுள்ள ஒரு கரைசலில் அடங்கியவற்றில் ஏதேனும் ஒன்றை மட்டும் அதிகரித்தால், அதிகரிக்கப்பட்ட பொருளின் அடர்த்தியைக் குறைக்கும் வழியில் கரைசலில் மாற்றம் நடைபெறுகிறது. எனவே அதிமின்னேற்றக் கரைசலாகக்கூடிய வலிய அமிலமொன்றைக் குறை மின்னேற்றக் கரைசலாகும் ஒரு பொருளின் கரைசலோடு கலக்கினால், மொத்த கரைசலின் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி வலிய அமிலம் முழுதும் அயனிப் பிரிவடைவதால் உண்டாகக் கூடியதைவிடக் குறைந்து விடுகிறது. இதே நடப்பு, காரங்களின் கரைசலுக்கும் காரங்களும் அமிலங்களும், கலந்த கலவைக் கரைசலுக்கும் பொருந்துவதாகும். இவற்றினடிப்படையில் 1905 ஆம்

ஆண்டு சொரென்சன் (Sorensen) என்பவர் ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியை எளிய முறையில் எண்களால் குறிப்பிட ஒரு வழி வகுத்தார். அதுவே PH மட்டம் (PH scale) எனப்படுவதாகும். இதன் முழு விபரத்தையும் தெரிந்துகொள்ளுமுன் தூய தண்ணீரின் சில பண்புகளைப் பற்றி முதலில் தெரிந்து கொள்ளவேண்டும்.

தண்ணீரின் மூலக் கூறுகள் ஓரளவுக்கு அயனிப் பிரிவடைகின்றன என்பது அதன் மின் கடத்துந் திறத்திலிருந்து தெளிவாகத் தெரிகிறது. தண்ணீரின் மின் கடத்துந்திறன் அதில் அசுத்தங்களாக நுண்ணளவில் கலந்து அயனிப் பிரிவடையும் சில உப்புக்களினுலாகுமென்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால், தண்ணீரை மிகத் தூய்மைப்படுத்திய பிறகும் அதனுடைய மின் கடத்துந் திறன் ஓரளவுக்கு மேல் குறையவில்லை. மைக்கேல் பாரடே தமது சோதனைகளால், ஒருகரைசலின் மின்கடத்துந் திறனிலிருந்து அதிலடங்கிய அயனி அடர்த்தியையும், ஆகவே அயனிப் பிரிவினளவையும் கண்டறியலாமென்று தெளிவுபடுத்தினுர். அவ்வாறுதண்ணீரின் அயனிப் பிரிவினளவைக் கணக்கிடும்போது, 25°C வெப்பத்தில், ஹைட்ரஜன்அயனிகள், ஹைட்ராக்சில்அயனிகள் ஆகிய ஒவ்வொன்றின் அடர்த்தியும் $10^{-7}$N ஆகுமென்று தெரிகிறது. இதிலிருந்து அயனிப் பிரிவடையாத மூலக் கூறுகளினெண்ணிக்கையை எளிதில் கணக்கிடலாம்.

ஒரு லிட்டர் தண்ணீர் சுமார் 100 கிராம் எடையுள்ளதாகும் தண்ணீரின் மூலக்கூறெடை 18 ஆதலால் ஒரு லிட்டரில் அடங்கிய மூலக்கூறெடைகள் 1000/18 அல்லது சுமார் 56 ஆகும். அவகாட்ரோ (Auagadro) சித்தாந்தத்தின்படி ஒரு மூலக்கூறெடையில் உள்ள மூலக்கூறுகளினெண்ணிக்கை $6.06 \times 10^{23}$ என்பதால் ஒருலிட்டர் தண்ணீரில் $56 \times 6.06 \times 10^{23}$ மூலக்கூறுகளிலிருக்கும். முன் சொன்னபடி ஹைட்ரஜன் அல்லது ஹைட்ராக்சில் அயனிகளினடர்த்தி $10^{-7}$N ஆகையால் ஒரு மூலக்கூறெடையில் $6.06 \times 10^{23} \times 10^{-7}$ அல்லது $6.06 \times 10^{16}$ ஹைட்ரஜன் அல்லதுஹைட்ராக்சில் அயனிகளிருக்கும். எனவே ஒரு ஹைட்ரஜன் அல்லது ஹைட்ராக்சில் அயனிக்கு $56 \times 10^{7}$ தண்ணீர் மூலக்கூறுகளிருக்கும். இவ்வாறு மிகக் குறைவான அயனிப் பிரிவடையும் தண்ணீர் ஒரு குறை மின்னேற்றக்கரைசலாகச் செயல்படுமாதலால், அர்ரீனியஸ் சமன்பாட்டின்படி அதனுடைய அயனிப் பிரிவு சமநிலையைக் கணக்கிடலாம். அதாவது

$$\frac{[H^+]\,[OH^-]}{[H_2O]} = \frac{10^{-7} \times 10^{-7}}{56} = \frac{10^{-14}}{56} \text{ ஆகும்.}$$

தண்ணீரின் அயனிப்பிரிவு சமநிலையை வைத்தே PH மட்டம் என்பது குறிக்கப்படுகிறது. ஏனென்றால், மின்னேற்றக் கரைசல் களெல்லாம் தண்ணீர் கரைசல்களாகவே ஆராயப்படுகின்றன. மேலும், செல்களில் எப்போதும் ஏராளமான தண்ணீர் இருப்பதால் அதிலுள்ள பல பொருள்கள் தண்ணீரில் கரைந்தனவாகவே இருக் கின்றன. இவற்றால் தண்ணீரின் அயனிப் பிரிவாலேற்படும் ஹைட்ரஜன் அயனியின் அடர்த்தியில் மாற்றங்களேற்படும். எனவே ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியிலிருந்து இம்மாற்றங் களின் தன்மையை நாம் அறியலாம்.

முன் குறிப்பிட்ட சமன்பாட்டின்படி தண்ணீரின் அயனிப் பிரிவு சமநிலை $\frac{10^{-14}}{56}$ ஆகும். ஒரு லிட்டர் தண்ணீரில் $10^{-1}$, மோல் அல்லது மூலக்கூறெடை ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தை சேர்ப்பதாக வைத்துக்கொள்ளுவோம். இதனால் தண்ணீரின் அளவு குறிப்பிடத்தக்கபடி அதிகரிக்காது. ஆனால் ஹைட்ரோ குளோரிக் அமிலத்தின் மூலக்கூறுகளெல்லாம் அயனிப்பிரிவடையு மாதலால், தண்ணீரில் $10^{-1}$ N ஹைட்ரஜன் அயனிகள் அதி கரிக்கும். அர்ரீனியஸ் விதியின்படி, இதனால் தண்ணீரிலிருந்த ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் ஒரு பகுதி ஹைட்ராக்சில் அயனி களாடு சேர்ந்து தண்ணீர் மூலக்கூறுகளாகும். ஆனால், ஒவ்வொரு ஹைட்ரஜன் அயனிக்கும் 560,000,000 தண்ணீர் மூலக்கூறு களிருப்பதால் தண்ணீரின் ஹைட்ரஜன் அயனிகளெல்லாம் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளானாலும், தண்ணீர் மூலக்கூறுகளினெண் ணிக்கை விகிதம் மிக மிகக் குறைவாகவே அதிகரிக்கும். எனவே நடைமுறையில் தண்ணீரின் அயனிப் பிரிவு சமநிலை மாற்றங்களில் $10^{-14}/56$ என்ற பின்னத்தின் கீழெண்ணை அறவே புறக்கணித்து தண்ணீரின் அயனிப் பிரிவு சமநிலையை $10^{-14}$ என்று கொள் ளலாம். $10^{-1}$ மோல் ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தைச் சேர்ப் பதால் ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் அடர்த்தி $10^{-1}$ அதிகரிக்கும். ஆனால் ஹைட்ரஜன் அயனி, ஹைட்ராக்சில் அயனி ஆகிய இரண்டின் பெருக்குத் தொகை எப்போதும் $10^{-14}$ ஆக இருக்க வேண்டுமாதலால், ஹைட்ராக்சில் அயனி அடர்த்தி $10^{-1}$ குறையும் (அதாவது அவ்வளவு ஹைட்ராக்சில் அயனிகள் ஹைட்ரஜன் அயனிகளோடு சேர்ந்து தண்ணீர் மூலக்கூறுகளாகி விடும்.) எனவே ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி $10^{-6}$ ஆகவும், ஹைட்ராக்சில் அயனி அடர்த்தி $10^{-8}$ ஆகவும் மாறும் $(10^{-6} \times 10^{-8} = 10^{-14})$ ஆகவே எந்த அடர்த்தியிலும், ஹைட் ரஜன் அயனியின் அடர்த்தி தெரிந்தால் அதிலிருந்து ஹைட் ராக்சில் அயனியின் அடர்த்தியும் தெரிந்துவிடும்.

சோரென்சன் என்பவர் தண்ணீரின் இந்த அயனிப் பிரிவை வைத்து, அமிலத்தன்மையையும், காரத்தன்மையையும் குறிப்பிடலாம் எனக் கருதினார். ஆனால் மடங்குக் குறிப்பீடு, கழித்தல் குறி முதலியவை இல்லாமல், எளிய முறையில் இதைக் குறிப்பிட வேண்டும் என்று விரும்பினார். எனவே ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தியை—லாக்$_{10}$ (—$Log_{10}$) ஆக எழுத வேண்டுமென்று நிர்ணயித்தார். பத்தினுடைய எந்த மடங்கின் லாக் 10ம் அந்த மடங்கேயாகும் (உதாரணமாக $10^3$ன் லாக் $_{10}$ மூன்றாகும்). எனவே ஹைட்ரஜன் அயனி அடர்த்தி $10^{-7}$என்றால் அதன் லாக் $_{10}$7 ஆகும்; $10^{-3}$என்றால் 3 ஆகும். இந்த எண்ணை PH என்று குறிப்பிடலாமென்றும் சோரென்சன் கூறினார். இக் குறியீட்டின்படி தண்ணீரின் PH, 1 முதல் 14 வரையாகிறது. PH 7ல் ஹைட்ரஜன் அயனிகளும், ஹைட்ராக்சில் அயனிகளும் சம எண்ணிக்கையிலிருப்பதால், அமிலத்தன்மையோ காரத் தன்மையோ அற்றதாகிறது. 7க்குக் கீழ் போனால் ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் விகிதம் அதிகரித்து அமிலத்தன்மையையும் 7க்கு மேல் போனால் ஹைட்ரஜன் அயனிகளின் விகிதம் குறைந்து காரத்தன்மையும் உண்டாகின்றன. சோரென்சன் வகுத்த இந்த PH குறியீடு, உலகெங்கும் பலராலும் ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டது. ஒரு கரைசலின் PH ஐக் காண பல சாதனங்கள் கண்டுபிடிக்கப் பட்டுள்ளன.

செல்கள் பொதுவாக PH 6 முதல் 8க்குள்ளில்லாத திரவத்தில் உயிர் வாழ முடியாது. ஆனால் சில பூஞ்சைகள் PH 2.0 மட்டத்திலும் வேறுசில PH 11.0 மட்டத்திலுங்கூட வாழக்கூடியனவாக உள்ளன. செல்லினுள்ளிருக்கும் PH மட்டம், செல்லைச் சூழ்ந்திருக்கக் கூடிய திரவத்தின் PH மட்டத்துக்குச் சமமாக இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை. மற்றும் செல்லினுள் அமிலத் தன்மையுள்ள திரவங்கள், சவ்வால் பொதியப்பட்ட வேக்யூல்களில் தனிப் படுத்தப்படுகின்றன. இது முக்கியமாகத் தாவர செல்களில் காணப் படுகிறது. உயிர்ப்பொருளாகிய புரோட்டோ பிளாசத்தின் இடல் பான PH மட்டமும், அதனால் தாங்கிக் கொள்ளக்கூடிய PH மட்டமும் என்னவென்று சொல்ல முடியாமலிருக்கிறது. ஏனென்றால் புரொட்டொ பிளாசத்தின் PH மட்டத்தை அளப்பது மிகச் சிரமமாகும். செல்லினுள் PH காட்டிகளை செலுத்தினாலோ, அல்லது ஊடுபரவச் செய்தாலோ, சைட்டோ பிளாசத்தின் PH சுமார் 6.8 எனத்தெரிகிறது. இது முகத் தோராயமான மதிப்பீடாகும். ஆனால் உயிரின் ஒரு முக்கிய திரவமாகிய இரத்தத்தின் PH மட்டத்தைத் துல்லியமாக நிர்ணயிக்கலாம். மனித இரத்தத்தின் PH 7.4 என்ற மட்டத்திலிருந்து அதிகம் வேறுபடு

வதில்லை. இம் மட்டம் 7 ஆகக் குறைந்தாலோ, 7.8 ஆக அதிகரித்தாலோ, மரணம் நேரிடுகிறது. செல்களில் இதே PH மட்டமிருக்குமா என்பது நிச்சயமாகத் தெரியாதெனினும், செல்லியக்கங்கள் மிகக் குறுகிய PH மட்ட வேறுபாட்டுக்குள் நடைபெறுகின்றன என்பதற்கு பல ஆதாரங்களுள்ளன.

**நிலைதாங்கிகள்** (Buffers)

தமது இயக்கங்களுக்கு ஊறு விளைக்காத மிகக் குறுகிய வேறுபாட்டுக்குள் தமது PH மட்டத்தை செல்கள் எவ்வாறு கட்டுப்படுத்துகின்றன என்று அறிவது அவசியமாகும். அர்ரீனியசினுடைய அயனிப்பிரிவு விதி தெரியவருவதற்கு முன்பே, இரத்தமானது பெருமளவுக்கு அமிலங்களையும், காரங்களையும், தாங்கிக் கொள்ளக்கூடும் என்று தெரிந்திருந்தது. ஆயினும் தனது அமிலத் தன்மையோ, காரத்தன்மையோ ஒரு குறுகிய வரையறைக்குமேல் மாறினால் இரத்தம் செயலிழந்ததாகிவிடும் என்ற உண்மையும் தெரிந்திருந்தது. அவ்வாறாயின், அமிலங்கள், காரங்கள் ஆகியவற்றை எதிர்த்துத் தாங்கக் கூடிய சில பொருள்கள் இரத்தத்திலிருக்க வேண்டுமென்று கருத வேண்டியதாயிற்று. அயனிப்பிரிவைப் பற்றித் தெரிந்தவுடன் இந்த எதிர்ப்பு, அயனிப்பிரிவை முறைப் படுத்துவதாக அமையலாம் என எண்ணப்பட்டது. இது குறித்துச் செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து, இரத்தத்தில் இயல்பாகக் காணப்படும் பாஸ்பேட்டுகள் (Phosphates) கார்பனேட்டுகள் (Carbonates) அமினோ அமிலங்கள் (amino acids) முதலியவை, தரமுள்ள கரைசலில் வலிய அமிலங்களையும், காரங்களையும் சேர்ப்பதால் உண்டாகும் ஹைட்ரஜன் அயனிகளையும், ஹைட்ராக்சில் அயனிகளையும் அகற்றிவிடும் தன்மையை உடையன என்று தெரியவந்தது. இத்தகைய பொருள்களுக்கு நிலைதாங்கிகள் (Buffers) என்று பெயரிடப்பட்டது.

நிலைதாங்கிகள் எப்படி செயல்படுகின்றன என்பதைக் கீழ்வரும் இரண்டு அடர்கான் சோதனைகளால் (titration experiments) விளக்கலாம். முதல் சோதனையில் O I N அடர்த்தியுள்ள 100 மிலி ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தோடு, சம அளவு O.IN சோடியம் ஹைட்ராக்சைடை மெதுவாகச் சேர்ப்போம். அவ்வாறு செய்வதால் ஏற்படும் PH மாற்றத்தைக் கணக்கிட்டால், ஏறக்குறைய முழு அளவு சோடியம் ஹைட்ராக்சைடையும் சேர்க்கும் வரை PH மட்டம் சிறு மாற்றமே அடைகிறது. ஆனால் அந்த நிலைக்குப் பிறகு மிகச் சிறு அளவு சோடியம் ஹைட்ராக்சைடைச் சேர்த்தால் திடீரென்று PH மட்டம் 12 அல்லது அதற்கும்மேல் போகிறது. இது ஏனென்றால் PH மட்டத்தை ஒன்றிலிருந்து

இரண்டாக மாற்ற இரண்டிலிருந்து ஏழாக மாற்றுவதற்கு அகற்றப்படவேண்டிய ஹைட்ரஜன் அயனிகளைவிட ஒன்பது மடங்கு ஹைட்ரஜன் அயனிகளை அகற்ற வேண்டும்.

இரண்டாவது அடர்காண் சோதனையில் ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்துக்குப் பதில் அசிடிக்அமிலத்தை எடுத்துக்கொள்வோம். அசிடிக்அமிலம் ஒரு குறை மின்னேற்றக் கரைசலாகையால், அதன் ஆரம்ப PH ஹைட்ரோகுளோரிக் அமிலத்தினதைவிட அதிகமாக இருக்கும். முதலில் சோடியம் ஹைட்ராக்சைடைச் சேர்த்தவுடனே PH வேகமாக அதிகரித்தாலும், போகப் போக PH மாற்றத்தின் வேகம் மெதுவாகிறது. பாதி அளவு காரத்தைச் சேர்த்தபோது PH சுமார் 4.7 ஆகிறது. இதிலிருந்து ஹைட்ரஜன்அயனிகள் ஒழுங்கான வேகத்தில் அகற்றப்படவில்லை என்று தெரிகிறது. இது ஏனென்றால், குறை அயனிப் பிரிவடைந்த அசிடிக் அமிலத்தின் மூலக்கூறுகள் ஹைட்ரஜன்அயனிகள் அகற்றப்படும் போது, அயனிப் பிரிவடைந்து மேலும் ஹைட்ரஜன்அயனிகளை உண்டாக்குகின்றன. மற்றும், அசிடிக்அமிலத்தைப் போன்ற குறை மின்னேற்றக்கரைசலின் அமிலத்தன்மையைக் காரத்தினால் நடுநிலைப்படுத்தும் பொழுது உண்டாகும் உப்பும் (சோடியம் அசிடேட்) ஏறக்குறைய அயனிப் பிரிவடைந்த நிலையிலிருக்கிறது. எனவே மேற் சொன்ன சோதனையில் கூடுதல் அசிடேட் அயனிகளின் பெரும்பகுதி சோடியம் அசிடேட்டிலிருந்து வருவனவாகும். உண்மையில் வலியற்ற அமிலங்களும், காரங்களும், அவற்றின் அடர்த்தி, அவற்றால் உண்டாகும் உப்பின் அடர்த்திக்குச் சமமாகும்போது PH மாற்றத்தை மிக எதிர்த்துச் செயல்படுகின்றன. எனவே அவற்றின் நிலைதாங்குந்திறன் அக் குறிப்பிட்ட நிலையில் மிக அதிகமாகிறது. PH மட்டம் மாறாமலிருக்கக் கூடிய கரைசல்களைத் தயாரிக்க இப்படிப்பட்ட குறைமின்னேற்றக் கரைசல் பொருள்களில் தகுந்தவை பயன்படுத்தப்படுகின்றன.

அயனிப் பிரிவு சமநிலைக்கும், நிலைதாங்கிச் செயலுக்குமுள்ள தொடர்பிலிருந்து செல்கள் PH மட்டத்தை எவ்வாறு முறைப்படுத்துகின்றன என்று ஓரளவுக்கு சொல்லலாம். செல்லிலுள்ள பல பொருள்கள் குறைமின்னேற்றக் கரைசல்களை உண்டாக்குவனவாதலால் அவை நிலைதாங்கிகளாகச் செயல்படக்கூடியவை. ஈஸ்ட்செல்லின் எதிர்மின்னயனிகளில் 40% பைகார்பனேட்டும் 43%பாஸ்பேட்டும் ஆகும். இவ்விரண்டும் வலி குறைந்த அமிலங்களின் எதிர்மின்னயனிகளாகும். மற்றும் இவ்விரண்டும் காரச்சேர்க்கையாலேற்படும் PH மாற்றத்தை எதிர்ப்பதில் தலை

சிறந்த நிலை தாங்கிகளாகும். மற்றும் இவற்றின் அயனிப்பிரிவு சமநிலைகள் பைகார்பனேட்டுக்கு 6. 34ம் பாஸ்பேட்டுக்கு 7. 2ம் இருக்கக் கூடும். எனவே மற்றெல்லா நிலைதாங்கிகளையும்விட இவ்விரண்டும் இயல்பான செல்லியக்கத்துக்குத் தேவையான PHமட்டத்தை நிலையுறுத்தக் கூடிய தன்மையைப் பெற்றுள்ளன.

செல்களின் PH பற்றி இந் நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில் ஏராளமான ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. அவற்றிலிருந்து தெரியவந்த பலஉண்மைகளில் முக்கியமானது, உயிரியக்கங்களில் பெரும்பான்மையானவை ஏதோ ஒரு விதத்தில் PH மட்டத்தின் கண்காணிப்புக்குள்ளடங்குபவை என்பதாம். ஆயினும் செல்லின் PH மட்டம் எவ்வாறு முறைப்படுத்தப்படுகிறது என்பதை நாம் இன்னும் முழுதுமாக அறியவில்லை. இதைத் தெளிவாக அறிந்தால் உயிரியக்கத்தைப் பற்றிய பல ஐயப்பாடுகளும், கேள்விகளும் விலகுமென்றாலும், இதுகாறும் செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளுக்குமேல் இதில் செய்யக் கூடியது இல்லை என்று ஒருமுகமாகக் கருதப்படுகிறது.

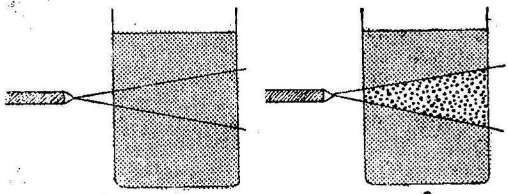
# 6. செல்லியக்கத்தின் அடிப்படை வேதிப்பொருள்கள்

1858ஆம் ஆண்டு ஃபாரடே ஒரு சுவாரசியமான சோதனையை வெளியிட்டார். கார்பன் டைசல் பைடில் சிறிது பாஸ்பரசைக் கரைத்து அதை கோல்டுகுளோரைடு (Gold chloride) கரைசலோடு சேர்த்தார். அப்போது மொத்தக்கலவை திரவமும் சிவப்பு நிறமாக மாறியது. இதில் ஒன்றும் அதிசயமில்லை யென்றாலும், இந்த சிவப்பு நிறதிரவம் ஒரு உண்மையான கரைசல் அல்ல என்ற அதிசயமான புதிய உண்மையைப் ஃபாரடே கண்டார். நிறமுள்ள அல்லது நிறமில்லாத உண்மைக் கரைசல்களின் வழியாக ஒளியைச் செலுத்தினால் அது தெளிவாகவே இருக்கும். ஏனென்றால் அதில் கரைந்துள்ள பொருள்களின் மூலக்கூறுகள் ஒளிக்கதிர்களைச் சிதறடிக்க முடியாத நுண்பரிமாணத்தைக் கொண்டனவாகும். ஆனால் மேற்சொன்ன சிவப்புத்திரவத்தின் வழியாக ஒளியைச் செலுத்தியபோது அது தெளிவாகத் தோன்றாமல் கலங்கியதாகத் தோன்றியது அத்திரவத்தில் கரைந்துள்ள மூலக்கூறுகள், ஒளியைச் சிதறடிக்கக் கூடிய பெரிய பரிமாணத்தை உடைய துகள்களாக இருப்பதே இதற்குக் காரணமாகவேண்டுமென்று ஃபாரடே சொன்னார். அவ்வாறு மூலக்கூறுகள் பெரிய துகள்களாகச் சேர்ந்து கொள்ளக் கூடும் என்பது அது வரை பௌதிகவேதியியலில் தெரியாத தொன்றாகும்.

### கொல்லாய்டு கோட்பாடு

ஃபாரடே இதைப்பற்றி மேற்கொண்டு அதிக கவனம் செலுத்தவில்லையெனினும், அவருடைய மாணவராகிய ஜான் டின்டால் (John Tyndall) என்பவர் இதைப் பற்றி மேலும் பல சோதனைகள் செய்தார். இத்தகைய திரவத்தைத் தட்டையான பக்கங்களையுடைய ஒரு கண்ணாடிப் பாத்திரத்திலிட்டு அதன்வழியாக ஒரு சிறு ஒளிக்கற்றையைப் பாய்ச்சினால் அந்த ஒளி திரவத்தின் வழியாகச் செல்லும் பாதை ஒளிமயமாகித் தெரிகிறது என்பதைக் கண்டார். இதற்கு டின்டால்நிகழ்ச்சி(Tyndale phenomenon)என்ற பெயர் சூட்டப்பட்டது. (படம் 6-1) ஆனால் இத்தகைய கரைசல்

திரவங்களைப்பற்றி அக் காலத்தில் ஆராய்ச்சி செய்தவர்களில் மிக முக்கியமானவர் தாமஸ் கிரஹாம் (Thomas Graham) என்பவராவார். கரைசல்களைப் பலரும் ஆராய்ந்து கொண்டிருந்த காலத்தில் இவர் மற்றவர்களைப் போல் அனங்கக வேதிப் பொருள்




படம் 6.1
டின்டால் நிகழ்ச்சி
1. முழுக்கரைசல்; 2. கொல்லாய்டுகரைசல்.

களின் (inorganic chemicals) கரைசல்களைப் பற்றிக் கவனிக்காமல் கட்டமைப்பைப் பற்றித் தெளிவாகத் தெரியாதிருந்த ஜிலேட்டின் (gelatin), முட்டை வெண்கரு அல்லது ஆல்புமின், (albumin) ஸ்டார்ச் ( starch) முதலிய அங்ககப் பொருள்களையும் (organic substances), மிகச் சிக்கலான கட்டமைப்புடைய அனங்கக வேதிப் பொருளாகிய சிலசிக் அமிலம் (silicic acid) முதலியனவற்றையும் ஆராயத் தொடங்கினர். இவற்றின் ஊடுபரவு திறனைப் பற்றி அவர் சோதனைகளைச் செய்தபோது, அவற்றின் ஊடுபரவு வேகம் மிகக் குறைவாயிருப்பதைக் கண்டார். இதற்கு காரணம் ஒன்று அவற்றின் மூலக்கூறுகளின் எடை மிக அதிகமாக இருக்க வேண்டும். அல்லது குறைந்த எடையை உடைய பல மூலக்கூறுகள் ஒரு கூட்டாகச் சேர்ந்து கொண்டிருக்க வேண்டும். இவ்விரண்டில் பிந்தியதே உண்மையாக இருக்க வேண்டுமென்று கிரஹாம் கருதினர். ஏனெனில் இந்த அங்ககப் பொருள்களைதையும் படிகமாக்க முடியவில்லை ஆதலால், கரைசலில் அவை மூலக்கூறுகளாகப் பிரிபவையல்ல என்றுர். இத்தகைய சிந்தனைகளின் விளைவாக அவர் பொருள்கள் அணு, மூலக்கூறு என்ற இரண்டின் அடிப்படையில் மட்டுமல்லாமல் கொல்லாய்டு (colloid) என்ற கூட்டு மூலக்கூறுகளினடிப்படையிலும் அமையலாமென்ற புதிய கோட்பாட்டை வெளியிட்டார். படிகமாகக் கூடிய பொருள்களைக் கிரிஸ்டலாய்டுகளென்றும், (crystalloid) படிகமாகாதனவற்றைக் கொல்லாய்டுகளென்றும் சொல்லலாமென்றுர். மற்றும் உயிர்ப்பொருள் கொல்லாய்டு நிலையிலமைந்தது என்ற கருத்தையும் வெளியிட்டார். இக் கருத்து பலராலும் உடனே ஒப்புக்கொள்ளப்பட்டது. ஏனென்றுல் செல்களின் சைட்டோபிளாசம், கிரஹாமால் கொல்லாய்டுகளென்று சொல்லப்பட்டனவற்றின் பண்புகளைப் பெரு

மளவுக்குப் பெற்றிருந்தது. அமிலங்களும், உப்புக்களும் கொல்லாய்டுகளைத் துவையச் செய்ததுபோல், சைட்டோபிளாசத்தையும் துவையச்செய்தன. ஜெல் நிலைக் கொல்லாய்டுகளைச் சாயமேற்ற முடிந்ததுபோல் செல்லினுள்ளடங்கியப் பொருள்களையும் சாயமேற்ற முடிந்தது. மேலும் இப்படிப்பட்ட பல ஒற்றுமைகள் நாளடைவில் தெரியவந்தன. எனவே கொல்லாய்டு நிலை என்பது உண்மையென்றும், உயிர்ப்பொருள் கொல்லாய்டு நிலைப்பொருள்களாலானதே என்றும் உயிரியலாரனைவரும் கருதலாயினர். இன்றுங்கூட இக் கருத்து பலரால் நம்பப்படுகிறது.

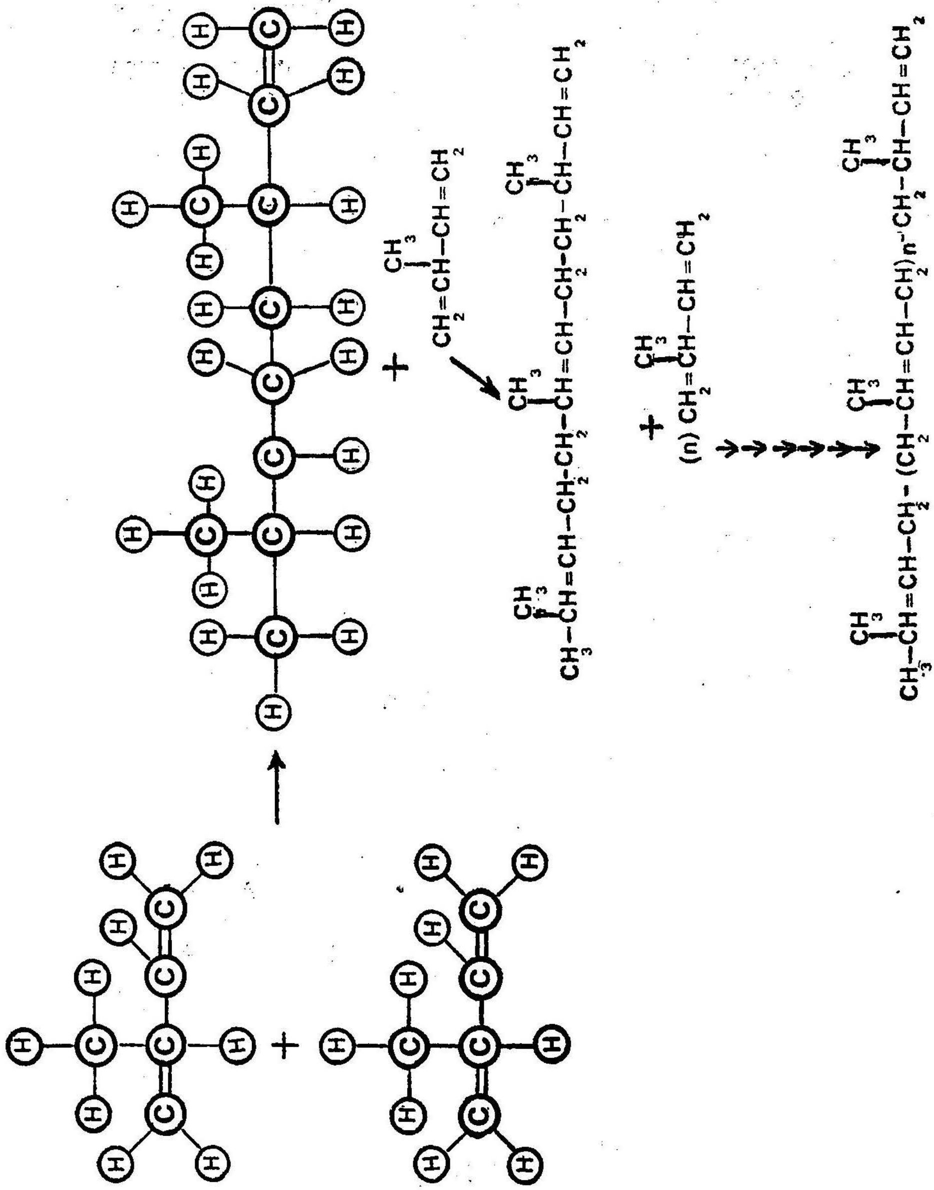
ஜிலேட்டின், ஆல்புமின் போன்றவற்றின், கரைசல் இயல்புகள் சூக்ரோஸ் போன்ற அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களின் கரைசல் இயல்புகளைப் போலவே, ஆனால் அவற்றைவிடப் பெரிய மூலக்கூறுகளைக் கொண்டனவற்றின் இயல்பைப்போல இருக்கின்றன. இப்பெரிய கூறுகள், மூலக்கூறுகளின் கூட்டாலானது என்று சொல்லுவதற்கு நல்ல முகாந்திரமில்லை. ஏனென்றால் கொல்லாய்டுகளின் மூலக்கூறெடை நிர்ணயிக்கப்படவில்லை. எனவே கொல்லாய்டுகள் மிகப்பெரிய மூலக்கூறுகளானவையாயிருக்க முடியாது என்றும் சொல்லுவதற்கில்லை.

செல்லியக்கவியலாரெல்லாம், செல்லியக்கங்களை விளக்கக் கொல்லாய்டு கொள்கையைத் தீவிரமாகப் பற்றி நின்றபோது, ஸ்வெட்பர்க் (Svedberg) என்பவர் அதிமையத்தறு விசை அல்லது அல்ட்ராசென்ட் ரிஃபியூஜ் (ultracentrifuge) என்ற ஒரு சாதனத்தை உருவாக்கினர். ஏற்கெனவே குறிப்பிட்டபடி, இந்த சாதனம் அதிவேக சுழற்சியால், அதிமையத்தறு விசைக்குத் திரவங்களை உட்படுத்தி அதிலுள்ளவை அடியில் நகர்ந்துமண்டச் செய்யக் கூடியது. எனவே கரைசல்களில் சாதாரணமாக அடர்த்தி வேறுபட்டால் பொருள்கள் ஊடுபரவுவது போலல்லாமல் அல்ட்ரா சென்ட்ரிஃபியூஜில், மையத்தறுவிசையாலுண்டாக்கப்படும் ஈர்ப்பு விசையால் நகர்ந்து ஊடுபரவுகின்றன. இதனுல் ஊடுபரவும் வேகம் முதலிய தன்மைகளிலிருந்து, கரைசலில், அல்லது திரவத்தில் அடங்கிய மூலக்கூறுகளின் பரிமாணத்தையும், எடையையும் ஓரளவுக்குத் துல்லியமாகக் கண்டறியலாம். அங்ககப் பொருள்களாகிய புரோட்டீன்கள் பலவற்றின் மண்டுந்தன்மையை ஆராய்ந்தபோது, ஒவ்வொரு புரோட்டீனும் ஒரு குறிப்பிட்ட மூலக்கூறெடையையும் பரிமாணத்தையும் பெற்றிருப்பதைக் கண்டார். மற்றும் இவரது சாதனம், அங்ககப்பொருளடங்கிய ஒரு திரவத்தில் ஒரே மாதிரியான கூறுகளுள்ளனவா, எடையிலும் பரிமாணத்திலும் வேறுபடும் பல்வேறு வகையான கூறுகளுள்ளனவா என்று அறிய வழிவகுத்தது.

செல்லின் புரோட்டீன்களில் 90 முதல் 95% மிகப்பெரிய மூலக் கூறுகளாலானது என்று இப்போது தெரிய வந்துள்ளது. இவற்றில் சுமார் 70% புரோட்டீன்களாகும். ஒரு சில புரோட்டீன்கள் 3000 முதல் 5000 வரையான குறைந்த மூலக்கூறெடையைக் கொண்டனவாயினும், பொதுவாக புரோட்டீன்களின் மூலக்கூறெடை சுமார் 60,000 ஆகும். இவற்றின் எடை 1,000,000க்கு மேலிருக்கிறது. பத்தொன்பதாம் நூற்றுண்டு வேதியியலாருக்குத் தெரிந்த குளுகோஸ் போன்ற 100 முதல் 300 வரையான மூலக்கூறெடையுள்ள அங்ககப் பொருள்களோடு, புரோட்டீன்களை ஒப்பிடும்போது புரோட்டீன்கள் அக் காலத்தியவர்களின் கற்பனையையும் மிஞ்சுமளவு அதிகமான மூலக்கூறெடையைக் கொண்டவை என்பது தெரியும். எனவேதான் கி ர ஹ ா ம், கார்போஹைட்ரேட், புரோட்டீன் போன்ற அங்ககப் பொருள்கள், மூலக்கூறுகளின் கூட்டான கொல்லாய்டு கூறுகளாலானவை என்று கருத நேரிட்டது. இன்றுகூட இத்தகைய பெரிய மூலக்கூறுகளைப் பற்றிச் சாதாரணமாக எண்ணுவது வேதியியலாருக்கு எளிதாக இல்லை. வைரசின் (virus) குரோமோசோம் மூலக்கூறுகளினெடை சுமார் 120,000,000 என்பது பல உயிரியலாருக்கும், வேதியியலாருக்கும் மிகுந்த வியப்பை அளிப்பதொன்றாகும். பல கோடிக்கணக்கில் மூலக் கூறெடையுள்ள அங்ககப்பொருள்களை வருங்காலத்தின் கண்ணுற நேர்ந்தாலும் வியப்பில்லை. எனவே கொல்லாய்டு நிலை என்ற ஒரு நிலை உண்மையில் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை. கொல்லாய்டுகளென்று இதுகாறும் சொல்லப்பட்டவைகளும், மற்றவைகளைப் போல் மூலக்கூறுகளாலானவையே. ஆனால் இவற்றின் மூலக்கூறுகள் மிகப் பெரியனவாகும்.

**பெரிய மூலக்கூறுகளினியல்பு**

பெரிய மூலக்கூறுகளின் வேதித்தன்மையை, அறிய கையாளப்படும் ஒரு முக்கியமான வழி சிறு மூலக்கூறுகளை வேதிச் சேர்க்கையால் பெரிய மூலக்கூறுகளாகச் சேர்ப்பதாகும். சில குறிப்பிட்ட வேதிக்கிரியைகளைக் கட்டுப்பாடான முறையில் நடைபெறச் செய்வதனுல் இத்தகைய சேர்க்கையை நிகழ்த்தலாம். உதாரணமாக 1, 4 ஐசோப்ரின் (1,4 isoprene) என்னும் வேதிப் பொருளின் மூலக்கூறில் இரண்டு இரட்டைப்பிணைப்புகளிருக்கின்றன. (படம் 6—2) இந்த இரட்டைப்பிணைப்புகள் ஒன்றோடொன்று கிரியையிலீடுபட்டு நீண்ட சங்கிலி போல், ஒரே வித அமைப்புத் தொடராலமைந்த பல்லிசோபிரின் (Polyisoprene) என்ற மூலக் கூறை உருவாக்குகின்றன (படம் 6—2) இயற்கை ரப்பர் உண்டாக அடிப்படையான இந்த கிரியையானது, ஒரே அமைப்பையுடைய தொடர் அலகுகளிடையே ஏற்படும் கூட்டுப் பிணைப்புகளால்

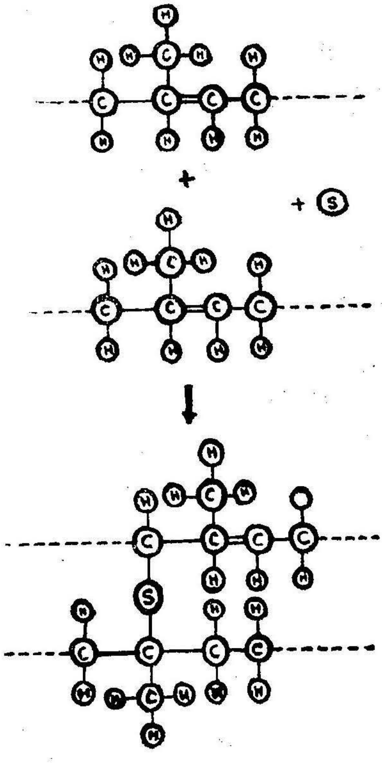



படம் 6—2

14. ஐசோப்ரின் மூலக்கூறும் அதன் பாலிமரை சேசனும்.

பெரிய மூலக் கூறுகள் உண்டாக்கும் அடிப்படையை விளக்குவதாகும். இதில் ஒரு தனி அலகு மோனமர் (monamer) என்றும், மோனமர்கள் சேர்ந்த தொடர், பாலிமர் (polymer) என்றும் சொல்லப்படுகிறது. மோனமரானது பாலிமராக மாறும் கிரியைக்குப் பாலிமராக்கம் (polymerisation) என்று பெயர்.

செல்லியக்கத்தில் முக்கியத்துவம் வாய்ந்த பெரும்பான்மையான பெரிய மூலக்கூறுகள் மேற் சொன்னபடி சங்கிலித் தொடர் போன்ற மோனமர்கள் சேர்ந்தவையேயாகும். ஆனால் சில மூலக் கூறுகளில் குறுக்கிணைப்பு என்ற அமைப்பு காணப்படுகிறது. ரப்பரைக் கெட்டியாக்கும் கிரியையில், ரப்பர் பாலிமரின் சங்கிலித் தொடர் மூலக் கூறுகள், சல்பர் பாலங்களால் குறுக்கிணைப்பைப் பெறுகின்றன (படம் 6-3) இப்படிப்பட்ட குறுக்கிணைப்பால் உண்டாகும் வலை போன்ற அமைப்பைக் கொண்ட மூலக்கூறுகள் நீள் வரிசையல்லா பாலிமர்கள் (nonlinear polymers) எனப்படுகின்றன. வலைப்பாலிமர்களின் பௌதிகப் பண்புகள், நீள்பாலிமர்களின் பண்புகளிலிருந்து வெகுவாக வேறுபடுகிறது. இயற்கை ரப்பர் எளிதாக அமுங்கக்கூடியதாகவும், அதிகமாக நீண்டு சுருங்கக் கூடியதாகவும் இருக்கிறது. ஆனால் கெட்டியாக்கப்பட்ட ரப்பர் இறுக்கமாகவும், எளிதில் நீளாததாகவும் இருக்கிறது. உண்மையில் ரப்பரின் கெட்டி அதிலிருக்கும் குறுக்கிணைப்புகளின் விகிதத்தைப் பொருத்தே அமைகிறது.



படம்—6.3
ரப்பரைக் கெட்டிப்படுத்தும் கிரியை.

ஒரு பாலிமரின் மோனமர்களெல்லாம் ஒரே மாதிரியானவைகளாக இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை. பல்வேறுவிதமான மோன

மர்கள் சேர்ந்து ஒரே பொதுவான கிரியையால் பாலிமராகும் பல பாலிமர்களைப் பற்றி ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டுள்ளன. இந்த பாலிமர்கள் கலப்பு பாலிமர்கள் அல்லது கூட்டு பாலிமர்கள் என்று சொல்லப்படும். செல்களில் காணப்படும் பல பாலிமர்கள் கூட்டுப் பாலிமர்களேயாகும்.

செல்களில் பெரும்பாலும் பெரிய பாலிமர் மூலக்கூறுகளே அமைந்திருப்பதற்குக் காரணம். சிறிய மூலக்கூறுகளுக்கில்லாத பல தனிப்பட்ட பண்புகளைப் பெரிய மூலக்கூறுகள் பெற்றிருப்பதே யாகும். இவற்றை வெவ்வேறு செல் வேதிப்பொருள்களின் பண்பு களைப் பற்றி பிறகு பார்க்கும்போது விரிவாகச் சொல்லப்படும். ஆனால், அனைத்து பாலிமர்களுக்கும் பொதுவான சில பண்புகளை இங்கு பார்ப்போம்.

பெரிய பாலிமர் மூலக்கூறுகளின் மிக முக்கிய பண்பு அவற்றின் உருமாறுந்திறனாகும். அவை திடப்பொருளாக இருந்தாலும் அவை உருவபேதமடையக்கூடியன. இப் பண்பு ரப்பரில் நன்கு காணப்படுவதொன்றாகும். விரிந்து, அல்லது நீண்டு சுருங்கும் மூலக்கூறுகளினால் உருவாகும் செல் சவ்வு போன்ற அமைப்புகள் செல்களின் உருவமாற்றங்களை அனுமதித்து, ஆனால், அதே சமயம் அதனுள் நிறைந்திருக்கும் மற்ற மூலக்கூறுகள் வெளியில் செல்லாமல் பாதுகாக்குந்தன்மையுடையனவாகின்றன. மற்றும் உயிர்த்திசுவில் தசைகள் ரப்பரைப் போன்றே அமைந்திருப்பன வாகும். தசைகளின் செல்களின் நீண்ட இழைப் பாலிமர் மூலக் கூறுகள் அமைந்துள்ளன.

பெரிய மூலக்கூறுகளின் மற்றொரு குறிப்பிடத்தக்க பண்பு, கரைசலில் கரைந்திருக்கும்போதே தனிப்பட்ட கூட்டமைப்பை உருவாக்குந்திறனாகும். தகுந்த கரைக்குந்திரவத்தில் பெரிய மூலக் கூறுகள் கரைக்கப்பட்டால் அவை அதிக பிசுக்குடைய கரைச லாகவோ அல்லது அமுங்கக்கூடிய ஜெல்களாகவோ (gel) ஆகின்றன. இதில் பெரிய மூலக்கூறுகள் தம்மிடையே ஏற்படுத்திக் கொள்ளும் குறுக்கிணைப்பு முதலிய பிணைப்புகளால் வலைபோன்ற அமைப்பை உண்டாக்குகின்றன. இவ் வலையமைப்பின் வழியாகக் கரைதிரவத்தின் மூலக்கூறுகள் ஊடுபரவலாமன்றி பெரிய மூலக் கூறுகள் ஊடுபரவ முடியாமல் போகலாம். முடிவாகப் பாலிமர் மூலக்கூறுகளின் பெரிய உருவம் அவை செல்களிலிருந்து வெளி யேறாமலிருக்க ஏதுவாகிறது.

செல்களில் காணப்படும் பெரும் மூலக்கூறுகள் மூன்றுவித வேதித்தொகுதிகளில் அடங்குவனவாகும். அவை, பாலி சேக்

கரைடுகள், (polysaccharides), புரோட்டீன்கள் (proteins), நியூக்ளிக் அமிலங்கள் (nucleic acid) என்பனவாகும். இவற்றைப் பற்றி இனி சற்று விரிவாகப் பார்ப்போம்.

**பாலிசேக்கரைடுகள் அல்லது கார்போஹைட்ரேட்டுகள் Poly—saccharides or carbohydrates):**

அங்ககப் பொருள்களின் பெருமூலக்கூறுகளைப்பற்றி அங்கக வேதியியலார் ஆராயத் தொடங்கியபோது அவர்களுக்கு முக்கிய மாக அவை தூய்மையான பொருள்களாகத் தேவைப்பட்டது. ஆனால், செல்லிலிருக்கும் பல்வேறு அங்ககப் பொருள்களைத் தனித் தனியாகத் தூய பொருளாகப் பிரித்தெடுப்பது எளிதல்ல. இக் கலைப் படிப்படியாகத்தான் வளர்ந்தது. தூய நிலையில் முதன் முதலாக எளிதாகக் கிடைத்த அங்ககப்பொருள்கள் கார் போஹைட்ரேட்டுகளேயாகும். கி.பி. 300ஆம் ஆண்டிலிருந்தே கரும்பிலிருந்து சர்க்கரை தூய படிகமாகத் தயாரிக்கப் பட்டு வந்தது. எனவே அங்ககப் பொருள்களின் வேதிப்பண்பை ஆராய சூக்ரோஸ் எனப்படும் கரும்புச் சர்க்கரை முன்னோடியாக அமைந்தது, மற்றும் உயர் மூலக்கூரெடை கொண்ட கார்போ ஹைட்ரேட்டுகளான செல்லுலோஸ், ஸ்டார்ச் ஆகிய இரண்டும் முறையே பஞ்சிலிருந்தும், விதைகளிலிருந்தும் எளிதில் பெறப் பட்டன.

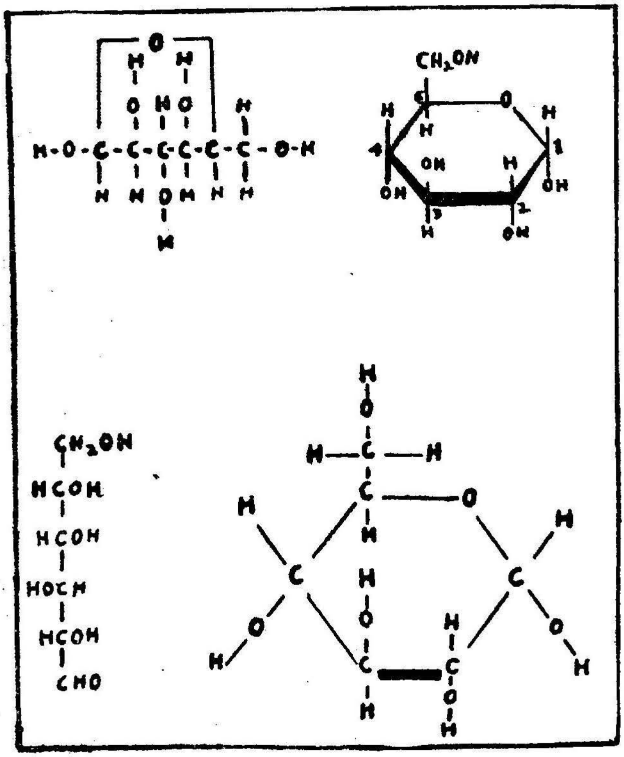
மேற்சொன்ன பொருள்களையும் மற்றும் சிலவற்றையும் ஆராய்ந்தபோது, அவையெல்லாம் ஒரு பொதுவான அடிப்படை அமைப்பைப் பெற்றிருப்பது தெரியவந்தது. ஒவ்வொரு கார்பன் அணுவுக்கும் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும், ஒரு ஆக்ஸிஜன் அணுவும் இருந்தன. அப்போது இவ் வணுக்கள் எவ்வாறு சேர்ந்துள்ளன என்பது தெரியவில்லையாதலால், இவை கார்பனும் தண்ணீரும் சேர்ந்த அமைப்பு என்று குறிக்கும் வகையில் கார்போஹைட்ரேட் என்ற பொதுப்பெயர் இவற்றிற்கு அளிக்கப் பட்டது.

கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் அமைப்மை அறிவதில் 1811ஆம் ஆண்டு ஒரு முக்கிய முன்னேற்றம் ஏற்பட்டது. அவ்வாண்டு கஸ்டவ் கிர்ச்சோஃப் (Gustave kirchhoff) என்பவர் ஸ்டார்ச்சை அமிலத்திலிட்டுக் கொதிக்க வைத்து அவற்றின் வேதிக்கிரியையா லுண்டான. சர்க்கரைப் படிவங்களைப் பிரித்தெடுத்தார். இக் கிரியை பெரிய அங்கக மூலக்கூறுகளின் ஒரு பொதுப் பண்பை விளக்குவதாகும். அமிலத்திலிடும்போது ஸ்டார்ச் மூலக்கூறிலுள்ள

சில கூட்டிணைப்புகள் அதே மூலக்கூறிலுள்ள மற்ற இணைப்புகளை விட வலிகுன்றுகின்றன. ஆகவே அந்த குறிப்பிட்ட இணைப்புகள் மட்டும் பிரிந்து பெரியமூலக்கூறு, ஒரே மாதிரியான பலசிறு அலகுகளாக உடைகின்றது. இந்த அலகுகளே சர்க்கரைப் படிவங்களாகின்றன. ஸ்டார்ச் மூலக்கூறின் வேதி இணைப்புகளெல்லாம் ஒரே தன்மையினவாகவும் ஒரே வலுவுள்ளவைகளாகவும் இருக்குமேயாயின், ஒன்று அவை உடையமுடியாது, அல்லது கண்டபடி உடைந்து தனியங்களாகப் பிரிந்துபோகும். எனவே இதிலிருந்து தெரிவது யாதெனில் ஸ்டார்ச் மூலக்கூறினில் வலிமையில் தம்முள் வேறுபடும் வேதி இணைப்புகள் உள்ளன வென்பதும், அவற்றின் வலி குறைந்த இணைப்புகளெல்லாம் உடைந்து மூலக்கூறானது ஒரே மாதிரியான சிறு அலகுகளாகப் பிரியக் கூடுமென்பதுமாகும். மற்றும் இவ்வலகுகளை ஒன்றோடொன்று இணைக்கும் இணைப்புகள், அலகினிலுள்ளடங்கிய அணுக்களை இணைக்கும் இணைப்புகளைவிட வலி குறைந்தவையாக இருப்பவை என்று தீர்மானிக்கலாம். பெரிய கார்போஹைட்ரேட் மூலக்கூறுகளில் காணப்படும் இப்பண்புகள் எல்லா பெரிய அங்ககமூலக் கூறுகளுக்கும் பொதுவானதாகும். ஆகவே அங்கக வேதியியலில் மூலக்கூறுகளை உருவாக்கும் தனிம அணுக்களாகிய அலகுகளுக்குப் பதிலாக வெவ்வேறு தனிம அணுக்களின் கூட்டாலமைந்த கூட்டு அலகுகள் மூலக்கூறை உருவாக்குகின்றன.

கார்போஹைட்ரேட்டை அமிலத்தோடு சேர்த்துச் சூடுபடுத்தி அதன் அமைப்பைக் காண பல வேதியியலாரும் முயன்றனர். அதன் விளைவாக செல்லுலோஸ், திராட்சைரசம் முதலிய பல கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் குளுகோஸ் மூலக்கூறுகளமைந்திருப்பது தெரியவந்தது. அதைத் தொடர்ந்து, மூலக்கூறில் ஆக்சிஜன் அணுக்களும் ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் எங்கு அமைந்திருக்கின்றன என்பதைக் காணும் முறைகள் அறியப்பட்டன. எமில் ஃபிஷ்ஷர் (Emil Fischer) என்ற சிறந்த அங்கக வேதியியலார், உயிர்களில் காணப்படும் இரண்டு சர்க்கரைகளான குளுகோஸ் (glucose), ஃப்ரக்டோஸ் (Fructose) ஆகியவற்றைச் சோதனைச் சாலையில் தயாரிப்பதில் வெற்றி கண்டார். மற்றும் கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் கார்பன் அணுக்கள் சங்கிலித் தொடர் போல அமைந்து, ஒவ்வொரு கார்பன் அணுவுக்கும் ஒரு புறம் ஹைட்ரஜன் அணுவும் மறுபுறம் ஹைட்ராக்சில் தொகுதியும் அமைந்துள்ளது என்று தெரியவந்தது. கார்பன் தொகுதிகளெல்லாம் வேதிச் செயல் திறன் குறைந்தவையாகவுள்ளன. முதல் அல்லது இரண்டாவது கார்பன் அணுக்களின் தொகுதி மட்டுமே வெவ்வேறு சர்க்கரைகளில் வேறுபட்டு அவற்றின் வேறுபடும்

வேதிப்பண்புகளுக்குக் காரணமாகின்றன. முதலில் கார்பன் அணுக்கள் நேர்வரிசையாக அமைந்திருப்பதாகக் கருதப்பட்டாலும், பிறகு அவை பொதுவாக ஒரு வளையமாகவே அமைந்திருக்கின்றன என்று தெரிய வந்தது. (படம் 6.4)



படம் 6—4
குளுகோஸ் மூலக்கூறின் பலவித கட்டமைப்புகள்

அதிக மூலக்கூறெடையுள்ள கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் மூலக்கூறெடையைத் துல்லியமாக அறியச் செய்யப்பட்ட சோதனைகள் மூலம் மூலக்கூறிலிருந்து ஒவ்வொரு சர்க்கரை மூலக்கூறு பிரிவதற்கும் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறு எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது என்று தெரிய வந்தது. இவ்வாறு கார்போ ஹைட்ரேட் உடைவதற்கு நீர்ப்பகுப்பு நீற்றுடைவு (hydrolysis) என்று பெயரிடப்பட்டது. நீற்றுடைவு கார்போ ஹைட்ரேட்டுகளுக்கு மட்டுமல்லாமல் செல்லின் மற்ற பெரிய மூலக்கூறுகளுக்கும் பொருந்துவதாகும். ஒரு மூலக்கூறு அலகுகளாக உடையும்போது, தண்ணீர் மூலக்

கூறுகள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன என்றால், அந்த அலகுகள் மூலக்கூறாக இணையும்போது, ஒவ்வொரு இணைப்புக்கும் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறு வெளியேறும் என்பது இயற்கையே. இப்படிப்பட்ட இணைப்பு குளிர்விணைவு (condensation) எனப் பெயர் பெறும். ஒரு மூலக்கூறின் நீற்றுடைவாலுண்டாகும் அதே அலகுகளின் குளிர்விணைவால் அம் மூலக்கூறு உருவாகிறது என்பது ஒரு பொது விதியாகும்.

எல்லா சர்க்கரைகளும் ஆறு கார்பன் அணுக்களைக் கொண்டவைகளோ, அல்லது எல்லா பாலிசேக்கரைடுகளும் குளுகோஸ் மூலக்கூறுகளின் இணைவால் உண்டானவையோ அல்ல. ஒரு சில கார்போஹைட்ரேட்டுகளில் நைட்ரஜன் அணுக்கள் கூட உள்ளன. செல்லில் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் பெருமளவுக்குக் காணப்பட்டாலும், அவை உயிர்ப்பொருளின் அமைப்பில் நேரடியாக ஈடுபடுபவையாகத் தெரியவில்லை. பெரும்பாலும் அவை உணவு சேமிப்புப் பொருள்களாகவே காணப்படுகின்றன. எனவே அவற்றின் முக்கிய பணி, ஆற்றல் பரிமாற்ற தூதுவர்களாகச் செயல்படுவதேயாகும். மற்றும் செல்லுக்கு வெளியில் பாதுகாப்புச் சுவராக அவை பெரும்பாலும் காணப்படுகின்றன. தாவர செல் சுவர்களின் முக்கிய பொருள் செல்லுலோஸ் எனப்படும் கார்போஹைட்ரேட்டாகும்.

## கொழுப்புப் பொருள்கள் (Lipids)

கொழுப்புப் பொருள்களின் வேதியமைப்பைக் கண்டறிவது மிகச் சிரமமாக இருந்ததால் அவற்றைப் பற்றி வெகு காலமாக நன்கு அறியப்படவில்லை. அங்ககவேதியல் அறிவு வளர்ச்சி இவற்றின் அமைப்பைக் கண்டறியுமளவுக்கு வளர்ந்த போது இவற்றில் கார்போஹைட்ரேட்டில் உள்ள கார்பன், ஹைட்ரஜன், ஆக்சிஜன் ஆகிய மூன்று தனிமங்கள் மட்டுமே அடங்கியிருப்பது தெரியவந்தது. ஆனால் இம்மூன்று தனிமங்களும் கொழுப்பில், கார்போஹைட்ரேட்டிலமைந்திருப்பதிலிருந்து வேறுபட்ட விகிதத்திலமைந்துள்ளன. கொழுப்புகளை நீற்றுடைத்தால் அவற்றின் எளிய அலகுகள் தெரியவருகின்றன. பெரும்பாலான கொழுப்புகள் கிளிசரால் (glycerol) என்னும் கார்போஹைட்ரேட்டோடு பல்வேறு கொழுப்பமிலங்கள் (fattyacids) கூட்டிணைவு பெற்றுள்ள அலகுகளாலானவை. கிளிசரால் மூன்று கார்பன் அணுக்களைக்கொண்ட ஒரு சர்க்கரை. கொழுப்பமிலங்கள் கார்பாக்சில் (Carboxyl) தொகுதியில் முடியும் நீண்ட ஹைட்ரோகார்பன் (Hydrocarbon) சங்கிலித் தொடர்கள். இந்த சங்கிலித் தொடரின் நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்கத் தண்ணீரில் கரையும்

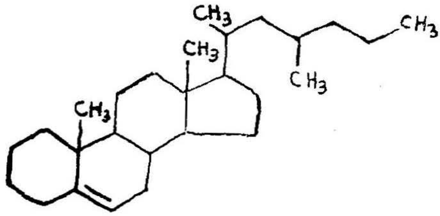
தன்மை குறைகிறது. பாமிடிக் (Palmitic) அமிலம் எனப்படும் ஒரு சாதாரண கொழுப்பமிலம் பதினைந்து ஹைட்ரோகார்பன் தொகுதிகளைக் கொண்டதும், கரையுந்தன்மையற்றதுமாகும். கிளிசரால் மூலக்கூறின் மூன்று கார்பன் தொகுதிகளோடு மூன்று ஒரே மாதிரியான கொழுப்பமிலத் தொடர்களோ அல்லது வெவ்வேறானவையோ இணைந்திருக்கலாம். கிளிசராலோடு இணையும் பொழுது கொழுப்பமிலங்களின் கார்பாக்சில் தொகுதி இணைவால் கட்டுப்பட்டு விடுவதால், கொழுப்புகள் சமநிலைக் கொழுப்புகள் (Neutral fats) என்றும் சொல்லப்படுகின்றன.

கொழுப்புகளின் அமைப்பை அறிய முயன்ற அங்கக வேதியலார், அவை செல்லமைப்பில் ஏற்கும் பங்கைப் பற்றிக் கருதவில்லை. எனவே அவர்கள் தனிப்பட்ட முறையில் கொழுப்புகளின் அமைப்பைப் பற்றி அறிந்து கூறியவைகளை, செல்லமைப்புக்குள் உயிரியலார் புகுத்த வேண்டியதாயிற்று. உண்மையில், இன்று கொழுப்புகளின் வேதியியல்புகள் தெரிந்துள்ள அளவுக்கு, செல்லில் அவற்றின் பங்கு பணி பற்றித் தெரியவில்லை.

உயிர்களில் மிகுதியாகக் காணப்படும் சமநிலைக்கொழுப்புகள் பெரும்பாலும் சேமிப்புணவாகவே செயல்படுகின்றன. பொதுவாக உயிர்கள் அதிக உணவை உட்கொள்ளுங்காலத்தில் அவற்றின் உடலில் அதிக கொழுப்பு சேருவதும், உணவில்லாக் காலங்களில் கொழுப்பு வேகமாகக் குறைவதும் பலருக்கும் தெரிந்ததாகும். ஆனால், சேமிப்புணவாகப் பயன்படுவதைத் தவிர செல்லமைப்பிலும் கொழுப்புகள் வெகுவாகப் பங்கு கொள்ளுகின்றன என்று தெரிய வந்துள்ளது. ஏனென்றால் கொழுப்புப் பொருள்கள் அறவே அற்ற சூழ்நிலையில் எந்த உயிரும் வாழ்ந்து பெருக முடியாது. செல்களில் நடைபெறும் ஊடுபரவலைப் பற்றி ஆராய்ந்த ஓவர்டன் (Overton)என்பவர் 1900ஆம் ஆண்டிலேயே,எல்லா செல்களிலும், செல்லின் வெளி விளிம்பாகிய சவ்வில் கொழுப்புப் பொருள் அமைந்திருக்க வேண்டும் என்று கூறினார். அதன்பிறகு செய்த ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து ஓவர்டன் சொன்னபடி செல்விளிம்பின் சவ்வில் மட்டுமல்லாமல், சைட்டோபிளாசத்தினுள்ளமைந்துள்ள சவ்வுகளிலும், மைட்டோ கோன்றியம், பசுங்கணிகம் ஆகியவற்றின் சவ்வுகளிலும், கொழுப்புப் பொருட்கள் அமைந்திருப்பது தெரியவந்தது.

செல்சவ்வுகளினமைப்பில் பங்கு கொள்ளும் கொழுப்புப் பொருள்கள் பெரும்பாலும் இரண்டு தொகுதிகளைச் சேர்ந்தவையாக உள்ளன. இவற்றில் ஒரு தொகுதி ஸ்டீரால்களும், (sterol) ஸ்டீராய்டுகளும் (steroids) ஆகும். ஆனால் இவை தமது அடிப்

படைக் கட்டமைப்பு, கரையுந்தன்மை ஆகிய இரண்டு அமிசங் களைத் தவிர மற்ற இயல்புகளில் சமநிலைக் கொழுப்புகளிலிருந்து மிகவும் வேறுபடுவனவாகும். சாதாரணமாகக் காணப்படும் கோலெஸ்டிரால் (cholesterol) என்னும் ஸ்டீராலின் அமைப்பு படம் (6.5ல்) காட்டப்பட்டுள்ளது. இப்படிப்பட்ட மூலக்கூறு புரோட்டீன் மூலக்கூறுடன் எப்படி இணைகிறது என்று தெரிய வில்லை. இவை அநேக செல்சவ்வுகளில் அமைந்துள்ளன என்பதில் ஐயமில்லை யாயினும் செல்லியக்கத்தில் இவற்றின்

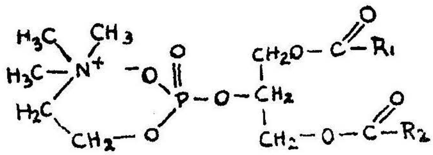



படம்: 6—5
கோலெஸ்டிராலின் மூலக்கூறமைப்பு

முக்கியத்துவம் என்ன என்று தெளிவாகப் புலப்படவில்லை. வைட்டமின் D, ஆண், பெண்பால் ஹார்மோன்கள் ஆகியவை யும் ஸ்டீராஸ்டுகளேயாகும். இப்படி ஸ்டீரால்களைப்பற்றி நாமறிந் துள்ள பல விவரங்கள் ஒன்றுக்கொன்று தொடர்பற்றனவாக உள்ளன. எனினும் இவை செல்சவ்வின் ஒரு இன்றியமையாத பொருளாகவும், நீரில் கரையாதனவாகவும் இருப்பதிலிருந்து, சவ்வின் கடத்துந் தன்மையோடு இவற்றின் பணி நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டிருக்க வேண்டுமென்று அனுமானிக்கலாம்.

செல்சவ்விேனாடு தொடர்புடைய இரண்டாவது தொகுதியான கொழுப்புகள் ஃபாஸ்போலிபிடுகள் (Phospholipids) எனப்படும். இவை அமைப்பில் ஏறக்குறைய சமநிலைக் கொழுப்புகளைப் போன்றனவேயாயினும், ஒரு முக்கிய வேறுபாடு இவற்றின் வேதிய பௌதிக இயல்புகளை வேறுபடச் செய்கிறது. சாதாரண மாகக் காணப்படும் லெசிதின் (Lecithin) என்னும் ஃபாஸ் போலிபிடின் அமைப்பு படம் 6—6ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் கிளிசரால் அச்சின் மூன்று கிளைகளில் கொழுப்பமிலங்கள் இணைந் துள்ள இரண்டு கிளைகளிலிருந்து மற்றொரு கிளை முற்றிலும் வேறு படுகிறது. இந்தக் கிளையில் ஃபாஸ்பாரிக் அமிலமும் (Phosphoric acid), ஒரு கோலின் (Choline) தொகுதியும் இணைந்துள்ளதால் இது மிகுந்த கரையுந்தன்மையைக் கொண்டதாகும். எனவே

முதல் இரண்டு கிளைகளும் கொழுப்புப் பொருள்களோடு வலுவாக இணையும் இயல்பையும், மூன்றுவது கிளை நீரில் கரையும் பொருள் களோடு வலுவாக இணையும் இயல்பையும் கொண்டனவாகின்றன. இவ்வாறு ஒரே மூலக் கூறில், நீரில் கரைவனவும், கரையாதனவு மான தொகுதிகள் அமைந்திருப்பது புரோட்டீன்களில் பொது வாகக்காணப்படுகிறது. ஆனுல் ஃபாஸ்போலிபிடு மூலக்கூறுகள், புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளை விடச் சிறியவையாதலால், குறுகிய



படம் 6.6
பி-லெசிதின் மூலக்கூறமைப்பு.

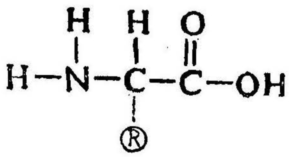
இடை வெளியில் குறிப்பிட்ட வரிசைக் கிரமத்தில் அமையக் கூடியனவாகும். இவ்வாறு வரிசையாக அமையக்கூடிய இயல் பினுல் ஃபாஸ்போலிபிடுகளைத் தண்ணீரில் மிதக்கவிட்டால் அவை மைலின் படலம் (Myelin film) எனப்படும் மெல்லிய படலமாகப் படருகிறது. புரோட்டீன், ஃபாஸ்போலிபிடு, தண்ணீர் ஆகிய மூன்றையும் கலந்தாலும் ஏறக்குறைய மேற் சொன்னது போன்ற படல அமைப்பு ஏற்படுகிறது. இதில் ஃபாஸ்போலிபிடின் கரையும் இயல்புக்கிளை புரோட்டீனேடு இணைந்து கொள்ளுகிறது. இந்தப் படலம் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில், செல்சவ்வுகளைப் போன்ற அதே அமைப்பைக் காட்டுகிறது. எனவே உண்மையில், செல் சவ்வுகளின் அமைப்பை உருவாக்குவதில் ஃபாஸ்போலி பிடுகளே மிக முக்கிய பங்கு வகிக்கின்றன என்று கருதப்படுகிறது. ஃபாஸ்போலிபிடுகள் எல்லாவகையான செல்களிலும் காணப் படுகின்றன. ஆனுல் ஸ்டீராய்டுகள் பாக்டீரியாக்களிலும், நீலப் பசும் பாசிகளிலும் காணப்படுவதில்லை.

**புரோட்டீன்கள்**

உயிரின் தனிப்பட்ட இயல்புகளை உருவாக்குவதில் மிகப் பிரதானமானவை புரோட்டீன்களாகும் என்ற கருத்து வெகு காலத்துக்கு முன்பே ஏற்பட்டது. ஆனுல், அங்ககவேதியலறிவு வளராத காலத்தில் புரோட்டீன்களைப் பிரித்து, தூய்மைப்படுத்தி அவற்றின் அமைப்பை ஆராய முடியவில்லை. ஆயினும் இயற் கையில் சில தூய புரோட்டீன்கள் இருந்தன. இவை முட்டையின் வெண்கருவான ஆல்புமின், ஜிலேட்டின் முதலிய புரோட்டீன் களாகும். எனவே முதன்முதலில் தூய கார்போஹைட்ரேட்டுகளை

ஆராயத் தொடங்கியதுபோல், இந்த தூய புரோட்டீன்களே முதன் முதலில் ஆராயப்பட்டன.

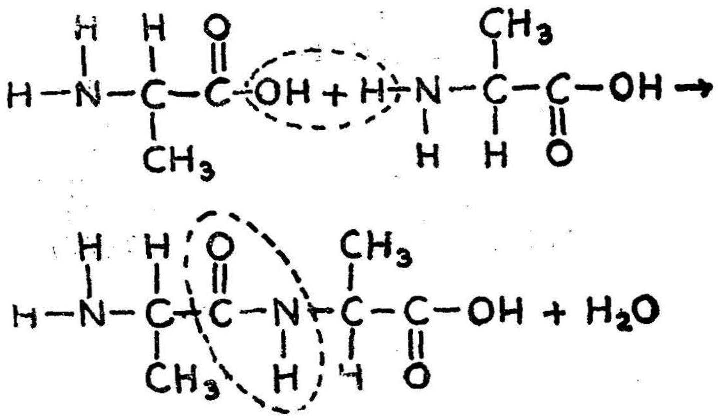
பாலிசேக்கரைடுகளைப்போல் புரோட்டீன்களும் நீற்றுடைவால் சிறு மூலக்கூறுகளாலான அலகுகளாகப் பிரிகின்றன. ஆனால் இவ்வலகுகள் பெரும்பான்மையான பாலிசேக்கரைடுகளிலிருப்பதைப்போல் ஒரேமாதிரியான மூலக்கூறுகளாக இல்லாமல் வெவ்வேறு விதமானவைகளாக இருக்கின்றன. சென்ற நூற்றாண்டின் கடைசியில் எமில்ஃபிஷர் (Emil Fischer) புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அலகுகள் எப்படி இணைந்துள்ளன என்பதைத் தெளிவாக்கினார். புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அலகுகள் தம்முள் வேறுபடும் சிறு மூலக்கூறுகளாயினும், அவையாவும் ஒரு பொதுவான அமைப்பை பெற்றுள்ளன. அதாவது ஒவ்வொன்றிலும் ஒரு அமினோ தொகுதியும் (Amino group,—$NH_2$), ஒரு கார்பாக்சில் தொகுதியும் (Carboxyl group,—COOH) அமைந்துள்ளன. (படம் 6—7) அமினோதொகுதியானது காரத்தன்மையையும், கார்பாக்சில் தொகுதியானது அமிலத் தன்மையையும் கொண்டனவாகும். எனவே இந்த அலகுகள் அமினோ அமிலங்கள் (Amino acids) என்று சொல்லப்படுகின்றன.



படம் 6.7
இரண்டு அலனின் மூலக்கூறுகள் பெப்டைடுஇணைப்பால் இணைதல் (CONH)

ஒரு புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அமினோ அமிலங்களெல்லாம் நீற்றுடைவால் பிரிந்து விடுவதால் அவைகள் யாவும் ஒரே மாதிரியான இணைப்பால் தம்முள் இணைந்திருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது. மற்றும் அப்படிப்பட்ட இணைப்பு அவற்றின் பொது அமிசங்களாகிய அமினோ, கார்பாக்சில் தொகுதிகளைப் பொருத்ததாகவே இருக்க வேண்டுமென்றும் அனுமானிக்கலாம். எமில் ஃபிஷரே, ஒரு அமினோ அமிலத்தின் அமினோ தொகுதி அடுத்த அமினோ அமிலத்தின் கார்பாக்சில் தொகுதியோடு இணைகிறது என்றும், அப்போது ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறு வெளிவிடப்படுகிறது என்றும் தீர்மானித்தார். இது ஒரு குளிர்வினைவாகுமென்றும் இதற்கு பெப்டைடு இணைப்பு (Peptide bond) என்ற பெயரை அவர் சூட்டினார். (படம் 6.8) தம்முடைய ஊகம் சரியானதென்பதைக் காட்ட அவர் அமினோ அமிலங்களைப் பெப்டைடிணைப்பால் இணைத்து, சிறு அமினோ அமிலத் தொடர்களை உருவாக்கினார். புரோட்டீன் கட்டமைப்பைப் பற்றிய அவரது

னகம் அப்போது பலராலும் ஒப்புக் கொள்ளப்படவில்லை யென்றாலும், நாளடைவில் அவர் சொன்னவை உண்மையென்று தெரிய வந்தது. புரோட்டீன்களானவை, அமினோ அமிலங்களின் பெப்டைடிணைவால் உருவான நீண்ட தொடர்களென்பது இன்று யாவரும் ஒப்புக் கொள்ளும் உண்மையாகும்.




படம்: 6-8
அமினோ அமிலத்தின் பொது அமைப்பு.
R-என்பது பக்க சங்கிலியைக் குறிக்கிறது.

அமினோ அமிலங்களாலான புரோட்டீன் சங்கிலித் தொடர் கிளையற்றது. மற்றும் உயிர்களில் எண்ணிறந்த வகையான புரோட்டீன்கள் காணப்பட்டாலும், அவற்றை உருவாக்கும் அமினோ அமிலங்கள் மொத்தம் சுமார் 20 ஆகும். இவற்றின் பெயர்கள் பட்டியல் 6.1ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

**பட்டியல் 6—1.**

புரோட்டீன்களில் காணப்படும் இருபது முக்கிய அமினோ அமிலங்களும், அவற்றின் பெயர்க்குறுக்கமும்

| அமினோ அமிலத்தின் பெயர் | பெயர்க்குறுக்கம் |
|---|---|
| அலனின் (Alanine) | அல (Ala) |
| அர்ஜினின் (Arginine) | அர்ஜ் (Arg) |
| அஸ்பரஜின் (Aspargine) | அஸ்பN (AspN) |
| அஸ்பார்டிக் அமிலம் (Aspartic acid) | அஸ்ப் (Asp) |
| சிஸ்டீன் (Cystine) | சிஸ் (Cys) |

| | |
|---|---|
| குளுடாமிக் அமிலம் (Glutamic acid) | குளு (Glu) |
| குளுடாமின் (Glutamine) | குளுN (GluN) |
| கிளைசின் (Glycine) | கிளை (gly) |
| ஹிஸ்டிடின் (Histidine) | ஹிஸ் (His) |
| ஐசோலுசின் (Isolucine) | இல்யு (Ileu) |
| லூசின் (Lucine) | லூ (Leu) |
| லைசின் (Lycin) | லைஸ் (Lys) |
| மெத்தியோனின் (Methionine) | மெட் (Met) |
| ஃபினைல் அலனின் (Phenyl alanine) | ஃபீ (Phe) |
| ப்ரோலின் (Proline) | ப்ரோ (Pro) |
| செரைன் (Serine) | செர் (Ser) |
| த்ரயோனின் (Threonine) | திர் (Thr) |
| டிரிப்டொஃபேன் (Tryptophan) | டிரிப் (Tryp) |
| டைரொசின் (Tyrosine) | டைர் (Tyr) |
| வேலைன் (Valine) | வேல் (Val) |

செல்லியக்கம், செல்லமைப்பு ஆகியவற்றின் எண்ணிறந்த வேறுபாடுகளுக்குக் காரணமான புரோட்டீன்கள் யாவற்றையும் இருபது சிறு அமினோ அமில மூலக்கூறுகளே உருவாக்குகின்றன என்பது மிகவும் வியப்புண்டாக்குவதாகும். ஆனால் இருபது வெவ்வேறு அலகுகளை வெவ்வேறு வரிசைகளில் இணைத்து உண்டாக்கக் கூடிய தொடர்களின் எண்ணிக்கை பல கோடி களாகும். மற்றும் ஒவ்வொரு அலகும் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட எண்ணிக்கையிலும் அமைந்து தொடரின் நீளமும் எவ்வளவு வேண்டுமென்றாலும் இருக்கலாமென்றால், உருவாகக் கூடிய தொடர்களின் எண்ணிக்கை கணக்கிலடங்காததாகும்.

## புரோட்டீன் அமினோ அமில வரிசை

புரோட்டீன் மூலக்கூறில், அமைந்துள்ள அமினோ அமிலங்களின் தன்மையும், வரிசைக்கிரமமுமே அம்மூலக்கூறின் தனிப்பட்ட இயல்புக்கு அடிப்படைக் காரணமாகுமெனின், அந்த அமினோ அமிலங்கள் எவை என்பதையும், அவை அமைத்துள்ள வரிசைக்கிரமத்தையும் அறிந்து கொள்ளுவதே புரோட்டீனைப் பற்றி மேலும் தெரிந்து கொள்ளுவதற்கு முதற்படியாகும். சுமார் இருபது ஆண்டுகளுக்கு முன் சேங்கர் (Sanger) என்பவர் முதன் முதலில் இதற்கான வழிமுறைகளை வகுத்து, புரோட்டீன் ஆராய்ச்சியில் ஒரு புதிய திருப்பு முனையை ஏற்படுத்தினர். புரோட்டீன் மூலக் கூறுனது அமினோ அமிலங்களின் பெப்டைடிணைப்பாலுறுவான, இணையற்ற சங்கிலித் தொடராகை

யால், ஒரு மூலக்கூறில் ஒரு முனையில் ஒரே ஒரு அமினோ தொகுதியும் மற்றொரு முனையில் ஒரே ஒரு கார்பாக்சில் தொகுதியும் மட்டுமே இணைப்பில் ஈடுபடாமல் இருக்கும். ஒரு முனையிலுள்ள அமினோ தொகுதியோடு மட்டும் வேதிக்கிரியையில் ஈடுபடக்கூடிய நிறப்பொருளொன்றை சேங்கர் கண்டுபிடித்தார். இதன் பெயர் டைனைட்ரோஃப்ளூரோ பென்சீன் (Diniuroflourobenzene) என்பதாம். இந்த இணைப்பு, பெப்டைடிணைப்பை விட வலுவானதால், நீற்றுடைவால் பெப்டைடிணைவுகள் பிரியும்போது, இந்த இணைப்பு பிரியாமல் நிலையாக இருக்கிறது. எனவே நீற்றுடைவால் தனித் தனியாக விடுபடும் அமினோ அமிலங்களில் இந்த நிறப் பொருளோடு இணைந்திருக்கும் அமினோ அமிலம் எதுவென்றும், அதுவே அப்புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அமினோ முனையிலிருக்கும் முதல் அமினோ அமிலமாகுமென்றும் கண்டறியலாம்.

நீற்றுடைவுக்குப் பிறகு நிறப் பொருளோடு இணைந்த தொகுதியில் ஒரே ஒரு அமினோ அமிலம் மட்டுமே இணைந்திருந்தால் அதைக் கண்டறிவது எளிது. ஆனால் புரோட்டின் மூலக்கூறின் நீற்றுடைவால் அதன் பெப்டைடிணைவுகளெல்லாம் ஒரே சமயத்தில் பிரிந்து எல்லா அமினோ அமிலங்களும் தனிப்படுவதில்லை. நீற்றுடைவு நடைபெறும் நேரத்தைப் பொருத்துச் சில பல பெப்டைடிணைவுகள் மட்டுமே பிரிவதால், நீற்றுடைவின் விளைவாகச் சில பல அமினோ அமிலங்களின் தொகுதிக் கூறுகளே பெரும்பாலும் ஏற்படுகின்றன. இவற்றில் நிறப்பொருளோடு இணைந்த கூறில் ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட அமினோ அமிலம் இருக்குமாயின் மறுபடியும் அக்கூறை மற்றவைகளிலிருந்து பிரித்து நீற்றுடைவு செய்து அமினோ நுனியிலிருக்கும் அமிலத்தை மட்டும் பிரித்து அது என்ன அமினோ அமிலம் எனக் காணலாம். மற்றும் நீற்றுடைவால் ஒரு புரோட்டீனுடைய எல்லா மூலக்கூறுகளும் ஒரே இடத்தில் பிரிவதில்லையாதலால் நிறப்பொருளோடிணைந்த கூறுகளில் வெவ்வேறெண்ணிக்கையான அமினோ அமிலங்களிலிருக்கக்கூடும். இவற்றை மேலும் நீற்றுடைவுக் காட்படுத்தி ஆராய்வதால், அமினோ அமிலங்களின் வரிசையைப் படிப்படியாகக் கண்டரியலாம். மற்ற புரோட்டீன்களோடு ஒப்பிடும்போது சிறிய மூலக்கூறான இன்சுலின் (Insulin) மூலக்கூறை சேங்கர் முதன் முதலில் ஆராயத் தொடங்கி அதன் அமினோ அமில வரிசையை முழுதும் கண்டறிந்தார். அதன் விளைவாகச் சீன அங்ககவேதியலார் செயற்கையாக முதன் முதலில் இன்சுலினைச் சோதனை சாலையில் தயாரித்து வெற்றி கண்டனர். இப்போது பெரிய புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் பலவற்றின் அமினோ அமில வரிசைக்கிரமம் ஆராயப்பட்டு வருகிறது.

## புரோட்டீனும் தண்ணீரும்

புரொட்டீன் மூலக்கூறினுடைய இயல்பு அமினோ அமில வரிசைக்கிரமத்தாலும், அவற்றின் தன்மையாலும் ஏற்படுவதற்குக் காரணம் வெவ்வேறு அமினோ அமிலங்கள் வெவ்வேறு வேதியல்புகளைப் பெற்றிருப்பதேயாகும். புரோட்டீன்களில் காணப்படும் இருபது அமினோ அமிலங்களின் அமைப்பும் அறியப்பட்டுள்ளது. இவை பலதிறப்பட்டனவாகும். கட்டமைப்பில் ஏறக்குறைய ஒரே மாதிரியாக இருக்கும் அமினோ அமிலங்கள் கூட இயல்பில் மிகவும் வேறுபடுகின்றன. ஒரு நுனியில் அமினோ தொகுதியும் மற்ற நுனியில் கார்பாக்சில் தொகுதியும் இருப்பது எல்லா அமினோ அமிலங்களுக்கும் பொதுவாக இருந்தாலும் அமினோ அமில மூலக்கூறில் அமைந்திருக்கும் R தொகுதிகளென்பவை வேறுபடுவதே அவற்றை வேதிய, பௌதிக இயல்புகளில் வேறுபடச் செய்கின்றன. R தொகுதிகளின் வேதியமைப்பு, நீளம், கிளைத்தோ கிளைக்காமலோ இருப்பது ஆகிய அமிசங்கள் வேறுபடுபனவாகும். படம் (6—9) ஆனால், இவை தண்ணீரோடு என்ன தொடர்புடையன என்பதே செல்லில் இவற்றின் முக்கியத்துவத்தைக் குறிப்பதாகக் கொள்ளலாம். ஏனெனில் செல்களின் வற்றெடையில் புரோட்டீன் 70% இருந்தாலும், செல்களின் மொத்த எடையில் 80% தண்ணீராகும். ஆகவே செல்லமைப்பு, செல்லியக்கம் ஆகிய எல்லாவற்றிலும், தண்ணீராலான தளத்தில், பெரிய மூலக்கூறுகள் எப்படி அமைகின்றன என்பதே மிக முக்கியமாகக் கவனிக்கப்பட வேண்டியதாகிறது.

புரோட்டீன் தொடரோடிணைந்துள்ள R தொகுதிகள், அவற்றைவிட எண்ணிக்கையில் பல மடங்கான தண்ணீர் மூலக்கூறுகளால் சூழப்பட்டுள்ளன. இதை நாம் எளிதாகக் கணக்கிட்டறியலாம். பொருண்மையைப் பொருத்தவரை, செல்லில் புரோட்டீனைப்போல் சுமார் ஆறு மடங்கு தண்ணீருள்ளது ஆனால் சராசரி ஒரு அமினோ அமில மூலக்கூறு தண்ணீரின் மூலக்கூறைப்போல் ஆறு மடங்கு கனமுள்ளது. எனவே அமினோ

---

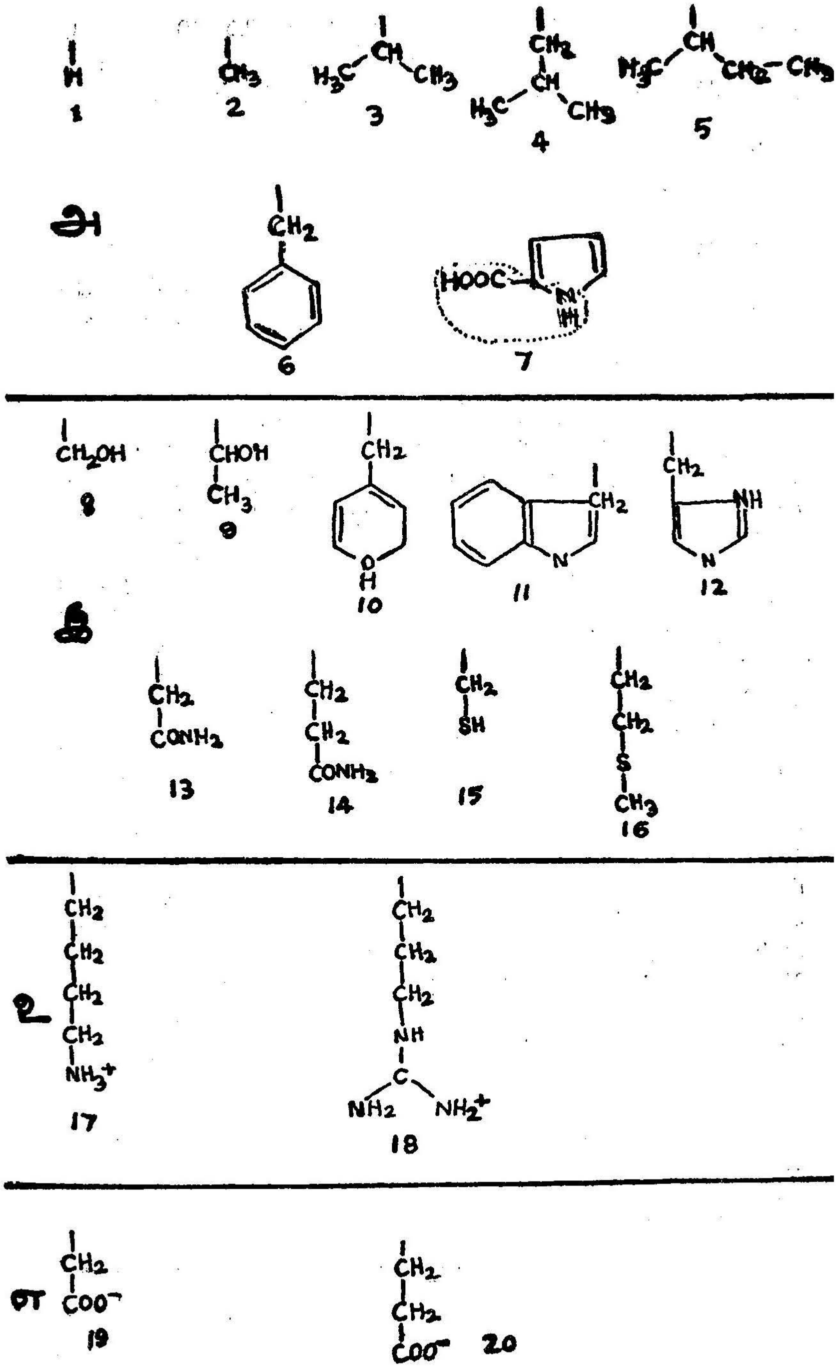
படம் 6—9.

அமினோ அமிலங்களின் R தொகுதிகள்:

அ—கரையா அமினோ அமிலங்கள்:

1. கிளைசின், 2. அலனின், 3. வேலைன், 4. லூசின், 5. ஐசோலூசின், 6. ஃபினைல் அலனின், 7. ப்ரோலின், இ-கரைந்தாலும், அயனீகரணமடையாத, அல்லது மிகச்சிறிதே அயனீகரணமடையும் அமினோ அமிலங்கள் 8. சிரைன், 9. திரியோனின், 10. டைரொசின், 11. டிரிப்டொஃபேன்.

12. ஹிஸ்டிடின், 13. அஸ்பரஜின், 14. குளுடாமின்; 15. சிஸ்டைன், 16. மெத்தியோனின், உ-காரத்தன்மையான அமினோ அமிலங்கள், 17. லைசின்; 18. அர்ஜினின், எ. அமிலத்தன்மையான அமினோ அமிலங்கள், 19. அஸ்பார்டிக் அமிலம்; 20. அகுளுடாமிக் மிலம்.


அ
இ
உ
எ
H
CH3
H3C CH CH3
CH2 CH H3C CH3
H3C CH CH2 CH3
CH2
HOOC
CH2OH
CHOH CH3
CONH2
SH
S
NH3+
NH
NH2 NH2+
COO-
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

படம் 6-8

அமில R தொகுதிகளைப்போல் எண்ணிக்கையில் 30 முதல் 35 மடங்கு தண்ணீர் மூலக்கூறுகளுள்ளனவென்று சொல்லலாம். தண்ணீர் மூலக்கூறுகளெல்லாம், புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளைச் சார்ந்திருக்குமென்று சொல்லமுடியாதென்றாலும், பெரும்பகுதி அவ்வாறிருக்க வேண்டுமென்று கருதலாம். ஏனெனில் செல்லின் உயிரற்ற உள்ளீடுகளாகிய வேக்யூல் ஸ்டார்ச் மணிகள், கொழுப்புத் திவலைகள் ஆகியவற்றைத் தவிர, செல்லின் மற்ற எப்பகுதியிலும் புரோட்டீனில்லாமலில்லை. எனவே அமினோ அமிலங்களின் R தொகுதிகளின் பணி என்னவாயினும், அவை தண்ணீர் மூலக்கூறுகளோடு நெருங்கிய ஈடுபாடு கொண்டிருக்க வேண்டுமென்பதை மறுக்க முடியாது.

**அமினோ அமிலங்களும், புரோட்டீன் கட்டமைப்பும்**

அமினோ அமிலங்களின் சில R தொகுதிகள் தண்ணீரில் கரையாதனவாகும். கிளைசின் (glycine), அலனின் (alanine), வேலின் (valine), லூசைன் (Leucine), ஐசோலூசைன் (isoleucine) ஆகிய அமினோ அமிலங்களின் R தொகுதியின் கார்பன் அணுக்களெல்லாம் ஹைட்ரஜனால் நிறைவுற்றுள்ளன. கரையா இயல்புடைய பென்சீன் வளையத்தை (benzene ring) கொண்ட ஃபினைலலனினும். (phenylalanine) கரையாததேயாகும். புரோட்டீன் மூலக்கூறில் மேற்சொன்ன அமினோ அமிலங்கள் உள்ள இடங்களிலெல்லாம் அவை மற்ற கரையாப் பொருள்களோடு தொடர்பு கொண்டு தண்ணீரை விலக்கக்கூடும். கரையா இயல்பையுடைய மற்றொரு அமினோ அமிலமாகிய ப்ரோலின் (Proline) ஒரு தனித்தன்மையைப் பெற்றுள்ளது. இந்த ஒரு அமினோ அமிலத்தில் மட்டுமே, மூலக்கூறின் பொது முனையிலிருக்கும் நைட்ரஜன் அணுவோடு R தொகுதியின் கடைசி வால்பகுதி இணைந்திருக்கிறது. எனவே ப்ரோலின் அமைந்திருக்கும் இடத்திலெல்லாம் புரோட்டீன் மூலக்கூறின் தொடரில் ஒரு வளைவு ஏற்பட வேண்டும். உண்மையில் அவ்வாறு ஏற்படுகிறது என்பது சமீபகாலத்தில் செய்யப்பட்ட X கதிர்விலகல் (X ray diffraction) ஆய்வுகளிலிருந்து தெரிய வந்துள்ளது. குறிப்பிட்ட அமினோ அமிலங்களால் புரோட்டீன் மூலக்கூறின் வடிவம் எப்படி மாறலாமென்பதை மேற்சொன்ன எடுத்துக்காட்டிலிருந்து உணரலாம்.

மேற்குறிப்பிட்டனவற்றைத் தவிர மற்ற அமினோ அமிலங்களின் R தொகுதிகளெல்லாம் ஓரளவுக்காகிலும் கரையக்கூடியனவாகும். ஆயினும் இவற்றின் முக்கியத்துவம் ஹைட்ரஜன் அயனிச் சம நிலையில் (Neutral PH) அயனிப் பிரிவடைவதைப் பொருத்ததாகும். ஏனெனில் இந்த PH மட்டமே செல்களில் காணப்

படுவதாகும். செரைன் (Serine), திரியோனின் (Threonine) ஆகிய இரண்டு அமினோ அமிலங்களின் ஹைட்ராக்சில் தொகுதி, கார்போ ஹைட்ரேட்டுகளின் ஹைட்ராக்சில் தொகுதியைப் போலவே, அயனிப் பிரிவடைவதில்லையாதலால், அவை கரையுந்தன்மை பெறுகின்றன. டிரிப்டொஃபேன் (Tryptophan) ஹிஸ்டிடின் (Histidine) ஆகிய இரண்டு அமினோ அமிலங்களிலும் அவற்றின் நைட்ரஜன் அணுக்கள் கரையுந்தன்மையை உண்டாக்குகின்றன. சிஸ்டீன் (cysteine) மெத்தியோனின் (Methionine) ஆகிய இரண்டு மட்டுமே சல்ஃபரை (sulphur) உடைய அமினோ அமிலங்களாகும். ஆக்சிஜன், நைட்ரஜன் முதலிய தனிமங்களைப்போல் சல்ஃபரும் ஒரு எதிர் மின்னேற்றத் தனிமமாகும். ஆனால் சல்ஃபரின் மற்றொரு இயல்பு சிஸ்டீன் என்னும் அமினோ அமிலம் புரோட்டீன் மூலக்கூறில் ஒரு தனிப்பட்ட பணியை ஆற்றுவதற்குக் காரணமாகிறது. இரண்டு சிஸ்டீன் மூலக் கூறுகளின் —SH நுனிகள் ஹைட்ரஜனை இழந்து—SS—என்ற கூட்டு இணைப்பை ஏற்படுத்துகின்றன. இவ்வாறு புரோட்டீன் மூலக்கூறின் தொடரில் கூட்டிணைப்பு ஏற்படுத்துவதில் சிஸ்டீனே பிரதானமான அமினோ அமிலமாகும். எனவே பல சிஸ்டீன்களையுடைய புரோட்டீன் மூலக்கூறில், சிஸ்டீன்கள் ஒன்றோடொன்று இணைந்து வலைப் பின்னல் போன்ற குறுக்கிணைப்புகளை உண்டாக்கலாம். சைட்டோபிளாசத்தின் ஜெல் அமைப்புக்குக் காரணமாவது இப்படிப் பட்ட குறுக்கிணைப்புகளேயென நம்பப்படுகிறது.

## புரோட்டீன்களும் அயனிப்பிரிவும்

புரோட்டீன்களின் வேதிய பௌதிக இயல்புகளில் முதன் முதலில் கவனத்தைக் கவர்ந்தது அவற்றின் R தொகுதிகளின் அயனிப் பிரிவுத்திறனாகும். இன்றும் புரோட்டீன்களைப் பிரித்துத் தனிப்படுத்துவதும் தூய்மைப்படுத்துவதும் ஒவ்வொரு புரோட்டீனிலும் அயனிப் பிரிவடையும் அமினோ அமிலங்கள் தனிப்பட்ட முறையில் அமைந்திருப்பதையே ஆதாரமாகக் கொண்டுள்ளன. அமினோ அமிலங்கள் இரண்டு விதமாக அயனிப் பிரிவடைகின்றன. ஒன்று குளுடாமிக் அமிலம் அஸ்பார்டிக் அமிலம் போன்ற கார்பாக்சில் தொகுதிகளையுடையவை. இரண்டு லைசின், அர்ஜினின் முதலிய அமினோ தொகுதிகளையுடையவை. குளுடாமிக், அஸ்பார்டிக் அமிலங்களின் R தொகுதி அயனிப் பிரிவடையும் போது அந்த இடத்தில் புரோட்டீன் மூலக்கூறு எதிர் மின்னேற்றமடைகிறது. லைசின், அர்ஜினின் முதலியவை இதற்கு எதிராக நேர்மின்னேற்றமடைகின்றன. ஏனென்றால் இவற்றின் எதிர்

மின்னேற்ற நைட்ரஜன் அணு தண்ணீருள்ள போது ஹைட்ரஜன் அணுவோடு இணைகிறது.

புரோட்டீன்களின் அயனிப்பிரிவு இயல்புகளை அர்ரீனியசின் அயனிப்பிரிவு விதியால் அறியலாம். நூற்றுக்கணக்கான அமினோ அமிலங்களைக் கொண்ட ஒரு புரோட்டீன் மூலக்கூறின் மொத்த போக்கையும் அறிய முடியாதெனினும், பொதுவாக அதன் R தொகுதிகளின் அயனிப்பிரிவு இயல்புகள், தனி அமினோ அமிலங்களில் காணப்படுவது போலவே இருக்க வேண்டுமென்று அனுமானிக்கலாம். மின்னேற்றக் கரைசல்களுக்குப் பொருந்தும் விதிகளிலிருந்து, PH மட்டம் குறையக் குறைய, அயனிப்பிரிவடையும் கார்பாக்சில் தொகுதிகளின் எண்ணிக்கை குறைந்து அயனிப் பிரிவடையும் அமினோ தொகுதிகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கும் என்று சொல்லலாம். PH மட்டம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இதற்கு எதிர்மாறான விளைவு ஏற்படும்.

ஒரு அமினோ அமிலக் கரைசலில் குறிப்பிட்ட PH மட்டத்தில் அயனிப் பிரிவடையும் R தொகுதிகளின் விகிதத்தை அதன் அயனிப் பிரிவு சமநிலை தெரிந்தால் கணக்கிட்டுக் காணலாம். தனி அமினோ அமிலத்துக்குப் பொருந்தும் அயனிப்பிரிவு அவை புரோட்டீன் மூலக்கூறாக இணைந்திருக்கும் போதும் பொருந்துமெனில் ஒரு புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அமினோ அமில அமைப்பிலிருந்து குறிப்பிட்ட PH மட்டத்தில் அம் மூலக்கூறில் ஏற்படக்கூடிய மொத்த மின்னேற்றத்தைக் கணக்கிடலாம். செல்களில் பெரும்பாலும் உள்ள PH 7 மட்டத்தில் டைரோசின் (Tyrosine) சிஸ்டீன், ஹிஸ்டிடின் (Histidine) ஆகிய அமினோ அமிலங்கள் குறிப்பிடத்தக்க அயனிப் பிரிவடைவதில்லை. எனவே செல்லில் புரோட்டீன் மூலக்கூறின் மின்னேற்றம் லைசின் (lisine) அர்ஜினின் (Arginine) குளுடாமிக், அஸ்பார்டிக் அமிலங்கள் ஆகியவற்றின் வகிதத்தைப் பொருத்ததாகவே இருக்கவேண்டுமென்று தெரிகிறது, ஒரு புரோட்டீன் மூலக்கூறின் மின்னேற்றத் தன்மையே அதன் வேதிய பௌதிக இயல்புகளெல்லாவற்றையும் நிர்ணயிக்கிறது என்று சொல்ல முடியாதென்றாலும், இதுவே மற்றெல்லாவற்றையும் விட முக்கியமானது எனலாம்.

**எலெக்ட்ரோஃபோரெசில் (Electro Phorosis)**

புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளில் நிலையான மின்னேற்றத் தொகுதிகளுள்ளனவெனில், மின் கரைசல்களைக் கொண்டு ஃபாரடே நடத்திய மின்கடத்து சோதனைகளைப் புரோட்டீன் கரைசல்களில் நடத்தி, மின்னேற்றத்துக்குத் தகுந்தபடி புரோட்

டீன்கள் நகரும் வேகத்தையும், தூரத்தையும் திசையையும் அறிய முடியும். எலெக்ட்ரோஃபோரெசிஸ் (Electro Phorosis) என்று குறிக்கப்படும் இச்சோதனையைப் பல வழிகளில் நடத்தலாம். அவற்றில் மிக எளிமையான ஒரு வழியாதெனில், ஒரு வடித்தாளைத் தேவையான PH மட்டத்தை உள்ள நிலைத்தாங்கிக் கரைசலில் நனைத்து அதன் நடுவில் ஒரு துளி புரோட்டீன் கரைசலைச் சிறு புள்ளியாக வைத்துத் தாளின் இரண்டு நுனிகளிலும் மின்துருவங்களைப் (electrode) பொருத்தி மின் சக்தியைப் பாயச் செய்வதாகும் PH மட்டத்தைப் பொருத்து வெவ்வேறு புரோட்டீன்கள் வெவ்வேறு திசையிலும், வேகத்திலும் நகர்ந்து செல்லுகின்றன. ஆனால் ஒவ்வொரு புரோட்டீனும் ஒரு குறிப்பிட்ட PH மட்டத்தில் நகரவே நகராது. இது ஏனென்றால் புரோட்டீன் மூலக்கூறு நகரும் திசை, அதன் கார்பாக்சில், அமினோ தொகுதிகளின் அயனிப் பிரிவாலேற்படும் எதிர், நேர் மின்னேற்றங்களில் எது அதிகமாக உள்ளதோ அதைப் பொருத்ததாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட PH மட்டத்தில் ஒரு புரோட்டீன் நகருவதில்லையென்றால், அந்த மட்டத்தில் அப் புரோட்டீனின் நேர், எதிர் மின்னேற்றங்கள் சமமாக உள்ளது என்று கருதலாம். இந்த PH மட்டம் சம மின் நிலை (Isoelectric point) எனப்படும்.

செல்லின் புரோட்டீன்கள் வெவ்வேறு சமமின் நிலையைப் பெற்றுள்ளதாகத் தெரிகிறது. செல்லுனுள்ள கரையும் புரோட்டீன்களை யெல்லாம் மொத்தமாக எடுத்து, எலெக்ட்ரோஃபோரெசிசுக்கு உட்படுத்தினால், ஒரு குறிப்பிட்ட PHமட்டத்தில் வெவ்வேறு புரோட்டீன்கள் வெவ்வேறு திசையில், வெவ்வேறு தூரம் நகருவது தெரியும். அநேக புரோட்டீன்களின் சமமின்நிலை 5முதல் 6PH மட்டத்திலுள்ளது. அர்ஜினின் (arginine): லைசின் (lysin) ஆகிய அமினோ அமிலங்களை அதிகமாகக் கொண்ட சில புரோட்டீன்களின் சமமின்நிலை 9 முதல் 10 PH மட்டத்திலுள்ளது. பெரும்பாலான செல்களில் PH மட்டம் 7 ஆகையால், பெரும்பாலான செல் புரோட்டீன்களில் எதிர் மின்னேற்றமே அதிகமாக இருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது.

**புரோட்டீன் உருவம்**

புரோட்டீன் மூலக்கூறானது நீண்ட பல்பெப்டைடு (polypeptide) தொடராகுமென்பது நிச்சயமான பிறகு, அத்தொடர் ஒரே நேராக நீண்டுள்ளதா அல்லது குறிப்பிட்ட விதத்தில் மடிந்திருக்கலாமா என்ற ஐயம் எழுந்தது. இதற்கு முக்கியமான காரணம் யாதெனின் அநேக புரோட்டீன் கரைசல்களைச் சூடுபடுத்தினால் 100°Cக்கும் குறைவான வெப்பத்திலேயே அவை தலைவந்து

விடுகின்றன. அவ்வாறு துவைந்ததை மீண்டும் குளிர்வித்தால் பழையபடி கரைசல் நிலையை அடைவதில்லை. மற்றும், கரைசல் நிலையிலிருக்கும் புரோட்டீனிலிருந்து துவைந்த நிலையிலுள்ளது பல இயல்புகளில் வேறுபடுகிறது. ஆயினும் துவையும்போது புரோட்டீன் மூலக்கூறு உடைந்துபோவதோ, அல்லது சேதப் படுவதோ இல்லையென்று தெரிகிறது. எனவே புரோட்டீன்களின் இப்பண்பை விளக்கு முகத்தான், செல்லில் தமது இயல்பான நிலையில் அவற்றின் மூலக்கூறுகள் பல படியாக மடங்கியிருக்க வேண்டுமென்ற கருத்து தோன்றியது. அவ்வாறுயின் சூடாக்கும் போது அவற்றின் மடக்குகள் நீங்கி மூலக்கூறு நீண்டுவிடலாம். நீண்ட மூலக்கூறுகள் தம்முள் ஒன்றோடொன்று இணைந்து பெரிய துகள்களாவதால், கரைசல் நிலையிலிருக்கக் கூடாமல் துவைந்து விடலாம். செல்லில் இருக்கும் நிலையைச் சொந்த நிலை (native state) என்றும், வெப்பத்தாலோ அல்லது மற்ற காரணங்களாலோ நீண்டுபோன நிலையை சிதைந்தநிலை (denatured state) என்றும் குறிப்பிடலாம்.

மூலக்கூறுகள் மடங்கியிருக்கலாமென்ற கருத்து முதன் முதலாக வெளியிடப்பட்டபொழுது அது மிகவும் வியக்கத்தக்க தொன்றாகத் தெரிந்தது. ஆயினும், புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளின் பல இயல்புகள் இதை வலியுறுத்துவதாகத் தெரியவந்ததால் இதைப் பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் தீவிரமாயின. மடிப்பைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ள மிக எளிமையான வழி, மூலக்கூறில் சிஸ்டைன் என்னும் அமினோ அமிலத்தின் —SH தொகுதிகளினளவைக் காண் பதாகும். இதுபற்றிய சோதனைகளிலிருந்து, சொந்த நிலை புரோட்டீ னிலுள்ளதைவிட அதே புரோட்டீனின் சிதைந்தநிலையில் அதிக —SH தொகுதிகளிருப்பதாகத் தெரியவந்தது. இதிலிருந்தே, சிதையும்போது புரோட்டீன் மூலக்கூறு மடக்குகள் நீங்கி நீளுகிறது என்று தீர்மானிக்கலாம். எப்படியென்றால், மடங்கிய நிலையில் பல —SH தொகுதிகள் மடக்குகளின் உட்புறமாகச் சென்று விடுவதால் வெளிப்படையாக சோதனையில் தெரியாது. ஆனால் மடக்குகள் நீங்கும்பொழுது அவை வெளியில் வருவதால் சோதனையில் தெரிய வருகின்றன. இதைப் போலவே மற்ற பல தொகுதிகளைப் பற்றி சோதனைகள் செய்யப்பட்டன. அமிலங்கள், காரங்கள், யூரியா, முதலிய பல சாதனங்களால் புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் சிதைக்கப் பட்டு ஆராயப்பட்டன. இவை யாவும், பெரும்பான்மையான புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் சொந்த நிலையில் மிகவும் மடங்கி யுள்ளன என்றும், சிதையும் பொழுது நீண்டுகொள்ளுகின்றன என்றும், மிகச் சிலவற்றைத் தவிர மற்றவைகள் சிதைந்த நிலையி

லிருந்து மீண்டும் சொந்த நிலையை எய்துவதில்லையென்றும் வலியுறுத்தின.

புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் மடங்கிய உருவத்தை உடையன என்ருல் அவை எப்படி மடங்கியுள்ளன என்ற கேள்வி எழுகிறது. புரோட்டீன்களைத் தூய்மைப் படுத்தும் முறைகளின் முன்னேற்றத்தால் அவற்றைத் தூய படிகங்களாகப் பெற முடிந்தபிறகு, X கதிர் விலகல் மூலம் அவற்றின் உருவத்தைக் கண்டறியும் முயற்சிகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. X கதிர்களின் அலைநீளம் சுமார் 1Å ஆகும். மூலக்கூறில் அணுவிடைத் தூரமும் (Inter atomic distance) சுமார் 1Å ஆகையால், ஒளியானது மிகக் குறுகிய சந்து மூலம் செல்லும்போது விலகலடைவது போல கதிரும் குறுகிய அணுவிடைவெளிகளில் செல்லும்போது விலகலடைகிறது. இவ்விலகலின் தன்மை மூலக் கூறில், அணுக்களின் அமைப்பைப் பொருத்து அமையுமாகையால், விலகலடைந்த X கதிர்களைப் படமெடுத்து, அதிலிருந்து அணுக்கள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று எவ்வாறு, எவ்வளவு தூரத்தில் அமைந்துள்ளன என்று அறியலாம். ஆனல் இது மிகச் சிக்கலானதும், சிரமமானதுமான செயலாகும். எனினும் பல அறிவியல் குழுக்களின் தீவிர முயற்சியால் இதைப் பயன்படுத்தி புரோட்டீனுட்பட மற்றும் பல பெரிய மூலக்கூறுகளின் உருவங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன.

## இழை புரோட்டீன்களும் உருண்டை புரோட்டீன்களும்

புரோட்டீனின் உருவத்தைப் பொருத்தவரை, அவற்றை இழை புரோட்டீன்கள் (Filrous Proteins), உருண்டை புரோட்டீன்கள் என்று இரண்டு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். பட்டு, மயிர், தசையில் காணப்படும் மையோசின் (Myosin). இரத்தத்தை உறைய வைக்கும் ஃபைப்ரின் (Fibrin) முதலியவை இழை புரோட்டீன்களாகும். இவை சொந்த நிலையில் தண்ணீரில் கரையாதவை. சிதைந்த நிலையில் தண்ணீரில் கரைந்து ஜெல் தன்மையைப் பெறுகின்றன. இவற்றில் இழைபோன்ற பெப்டைடு தொடர் ஒன்ருேடொன்று முறுக்கிக்கொண்டு அல்லது நீளவாக்கில் இணைந்தோ இருக்க வேண்டுமென எண்ணப்பட்டது. ஆனல் உருண்டை புரோட்டீன்களின் பெப்டைடு தொடர் பலவிதமாக மடங்கி ஏறக்குறைய உருண்டை போன்ற அமைப்பைப் பெற்றிருக்க வேண்டுமென்றும், அதனுல் மிக எளிதாக சிதையக் கூடியதாயிருக்கிறதென்றும் எண்ணப்பட்டது. இந்த இரண்டு வகை புரோட்டீன்களும் செல்லில் வெவ்வேறு பணிகளைச் செய்கின்றன. இழை புரோட்டீன்கள் செல்லு

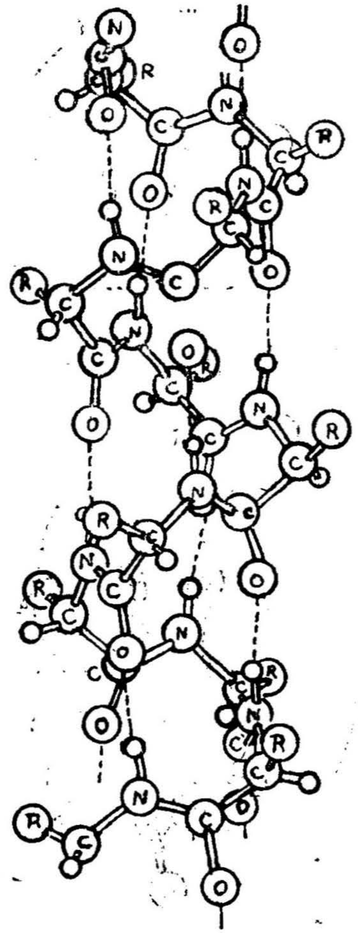
மைப்பை உண்டாக்குவதற்கும், உருண்டை புரோட்டீன்கள் செல்லியக்கங்களான உயிர்ப்பு, இதர அங்கக மூலக்கூறுகளைத் தோற்றுவித்தல் முதலியனவற்றை நடத்துவதற்கும் பயன் படுகின்றன.

புரோட்டீன் மூலக்கூறின் உருவ ஆராய்ச்சிக்கு இழை புரோட்டீன்களே முதன்முதலில் ஈடுபடுத்தப்பட்டன. ஏனெனில் உருண்டை புரோட்டீன்களைவிட இவை எளிய அமைப்பைக் கொண்டிருக்க வேண்டுமென்று கருதப்பட்டது. மற்றும், கம்பளி, மயிர் முதலிய புரோட்டீன் இழைகள் குறிப்பிட்ட வலிமையோடு நீண்டு சுருங்குந்தன்மையைப் பெற்றுள்ளன. இவ்வலிமையின் அளவிலிருந்து, அதன் மூலக்கூறுகள் ஒன்றோடொன்று இணைந்தி ருக்கும் வலிமையை ஓரளவுக்கு நிர்ணயிக்கலாம். அதுவுமல்லாமல் மடக்கில்லாமல் நீண்ட இழை ஒரு கோடு போல் நீண்டுள்ளதா, அல்லது வளைவுகளைப் பெற்றுள்ளதா என்பதை எளிதாக நிர்ண யிக்கலாம்.

இழை புரோட்டீன் மூலக்கூறின் உருவத்தை X கதிர் விலகல் மூலமும், மற்ற வழிகள் மூலமும் ஆராய்ந்ததில், பட்டு போன்ற புரோட்டீன்களின் மூலக்கூறு நேராக நேர்க்கோடுபோல் நீண்டி ருப்பதாகத் தெரியவந்தது. இது நீண்டு சுருங்கும் தன்மையற்றது ஆனால் கம்பளி, மயிர், ஆகியவற்றைத் தண்ணீரில் நனைத்து நீட்டினால், அவை சுமார் அவற்றின் இயற்கை நீளத்தில் இரு மடங்கு வரை நீளக்கூடியவையாயுள்ளன. முழுதும் நீண்ட நிலையில் இவற்றின் மூலக்கூறுகளும், பட்டின் மூலக்கூறுகளைப் போலவேயுள்ளன. ஆனால் சுருங்கிய நிலையில் நீண்ட நிலையிலுள் ளதைவிட அணுவிடைத்தூரங்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட ஒழுங்கில் குறைகின்றன. இதிலிருந்து மூலக்கூறின் தொடர் எப்படியோ ஒரு விதத்தில் குறுகிக்கொள்ளுகிறதென்று நிச்சயமாகிறது. ஆனால் வேதி இணைப்புகளில் அணுக்கள் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்திலமைந்திருக்க வேண்டுமென்ற விதியை மீறுவதற்கில்லை. அப்படியாயின் அணுவிடைத்தூரங்கள் குறைந்திருப்பதாகத் தெரிவதெப்படி? சிக்கலான இக்கேள்விக்கு லைனஸ் பாலிங் (Linus Pauling) என்பவரின் அபூர்வமான தீர்க்கதரிசனம் முதன் முதல் விடை கண்டது. அதாவது புரோட்டீன் மூலக்கூறின் தொடரானது நீண்ட திருகுச்சுருளாக அமைந்துள்ளது என்பதாம். மற்றும் இச்சுருளானது மூலக்கூறில் அடுத்தடுத்து அமைந்துள்ள அமினோ அமிலங்கள் மூலக்கூறின் நடு அச்சின் நீளத்தில் 1.5 Å தள்ளி அமையும் வண்ணம் உருவாகிறது என்றும் அவர் அனு

மானித்தார். இச்சுருளுக்கு ஆல்பா (α) சுருள் என்று பெயரிடப் பட்டது. (படம் 6—10)

ஆல்பா சுருளமைப்புக் கொள்கை வெளியிடப்பட்ட பிறகு அநேக இழை புரோட்டீன்கள் ஆராயப்பட்டு அவற்றில் எல்லாம் இச்சுருள் அமைந்திருப்பது கண்டறியப்பட்டது. மற்றும் உருண்டைபுரோட்டீன்களிலும் ஆல்பா சுருள் வடிவத்தில்தான் மூலக்கூறின் பெரும் பகுதி அமைந்திருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது.

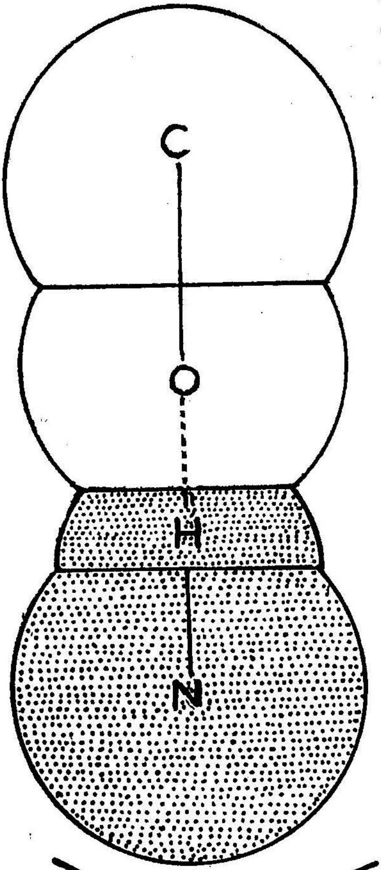


படம்: 7-10
புரோட்டீன் மூலக்கூறின் ஆல்பா சுருளமைப்பு

## புரோட்டீன்களில் ஹைட்ரஜன் இணைப்பு

புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளின் அல்பா சுருளமைப்பு, இழை புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் நீளவாக்கில் இணைந்து நார் போன்ற அமைப்பைக் உண்டாக்குவது ஆகியவை அறியப்பட்ட பிறகு, இவற்றிற்குக் காரணமான விசை என்னவென்ற கேள்வி எழுந்தது. அமினோ அமிலங்களின் R தொகுதிகளிடை ஏற்படக் கூடியதொடர்புகளோ, சல்ஃபர் அணுக்களிடையே ஏற்படும் —SS— இணைப்போ இவற்றிற்குக் காரணமாகக் கூடும் என்று கருத முடியவில்லை. ஏனென்றால் இவற்றின் விசை சுருளமைப்பை நிலைநிறுத்துவதற்கோ, இழைகளை ஒன்றோடொன்று நிலையாக இணைப்பதற்கோ போதுமானதாக இல்லை. இந்தச் சிக்கலான பிரச்சினைக்கும் விளக்கமளித்தவர் லீனஸ் பாலிங்கே ஆவார். ஹைட்ரஜன் இணைப்பு (hydrogen bonding) என்ற ஒரு தனிப்பட்ட

இணைப்பே (படம் 6—11) இவற்றை ஏற்படுத்தும் விசையாகும் என்று அவர் சொன்னார். இந்த ஹைட்ரஜன் இணைப்புக் கொள்கை, புரோட்டீன்களில் மட்டுமல்லாமல் மற்ற பெரிய மூலக் கூறுகளின் மடிப்பு, இணைவு முதலியனவற்றை விளக்கு வதாக அமைந்து பல பிரச்சினைகளைத் தீர்க்க உதவுகிறது.




படம்: 6.11

CO,NH தொகுதிகளிடையே ஏற்படும் ஹைட்ரஜன் இணைவின் படம். அணு எலெக்ட்ரான்களின் அதிக பட்ச வெளியளவைக் கோடுகள் குறிக்கின்றன.

ஹைட்ரஜன், ஆக்சிஜன், ஹைட்ரஜன் ஆகிய மூன்று தனிமங்களின் அணுவமைப்பே நைட்ரஜன் இணைப்புக்குக் காரணமாவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஹைட்ரஜன் அணுவின் புரோட்டானைச் சுற்றி ஒரே ஒருஎலெக்ட்ரான் மட்டும் சுழலுவதால், அந்த ஒரு எலெக்ட்ரானும், மின்னேற்ற இணைப்பு ஏற்படுத்தும் முகத்தான் எதிர் மின்னேற்றத் தனிமமொன்றின் அணுவுக்கு மாற்றப்பட்டால் ஹைட்ரஜனின் புரோட்டான் மட்டும் தனித்து விடப்படும். அவ்வாறு எலெக்ட்ரானே இல்லாது தனியாகும் புரோட்டான், மற்றெந்த அணுவையும்விட அதிகமான நேர்மின்னேற்ற அடர்த்தியைப் பெற்றதாக விளங்கும். ஆனால் ஆக்சிஜனும் நைட்ரஜனும் எதிர் மின்னேற்றத் தனிமங்களாகையால் அவற்றின் அணுக்கள் எப்போதும் எதிர்மின்னேற்றக் கேந்திரங்களாக இருக்கும். எனவே இரு ஆக்சிஜன் அல்லது நைட்ரஜன் அணுக்களுக்கிடையே, அல்லது ஆக்சிஜன் அணுவுக்கும் நைட்ரஜன்

அணுவுக்கும் இடையே, ஒரு ஹைட்ரஜன் அணு வருகின்ற விதத்தில் ஒரு மூலக்கூறு அமைந்தால், அந்த ஹைட்ரஜன் அணு இரண்டு எதிர் மின்னேற்ற அணுக்களாலும் கவரப்பட்டு இரண்டுக்குமிடையே ஊசலாடுகிறது. இதுவே ஹைட்ரஜன் இணைப்பாகிறது. புரோட்டீன் மூலக்கூறில் அடுத்தடுத்தமைந்த அமினோ அமிலங்களினிடையே ஏற்படும் ஹைட்ரஜன் இணைப்பே பெப்டைடு தொடரைச் சுருளச் செய்கிறது.

உருண்டை புரோட்டீன்களின் வேதிய பௌதிக தன்மைகளை ஆராயவதற்கு இழை புரோட்டீன்களுக்குள்ளதைவிடப் பலவழிகள் உள்ளன. உருண்டை புரோட்டீன்கள் தண்ணீரில் கரையக் கூடியனவாகையால், ஊடுபரவல், ஆஸ்மாசிய அமுக்கம் முதலியவற்றின் மூலம் அவற்றின் மூலக்கூறெடை, பரிமாணம் முதலியவற்றைக் கண்டறியலாம். மற்றும் X கதிர் விலகல் மூலம், இழை புரோட்டீன்களைவிடத் துல்லியமாக இவற்றின் கட்டமைப்பு புலனாகிறது. உருண்டை புரோட்டீன்களிலும் ஆல்பா சுருள் அமைந்துள்ளதென்றாலும், ஆல்பா சுருளே மேலும் பலவிதங்களில் மடங்கியும், சுருண்டும் உள்ளதென்பதைக் கீழ் வரும் கணக்கீட்டிலிருந்து அறியலாம். சீரம் ஆல்புமின் (Serum albumin) என்ற புரோட்டீனின் ஆஸ்மாசிய அமுக்கம் ஊடுபரவுதல் முதலியவற்றிலிருந்து அதன் மூலக்கூறெடை 70,000 என்று தெரிகிறது. மற்ற சோதனைகளிலிருந்து அது ஒரே பெப்டைடு தொடராலமைந்தது என்றும் அதன் பரிமாணம் சுமார் 150×40Å என்றும் தெரிகிறது. 70,000 மூலக்கூறெடையுடைய ஒரு புரோட்டீனில் சுமார் 600 அமினோ அமிலங்கள் இருக்கும். அடுத்தடுத்தமைந்த பெப்டைடிணைப்புகளுக்கிடையிலுள்ள தூரம் 3.5Å ஆகையால் மொத்த பெப்டைடு தொடர் சுமார் 2000Å நீளமிருக்க வேண்டும். ஆல்பாசுருளாக இது சுருண்டால் 5Å தூரத்தில் மூன்று அமினோ அமிலங்கள் அமையலாமாகையால் ஆல்பா சுருளின் நீளம் சுமார் 1000Å இருக்கவேண்டும். ஆயினும் மூலக்கூறின் பரிமாணம் 150×40Å மட்டுமே என்று தெரிகிறது இதிலிருந்து அந்த மூலக்கூறின் ஆல்பா சுருள் தொடர் மேலும் மடங்கியிருக்கிறது என்று தீர்மானிக்கலாம். ஒவ்வொரு புரோட்டீனும் என்ன விகிதத்தில் மடங்கியிருக்கிறது என்பது மட்டுமல்லாமல் அவை அவ்வாறு மடங்கக் காரணமென்ன வென்பதையும் நிர்ணயிப்பது உயிர்வேதியியலை இன்று எதிர்நோக்கியிருக்கும் முக்கிய சவாலாகும். மற்றும் புரோட்டீன் மூலக்கூறில் மொத்த உருவத்துக்கும் அது செய்யும் குறிப்பிட்ட பணிக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன என்பதையும் அறிய வேண்டியது அவசியமாக உள்ளது.

இந்நூலில் பிற்பகுதிகளில் உருண்டை புரோட்டீன்களைப் பற்றிப் பல இடங்களில் குறிப்பிடப்படும்போது அவற்றின் பணியைக் குறித்தும் சொல்லப்படும். ஆனால் இங்கு அவற்றின் சில பொதுப் பண்புகளைப் பற்றிக் குறிப்பிடலாம். பெரும்பான்மையான செல்களைத் தண்ணீரில் நுண்சிதற்றும்போது, அவற்றிலுள்ள புரோட்டீன்களில் 50% தண்ணீரில் கரைந்து விடுகின்றன. அவ்வாறு கரைந்த புரோட்டீன்களில் பெரும்பான்மையானவை உருண்டை புரோட்டீன்களாகும். சொந்த நிலையில் அவை இழை புரோட்டீன்களைப்போல், ஜெல் நிலையையோ அல்லது பிசுக்குத் திரவ நிலையையோ அடைவதில்லை. சூடுபடுத்தினால் அவை துவைந்து விடுகின்றன. மிகக் குறைந்த அல்லது அதிகமான PH மட்டத்துக்கு உட்படுத்தப்பட்டால் அவை தமது சொந்த நிலையை இழந்து, வேதிய பௌதிய இயல்புகளில் மாற்றமடைகின்றன. உண்மையில் ஒரு கரைசலில் புரோட்டீன் இருக்கிறதா என்பதை அறிய அக்கரைசலைச் சூடாக்குவதும், அமிலங்களைச் சேர்ப்பதும் சாதாரணமாகக் கையாளப்படும் சோதனைகளாகும். இவ்விரண்டு எளிய சோதனைகளும், செல்லிலுள்ள மற்றெல்லாப் பொருள்களிலுமிருந்து புரோட்டீன்களை வேறுபடுத்திகாட்டவல்லன என்பதே புரோட்டீன்களின் தனித்தன்மைக்குச் சான்றாகும்.

எல்லா புரோட்டீன்களும் ஒரே மாதிரியான கரையுந்தன்மையையோ, இயல்பிழக்குந்தன்மையையோ பெற்றிருப்பதில்லை. ஏற்கனவே சொன்னவற்றிலிருந்து, புரோட்டீன்களின் கரையுந்தன்மையை நிர்ணயிப்பது அவற்றின் மூலக்கூறிலிலுள்ள, கரையுந்தொகுதிகள், கரையா தொகுதிகள் ஆகியவற்றின் விகிதத்தைப் பொருத்ததாகுமென்று விளங்கும். புரோட்டமின்கள் (protamins) எனப்படும் புரோட்டீன்களில், கரையாத் தொகுகளைவிடக் கரையுந் தொகுதிகள் மிகக்கூடுதலாக இருப்பதால் இவை ஆல்கஹாலில் எளிதில் கரைகின்றன. அயனிப் பிரிவடைந்த தொகுதிகள், அயனிப்பிரிவடையாதனவற்றை விட அதிகமான தண்ணீர் மூலக்கூறுகளை ஈர்க்கக் கூடியனவாகையால், அநேக புரோட்டீன்கள் அவற்றின் மின் சமநிலையில் மிக குறைவான கரைதிறனைப் பெறுகின்றன. சொந்த நிலையிலுள்ள புரோட்டீனை விட, இயல்பிழந்த புரோட்டீனில் இந்த அமிசம் மிகத் தெளிவாக தெரிகிறது. ஏனென்றால் சொந்த நிலையில் புரோட்டீன் மூலக்கூறு மடங்கியிருப்பதால் அயனி பிரிவடையுந்தொகுதிகள் உள்ளடங்கி அவற்றின் செயலைத் தடுக்கலாம். அநேக புரோட்டீன்கள் அவற்றின் மின் சம நிலையினின்றும் வேறு

பட்ட PH மட்டத்தில் இயல்பிழந்து கரைகின்றன. ஆனால் PH மட்டத்தை மின்சம நிலைக்குக் கொண்டு வந்தால் மீண்டும் மண்டுகின்றன. பொதுவாக, புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் தண்ணீர் மூலக் கூறுகளை ஈர்க்காத நிலையில் தம்முள் ஒன்றையொன்று ஈர்த்துப் பெரிய மூலக்கூறுத் தொகுதிகளாக இணைவதால், அத் தொகுதிகளின் எடை அதிகரித்துக் கரை நிலையிலிருக்க முடியாமல் வண்டலாக மண்டுகின்றன என்று சொல்லலாம். ஒரு புரோட்டீன் கலவை திரவத்திலிருந்து, புரோட்டீன் களைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கக் கையாளப்பட்ட பழைய முறையொன்று இக்கருத்தினை அடிப்படையாகக் கொண்டதாகும். இதில், புரோட்டீன் கலவைக்கு அமோனியம் சல்ஃபேட் போன்ற ஒரு உப்பு படிப்படியாக அதிக அளவில் சேர்க்கப்படும். உப்பின் அடர்த்தி ஒரு குறிப்பிட்ட அளவை அடையும் போது ஒரு குறிப்பிட்ட புரோட்டீன் வண்டலாக மண்டும். இப்படியே உப்பின் வெவ்வேறு அடர்த்திகளில் வெவ்வேறு புரோட்டீன்கள் வண்டலாக மண்டும். இம்முறைக்கு "உப்பிட்டுப் பிரித்தல்" (Salting out) என்று பெயர். புரோட்டீனின் கரை திறன் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதை மண்டச் செய்யத் தேவையான உப்பின் அடர்த்தி அதிகப்படும். ஆனால் சிலவித புரோட்டீன்கள் (யூகுளோபுலின்கள்), சுத்த தண்ணீரில் கரையாமல் 0·02N அடர்த்தியுடைய உப்புக் கரைசலில் கரைகின்றன. உப்பிட்டுக் கரைத்தல் (Salting in) எனப்படும் இது எளிதில் விளக்கப்பட முடியாததாகும். ஆனால் பொதுவாக, மிகக் குறைவான அடர்த்தியிலுள்ள அயனிகள் R சங்கிலியிலுள்ள கரை திறனுடைய தொகுதிகளோடு ஈடுபட்டுக் கரைதிறனை அதிகப் படுத்தக் கூடுமென்று கருதலாம்.

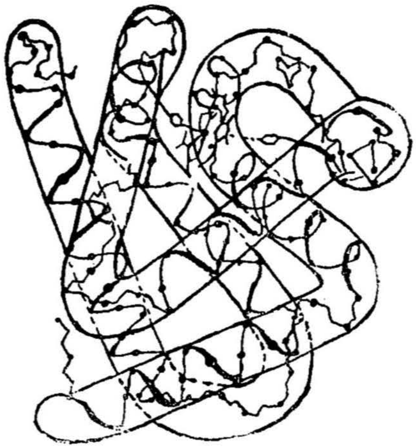
புரோட்டீன் மூலக்கூறில் நேர்மின்னேற்றத் தொகுதிகளும், எதிர்மின்னேற்றத் தொகுதிகளும் அடங்கியிருப்பதால் அவை கரையா உப்புகளை உண்டாக்கக் கூடியவையாகும். கன உலோகங்களான, வெள்ளி, துத்தநாகம், பாதரசம், செம்பு, ஈயம், தங்கம் முதலியவற்றின் எதிரயனிகள் R கார்பாக்சில் தொகுதிகளோடு சேர்ந்து புரோட்டீன்களைக் கரையாதனவாக்குகின்றன. பல நேரயனிகளும் இதே மாதிரி நடந்து கொள்ளுகின்றன. புரோட்டீன்களை மண்டச்செய்ய உபயோகிக்கப்படும் இரண்டு முக்கிய அமிலங்களான டிரைகுளோரசிடிக் அமிலம் (Trichloracetic acid), ஃபாஸ்போடங்ஸ்டிக் அமிலம் (Phosphotungstic acid) ஆகியவற்றின் செயலுக்குக் காரணம் அவற்றின் எதிரயனிகள் புரோட்டீனிலுள்ள நேர்மின் தொகுதிகளோடு சேர்ந்து கரையா உப்புகளை உண்டாக்குவதேயாகும். ஆனால் இப்படிப் பட்ட கிரியைகளிலெல்லாம், மண்டும் உப்பு உண்டாக வேண்டுமென்பு

திலை. சிலவற்றில் குறிப்பாக சாயப் பொருள்களாக உள்ளன, புரோட்டீனோடு கிரியையில் ஈடுபடும்போது புரோட்டீனுக்குக் குறிப்பிட்ட சாயத்தை ஊட்டுகிறது. செல் பொருள்களை சாயமேற்றிப் பிரித்தறியும் பழைய வழிக்கு இதுவே அடிப்படையாகும். பெரும்பாலான சாயங்களின் மூலக்கூறில் அயனிப் பிரிவடையும் தொகுதி ஒன்று உள்ளது. இது எதிர்மின்னேற்றத் தொகுதியாயின் அச்சாயம் அமிலத் தன்மையது என்றும் நேர்மின்னேற்றமுடையதாயின் காரத் தன்மையது என்றும் சொல்லப்படும். அமிலத்தன்மை சாயங்கள் நேர்மின்னேற்ற R தொகுதிகளோடும், காரத்தன்மை சாயங்கள் எதிர்மின்னேற்ற R தொகுதிகளோடும் சேருகின்றன. ஆனால் குறிப்பிட்ட ஒரு சாயம், குறிப்பிட்ட ஒரு புரோட்டீனுக்குச் சாயமேற்றுவது அப் புரோட்டீனின் அமினோ அமில அமைப்பு மூலக்கூறு எவ்வாறு மடங்கியுள்ளது என்பனவற்றைப் பொருத்ததாகும். கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்ட செல்களில் புரோட்டீன்கள் கரையா நிலையில் மண்டியிருந்தாலும் அவை சாயமேறும் அடிப்படை மேற் சொன்னதேயாகும்.

ஹைட்ரஜன் இணைப்பு, நிலையின் ஈர்ப்பு (Electrostatic attraction), டைசல்பைடு இணைப்பு, நீர்விலகுத் தொகுதிகளிடையே ஏற்படும் தொடர்புகள், முதலியவற்றால் தமது குறிப்பிட்ட உருவ அமைப்பைப் பெறும், உருண்டை புரோட்டீன்கள் செல்லுக்கு வெளியே பொதுவாக ஏதாவதொரு காரணத்தால் இயல்பிழந்தால், மீண்டும் தமது பழைய இயல்பைத் தாமாக அடைவதில்லை. இவ்வாறு மீளா இயல்பிழப்பு (Irreversible denaturation) புரோட்டீன்களனைத்துக்கும் பொருந்தும் மாறுவிதி என முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால் இப்போது சில சிறு மூலக்கூறுடைய புரோட்டீன்கள் இழந்த இயல்பைத் தாமாக மீண்டும் அடையக்கூடிய சூழ்நிலைகளை ஏற்படுத்த முடியும் என்று தெரிய வந்துள்ளது. இதிலிருந்து பெரிய மூலக்கூறுடைய மற்ற புரோட்டீன்களும் இழந்த இயல்பை மீண்டும் பெறக் கூடும் என்று கொள்கையளவில் சொல்லலாம். ஆனால் இவ்வாறு நடைபெறத் தேவையான சூழ்நிலை செல்லினுள் இருக்குமென்றாலும், செல்லுக்கு வெளியே அதை ஏற்படுத்த இன்னும் இயலவில்லை, எனினும் உயிர் வேதியலறிவு வளர வளர இது சாத்தியமாகக் கூடுமென்று சொல்லலாம்.

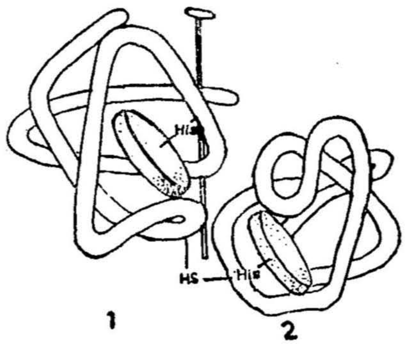
புரோட்டீன்களின் அமைப்பைக் கண்டறியும் முயற்சியில் இன்று தலை சிறந்து விளங்குவது X கதிர் விலகலாகும். புரோட்டீன் படிகங்களை X கதிர் விலகலால், கென்ட்ரூ (Kendrue), பெருட்ஸ்

(Perutz) முதலியவர்கள் ஆராய்ந்ததன் விளைவாக, மையோ குளோபின் (படம் 6.12) ஹெமோகுளோபின் (படம் 6.13) முதலிய



படம் 6.12
மயோகுளோபின் மூலக்கூறின் கட்டமைப்புப் படம்

உருண்டை புரோட்டீன்களின் உருவ அமைப்பு துல்லியமாகத் தெரிய வந்துள்ளது. சுமார் 150 அமினோ அமிலங்களையுடைய

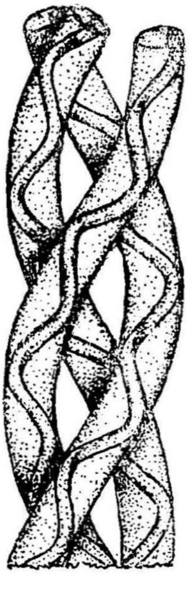



படம் 6.13
ஹெமொகுளோபின் மூலக்கூறின் ஆல்பா, பீட்டா தொடர்களின்
1. ஆல்பா தொடர்; 2. பீட்டா தொடர்

மையோகுளோபின் மூலக்கூறில் ஒவ்வொரு அணுவும் எங்கு எப்படி அமைந்துள்ளது என்று கண்டறியப்பட்டுள்ளது. கொல்லஜென் மூலக்கூறு மூன்று பாலிபெப்டைடு தொடர்களைக் கொண்டிருப்பது அறியப்பட்டது (படம் 6.14)

**நொதிகள் (Enzymes) :**

நொதிகள் என்ன என்று கண்டறியப்படுவதற்கு வெகு காலத்துக்கு முன்னரே, நொதித்தலைப்பற்றி அறியப்பட்டது. பழச்சாறுகள் நொதித்து அதிலிருந்து சாராயம் உண்டாவது மனித நாகரிகத்தின் ஆரம்ப கால முதலே அறியப்பட்டதொன்றாகும். சென்ற நூற்றாண்டில் நொதித்தலின் தன்மையைப் பற்றி பலசர்ச்சைகள் நடந்தன. நொதித்தலென்பது உயிர்களால் மட்டும் செய்யப்படக்கூடியது என்ற கருத்தும், நொதித்தலும் மற்ற வேதிக்கிரியைகளைப் போன்ற ஒரு தனிப்பட்ட வேதிக் கிரியையேயாகும் என்ற கருத்தும் இருசாரால் வலியுறுத்தப்பட்டன. ஆனால் முடிவில் நொதித்தலென்பது உயிர்களால் உண்டாக்கப்படும் நொதிகள் எனப்படும் தனித்தன்மையுடைய வேதிப் பொருள்களின் ஈடுபாட்டால் நடைபெறும் வேதிக்கிரியையல்லாமல்வேறில்லை என அறியப்பட்டது. இன்று ஒரு சில நொதிகளை வேதியசோதனைச் சாலையில் தயாரிக்கலாமென்றாலும், பெரும்பான்மையான நொதிகள் உயிர்களில் மட்டுமே உண்டாக்கப் படுவனவாக உள்ளன.



படம் 6-14

மூன்று பாலிபெப்டைடு தொடர்களாலமைந்த கொல்லஜென் மூலக்கூறமைப்பின் படம்.

நொதி என்பது புரோட்டீனேயாகும் என்பதை முதன் முதலில் 1926ஆம் ஆண்டில் சம்மர் (Summer) என்பவர், அவரை விதைகளிலிருந்து யூரியேஸ் (urease) என்ற நொதியைப் படிவமாகத் தயாரித்து ஆராய்ந்து நிரூபித்தார். அதன் பிறகு செய்யப்பட்ட ஏராளமான ஆராய்ச்சிகளில் இதுவரை புரோட்டீன் தன்மையினதல்லாத நொதி எதுவும் காணப்படவில்லை. எனவே நொதி என்பது, கிரியாவூக்கியாகச் (catalyst) செயல்படும் புரோட்டீனாகும் எனப் பலராலும் ஒப்புக் கொள்ளப்படுகிறது. கிரியாவூக்கி எனப்படுவது, தான் மாற்றமடையாமல் ஒரு குறிப்பிட்ட கிரியையை நடைபெறச் செய்ய வல்ல பொருளாகும். எனவே நொதி எனப்படும் ஒரு பொருள் புரோட்டீனாகவும், கிரியாவூக்கியாகவும் இருக்க வேண்டும். புரோட்டீனல்லாத கிரியாவூக்கியையும், கிரியாவூக்கியல்லாத புரோட்டீனையும், நொதி என்று சொல்ல முடியாது. செல்லில் கிரியாவூக்கியல்லாத பல புரோட்டீன்

களுள்ளன. மயிர், பட்டு முதலியவற்றை உருவாக்கும் இழை புரோட்டீன்களும், முட்டை, பால் முதலியவற்றிலுள்ள சேமிப்பு புரோட்டீன்களும் மற்றும் செல்லமைப்பிலீடுபடும் பல புரோட்டீன்களும் இத்தகையனவாகும். ஆனால் செல்லமைப்பிலீடுபடும் எந்த புரோட்டீனும் நொதியாக இருக்க முடியாது என்று சொல்லுவதற்கில்லை. பொதுவாகச் செல்லிலுள்ள புரோட்டீன்களில் பெரும்பான்மையானவை நொதிகளாகச் செயல்படுவனவாகுமென்று தெரிகிறது.

நொதிகளனைத்தும் புரோட்டீன்களேயாதலால், நொதிகளின் அமைப்பு ஏற்கனவே சொல்லப்பட்ட புரோட்டீனமைப்பேயாகும். அவற்றில் பெரும்பாலானவை உருண்டை புரோட்டீன் வகையைச் சேர்ந்தவையாக இருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது. செல்லில் ஏராளமான நொதிகளிருப்பதால் அவற்றை வகைப்படுத்துவதவசியமாகிறது. ஆனால் நொதிகளை வகைப்படுத்துவதில் பல சிரமங்களிருப்பதால், அனைவராலும் ஒருமுகமாக ஒப்புக் கொள்ளப்படும் வகைப்பாட்டை இன்னும் வகுக்க முடியவில்லை. மற்றும் பெரும்பாலான நொதிகளின் மூலக்கூறமைப்பு இன்னும் அறியப்படாததால் அவற்றின் செயலைக் கொண்டே வகை படுத்த வேண்டியுள்ளது. எனவே நொதிகளின் செயல்பாட்டோடு சம்பந்தப்பட்ட அமிசங்கள் சிலவற்றைப் பார்ப்போம்.

**புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகள்** (Prosthetic groups):

சில நொதிகளின் மூலக்கூறு அமினோ அமிலங்களால் மட்டும் உருவாகிறது. மற்றவைகளின் மூலக்கூறில் அமினோ அமிலங்களைத் தவிர வேறு வேதித் தொகுதிகளமைந்துள்ளன. அமினோ அமிலத்தைத் தவிர புரோட்டீனில் அமைந்துள்ள எந்த தொகுதியும் புரோஸ்தெடிக் தொகுதி என்று பொதுவாகச் சொல்லப்படுவதுண்டென்றாலும், நொதியின் செயலுக்கு அத்தியாவசியமாக அப்படிப்பட்ட தொகுதி இருந்தால் மட்டுமே அதை புரோஸ்தெடிக் தொகுதி என்று குறிப்பிடுவதும் உண்டு. சில முக்கியமான புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகள் வருமாறு :

1. ஹெம் (heme) இரும்பு போர்ஃபைரின்களும் அதைப் போன்றவையும்

2. ரிபோஃபிளேவினிலிருந்து பெறப்படும் ரிபோஃபிளேவின் மோனோஃபாஸ்பேட் ஃபிளேவின் (riboflavin monophosphate) அடினின் டைநியூக்ளியோடைடு (flavin adenine dinucleotide) முதலியவை இவற்றோடு இரும்பு, செம்பு,

மாங்கனீஸ், மாரிப்டினம் முதலிய உலோகங்கள் சேர்ந்தோ சேராமலோ இருக்கலாம்.

3. சாதாரணமாக மெக்னீசியம் அயனிகளோடு சேர்ந்துள்ள டைஃபாஸ்போ தையமின் (diphospho thiamine)
4. பைரிடாக்சால்ஃபாஸ்பேட்டும் (pyridoxal phosphate) அதைச் சேர்ந்தவையும்.

மேற் குறிப்பிடப்பட்ட புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகளின் செயல் முறை ஓரளவுக்கு அறியப்பட்டுள்ளது.

புரோஸ்தெடிக் தொகுதியை உடைய ஒரு நொதியின் புரோட்டீன் பகுதி அப்போநொதி (apoenzyme) எனப்படும். இரண்டும் சேர்ந்த முழு நொதியும், ஹோலோ நொதி (holoenzyme) அல்லது இணைபுரோட்டீன் (Conjugated protein) எனப் படுகிறது. இப்படிப்பட்ட நொதிகளின், அப்போ நொதியோ, புரோஸ்தெடிக் தொகுதியோ தனித் தனியாக இருந்தால் அவை கிரியாஊக்கியாகச் செயல்படமுடிவதில்லை. பல ஹோலோ நொதிகளின் புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகள் ஒன்றுகவே இருக்கலாம் இருந்தபோதும் அவை வெவ்வேறு வேதிக் கிரியைகளுக்குக் கிரியாஊக்கிகளாகின்றன. எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட வேதிப் பொருளின் குறிப்பிட்ட கிரியைக்கு மட்டும் கிரியாஊக்கியாகும் தன்மை அந்நொதியின் புரோட்டீன் தொகுதியையே சார்ந்த தாகுமெனத் தெரிகிறது.

புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகள் இரு பெரும் பிரிவுகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன. ஒன்று முடுக்கிகள் (Activators) என்றும் மற்றொன்று கூட்டுக்காரணிகள் (Cofactors) அல்லது கூட்டு நொதிகள் (Coengymes) என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. பொதுவாக ஒரு உலோகம் புரோஸ்தெடிக் தொகுதியாக இருந் தால் அது முடுக்கி எனப்படும். இந்த உலோகத்தைப் பிரித்து விட்டால் அந்நொதி முற்றிலும் செயலிழந்துவிடுகிறது. இந்த முடுக்கிகள் நொதிகளைக் குறிப்பிட்ட வேதிப்பொருள்களோடு இணைப்பதற்குப் பயன்படுபனவாகும் என்று பலரால் கருதப்படு கிறது. உலோக முடுக்கிகள் ஈடுபடும் சில நொதிக்கிரியைகள் கீழ்வரும் பட்டியல் 6.2ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

பட்டியல் 6.2

| உலோகம் | என்சைம்களும் கிரியையும் |
|---|---|
| 1. மெக்னீசியம் | ஃபாஸ்படேஸ்கள் (Phosphatases) ATP கிரியைகள், குளோரோஃபில் |

| | | |
|---|---|---|
| 2. | செம்பு | டைரோசினேஸ் (Tyrosinase) முதுகெலும்பற்ற விலங்குகளின் உயிர்ப்பு புரோட்டீன்கள் |
| 3. | இரும்பு | சைட்டோகுரோம்கள் (Cytochromes) ஹெமோகுளோபின் (Haemoglobin) மைட்டோகான்றியங்களில் எலெக்ட்ரான் மாற்றம் |
| 4. | மாங்கனீஸ் | பெப்டிடேஸ்கள் (Peptidases), சிட்ரிக் அமிலச் சுழலின் சில நொதிகள் |
| 5. | கோபால்ட் | வைட்டமின் $B_{12}$ ன் பெப்டிடேஸ்கள் |
| 6. | மாலிப்டினம் | நைட்ரேட் நீக்கரணம் (nitrate reduction)சேந்தின் ஆக்சிடேஸ் xanthime oxidase) |
| 7. | பொட்டாசியம் | ஃபாஸ்போ பைருவேட்டிரான்ஸ் ஃபாஸ்பாருலேஸ் (phosphopyruvate trans phosphorylase) ஃப்ருக்டோ கைனேஸ் (frutcokinase) |
| 8. | கால்சியம் | ஆக்டோமயோசின் (actomyosin) |

அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களை புரோஸ்தெடிக் தொகுதியாக வுடைய நொதிகள், ஒரு வேதிப் பொருளிலிருந்து அகற்றப்படும் குறிப்பிட்ட அணுத்தொகுதிகளை ஏற்றுக் கொள்ளுவனவாகவோ, அல்லது ஒரு வேதிப் பொருளுக்குக் குறிப்பிட்ட அணுத்தொகுதி களைத் தருவனவாகவோ செயல்படுகின்றன. இந்நொதிகளி லுள்ள கூட்டு என்சைம்களில் சில, நிகோடினமைடு அடினைன்டை நியூக்ளியோடைடு (NAD), நிகோடினமைடு அடினைன்டை நியூக்ளியோடைடு ஃபாஸ்பேட் (NADP), அடினோசைன்ட்ரை ஃபாஸ்பேட் (ATP), கூட்டு நொதி A (CoA), ஃபிளேவின் மோனோ நியூக்ளியோடைடு (FMN) ஃபிளேவின் அடினைன்டை நியூக்ளியோடைடு (FAD) முதலியனவாகும். மற்றும் வைட்டமின் களெல்லாம் பொதுவாகக் கூட்டு நொதிகளாகச் செயல்படுவதாகக் கருதப்படுகிறது. வைட்டமின் B தொகுதியைச் சேர்ந்த தையமின் (thiamine), ரிபோஃபிளேவின் (riboflavin), பைரிடாக்சின் (pyridoxine), நியாசின் (niacin), பேன்டதெனிக் அமிலம் (pantathenic acid), பையோடின் (biotin), அடினின் (adenine)

முதலியன புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகளாகவோ, அல்லது புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகளின் பகுதிகளாகவோ செயல்படுவனவாகும். கீழ்காணும் பட்டியல் 6-3ல் சில முக்கியமான கூட்டு நொதிகள், அவற்றின் செயல், அவற்றிலுள்ள வைட்டமின் உபதொகுதிகள் ஆகிய விவரங்கள் தரப்பட்டுள்ளன.

பட்டியல் 6-3

| கூட்டுநொதி | செயல் | வைட்டமின் உபதொகுதி |
|---|---|---|
| 1. நிகோடினமைடு அடினின் டைநியூக்ளியோடைடு ($NAD^+$)(nicotinamide adenine dinucleotide) | - ஹைட்ரஜன் அகற்றுக் கிரியையில் ஹைட்ரஜனை ஏற்பது | - நிகோடினிக் அமிலம் (nicotinic acid) |
| 2. நிகோடினமைடு அடினின் டைநியூக்ளியோடைடு ஃபாஸ்பேட் ($NADP^+$) | - ,, | - ,, |
| 3. அடினோன்சைன்ட்ரை ஃபாஸ்பேட் (ATP) (adenoside tri phosphate) | - பாஸ்பரஸ் மாற்றுதல் | இல்லை |
| 4. பைரிடாக்சால் ஃபாஸ்பேட் (Pyridoxol phosphate) | - அமைன் மாற்றுதல், அமினோ அமிலத்தில் கார்பன் மாற்றுதல் | - பைரிடாக்சின் (pyridoxin) |
| 5. தைமின் பைரோஃபாஸ்பேட்(thymine pyrophosphate) | - ஆக்சீகரண கார்பன் மாற்றம் | - தைமின் அல்லது வைட்டமின் $B_1$ (thymine or vitamin $B_1$) |
| 6. ஃபிளேவின் மோனோநியூக்ளியோடைடு (FMN) (flavinmononucleotide) | - ஹைட்ரஜன் அகற்று கிரியையில் ஹைட்ரஜனை ஏற்பது | - ரிபோஃபிளேவின் (riboflavin |
| 7. ஃபிளேவின் டைநியூக்ளியோடைடு (FAD) (flavin dinucleotide) | - ,, | - ,, |

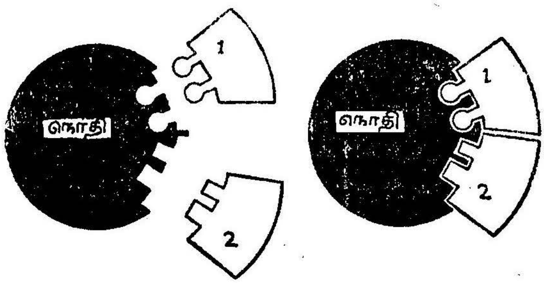
| | | |
|---|---|---|
| 8. கூட்டு நொதி A (Co. enzyme A) | - அசிடைல் அல்லது வேறு அசில் (acyl) தொகுதி மாற்றம், ஃபேட்டி அமில தயாரிப்பு, ஆக்சிகரணம் | - பேன்டதெனிக் அமிலம் (pantathonic acid) |
| 9. இரும்பு புரோட்டொ போர்ஃபைரின் (iron proto porphyrin) | - கேட்டலேஸ், பெராக்சிடேஸ், சைடோகுரோம் ஹெமொகுளோபின் | - இல்லை |
| 10. டெட்ராஹைட்ரொ ஃபோலிக் அமிலம் (tetra hydrofolic acid) | - ஒற்றை கார்பன் அணுமாற்றம் | - போலிக் அமிலம் (folic acid) |
| 11. பையோடின் (biotin) | - $CO_2$ மாற்றம் | - பையோடின் (biotin) |
| 12 கோபமைடு (cobamide) | - தொகுதி மாற்றம் | - கோபலமைன் (cobalamine) |

**நொதிகளின் செயல்முறை:**

தன்னால் மாற்றப்படும் தளப்பொருளின் மூலக்கூறுகளோடு நொதியின் மூலக்கூறுகள் இணைந்து நொதிதளக்கூட்டு (engyme substrate complex) ஏற்படுத்துவதன் மூலமாகவே நொதிகள் செயலாற்றுகின்றன என்று இப்போது பொதுவாகக் கருதப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட கூட்டு ஏற்படும்போது தளப்பொருளினுடைய மூலக்கூறின் சில குறிப்பிட்ட இணைப்புகள் பேதமடைவதால் அவை வேதி மாற்றமடையத்தக்க தன்மையை அடைவதாக நம்பப்படுகிறது. மற்றும் நொதியின் மூலக் கூறில் சில குறிப்பிட்ட இடங்களே தளப்பொருளோடு இணைப்பு ஏற்படுத்தக் கூடியனவாகுமென்று எண்ணப்படுகிறது. இந்த இடங்கள் செயவிடங்கள் (active sites) என்று சொல்லப்படும். செயவிடங்களோடு தளப்பொருளின் மூலக்கூறுகள் வந்து பொருந்துவது, மூலக்கூறுகளினிடையே இடைவிடாது நிகழும் நோக்கறு மோதல்களினால் (random collisions) ஏற்படுகிறது.

மேற்கூறிய அனுமானத்தின்படி ஒரு குறிப்பிட்ட நொதி ஒரு குறிப்பிட்ட பொருளின்மீது மட்டும் செயல்படுவதற்குக் காரணம், நொதியினுடைய மூலக்கூறின் செயவிடங்களின் உருவ அமைப்புக்கும் தளப்பொருள் மூலக்கூறின் உருவ அமைப்புக்கும் உள்ள

ஒற்றுமையேயாகுமெனலாம். பலவிதங்களில் கோணல் மாணலாக மடிப்புற்றிருக்கும் நொதிமூலக் கூறின் சில இடங்கள், அது செயல் படும் தளப்பொருளின் மூலக்கூறுகள் வந்து பொருந்துவதற்கேற்ப அமைந்திருக்க வேண்டும். இவ்வாறு நொதியும் தளப்பொருளும் பொருந்துவது ஒரு பூட்டும் அதன் சாவியும் ஒன்றோடொன்று பொருந்துவதையொக்குமென்று சொல்லப்படுகிறது. (படம் 6—15)




படம்' 6-15
நொதியின் செயல்முறையை விளக்கும் படம்

நொதியின் மூலக்கூறும், தளப்பொருளின் மூலக்கூறும் பூட்டு சாவி போன்ற கூட்டிணைப்பை அடைகின்றன என்ற கருத்தை தளப்பொருளின் மூலக்கூறினுடைய அமைப்பைப் பெருமளவுக்கு ஒத்த அமைப்பைப் பெற்ற பிறபொருள்களால் நொதியின் செயல் தடைபடக் கூடும் என்பது உறுதிப்படுத்துகிறது. இவ்வாறு அமைப்பினல் ஒத்த பொருள்கள் அமைப்பொத்தன (structural analogs) என்று சொல்லப்படும். இவற்றினுடைய மூலக்கூறுகளில் நொதியோடு கூட்டிணைப்பு ஏற்படுத்தும் பாகத்தின் உருவம் ஒரே மாதிரி இருப்பதால் அவற்றில் எது வேண்டுமென்றாலும் நோக்கறு மோதலால் நொதியின் மூலக்கூறோடு பொருந்திக் கொள்ளலாம். ஆனல், நொதியின் தளப்பொருளைத் தவிர வேறு பொருளாக அது இருந்தால் அதனை நொதி மாற்றமடையச் செய்ய முடியாது. எனவே நொதியின் செயல் தடைப்படுகிறது. இவ்வாறு நொதி யின் செயலைத் தடைப்படுத்தும் பொருள்கள் போட்டித் தடைகள் (competitive inhibitors) என்றும் அவற்றின் செயல் போட்டித் தடுப்பு (competitive inhibition) என்றும் சொல்லப்படுகிறது. தடைப்பொருள், தளப்பொருள் ஆகிய இரண்டும் நொதியோடு பொருந்தப் போட்டியிடுவதால், இரண்டும் கலந்திருக்கும்போது அவற்றின் விகிதத்தைப் பொருத்து நொதியின் செயல்தடையின் அளவு அமையும். தடைப்பொருளைக் காட்டிலும், தளப்பொருளின் விகிதம் மிக அதிகரித்தால் நொதியின் செயல்தடை முழுதும் நீங்கலாம்.

அநேகவிதமான பொருட்கள் நொதிகளைச் செயற்றடை செய்யக் கூடியனவாக உள்ளன. சில பொருட்கள் குறிப்பிட்ட ஒரு சில அமைப்பொத்த நொதிகளைச் செயற்றடை செய்கின்றன. அப்படிப்பட்ட பொருட்கள் நொதிகளின் அமைப்பை அறிந்துகொள்ளப் பயன்படுகின்றன. உதாரணமாக, சைட்டோகுரோம் ஆக்சிகரணி (Cytochrome oxidase) என்ற நொதி கார்பன் மோனாக்சைடால் (Corbon monoxide) செயற்றடை அடைவதும் அத் தடை ஒளியினால் நீங்குவதும், சைட்டொகுரோம் ஆக்சிகரணி நொதியினைக் கண்டறிவதற்காகப் பயன்படும் சோதனையாகும். அயொடொ அசிடேட் (Iodoacetate), கன உலோக அயனிகள் (உதாரணம், $Cu^{++}$, $Hg^{++}$) முதலியவை நொதிகளிலுள்ள —SH தொகுதிகளை ஆக்சிகரிப்பதாலோ, அவற்றினிடத்தை நிரப்புவதாலோ செற்றடையை ஏற்படுத்துகின்றன. இவற்றின் மூலம் நொதிகளில் அமைந்துள்ள —SH தொகுதிகளைப்பற்றி அறிய ஏதுவாகிறது.

நொதியின் ஈடுபாடின்றி ஒரு வேதிக்கிரியை நடைபெறக் கூடிய சூழ்நிலையிலிருந்து வேறுபட்ட சூழ்நிலையில் அந்த கிரியையினை நடைபெறச் செய்யும் ஆற்றலே நொதிகளின் தனிச் சிறப்பாகும். எந்தவொரு வேதிக் கிரியையும் நடைபெறுவதற்கு ஒரு குறிப்பிட்ட முடுக்கு ஆற்றல் (Activation energy) தேவைப்படுகிறது. இந்த முடுக்கு ஆற்றலினளவைக் குறைக்கும் திறனை நொதிகள் பெற்றுள்ளன. உதாரணமாக, குளுகோசானது ஆக்ஸிஜனோடு சேரவேண்டுமாயின் குளுகோசை மிகச் சூடுபடுத்த வேண்டும். அப்போதுதான் அஃது அக் கிரியைக்குத் தேவையான முடுக்கு ஆற்றலைப் பெறும். ஆனால் அவ் வெப்பநிலைக்கும் மிகக் குறைந்த வெப்பநிலையில் செல்களில் நொதிகளினால் குளுகோஸ் படிப்படியாக ஆக்சிகரிக்கப்பட்டு மாற்றப்படுகிறது.

நொதியும், தளப்பொருளும் ஒன்றோடொன்று மூலக்கூறு நிலையில் பொருந்தி இணையும் கூட்டிணைப்பு முடுக்கு ஆற்றலைக் குறைக்கும் சாதனமாகுமெனக் கருதப்படுகிறது. அதனால் தளப்பொருளின் மூலக்கூறு எளிதில் மாற்றமடைந்து நொதியிலிருந்து விடுபடுவதால் மீண்டும் நொதியானது தனிப்பட்டு அடுத்த மூலக்கூறை மாற்றுவதற்குப் பயன்படுகிறது. இக் காரணத்தால் சிறு அளவு நொதி பெருமளவு வேதிக் கிரியைகளை நிகழ்த்தவல்லதாகிறது.

நொதிகள் யாவும் புரோட்டீன்களாதலால் புரோட்டீன்களை இயல்பு மாற்றக் கூடிய எல்லா அமிசங்களும் நொதிகளையும் இயல்

பிழந்து, செயலறச் செய்கின்றன. வெப்பம், PH மட்டம், முதலியவை இத்தகைய அமிசங்களாகும்.

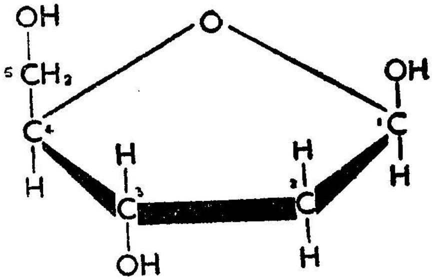
செல்லை உயிருள்ளதாகச் செய்யும் பல்வேறு வேதிக் கிரியைகள் இடைவிடாமல் நடைபெறுவதற்கு நொதிகளே காரண மாகும். எனவே, நொதிகள் இடைவிடாமல் செல்லினுள் உற் பத்தியாக வேண்டியதவசியம். அவ்வாறு நொதிகள் உற்பத்தி யாவது செல்லின் நியூக்ளியசிலிருக்கும் ஜீன்களால் கட்டுப் படுத்தப்படுகிறது என்று தெரியவந்துள்ளது. நொதிகள், இதர புரோட்டீன்கள் ஆகியவற்றின் உற்பத்தியைக் கட்டுப்படுத்து வதன் மூலம் செல்லின் வேதிக் கிரியைகளையும், அக் கிரியை களினுலேற்படும் விளைவுகளையும் கட்டுப்படுத்தி ஜீன்கள் செய லாற்றுவதாகக் கருதப்படுகிறது. இதைப்பற்றிய விரிவான விளக்கம் பின் அத்தியாயங்களில் சொல்லப்படும்.

## நூக்ளிய அமிலங்கள் (Necleic acids)

புரோட்டீன்களைப் போலவே உயிர்களுக்கு மிக முக்கியமான, இன்றியமையாத பொருள்கள் நூக்ளிய அமிலங்களாகும். செல்லின் பணிகளை நிர்ணயித்து ஒழுங்குபடுத்துவதற்கு நூக்ளிய அமிலங் களே அடிப்படையாக அமைகின்றன. இதன் காரணமாக இன விருத்தியில் பெற்றோரின் பண்புகளைச் சந்ததிகளுக்கு எடுத்துச் செல்லும் மரபுப் பொருளாக நூக்ளிய அமிலங்களே செயல் படுகின்றன. ஆனுல் புரோட்டீன்களின் மிகச் சிக்கலான அமைப் போடு ஒப்பிடும் போது நூக்ளிய அமிலங்களின் அமைப்பு எளிமை யானதென்றே சொல்ல வேண்டும்.

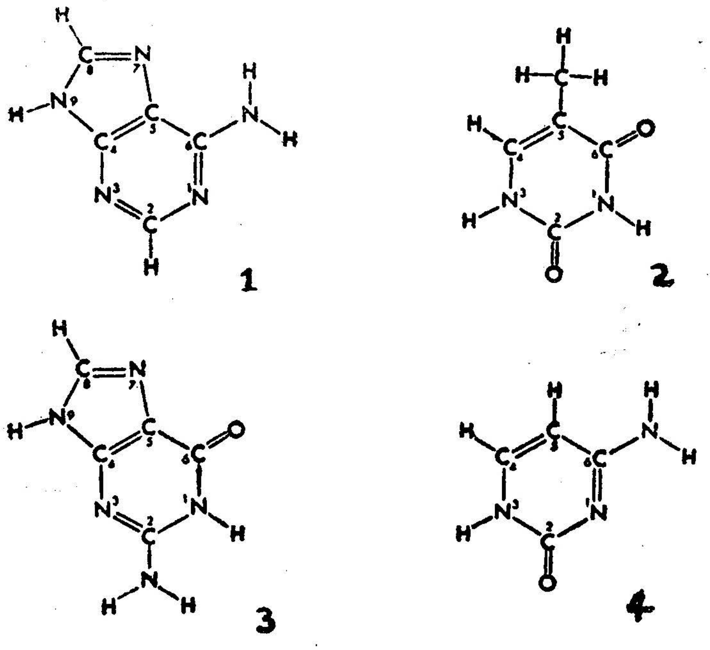
செல்களில் நூக்ளிய அமிலங்கள் இருப்பதை முதன்முதல் கண்டுபிடித்தவர் மீஷெர் (Miescher) என்பவராவார். சீழின் செல்கள், விந்து செல்கள் ஆகியவற்றை 1869-ல் இவர் பகுத்தறிய முயன்றபோது, செல்லின் நியூக்ளியசிலுள்ள முக்கியமான பொருள் நூக்ளிய அமிலமாகும் என்று கண்டு வெளியிட்டார். ஆனுல், நூக்ளிய அமிலங்களினுடைய முக்கியத்துவத்தை அப்போது ஒருவரும் அறியவில்லை. இந் நூற்றுண்டின் தொடக்கத்தில், செல் பகுப்பின்போது நூக்ளியசிலிருந்து தோன்றும் குரோமோசோம் களே மரபின் அடிப்படை உறுப்புகளென்றும், அவற்றிலடங்கி யுள்ள முக்கிய பொருள் நூக்ளிய அமிலமென்றும் அறியப்பட்ட போது, நூக்ளிய அமிலங்களே மரபுப் பொருளாக இருக்க வேண்டும் என்ற கருத்து தோன்றியது. ஆகவே அவற்றின் அமைப்பையும், பண்புகளையும் அறிந்துகொள்ளத் தீவிரமான ஆய்வுகள் மேற்கொள்ளப்பட்டன. உயிரியலார், உயிர்வேதிய

லார், உயிர் இயற்பியலார் ஆகிய மூன்று சாராரின் ஒருமித்த முயற்சியால் கடைசியில் 1953ஆம் ஆண்டு டியாக்சிரிபோ நூக்ளிய



படம் 6.16
டியாக்சி ரிபோஸ் மூலக்கூறின் கட்டமைப்பு

அமிலம் (DNA) எனப்படும் முக்கியமான நூக்ளிய அமிலத்தின் கட்டமைப்பு வாட்சன் (Watson), கிரிக் (Crick) என்னும் இருவரால் தெளிவாக்கப்பட்டது.



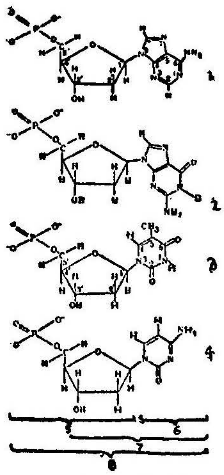
படம் 6.17
DNA காரங்களின் அமைப்பு
1. அடினின்; 2. தையமின்; 3. குவானின்; 4. சைடொசின்.

நூக்ளிய அமிலங்கள் இரண்டு முக்கிய வகைப்படும். ஒன்று டியாக்சிரிபோ நூக்ளிய அமிலம் (Deoxyribo nucleic acid); மற்றொன்று ரிபோநூக்ளியஅமிலம் (Ribonucleic acid) இவைமுறையே DNA, RNA என்று சுருக்கமாகக் குறிப்பிடப்படுகின்றன. இவற்றில் DNAயின் அமைப்பு RNAயின் அமைப்பைவிட நன்றாகத் தெரியவந்துள்ளதால் முதலில் இதன் அமைப்பைப் பார்ப்போம்,

## DNA அமைப்பு

DNA மூலக்கூறானது மூன்று பகுதிகளாலானது. ஒன்று டியாக்சிரிபோஸ் எனப்படும் ஐந்து கார்பன் சர்க்கரை; இரண்டு, ஃபாஸ்பாரிக் அமிலம்; மூன்று, புரைன்கள் (Purines), பிரிமிடின்கள் (Pyrimidines) எனப்படும். நைட்ரஜன் காரங்கள் இவற்றின் கட்டமைப்புப் படம் 6.16, 6.17 ஆகியவற்றில் காட்டப்பட்டுள்ளன.

மேற்குறிப்பிடப்பட்ட மூன்று மூலக்கூறுகளும் தம்முள் ஒரு குறிப்பிட்ட அமைப்பில் இணைந்து நூக்ளியோடைடு (nucleodide) எனப்படும் ஒரு சிக்கலான மூலக்கூறை உருவாக்கக்



படம்: 6.18

DNAயில் சாதாரணமாக அமைந்துள்ள நான்கு நூக்ளியொடைடுகளின் கட்டமைப்பு.

1. டியாக்சி அடினிலேட்;
2. டியாக்சி குவானுலேட்;
3. டியாக்சி தைமிலேட்;
4. டியாக்சி சைட்டிடிலேட்;
5. பாஸ்பேட்,டியாக்சிரைபோஸ்தொகுதி;
6. நைட்ரஜன் காரம்;
7. நூக்ளியொசைடு;
8. நூக்ளியொடைடு.

கூடியனவாகும். இந்த இணைப்பில் நைட்ரஜன் காரமானது, டியாக்சிரிபோசுடன் இணைந்து நூக்ளியோசைடையும், (nucleoside) நூக்ளியோசைடின் டியாக்சிரிபோசானது ஃபாஸ்பாரிக்அமிலத்தோடு இணைந்து நூக்ளியோடையும் உருவாக்குகின்றன. (படம் 6.18) பல நூக்ளியோடைடுகளின் ஃபாஸ்பாரிக் அமிலங்கள் ஒன்றோடொன்று இணைந்து நூக்ளியோடைடு தொடர் அல்லது பல்நூக்ளியோடைடு (polynucleolide) எனப்படும் நீண்ட சங்கிலி போன்ற மூலக்கூறமைப்பை ஏற்படுத்துகின்றன (படம் 6-19). எத்தனை நூக்ளியோடைடுகள் அவ்வாறு இணையலாம் என்பதற்கு வரம்பொன்றுமில்லையாகையால், பல்நூக்ளியோடைடின் நீளத்துக்கு

ஒரு வரம்பு கிடையாது. மற்றும் DNA யில் அமைந்துள்ள நைட்ரஜன் காரங்கள் நான்கேயாகும். இரண்டு புரைன்கள், இரண்டு பிரிமிடின்கள். புரைன்கள் இரண்டும் சைடொசின் (cytosine), தைமின் (thymine) என்பவையாகும். பிரிமிடின்களிரண்டும் அடினின் (adenine), குவானின் (guanine) என்பவையாகும். (படம் 6.17)

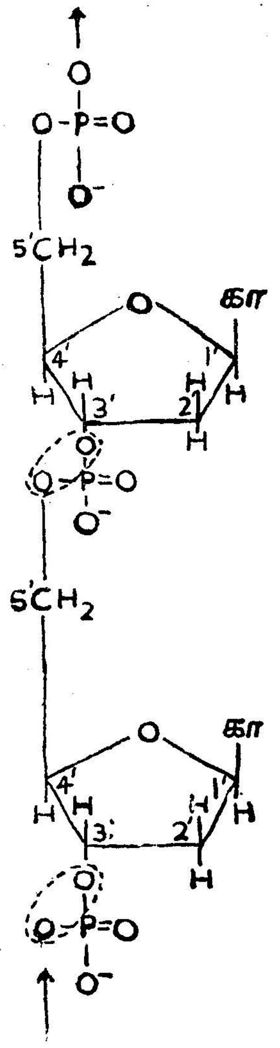
DNA மூலக்கூறில் நூக்ளியோடைடு தொடர்கள் எப்படி அமைந்துள்ளன என்பதை அனுமானிக்க, அதைப் பல வழிகளிலும் ஆய்ந்தறியப்பட்ட மூன்று உண்மைகளை வாட்சனும், கிரிக்கும் பயன்படுத்தினார்கள்.

1. DNA மூலக்கூறில் 34Å இடைவெளியில் திருப்பித் திருப்பி வரும் படிவ அமைப்பு உள்ளது.

2. நீரேற்றுள்ள DNA மூலக்கூறின் குறுக்களவு 20 Å ஆகும்.

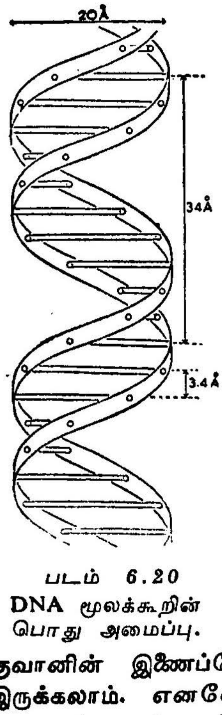
3. நைட்ரஜன் காரங்களில் அடினின் எவ்வளவு உள்ளதோ அவ்வளவு தைமினும், குவானின் எவ்வளவு உள்ளதோ அவ்வளவு சைடொசினும் உள்ளன.

இம் மூன்று பண்புகளும் இணையுமாறு வாட்சனும், கிரிக்கும்DNA மூலக்கூறின் அணு வடிவமைப்பை உருவாக்கினார்கள். இதில் ஒவ்வோர் அணுவும் மற்றொன்றோடு இணையும் கோணம், அவற்றுக்கிடையே உள்ள தூரம் முதலியவை துல்லியமாகப் பின்பற்றப் பட்டது. அவ்வாறு பலவாறாக முயன்ற




படம்: 6.19
DNA-ல் ஒரு நூக்ளியொடைடு தொடர் அல்லது சங்கிலி,
கா-புரைன் அல்லது பிரிமிடின் காரம்

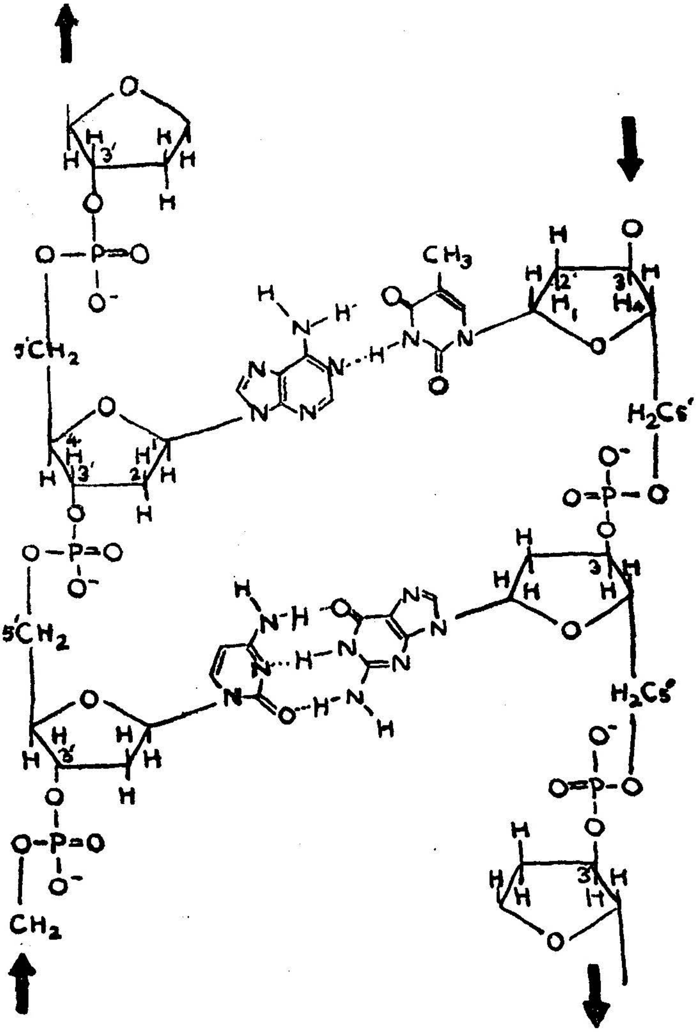
பிறகு கடைசியாக, எல்லாப் பண்புகளையும் திருப்திகரமாகப் பிரதிபலிக்கும் வடிவமைப்பை அவர்கள் கண்டுபிடித்தனர். அதன் படி DNA மூலக்கூறில் இரண்டு நூக்ளியோடைடு தொடர்கள் ஒன்றுக்கொன்று கிடையாக ஆனால் எதிர்நீட்சியாக அமைந்துள்ளன. இத்தொடர்கள் ஒவ்வொன்றிலும் பாஸ்பேட், சர்க்கரை இணைப்பு நீண்ட ஏணிக்கால்போன்ற தொடராகவும், நைட்ரஜன் காரங்கள் ஏணிக்காலிலிருந்து குறிப்பிட்ட இடைவெளிவிட்டு ஒரு புறமாக நீட்டிக்கொண்டிருக்கும் ஏணிப் படிகள் போலவும் அமைந்து உள்ளன. இரு நூக்ளியோடைடு தொடர்களின் நைட்ரஜன் காரங்கள் ஒன்றோடொன்று ஹைட்ரஜன் இணைப்பு மூலம் இணைந்து முழு ஏணி போன்ற அமைப்பு ஏற்படுகிறது. ஆனால் இந்த ஏணி போன்ற அமைப்பு நேராக இல்லாமல் திருகுச் சுருள் போல் முறுக்கிக் கொண்டு இருக்கிறது (படம் 6.20). ஒவ்வொரு சுருளும் 34Å நீளமுள்ளது. ஒரு சுருளில் பத்து நைட்ரஜன் கார ஜோடிகள் ஒவ்வொன்றுக்கும் 3.4Å தூரத்தில் அமைந்துள்ளன. சுருளின் குறுக்களவு 20Å ஆகும். நைட்ரஜன் காரங்கள் ஒன்றோடொன்று ஹைட்ரஜன் இணைப்பு மூலம் இணைவதில் அடினின் என்பது தைமினோடும், சைடொசின் என்பது குவானினோடும் மட்டுமே இணைய முடியும். எனவே, ஒரு நூக்ளியோடைடு தொடரில் அடினின் உள்ள இடத்தில் மற்ற நூக்ளியோடைடு தொடரில் தைமினும், சைடொசின் உள்ள இடத்தில் குவானினும் இருக்கின்றன (படம் 6.21)




படம் 6.20
DNA மூலக்கூறின் பொது அமைப்பு.

மேற்சொன்ன அமைப்பில், கார இணைப்புப் படிக்களின் வரிசை எப்படி அமைய வேண்டும் என்பதற்குக் கட்டுப்பாடு இல்லை. அதாவது ஒன்றில் அடினின்-தைமின் இணைப்பு இருந்தால் அடுத்தபடியிலும் அதே இணைப்போ அல்லது தைமின்-அடினின் இணைப்போ அல்லது சைடொசின் குவானின் இணைப்போ, குவானின் சைடொசின் இணைப்போ இருக்கலாம். எனவே, மொத்தம் இரண்டு ஜோடி காரங்களாலமையும் நான்கு வித இணைப்புகள் எந்த வரிசையில் வேண்டுமென்றாலும் அமையலாம். ஆகவே, மற்ற அமிசங்களில் உயிர்களனைத்திலும் ஒரே மாதிரியாக உள்ள DNA மூலக்கூறில் நைட்ரஜன் கார ஜோடிகளின் இணைப்பு வரிசை மட்டும் மாறுபடுகிறது.

இம்மாறுபாடே ஒவ்வோர் உயிரின் மரபு அடிப்படையிலும், அந்த அடிப்படையிலிருந்து உருவாகும் இனப் பண்புகளிலும் வேற்று



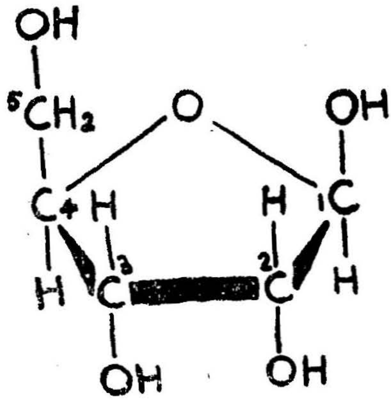

படம் 6.21

DNA மூலக்கூறின் ஒரு சிறு பகுதியின் கட்டமைப்பு. இரண்டு நூக்ளியொடைடு தொடர்களிலும் சர்க்கரை—ஃபாஸ்பேட் இணைவு எதிர்த் திசையில் அமைந்திருப்பதைக் கவனிக்கவும்.

மையை ஏற்படுத்துகிறதென்று கருதப்படுகிறது. இதைப்பற்றி மேலும் விரிவாகப் பிறகு சொல்லப்படும்.

## RNA அமைப்பு

இனி நூக்ளிய அமிலங்களில் மற்றொரு வகையான ரிபோநூக்ளிய அமிலத்தைப் பற்றிப் பார்ப்போம். DNAவைப் போலல்லாமல் RNAயானது பலவகைப்படும். அவை தூது RNA (Messenger RNA)மாற்றும் RNA (Transfer RNA) ரைபொசோம் RNA (Ribosomal RNA) முதலியவையாகும். இவற்றில் தூது RNA என்பது ஏறக்குறைய DNAவைப் போன்ற, ஆனால் ஒரே ஒரு நூக்ளியொடைட்டு தொடரால் அமைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. மற்றும் இதில் டியாக்சிரிபோஸ் என்னும் சர்க்கரைக்குப் பதிலாக ரிபோஸ் என்னும் சர்க்கரையும் (படம் 6.22)தைமின் என்னும் நைட்ரஜன்

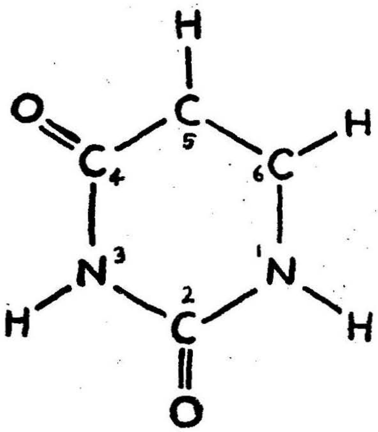



படம் 6.22
ரிபோஸ் மூலக்கூறின் கட்டமைப்பு

காரத்துக்கு பதிலாக யூரேசில் (Uracil)என்னும் காரமும் (படம் 6.23) இருக்கின்றன. எனவே இதிலுள்ள நான்கு நைட்ரஜன் காரங்கள், அடினின், யுரேசில், குவானின், சைடொசின் என்பவனவாகும். இது DNAயின் ஏதாவது ஒரு நூக்ளியோடைட்டு தொடரை அச்சாகக் கொண்டு அதன் வார்ப்பாக நூக்ளியசில் உற்பத்தி செய்யப்படுவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஆனால் DNA மூலக்கூறைப் போல் அவ்வளவு நீளத்துக்கும் தூது RNA உண்டாக்கப்படுவதில்லை. துண்டு துண்டாகக் குறிப்பிட்ட நீளங்களுக்கு உற்பத்தி செய்யப்பட்டு நூக்ளியசிலிருந்து சைட்டொபிளாசத்துக்கு அனுப்பப்படுவதாகத் தெரிகிறது. இத் துண்டுகளில், அச்சாகச் செயல்படும் DNA யிலுள்ள அடினின், குவானின், சைடொசின்,

தைமின் என்ற காரவரிசை யுரேசில், சைடொசின், குவானின், அடினின் என்ற வரிசையாக அமையும்.

ரைபொசோம் RNA என்பது ரைபொசோம் எனப்படும் நுண் துகள்களில் இருப்பதாகும். ஒரு ரைபொசோம் இரு அலகுகளைக் கொண்டதாகும். இவற்றில் பெரியதான 50S அளவுள்ள அலகில் 23S அளவுள்ள RNAயும், சிறியதான 30S அளவுள்ள அலகில்

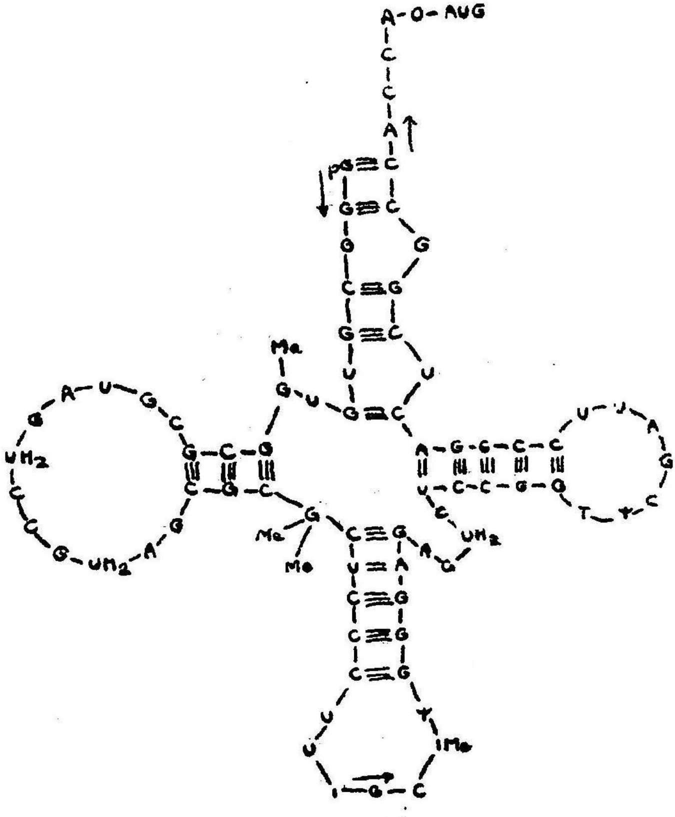



படம் 6.23
யுரேசில் மூலக்கூறின் கட்டமைப்பு

16S அளவுள்ள RNAயும் அமைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. இந்த RNAக்களின் நைட்ரஜன் காரங்கள் எவை எனத் தெளிவாகத் தெரியவில்லை. ஆனால் இதுவும் தூது RNAயைப்போல் ஒற்றை நியூக்ளியோடைடு தொடராலமைந்ததென்றும், தூது RNAயில் காணப்படாத வேறு நைட்ரஜன் காரங்களும் இருக்கலாமென்றும் கருதப்படுகிறது.

மாற்றும் RNA என்பது மற்ற RNAக்களைவிடச் சிறிய மூலக் கூறைக் கொண்டதாகும். இதன் மூலக்கூறு 4S அளவினை உடையது. ஆகையால், மற்ற RNAக்களைவிட இதன் அமைப்பு நன்றாகத் தெரியவந்துள்ளது. இதன் மூலக்கூறு முறுக்கப்பட்ட கொண்டை ஊசியைப்போன்ற அமைப்பைக் கொண்டிருக்கலா மென்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால் சமீப காலத்தில் செய்யப் பட்ட ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து இதன் மூலக் கூறு நான்கு பெரிய மடிப்புகளைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பை உடையதென்று தெரிய வந்துள்ளது.(படம் 6.24) மடிப்புகளின் அடிப்பகுதியில் நைட்ரஜ

கார ஜோடிகள் இணைந்தும், நுனிப் பகுதிகளில் இணையாமலும் இருக்கின்றன. மற்றும் தூது RNAயில் காணப்படும் நைட்ரஜன்



படம் 6.24

அலனின் RNA மூலக்கூறின் அமைப்பு. DNA,MRNA மூலக்கூறுகளில் காணப்படாத சில காரங்கள் அமைந்துள்ளதைக் கவனிக்கவும். I இனோசின்; Ime-மெத்திலினோசின்; Me.G-மெதில் குவனோசின்; U-சூடோயுரின்; $Uh_2$-டை ஹைட்ரோயுரிடின்.

காரங்களைத் தவிர வேறு சில காரணங்களும் காணப்படுகின்றன. மூலக்கூறின் மொத்த நூக்ளியோடைடுகள் சுமார் 80 என்று சொல்லப்படுகிறது.

# 7. செல்லியக்கத்தின் ஆற்றல்-உயிர்ப்பு

எந்தவோர் இயக்கத்துக்கும் ஆற்றல் தேவை என்ற பொது விதி செல்லினுள் நடைபெறும் இயக்கங்களுக்கும் பொருந்தும். செல்லினுள்ளமைந்துள்ள நுண்ணுறுப்புகளின் இயக்கம் மட்டு மல்லாமல் செல்கள் ஒன்றோடொன்று தொடர்பு கொண்டு திசுக் களாகியும், திசுக்கள் சேர்ந்து அவயவங்களாகியும், அவயவங்கள் கூடி உயிராகவும் நடத்தும் இயக்கங்களும் செல்லியக்கத்தினடிப் படையின் நிகழ்வனவேயாகும். இவ்வியக்கங்களுக்கெல்லாம் தேவையான ஆற்றலை உயிர்கள் தமது சுற்றுப்புறத்திலிருந்தே பெறுகின்றன. சுற்றுப்புறத்திலிருந்து அவை எடுத்துக்கொள்ளும் உணவிலடங்கியுள்ள வேதியாற்றலே அவற்றின் இயக்கத்தை நடத்தும் ஆற்றலாகும். உணவுப் பொருளிலடங்கியிருக்கும் வேதி யாற்றல் செல்லியக்கங்களுக்கான ஆற்றலாக மாற்றப்படுவதே உயிர்ப்பு எனப்படும்.

தமது இயக்கத்துக்குத் தேவையான ஆற்றலைச் செல்கள் பெறும் முக்கிய வழி கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் ஆக்சீகரணமே யாகும். எனவே உயிர்ப்பின் அடிப்படை வேதி மாற்றம் கார் போஹைட்ரேட்டுகளின் ஆக்சீகரண மாற்றமேயாகும். இந்த கார்போஹைட்ரேட்டுகளைச் செல்கள் வெளியிலிருந்து உண வாகப் பெறலாம்; அல்லது செல்லினுள் வேறு பொருள்களிலிருந்து உண்டாக்கலாம். கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் ஆக்சீகரணத்தில் நடைபெறும் அடிப்படை வேதிமாற்றம், கார்பன் அணுக் களிடையேயுள்ள பிணைப்புகளை நீக்குவதாகும். இதனால் கார்பன் அணுக்கள் பல இணைந்து உருவான கூட்டுப் பொருள்களின் மூலக்கூறுகள் உடைந்து முடிவில் ஒரே ஒரு கார்பன் அணுவைக் கொண்ட கார்பன்டை ஆக்சைடு மூலக்கூறுகளாகின்றன. ஆனால் செல்லியக்கத்துக்குத் தேவையான ஆற்றலுக்காகக் கார்பன் அணுப்பிணைப்புகள் அகற்றப்படும் அதே நேரத்தில், செல்லுறுப் புகளை உண்டாக்குவதற்குத் தேவையான கார்பன் அணுப் பிணைப்புகளையும் செல்கள் செய்யவேண்டியுள்ளன. ஏனெனில், செல்லை உருவாக்கும் எல்லா அமைப்புகளும் கார்பன் அணுத் தொடர்பிணைப்புகளின் அடிப்படையிலானவைகளேயாகும்.

கார்பன் அணுத்தொடர் பிணைப்புகளை நீக்குவதால், செல்லியக்கத்துக்குத் தேவையான ஆற்றல் கிடைக்கிறதென்றால், செல்லமைப்புக்குத் தேவையானது கார்பன் அணுத் தொடர்களின் பிணைப்பேயாகும். ஆகவே, ஒன்றுக்கொன்று எதிர்மாறானதாகத் தோன்றும் இவ்விரண்டும் ஒரே சமயத்தில் செல்களில் நிகழ்வது எவ்வாறு சாத்தியமாகிறது?

குளுகோஸ் என்னும் கார்போஹைட்ரேட்டின் முழு ஆக்சிகரணத்தால் ஒரு மூலக்கூறெடைக்கு 670 கிலோ காலரி ஆற்றல் கிடைக்கிறது. ஆனால் இந்த மொத்த ஆற்றலில் எவ்வளவு வெப்பமாக வீணாகிறது என்பது ஆற்றல் வெளிப்படுத்தப்படும் சூழ்நிலையைப் பொறுத்ததாகும். எவ்வளவுக்கெவ்வளவு சிறு அளவில் படிப்படியாக ஆற்றல் வெளிப்படுத்தப்படுகிறதோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு வெப்பவீணின்றி ஆற்றல் பயன்படக்கூடும். ஆனால் ஒவ்வொரு படியிலும் வெளிப்படும் ஆற்றல் ஒரு வேதியிணைப்பையாகிலும் நிகழ்த்தக்கூடிய அளவினதாக இருக்க வேண்டும். அதற்கும் குறைவான அளவுள்ள ஆற்றலும் வீணாகவேபோகும். எனவே கார்போஹைட்ரேட் மூலக்கூறுகளிலிருந்து ஆற்றலை மட்டுமல்லாமல், செல்லமைப்புக்குத் தேவையான மூலக்கூறுகளையும் தோற்றுவிக்கும் வண்ணம் ஆக்சிகரணம் நடைபெறுகிறது.

கார்போஹைட்ரேட் ஆக்சிகரணத்தை மேற்கூறிய இருவழிச் செலவில், எவ்வளவு ஒருவழியிலும், எவ்வளவு மறுவழியிலும் நடைபெற வேண்டும் என்பதை ஒவ்வொரு செல்லும் தனது தேவைக்கேற்ப ஒழுங்குபடுத்துவது அவசியமாகும். ஏனெனில் இத் தேவைகள் செல்லுக்குச் செல் மாறுபடக் கூடியதாகும். எல்லாச் செல்களுக்கும் ஆற்றல் இடைவிடாமல் தேவைப்படுகிறதென்றாலும், வளரும் செல்களுக்குச் செல்லமைப்புக்குத் தேவைப்படுகிறதென்றாலும், வளரும் செல்களுக்குச் செல்லமைப்புக்கு வேண்டிய கார்பன் கூட்டுப் பொருள்கள் அதிகமாகத் தேவைப்படுகிறது. ஆனால் முழுவளர்ச்சியடைந்து வேகமாக இயங்கும் தசை செல்கள், நரம்பு செல்கள் முதலியவற்றிற்கு ஆற்றல் மட்டுமே ஏராளமாகத் தேவைப்படுகிறது. வளரும் தாவர செல்கள் செல் சுவருக்கான பொருள்களை ஏராளமாக உற்பத்தி செய்ய வேண்டியுள்ளது. பழங்கள், விதைகள் கிழங்குகள் முதலியவற்றின் சேமிப்புச் செல்கள் சேமிப்புப் பொருள்களை ஏராளமாகத் தயாரிக்க வேண்டியுள்ளது. ஒரு சூஸ்போர் (Zoospore) நகர்ந்து செல்லும்போது, வீச்சிழை அசைவுக்கு ஆற்றலைச் செலவழிக்கிறது. ஆனால் அது வளரத் தொடங்கும்போது அதன் தேவை

மாற்றமடைகிறது. எனவே வெவ்வேறு செல்கள் கார்போஹைட்ரேட்டைப் பயன்படுத்தும் முறை வேறுபடுவதல்லாமல் ஒரே செல் அதன் வளர்ச்சி வேறுபாட்டின் வெவ்வேறு நிலைகளில் வெவ்வேறு விதமாகக் கார்போஹைட்ரேட்டைப் பயன்படுத்த வேண்டியுள்ளது. இத்தேவை மாற்றங்களைச் செல்கள் எவ்வாறு சாதித்து ஒழுங்குபடுத்துகின்றன என்பது செல்லியக்கத்தைப் பற்றி நாமறிய வேண்டிய மிக முக்கியமான விஷயமாகும். இதை இன்னும் நாம் தெளிவாகத் தெரிந்து கொள்ளவில்லையென்றாலும், கார்போஹைட்ரேட் ஆக்சீகரணத்தின் சிக்கலான பல வேதிக் கிரியைகளும் அவற்றால் ஏற்படும் ஆற்றல் மாற்றங்களும் நன்கு அறியப்பட்டுள்ளன.

**கிளைகாலிசிஸ்** (Glycolysis)

கார்போஹைட்ரேட் ஆக்சீகரணத்தின் முதற்படி கிளைகாலிசிஸ் எனப்படும். முதன்முதலில், கிளைகோஜன் (glycogen) என்னும் பாலிசேக்கரைடு, பைருவேட் (pyruvate) என்னும்மூன்று கார்பன் கூட்டுப் பொருளாக மாற்றப்படும் கிரியைக்கு கிளைகாலிசிஸ் என்ற பெயர் அளிக்கப்பட்டது. விலங்கு செல்களில் பெரும்பாலும் கார்போஹைட்டுகள் கிளைகோஜனாக மாற்றப்பட்டு சேமிக்கப்படுகிறது. இதுவே அவற்றின் ஆற்றல் தேவைக்கு பயன்படும் அடிப்படை பொருளாகிறது. எனவே இதன் ஆக்சீகரணத்தின் முதற்படி கிளைகாலிசிஸ் என்று குறிக்கப்பட்டது. ஆனால் இப்போது கிளைகாலிசிஸ் என்ற சொல் கிளைகோஜன் மட்டுமல்லாமல் மற்ற எல்லா கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் ஆக்சீகரண முதற்படியையும் குறிக்கிறது. ஏனெனில் கிளைகாலிசிஸ் மாற்றங்கள் எல்லா கார்போஹைட்ரேட்டுகளுக்கும் பொதுவாக உள்ளது. எந்த கார்போஹைட்ரேட்டும் கிளைகோஜனைப் போன்ற ஆறு கார்பன் பொருளாக மாற்றப்பட்டே ஆக்சீகரிக்கப்படுகிறது.

செல்களைச் சூக்ரோஸ் கரைசலோடு கலக்கித் தக்க சாதனங்களினால் அறைத்துச் சிதற்றி, அக்கலவையை மையத்தறுவிசைக்கு ஆட்படுத்தினால், அடியில் மண்டியவை போக மேல் நிற்கும் தெளிவான திரவம் புரோட்டீன்களும், மற்ற பல்வேறு அங்ககக் கூட்டுப் பொருள்களும் கரைந்த கரைசலாக இருக்கும். முக்கியமாக இத்திரவத்தில் கிளைகாலிசிசுக்குத் தேவையான எல்லா நொதிகளும் காணப்படுகின்றன. சூக்ரோஸ் கரைசலில் செல்களைச் சிதற்றும் போது, செல்நுண்ணுறுப்புகளாகிய நியூக்ளியஸ், பசுணிகள், மைட்டொகான்றியங்கள், சவ்வுகள், ரைபொசோம்கள் முதலியவை பிய்ந்து அழியாமல் காப்பாற்றப்படுகின்றன. மையத்தறுவிசையால் இவையாவும் அடியில் மண்டிவிடுகின்றன.

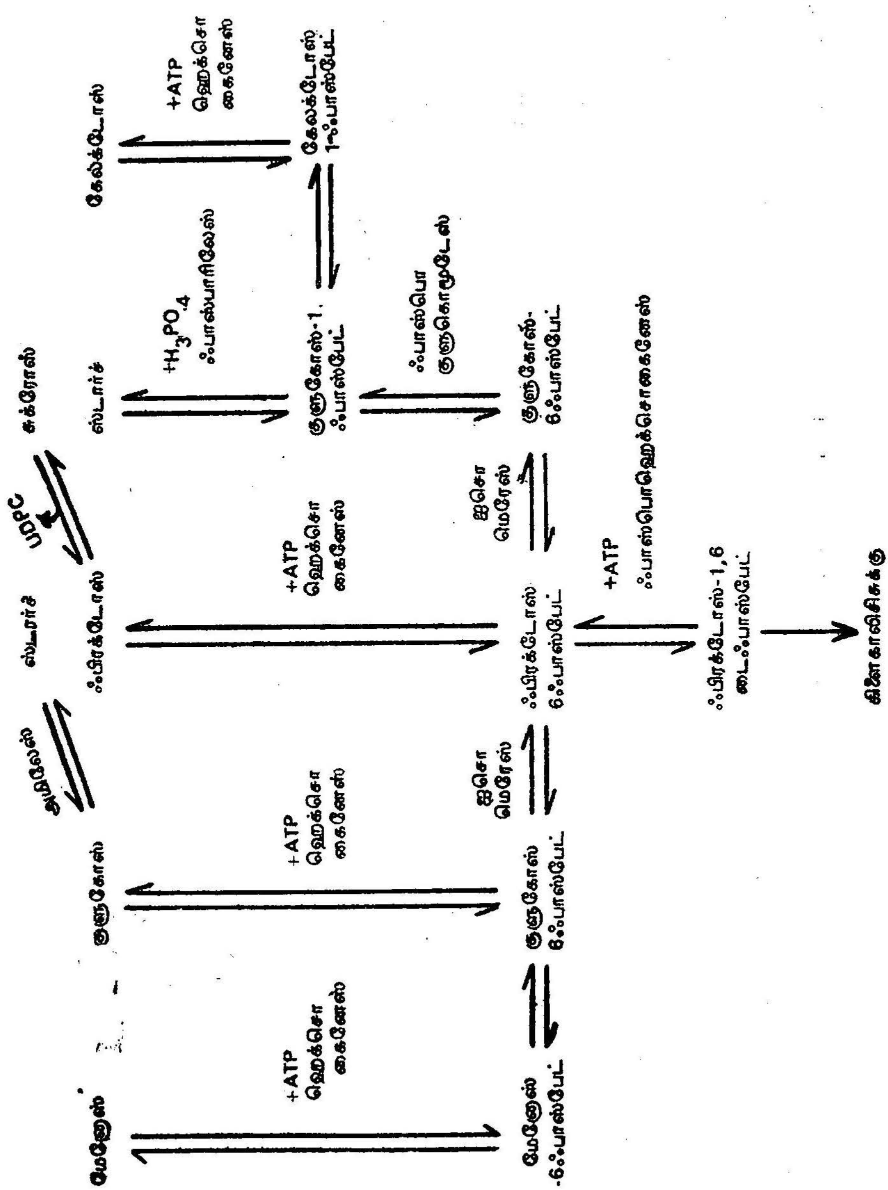
வாகையால் அவற்றினுள்ளடங்கிய நொதிகள் வெளிப்படுவதற்கு வாய்ப்பில்லை. எனவே மேல் நிற்கும் திரவத்திலடங்கிய நொதிகளெல்லாம், செல் நுண்ணுறுப்புகளைத் தவிர்த்த அடிப்படை ஹயலோபிளாசம் என்னும் திரவத்தில் கலந்துள்ளவையாகுமென்று தீர்மானிக்கலாம். மற்றும் கிளைகாலிசிசுக்குத்தேவையான நொதிகள் மேல் நிற்கும் திரவத்திலுள்ளதைவிட மிகக் குறைந்த அளவில்தான் அடி மண்டியில் காணப்படுகின்றன. ஆகவே இவற்றிலிருந்து தெரிய வருவது யாதெனின், கார்போஹைட்ரேட் ஆக்சீரகணத்தின் முதற்படியாகிய கிளைகாலிசிஸ் செல் நுண்ணுறுப்புகளைத் தவிர்த்த, அடிப்படை ஹயலோபிளாசத்தில்தான் நடைபெறுகிறது என்பதாம். ஆகவே குறிப்பிட்ட அமைப்பையுடைய செல் நுண்ணுறுப்புகளின் ஈடுபாடின்றி நடைபெறுவதான கிளைகாலிசில், ஏறக்குறைய ஒரு சோதனைக்குழாயில் நாம் நடைபெறச் செய்யும் வேதிக்கிரியைப் போன்றே நடைபெறுகிறதென்று கருதப்படுகிறது.

கிளைகாலிசிசில் நான்கு விதமான கிரியைகள் உள்ளன. அவை பாஸ்பரீகரணம் (phosphorylation), மூலக் கூறுகளின் அணு வரிசை மாற்றம் (intra molecular rearrangements), மூலக் கூறுபிளப்பு (molecular cleavage), பகுதி ஆக்சீகரணம் (Partial oxidation) என்பனவாகும். இவற்றில் நிகழும் வேதிய மாற்றங்களின் விவரங்கள் படம் 7.1 7.2 7.3 ஆகியவற்றில் காட்டப்பட்டுள்ளது. இம் மாற்றங்களொவ்வொன்றும் ஒரு நொதியில் ஈடுபாட்டால் நடைபெறுகிறது.

**பாஸ்பரீகரணம் (Phosphorylation)**

பாஸ்பரீகரணம் என்பது பாஸ்பேட் தொகுதியை இணைப்பதாகும். இவ்விணைப்பு பொதுவாக அதிக ஆற்றலை உள்ளடக்கக் கூடியதாகும். எனவே செல்களின் ஆற்றல் சேமிப்பும், ஆற்றல் மாற்றங்களும், பாஸ்பரீகரணத்தையே பிரதான அடிப்படையாகக் கொண்டுள்ளன.

கிளைகோஜன் போன்ற ஆறுகார்பன் பொருள்களை நேரடியாக ஆக்சீகரிக்கும் நொதிகளும் உள்ளனவெனினும், அத்தகைய ஆக்சீகரணத்தால் செல்லுக்குத் தேவையான விதத்தில் ஆற்றல் வெளிப்பாடு நிகழுவதற்கில்லை. எனவே பாஸ்பரீகரணமடைந்த பொருள்களே பொதுவாக ஆக்சீகரிக்கப்படுகின்றன. ஆறு கார்பன் பொருள்களோடு பாஸ்பேட் ரேடிகலை இணைக்கும் நொதிகள் எல்லாச் செல்களிலும் உள்ளன. ஆறுகார்பன் சர்க்கரைகள், பாஸ்பேட்டோடு இணைக்கப்பட்டாலன்றி நொதிகள் அவற்றை




படம்: 7-1

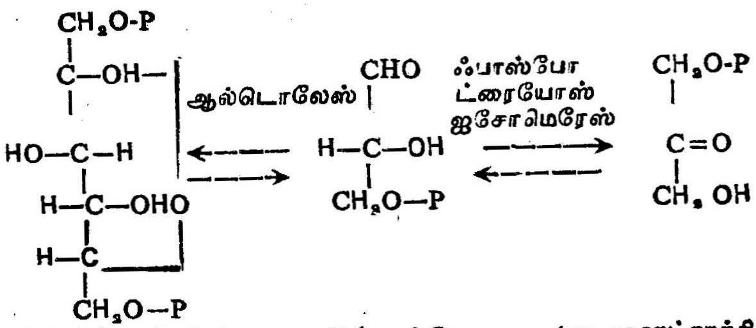
சர்க்கரைகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்றாக மாற்றமடையும் வழிகள்

ஆக்சிகரிப்பதில்லை. ஆனால் அவ்வாறு பாஸ்பேட் இணைப்பு ஏற்படுவதற்கும் ஆற்றல் தேவைபபடுகிறது. எனவே கார்போ ஹைட்ரேட் பொருள்களிலடங்கிய அதிக ஆற்றலை ஆக்சிகரணத் தால பெறுவதற்குமுன்பு சிறிது ஆற்றலைச் செலவழித்து செல்கள் அவற்றைப் பாஸ்பேட்டோடு இணைக்க வேண்டியுள்ளது. இந்த சக்தி பாலிசேக்கரைடுகளின் கிளைகோசிப இணைபபிலிருந்து பெறப் படுகிறது. உதாரணமாக ஒரு பாலிசேக்கரைடின் ஆக்சிகரணத் தொடக்கத்தில் ஃபாஸ்பாரிலேஸ் (Phosphorylase) என்ற நொதி பாலிசேக்ரைடு மூலக்கூறின் தொடரிலுள்ள ஒரு ஆறு கார்பன் தொகுதியோடு இணைந்து அந்த ஆறு கார்பன்தொகுதியை மூலக் கூறிலிருந்து பிரித்து பாஸ்பேட் அயனியோடு இணைக்கிறது. இதற் கான ஆற்றல் அந்த ஆறு கார்பன் தொகுதியானது பாலிசேக் கரைடு மூலக்கூறின் பகுதியாக இணைந்திருந்த இணைப்பை உடைப்பதன் மூலம் நொதியால் பெறப்படுகிறது. இவ்விரண்டு இணைப்புகளும் நீற்றுடைப்பால் உடையக் கூடியனவாகையால், நீர் நீக்கத்தால் இவை திரும்பவும் உண்டாகக்கூடும். ஆனல் நீர்நீக்கமானது அதிக ஆற்றலை எடுத்துக்கொள்ளக் கூடியதொன் ருகையால், செல்கள் நீர் நீக்கமின்றியே இவ்விணைப்புகளை ஏற்படுத்திச் சக்தியைச் சேமிக்கின்றன.

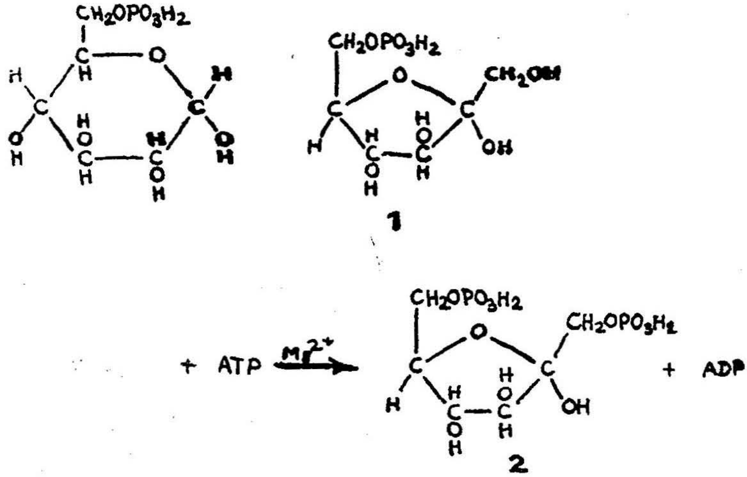
கிளைகாலிசிசின் மொத்த மாற்றம் ஆறு கார்பன் சர்க்கரை பைருவேட் அல்லது பைருவிக் அமிலமாக மாற்றப்படுவதாகும். இம்மாற்றம் பலவழிகளில் நடைபெறலாமென இப்போது தெரிய வந்துள்ளது. இவற்றில் முதன் முதல் கண்டறியப்பட்டதும், பெரும்பாலான தாவரங்களிலும், விலங்குகளிலும் காணப்படுவதும் எம்டென்-மெயெர் ஹோஃப்-பர்னஸ் (Embden-Meyerhof-Parnas) வழி எனப்படும். இதன் முக்கியபடிகள் என்னவென்று பார்ப் போம்,

1. முதலில் ஆறுகார்பன் சர்க்கரைகளெல்லாம், பாஸ்பரி கரணத்தால் ஃபிரக்டோஸ் 1,6 டைஃபாஸ்பேட்டாக மாற்றப்படு கின்றன. பலவேறு சர்க்கரைகள் இப்படி மாற்றப்படும் படிகளும் அவற்றில் ஈடுபடும் நொதிகளின் பெயர்களும் படம் 7.2ல் விளக்க மாகக் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

2. அடுத்தபடியாக ஃபிரக்டோஸ் 1,6 டைஃபாஸ்பேட் டானது ஆல்டோலேஸ் (aldolase) என்னும் நொதியால் டைஹைட்ராக்ஸி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட் (dihydroxy acetone phosphate) ஃபாஸ்போ கிளிசரால் டிஹைடு (phosphoglyceralde hyde) என்ற இரண்டு பொருள்களாக மாற்றப்படுகிறது. இவை ஒவ்வொன்றும் மூன்று கார்பன் அணுக்களைக் கொண்டனவாகும். இம்மாற்றம் கீழ்காட்டப்பட்டுள்ளவாறு நடைபெறுகிறது.




(ஃபிரக்டோஸ் 1,6, டைஃபாஸ்ஃபேட்) (3ஃபாஸ்போ கிளிசரால்டிஹைடு) (டைஹைட்ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட்)



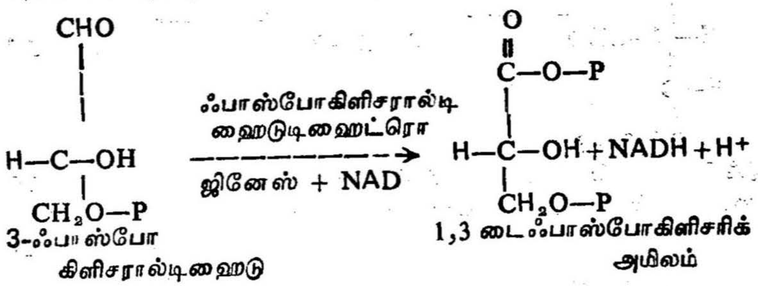
படம்: 7-2

ஃபிரக்டோஸ் 6-ஃபாஸ்பேட்டானது, ஃபிரக்டோஸ் 1-6 ஃபாஸ்பேட்டாக மாறுவது, 1. ஃபிரக்டோஸ் 6.ஃபாஸ்பேட்; 2.ஃபிரக்டோஸ் 1-6ஃபாஸ்பேட்.

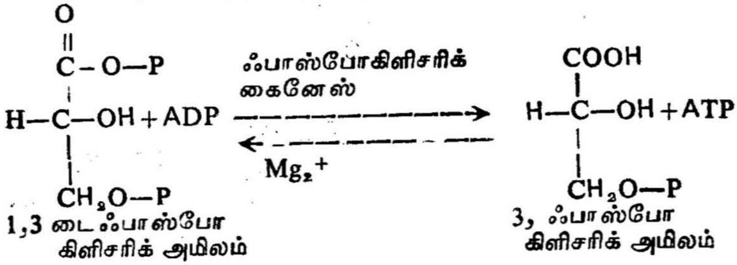
3. டைஹைட்ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட்டானது அடுத்தபடியாக அதனுடைய ஐசோமெராகிய 3, ஃபாஸ்போ கிளிசரால்டிஹைடாக மாற்றப்படுகிறது. இதை நடக்கச் செய்யும் நொதி டிரையோஸ் ஃபாஸ்பேட் ஐசோமெரேஸ் என்பதாகும்.

4. அடுத்து 3, ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடானது, 1,3 டைஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலமாக மாற்றப்படுகிறது. இம் மாற்றத்தின்

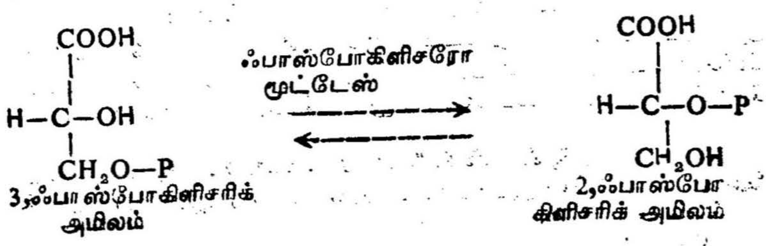
போது அனங்கக பாஸ்பேட் இணைக்கப்படுகிறது. ஆல்டிஹைடானது அமிலமாக மாற்றப்படுகிறது. கூட்டு நொதி எனப்படும் NADயானது $NADH_2$ஆக நீக்கரணமடைகிறது. இதில் பயன்படும் நொதி ஃபாஸ்போ கிளிசரால்டிஹைடு டிஹைட்ரொஜினேஸ் என்பதாகும்.



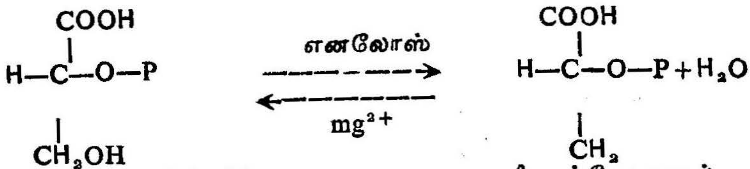

5. ஃபாஸ்போகிளிசரிக் கைனேஸ் என்ற நொதியின் ஈடுபாட்டால் 1,3 டைஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலத்தின் இரு ஃபாஸ்பேட் தொகுதிகளில் ஒன்று ADPக்கு மாற்றப்பட்டு, ADPயும், 3 ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலமும் உண்டாகின்றன. இதில் மெக்னீசிய அயனியும் சம்பந்தப்படுகிறது.




6. ஃபாஸ்போகிளிசரோ மூட்டேஸ் என்னும் நொதியின் ஈடுபாட்டால், 3 ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலத்தின் ஃபாஸ்பேட் தொகுதி மூன்றுவது கார்பன் அணுவிலிருந்து இரண்டாவது கார்பன் அணுவுக்கு மாற்றப்படுகிறது. இது ஐசொமெர் மாற்றம் (isomeric change) எனப்படும்.

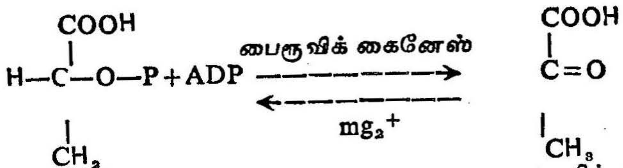


7. 2, ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலத்திலிருந்து எனொலேஸ் என்னும் நொதியின் ஈடுபாட்டால் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறு அகற்றப்பட்டு, எனுல்வகை ஃபாஸ்போ பைருவிக் அமிலம் உண்டாகிறது. இதிலும் மெக்னீசிய அயனி சம்பந்தப் படுகிறது.




2 ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலம் ஃபாஸ்போ-எனுல்-பைருவிக் அமிலம்

8. ஃபாஸ்போபைருவிக் கைனேஸ் என்ற நொதியின் ஈடுபாட்டால் ஃபாஸ்போ பைருவிக் அமிலத்தின் ஃபாஸ்பேட் தொகுதி ADPக்கு மாற்றப்பட்டு பைருவிக் அமிலமும் ATPயும் உண்டாகின்றன. மெக்னீசிய அயனியும் இதில் சம்பந்தப்படு கிறது.

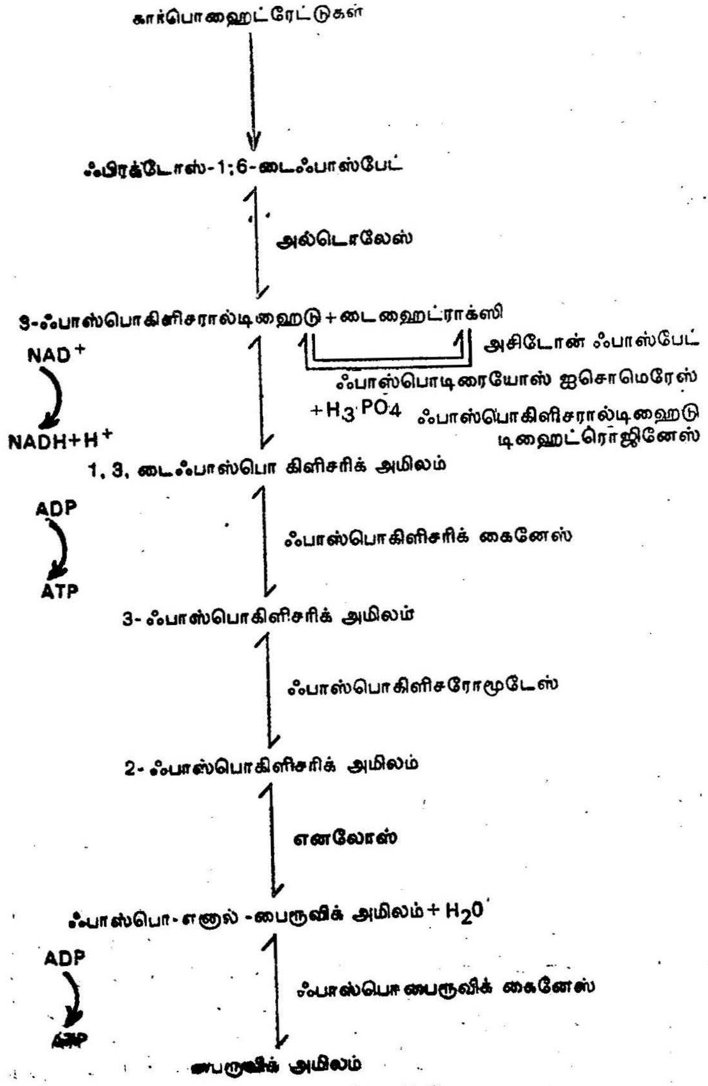



ஃபாஸ் போ-எனுல்-பைருவிக் அமிலம் பைருவிக் அமிலம்

மேலே தனித்தனியாக விவரிக்கப்பட்ட கிளைகாலிசிசின் மொத்த கிரியையும் படம் 7.3-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. கிளைகாலிசிசினுல், ஒரு குளுகோஸ் அல்லது ஆறு கார்பன் சர்க்கரையிலிருந்து இரண்டு பைருவிக் அமில மூலக்கூறுகளும், நான்கு ATP மூலக் கூறுகளும் உண்டாகின்றன. ஆரம்பத்தில் ஃபாஸ் பரிகரணத் துக்காக இரண்டு ATP மூலக் கூறுகள் தேவைப்படுவதால் கிளை காலிசிசால் கிடைக்கும் நிகர இலாபம் இரண்டு ATP மூலக் கூறு களாகும். மற்றும் இரண்டு NAD மூலக்கூறுகள் $NADH_2$ ஆக நீக்கரிக்கப்படுகின்றன. இவ்விரண்டிலிருந்தும் வளியுருக்சீ கரணத்தால் ஆறு ATP மூலக்கூறுகள் உண்டாக்கப்படலாம். எனவே, ஆக்சிஜன் உள்ள சூழ்நிலையில் கிளைகாலிசிசின் மொத்த இலாபம் எட்டு ATP மூலக் கூறுகளாகும்.

## பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்சிகரணம்

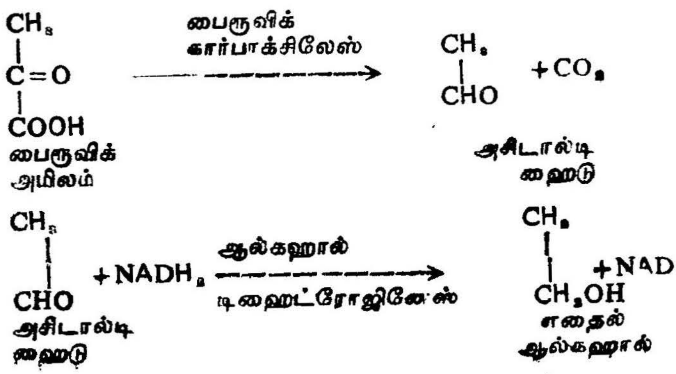
வளியறுமிர்ப்பு: மேற்சொன்ன கிளைகாலிசிஸ் கிரியையினால் கடைசியாகத் தோன்றும் பைருவிக் அமிலம் மேலும் ஆக்சிகரண

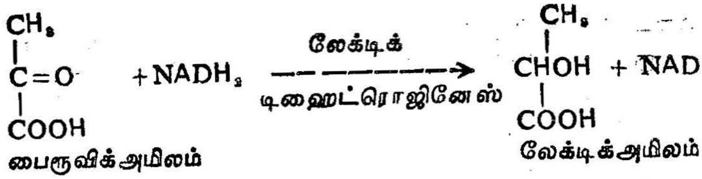



படம்: 7.3
EMP வழி கிளைகாலிசிஸ் கிரியைகள்

மடைவதே உயிர்ப்பில் நடைபெறும் அடுத்தபடியாகும். அவ்வாறு பைருவிக் அமிலம் ஆக்சிகரணமடையும் வழி ஆக்ஸிஜன் வாயு இருப்பதையும் இல்லாததையும் பொறுத்து வேறுபடுகிறது. ஆக்சிஜன் வாயு இல்லாத பொழுதும், மற்றும் சில சந்தர்ப்பங்களிலும் நடைபெறும் ஆக்சீகரணம் வளியறு ஆக்சீகரணம் (Anaerobic oxidation) எனப்படும். இதன் பாதையும் வெவ்வேறு உயிர்களிலும், வெவ்வேறு திசுக்களிலும் சற்று வேறுபடக்கூடியதாயினும் பொதுவாக இதில் பைருவிக் அமிலமானது குறை ஆக்சீகரணமடைந்து, ஆல்கஹாலாகவோ அங்கக அமிலமாகவோ மாறுகிறது.

வளியறுயிர்ப்பில் முதலில் கார்பாக்சிலேஸ் (Carboxylase) என்னும் நொதியினுதவியால் பைருவிக் அமிலமானது அசிடால்டிஹைடாகவும், கார்பன் டை ஆக்சைடாகவும் மாறுகிறது. கார்பன்டைஆக்சைடானது உயிர்ப்பின் கடைசிப்பொருளாகையால் அது மேலும் ஆக்சீகரணமடைய முடியாது. ஆனல் அசிடால் டிஹைட்ஹைட்ரொஜினேஸ் (Dehydrogenase) என்னும் நொதி, கூட்டுநொதி I எனப்படும் $NADH_2$ என்னும் பொருளை ஈடுபடுத்தி ஆல்கஹாலாக மாற்றுகிறது. ஆல்கஹாலும் வளியறுயிர்ப்பின் கடைசிப் பொருளாகையால் அது மேலும் ஆக்சீகரணமடைவதில்லை. விலங்குகளின் தசைத் திசுவிலும், சில பாக்டீரியங்களிலும் வளியறுயிர்ப்பால் பைருவிக் அமிலமானது லேக்டிக் அமிலமாக மாற்றப்படுகிறது. இதில் ஈடுபடும் நொதி லேக்டிக் டிஹைட்ரொஜினேசாகும். வளியறுயிர்ப்பின் இம் மாற்றங்கள் கீழே காட்டப்பட்டுள்ளன.





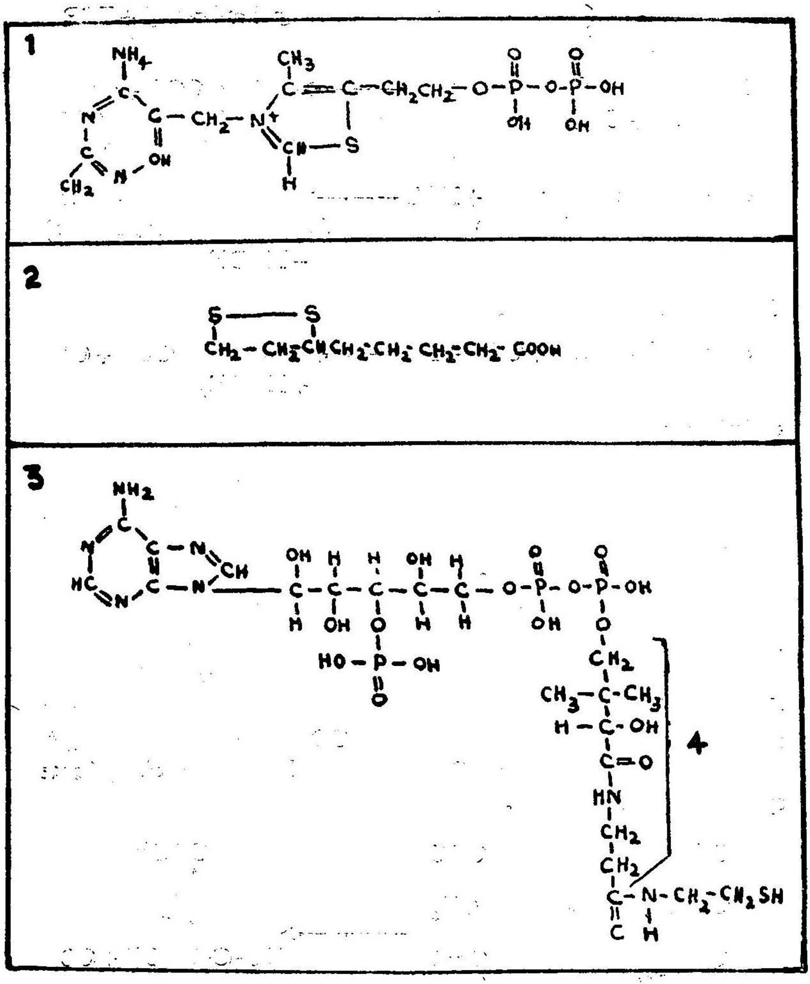

**வளிபுயிர்ப்பு :**

ஆக்சிஜன் வாயுவற்ற சூழ்நிலையிலும், மற்றும் சில சமயங்களிலும் நடைபெறும்வளியறுயிர்ப்பைவிட, வளியுயிர்ப்பே பெரும்பாலான உயிர்களில் எல்லா நேரங்களிலும் நடைபெறுவதாகும். வளியறுயிர்ப்பில் வெளிப்படும் ஆற்றலைவிடப் பல மடங்கு ஆற்றல் வளியுயிர்ப்பில் பெறப்படுகிறது. இதில் பைருவிக் அமிலமானது மேலும் பல ஆக்சீகரண மாற்றங்களையடைந்து கடைசியில் கார்பன்டைஆக்சைடும் தண்ணீரும் தோன்றுகின்றன. இம் மாற்றங்கள் ஒரு சுழல்கிரியையாகச் செயல்படுகின்றன என்பதை ஆய்ந்தறிந்தவர் கிரெப் (Kreb) என்பவராகையால் இது கிரெப் சுழல் (Kreb's cycle) என்று சொல்லப்படுகிறது. மற்றும் இது டிரைகார்பாக்சிலிக் அமிலச் சுழல் (Tricarboxylic acid cycle) என்றும் குறிக்கப்படுகிறது.

கிளைகாலிசிஸ் மாற்றங்கள் பொது சைட்டொபிளாசம் அல்லது மீசோபிளாசத்தில் நடைபெறுவதற்கு மாறாக, கிரப் சுழல் மாற்றங்கள் மைட்டோகான்றியங்களில் நடை பெறுகின்றன என்று கண்டறியப்பட்டுள்ளது. ஆனால் மைட்டொகான்றியத்தின் எப் பகுதியில் இக் கிரியைகள் நடைபெறுகின்றன என்பது இன்னும் நிச்சயிக்கப்படவில்லை. முதலில் இக் கிரியைகளின் வேதிய மாற்றங்களைத் தெரிந்துகொண்டு பிறகு மைட்டொகான்றியத்தின் நுண்ணமைப்பையும் அதில் இக் கிரியைகள் நடைபெறக்கூடிய இடத்தையும்பற்றிக் காண்போம்.

பைருவிக் அமிலமானது கிரெப் சுழலில் நேரடியாக நுழைவதில்லை. முதலில் ஒரு சிக்கலான வேதியக்கிரியைத் தொடரால், மூன்று கார்பன் அணுக்களைக் கொண்ட பைருவிக் அமிலம் ஒரு கார்பன் அணுவை இழந்து, இரண்டு கார்பன் அணுக்களைக் கொண்ட அசிடில் கூட்டுநொதி A என்னும் பொருளாக மாறுகிறது. நீக்கப்பட்ட கார்பன் அணுகார்பன்டை ஆக்சைடாகிறது. இக் கிரியைகளில் மொத்தம் ஐந்து கூட்டுக்காரணிகள் ஈடுபடுகின்றன. இவை மெக்னீசிய அயனிகள், தையமின் பைரோஃபாஸ்பேட் (TPP), $NAD^+$, கூட்டுநொதி A(COA), லிப்பேயிக்

அமிலம் (Lipoic acid) முதலியவையாகும். இவற்றில் தையமின் பைஃரோபாஸ்பேட், கூட்டுநொதி A, லிப்போயிக் அமிலம் ஆகிய




படம் 7.4

பைருவிக் அமில மெட்டபாலிசத்தோடு சம்பந்தப்படும் சில கூட்டுக் காரணிகள்.

1. தையமின் பைரொபாஸ்பேட்; 2. லிப்போயிக் அமிலம்; 3. கூட்டு நொதி A; 4. பேன்டதெனிக் அமிலம்

வற்றின் அமைப்புப் படம் 7.4-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இக் கிரியைகளின் போக்கு கீழ்வருமாறு

1. பைருவிக் அமிலம் + TPP ——→ TPPகூட்டு + $CO_2$

2. TPPசலவை + லிப்போயிக் அமிலம் (ஆக்சிகரிக்கப் பட்ட நிலை) ——→ அசிடில் லிப்போயிக் அமிலக்கூட்டு + TPP

3. அசிடில் லிப்போயிக்அமிலக் கூட்டு + COA ——→ அசிடில் COA + லிப்போயிக் அமிலம் (நீக்கரிக்கப்பட்ட நிலை)

4. லிப்போயிக் அமிலம் + NAD (நீக்கரிக்கப்பட்டநிலை) ——→ லிப்போயிக் அமிலம் (ஆக்சிகரிக்கப்பட்டநிலை) + $NADH_2$

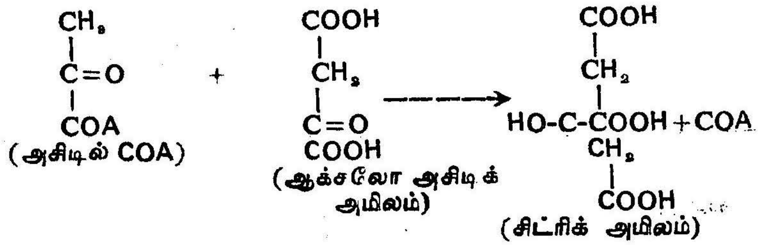
மொத்தக் கிரியையாவது:

பைருவிக் அமிலம் + COA + NAD ——→ அசிடில் COA + $CO_2$ + $NADH_2$

**கிரெப் சுழல்**

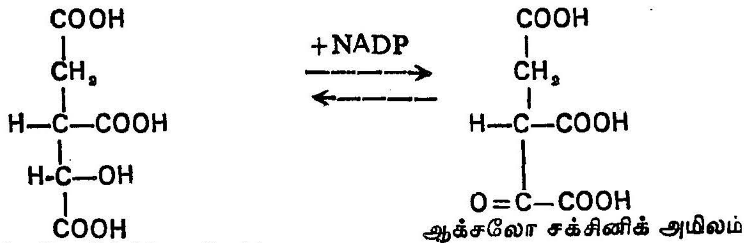
கிளைகாலிசிசையும், கிரெப் சுழலையும் இணைக்கும் சங்கிலியாகிய அசிடில் COA என்பது கார்பன்டை ஆக்சைடாகவும், தண்ணீராகவும் மாற்றப்படுவதே கிரெப் சுழலாகும்.

முதலில் அசிடில் கூட்டுநொதி A யானது நான்கு கார்பன் அணுக்களையும் இரண்டு கார்பாக்சில் தொகுதிகளையும் கொண்ட ஆக்சலோ அசிடிக் அமிலத்தோடு இணைந்து, ஆறு கார்பன் அணுக்களையும், மூன்று கார்பாக்சில் தொகுதிகளையும் கொண்ட சிட்ரிக் அமிலத்தைத் தோற்றுவிக்கிறது. இதில் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறு எடுத்துக்கொள்ளப்பட்டு COA விடுபடுகிறது. இக் கிரியைக்குத் தேவையான நொதி சிட்ரேட் சிந்தடேஸ் (citrate synthotase) என்பதாகும்.

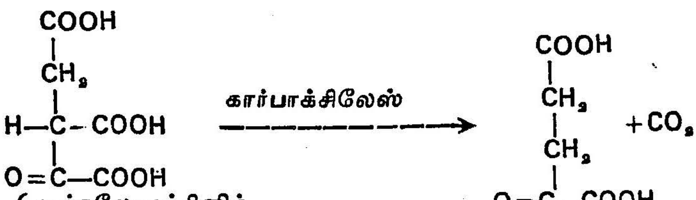



அகோனிடேஸ் (Aconitase) என்னும் நொதியின் ஈடுபாட்டால் சிட்ரிக் அமிலம் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறை இழந்து சிஸ் அகோனிடிக் அமிலமாகவும், சிஸ் அகோனிடிக் அமிலம் ஒரு

தண்ணீர் மூலக்கூறை எடுத்துக்கொண்டு ஐசோசிட்ரிக் அமிலமாகவும் மாற்றமடைகின்றன. இதை அடுத்து, கிரெப் சுழலின் முதல் ஆக்சிகரணம் நடைபெறுகிறது. இதில் ஐசோசிட்ரிக்அமில டிஹைட்ரொஜினேஸ், NADP ஆகியவற்றின் ஈடுபாட்டால் ஐசோசிட்ரிக் அமிலமானது ஆக்சலோசக்சினிக் அமிலமாக மாறுகிறது. பிறகு ஆக்சலொசக்சினிக் அமிலமானது கார்பாக்சிலேஸ் நொதியின் ஈடுபாட்டால் ஒரு கார்பாக்சில் தொகுதியை இழந்து $x$,சீட்டோகுளுடாரிக் அமிலமாக மாறுகிறது. இதில் மாங்கனீஸ் அயனியும் ($Mn^{++}$) ஒரு முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறது.

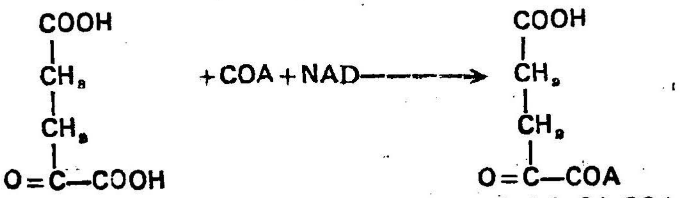


(ஐசோசிட்ரிக் அமிலம்) ஆக்சலோ சக்சினிக் அமிலம்



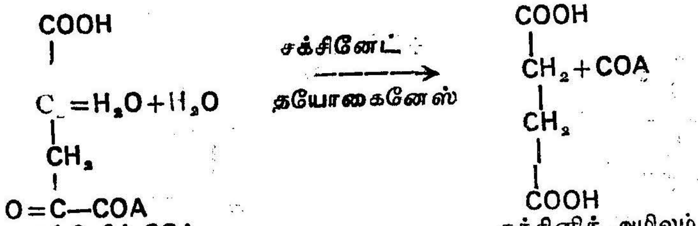
(ஆக்சலோசக்சினிக் அமிலம்) $x$-கீட்டோ குளுடாரிக் அமிலம்

$X$ சீட்டோ குளுடாரிக் அமிலம் ஏறக்குறைய பைருவிக் அமிலத்தைப் போன்றே ஆக்சிகரணமடைகின்றது. COA, டிஹைட் ரொஜினேஸ் நொதி, NAD ஆகியவற்றின் ஈடுபாட்டால் சக்சினில் COA என்ற பொருள் உண்டாகிறது.



($X$கீட்டோகுளுடாரிக் அமிலம்) (சக்சினில் COA)

பிறகு சக்சினில் COA என்பதிலிருந்து COA விடுபடுகிறது. அதே சமயத்தில் குவனேசின் டைஃபாஸ்பேட் (Guanosine diphosphate)என்ற பொருள் அனங்ககஃபாஸ்பேட்டோடு சேர்ந்து குவனேசின் டிரைஃபாஸ்பேட்டாக மாறுகிறது. இக் கிரியைகளை ஊக்குவிக்கும் நொதி சக்சினேட் தயோகைனேஸ் (Succinate thiokinase) என்பதாகும். இந்தக் குவனேசின் டிரைஃபாஸ்பேட்டானது ADPயோடு கிரியையிலீடுபட்டு ATP தோன்றுமாறு செய்யக்கூடியதாகும்.



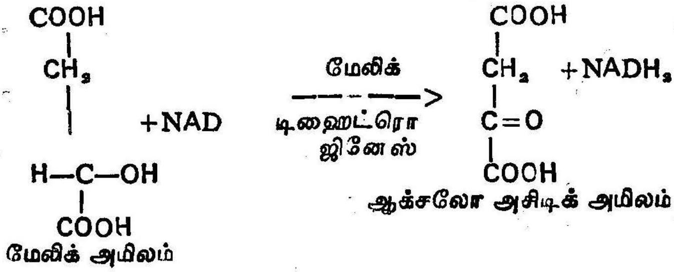

சக்சினில் COA — சக்சினிக் அமிலம்

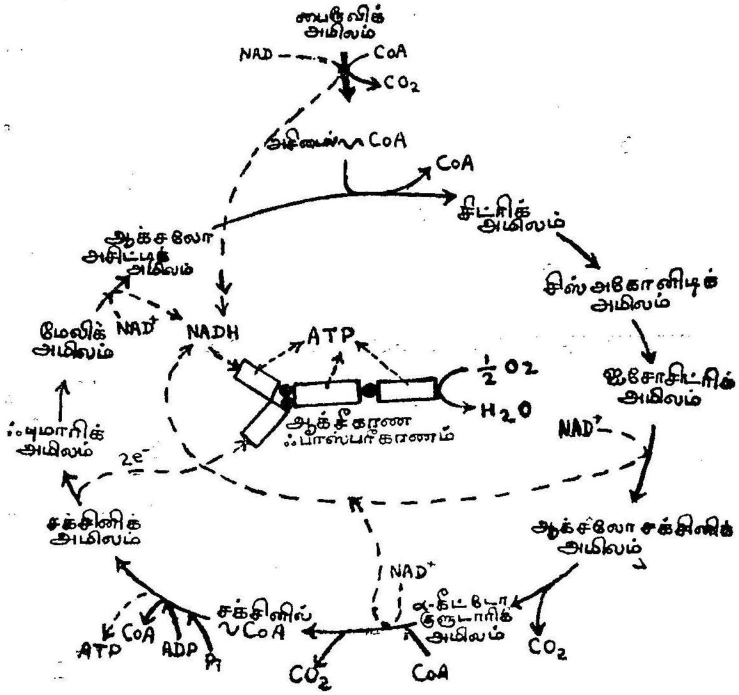
இவ்வாறு χ கீடோகுளுடாரிக் அமிலம் சக்சினிக் அமிலமாக ஆக்சீகரிக்கப்படும்போது மொத்தம் 4 ATP மூலக்கூறுகள் உண்டாக ஏதுவாகிறது. இதில் தண்ணீர் மூலக்கூறு ஒன்றும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது என்பதையும் கவனிக்கவேண்டும்

கிரெப் சுழலின் மூன்றாவது ஆக்சீகரணப் படியில் சக்சினிக் அமிலமானது ஃபுமாரிக் அமிலமாக (Fumaric acid) ஆக்சீகரிக்கப் படுகிறது. இதை ஊக்குவிக்கும் நொதி சக்சினிக் டிஹைட்ரொஜினேஸ் என்பதாகும். கிரெப் சுழலில் இந்தக் கிரியைத் தனித் தன்மையானதாகும். ஏனென்றால் இதில் கூட்டு நொதி I அல்லது II (NAD அல்லது NADP) ஈடுபடுவதில்லை. மாறாக, சக்சினிக் டிஹைட்ரொஜினேஸ் நொதியின் ஃபிளேவின் தொகுதியான ஃபிளேவின் அடினின் டைநியூக்ளியோடைடு (Flavin adenine dinucleotide—FAD) தொகுதி இரண்டு ஹைட்ரஜன் அயனிகளை எடுத்துக்கொள்ளுவதால் சக்சினிக் அமிலத்திலிருந்து இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் நீங்கி நீக்கரிக்கப்படுகிறது.

பிறகு ஃபுமரஸ் என்ற நொதியின் ஈடுபாட்டால் ஃபுமாரிக் அமிலம் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறோடு சேர்ந்து மேலிக் அமிலமாக மாறுகிறது.

கிரெப்சுழலின் நான்காவதும் கடைசியுமான ஆக்சிகரணப்படியில் மேலிக் டிஹைட்ரொஜினேஸ் என்னும் நொதியின் ஈடுபாட்டால் மேலிக் அமிலமானது கிரெப்சுழலை தொடக்கும் அமிலமான ஆக்சலோ அசிடிக் அமிலமாக மாறுகிறது.




படம் 7.5

*சிட்ரிக் அமிலம் அல்லது கிரெப் சுழல் கிரியைகள்*

கிரெப் சுழலின் மொத்தக் கிரியையும் படம் 7.5-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதில் ஈடுபடும் பெரும்பாலான பொருள்கள் பாஸ்பரி

கரணமடைந்த நிலையில்தான் செயல்படுகின்றன என்பதைக் கவனத்தில் கொள்ள வேண்டும்.

பைருவிக் அமிலத்தின் மொத்த ஆக்சிகரணத்தில் ஐந்து ஆக்சிகரணப்படிகள் உள்ளன என்பதை மேற்சொன்னவற்றிலிருந்து அறியலாம். ஒவ்வொரு படியிலும் ஒரு ஜோடி ஹைட்ரஜன் அயனிகளும், ஒரு ஜோடி எலெக்ட்ரான்களும் நீக்கப்படுகின்றன. இவற்றில் நான்கு ஜோடி ஹைட்ரஜன் அயனிகள் பிரிடின் நியூக்ளியோடைடுகளாக NAD, NADP ஆகியவற்றை நீக்கரிக்கின்றன. சக்சினிக் அமில ஆக்சீகரிப்பில் நீக்கப்படும் ஹைட்ரஜன் அயனி ஜோடி மட்டும் சக்சினிக் டிஹைட்ரொஜினேசின் FAD தொகுதியால் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன.

பைருவிக் அமிலத்தின் ஆக்சீகரணப்படிகள் ஐந்திலும் ஐந்து ஆக்சிஜன் அணுக்கள் அல்லது $2\frac{1}{2}$ ஆக்சிஜன் மூலக் கூறுகள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன. ஆறு கிரியைகளில் ஆறு தண்ணீர் மூலக் கூறுகள் தோன்றுகின்றன. ஆனால் நான்கு கிரியைகளில் நான்கு தண்ணீர் மூலக் கூறுகள் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன. ஆகையால் மொத்தத்தில் இரண்டு தண்ணீர் மூலக் கூறுகள் தோன்றுவதாகக் கொள்ளலாம். மூன்று கிரியைகளில் மொத்தம் மூன்று கார்பன்டைஆக்ஸைடு மூலக் கூறுகள் உண்டாகின்றன. எனவே, பைருவிக் அமிலத்தின் மொத்த ஆக்சிகரணத்தைக் கீழ் வரும் சமனத்தால் குறிக்கலாம்.

$$CH_3COOH + 2\frac{1}{2}O_2 \longrightarrow 3CO_2 + 2H_2O + \text{சக்தி}$$

இதனோடு கிளைகாலிசிஸ் கிரியையில் உண்டாகும் ஒரு $NADH_2$ ஆக்சிகரிக்கப்படுவதற்கு எடுத்துக்கொள்ளப்படும் ஓர் ஆக்சிஜன் அணுவை ($\frac{1}{2}$ மூலக்கூறு) இடப்புறமும், இதனல் தோன்றும் ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூறை வலப் புறமும் சேர்த்தால் மொத்தம் மூன்று ஆக்சிஜன் மூலக் கூறுகளும், மூன்று தண்ணீர் மூலக் கூறுகளும் ஆகும். இது கிளிசரால்டிஹைடு போன்ற மூன்று கார்பன் சர்க்கரையின் ஆக்சிகரணமாகும். ஆனல், குளுகோஸ் போன்ற ஆறு கார்பன் சர்க்கரையிலிருந்து மூன்று கார்பன் சர்க்கரை மூலக் கூறுகள் இரண்டு தோன்றுவதால், மொத்தக் கிரியை மேற்சொன்னதைப் போல் இரட்டிப்பாகும். இதன் சமனமே உயிர்ப்பின் மொத்தக் கிரியைக் குறிப்பதாகும்.

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6\ CO_2 + H_2O + \text{சக்தி.}$$

ஆக்சீகரணத்தில் ஈடுபடும் எல்லா ஆறு கார்பன் மூலக் கூறுகளும் முழு ஆக்சீகரணமடைய வேண்டுமென்பதில்லை. சில

இடைப்பட்ட பொருள்கள் வேறுபொருள்களை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படுத்தப்படலாம். சில மீண்டும் கார்போஹைட்ரேட்டு களைத் தோற்றுவிப்பதற்காக ஈடுபடுத்தப்படலாம். இப்படிப்பட்ட மாற்றங்கள் ஆக்சீகரண அனபாலிசம் (oxidative anabolism) என்று சொல்லப்படுகிறது.

## எலெக்ட்ரான் கடப்பு (Electron Transport)

எளிய கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் உயிர்ப்பு மாற்றத்தில் தோன்றும் இடைப் பொருள்களான ஃபாஸ்போகிளிசரால் ஹைடுடி, பைருவிக் அமிலம், ஐசோசிட்ரிக் அமிலம். Xகீடோகுளூ டாரிக் அமிலம், சச்சினிக் ஆமிலம், மேலிக் அமிலம் ஆகியவை ஆக்சீகரிக்கப்படுகின்றன. இவை ஒவ்வொன்றின் ஆக்சீகரணமும் ஒவ்வொன்றிலிருந்தும் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களை நீக்கும் கிரியையேயாகும். இவ்விரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் ஓர் ஆக்சிஜன் அணுவோடு இணைந்து ஒரு தண்ணீர் மூலக்கூருகக்கூடு மெனினும், உடனடியாக அவை அவ்வாறு இணைவதில்லை. மாருக இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் இரு புரோட்டான்களாகவும், இரு எலெக்ட்ரான்களாகவும் அயனீகரணமடைந்த நிலையில் படிப்படியாகப் பல பொருள்களின் வழியாகக் கடத்தப்பட்டுக் கடைசியில் ஆக்சிஜனோடு இணைகின்றன. இவற்றில் புரோட்டான்களின் ஆற்றல் ஆரம்பமுதல் கடைசிவரை மாருமல் ஓர் அளவினதாக இருக்கிறது. ஆனல் எலெக்ட்ரான்களோ ஆரம் பத்தில் அதிக ஆற்றலுடையனவாக இருக்கின்றன. இவ்வாற்றல் அவை ஒரு பொருளிலிருந்து மற்றென்றுக்குக் கடத்தப்படும் போது படிப்படியாகக் குறைந்து கடைசியில் ஆக்சிஜனோடு இணையும் போது அயனித் தன்மையை இழந்து தண்ணீர் மூலக்கூறில் ஒன்றி விடுகின்றன. அவ்வாறு ஒவ்வொரு படியிலும் எலெக்ட்ரான்கள் இழக்கும் ஆற்றலால் ஆற்றல் குறைந்த ADP மூலக் கூறுகள் ஆற்றல் மிக்க ATP மூலக் கூறுகளாக மாற்றப்படுகின்றன.

செல்லுயிர்ப்பில் ஹைட்ரஜனின் எலெக்ட்ரான்கள் எப் பொருள்கள் வழியாகக் கடைசியில் ஆக்சிஜனுக்குக் கடத்தப்படு கின்றன என்பதைப்பற்றிச் சென்ற ஐம்பது ஆண்டுகளாக ஆராய்ச் சிகள் செய்யப்பட்டு வந்துள்ளது. அதன் பயனுக இப்போது எலெக்ட்ரான்களைக் கடத்தும் பொருள்களும், அவற்றின் வரிசைக் கிரமும் ATP எப்படித் தோன்றுகிறது என்பதும் ஏறக்குறைய முழு மையாக அறியப்பட்டுள்ளது. இவ்வரிசைக் கிரமமும், ஒவ்வொன் றிலும் ஏற்படும் எலெக்ட்ரான்களின் நெகடிவ் ஆற்றல் குறைவும் பட்டியல் 7.1-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

## பட்டியல் 7.1

| கடத்தி | புரோட்டீன் | புரோஸ் தெடிக்தொகுதி | கடத்தப் படும் எலெக் ரான் எண் ணிக்கை | எலெக்ட் ரான் ஆற்றல் |
|---|---|---|---|---|
| NAD | இல்லே | — | 2 | —0.31 |
| ஃபிளேவோ புரோட்டீன் | + | ஃபிளேவின் | 2 | —0.05 |
| சக்சினேட் | இல்லே | — | 2 | 0.03 |
| சைடொகுரோம் b | + | ஹெம் | 1 | 0.06 |
| உபிகுனேன் (Ubiquinone) | இல்லே | — | 2 | 0.09 |
| சைடொகுரோம்C1 | + | ஹெம் | 1 | 0.22 |
| சைடொகுரோம் c | + | ,, | 1 | 0.26 |
| சைடொகுரோம் a | + | ,, | 1 | 0.2 |
| ஆக்சிஜன் | இல்லே | — | 4 | 0.79 |

எலெக்ட்ரான் கடத்தல் தொடரும் அதில் ஈடுபடு பொருள் களும் படம் 7.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன. அதில் காட்டப்பட்டுள்ள படி சிட்ரிக் அமிலச் சுழலின் இரு வேதிப் பொருள்களான சிக்சனிக் அமிலமும், NADHம் எலெக்ட்ரான் ஈயும் பொருள்க ளாகும். இவ்விரண்டும் நீக்கரணமடைந்த நிலேயில், ஹைட்ரஜனே அதிகப்படியாகப் பெற்றனவாகையால் அவை தமது ஹைட்ரஜன் மூலக் கூறுகளே, ஆக்சிகரிக்கப்பட்டுள்ள நிலேயிலுள்ள, ஹைட் ரஜன் குறைந்த வேதிப் பொருள்களுக்கு ஈயக்கூடியன. இவ் விரண்டும் எலெக்ட்ரான் கடத்துத்தொடரின் இருவேறு இடங்களில் நுழைகின்றன என்பதையும் மேற்சொன்ன படத்தில் காணலாம்.

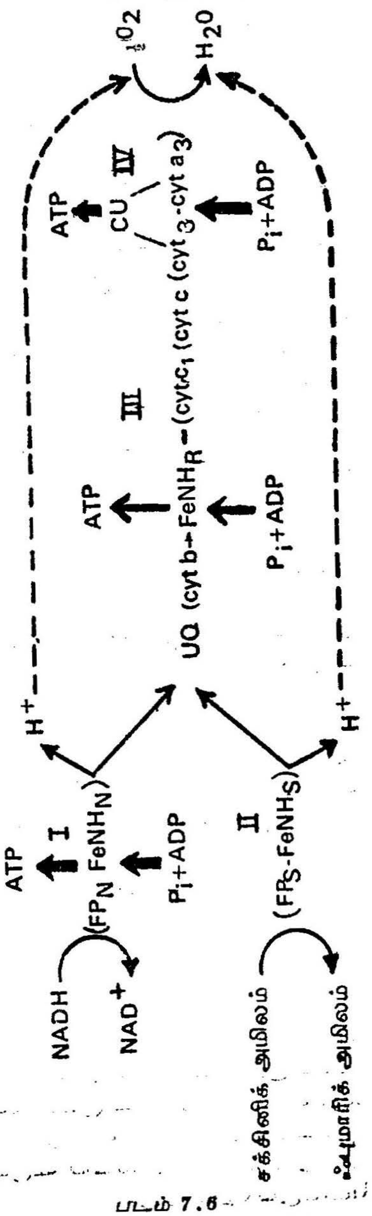
NADH, சக்சினிக் அமிலம் ஆகிய இரண்டிலுமிருந்து எலெக்ட்ரான்களே நகர்த்துவதற்குப் பயன்படும் என்சைம்கள் ஃபிளேவோ புரோட்டீன் டிஹைட்ரொஜினேஸ் வகையின வாகும். இவை முறையே NADH டிஹைட்ரொஜினேஸ், சக்சினிக் டிஹைட்ரொஜினேஸ் என்று அழைக்கப்படுகின்றன. இவற்ருல் ஊக்குவிக்கப்படும் ஹைட்ரஜன் நீக்கத்தால்NADH ஆனது NAD ஆகவும், சக்சினிக் அமிலமானது ஃபியூமாரிக் அமிலமாகவும் மாற்றப்பட்டுச் சிட்ரிக்அமிலச் சுழலிலிருந்து மீண்டும் எலெக்ட் ரான் கடத்துத் தொடருக்குக் கொண்டுவரப் பயன்படுகின்றன.

முன் சொன்னபடி NADH, சக்சினிக் அமிலம் ஆகியவற்றில் இருந்து படிப்படியாக ஆற்றல் குறைந்து முடிவில் ஆக்சிஜனே

எலெக்ட்ரான்கள் அடையும்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் ADPயை ATP ஆக மாற்றப் பயன்படுத்தப் படுகிறது. ஆக்சீகரணத்தினுல் வெளிப்படும் ஆற்றலைக் கொண்டு இந்தப் பாஸ்பரீகரணம் நடைபெறுவதால் இது ஆக்சீகரண பாஸ்பரீகரணம் (oxidative phosphorylation) எனப்படும்.

NADH என்னும் பொருளிலிருந்து இரண்டு எலெக்ட்ரான்கள் ஆக்சிஜனை அடையும் தொடரில் மொத்தம் மூன்று ATP மூலக் கூறுகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. ஆனுல் சக்சினிக் அமிலத்திலிருந்து இரண்டு ATP மூலக் கூறுகள் மட்டுமே உண்டாக்கப் படுகின்றன. ஏனெனில் எலக்ட்ரான் கடத்துத் தொடரில் முதல் ATP மூலக் கூறு தோன்றும் நிலைக்குப் பிறகே தொடரினுள் சக்சினிக் அமில எலெக்ட்ரான்கள் நுழைகின்றன (படம்7-6).

எலெக்ட்ரான் கடத்தும் தொடரைப்பற்றிச் செய்யப்பட்ட பல சோதனைகளிலிருந்து, அது நான்கு தொகுதிகளாக அமைந்துள்ளது என்றும், அத்தொகுதிகளொவ்வொன்றும் மிக நெருக்கமாகப் பிணைந்த வேதிப்பொருள்களின் கூட்டாகுமென்றும்அறியப் பட்டுள்ளது. இந்த நான்கு தொகுதிகளும் முறையே தொகுதி 1, 2, 3,4 என அழைக்கப்படுகின்றன. மற்றும் இத் தொகுதிகளில் அமைந்துள்ள வேதிப் பொருள்கள் தம்மிடத்தைவிட்டு நகராமல் நிலையாக இருப்பவை என்று கருதப்படுகிறது. இதன் முக்கியக் காரணம் அவை யாவும் பெரிய மூலக்கூறுகளைக்




படம் 7.6
மைட்டோகான்றியத்தில் நடைபெறும் எலெக்ட்ரான் கடப்புத்தொடர்

கொண்டனவையாக இருப்பதே. ஆனால் இவற்றுக்கு மாருகச் சிறிய மூலக்கூறுகளைக் கொண்ட நகரும் பகுதிகளும் எலெக்ட்ரான் கடத்தும் தொடரில் இருக்கின்றன. இந்த நகரும் மூலக்கூறு களின் மூலமாகவே எலெக்ட்ரான்கள் கடத்தப்படுகின்றன என்றும், இவற்றின் பாதையை ஒழுங்குப்படுத்தித் தக்க வழியில் செலுத்துவதே நகராத தொகுதிகளின் பணியாகுமென்றும் கருதப் படுகிறது.

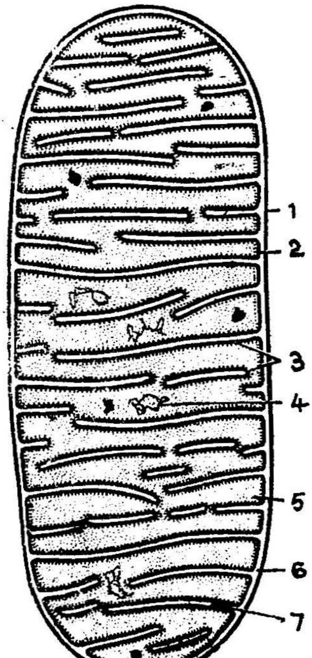
### மைட்டொகான்றியம்

கிளைகாலிசிஸ் கிரியைகள் செல்லின் பொது சைட்டொ பிளாசத்தில் நடைபெறுவதாகச் சொல்லப்பட்டது. ஆனால் கிரெப் சுழல் கிரியைகளும், எலெக்ட்ரான் கடத்துங்கிரியையும் மைட்டொகான்றியங்களில் நடைபெறுவதாகக் கண்டறியப்பட் டுள்ளது. உயிர்ப்பின் மொத்தக் கிரியையில் கிளைகாலிசிசில் வெளிப் படும் ஆற்றலைவிடப் பலமடங்கு ஆற்றல் கிரெப் சுழல், எலெக்ட் ரான் கடத்தல் ஆகியவற்றினின்றும் வெளிப்படுவதால், மைட்டொகான்றியங்களே செல்லுக்குத் தேவையான ஆற்றலைத் தோற்றுவிக்கும் நிலையங்கள் என்று சொல்லப்படுகின்றன. மைட்டொகான்றியங்களில் எப்படி ஆற்றல் வெளிப்பாடு நிகழ் கிறது என்பதைத் தெரிந்துகொள்ள, மைட்டொ கான்றியத்தின் அமைப்பை முதலில் அறிந்துகொள்ள வேண்டியது அவசிய மாகும்.

மைட்டொகான்றியங்கள் முதன்முதலில் 1890ஆம் ஆண்டு ஆல்ட்மேன் (Altman) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. அதன் பிறகு 1897-ல் பெண்டா (Benda) என்பவர் அவற்றிற்கு மைட்டொகான்றியம் என்ற பெயரைச் சூட்டினர்.

வளியுயிர்ப்பு நடைபெறும் செல்களெல்லாவற்றிலும் மைட்டொகான்றியங்கள் உள்ளன. அவை ஒரு செல்லில் ஒன்று முதல் பல்லாயிரக் கணக்கானவை வரை காணப்படலாம். மற்றும் அவை செல்லின் எல்லாப் பகுதிகளிலும் விரவியோ அல்லது குறிப்பிட்ட இடங்களில்மட்டும் அமைநதோ இருக்கலாம். குறிப் பிட்ட இடங்களில் அமைந்திராத மைட்டொகான்றியங்கள் செல்லினுள் பல இடங்களுக்கு நகர்ந்து செல்லுகின்றன என்பதை ஃபேஸ் கான்ட்ராஸ்ட் (phase contrast) மைக்கிராஸ்கோப் மூலம் கண்டறிந்துள்ளார்கள். மற்றும் அவ்வாறு நகரும் மைட்டொ கான்றியங்கள் தம்முடைய உருவத்தைச் சற்று மாற்றக்கூடியன வென்றும் தெரிகிறது.

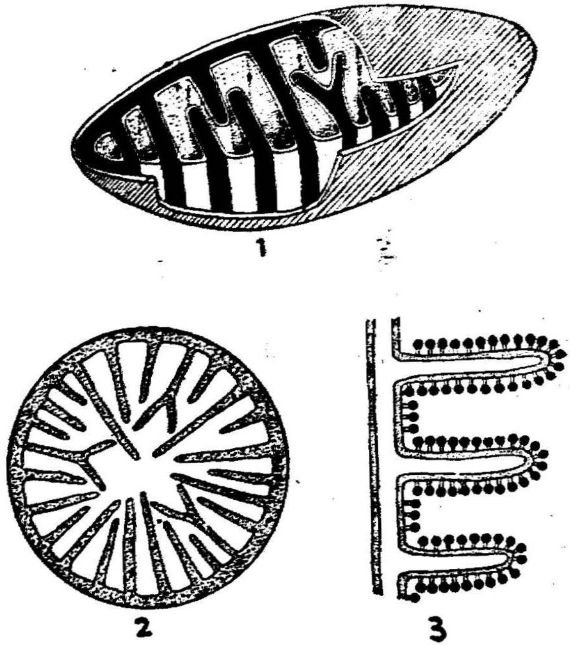
மைட்டொகான்றியங்கள் பொதுவாகக் குழவிக்கல்லைப்போல் நீண்ட உருண்டை வடிவத்தைக் கொண்டனவாகும். அவற்றின் குறுக்களவு 0.5முதல் 1.0μ வரையும் நீளம் சுமார் 400μ வரையும் இருக்கக்கூடும். மைட்டொகான்றியங்களின் உருவமும் பருமனும் வெவ்வேறு உயிர்களில் வெவ்வேருக இருக்கக்கூடுமென்ருலும், அவற்றின் உள்ளமைப்பு ஏறக்குறைய ஒரே மாதிரியாக உள்ளன. மைட்டொகான்றியத்தின் வெட்டுத் தோற்றத்தை எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் பார்க்கும்போது (படம் 7.7) அதன் வெளிப்புறம் ஒரு சவ்வாலமைந்தும், அச் சவ்வின் உட்புறமாக மற்ருெரு சவ்வு உள்ளிருக்கும் மேட்ரிக்சைச் சூழ்ந்திருப்பதும் காணப்படுகிறது. வெளிச் சவ்வு மடிப்புகளில்லாமலும், உட் சவ்வு மேட்ரிக்சினுள் நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் மடிப்புகள் பலவற்றைக் கொண்டும் உள்ளன. உட்சவ்வின் மடிப்புகள் கிரிஸ்டாக்கள் (cristae) எனப்படும். இவற்றில் சில உட்சவ்வோடு சேராமல் மேட்ரிக்சினுள் தனிப்பட்டும் காணப்படலாம். வெளிச் சவ்வுக்கும் உட்சவ்வுக்கும் இடையே வெறுமையாகக் காணப்படும் வெளி, சூழ்வெளி (peripheral space) எனப்படும். கிரிஸ்டாக்களின் இரு சவ்வுகளுக்கிடையிலுள்ள வெறுமையான வெளி, கிரிஸ்டா வெளி (intracristal space) எனப்படும். இவ்விரு வெளிகளும் ஒன்ருேடொன்று தொடர்புகொண்டவையாகும். உட்சவ்வினுள்ளடங்கியிருக்கும் மேட்ரிக்சில் நுண்துகள் போன்ற பொருள்களும், பெரிய படிகங்களும் நார் போன்ற அமைப்புகள் முதலியனவும் காணப்படுகின்றன (படம் 7.8).




படம் 7.7
மைட்டொகான்றியத்தின் வெட்டுத் தோற்றம்.
1. வெளிச்சவ்வு; 2. உட்சவ்வு; 3. கிரிஸ்டாக்கள்; 4. வட்ட DNA; 5. மேட்ரிக்ஸ் வெளி; 6. சுற்றுப்புற வெளி; 7. கிரிஸ்டா வெளி.

மைட்டொகான்றியங்களின் கிரிஸ்டாக்களிலும் உட்புறச் சவ்விலும், மேட்ரிக்சைத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் பரப்பி

லிருந்து உருண்டைவடிவமான துகள்கள் சிறுகாம்பால் சவ்வோடு இணைக்கப்பட்டு மேட்ரிக்சினுள் நீட்டிக்கொண்டுள்ளன. இவை காம்புத்துகள்கள் (stalked particles) எனப்படும் (படம் 7.9). இத் துகள்கள் 90Å குறுக்களவுடையன. ஒன்றுக்கொன்று இடைவெளி சுமார் 100Å ஆகும். சிதறடிக்கப்பட்ட மைட்டொகான்றியச்

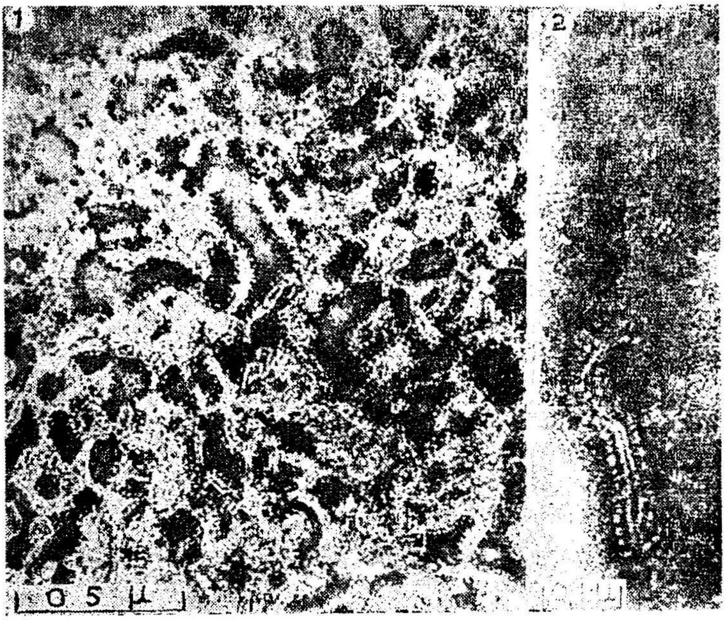



படம் 7.8
மைட்டொகான்றிய அமைப்பு
1. வெட்டு முகப்படம்; 2. குறுக்குவெட்டுத் தோற்றம்;
3. காம்புள்ள துகள்கள்.

சிதறலில் உட்சவ்வையும் வெளிச் சவ்வையும் பிரித்தறிய இந்தக் காம்புத் துகள்கள் வழிசெய்கின்றன. ஏனென்றால் இத் துகள்கள், உட்சவ்வில் மட்டுமே அமைந்துள்ளன; வெளிச்சவ்வில் கிடையாது (படம் 7.10).

மைட்டொகான்றியச் சவ்வுகள் செல் சவ்வைப்போன்ற அமைப்பைக் கொண்டனவேயென்று சிலரால் கருதப்படுகின்றன. ஆனால், மற்றும் சிலர் மைட்டொகான்றியச் சவ்வுகள் தனிப்பட்ட அமைப்பைக் கொண்டனவென்று கருதுகிறார்கள்.

மைட்டொகான்றியத்தின் மேட்ரிக்சில் காணப்படும் நுண் துகள் போன்ற அமைப்புகளில் சில ரைபொசோம்களாகும்.



படம் 7.9

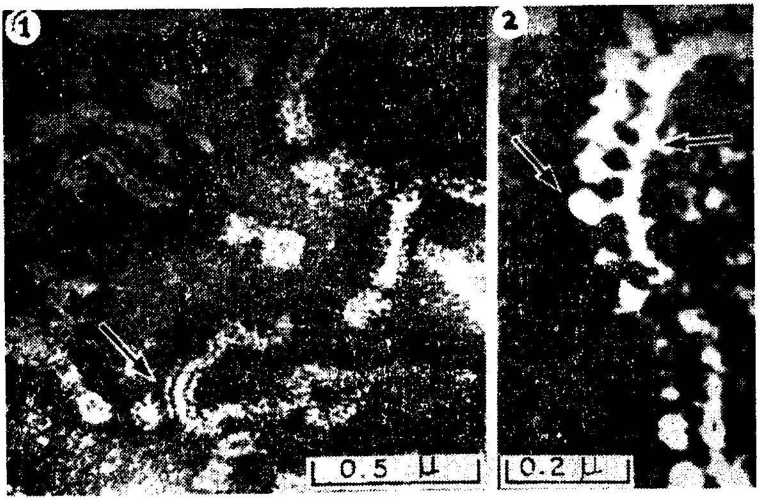
சிதறடிக்கப்பட்ட மைட்டொகான்றியத்தின் உட்சவ்விலிருந்து காம்புள்ள துகள்கள் நீட்டிக்கொண்டிருத்தல்.

1. விலங்கு செல்லிலிருந்து; 2. தாவர செல்லிலிருந்து.

ஆனால், இந்த ரைபொசோம்கள் என்டொபிளாசவலையோடு ஒட்டியிருக்கும் ரைபொசோம்களிலிருந்து வேறுபட்டனவாக இருக்கலாமென்று எண்ணப்படுகிறது. உதாரணமாக, எலியின் ஈரல் செல்களின் மைட்டொகான்றிய ரைபொசோம்கள் 55 S வீழ்படிவுத் தன்மையையும் (sedimentation coefficient) 145Å குறுக்களவையும் கொண்டனவாகும். ஆனால், அச் செல்களின் என்டொபிளாசவலை ரைபொசோம்கள் 78 S வீழ்படிவுத் தன்மையையும் 190Å குறுக்களவும் கொண்டனவாகும்.

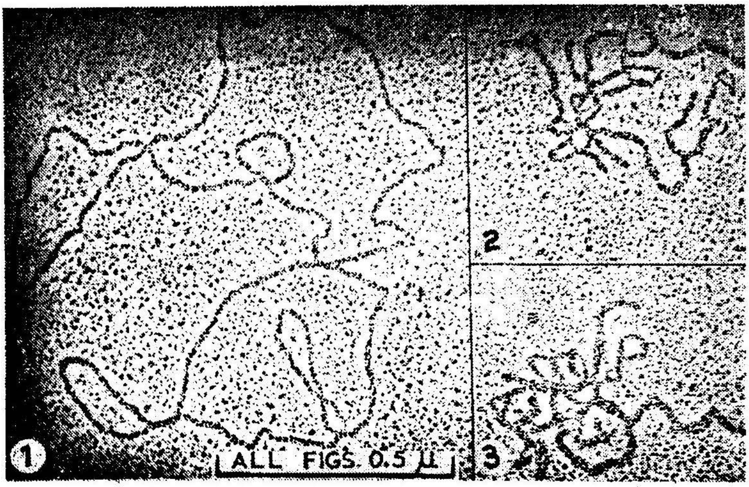
செல்லின் நூக்ளியசில் காணப்படும் முக்கிய மரபுப் பொருளான DNA, மைட்டொகான்றியங்களிலும் இருப்பதாகச் சமீப காலமாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. மற்றும் மைட்டொகான்றிய DNA இரு கூறுடையதென்றும், வட்ட அமைப்பைக்

கொண்டதென்றும் அறியப்பட்டுள்ளது. வட்டத்தின் சுற்றளவு 4.75 முதல் 5.45μ வரை இருக்கலாம் (படம் 7.11).




படம் 7.10

மைட்டொகான்றிய உட்சவ்வில் அமைந்துள்ள காம்புள்ள துகள்கள் அம்புக் குறிகளால் காட்டப்பட்டுள்ளன.




படம் 7.11

மைட்டொகான்றிய DNA உருவங்கள். 1. 5.6μ நீளமுள்ள திறந்த வட்ட உருவம்; 2,3-முறுக்கிய வட்ட உருவங்கள்.

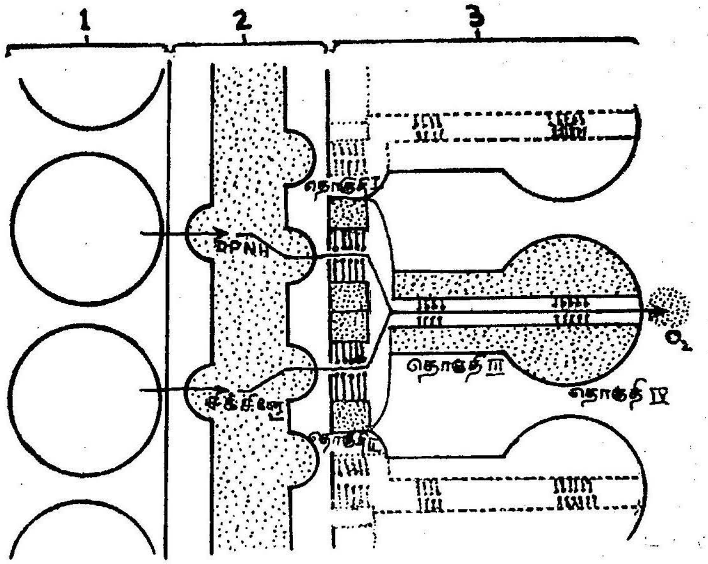
### மைட்டொகான்றியத்தில் உயிர்ப்பு நடைபெறும் இடம்

ஏற்கெனவே சொன்னபடி கிரெப்சுழல் கிரியைகளும் எலெக்ட்ரான் கடத்தும் கிரியையும் மைட்டொகான்றியங்களில் நடைபெறுகின்றன என்று நிருபிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால், மைட்டொகான்றியத்தில் எந்த இடத்தில் இக் கிரியைகள் நடைபெறுகின்றன என்பதைப்பற்றி இன்னமும் தெளிவாக அறிய முடியவில்லை. ஆனால், இதுவரை செய்யப்பட்ட ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, கிரெப் சுழலானது மைட்டொகான்றியத்தின் மேட்ரிக்சிலும், எலெக்ட்ரான் கடப்பு உட்சவ்வின் உட்பரப்பிலும் நடைபெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஏனென்றால், மேட்ரிக்சில் கிரெப் சுழலை ஊக்குவிக்கும் நொதிகள் பலவும் காணப்படுகின்றன. மற்றும் இக் கிரியைகள் சோதனைக் குழலில் நடைபெறும் வேதியக் கிரியைகளைப் போலவே மேட்ரிக்சின் தளத்தில் மூலக் கூறுகளின் நோக்கறு மோதல்களினால் நடைபெறலாமென்று எண்ணப்படுகிறது. ஆனால் எலெக்ட்ரான் கடத்தலில் ஈடுபடும் வேதிப் பொருள்கள் ஒன்றோடொன்று ஒரு குறிப்பிட்ட முறையில் நிரந்தரமான தொடர்பு கொண்டுள்ளன என்றும், இவற்றின் வழியாகச் சில நகரும் மூலக் கூறுகள் நகர்த்தப்படுவதால் எலெக்ட்ரான் கடப்பும், ஃபாஸ்பரீகரணமும் நடைபெறுகின்றன என்றும் கருதப்படுகிறது. எலெக்ட்ரான் கடத்துத் தொடரின் இத்தகைய இணைப்பு உட்சவ்வின் உட்புறத்தில் அமைந்துள்ள காம்புத் துகள்களாகவோ அவற்றின் பகுதியாகவோ இருக்கலாமென்று பலரால் கருதப்படுகிறது. மற்றும் மொத்தம் நான்கு தொகுதிகளாக அமைந்துள்ள எலெக்ட்ரான் கடத்துத் தொடரின் முதல் இரண்டு தொகுதிகளும் நேரடியாக உட்சவ்விலும், மூன்றாவது தொகுதி காம்புத் துகளின் காம்புப் பகுதியிலும், நான்காவது தொகுதி துகளின் உருண்டையான தலைப்பகுதியிலும் இருக்கலாமென்று கருதப்படுகிறது (படம் 7.12).

### எலெக்ட்ரான் கடப்பில் ஆக்சீகரண ஃபாஸ்பரீகரணம்

எலெக்ட்ரான் கடத்தலின்போது ATP உண்டாக்கப்படுகிறது என்ற உண்மை 1939ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. ஆனால், ஆற்றல் வெளிப்படும் செயலான எலெக்ட்ரான் கடப்பும், ஆற்றல் தேவைப்படும் செயலான ATP உற்பத்தியும் ஒன்றோடொன்று எவ்விதத்தில் தொடர்புகொண்டு செயல்படுகின்றன என்பது இன்னும் தெளிவாக விளக்கப்படவில்லை. எனினும், இதைப்பற்றி மூன்று கோட்பாடுகள் உள்ளன.

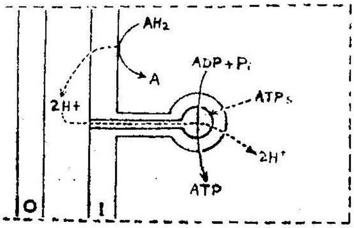
முதலாவது கோட்பாடு வேதி இணைப்புக் கோட்பாடு எனப்படும். இதன்படி எலெக்ட்ரான் கடப்பில் வெளிப்படும் ஆற்றலைக் கொண்டு இன்னும் இனம் காணமுடியாத ஓர் உயர் ஆற்றல் இடைப்பொருள் உண்டாக்கப்படுகிறதென்றும், இந்த இடைப் பொருளின் ஆற்றல் ATPயை உற்பத்தி செய்யப் பயன்படுகிற தென்றும் சொல்லப்பட்டது. ஆனால் இப்படிப்பட்ட இடைப் பொருள்களைக் கண்டுப்பிடிப்பதற்காகச் செய்யப்பட்ட முயற்சி களெதுவும் பலனளிக்கவில்லை. எனவே, உயர் ஆற்றல் இடைப் பொருள்கள் உண்டாகின்றன என்ற கருத்துத் தவறுகுமென்று கருதப்படுகிறது.




படம் 7:12
மைட்டொகான்ரியத்தில் எலெக்ட்ரான் கடப்புப் படம்
1. வெளித்துகள்கள்; 2. மைட்டொகான்ரிய சவ்வுகள்; 3. காம்புள்ள உட்துகள்கள்.

வேதி இணைப்புக் கோட்பாட்டுக்கு ஆதாரமில்லாமல் போன தால் இரண்டாவது கோட்பாடான வேதி ஆஸ்மாசியக் கோட்பாடு (Chemiosmotic hypothesis) தோன்றிற்று. இதன்படி (படம் 7.13) எலெக்ட்ரான் கடத்தலால் வெளிப்படும் ஆற்றலால் ஹைட்ரஜன் அயனிகளும் ($H^+$) ஹைட்ராக்சில் அயனிகளும் ($OH^-$) உண்டாக்கப்பட்டு, ஹைட்ரஜன் அயனிகள் உட்சவ்வுக்கு வெளி

யிலும், ஹைடிராக்சில் அயனிகள் உட்சவ்வுக்குள்ளும் பிரித்து வைக்கப்படுகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. இவ்விரண்டு அயனிகளும் பொதுவாக உட்சவ்வைத் தாண்டிச் செல்ல முடியாது. ஆனால், சில கடத்திகளின் ஆற்றல் கடத்துச்செயலாலோ சவ்வின் சில பிரத்தியேக இடங்களிலோ ஹைட்ரஜன் அயனிகள் அடர்த்தி மிகுந்த வெளிப்புறமிருந்து, அடர்த்தி குறைந்த உட்புறம் பாய்ந்து செல்லக்கூடும். அவ்வாறு பாயும் ஹைட்ரஜன் அயனியின் ஆற்றல் சில நொதிகளின் உதவியால் ADPயோடு ஃபாஸ்பேட்டைச் சேர்த்து ATPயை உற்பத்தி செய்யக்கூடும். ஹைட்ரஜன் அயனிகள் உட்பாய்வதனால் வெளிப்புறம் ஏற்படும் அடர்த்திக் குறைவை எலெக்ட்ரான் கடப்பாலுண்டாக்கப்படும் ஹைட்ரஜன் அயனிகள் நிறைவு செய்கின்றன.




படம் 7.13

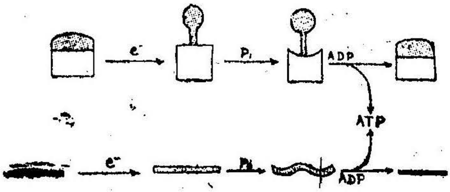
மைட்டொகான்றியத்தில் ஆற்றல் மாற்றம் பற்றிய வேதி ஆஸ்மாசியக் கோட்பாட்டை விளக்கும் படம்.

1. மைட்டொகான்றிய உட்சவ்வு; 2. மைட்டொகான்றிய வெளிச் சவ்வு.

சமீபகாலத்தில் வெளியிடப்பட்ட கோட்பாடு உருவ இணைப்புக் கோட்பாடு (conformation coupling hypothesis) எனப்படும். இதன்படி மைட்டொகான்றியத்தின் உட்சவ்வு எலெக்ட்ரான் கடத்தலின்போது உருமாற்றமடைவதாகக் கருதப்படுகிறது. அதாவது, எலெக்ட்ரான் கடப்பின்போது வெளிப்படும் ஆற்றல் மைட்டொகான்றியத்தின் உட்சவ்வை உருமாறச் செய்கிறது. உட்சவ்வினுடைய புரோட்டீன்கள் ஆற்றலை ஏற்றுத் தமது உருவத்தை மாற்றி உயர் ஆற்றல் நிலையை அடைவதே இதற்குக் காரணமென்று கருதப்படுகிறது. இந்த உயர் ஆற்றல் நிலையில் புரோட்டீன்களின் உருவம் நிலையற்றதாகும். எனவே, அவை எளிதில் தமது ஆற்றலை இழந்து நிலையான உருவத்தைப் பெறக்கூடும். ADPயும் அனங்கக ஃபாஸ்பேட்டும் கிடைக்கும் போது அத்தகைய சூழ்நிலை உருவாகி உட்சவ்வின் உயர் ஆற்றல் அவற்றை இணைத்து ATPயைத் தோற்றுவிக்கப் பயன்பட்டு, மீண்டும் உட்சவ்வு தனது நிலை உருவத்தைப் பெறுகிறது என்று எண்ணப்படுகிறது (படம் 7.14).

**எலெக்ட்ரான் கடப்பும் ஆற்றல் வெளிப்பாடும்**

உயிர்ப்பின் கிரியைகளில் எலெக்ட்ரான் கடத்தலின்போது தான் அதிக ஆற்றல் வெளிப்படுகிறது. இந்த ஆற்றல் ATPயில் சேர்த்து வைக்கப்படுகிறது. ஒரு ADP மோலுடன் ஒரு மோல் ஃபாஸ்பேட்டைச் சேர்த்து ATP உற்பத்தி செய்ய 7000 கலரி ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது. எனவே, எலெக்ட்ரான் கடத்தலின் போது ஒரு தொகுதியிலிருந்து மற்ருெரு தொகுதிக்கு எலெக்ட்ரான்கள் கடக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலோடு ATP உற்பத்தி எவ்வாறு சம்மந்தப்படுகிறது என்பதைக் கணக்கிடலாம். கீழ்க்காணும் பட்டியலில் ஒரு தொகுதியிலிருந்து மற்ருெரு தொகுதிக்கு எலெக்ட்ரான்கள் கடக்கும்போது வெளிப்படும் ஆற்றலினளவு குறிக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 7.14
மைட்டொகான்றியத்தில் ஆற்றல் மாற்றம்பற்றிய உருவ இணைப்புக் கோட்பாட்டை விளக்கும் படம்.
Pi—அனங்கக ஃபாஸ்பேட்

**பட்டியல்**

| தொகுதி | | கடத்து பொருள்கள் | | ஆற்றல் கலரிகள் |
|---|---|---|---|---|
| I | ——— | NADH | ——→UQ | — 19,600 |
| II | ——— | சக்சினிக் | ——→UQ | — 4,600 |
| II + III | ——— | சக்சினிக் | ——→சைட்C | — 11,700 |
| III | ——— | UQ | ——→சைட்C | — 6,950 |
| IV | ——— | சைட்C | ——→$O_2$ | — 25,500 |
| I+III+IV | ——— | NADH | ——→$O_2$ | — 52,050 |

மேற்கண்டபட்டியலிலிருந்து தெரிவதுயாதெனில் தொகுதி II-ல் ATP உற்பத்திக்குத் தேவையான ஆற்றல் வெளிப்படுவதில்லை என்பதாகும். எனவே, மற்ற மூன்று தொகுதிகளாலும் மூன்று ATP உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. தொகுதி III-ல் ATP உற்பத்திக்குத் தேவையான 7,000 கலரியைவிடச் சற்றுக் குறைவான ஆற்றல் வெளிப்பட்டாலும் எப்படியோ அங்கு ஒரு ATP உற்பத்தி செய்யப்

படுகிறது. தொகுதி I—ல் இரண்டு ATP உற்பத்திக்குத் தேவையான ஆற்றலைவிட அதிக ஆற்றல் வெளிப்பட்டாலும் அங்கும் ஒரு ATP மட்டுமே உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. அதேபோல் தொகுதி IV—ல் இருந்தும் அதிகப்படியான ஆற்றல் வெளிப்பட்டாலும் அங்கும் ஒரே ஒரு ATP மட்டுமே உற்பத்திச் செய்யப்படுகிறது. எனவே, மொத்தத்தில் வெளிப்படும் 52050 கலரி ஆற்றலில் $3 \times 7000 = 21000$ கலரி ஆற்றல் மட்டுமே ATPயில் சேமிக்கப்படுகிறது. மீதி ஆற்றலில் ஒரு பகுதி மற்றும் சில வேதிக் கிரியைகளுக்குப் பயன்படக் கூடுமென்றும், ஒரு பகுதி வெப்பமாக வீணுகக்கூடுமென்றும் கருதப்படுகிறது.

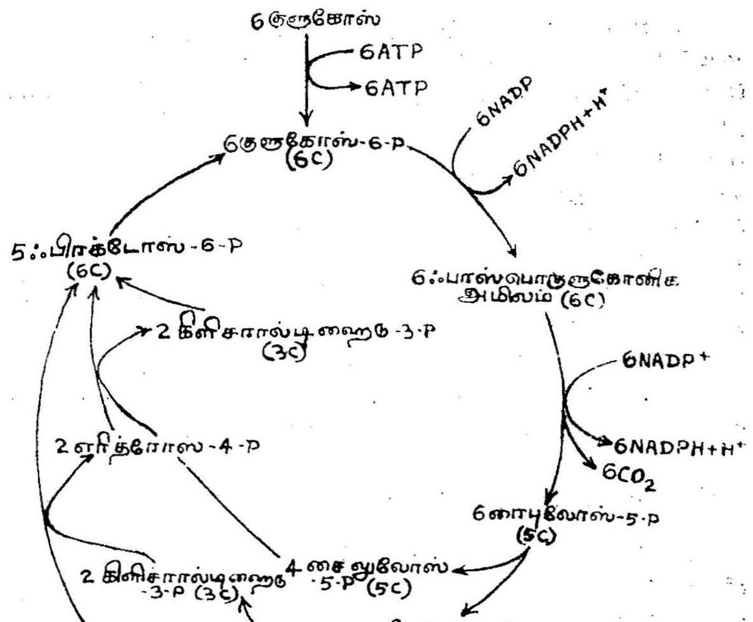
கிரெப்சுழல், எலெக்ட்ரானைக் கடத்துதல் ஆகிய இரண்டும் மைட்டொகான்றியங்களின் முக்கியப் பணிகளாயினும், அவை வேறு பணிகளையும் செய்கின்றன. முக்கியமாக அவற்றில் DNA இருக்கிறபடியால் அவற்றில் புரோட்டீன் தயாரிப்பும் நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது. எனவே, மைட்டொகான்றியங்கள் தாமாகவே நூக்ளியசின் ஈடுபாடின்றித் தம்மிச்சையாகச் செயல்படக் கூடுமென்று தெரிகிறது. ஆயினும், மைட்டொகான்றியங்கள் நூக்ளியசின் கட்டுப்பாட்டிலிருந்து முற்றிலும் விடுபட்ட செல்லுறுப்புகள் என்று சொல்வதற்கில்லை. இப்போது, மைட்டொகான்றிய DNAவானது மைட்டொகான்றியத்தின் அமைப்பை உருவாக்கும் பொருள்களை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படலாமென்றும், அதனுள்ளடங்கிய நொதிகளின் உற்பத்தி நூக்ளியசின் DNAவால் கட்டுப்படுத்தப்படலாமென்றும் கருதப்படுகிறது.

### உயிர்ப்பின் மொத்த ஆற்றல் கணக்கீடு

உயிர்ப்பின் மொத்தக் கிரியையையும் பார்க்கும்போது கிளைகாலிசிசில் 2 ATPகளும், கிரெப் சுழல், எலெக்ட்ரான் கடத்தல் ஆகியவற்றில் 36 ATPகளும் ஆக மொத்தம் 38 ATP உற்பத்தியாகின்றன. இதற்குத் தேவையான ஆற்றல் $38 \times 7000$கலரிகளாகும். ஒருமோல் குளுகோஸ் கார்பன்டை ஆக்சைடாகவும் தண்ணீராகவும் முழு ஆக்சீகரணமடையும்போது வெளிப்படும் மொத்த ஆற்றல் 686000 கலரிகளாகும். எனவே, இதில் ATPயில் சேமிக்கப்படும் ஆற்றல் சுமார் 39 சதவீதமேயாகும். ஆயினும், பொதுவான ஆற்றல் பரிமாற்றத் தன்மையின் கண்ணோட்டத்தில் பார்க்கும்போது இது மிக உயர்விகிதமாகும். எனவே, ஆற்றல் பரிமாற்றத்தைப் பொருத்தவரை செல்கள் மிகத் திறம்படச் செயல்புரியும் பொறிகளெனலாம்

**உயிர்ப்பின் மாற்றுப் பாதைகள்**

மேலே விவரிக்கப்பட்ட கிளைகாலிசிஸ்–கிரெப்சுழல் உயிர்ப்புக் கிரியை பெருவாரியான உயிர்களில் நடைபெறுகின்றன என்றாலும் பல உயிர்களில் வேறு மாற்றுப் பாதைகளிலும் உயிர்ப்பு நடைபெறக்கூடுமென்று தெரியவந்துள்ளது. அப்படிப்பட்ட ஒரு பாதை பென்டோஸ் ஃபாஸ்பேட் வழி (Pentose phosphate pathway) எனப்படும். இதில் ஐந்து கார்பன் சர்க்கரைகள் பலவும், ஏழு கார்பன் சர்க்கரை ஒன்றும், நான்கு கார்பன் சர்க்கரை ஒன்றும் ஈடுபடுகின்றன. இந்தப் பாதையில் நிகழும் கிரியைகளின் சுழல் படம் 7.15-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம் 7.15
பென்டோஸ் ஃபாஸ்பேட் உயிர்ப்பு வழி

இச் சுழலில் தொடக்கத்தில் ஈடுபடும் ஆறு குளுகோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளில் ஒரு மூலக்கூறு மட்டுமே கார்பன்டை ஆக்சைடாக ஆக்சீகரணமடைகிறது. ஐந்து மூலக்கூறுகள் திரும்பவும் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. ஒரு மூலக்கூறின் ஆக்சீகரணத்தில் 12 $NADPH_2$ மூலக்கூறுகள் உண்டாக்கப்

படுகின்றன. இப் பன்னிரண்டையும் சைட்டொகுரோம் எலெக்ட்ரான் கடத்துத் தொடர் மூலம் NADPயாக ஆக்சீகரித்தால் மொத்தம் 36 ATP மூலக்கூறுகள் உற்பத்தியாகும். எனவே, இந்த வழியும் ஏறக்குறைய முன்சொன்ன கிளைகாலிசிஸ்-கிரெப்சுழல் வழியைப்போன்ற ஆற்றல் பரிமாற்றத் திறனுடையதாகும். மற்றும் இதில் உற்பத்தியாகும் ஐந்து கார்பன் இடைப்பொருள்கள் நூக்ளிக் அமிலங்களை உண்டாக்குவதற்குப் பயன்படுகின்றன.

அனேக பாக்டீரியங்களில் மேற்சொன்ன இரண்டு வழிகளிலிருந்தும் மாறுபட்ட மூன்ருவது பாதையில் உயிர்ப்பு நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது. இதைக் கண்டுபிடித்த என்டெர் (Enter), டௌடொராஃப் (Doudoroff) என்ற இரு விஞ்ஞானிகளின் பெயரால் இது என்டெர்-டௌடொராஃப் பாதை என்று அழைக்கப்படுகிறது. இதன் படிகள் கீழ்வருமாறு:

குளுகோஸ் 6-ஃபாஸ்பேட் + NADP ———→ 6-ஃபாஸ்போ குளுகொனோ ஆக்டோன் + $NADPH_2$

6-ஃபாஸ்போகுளுகொனோ ஆக்டோன் ———→ 2-கீட்டோ-3-டிஆக்சி ஃபாஸ்போ குளுகோனிக் அமிலம்

2-கீட்டோ-3-டிஆக்சி ஃபாஸ்போ குளுகோனிக் அமிலம் ———→ பைருவிக் அமிலம் + கிளிசரால்டிஹைடு-3-ஃபாஸ்பேட்

கிளிசரால்டிஹைடு-3-ஃபாஸ்பேட் (EMP பாதையில்) ———→ பைருவிக் அமிலம்.

மேற்சொன்ன படிகள் படவடிவில் படம் 7.16-ல் காட்டப்பட்டுள்ளன.

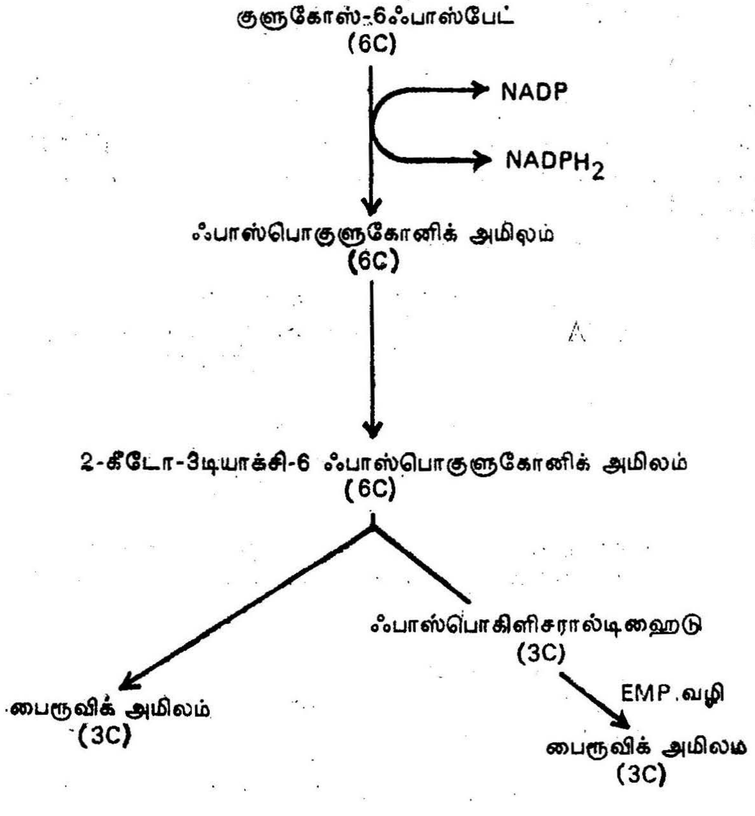
## கொழுப்பு ஆக்சீகரணம்

கொழுப்புகள் முதலில் கிளிசராலாகவும், கொழுப்பமிலங்களாகவும் (fatty acids) நீற்றுடைவுறுகின்றன. இது மூன்று படிகளில் நடைபெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

ட்ரைகிளிசரைடு + $H_2O$ ———→ டைகிளிசரைடு + கொழுப்பமிலம்

டைகிளிசரைடு + $H_2O$ ——→ மானோகிளிசரைடு + கொழுப்பமிலம்

மானோகிளிசரைடு + $H_2O$ ——→ கிளிசரால் + கொழுப்பமிலம்




படம் 7.16
என்டெர்-டௌடொராஃப் உயிர்ப்பு வழி

**கிளிசராலின் மாற்றங்கள்**

கிளிசராலானது ஆக்சீகரணமடைவதற்கு முன்பு பாஸ்பரீகரணமடைவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஆக்சீகரணத்தின்போது கிளிசராலிலிருந்து ஹைட்ரஜன் நீக்கப்பட்டு டைஹைட்ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட்டாகவும் பிறகு ஃபாஸ்போ கிளிசரால்

டிஹைடாகவும் மாறுகிறது, ஃபாஸ்போ கிளிசரால்டிஹைடு கிளைகாலிசிஸ் கிரியைகளில் ஈடுபடுகிறது.

1. கிளிசரால் + ATP ——→ $x$ கிளிசரால் ஃபாஸ்பேட் + ADP

2. $x$ கிளிசரால் ஃபாஸ்பேட் ——→ (சைடொகுரோம்) டைஹைட்ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட் + சைட்டொ $H_2$

3. டைஹைட்ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட் ——→ (ஐசொமெரேஸ்) ஃபாஸ்போகிளிசரால் டிஹைடு

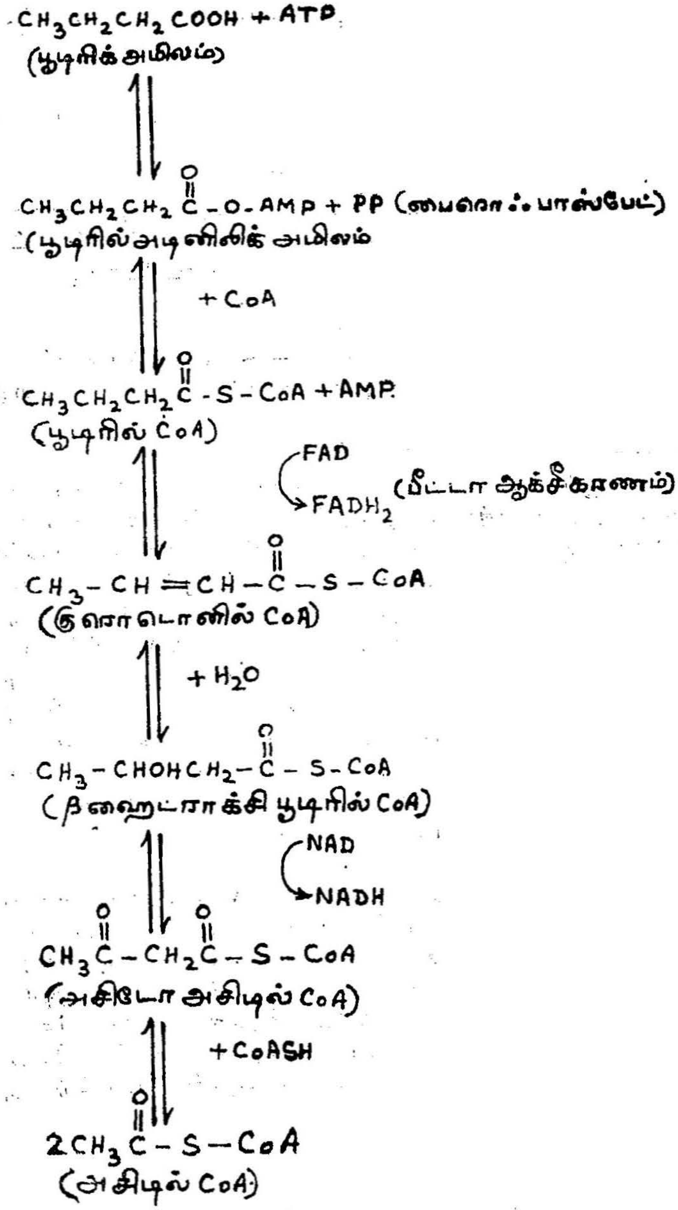
## கொழுப்பமிலங்களின் ஆக்சீகரணம்

கொழுப்பமிலங்கள் இரண்டு வழிகளில் ஆக்சீகரணமடைவதாகக் கருதப்படுகிறது. இவற்றில் $\alpha$ ஆக்சீகரணமெனப்படுவது 1952ஆம் ஆண்டு அறியப்பட்டது. இதில் சிக்கலான பல கிரியைகளினுல் கிளைகாலிக் அமிலமானது ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடாக ஆக்சீகரணமடைகிறது. இந்த $\alpha$ ஆக்சீகரணம் 14 அல்லது 18 கார்பன் அணுக்களைக் கொண்ட கொழுப்பமிலங்களில் மட்டும் நடைபெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது. மற்றும் இதன் மூலம் இரட்டைப்படையான கார்பன் அணுக்களைக் கொண்ட கொழுப்பு அமிலங்கள் ஒற்றைப்படை கார்பன் அணுக்களைக் கொண்டவையாக மாற்றப்படலாம். பிறகு, இந்த ஒற்றைப்படைக் கார்பன் அணுக்களைக் கொண்டவை $\beta$ ஆக்சீகரணக் கிரியையால் முழு ஆக்சிகரணமடையலாமென்று தெரிகிறது.

$\beta$ ஆக்சீகரணமென்பது கூட்டுநொதி A, ATP ஆகியவை பங்கு கொண்டு நடைபெறும் மிகச்சிக்கலான கிரியைத் தொடராகும் (படம் 7.17). முதலில் கொழுப்பமிலங்கள் கூட்டு நொதி Aயுடன் சேருவதால் ஊக்குவிக்கப்பட்டுப் பிறகு $\beta$ ஆக்சீகரணமடைகின்றன. இதில் கொழுப்பமிலத்திலிருந்து கார்பன் பகுதிகள் அசிடைல் கூட்டுநொதி A ஆகப் படிப்படியாக நீக்கப்படுகின்றன. நீக்கப்படும் இப் பகுதிகள் கிரெப் சுழலில் ஈடுபட்டு முழு ஆக்சீகரணமடைகின்றன.

## புரோட்டீன் ஆக்சீகரணம்

புரோட்டீன்கள் அமினோ அமிலங்களாக நீர்றுடைவுறுகின்றன. அமினோ அமிலங்கள் பலவற்றிலும் குளுடாமிக் அமிலம்




படம் 7:17

கொழுப்பமிலங்களின் ஆக்சிகரணம்

மட்டுமே, குளுடாமிக் அமில டிஹைட்ரொஜினேஸ் எனப்படும் NADயின் முன் நிலையில் α கீடோ குளுடாரிக் அமிலமாகவும், அமோனியாவாகவும் ஆக்சீகரணமடைவதாகக் கருதப்படுகிறது. α கீடோகுளுடாரிக் அமிலமானது கிரெப் சுழலில் நுழைந்து முழு ஆக்சீகரணமடைகின்றது. மற்ற அமினோ அமிலங்கள் ஆக்சீகரணமடையாமல் நேரடியாகச் செல் புரோட்டீன்களை உற்பத்திச் செய்வதில் ஈடுபடுவன எனக் கருதப்படுகிறது.

## உயிர்ப்பு நொதிகள்

### 1. பாஸ்பேட் மாற்று நொதிகள் ஆக்சீகரணத்திலீடுபடாதவை (Transphosphorylases)

இந் நொதிகள் உயிர்ப்பின் ஆக்சீகரண நீக்கரணக் கிரியைகளில் நேரடியாக ஈடுபடுவதில்லையென்றாலும் கிளைகாலிசிஸ் கிரியையின் மாற்றங்களில் இவை ஒரு முக்கியப் பங்கு வகிக்கின்றன. ஃபாஸ்பேட் தொகுதியை ஒரு மூலக்கூறிலிருந்து மற்றொரு மூலக்கூறுக்கோ ஒரே மூலக்கூறில் ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்துக்கோ மாற்றுவதை இவை ஊக்குவிக்கின்றன. இவை செயல்படுவதற்கு மெக்னீசிய அயனிகள் அவசியமென்றும் தெரிகிறது. இத் தொகுதியைச் சேர்ந்த சில நொதிகளும், அவை ஊக்குவிக்கும் கிரியைகளும் கீழ்க்காணும் பட்டியலில் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன:

| நொதி | தளப் பொருள் | தோன்று பொருள் |
|---|---|---|
| ஹெக்ஸோ கைனேஸ் | குளுகோஸ் அல்லது ஃபிரக்டோஸ் + ATP | குளுகோஸ் அல்லது ஃபிரக்டோஸ்-6 ஃபாஸ்பேட் + ADP |
| ஃபாஸ்பாரிலேஸ் | ஸ்டார்ச் + ஃபாஸ்பேட் | குளுகோஸ் — 1 ஃபாஸ்பேட் |
| ஃபாஸ்போ குளுகோமூடேஸ் | குளுகோஸ்-1 ஃபாஸ்பேட் | குளுகோஸ் 6-ஃபாஸ்பேட் |
| ஃபாஸ்போஹெக்சேஸ்ஐசோமெரேஸ் | குளுகோஸ்-6 ஃபாஸ்பேட் | ஃபிரக்டோஸ்1, 6 டைஃபாஸ்பேட் |
| ஃபாஸ்போஃபிரக்டோகைனேஸ் | ஃபிரக்டோஸ் 6 ஃபாஸ்பேட் + ATP | ஃபிரக்டோஸ் 1, 6 டை ஃபாஸ்பேட் + ADP |

| | | |
|---|---|---|
| ஃபாஸ்போ கிளிசரிக் கைனேஸ் | 1,3,டைஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமிலம் + ADP | 3-ஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமிலம் + ATP |
| ஃபாஸ்போ கிளிசரோமூடேஸ் | 3, ஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமிலம் | 2, ஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமிலம் |
| ஃபாஸ்போபைரு வேட் கைனேஸ் | 2,ஃபாஸ்போபைரு விக்அமிலம் + ADP | பைருவிக் அமிலம் + ATP |

**2. டெஸ்மொலேஸ்கள்** (Desmolases)

கார்பன் சங்கிலித் தொடரின் நீளத்தை அதிகரிக்கும் அல்லது குறைக்கும் கிரியைகளை இந் நொதிகள் ஊக்குவிக்கின்றன. இவற்றில் நன்முக அறியப்பட்டுள்ளது அல்டொலேஸ் (aldolase) எனப்படும் நொதியாகும். இது ஃபிரக்டோஸ் 1,6-டைஃபாஸ் பேட்டை 3-ஃபாஸ்போ கிளிசரால்டிஹைடாகவும், டைஹைட் ராக்சி அசிடோன் ஃபாஸ்பேட்டாகவும் பிளக்க உதவுகிறது.

**3. கார்பாக்சிலேஸ்கள்** (Carboxylases)

ஒரு வேதிக் கூட்டுப் பொருளிலிருந்து கார்பன்டை ஆக் சைடை நீக்கும் கிரியையை இவை ஊக்குவிக்கின்றன. எடுத்துக் காட்டாக ஆக்சலோ சக்சினிக் அமிலத்திலிருந்து கார்பன்டை ஆக்சைடு நீக்கப்படுவது இத்தகைய நொதியின் ஈடுபாட்டினுல் ஆகும்.

**4. ஹைட்ரேஸ்கள்** (Hydrases)

இவை ஒரு பொருளின் மூலக்கூறுகளைப் பிளக்காமலே அவற்றி லிருந்து தண்ணீர் மூலக்கூறுகளை நீக்கும் அல்லது சேர்க்கும் கிரியைகளை ஊக்குவிப்பனவாகும். எடுத்துக்காட்டாக, எனொலேஸ் (enolase) என்னும் நொதி 2-ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலத்தி லிருந்து தண்ணீர் மூலக்கூறை நீக்கி 2-ஃபாஸ்போபைருவிக் அமிலம் உண்டாக்கப்படும் கிரியையை ஊக்குவிக்கிறது. அகோனி டேஸ் (aconitase), ஃபூமரேஸ் (fumarase) முதலிய நொதிகளும் இவ்வகையைச் சேர்ந்தனவாகும்.

## ஆக்சீகரண நொதிகள்

**5. டிஹைட்ரொஜினேஸ்கள்** (Dehydrogenases)

உயிர்ப்பின் ஆக்சீகரணக் கிரியைகளில் தளப்பொருளிலிருந்து ஹைட்ரஜன் அணுக்களும் எலெக்ட்ரான்களும் நீக்கப்படுவதால் தளப்பொருள் ஆக்சீகரிக்சப்படுகிறது. நீக்கப்படும் ஹைட்ரஜன்

அணுக்களும், எலெக்ட்ரான்களும் வேறு சில பொருட்களால் ஏற்றுக்கொள்ளப்படுவதால் அப் பொருள்கள் நீக்கரணமடைகின்றன. இக் கிரியைகளை ஊக்குவிப்பவை டிஹைட்ரொஜினேஸ்களாகும். பொதுவாக, ஹைட்ரஜனை ஏற்பவை, கூட்டுநொதிகளான NAD அல்லது NADH என்பவையாகும். இவை பிறகு ஹைட்ரஜனை, ஃபிளேவோ புரோட்டீன்களின் FAD தொகுதிக்கு மாற்றுவதால் இப்பிந்தயன நீக்கரிக்கப்படுகின்றது.

6. ஃபிளேவோ புரோட்டீன்கள் (Flovo proteins)

இவை வஹைட்ரஜன் அணுக்கள், எலெக்ட்ரான்கள் ஆகியவற்றின் மாற்றங்களில் பங்குபெறும் முக்கிய நொதிகளாகும். இயற்கையாக இவை ஹைட்ரஜன் ஏற்பவையாகும். மாறி மாறி ஆக்சீகரணமும் நீக்கரணமுமடைகின்றன. இவற்றின் புரோஸ்தெடிக் தொகுதிகளான ஃபிளேவின்மோனோ நூக்ளியொடைடு (FMN) அல்லது ஃபிளேவின் அடினின் டைநூக்ளியொடைடு (FAD) ஆகியவையே ஆக்சீகரணத்திலீடுபடுபவையாகும். மஞ்சள் நிற ரைபொஃபிளேவின் இப் புரொஸ்தெடிக் தொகுதியிலடங்கியுள்ளது.

7. சைடொகுரோம்கள் (Cytochromes)

ஃபிளேவோ புரோட்டீன்களுக்கும் ஆக்சிஜனுக்கும் பாலமாக அமைபவை சைடொகுரோம்களாகுமென்று கைலின் (Keilin) என்பவர் 1925ஆம் ஆண்டு கண்டுபிடித்தார். அவர் கண்டுபிடித்த மூன்று சைட்டொகுரோம்கள் முறையே சைட்டோகுரோம் a,b,c என்று பெயரிடப்பட்டன. இவை எல்லாம் புரோட்டீனோடு இணைந்த இரும்பு-போர்ஃபரின்களாகும் (ஹெம்புரோட்டீன்கள்) இவற்றில் இரும்பு ஆக்சீகரிக்கப்பட்ட நிலையில் ஃபெர்ரிக் (Ferric—$Fe^{+++}$)ஆகவும் நீக்கரிக்கப்பட்ட நிலையில் ஃபெர்ரஸ் ($Fe^{++}$) ஆகவும், இருக்கிறது. ஹைட்ரஜன் அணுக்களையும், எலெக்ட்ரான்களையும் ஃபிளேவோபுரோட்டீன்களிலிருந்து சைடொகுரோம் ஆக்சிடேசுக்கு மாற்றுவதற்குச் சைடொகுரோம்களே பாலமாகப் பயன்படுகின்றன.

8. கடை ஆக்சீகரணிகள் (Terminal oxidases)

a. சைடொகுரோம் ஆக்சீகரணி (Cytochrome oxidese) இது நேரடியாக ஆக்சிஜனோடு கிரியையிலீடுபடுகிறது. ஆகவே, இதுவே எலெக்ட்ரான்களையும், ஹைட்ரஜன் அயனிகளையும் முடிவாக ஆக்சிஜனுக்கு அளித்துத் தண்ணீர் மூலக் கூறுகளை உண்டாக்கப் பயன்படுவதாகும்.

**b. பாலிஃபினுல் ஆக்சீகரணி (Polyphenol oxidase)**

காப்பரைக் கொண்ட என் சைம்களில் (copper containing enzymes) ஃபினுல் ஆக்சிடேஸ்கள் மிக முக்கியமானவையளாகும் இவை ஃபினுல்களை அவற்றிற்கு நேரான குய்னேன்களாக ஆக்சீகரிப்பதிலீடுபடுகின்றன. குய்னேன்கள் செல்லின் இதர பொருட்களோடு கிரியையிலீடுபடுவதால், தாவரங்களைக் காயப்படுத்தும் போது காணப்படும் பழுப்புநிறப் பொருள்களைத் தோற்றுவிக்கின்றன.

**c. அஸ்கார்பிக் அமில ஆக்சீகரணி (Ascorbic acid oxidase)**

இதுவும் காப்பரை உடைய ஒரு நொதியாகும். அஸ்கார்பிக் அமிலமானது டிஹைட்ரொ அஸ்கார்பிக் அமிலமாக ஆக்சீகரிக்கப் படுவதை இஃது ஊக்குவிக்கிறது.

**d, கிளைகாலிக் அமில ஆக்சீகரணி(Glycolic acid oxidase)**

தனது தளப்பொருள் நேரடியாக ஆக்சிஜன் மூலக்கூறினுல் ஆக்சீகரிக்கப்படுவதை இந் நொதி ஊக்குவிக்கிறது. இது கிளைகொலேட்டை (glycolate) கிளை ஆக்ஸ்லேட்டாக (glyoxlate) ஆக்சீகரிக்கிறது.

**9. பெராக்சீகரணிகளும் கேட்டலேசும் (Peroxidases and catalase**

பெராக்சிடேஸ்கள் உயர் தாவரங்களில் பெருவாரியாகக் காணப்படுபவையாகும். ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடு உள்ள போது ஃபினுல்கள், அமின்கள் முதலிய பல பொருள்களை இவை ஆக்சீகரிக்கின்றன. ஹைட்ரஜன் அயனிகளையும் எலெக்ட்ரான்களையும் பெறும் $H_2O_2$வானது தண்ணீராக மாறுகிறது.

$$AH_2 + H_2O_2 \xrightarrow{\text{பெராக்சிடேஸ்}} 2H_2O + A$$

ஹைட்ரஜனை ஹைட்ரஜன்பெராக்சைடு ஏற்றுக்கொள்ளுகிறது என்பதைத் தவிர மற்றபடி இதன் செயல் ஆக்சிடேஸ் என்சைம்களைப் போன்றதேயாகும்.

கேட்டலேஸ் என்பது ஹைட்ரஜன்பெராக்சைடைத் தண்ணீராகவும், ஆக்சிஜனுகவும் பிரிக்கிறது.

$$2H_2O_2 \xrightarrow{\text{கேட்டலேஸ்}} 2H_2O + O_2$$

இதில் ஆக்சிஜனானது மூலக்கூறு நிலையில் வெளிவிடப்படுவநால் இந்த நொதியை ஆக்சீகரிக்கும் நொதி என்று சொல்லுவதற்கில்லை. செல் மெட்டபாலிசத்தில் உற்பத்தியாகக்கூடிய ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடை அழிப்பதே இதன் பணியாகலாமெனக் கருதப்படுகிறது.

# 8. செல்லியக்கத்தின் ஆற்றல் ஒளிச்சேர்க்கை

உலகில் வாழ்கின்ற உயிர்களின் வாழ்க்கை சூரிய ஒளியினால் நடைபெறுவதேயாகும். ஏனென்றால், சூரிய ஒளி இல்லையென்றால் ஒளிச் சேர்க்கை நடைபெறாது. ஒளிச் சேர்க்கை இல்லையென்றால் உயிர்ப்புக்குத் தேவையான ஆக்சிஜன் இல்லாமல் உயிர்கள் இறந்துவிடும். மற்றும் எல்லா உயிர்களும் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் இல்லாததால் உணவின்றி இறந்துவிடும். ஆகவே உலகின் உயிர்களை உய்விக்கும் மூலக்கிரியை ஒளிச் சேர்க்கையேயாகும். இவ்வளவு முக்கியத்துவம் வாய்ந்த ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றித் தெளிந்தறிந்துகொள்ளுவது எத்துணை இன்றியமையாதது என்பதைச் சொல்லத் தேவையில்லை.

உயிர் வாழ்க்கையில் ஒளிச்சேர்க்கையின் முக்கியத்துவம் ஒரு புறமிருக்க தாவரங்களின் பசுணிகளில் மட்டும் நடைபெறும் இக் கிரியை எவ்வாறு நடைபெறுகிறது என்பது மனித அறிவுக்கு ஒரு பெரும் சவாலாக உள்ளது. ஏனெனில் மற்ற உயிர்க்கிரியைகளெல்லாம் வேதியாற்றலின் மாற்றங்களை அடிப்படையாகக் கொண்டிருக்கையில், ஒளிச்சேர்க்கை மட்டும் கதிராற்றலின் மாற்றங்களால் நடைபெறுவதாக உள்ளது. உலகில் நடைபெறும் வேதியக்கிரியைகளில் ஒளிச்சேர்க்கையே மிகப் பெரியது எனலாம். ஓராண்டில் சுமார் 200 பில்லியன் டன்கள் கார்பன் ஒளிச் சேர்க்கையிலீடுபடுகிறது. தாவரங்கள் $7X10^{11}$ டன்கள் கார்பன்டைஆக்சைடை எடுத்துச் சுமார் $5X10^{11}$ டன்கள் தாவரதிடப் பொருள்களை ஆண்டுதோறும் உற்பத்தி செய்கின்றன. உலகின் ஒளிச்சேர்க்கையில் சுமார் 90 சதவீதம் கடலிலும், நன்னீரிலும் வாழும்பாசிகளில் நடைபெறுகிறது.

**சரித்திரக் குறிப்பு**

1648ஆம் ஆண்டு வரை பசுந்தாவரங்களும், மண்ணிலிருந்தே தமது உணவுப் பொருளனைத்தையும் பெறுவதாகக் கருதப்பட்டது. 1648ஆம் ஆண்டு முதன் முதலில் வான் ஹெல்மான்ட் (Van Helmont)என்பவர் வில்லோ(willoe) தாவரத்தை வைத்துச் செய்த

சோதனையிலிருந்து, மண்ணிலிருந்து தாவரங்களால் எடுத்துக் கொள்ளப்படும் தண்ணீரே அவற்றின் முக்கிய உணவாகும் எனத் தீர்மானித்தார். அதன் பிறகு ஐசாக் நியூட்டன் காலத்தவரான ஸ்டீபன் ஹேல்ஸ் (Stephen Hales) என்பவர் 1772 ஆம் ஆண்டு, பசுந்தாவரங்கள் தமது உணவின் ஒரு பகுதியை இலைகள்மூலம் பெறக்கூடுமென்றும், அதில் சூரிய ஒளியும் பங்கேற்கிறது என்றும் சொன்னார். 1772 ஆம் ஆண்டு பிரீஸ்ட்லி (Priestly) என்ற வேதியலார் விலங்குகள் சுவாசிப்பதால் கெட்டுப்போன காற்று பசுந் தாவரங்களினால் தூய்மையாக்கப்படுகிறது என்று சொன்னார். ஆனால், கார்பன்டை ஆக்சைடு, ஒளி ஆகியவற்றின் பங்கைப்பற்றி அவர் ஏதும் அறிந்தாரில்லை.

1779 ஆம் ஆண்டு ஆஸ்த்ரிய அரசருடைய மருத்துவராக இருந்த இங்கென்ஹௌஸ் (Ingenhousz) என்பவர் பிரீஸ்ட்லியின் சோதனைகளைச் செய்து பார்த்துத் தாவரங்கள் ஒளியில் மட்டுமே காற்றைத் தூய்மைப்படுத்துகின்றன என்றும், இருளில் அவையும் காற்றைக் கெடுக்கின்றன என்றும் கண்டார். மற்றும் தாவரங்களின் பச்சை நிறப் பாகங்கள்தான் காற்றைத் தூய்மையாக்குகின்றன என்றும், மற்றப் பகுதிகள் கெடுக்கின்றன என்றும் கண்டு பிடித்தார். ஆகவே, ஒளிச்சேர்க்கையில் ஒளியும், பச்சையமும் பங்குகொள்ளுவதை முதலில் அறிந்தவர் இங்கென்ஹௌஸே யாவார்.

1800 ஆம் ஆண்டு ஜெனீவாவைச் சேர்ந்த ஜீன் செனெபியெர் (Jean Senebier) என்பவர் தாவரங்கள் கார்பன்டைஆக்சைடைக் காற்றிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளுகின்றன என்றும், அவை வெளி விடும் ஆக்சிஜன் கார்பன்டைஆக்சைடு மூலக்கூறிலிருப்பதென்றும், ஒளிச்சேர்க்கைக்குச் சிவப்பு அலை நீளங்களே மிக ஏதுவானவை என்றும் கண்டு வெளியிட்டார். ஆற்றலழியாமைக் கோட்பாட்டை 1845ஆம் ஆண்டு வெளியிட்ட ராபர்ட் மேயர் (Robert Mayer) 1848-ல் அங்ககக் கிரியைகளின் ஆற்றல் மாற்றங்களைத் தெளிவாக வெளியிட்டார். 1865ஆம் ஆண்டு பௌசிங்கால்ட் (Boussingault) என்பவர் தாவரங்களின் கார்பன் தேவை முழுதும் கார்பன்டைஆக்சைடிலிருந்தே பெறப்படுகிறது என்று கண்டு வெளியிட்டார்.

முடிவாக, சாக்ஸ் (Sachs) என்ற ஜெர்மன் தாவரவியலாரும் அவருடைய மாணவர்களும் ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றித் தீவிரமாக ஆராய்ந்து அதைப்பற்றி இன்று நிலவும் கருத்துகளை நிலை நாட்டினார்கள். பசுந்தாவரங்களில் உள்ள பசுங்கணிகங்களே ஒளிச்சேர்க்கை நடைபெறும் இடமென்றும், ஒளிச்சேர்க்கையால்

கட்புலனுக்குத் தோன்றும் முதற்பொருள் ஸ்டார்ச் என்பதும் அவர்களால் நிலைநாட்டப்பட்டன. அதன் பிறகு பலராலும் நடத்தப்பட்ட ஆய்வுகளினாலும், ஆய்வு முறை முன்னேற்றங்களாலும் ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றிய அறிவு வேகமாக வளர்ந்துள்ளது.

**ஒளியாற்றல்**

ஏற்கனவே சொல்லப்பட்டபடி மற்றெந்த வேதியக் கிரியைக்கும் இல்லாது, ஒளிச்சேர்க்கைக்கு மட்டும் உரித்தான ஒரு சிறப்பு, இக் கிரியை வேதியாற்றலல்லாத ஒளியாற்றலினால் நடைபெறுவதாகும். எனவே ஒளிச்சேர்க்கையைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ளுவதற்கு நாம் முதலில் ஒளியாற்றலைப் பற்றித் தெரிந்து கொள்ளுவது அவசியமாகும்.

ஒளி என்பது என்ன என்பதைப்பற்றித் தெளிவாகத் தெரிந்து கொள்ள நியூட்டன் காலத்திலிருந்தே இயற்பியலார் எத்தனித்து வந்துள்ளனர். ஆனால் இன்னும் ஒளியின் தன்மையைப்பற்றித் தெளிவாகத் தெரிந்து கொள்ள முடியவில்லை. எனினும் ஒளியின் மூன்று முக்கிய அடிப்படைப் பண்புகளை அறிந்துகொண்டால் அஃது ஒளிச் சேர்க்கையில் ஒளியின் பணியைப்பற்றித் தெரிந்து கொள்ளுவதற்கு ஏதுவாகும்.

முதலாவதாக ஒளி என்பது மின்காந்தக் கதிர்வீச்சாகும். எனவே, மற்ற மின்காந்தக் கதிர்வீச்சுகளை அளந்தறிவதுபோல் ஒளியின் ஆற்றலையும் அளந்தறியலாம்.

இரண்டாவதாக மற்ற எந்த ஆற்றலுக்கும் இல்லாத ஒளியாற்றலுக்கு மட்டும் உரித்தான ஒரு பண்பு வேகம் (velocity) என்பதாகும். ஒளி மிகவேகமாக அதாவது ஒரு வினாடிக்கு சுமார் 200,000 கிலோ மீட்டர் வேகத்தில் செல்லக் கூடியது என்பது முன்பே தெரிந்திருந்தாலும், ஒப்புமைக் கோட்பாட்டை (theory of relativity) வெளியிட்ட ஆல்பர்ட் அயின்ஸ்டீன் (Albert Einsteen) என்ற தலை சிறந்த விஞ்ஞானிதான் ஒளியின் வேகமே, வேக எல்லை என்றும் அதற்கும் அதிகமான வேகம் அண்டத்தில் எங்கும் இல்லை என்றும் நிலைநாட்டினார். மற்றும் ஒளியின் வேகம் எந்தச் சூழ்நிலையிலும் மாறாததென்றும், ஒரே அளவினதென்றும் கருதி அதன் அடிப்படையில் பொருண்மைக்கும் (mass), ஆற்றலுக்கும் இடையே உள்ள தொடர்பை விளக்கினார். ஆனால் எப்பொழுதும் ஒரே நிலையான வேகத்துடன் ஒளி எப்படி ஓர் இடத்திலிருந்து மற்றோர் இடத்திற்கு நகர்ந்து செல்லுகிறது என்பது இன்னும் அறியப்படாத புதிராகவே உள்ளது. எனினும்,

தண்ணீர்ப் பரப்பின்மேல் நீரலைகள் பரவுவதைப்போலவே ஒளியும் பரவுவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஒளியின் வேகம் எப்பொழுதும் நிலையானதாகையால், அதன் அலைகளின் நீளம் அல்லது இடைவெளி மட்டுமே மாறக் கூடியதாகும். அலைகளின் நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க இடைவெளி குறைகிறது. நீளம் குறையக் குறைய இடைவெளி அதிகரிக்கிறது. எனவே மின் காந்தக்கதிர் வீச்சின் தன்மை அதன் அலை நீளத்தையும், இடைவெளியையும் பொறுத்ததாகும்.

மூன்றாவதாக தண்ணீரின் அலைகள் பரவும்போது தண்ணீரின் அசைவு ஏற்படுவதுபோல் ஒளி பரவும் பொருளில் அசைவு உண்டாவதில்லை. ஏனெனில் சூன்யத்திலும் அது பரவிச் செல்லுகிறது. ஆகவே, ஒளியாற்றலானது நுண் தொகுதிகளாகப் பரவிச் செல்லுகிறதென்று கருதப்படுகிறது. இந்த நுண் தொகுதியின் ஆற்றல், மாறாத ஒரு குறிபபிட்ட அளவுடையது. ஆனால் அவற்றிற்கிடையே உள்ள இடைவெளி மாறக்கூடியதாகும். இடைவெளி குறையக் குறைய ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தில் அதிக தொகுதிகள் இருக்குமாதலால் ஆற்றலின் அளவும் அதிகரிக்கிறது. இடைவெளி அதிகரிக்க அதிகரிக்க ஆற்றல் குறைகிறது. ஒளியைப் பொறுத்தவரை ஒரு நுண் தொகுதி ஒரு ஃபோட்டான் (photon) என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

ஒரு ஃபோட்டானில் அடங்கிய ஆற்றலினளவை $E=h\nu$ என்ற சமணத்தால் குறிக்கலாம் இதில் $\lambda$ என்பது பிளான்க் Plank) என்பவரால் கணக்கிடப்பட்ட நிலைஎண் (constant) ஆகையால் பிளாங்கின் நிலைஎண் எண்என்று சொல்லப்படும். $\nu$ என்பது கதிர்வீச்சின் இடைவெளி (frequency) ஆகும் $E$ என்பது ஆற்றலினளவு. இடைவெளியானது ஒளியின் வேகத்தை அதனுடைய அலைநீளத்தால் வகுப்பதால் பெறப்படுவதாகும். எனவே மேற்சொன்ன சமனத்தை $E=hc/\lambda$ என்றும் குறிப்பிடலாம். C என்பது ஒளியின் வேகத்தையும் $\lambda$ என்பது அதன் அலை நீளத்தையும் குறிப்பனவாகும். வேதிக்கிரியைகளில் ஒளியின் ஆற்றலைக் கணக்கிடுவதற்காக இதே சமனத்தை மற்றொரு வகையாகக் குறிப்பிடலாம் இதற்கு அடிப்படை அயின்ஸ்டீனும், ஜொஹான்ஸ் ஸ்டார்க் (Johannes Stark) என்பவரும் கண்டுபிடித்த ஒரு விதியாகும். இதன்படி ஒளியினால் உந்தப்படும் எந்தவொரு மூலக்கூறும் ஒரே ஒரு ஃபோட்டானை மட்டும் உறிஞ்சிக்கொள்ளும். எல்லா வேதிக்கிரியைகளும் மோல் (mole) கணக்கில் குறிப்பிடப்படுகின்றன. ஒரு மோல் மூலக்கூறுகளால் உறிஞ்சப்படும்

ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலைக் குறிப்பிட அயின்ஸ்டீன் என்ற அலகு உருவாக்கப்பட்டது. எனவே ஓர் அயின்ஸ்டீன் என்பது $6.06+10^{23}$ ஃபோட்டான்களின் ஆற்றலாகும். அதாவது ஒரு பொருளின் ஒரு மோல் மூலக்கூறுகள் ஓர் அயின்ஸ்டீன் ஆற்றலை உறிஞ்சிக் கொள்ளும். இந்த ஆற்றலினளவை வெப்ப ஆற்றலாகக் குறிப்பிட்டால் கீழ்வரும் சமனம் பெறப்படும்.

$$E = \frac{2.86 \times 10^{8} \text{ கலோரிகள்}}{\gamma \text{ (Å அளவில்)}}$$

இதில் E என்பது ஓர் அயின்ஸ்டீனைக் குறிக்கும்.

எடுத்துக்காட்டாக, 6500Å அலை நீளத்தில் தாவரங்களின் பச்சையம் ஒளியை உறிஞ்சிக்கொள்ளுகிறதென்று வைத்துக் கொண்டால், ஒரு மோல் பச்சையம் உறிஞ்சிக் கொள்ளும் ஓர் அயின்ஸ்டீன் ஆற்றலினளவு 45,000 கலோரிகள் அல்லது 45 கிலோ கலோரிகளாகும். இந்த ஆற்றலினளவு ஒரு மோல் NADPயை நீக்கரிக்கவோ மூன்று மோல்ATPயை உண்டாக்கவோ போதுமானதாகும். உண்மையில் இது நடைபெறுகிறதா என்பதைப் பிறகு பார்க்கலாம். முதலில் ஒளியாற்றல் அல்லது ஃபோட்டான்கள் மூலக்கூறுகளால் எப்படி உறிஞ்சப்படுகின்றன என்பதையும் அவ்வாறு உறிஞ்சப்பட்ட ஆற்றல் எப்படி வேதிக் கிரியைகளை நிகழ்த்தப் பயன்படுத்தப்படுகிறது என்பதையும் பார்ப்போம்.

ஒரு பொருளின் மூலக்கூறில் ஒளியாற்றலை அல்லது ஃபோட்டானை உறிஞ்சிக் கொள்ளுவது அதன் எலெக்ட்ரானேயாகும். பொதுவாக அணுவைத் துளைத்து உட்புக உயர் ஆற்றலால் மட்டுமே முடியும். அந்த ஆற்றலினளவைப் பொறுத்து அணுவில் அலைக்கழிப்பு ஏற்படுகிறது. ஒளியாற்றல் அல்லது மின்கதிரின் ஆற்றல் அதன் அலைநீளத்துக்கு எதிர் விகிதத்திலிருப்பதால், அலைநீளம் குறையக் குறைய அலைக்கழிப்பு அதிகரிக்கிறது எடுத்துக்காட்டாக 2000Å அலைநீளத்தையுடைய கண்களுக்குப் புலனாகா அதியூதாக்கதிர்கள் (ultraviolet rays) கண்களுக்குப் புலனாகும் ஒளிக் கதிர்களைவிட அதிக அணு அலைக்கழிப்பை உண்டாக்குகிறது. மிக அதிக அலை நீளத்தையுடைய ரேடியோக் கதிர்கள் (radio waves) மூலக்கூறுகளில் அல்லது அணுக்களில் எந்த அலைக்கழிப்பையும் உண்டாக்குவதில்லை. மிகக் குறைந்த அலைநீளமுடைய காஸ்மிக் கதிர்கள் (அலைநீளம் 0.001Å) அணுக் கருவையே சிதைக்கக் கூடியனவாகும். பச்சையத்தால் உறிஞ்சப் படும் ஆற்றலளவான 45 முதல் 50 கிலோ கலோரி (ஒரு மோலுக்கு)

ஆற்றல், அம் மூலக்கூறுகளைச் சாதாரண வேதிக்கிரியைகளில் ஈடு படுத்துவதற்குத் தகுந்ததாகும். வெவ்வேறு தன்மையுடைய ஒளிக்கதிர்களின் அலைநீளமும், அவற்றிலடங்கிய ஆற்றலும் கீழ்க் காணும் பட்டியலில் குறிப்பிடப்பட்டுள்ளது:

| கதிர்தன்மை | அலைநீளம்(Å) | குறிப்பிட்டஅலை நீளம் | ஆற்றலளவு (அயின்ஸ்டீனுக்குக் கிலோ கலோரி) |
|---|---|---|---|
| அதியூதா | 100—3900 | 2800Å | 100 |
| ஊதா | 3900—4300 | 4000Å | 72 |
| நீலம் | 4300—4700 | — | — |
| நீலப்பசுமை | 4700—5000 | 5000Å | 57 |
| பச்சை | 5000—5600 | — | — |
| மஞ்சள் | 5600—6000 | 6000Å | 48 |
| ஆரஞ்சு | 6000—6500 | — | — |
| சிவப்பு | 6500—7600 | 7000Å | 41 |

ஒளியாற்றலை உறிஞ்சும் திறன் மூலக்கூறின் தன்மையைப் பொறுத்ததாகும். ஆனால் ஒளியாற்றலை ஏற்றுக்கொள்ளுவது எலெக்ட்ரானாதலால், ஒரு மூலக்கூறில் எலெக்ரான்கள் அமைந்துள்ள விதத்தைப் பொறுத்தே அம் மூலக்கூறின் ஒளி உறிஞ்சும் தன்மை அமைகிறது.

எலெக்ட்ரான்கள் எப்படிக் குறிப்பிட்ட அலைநீளமுள்ள ஒளிக்கதிர்களின் ஆற்றலை உறிஞ்சிக்கொள்ளுகின்றன என்பதைப் பற்றி விரிவாக இங்கு நாம் பார்க்கவேண்டுவதில்லை. ஆனால் இதைப்பற்றிய சில அவசியமான உண்மைகளை மட்டும் கவனிப்போம். ஒளியாற்றலை அல்லது ஃபோட்டானை ஏற்றுக்கொள்ளும் ஓர் எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் அந்த அளவுக்கு அதிகரிக்க வேண்டியது அவசியம். எலெக்ட்ரான் எப்பொழுதும் இயல்பாக அணுக்கருவைச் சுற்றி ஒரு குறிப்பிட்ட தூரத்தில் சஞ்சரித்துக் கொண்டிருக்கிறதாகையால், அதன் ஆற்றல் கூடும்பொழுது அது செய்யக்கூடிய ஒரு காரியம் அணுக் கருவிலிருந்து அது விலகியிருக்கும் தூரத்தை மாற்றி அதிகரித்த தூரத்தில் சஞ்சரிக்கத் தொடங்குவதாகும். ஆனால் எலெக்ட்ரான்கள் நினைத்தபடி அணுக் கருவிலிருந்து கண்ட தூரத்தில் சஞ்சரிக்க முடியாது. சில வரன் முறைகளுக்குட்பட்ட குறிப்பிட்ட தூரங்களில் மட்டுமே சஞ்சரிக்க முடியும். எனவே ஒரு சஞ்சாரத்திலிருந்து மற்றொரு சஞ்சாரத் துக்கு மாற்றப் போதுமான சக்தியைக் கொண்ட ஃபோட்டானை மட்டுமே ஓர் எலெக்ட்ரான் ஏற்றுக்கொள்ள முடியும். மற்ற

ஃபோட்டான்களை ஏற்றுக் கொள்ள முடியாது. ஒளிக்கதிர்களினுடைய ஃபோட்டான்கள் குறைவான ஆற்றலைக் கொண்டனவாகையால் அவற்றை ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய எலெக்ட்ரான்கள் மிகச் சில மூலக்கூறுகளில் மட்டுமே அமைந்துள்ளன. அப்படிப்பட்ட அபூர்வமான மூலக்கூறுகளில் தலைசிறந்தது பச்சையத்தின் மூலக்கூருகும் ஏனெனில், வேறு எந்த மூலக்கூறும் இதைப்போல் ஒளியாற்றலை உறிஞ்சிக்கொள்ளுவதில்லை. சைட்டொகுரோம்களென்பவையும் பச்சையத்தைப் போன்ற அமைப்பையுடையனவாயினும், பச்சையத்தைவிடக் குறைவாகவே ஒளியாற்றலை ஏற்றுக்கொள்ளுகின்றன.

ஒரு ஃபோட்டானை ஏற்றுக்கொண்டதால் ஆற்றலதிகரித்த எலெக்ட்ரான் கிளர்ச்சி நிலையில் (excited state) இருப்பதாகச் சொல்லப்படுகிறது. இக் கிளர்ச்சி நிலையில் ஓர் எலெக்ட்ரான் நிலையாக இருக்க முடியாது. மிகத் தற்காலிகமாகவே இருக்க முடியும். அதாவது $10^{-8}$ செகண்டு நேரத்தில் எலெக்ட்ரான் தனது தற்காலிகக் கிளர்ச்சி நிலையை இழந்து பழைய இயல்பு நிலையை அடைந்துவிடும். அந்த நேரத்தில் அது பெற்ற அதிக ஆற்றல் வேறுவிதமாக மாற்றப்படுகிறது. இம் மாற்றம் நான்கு வழிகளில் நடைபெறலாம்.

1. கிளர்ந்த எலெக்ட்ரான்தான் ஏற்ற ஃபோட்டானைவிட குறைவான ஆற்றலை உடைய ஃபோட்டானை வெளிவிடலாம் அப்படி நேருமாயின் அதில் வெளிவிடப்படும் ஒளிக்கதிர்கள், ஏற்றுக்கொள்ளப்பட்ட ஒளிக்கதிர்களினின்றும் வேறுபட்ட, அதிக அலைநீளத்தையுடையதாயிருக்கும். இந் நிகழ்ச்சி ஃபுளோரசென்ஸ் (fluorescence) எனப்படும்.

2. கிளர்ந்த எலெக்ட்ரானையுடைய மூலக்கூறே அதிக விசையாற்றலை (kinetic energy) அடைந்து, வேறு மூலக்கூறுகளோடு மோதி ஆற்றலை வெப்பமாகச் செலவிடக்கூடும். நிறமுடைய கரைசல்கள் அல்லது திரவங்கள் ஒளியை உறிஞ்சும்பொழுது பெரும்பாலும் இப்படிப்பட்ட நிகழ்ச்சிதான் நடைபெறுகிறது அதாவது அத் திரவத்தின் வெப்பம் அதிகரிக்கிறது.

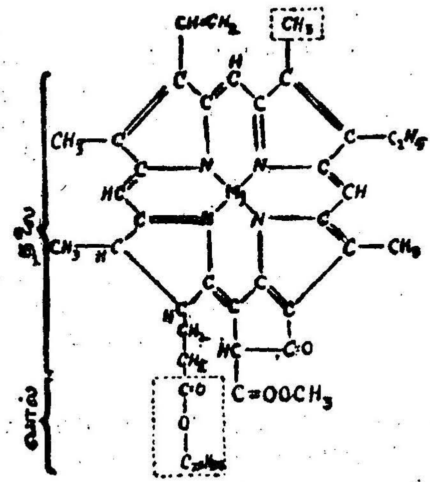
3. எலெக்ட்ரானைக் கிளர்த்திய ஆற்றல் அதிகமாக வேதி இணைப்பைத் துண்டிக்கும் அளவினதாக இருந்தால் மூலக்கூறின் வேதியிணைப்பு உடைபட்டு வேறு மூலக்கூறுகளாக மாறலாம்.

4. கிளர்ந்த எலெக்ட்ரானுல் நிலையற்ற நிலையை அடைந்த மூலக்கூறு வேறொரு மூலக்கூறோடு வேதிக் கிரியையிலீடுபடலாம். இந்த நிகழ்ச்சிதான் ஒளிச்சேர்க்கையில் நடைபெறுவதாகும்.

மேற்கூறியவற்றிலிருந்து தெரிவது யாதெனின், பச்சைய மூலக்கூறில் ஒளிக்கதிரின் ஃபோட்டான்களை ஏற்றுக்கொள்ளும் இயல்புடைய சில எலெக்ட்ரான்கள் அமைந்திருப்பதே ஒளிச் சேர்க்கையின் அடிப்படையாகுமென்பதாம். மற்றும் அவ்வாறு ஏற்று கொள்ளப்பட்ட ஒளியாற்றலை வேதிக்கிரியைகள் மூலம் வேறு மூலக்கூறுகளுக்குக் கடத்தி முடிவாக NADP, H, ATP ஆகிய பொருள்களைத் தோற்றுவிக்கும் வண்ணம் பச்சைய மூலக்கூறின மைப்பும் அதைச் சார்ந்துள்ள மற்ற வேதிப் பொருள்களின் அமைப்பும் பசுந்தாவரங்களிலுள்ளன.

## பச்சையமும் பசுங்கணிகமும்

இப்பொழுது ஏழு வகையான பச்சையங்கள் தெரியவந் துள்ளன. அவை பச்சையம் a, b, c, d, e, பாக்டீரியோ குளோரோபில், பாக்டீரியோவிரிடின் ஆகியவையாகும். எல்லாப்



படம் 8.1

பச்சைய மூலக்கூறின் கட்டமைப்பு

பச்சைய மூலக்கூறுகளும், வட்டவடிவமான டெட்ராஃபைரோல் கூட்டினைக் கொண்டனவாகும். மூலக்கூறின் தலைப் பகுதி போலமைந்த இந்தக் கூட்டின் நடுவில் ஒரு மெக்னீசிய அணு

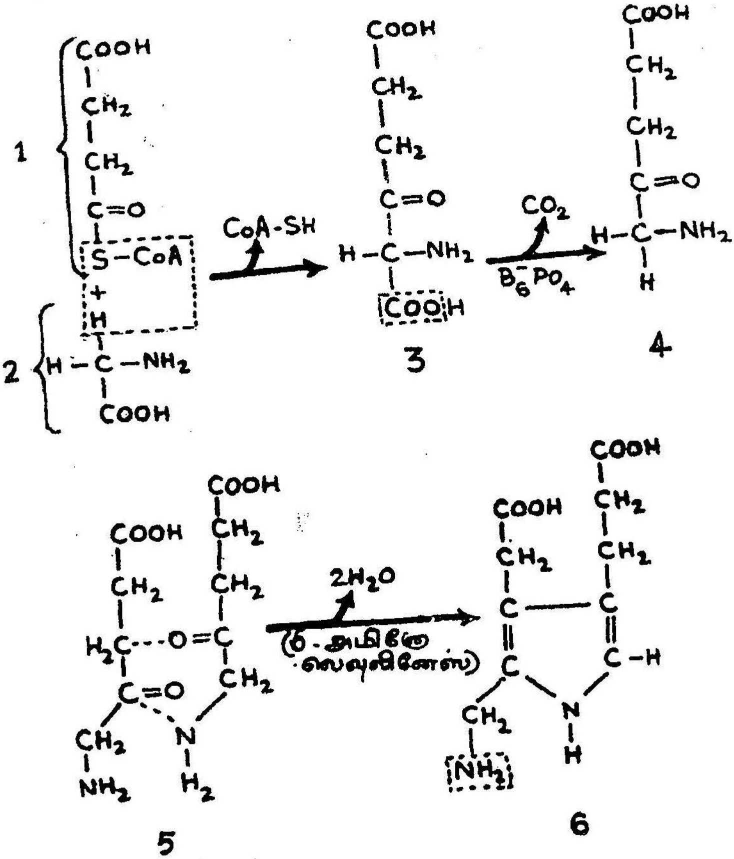
அமைந்துள்ளது. ஒரு பைரோல் மூலக்கூறு என்பது வட்டமாக அமைந்த நான்கு கார்பன் அணுக்களையும், ஒரு நைட்ரஜன் அணுவையும் கொண்டதாகும். அப்படிப்பட்ட நான்கு பைரோ வட்டங்கள் சேர்ந்தே பச்சைய மூலக்கூறின் தலைப் பகுதியான போர்ஃபைரின் வட்டம் (porphyrin ring) அமைகிறது. இதன் ஓர் இடத்தில் நீண்ட சங்கிலித் தொடர் போன்ற ஃபைடால் (phytol) வால் இணைந்திருக்கிறது. இது கார்பன் அணுக்களின் தொடராலமைந்த ஆல்கஹால் தன்மையை உடையதாகும். மேற் சொன்ன தலை, வால் ஆகியவற்றின் அமைப்பில் மாற்றங்களும், வேறு சில சிறு தொகுதிகளின் இணைப்புமே வெவ்வேறு வித பச்சையங்கள் உருவாகக் காரணமாகின்றன. எடுத்துக்காட்டாக, பச்சையம் aயில் உள்ள $-CH_3$ (மிதைல்) தொகுதிகள், பச்சையம் bயில் CHD (ஆல்டிஹைடு) தொகுதிகளாகின்றன.

பொதுவாகத் தாவரங்களில் அதிகமாகக் காணப்படுவது பச்சையம் a, b ஆகியவையாகும். ஆனால் நீலப்பசுமை, பழுப்பு, சிவப்புப் பாசிகளில் பச்சையம் b கிடையாது. பச்சையம் b, d, e ஆகியவை பாசிகளில் மட்டும் பச்சையம் a யோடு கலந்து காணப்படுகிறது.

**பச்சைய உற்பத்தி:** பச்சையம் பொதுவாகப் பச்சைய முன்னோடி (protochlorophyle)யிலிருந்து உருவாகிறது. ஒரு பைரோல் வட்டத்தில் இரண்டு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் குறைவாகப் பச்சைய முன்னோடிகளிருப்பதே இரண்டுக்குமுள்ள வேறு பாடாகும். இருளில் வளரும், நாற்றுகளில் சிறிதளவே பச்சைய முன்னோடி தோன்றுகிறது. ஆனால் அவற்றை ஒளியில் வைத்தால் பச்சைய முன்னோடியானது பச்சையம் a ஆக மாற்றப்படுகிறது. ஆனால் ஜிம்னோஸ்பெர்ம் நாற்றுக்களில் பச்சையம் a இருளில் கூட உற்பத்தியாகிறது. எனவே, மற்றத் தாவரங்களில் பச்சைய முன்னோடி பச்சையமாக மாறுவது ஓர் ஒளிக் கிரியையாகவும் ஜிம்னோஸ்பெர்ம்களில் வேதிக்கிரியையாகவும் நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது.

பச்சைய மூலக்கூறின் உற்பத்திக்குக் கிளைசின் (glycin) சக்சினில்CoA ஆகிய இரண்டும் மூலப்பொருள்களாகுமென்று கருதப் படுகிறது. இவ்விரண்டும் சேர்ந்து $\chi$ அமினோ-B-கீட்டோ அடிபிக் அமிலம் ($\chi$ amlno-B ketoadibic acid) எனப்படும் நிலையற்றவேதிப் பொருளாகின்றன. இதிலிருந்து கார்பாக்சில் நீக்கத்தால் 8 அமினோலெவுலினிக் (8-aminolevulinic) அமிலம் உண்டாகிறது. இதற்கும் ஒளி அவசியமென்று சிலரால் கருதப்படுகிறது.

8 அமினோலெவுலினிக் அமிலத்தின் மூலக்கூறுகள் இரண்டு சேர்ந்து போர்ஃபோபைலினோஜென் (porphobilinogen) எனப்படும் ஒற்றைப் பைரோல் (monopyrole) மூலக்கூறுகின்றன. இதனை ஒரு நொதி ஊக்குவிக்கிறது. இம் மாற்றங்கள் படம் 8.2 ல் காட்டப் பட்டுள்ளன.



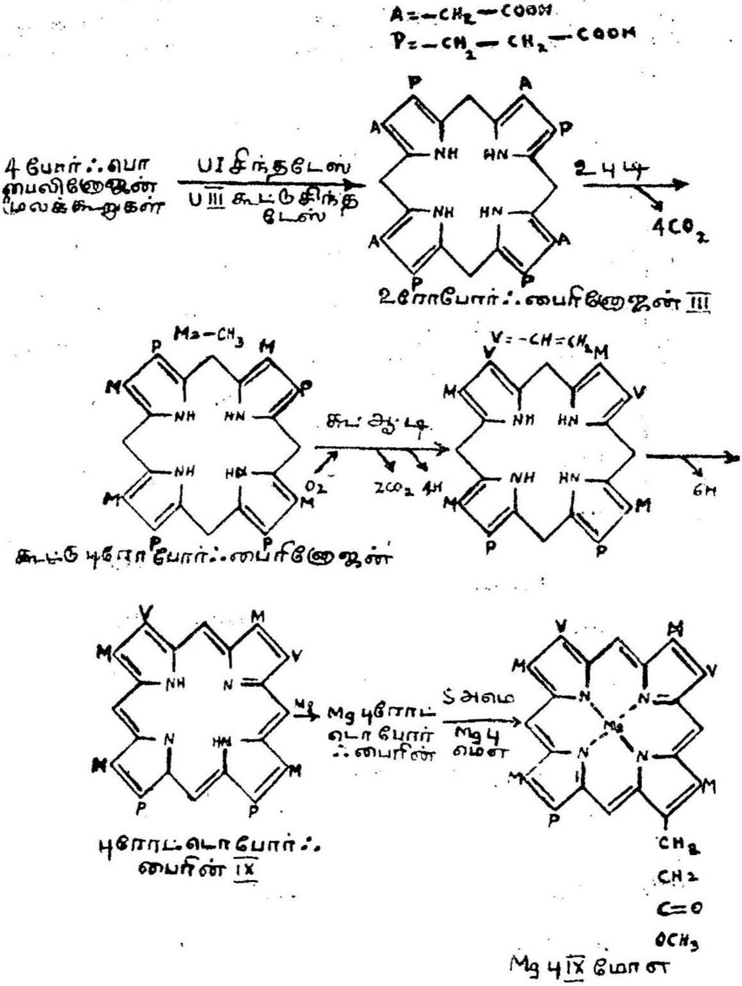

படம்: 8.2

போர்ஃபொபைலினோஜென் உற்பத்தியின் கிரியைகள்.

1. சக்சினில் COA; 2. கிளைசின்; 3. X அமினோ-B-கீட்டோ அடிபிக் அமிலம்; 4. 8-அமினோலெவுலினிக் அமிலம்; 3. இரண்டு 8 அமினோ லேவுலினிச் அமில மூலக்கூறுகள்; 6. போர்க்ஃபைரினோஜென்.

போர்ஃபோபைலினோஜென் மூலக்கூறுகள் நான்கு சேர்ந்து உரோபோர்ஃபைரினோஜென் III (uroporphyrinogen) ஆக மாறு

கின் றன. இதிலிருந்து கார்பாக்சில் நீக்கத்தால் கோப்ரோபோர் ஃபைரினோஜெனும் (coproporphyrinogen) அதிலிருந்து புரோட்

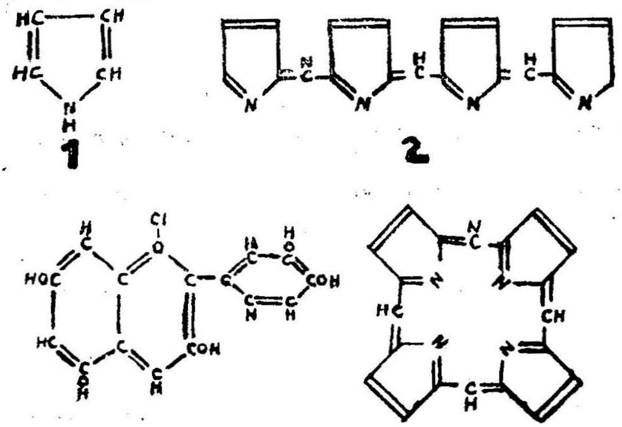



படம் 8—3

போர்ஃபொபைலினோ ஜெனியிலிருந்து புரொட்டோபோர்ஃபைரின் IX உறபத்தியாகும் கிரியைகள். உ. பு. டி-உரோபோர்ஃபைரினோஜென் டிகார்பாக்சிலேஸ்; கூ. ஆ. டி-கூட்டு போர்ஃபைரினோஜென் ஆக்சிகரண டிகார்பாக்சிலேஸ்; S. அ. மெ. - S அடினொசில் மெத்தியோனின்' mg பு மெ எ- Mg. புரொட்டோபோர்ஃபைரின் மெதில் எஸ்டரேஸ்; mg பு IX மே எ-Mg புரோட்டோ போர்ஃபைரின் IX மோனோ எதில் எஸ்டர்

டோபோர்ஃபைரினோஜென் IX-ம் (protoporphyrinogen IX) தோன்றுகின்றன. புரோட்டோபோர்ஃபைரினோஜென் IX ஆக்சீகரிக்கப்பட்டுப் புரோடோபோர்ஃபைரின் IX ஆக மாறி ஒரு மெக்னீசிய அணுவைச் சேர்த்துக்கொண்டு Mg- புரோட்டோ போர்ஃபைரின் IX ஆககிறது. இது S-அடினோசில் மெத்தியோனைன் (S-adenosyl methionine) என்ற பொருளிலிருந்து மெதில் தொகுதிகளை இணைத்துக்கொண்டு Mg-புரோட்டோபோர்ஃபைரின் IX மோனோ மெதில் எஸ்டர் ஆகிறது (படம்8.3). இது பிறகு புரோடோகுளோரோஃபில்லைடாக (protochlorophyllide) மாறி, ஃபைட்டால் தொகுதியை இணைத்துக்கொண்டு பச்சைய முன்னோடி (protochlorophyll) ஆகிறது. மேற்சொன்ன மாற்றங்கள் ஒவ்வொன்றும் ஒரு தனிப்பட்ட நொதியால் ஊக்குவிக்கப்படுகிறது. பச்சையம் aயிலிருந்து பச்சையம் b உண்டாக்கப்படுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

மேற்சொன்ன வேதி மாற்றங்களைத் தவிர இரும்பு நைட்ரஜன் முதலிய தனிமங்களும் பச்சைய உற்பத்திக்கு அவசியமெனத்தெரிகிறது. மற்றும் பச்சைய உற்பத்தி ஜீன்களால் கட்டுப்படுத்தப்படுவதாகத் தெரிகிறது.



1 2 3 4

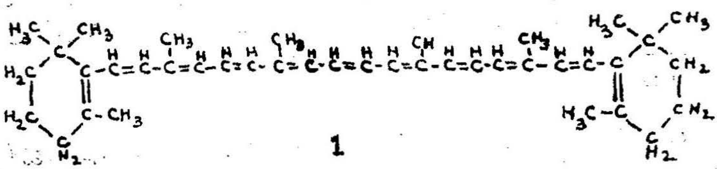
படம் 8.4

சில தாவர நிறமி மூலக்கூறமைப்பு

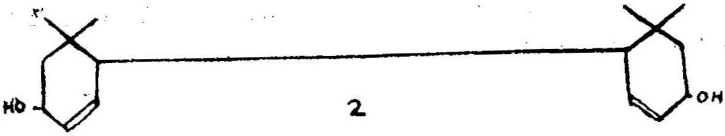
1. பைரால்; 2நேர் நாற்பைரால் சங்கிலி, 3. ஆப்தொ சயானின்; 4. வட்ட நாற்பைரால் அமைப்பு

**கரோட்டின் நிறமிகள்**: பச்சையத்தைப் போலவே கரோட் நிறமிகளும் பசுங்கணிகங்களில் அமைந்துள்ளவையாகும். அவை

இரண்டு முனைகளிலும் இரண்டு ஆறங்க வட்டத்தையுடைய நீண்ட ஹைட்ரோகார்பன் சங்கிலிகளாக அமைந்துள்ளன கரோட்டின் நிறமிகளில் ஆரஞ்சு வண்ண கரோட்டின்களும் மஞ்சள் வண்ண சேந்தோஃபில்களும் அடங்கும். கரோட்டின்களில் கார்பன், ஹைட்ரஜன் இரண்டு மட்டுமே உள்ளன. சேந்தோஃபில்களில் ஆக்சிஜனும் உள்ளது. கரோட்டின்களின் பொது சூத்திரம் $C_{40}H_{56}$ ஆகும். வைட்டமின் A இதிலிருந்து உண்டாக்கப்படுகிறது. கரோட்டின் நிறமிகளால் உறிஞ்சப்படும் ஒளியாற்றல் பச்சையம் aக்கு மாற்றப்பட்டு ஒளிச்சேர்க்கையில் பங்குபெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது.



1



2

படம் 8.5

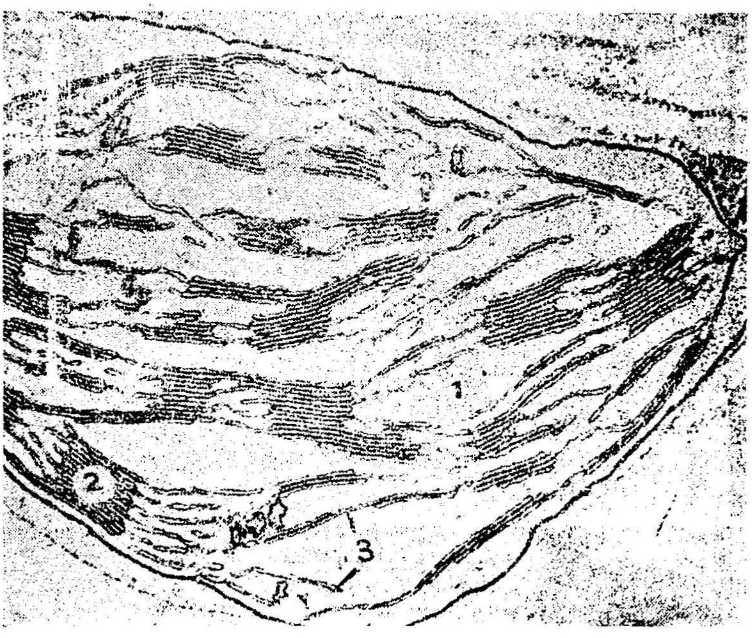
கரோட்டின், செந்தோஃபில் நிறமிகளின் மூலக்கூறமைப்பு.

ஃபைகோபைலின் நிறமிகள்: நீலப் பசும்பாசிகளிலும், சிவப்புப் பாசிகளிலும் பச்சையம், கரோட்டின் நிறமிகள் ஆகியவற்றைத் தவிர ஃபைகோபைலின்கள் எனப்படும் நிறமிகள் காணப்படுகின்றன. இவற்றின் மூலக் கூறிலும் நான்கு பைரோல் வட்டங்கள் இருந்தாலும் இவ் வட்டங்கள் நீள வரிசையிலமைந்துள்ளன. இவை செந்நிற ஃபைகோ எரித்ரின் (phycoerythrin) என்றும், நீலநிறஃபைகோசையானின் (phycocyanin) என்றும் இருவகைப் படும். இவற்றால் ஏற்றுக்கொள்ளப்படும் ஒளியாற்றலும், பச்சையம் a வழியாக ஒளிச்சேர்க்கைக்குப் பயன்படுமெனத் தெரிகிறது.

**பசுங்கணிகத்தின் அமைப்பு**

பசுங்கணிகங்களின் உருவமும், அளவும் வெகுவாக வேறுபடுகின்றன. உயர்தாவரங்களின் பசுங்கணிகங்கள், இருபுறக்குவி வில்லைகளைப் போன்ற உருவத்தில் 4—6µ குறுக்களவையும், 2–3µ

தடிமனையும் உடையனவாகும். பாசிகளில் நீண்ட பட்டைகள், வலைகள், நட்சத்திரங்கள், கோப்பைகள் போன்ற பல உருவங்களில் பெரிய அளவில் பசுங்கணிகங்கள் காணப்படுகின்றன. பசுங்கணிகங்களின் எண்ணிக்கையும் செல்லுக்குச் செல்லும், தாவரத்துக்குத் தாவரமும் வேறுபடக்கூடியதாகும். ஒரு செல்லுக்கு, பல பாசிகளில் உள்ளதுபோல் ஒரே பசுங்கணிகத்திலிருந்து உயர் தாவரங்களிலுள்ளது போல் ஒரு செல்லுக்குப் பல நூறுகள் வரை காணப்படலாம். இளம் செல்களில் பசுங்கணிகங்களிருப்பதில்லை. ஆனால், அதற்குப் பதிலாகப் புரொபிளாஸ்டிடுகள் (proplastids) எனப்படும் நுண் உறுப்புகள் காணப்படுகின்றன. செல் முதிர முதிர இந்தப் புரொபிளாஸ்டிடுகளே பசுங்கணிகங்களாக வளர்கின்றன. பொதுவாகப் பசுங்கணிகங்கள் ஒளிபடும் செல்களில் மட்டுமே உருவாகின்றன.

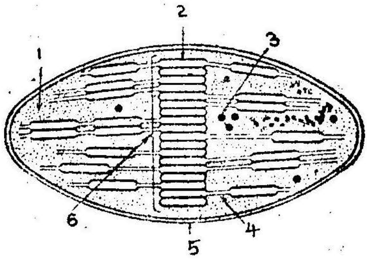



படம்: 8.6

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் பசுங்கணிகத்தின் உள்ளமைப்புத் தோற்றம்.

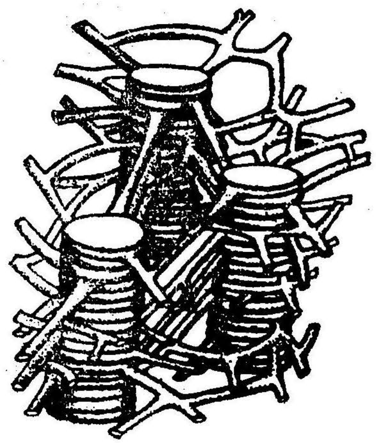
1. ஸ்ட்ரோமா; 2. கிரான படலங்கள்; 3. கிரான இடை படலங்கள்.

உயர் தாவரங்களின் முதிர்ந்த பசுங்கணிகங்கள் சிக்கலான அமைப்பை உடையனவாகும். எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப் மூலம் நோக்கினல் அவற்றின் அமைப்புக் (படம் 6.8) கீழ் வருமாறு:




படம்: 8.7
பசுங்கணிகத்தின் உள்ளமைப்பு. 1. ஸ்ட்ரோமா; 2. கிரானுப்படலம் 3. உள்ளீடுகள்; 4. கிரானுஇடையே படலம்; 5. வெளிஇரட்டைச்சவ்வு; 6. கிரானு அடுக்கு அல்லது தைல காய்டு.

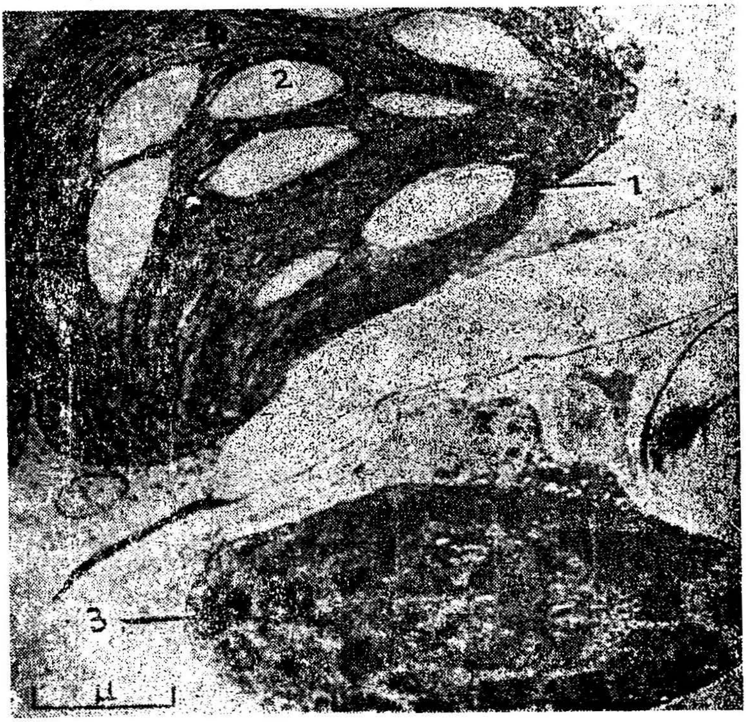
வெளிப்புறமாக இரட்டைச் சவ்வும், இரட்டை சவ்வுக்குள் ஸ்ட்ரோமா (stroma) என்ற நுண் துகள்களால் நிரப்பியது போன்ற பகுதியும், ஸ்ட்ரோமா வில் ஆழ்ந்துள்ள சவ்வு மண் டலப் பகுதியும் காணப்படுகின் றன. ஸ்ட்ரோமாவில் கரைசல் புரொட்டீன்களும் ரைபொசோம் களும் உள்ளன. சவ்வுமண்டலம் இரு பகுதிகளாக வேறுபட்டுக் காணப்படுகிறது. ஒன்று கிரானு படலங்கள் (grana lamellae) அல்லது தைலகாய்டுகள் (thyla koids) இரண்டு கிரானுக் களிடைப்பட்ட படலங்கள் அல்லது



படம்; 8.6
பசுங்கணிகத்தின் சவ்வுப் படல வலை அமைப்பு

ஸட்ரோமாப் படலங்கள். கிரானு ப்படலங்களில் சவ்வுகள் வட்ட மாக ஒன்றின் மேலொன்று நாணயங்கள் அடுக்கப்பட்டிருப்பது போல்நெருக்கமாக அடுக்கப்பட்டிருக்கின்றன. (படம்8.7) ஒன்றோ

டொன்று தொட்டுக்கொண்டிருக்கும் படலங்கள் இரட்டைச் சவ்வாக இணைந்துகொள்ளுகிறது. கிரானுப்படலங்களுக்கிடையில் ஸ்ட்ரோமா கிடையாது. ஆனால் ஸ்ட்ரோமாப் படலங்கள் நெருக்கமாக இல்லாமல் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று இடைவெளி விட்டுக் கிரானுக்களை இணைக்கும் பாலங்களாக அமைந்துள்ளன (படம் 8.8). ஸ்ட்ரோமாப் படலம் ஒவ்வொன்றின் இருபுறமும் ஸ்ட்ரோமா சூழ்ந்துள்ளது.

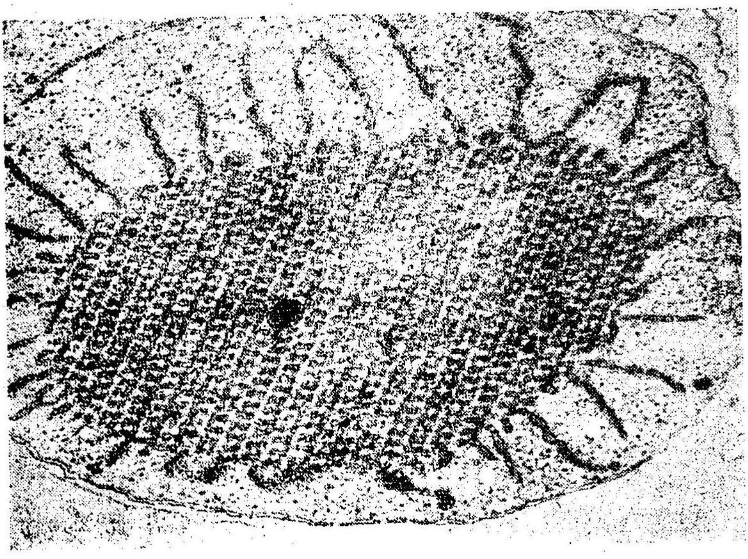



படம்: 8.9
ஆஞ்சியோஸ்பெர்மில் காணப்படும் இரண்டுவகைப் பசுங்கணிகங்கள் எலெக்ட்ரான் வைக்கிராஸ்கோப்:
1. கிரானு அற்ற பசுங்கணிகம்; 2. சேமிப்புப்பொருள்; 3 கிரானு உள்ள பசுங்கணிகம்

சவ்வு மண்டலத்தின் சவ்வுப் படலங்களெல்லாம் செல் சவ்வைப் போன்று 70 Å தடிப்பைக் கொண்டனவாகும். கிரானுக்களில் இரண்டு சவ்வுகள் இணைந்து 150Å தடிப்புள்ள படலங்களாகின்றன. அனேக உயர் தாவரங்களில் இலையின் மீசோபில் செல்

களிலுள்ள பசுங்கணிகங்களில் மட்டுமே கிரானு அமைப்புக் காணப் படுகிறது. குழற்கட்டுத் தொகுதிகளைச் சார்ந்துள்ள செல்களி லிருக்கும் பசுங்கணிகங்களில் கிரானு அமைப்பு இல்லாமல் வெறும் ஸ்ட்ரோமா படலங்கள் மட்டுமே காணப்படுகின்றன (படம் 8.9).

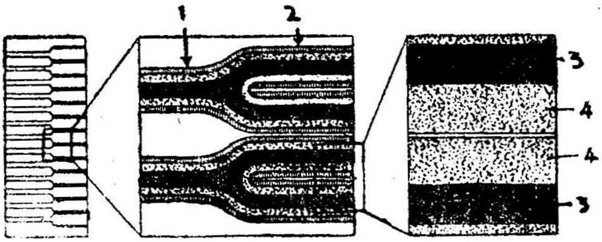
பசுங்கணிகத்தின் சவ்வுப் படலத்தில், உயிர் வேதிப் பொருள்கள் மிக ஒழுங்கான முறையில் அமைக்கப்பட்டதாகக் கருதப்படுகிறது. பச்சைய மூலக்கூறுகளும் இந்தச் சவ்வுப் படலங் களில்மட்டுமே அமைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஒளியின்மையால் வெளிரிப்போன பசுங்கணிகங்களில் சவ்வுப் படலங்களும் பச்சை யமும் காணப்படுவதில்லை. ஆனால் அவற்றினுள் மிக ஒழுங்கான வலைபோன்ற அமைப்புடைய புரோலேமெல்லார்பாடி (prolamellar body) என்ற அமைப்புக் காணப்படுகிறது. அப்படி வெளிரிய பசுங்கணிகங்களை ஒளியிலிட்டால், புரோலேமெல்லார்பாடியில் இருந்து சவ்வுப் படலங்களும், அதே சமயம் பச்சையத்தாலுண் டாக்கப்படும் பசுமை நிறமும் தோன்றுகின்றன படம் (8 10).



படம்: 8.10

பசுங்கணிகத்தின் புரோலேமெல்ல உறுப்பிலிருந்து லேமெல்ல வலையமைப்புப் படலம் தோன்றுதல், எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்.

ஸ்ட்ரோமாப் படலங்களின் சவ்வு, புரொட்டீனுக்கும், லிபிட் (lipid) அடுக்கும் மாறி மாறி அமைந்த நுண்ணமைப்பைக் கொண்டுள்ளது. கிரானுக்களில் சவ்வுப்படலம் இரு அடுக்குகளாக நெருங்கி இருப்பதால் பாஸ்போலிபிடு அடுக்கு இரட்டையாக நெருங்கி அமைகிறது. படம் (8.11). பச்சைய மூலக்கூறுகள் ஒற்றை வரிசையாக லிபிட் அடுக்குக்கும் புரோட்டீனடுக்குக்கும் இடையில் அமைந்திருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. தண்ணீரை ஏற்றுக்கொள்ளக்கூடிய தன்மையுடைய போர்ஃபைரின் வட்டத் தாலுநவான தலைப் பகுதி நீர்ப் படலத்திலும், தண்ணீரோடு சேராத தன்மையுடைய ஃபைட்டால் வால் பகுதி லிபிட் அடுக்கின்

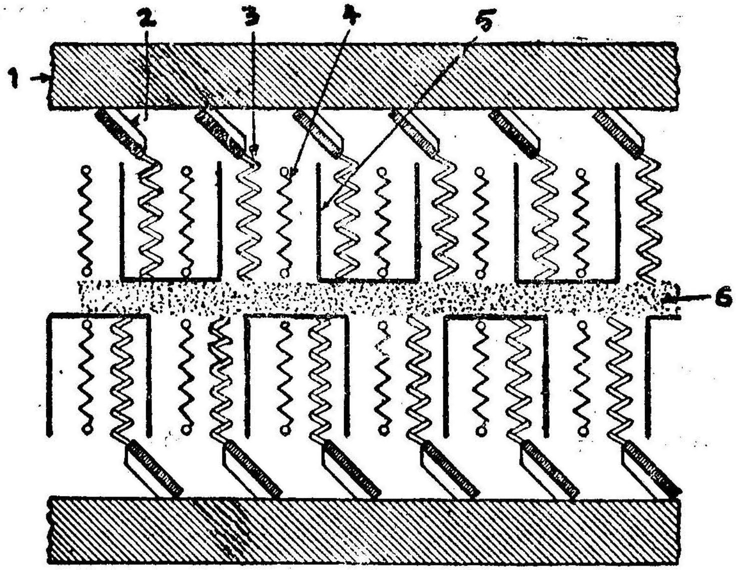



படம் 8.11-
பசுங்கணிகத்தின் லேமல்ல அமைப்பு.
1. கிரானு இடைசவ்வு; 2. கிரானு சவ்வு 3. புரொட்டீன்; 4. லிபிடு.

உள்ளும் அமைந்திருப்பதாக எண்ணப்படுகிறது. மற்றும் போர்ஃபைரின் தலைப் பகுதி சவ்வுப் படலத்தின் மேற்பரப்புக்கு 45° சாய்வாக இருக்கிறதென்றும், கரோட்டின் மூலக்கூறுகள் பச்சைய மூலக்கூறின் வால் பகுதிக்கிணையாக லிபிட் அடுக்கில் அமைந்திருப்பதாகச் சொல்லப்படுகிறது (படம் 8.12).

சவ்வுப் படலங்களின் மேற்பரப்பில் உருண்டை வடிவமான துகள்கள் போன்ற அமைப்புக் காணப்படுவதாகத் தெரிகிறது. பலவாறுகப் பரவியுள்ள இத் துகள்கள் 185Å நீளம், 155Å அகலம், 100Å தடிப்பு ஆகிய அளவுகளைக் கொண்டனவாகும். இத்துகளும் அதனோடு சேர்ந்த சவ்வும் சேர்ந்து ஒளிச்சேர்க்கையின் மிகச் சிறு அலகாகச் செயல்படலாமென்று பார்க், பான் (Park and Pon) என்பவர்கள் கருத்துத் தெரிவித்தார்கள். அதற்குக் குவான்டசோம் (quantasome) என்று பெயரிட்டார்கள். இவை இரு லிபிட் அடுக்குகளுக்கிடையில் அமைந்த உருண்டை வடிவத் துகள்களாகும் என்று அவர்கள் தெரிவித்தார்கள். ஆனால் சமீபக் காலத்தில் செய்யப்பட்ட சில ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, ஒளிச்சேர்க்கைக் கிரியை இந்தக் குவான்டசோம் துகள்களில்மட்டும் நடைபெறுவதில்லை. முழுச் சவ்வுப் படலமுமே ஒளிச்சேர்க்கையிலீடு

படுகிறது என்று தெரிய வந்துள்ளது. ஆகவே சவ்வுப் படலத்தி லமைந்துள்ள ஒளிச்சேர்க்கையலகு குவான்டசோமைவிடச் சிறியதாக இருக்கக்கூடுமென்றும் அல்லது அம் மிகச் சிறு அலகுகள் கொன்று நிலையுறுத்திப் பதப்படுத்தும்போது அழிந்து விடலாமென்றும் கருதப்படுகிறது. ஆனால் இப்போதுள்ள சான்று களிலிருந்து கால்வின் சுழல் கிரியையின் நொதிகள் ஸ்ட்ரோமா விலும், எலெக்ட்ரான் கடத்து நிறமிகள் கிரானுப் பகுதிகளிலும் அமைந்திருக்கின்றன என்று கருத இடமிருக்கிறது.




படம் 8: 12
பசுங்கணிக கிரானுப்பகுதியின் மூலக்கூறமைப்பு
1. புரொட்டீன்; 2. பச்சைய மூலக்கூறின் தலைப்பகுதி;
3. பச்சைய மூலக்கூறின் வால்ப்பகுதி; 4. கரோட்டினாய்டு
5. ஃபாஸ்போலிபிடு; 6. வேதிச் சேர்க்கை நீர்.

**பசுங்கணிக நூக்ளிக் அமிலம்**

சமீப காலத்தில் நவீன உத்திகளைக் கொண்டு செய்யப்பட்ட செல் ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து பசுங்கணிகங்களில் DNA, RNA ஆகிய நூக்ளிக் அமிலங்களிலிருப்பது கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளது. DNAயானது ஸ்ட்ரோமாப் பகுதியிலும், RNAயானது ரைபொ சோம்களிலும் காணப்படுகிறது. இவ்விரண்டு நூக்ளிக் அமிலங் களும் பாக்டீரிய வகையைச் சேர்ந்ததாகவுள்ளன.

பசுங்கணிகங்களில் காணப்படும் நூக்ளிக் அமிலங்களுக்கும் மைட்டொகான்றியங்களில் காணப்படும் நூக்ளிக் அமிலங்களுக்கும் சில ஒற்றுமை வேற்றுமைகளுள்ளன. பசுங்கணிகங்களின் DNA, மைட்டொகான்றியங்களிலிருப்பதைப்போல் வட்ட வடிவத்தைக் கொண்டிருப்பதில்லை. ஒரு பசுங்கணிகத்திலிருக்கும் DNA அளவு ஒரு மைட்டொகான்றியத்திலிருப்பதைவிட அதிகமாகும். புகையிலைத் தாவரத்தில் ஒரு பசுங்கணிகத்தில் இருக்கும் DNAயின் அளவு $47\times10^{-16}$ கிராம் என்று கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. மற்றும் இலையின் மொத்த DNAயில் பசுங்கணிகத்தில் மட்டும் சுமார் 9%DNA இருப்பதாகத் தெரிகிறது. பசுங்கணிக DNA அந்தச் செல்லின் நூக்ளியசினுடைய DNAயிலிருந்து நைட்ரஜன் கார விகிதங்களிலும் உருமீட்சித் திறனிலும் வேறுபடுகிறது. பொதுவாகப் பாசிகளின் பசுங்கணிக DNAயில் குவானின், சைடொசின் ஆகியவற்றின் அளவு அவற்றின் நூக்ளிய DNAயிலிருப்பதைவிடக் குறைவாகவும், உயர் தாவரங்களின் பசுங்கணிக DNAயின் குவானின், சைடொசின் அளவு அவற்றின் நூக்ளிய DNAயிலிருப்பதைவிட அதிகமாக இருப்பதாகத் தெரிகிறது. மற்றும் பசுங்கணிக DNAயைவிட அதிக உருமீட்சித் திறனை உடையதாகத்தெரிகிறது.

பசுங்கணிகங்களின் ஸ்ட்ரோமாவில் ரைபொசோம்கள் இருப்பதாகச் சொல்லப்பட்டது. பசுங்கணிக ரைபொசோம்கள், சைட்டொபிளாச ரைபொசோம்களைவிடச் சற்றுச் சிறியவையாக, பாக்டீரிய ரைபொசோம்களைப் போலுள்ளன. ஆனால் இவையும் சைட்டொபிளாச ரைபொசோம்களைப்போல் இரு அலகுகளைக் கொண்டனவாகும். பட்டாணி இளஞ்செடியின் பசுங்கணிக ரைபொசோம்கள் 62S அளவை உடையனவாகவும், 46S, 32S அளவுகளுள்ள அலகுகளாகப் பிரியக் கூடியனவாகவும் உள்ளன. ஆனால் அதே செடியின் சைட்டொபிளாச ரைபொசோம்கள் 76S அளவினதாகவும், 54S, 38S அளவுகளை உடைய அலகுகளாகப் பிரிபவையாகவும் உள்ளன. மற்றும் பசுங்கணிக ரைபொசோம்களின் RNA, அவற்றின் DNAவோடு ஓரளவு ஒப்புருக் கொண்டுள்ளன.

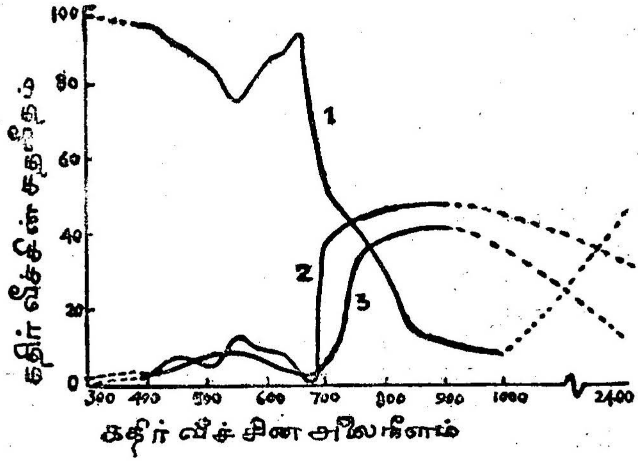
இலைகளிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்கள் DNA, RNA, புரொட்டீன்கள் ஆகியவற்றை உற்பத்தி செய்யக் கூடியனவாகும். எனவே, ஒளிச்சேர்க்கைச் சாதனத்தையல்லாமல், புரோட்டீன் தயாரிக்கும் சாதனத்தையும் பசுங்கணிகங்கள் பெற்றிருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனால், இச் சாதனம் ஒளியினால் ஊக்குவிக்கப்படுகிறது. பாக்டீரியங்கள், மைட்டொகான்றியங்கள் ஆகியவற்றின் ரைபொசோம்களைப்போலவே, பசுங்கணிக ரைபொசோம்

களும் குளோராம்ஃபெனிகால் (chloramphenicol) என்ற பொருளின் ஒரு குறிப்பிட்ட செறிவால் செயலற்றுவிடுகின்றன. ஆனால் அதே பொருளின் அதே செறிவு அதே செல்களின் சைட்டொபிளாசத்தின் ரைபொசோம்களைச் செயலறச் செய்வதில்லை.

மேற்சொல்லப்பட்டன போன்ற பல சான்றுகள் ஆதாரத்தால் மைட்டோகான்றியங்களும், பசுங்கணிகங்களும், யூகேர்ய (eukaryotic) செல்களோடு கூட்டுயிர் வாழ்க்கையிலீடுபட்டுள்ள புரோகேர்ய (prokaryotic) உயிர்களாக இருக்கலாமென்ற கருத்து தெரிவிக்கப்பட்டுள்ளது.

## பசுங்கணிக நிறமிகளின் ஒளியுறுஞ்சுந்தன்மை

இலைகளின் மேல் விழும் ஒளியில் சுமார் 80% உறிஞ்சப்படுகிறது; 10% பிரதிபலிக்கப்படுகிறது; 10% கடத்தப்படுகிறது. ஆனால் இம் மூன்று செயல்களுக்கும் இலக்காகும் ஒளியலை நீளங்கள் வெவ்வேறானவையாகும் (படம். 8.13). உறிஞ்சிக்கொள்ளப்படும் ஒளி



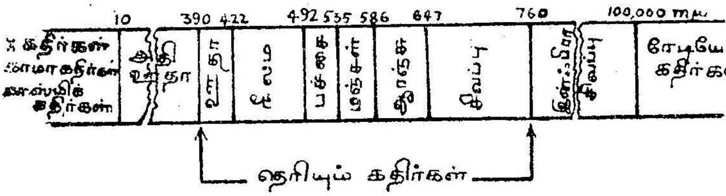

படம்: 8 13

பச்சைநிற இலைகளின்மேல் விழும் ஒளியலை நீளங்களின் கதி.
1. உறிஞ்சப்படுவது; 2. கடத்தப்படுவது; 3. பிரதிப்பலிக்கப்படுவது.

யின் ஒரு பகுதி வேதிமாற்றமான ஒளிச்சேர்க்கைக்குக் காரணமாகிறது. எனவே, இதை ஒளி வேதிச்செயல் எனலாம். பிரதிபலிக்கப்படும் ஒளியால் பயனேதுமில்லை. திருப்பிக் கடத்தப்படுவது ஃபுளோரசென்ஸ் (fluorescence) எனப்படும். உறிஞ்சப்பட்ட ஒளியில் ஒரு பகுதியே இவ்வாறு கடத்தப்படுகிறது. எனவே, ஒளி

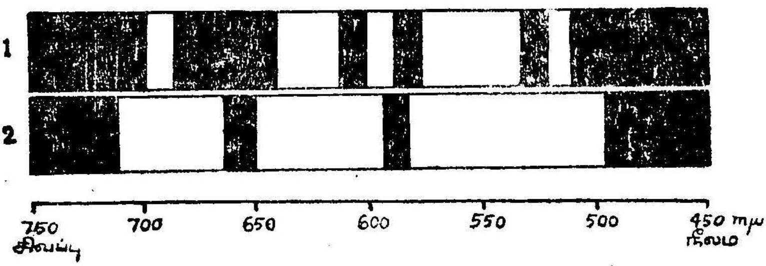
வேதிக்கிரியையின் வேகத்தைக் குறைத்தால், ஃபுளோரசென்ஸ் மூலம் வெளிவிடப்படும் ஒளியினளவு அதிகரிக்கிறது.

கதிர்வீச்சின் மொத்த வியாபகமும், அதில் கட்புலனாகும் ஒளிக் கதிர் வீச்சின் அலை நீளங்களும் படம் 8.14-ல் காட்டப்




படம். 8.14
மின்காந்த அலைகளின் மொத்த விபரம்.

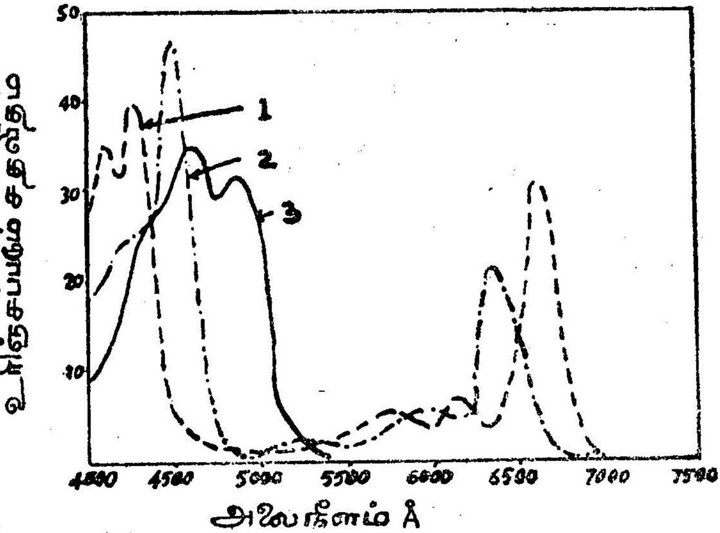
பட்டுள்ளது. அதில் பசுங்கணிகத்தால் உறிஞ்சிக்கொள்ளப்படும் அலைநீளங்கள் படம் 8.1ɔ-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து




படம்: 8.15
இலையின் மொத்த பச்சையமும், பச்சையம் a யும் உறிஞ்சும் மின் காந்த அலை நீளங்கள்.
1. இலையின் முழுப் பச்சையம்; 2. பச்சையம் a

ஒளிக்கதிரின் எல்லா அலைநீளங்களையும் பசுங்கணிகம் உறிஞ்சுவதில்லை என்று அறியலாம். படம் 8.16-ல் காட்டப்பட்டுள்ளபடி பச்சையமானது சிவப்பு, நீலம் ஆகிய ஒளிக்கதிர்களையும் கரோட்டின்கள் பச்சை ஒளிக்கதிர்களையும் உறிஞ்சுகின்றன. பச்சையம் a தான் ஒளிச்சேர்க்கையின் முக்கிய நிறமியாதலால், கரோட்டின்கள் மற்ற நிறமிகள் ஆகியவற்றால் உறிஞ்சப்படும் ஒளியாற்றலும், பச்சையம் a க்குக் கடத்தப்படுகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. நிறமிகளால் உறிஞ்சிக்கொள்ளப்படும் ஒளிக் கதிர்களின் தன்மை கீழ்க்காணும் பட்டியலில் குறிக்கப்பட்டுள்ளது.

| நிறமி | வேதிச்சூத்திரம் | நிறமியின் நிறம் | அதிகமாக உறிஞ்சப்படும் அலைநீளம் |
|---|---|---|---|
| பச்சையம் a | $C_{55}H_{725}N_4mg$ | பச்சை | 410+600mμ |
| பச்சையம் b | $C_{55}H_{70}O_6N_4mg$ | பச்சை | 452+642mμ |
| கரோட்டின் | $C_{46}+H_{56}$ | ஆரஞ்சு | 449+478mμ |
| சேந்தோஃபில் | $C_{40}H_5O_{62}$ | மஞ்சள் | 440+490mμ |




படம் 8.16

பச்சைய நிறமிகள் உறிஞ்சும் மின்காந்த அலை நீளங்கள்

1. பச்சையம் a, 2. பச்சையம் b; 3. β கரோட்டின்.

## ஒளிச்சேர்க்கையின் சூக்குமம்

ஒளிச்சேர்க்கையானது ஒளிக் கிரியைகள், இருட்கிரியைகள் என இரண்டு கிரியைத் தொகுதிகளைக் கொண்டதென்று பல ஆண்டுகளுக்கு முன்பே அறியப்பட்டது. இவற்றில் ஒளிக்கிரியைத் தொகுதியை நடைபெறச் செய்யும் முக்கியக்காரணி ஒளியாதலால் இஃது ஒளியின்றி நடைபெற முடியாது. எனவே, இஃது ஒளி வேதிக்கிரியை என்றும் சொல்லப்படுகிறது. ஆனால், இருட்கிரியைகள் ஒளியைப் பொறுத்ததல்ல. ஒளி இருந்தாலும் இல்லாவிட்டாலும் நடைபெறக் கூடியன. ஆனால், ஒளிக் கிரியையிலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலே இருட்கிரியைகள் நடைபெற ஏதுவாகிறது. எனவே, ஒளிக் கிரியை நடைபெறாமல் இருட்கிரியை நீண்ட நேரம்

தொடர்ந்து நடைபெற முடியாது. இருட்கிரியைத் தொடரை முதன் முதலில் கண்டறிந்தவர் பிளாக்மேன் (Blackman) என்பவராதலால் இது பிளாக்மேன் கிரியைகள் என்றும் சொல்லப்படும்.

சுருக்கமாகச் சொன்னால், ஒளிக் கிரியைகளில் ஒளியின் ஆற்றலை ஈடுபடுத்தி, உயிர்களின் வேதி ஆற்றல் சேமிப்புப் பொருள்களாகிய NADPH, ATP ஆகியவை உண்டாக்கப்படுகின்றன. இருட்கிரியைகளில் இவற்றின் வேதி ஆற்றலை ஈடுபடுத்திக் கார்பன்டைஆக்சைடானது கார்போஹைட்ரேட்டாக நீக்கரிக்கப்படுகிறது. அதாவது NADPH, ATP ஆகியவற்றின் வேதி ஆற்றல் கார்போஹைட்ரேட்டுகளுக்கு மாற்றப்படுகிறது. NADPH, ATP ஆகியவற்றின் ஆற்றல் நேரடியாக வேதிக் கிரியைகளை நடைபெறச் செய்யக்கூடியவை. ஆனால், கார்போஹைட்ரேட்டுகளின் ஆற்றல் நேரடியாக வேதிக்கிரியைகளுக்குப் பயன்படாது. முன் அத்தியாயத்தில் சொல்லப்பட்டப்படி உயிர்ப்புக் கிரியைகளினால் மீண்டும் NADPH, ATP ஆகியவற்றுக்கு மாற்றப்பட்டே வேதிக்கிரியைகளுக்குப் பயன்படும். NADPH, ATP ஆகியவற்றைவிடப் பல கார்போஹைட்ரேட் மூலக்கூறுகள் சிறியவையானாலும், ஒரு கார்போஹைட்ரேட் மூலக்கூறு பல ATP NADPH மூலக்கூறுகளில் அடங்கிய ஆற்றலைக்கொண்டதாகும். எனவே, அதிக ஆற்றலைச் சிறிய மூலக்கூறில் சேர்த்து வைத்து வெவ்வேறு இடங்களுக்கு எளிதில் பரிமாறிக் கொள்ளுவதற்கேற்ற சாதனங்களாகக் கார்போஹைட்ரேட்டுகள் பயன்படுகின்றனவென்று சொல்லலாம்.

இருட்கிரியைகளின் விவரங்கள் ஏறக்குறைய முழுமையாக அறியப்பட்டுள்ளன. ஆனால் ஒளிக் கிரியைகளின் விவரங்கள் இன்னும் முழுமையாக அறியப்படவில்லை. முக்கியமாக ஒளிச்சேர்க்கையில் ஆக்ஸிஜன் வாயு எவ்வாறு வெளிப்படுகிறதென்பதும், ஒளியாற்றல் எப்படி வேதியாற்றலாக மாற்றப்படுகிறதென்றும் துல்லியமாகத் தெரியவில்லை. பசுங்கணிகத்தில் ஒளிக் கிரியைகள் சவ்வுப் படலங்களிலும், இருட்கிரியைகள் ஸ்ட்ரோமா பகுதியிலும் நடைபெறுவதாகத் தெரிந்தாலும், உலகின் மற்றெங்கும் நடைபெறாத ஒளிக் கிரியைகள் நடைபெறும் வண்ணம் பசுங்கணிகச் சவ்வுப் படலம் பெற்றுள்ள சிக்கலான அமைப்பு என்னவென்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. எனவே, இவற்றைப் பற்றிய ஆய்வுகள் இன்று தீவிரமாக நடத்தப்படுகின்றன. இக் கிரியைகளைப்பற்றி இன்று நாமறிந்துள்ள விவரங்களை இனிப் பார்ப்போம்.

**ஒளிக்கிரியைகள்**

ஒளிச்சேர்க்கைக்கும் ஒளிக்கிரியைகளுக்கும் மையமான பிரச்சினை தண்ணீர் போன்ற எலெக்ட்ரான் ஈயும் பொருளிலிருந்து எலெக்ட்ரான் ஏற்கும் பொருளான NADP போன்ற பொருளுக்கு ஒளியாற்றலால் எவ்வாறு ஹைட்ரஜன் அணுக்கள் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன என்பதேயாகும். $NADPH_2$ போன்ற நீக்கரிக் கப்பட்ட பொருளை உற்பத்தி செய்துவிட்டால், அதிலிருந்து உயர் ஆக்சீ நீக்கரணத்தன்மையுடைய பொருள்களுக்கு எலெக்ட் ரான்களைச் செலுத்துவதன்மூலம் அதிலுள்ள ஆற்றல் உயிர்ப்புக் கிரியைகளில் நடப்பதுபோல், ATP உற்பத்தி செய்யப் பயன்பட லாம். எனவே, உயர் நீக்கரணமடைந்த ஒரு பொருளைத் தோற்று விப்பதே முதல் தேவையாகும்.

ஹைட்ரஜனும் ஆக்சிஜனும் சேர்ந்த பொருளான தண்ணீரின் ஆச்சீ நீக்கரண மட்டம் அதாவது $H_2+O=H_2O$ என்றகிரியையின் ஆக்சீநீக்கரண மட்டம் சுமார் +0.820 வோல்ட்களாகும். $NADP_2^{-}+H_2^{+}=NADPH_2$ என்ற கிரியையின் ஆக்சீநீக்கரண மட்டம் —0.320 வோல்ட்களாகும். எனவே, தகுந்த கிரியாவூக்கிக ளிருக்குமாயின் நீக்கரிக்கப்பட்ட NADPயிலிருந்து ஆக்சிஜனுக்கு ஹைட்ரஜன் எளிதாகச் செல்லும். இதுதான் உயிர்ப்பில் நடை பெறுகிறது. ஆனால் இதற்கு எதிர்மாருகத் தண்ணீரிலிருந்து NADPக்குஹைட்ரஜனைச் செலுத்த வேண்டுமென்ருல், தண்ணீரை ஆக்சீகரிக்கத்தக்க உயர் ஆக்சீகரணமட்டமுடைய ஒருபொருளும் NADPஐ நீக்கரிக்கத்தக்கத் தாழ் ஆக்சீகரணமட்டமுடைய ஒரு பொருளும் ஆக இரண்டு பொருள்கள் தேவை. மற்றும் இவ் விரண்டு பொருள்களும் ஒன்றுக்கொன்று நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டிருக்க வேண்டும். ஏனென்ருல், ஒரு பொருள் ஒரு எலெக்ட்ரானைப் பெற்று நீக்கரணமடைய வேண்டுமென்ருல் மற்ரெரு பொருள் ஓர் எலெக்ட்ரானை இழந்து நீக்கரிக்கப்பட வேண்டும். ஆகவே, ஒளியின் செயல் என்னவென்ருல், ஆக்சீ நீக்கரணக்கிரியையால் ஒரு பொருளுக்கு எலெக்ட்ரான்களை ஏற்றி அப்பொருள் உயர் நீக்கரணத் தன்மையடையவும், மற்ரெரு பொருளிலிருந்து எலெக்ட்ரானை அகற்றி அஃது உயர் ஆக்சீகரணத் தன்மையையும் செய்வதேயாகும். பச்சையத்தால் உறிஞ்சப் படும் ஒளியாற்றல் இவற்றை எப்படிச் செய்கிறது என்பதே கேள்வி யாகும்.

மேற்சொன்ன கேள்விக்கு இன்னும் முழுமையான விடை கண்டுபிடிக்கப்படவில்லை. எனவே, ஒளிக் கிரியைகளின் பொது

வான நிகழ்ச்சியை விவரிக்கலாமேயன்றி அதில் ஈடுபடும் பொருள்களின் வரிசை முறையைத் துல்லியமாகச் சொல்ல முடியாது.

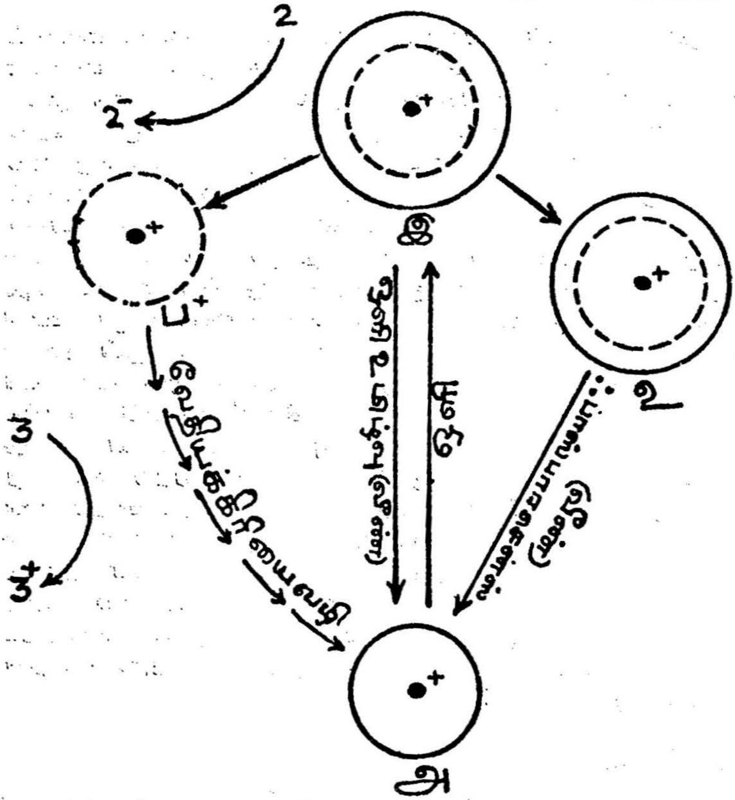
**எலெக்ட்ரான் கிளர்ப்பு**

ஒரு ஃபோட்டானை ஏற்றுக் கிளர்த்தப்படும் பச்சைய எலெக்ட்ரான் இரு விதங்களில் செயற்படலாம். ஒன்று அது பச்சைய மூலக்கூறை விட்டு வெளியேறி அருகிலிருக்கும் மற்றொரு மூலக் கூறால் ஏற்றுக்கொள்ளப்படலாம். இரண்டு, அதே மூலக்கூறில் வேறொரு சஞ்சாரத்தை அடைவதால் அது முன்பிருந்த சஞ்சாரத்தில் வெறுமை (hole) ஏற்பட்டு, அந்த இடத்தில் அருகிலிருக்கும் மற்றொரு பொருளின் மூலக்கூறிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரான் உறிஞ்சிக்கொள்ளப்படலாம். முதல் நிகழ்ச்சியில் பச்சைய மூலக் கூறு ஓர் எகலக்ட்ரானை இழப்பதால் ஆக்சீகரணமடைகிறது. இரண்டாவது நிகழ்ச்சியில் பச்சைய மூலக்கூறு ஓர் உபரி எலெக்ட்ரானைப் பெருவதால் நீக்கரணமடைகிறது. இவ்விரண்டு நிலைகளும் நிலையற்றதாகையால், எலெக்ட்ரானை இழத்த மூலக்கூறு உயர் நீக்கரணமட்டத்தையும், உபரி எலெக்ட்ரானைப் பெற்றமூலக் கூறு உயர் ஆக்சீகரண மட்டத்தையும் அடைகின்றன. அதே போல் பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து எலெக்ட்ரானை ஏற்ற மூலக்கூறு உயர் ஆக்சீகரண மட்டத்தையும், ஈந்த மூலக்கூறு உயர் நீக்கரண மட்டத்தையும் அடைகின்றன. இதனுல் நேரடியாகவோ மறைமுகமாகவோ தண்ணீர் மூலக்கூறுனது எலெக்ட்ரானை இழந்து ஆக்சீகரணத்தையும், NADP மூலக்கூறு எலெக்ட்ரானைப் பெற்று நீக்கரணத்தையும் அடைகின்றன. இதனுல் கிளர்ச்சியுற்றப் பச்சைய மூலக்கூறுகள் மீண்டும் இயல்பு நிலையை அடைகின்றன (படம் 8.17).

**ஹில் கிரியை**

மேற்சொன்ன இரண்டு செயல்களில் தண்ணீர் மூலக்கூறு எலெக்ட்ரானை இழந்து முடிவில் ஆக்சிஜனை வெளிவிடும் செயலைப் பற்றி நாம் இன்னும் நன்ருக அறிந்துகொள்ளவில்லை. ஒளிச் சேர்க்கையில் வெளிவிடப்படும் ஆக்சிஜன் வாயு, கார்பன்டை ஆக்சைடில் அடங்கியதென்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனுல் அதன் பிறகு செய்யப்பட்ட பரிசோதனைகளிலிருந்து ஒளிச் சேர்க்கையில் வெளிப்படும் ஆக்சிஜன் தண்ணீரிலிருந்தே வருகிறதென்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மற்றும் ஹில் (Hill) என்பவர் செய்த சோதனைகளிலிருந்து, ஒளிச்சேர்க்கையின் மற்றக் கிரியைகளின் சம்பந்தமும் தொடர்பும் இல்லாமலே ஆக்சிஜன்

வெளிப்படும் கிரியை நடைபெறலாமென்று தெரிய வந்தது. இலையிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்டு, அதனால் முழு ஒளிச்சேர்க்கை யையும் நடத்தக்கூடாத, பசுங்கணிகங்களைக் கொண்ட தண்ணீரில் ஃபெர்ரிசயனைடு (ferricyanide) போன்ற எலெக்ட்




படம்: 8.17

பச்சையத்திலிருந்து ஒளியாற்றலால் கிளர்த்தப்படும் எலெக்ட்ரான் செயல்கள்.

2. எலெக்ட்ரான் ஏற்பி; 3. எலெக்ட்ரான் ஈவது, அ-பச்சைய மூலக்கூறின் இயல்புநிலை; இ-முதல் கிளர்ச்சிநிலை; உ-மெட்டாஸ்டேபிள் டிரிப்லெட் நிலை; ப-பச்சையம்.

ரான் ஏற்கும் பொருளைக் கரைத்து ஒளியைப் பாய்ச்சினால் ஆக் சிஜன் வெளிப்படுகிறது. இது ஹில் கிரியை என்று குறிப்பிடப்படு கிறது. இதிலிருந்து தெரிவதுயாதெனில், ஒளிச்சேர்க்கையின் மற்ற நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறாமலே பசுங்கணிகங்கள் ஒளியாற்றலைப்

பயன்படுத்தித் தண்ணீர் மூலக்கூறிலிருந்து வேறு எலெக்ட்ரான் ஏற்கும் பொருளுக்கு எலெக்ட்ரானை மாற்றக்கூடும் என்பதாகும். இதில் பச்சைய, தண்ணீர் மூலக்கூறுகளிடையே நேரடியான கிரியை நடைபெறுகிறதா இல்லையா என்பது தெரியவில்லை. ஆனால் ஆக்சிஜன் வெளிப்படுவதற்கு மேங்கனீஸ் அயனி ($mn^{2+}$) அவசியம் என்று தெரிகிறது. ஆகவே, தண்ணீர் மூலக்கூறு முதலில் ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடு ($H_2O_2$) மூலக்கூறாக மாற்றப் பட்டு, இம்மூலக்கூறு மேங்கனீஸ் ஏற்கும் நொதியின் ஈடுபாட்டால் தண்ணீர் மூலக்கூறாகவும், ஆக்சிஜன் மூலக்கூறாகவும் பிரிகிற தென்று சிலரால் கருதப்படுகிறது.

**எலெக்ட்ரான் செலவு வகைகள்**

இலையிலிருந்து பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பசுங்கணிகங்கள், மேற் சொன்னபடி ஆக்சிஜனை வெளிப்படுத்துவதைத் தவிர, சில சூழ்நிலைகளில் ADPயோடு பாஸ்பேட்டைச் சேர்த்து ATPயை உண்டாக்கக் கூடும் என்று 1954-ல் அர்னன் (Arnon) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. இதில் பச்சைய மூலககூறில் ஒளியாற் றலால் கிளர்த்தப்படும் எலக்ட்ரான் ஹில் கிரியையில் செய லாற்றும் வழியல்லாத வேறு வழியில் செயலாற்றுகிறதென்றே சொல்ல வேண்டும்.

எப்படியாயினும் மேற்சொன்ன இரு கிரியைகளிலும் பச்சைய மூலக்கூறில் கிளர்த்தப்படும் எலெக்ட்ரான் விரைவில் இயல்பு நிலையை அடைகிறது. ஹில் கிரியையில் பச்சைய மூலக்கூறி லிருந்து வெளியேறிய எலெக்ட்ரான் வேறு பொருளுக்குச் சென்று விடுவதால் அது மீண்டும் பச்சைய மூலக்கூறுக்குத் திரும்புவ தில்லை. அதற்குப் பதிலாக அந்தப் பச்சைய மூலக்கூறு, தண்ணீர் மூலக்கூறிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானை எடுத்துக்கொண்டு இயல்பு நிலையை அடைகிறது. எனவே, இதில் ஒளியாற்றலானது, பச்சைய மூலக்கூறின் எலெக்ட்ரானை ஏற்கும் பொருளைச் சென் றடைவதாகச் சொல்லலாம். மற்றும் இதில் பச்சைய மூலக்கூறு இயல்புநிலையடைவதற்காகப் பெறும் எலெக்ட்ரான் அதிலிருந்து கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரானல்லாத வேறு (தண்ணீரின்) எலெக்ட்ரானாகும். எனவே, மொத்தத்தில் இக் கிரியையில் பச்சை யத்திலிருந்து வேறு பொருளுக்கும், தண்ணீரிலிருந்து பச்சையத் துக்கும் ஒருவழிச் செலவாக எலெக்ட்ரான்கள் செலுத்தப்படு கின்றன. அதனால், இது சுழலல்லா எலெக்ட்ரான் செலவு (non-cyclic electron transport) என்று சொல்லப்படுகிறது.

ATP உற்பத்தி செய்யும் கிரியையில் பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான் மீண்டும் பச்சைய மூலக்கூறையே அடைகிறது. ஆகவே, இது சுழல் எலெக்ட்ரான் செலவு (cyclic electron transport) எனப்படுகிறது. இதில் பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து கிளர்த்தப்பட்ட எலெக்ட்ரான், உயிர்ப்பில் நடைபெறுவது போல், எலெக்ட்ரான் கடத்தும் சைட்டொகுரோம் தொடர்வழியாகச் சென்று மீண்டும் பச்சைய மூலக்கூறை அடைவதாகத் தெரிகிறது. அப்போது உயிர்ப்பில் நடைபெறுவது போலவே எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் ATPயை உற்பத்தி செய்யப் பயன்படுகிறது. இதற்கு ஆதாரமாகப் பசுங்கணிகத்தில் சைட்டொகுரோம் தொடரும் அமைந்திருப்பது தெரியவந்துள்ளது. சுழல் எலெக்ட்ரான் செலவின்போது ADPயானது, ATPயாகப் பாஸ்பரீகரணமடைவதால் இது சுழல் பாஸ்பரீகரணமென்றும் குறிப்பிடப் படுகிறது.

சுழற்செலவு எலெக்ட்ரானின் ஆற்றல் ATPயை உற்பத்தி செய்வதுபோல், சுழலல்லாச் செலவு எலெக்ட்ரான் முடிவில் NADPயை அடைந்து அதை $NADPH_2$ நீக்கரிக்கிறதென்று தெரிகிறது. $NADPH_2$ வில் இருந்து எலெக்ட்ரான்கள் சைட்டொகுரோம் தொடர் வழியாகச் செலுத்தப்பட்டு ATPயை உண்டாக்கவோ, வேறு பணிகளுக்கோ பயன்படுத்தப்படலாம்.

சுழலல்லாச் செலவு, சுழற்செலவு ஆகிய இரண்டிலுமே பச்சையத்திலிருந்து ஒளியாற்றலால் எலெக்ட்ரான் கிளர்த்தப்படுகிறது. இதனால் நிலையற்ற நிலையை அடையும் பச்சைய மூலக்கூறு மீண்டும் இயல்பு நிலையை அடைவதற்கு அதே எலெக்ட்ரானோ வேறோர் எலெக்ட்ரானோ பச்சையத்தை அடைகிறது. அப்போது எலெக்ட்ரான் ஆற்றல் $NADPH_2$, ATP ஆகிய பொருள்களை உற்பத்தி செய்யப் பயன்படுகிறது இவ்வாறு இரு வேறுபட்ட செயல்களில் பச்சைய மூலக்கூறின் எலெக்ட்ரான்கள் ஈடுபடுவதெப்படி என்ற கேள்வி எழுகிறது.

இக் கேள்விக்கு விடை காணுவதற்காகப் பல ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. முக்கியமாக, இவ்விரண்டு செயல்களுக்கும் வெவ்வேறளவான ஆற்றல் தேவைப்படுமென்பதைக் கருத்தில் கொண்டு ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டன. ஒருவிதமான பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து ஓர் அளவான ஒளியாற்றலால் இரண்டு வெவ்வேறு செயல்களைச்செய்யும் இரு வேறு ஆற்றலுடன் எலெக்ட்ரான் கிளர்த்தப்படுவது சாத்தியமில்லை. ஆகவே இருவேறு தன்மையான பச்சைய மூலக்கூறுகளும், இரு வேறு ஆற்றலுள்ள ஒளிக்

கதிர்களும் ஈடுபடுகின்றன என்று அனுமானிக்க வேண்டிய தாயிற்று.

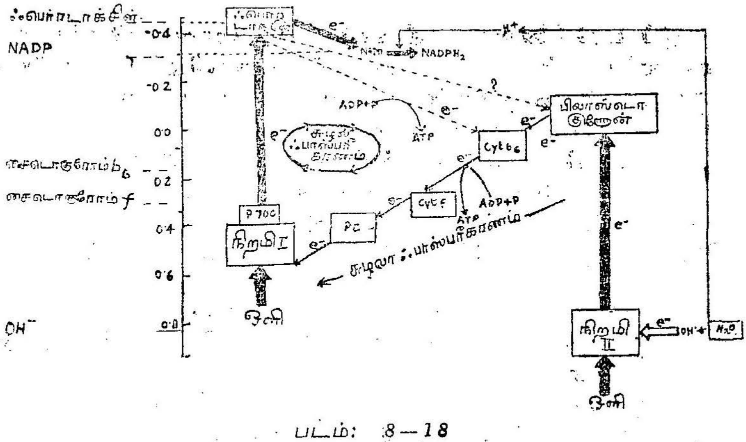
**எமர்சன் விளைவு**

இதுபற்றி ராபர்ட் எமெர்சன் (Robert Emerson) என்பவர் செய்த ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து வெவ்வேறு அலைநீள ஒளிக்கதிர் களில் ஒளிச் சேர்க்கையின் வேகம் ஏற்படுகிறதென்றும், இரு குறிப்பிட்ட சிவப்பு அலைநீளங்களை ஒரே சமயத்திலோ வேக மாக மாற்றி மாற்றியோ கொடுப்பதால் ஒளிச்சேர்க்கையின் வேகம் மிக அதிகரிக்கிறதென்றும் கண்டார். இஃது எமர்சன் விளைவு (Emerson effect) என்று சொல்லப்படும். மற்றும் சுழலா எலெக்ட்ரான் செல்லில் நடைபெறும் $NADP$, $H_2O$ ஆகியவற்றின் ஆக்சீநீக்கரணத்துக்குத் தேவையான மின்னழுத்த மட்டத்தைத் துல்லியமாகக் கணக்கிடும்போது சுமார் 2.5 வோல்ட் டுகள் அல்லது ஒரு மோலுக்கு 58 கிலோ கலோரி ஆற்றல் அவசிய மென்று தெரிகிறது. ஆனால் சிவப்பு அலைநீளத்தில் 45 கிலோ கலோரி ஆற்றலுக்கு மேலில்லையாகையால் ஒரே ஒரு ஃபோட்டா னால் இது நிகழ முடியாது என்று தெரிகிறது.

இப் பிரச்சினையைத் தீர்க்கப் பலவிதமான விளக்கங்கள் சொல்லப்படுகின்றன. எல்லா விளக்கங்களிலும் இரண்டு ஃபோட்டான்களும், இரண்டு விதமான பச்சைய மூலக்கூறுகளும் ஒன்றுக்கொன்று அனுசரணையாகச் செயல்படுவதாகக் கருதப்படு கிறது. ஒரு ஃபோட்டான் பச்சைய மூலக்கூறிலிருந்து நீக்கரிப் பொருளுக்கு எலெக்ட்ரானைச் செலுத்துவதாகவும், அதனால் ஆக்சீ கரிக்கப்பட்ட பச்சைய மூலக்கூறு +0.4 வோல்ட் மின்னழுத்த மட்டத்தையும், நீக்கரிக்கப்பட்டபொருள் —1.0 வோல்ட் மட்டத் தையும் அடைவதாகக் கருதப்படுகிறது. அதே சமயத்தில் மற்றொரு ஃபோட்டான் வேறொரு பச்சைய மூலக்கூறினால் உறிஞ்ச பட்டு, அதனால் அது வேறோர் ஆக்சீகரிப் பொருளிலிருந்து ஓர் எலெக்ட்ரானை எடுத்துக்கொள்ளுவதாகவும் கருதப்படுகிறது. சிலர் இவ்விரண்டிலும் ஈடுபடுவது வெவ்வேறு விதங்களில் அமைந்த ஒரே மாதிரியான பச்சைய மூலக்கூறேயென்றும், மற்ற வர்கள் அவை வேதியமைப்பில் வேறுபடும் இரண்டு விதமான பச்சைய மூலக்கூறுகளென்றும் கருதுகிறார்கள் எப்படியாயினும் 7000Å அலைநீளக் கதிரின் ஃபோட்டான்கள் NADPயை நீக்கரித்து NADPHஐத் தோற்றுவிக்க மட்டும் கூடுமன்றித் தண்ணீரை ஆக்சீ கரித்து ஆக்சிஜனை வெளிப்படுத்த முடியாதென்றும், அதைவிடக் குறைந்த, சுமார் 6700Å அலைநீளமுடைய ஒளிக்கதிர்களின் ஃபோட்டான்களே இவ்விரண்டு செயல்களையும் செய்யக் கூடியன

வென்றும் தெரிய வந்துள்ளது. முன் கிரியையிலீடுபடுவது நிறமித் தொகுதி I (pigment system I) என்றும், பின் கிரியையிலீடுபடுவது நிறமித் தொகுதி II (pigment system II) என்றும் குறிக்கப்படுகின்றன. அதாவது நிறமித் தொகுதி I, 6800Åக்கும் அதிக அலைநீளக்கதிர்களையும், நிறமித் தொகுதி II, 6800Åக்கும் குறைவான அலைநீளக் கதிர்களையும் உறிஞ்சிச் செயல்படுகின்றன. பட்லர் (Butler) என்பவர் 1966ல் 6730 அலைநீளத்தை உறிஞ்சக் கூடிய பச்சையம் a (பச்சையம் a 673) 6830Å அலைநீளத்தை உறிஞ்சக் கூடிய பச்சையம் a (பச்சையம் a 683) ஆகிய இரண்டு பச்சைய a மூலக்கூறுகளிருப்பதாகக் கண்டுபிடித்தார். கிளேடன் (Clayton) என்பவர் 1966ல், 7000Å அலைநீளத்தை உறிஞ்சக் கூடிய மற்றொரு பச்சையம் a இருப்பதாகக் கண்டுபிடித்தார். இது P700 என்று குறிப்பிடப்படுகிறது.

**ஒளிச்சேர்க்கை அலகுகள்:** 1964ல், பார்க் பிக்கின்ஸ் (park and Biggins) என்பவர்கள், பசுங்கணிகப் படலங்களிலிருந்து தட்டுகள் போன்ற அலகுகளைப் பிரித்தெடுத்தார்கள். அவற்றிற்குக் குவான்டசோம்கள் (quantasomes) என்னும் பெயரிட்டு, அவையே



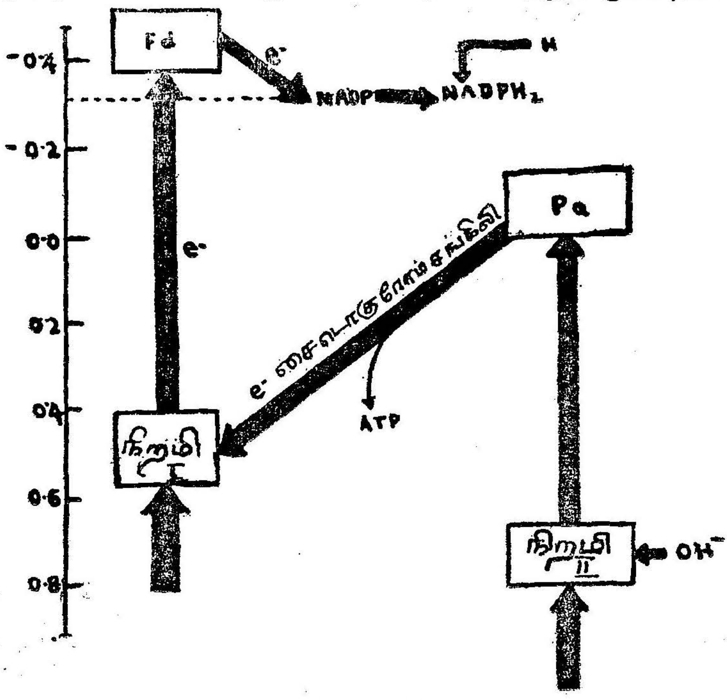

படம்: 8—18

*பசுங்கணிகத்தில் நடைபெறும் ஒளிவேதிக்கிரியைகளின் விவரங்கள்.*

ஒளிச்சேர்க்கை அலகுகள் என்ற கருத்தைத் தெரிவித்தார்கள். ஒவ்வோர் அலகிலும் சுமார் 230 பச்சைய மூலக்கூறுகளும், மற்ற நிறமிகளும் அமைந்திருப்பதாகவும் இவற்றில் ஒரு சில (ஒன்று அல்லது இரண்டு) மட்டுமே நிறமி I-ம் மற்றவையெல்லாம் நிறமி II-ம் ஆகுமென்றும் கருதப்படுகிறது. நிறமி II மூலக்கூறுகள் ஒளியை உறிஞ்சி, கிரியைக்கேந்திரமாக உள்ள நிறமி Iக்கு

எலெக்ட்ரான்களைச் செலுத்துகின்றன. நிறமி-Iல் ஒளிக் கிரியைகள் நடைபெற்று NADPH, ATP, ஆகியவற்றின் உற்பத்தியும், ஆக்சிஜன் வெளிப்பாடும் நிகழ்கின்றன என்று கருதப்படுகிறது. (படம் 8 18) ஆயினும், இன்னும் இக் கருத்துகள் ஐயத்துக்கிடமின்றி நிரூபிக்கப்படவில்லை.

மேற்சொல்லப்பட்ட ஒளிக்கிரியை நிகழ்ச்சிகளும், அவற்றில் ஈடுபடும் பொருள்களும், அவற்றின் மின்னழுத்த மட்டமும் படம் 8.19-ல் குறிக்கப்பட்டுள்ளன. மேலும் இவற்றைப்பற்றித் தெளிவாக அறிந்துகொள்ளப் பல ஆராய்ச்சிகள் நடைபெற்று வருகின்றன.



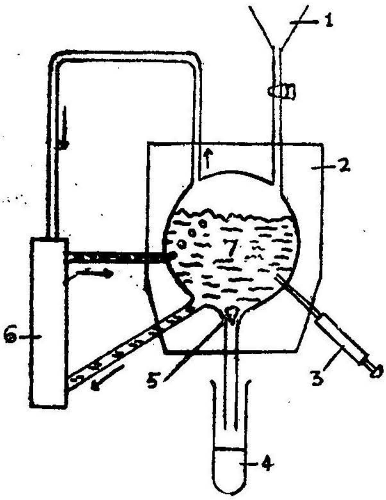

படம்: 8.19

நிறமித் தொகுதி I. நிறமித் தொகுதி II. ஆகியவற்றின் மூலம் பசுங்கணிகத்தில் ஒளியாற்றலால் நடைபெறும் எலெக்ட்ரான் செலவு.

**இருட்கிரியைகளும் கார்பன்டை ஆக்சைடு நிலைக் கூர்வும் (Dark reactions and fixation of $CO_2$)**

ஒளிக் கிரியையின் முழு விவரங்களும் இன்னமும் தெளிவாக அறியப்படவில்லையென்றாலும், இருட்கிரியைகளின் முழு விபரங்

களும் ஏறக்குறைய முழுமையாக அறியப்பட்டுள்ளன. இருட்கிரியையின் முக்கிய நிகழ்ச்சியாதெனின், ஒளிக்கிரியையில் உற்பத்தி செய்யப்பட்ட ATP, NADPH ஆகியவற்றைக்கொண்டு கார்பன்டைஆக்சைடானது கார்போஹைட்ரேட்டாக நீக்கரிக்கப்படுவதேயாகும். இதில் கார்பன்டை ஆக்சைடை முதன் முதலில் ஏற்றுக்கொள்ளும் பொருள் என்ன? அதன் பிறகு கார்போஹைட்ரேட்டாக எப்படி மாற்றப்படுகிறது? NADPH, ATP ஆகியவை எத்தருணத்தில் செயல்படுகின்றன? என்பவையே முக்கிய பிரச்சினைகளாகும். இவைபற்றிய பல பழைய கருத்துகளை நீக்கி உண்மையை உணருவதற்கு உதவியவர்களில் கால்வின், பென்சன் (Calvin and Benson) ஆகியவர்கள் தலைசிறந்தவர்




படம்: 8.20

பாசிகளில் ஒளிச்சேர்க்கைப் போக்கை அறிவதற்காகப் பயன்படும் கருவி

1. பாசியை உள்ளிடுவதற்கான கூம்பு; 2. தட்டையான பக்கங்களையுடைய ஒளியேற்றப்படும் குப்பி; 3. கார்போனிக் அமிலச்செலுத்தி; 4. மெத்தனால்; 5. கட்டுப்படுத்தும் வால்வு; 6. திரவங்களைச் சுழல வைக்கும் பம்ப்.

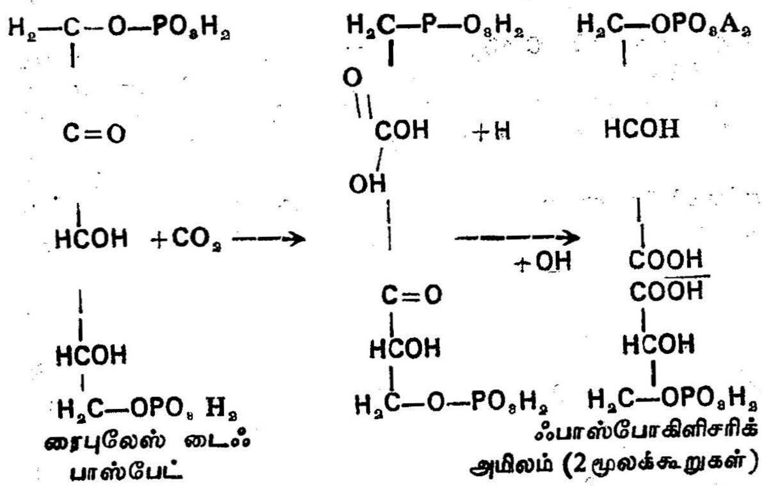
களாவார்கள். இவர்கள் $C^{14}$ எனப்படும் கதிர்வீசும் கார்பன் ஐசொடோப்பைக் (radioactive $C^{14}$ isotope of carbon) கொண்ட கார்பன்டை ஆக்சைடைப் பயன்படுத்தி அதன் கார்பன் மூலக்கூறு சென்றடையும் பொருள்களின் வரிசையைப் பேப்பர்குரொமட்டாகிரபி (paper chromatography)யின் உதவியால் கண்டறிந்தார்கள். இதற்கு இவர்கள் ஒற்றைச் செல்லுயிரியான குளோரெல்லா (Chlorella) என்னும் பாசியைப் பயன்படுத்தினார்கள்.

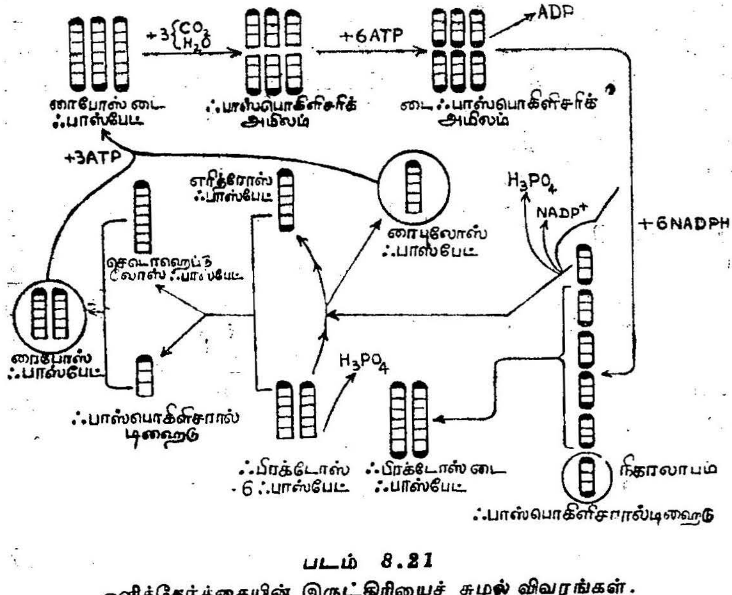
இது வாழும் நீரில் $C^{14}O_2$வை செலுத்திய பிறகு வினாடிக்குவினாடி அவற்றில் சிலவற்றைக் கொன்று அவற்றிலுற்பத்தியான பொருள்களைக் கரைத்தெடுத்துப் பேப்பர் குரோமட்டாகிரபி மூலம் பகுத்தறிந்தார்கள் (படம் 8.20). இவ்வாறுகக் கதிர்வீச்சு கார்பன்டை ஆக்சைடின் கார்பன் முதலில் எப் பொருளை அடைகிறது? பிறகு எப்படிச் செல்லுகிறது?என்று அறிந்தார்கள். இதுபற்றிக் கால்வின் ஆற்றிய சிறந்த பணிக்காக அவருக்கு 1961ஆம் ஆண்டு நோபெல் பரிசு வழங்கப்பட்டது.

வெளியிலிருந்து எடுத்துக்கொள்ளப்படும் கார்பன் டை ஆக்சைடு முதன் முதலில் மூன்று கார்பன் பொருளான ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலத்தில் காணப்படுகிறது. ஆகவே ஏதோ ஓர் இரண்டு கார்பன் பொருளே கார்பன்டை ஆக்சைடை முதலில் ஏற்று ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமிலமாக மாறக்கூடுமென்ற அனுமானத்தின்பேரில், அத்தகைய இரண்டு கார்பன் பொருள் எது வென்று கண்டறியத் தீவிரமான ஆராயச்சிகள் செய்யப்பட்டன. ஆனல், அப்படிப்பட்ட பொருளெதுவும் தென்படவில்லை மாருக ரைபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட் (ribulose diphosphate) என்ற ஐந்து கார்பன் பொருளே முதலில் கார்பன்டை ஆக்சைடை ஏற்கிறதென்று தெரியவந்தது. இதனல் தோன்றும் ஆறு கார்பன் பொருள் உடனே இரண்டு ஃபாஸ்போகிளிசரைடு மூலக்கூறுகளாக உடைகிறது. எனவே உயிர்ப்பில் கிரெப் சுழலினுள் அசிடேட் தொகுதியை நுழைப்பதற்கு ஆக்சலோ அசிடேட் பயன்படுவதுபோல் கார்பன்டை ஆக்சைடைக் கார்போ ஹைட்ரேட்டாக மாற்றும் சுழலுக்குள் கார்பன்டை ஆக்சைடை நுழைப்பதற்கு ரைபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட் பயன்படுகிறது. மற்றும் கிரெப் சுழலின் முடிவில் ஆக்சலோ அசிடேட் மீண்டும் உற்பத்தி செய்யப்படுவதுபோல் கார்பன் நிலைகூர் சுழலின் முடிவில் ரைபுலோஸ் ரைஃபாஸ்பேட்டும் மீண்டும் தோற்றுவிக்கப்படுகிறது.

சிக்கலான இச் சுழல் கிரியைப் பல நொதிகளின் ஈடுபாட்டால் நடைபெறுகிறது. இந் நொதிகளெல்லாம் பசுங்கணிகத்திலுருப்பதாகக் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன. இக்கிரியைகளின் போக்குப் படம் 8.21ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.

முதலில் மூன்று $CO_2$மூலக்கூறுகள் ஐந்து கார்பன் பொருளான ரைபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட்டின் மூன்று மூலக்கூறுகளோடு இணைந்து, அம் மூன்றும் ஆறு ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமில மூலக்கூறுகளாகின்றன. இக் கிரியையின் போக்குக் கீழே கொடுக்கப்பட்டுள்ளது.




படம் 8.21
ஒளிச்சேர்க்கையின் இருட்கிரியைச் சுழல் விவரங்கள்.

அடுத்தபடிவாக ஆறு ஃபாஸ்போகிளிசரிக் அமில மூலக்கூறுகளும் ஆறு ATP மூலக்கூறுகளிலுள்ள ஃபாஸ்பேட் தொகுதிகளை ஏற்று ஆறு டைஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமில மூலக்கூறுகளாகின்றன. ஆறு ATP மூலக்கூறுகளும் ADP மூலக்கூறுகளாகின்றன. பிறகு டைஃபாஸ்போ கிளிசரிக் அமில மூலக்கூறுகளும் ஆறு NADPH

மூலக்கூறுகளால் ஆறு ஃபாஸ்போகிளிசரால் டிஹைடு மூலக்கூறுகளாக நீக்கரிக்கப்படுகின்றன. NADPH மூலக்கூறுகள் NADP ஆகின்றன. ஆறு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடு மூலக்கூறுகளில் ஒன்று மட்டும் உயிர்ப்பில் நடைபெறும் கிளைகாலிசிஸ் கிரியைக்கு நேரெதிரான வழியில் கார்போஹைட்ரேட்டாக மாற்றப்படுவதற்குப் பயன்படுகிறது. ஆகவே ரைபுலோஸ்டைஃபாஸ்பேட்டால் ஏற்றுக் கொள்ளப்பட்ட மூன்று கார்பன்டை ஆக்சைடு மூலக்கூறுகளின் மூன்று கார்பன் அணுக்களும் ஒரு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடு மூலக்கூறாக நீக்கரிக்கப்பட்டுக் கார்போஹைட்ரேட் உற்பத்திக்கு எடுத்துக் கொள்ளப்படுகின்றன என்று சொல்லலாம். (இரண்டு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடு மூலக்கூறுகள் ஓர் ஆறு கார்பன் சர்க்கரையாக, கிளைகாலிசிசுக்கு நேரெதிர் வழியில் மாற்றப்படுகின்றன.)

ஆறு ஃபாஸ்போகிளிசரால் டிஹைடு மூலக்கூறுகளில், கார்போஹைட்ரேட் உற்பத்திக்குச் செல்லும் ஒன்றுபோக மீதி ஐந்தில் நான்கு சேர்ந்து இரண்டு ஃபிரக்டோஸ் டைஃபாஸ்பேட் எனப்படும் ஆறு கார்பன் மூலக்கூறுகளாக மாறுகின்றன. பிறகு இவை ஃபிரக்டோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட்டாக மாறுகின்றன. இவற்றில் ஒன்று, மீதியுள்ள ஒரு ஃபாஸ்போகிளிசரால் டிஹைடுடன் சேர்ந்து ஒரு ரைபுலோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறாகவும், ஓர் எரித்ரோஸ் ஃபாஸ்பேட்டாகவும் மாறுகின்றன. இந்த எரித்ரோஸ் ஃபாஸ்பேட், மற்றொரு ஃபிரக்டோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுடன் சேர்ந்து, ஒரு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடு மூலக்கூறாகவும், ஒரு செடோஹெப்டுலோஸ் ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறாகவும் மாறுகின்றன. பிறகு இவ்விரண்டும் சேர்ந்து இரண்டு ரைபுலோஸ் மோனோ ஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளாகின்றன. இந்த இரண்டும் முன்பே தோன்றிய ஒன்றும் ஆகிய மூன்று ரைபுலோஸ் மோனோஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளும் மூன்று ATP மூலக்கூறுகளின் ஈடுபாட்டால் மூன்று ரைபுலோஸ் டைஃபாஸ்பேட் மூலக்கூறுகளை மீண்டும் தோற்றுவிக்கின்றன. இவை மீண்டும் கார்பன் நிலைக்கூர் சுழலில் ஈடுபடுகின்றன.

கார்பன் நிலைக்கூர் சுழலில், ஒரு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடு உண்டாவதற்கு மொத்தம் ஆறு NADPH மூலக்கூறுகளும், ஒன்பது ATP மூலக்கூறுகளும் தேவைப்படுகின்றன. ஆகவே ஓர் ஆறு கார்பன் கார்போஹைட்ரேட்டுக்குத் தேவைப்படும் இரண்டு ஃபாஸ்போகிளிசரால்டிஹைடுகளுக்கும் 12 NADPH மூலக்கூறுகளும், 18 ATP மூலக்கூறுகளும் வேண்டப்படுகின்றன. இது மொத்தம் 54 ATPக்குச் சமமாகிறது. ஆனால் உயிர்ப்பில் ஒரு ஆறு

கார்பன் சர்க்கரையிலிருந்து 38 ATP மூலக்கூறுகள் மட்டுமே உண்டாக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு ஓர் கார்போ ஹைட்ரேட் மூலக்கூறை உற்பத்தி செய்வதற்கு அதிலிருந்து பெறப்படும் ஆற்றலைவிட அதிகமான ஆற்றல் செலவிடப்படவேண்டு மென்பது வெப்பச் செயலியல் விதிகளுக்கு உட்பட்டதேயாகும்.

## கார்பன் நிலைக்கூர்வின் மாற்று வழிகள்

மேலே விவரிக்கப்பட்ட கால்வின் பென்சன் சுழலைத் தவிர வேறுவழிகளிலும் கார்பன் நிலைக்கூர்வுறலாமென்று தெரியவந்துள்ளது. 1966-ல் ஹேட்ச், ஸ்லேக் (Hatch and Slack) என்பவர்கள் கரும்பு இலைகளில், கார்பன் டை ஆக்சைடை ஏற்றுக் கொண்டபிறகு தோன்றும் முதல் நிலைப்பொருள் மூன்று கார்பன் பொருளான ஃபாஸ்போகிளிசரால் டிஹைடு அல்லவென்றும், மாறாக நான்கு கார்பன் பொருளான ஆக்சலோ அசிடேட் (Oxalo acetate) என்றும் கண்டு பிடித்தார்கள். ஆக்சலோ அசிடேட்டும் மற்றச் செல் கிரியைகளில் சாதாரணமாகத் தோன்றும் ஓர் இடைப் பொருளாகும். இந்த நான்கு கார்பன் பொருளுக்குக் கார்பன்டை ஆக்சைடு மாற்றப்படுவது, கால்வின் பென்சன் சுழலினின்றும் முற்றிலும் மாறுபட்ட வழியாகத் தெரிகிறது. இதில் கார்பன்டை ஆக்சைடானது முதன் முதலில் ஒரு மூன்று கார்பன் பொருளோடு சேர்ந்து நான்கு கார்பன் பொருளாக மாறுவதாகத் தெரிகிறது.

ஒளிச்சேர்க்கையைப்பற்றிய ஆய்வுகளில் மேற்சொன்ன ஹேட்ச், ஸ்லேக் ஆகியவர்களின் கண்டுபிடிப்பு ஒரு முக்கியமான திருப்பமென்று சொல்லலாம். ஏனென்றால் நான்கு கார்பன் சுழலைப் பயன்படுத்தும் தாவரங்கள், மூன்று கார்பன் சுழலைக் கொண்டனவற்றிலிருந்து வேறுபட்டனவாகத் தோன்றுகின்றன. நான்கு கார்பன் சுழலை உடையத் தாவரங்கள் அதிக வெளிச்சத்திலும், உயர் வெப்பத்திலும் வேகமாக வளரக் கூடியனவாகவுள்ளன. எனவே பூமத்தியரேகைப் பிரதேசங்களில் இயற்கையாக உள்ள உயர் வெப்பத்திலும், அதிக வெளிச்சத்திலும் வளரும் கரும்பு, புல்வகைகள் முதலிய இப்படிப்பட்ட தாவரங்கள், திறன்மிக்க தாவரங்கள் என்று கருதப்படுகின்றன. இவற்றின் திறன் மிகுப்புக்கு மற்றொரு காரணமும் உள்ளது. மூன்று கார்பன் சுழலைப் பயன்படுத்தும் திறன் குறைந்த தாவரங்களில், அவற்றால் முதலில் நிலைக்கூர்த்தப்படும் கார்பனில் சுமார் 30 சதவீதம் ஒளியுயிர்ப்பு (photorespiration) எனப்படும் நிகழ்ச்சியால் மீண்டும் கார்பன்டை ஆக்சைடாக மாறி வீணாகிறது. நான்கு கார்பன் சுழலைக் கொண்ட திறன்மிகு தாவரங்களிலும் ஒளியுயிர்ப்பு நடைபெற்றாலும், அதனால் உண்டாகும் கார்பன்டை ஆக்சைடையும்

வீணாகாமல் நான்கு கார்பன் சுழலில் ஈடுபடுத்திவிடுகின்றன. என்று தெரிகிறது. எனவே கார்பன்டை ஆக்சைடு வீணாவது தடுக்கப்பட்டுத் தாவர வளர்ச்சிக்கோ சேமிப்புக்கோ முழுமையாகப் பயன்படுகிறது. பூமத்தியரேகைப் பிரதேசங்களில் வாழும் பல தாவரங்களில் நான்கு கார்பன் சுழல் பயன்படுவதாகத் தெரிகிறது.

நான்கு கார்பன் சுழலைக் கொண்ட திறன்மிகு தாவரங்களில் இரண்டு விதமான பசுங்கணிகங்கள் காணப்படுகின்றன. இலையின் மீசோபில் செல்களிலுள்ள பசுங்கணிகங்களின் சவ்வுப் படலம் கிரானாப்பகுதி, கிரானா இடைப் பகுதி என்று இரு பகுதிகளாக அமைந்துள்ளது. ஆனால் குழற்கட்டுகளைச் (vascular bundle) சுற்றிசமைந்துள்ள செல்களிலிருக்கும் பசுங்கணிகங்களின் சவ்வுப் படலத்தின் கிரானா அமைப்பு முற்றிலும் இல்லாமலோ மிகக் குறைவாகவோ காணப்படுகிறது. மூன்று கார்பன் சுழலைக் கண்டுபிடிக்கப் பயன்படுத்தப்பட்ட குளோரெல்லா முதலிய பாசிகளின் பசுங்கணிகங்கள் கிரானா அற்ற அமைப்பைக் கொண்டவையாகும். எனவே மூன்று கார்பன் சுழல் இப்படிப்பட்ட பசுங்கணிகங்களில் நடைபெறுவதாகவும் உயர் தாவரங்களில் காணப்படும் கிரானா அமைப்பைக் கொண்ட பசுங்கணிகங்களில் நான்கு கார்பன் சுழல் நடைபெறுவதாகவும் கருதப்படுகிறது. ஆகவே திறன்மிகு தாவரங்களிலும், இரண்டு வழிகளிலும் கார்பன் நிலைக்கூர்வு நடைபெற்றாலும், கிரானா அமைப்பற்ற பசுங்கணிகங்களைவிடக் கிரானா அமைப்புள்ள பசுங்கணிகங்களையே மிக அதிக எண்ணிக்கையில் பெற்றிருப்பதால், நான்கு கார்பன் சுழலே அதிக அளவில் நடைபெற்று அவற்றின் திறன் மிகுவதற்குக் காரணமாகிறதென்று கருதப்படுகிறது. இதைப்பற்றிய ஆய்வுகள் மேலும் தொடர்ந்து நடைபெற்று வருகின்றன.

## பாக்டீரிய ஒளிச்சேர்க்கை

சில பாக்டீரியங்கள் பசுந்தாவரங்களைப்போல் ஒளியாற்றலைப் பயன்படுத்திக் கார்பன்டை ஆக்சைடிலிருந்து கார்போஹைட்ரேட்டைத் தயாரிக்கக் கூடியனவாகவுள்ளன. ஆனால் இந்த பாக்டீரியங்களில் ஹைட்ரஜனை ஈயும் பொருள் தண்ணீர் மூலக்கூறுகளல்ல. எனவே இவற்றின் ஒளிச்சேர்க்கையில் ஆக்சிஜன் வாயு வெளிப்படுவதில்லை.

பச்சைநிற சல்பர் பாக்டீரியங்கள் பாக்டீரியோவிரிடின் (bacterioviridin) என்ற நிறமியைப் பெற்றுள்ளன. இந் நிறமிகளும் கிரானா அமைப்பற்ற சவ்வுப் படலங்களில் அமைந்துள்ளன

வேயாகும் (படம் 3.4) இந்தப் பாக்டீரியங்களில் ஹைட்ரஜன் சல்ஃபைடு (hydrogen sulphide) ஹைட்ரஜனை ஈயும் பொருளாகச் செயல்படுவதால் இவை ஹைட்ரஜன் சல்ஃபைடு நிறைந்த சூழ் நிலையில் வாழுகின்றன. இவற்றின் மொத்த ஒளிச்சேர்க்கையைக் கீழ்க்காணும் சமனத்தால் குறிப்பிடலாம்.

$$6CO_2 + 12H_2S \xrightarrow{\text{ஒளி}} C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 12S$$

ஊதாநிற சல்பர் பாக்டீரியங்கள் பாக்டீரிய பச்சையம் (Bacterio chlorophyll) என்ற நிறமியைக்கொண்டுள்ளன. இவை பல சல்பர் கூட்டுப் பொருள்களையும், ஹைட்ரஜன் மூலக்கூறு களையும் பயன்படுத்தக் கூடியனவாகும். அனங்கக சல்பர் கூட்டுப் பொருள்கள் இல்லாதபோது இவை அங்கக கார்பன் கூட்டுப் பொருள்களைப் பயன்படுத்தி வாழக்கூடியனவாகும். இவற்றின் கிரியை.

$$6CO_2 + 15H_2O + 3Na_2S_2O_8 \longrightarrow C_6H_{12}O_6 + 6H_2O + 6NaHSO_4 + \text{ஆற்றல்}$$

ஊதாநிற சல்பர் வேண்டாப் பாக்டீரியங்கள், சல்பரில்லாத கூட்டுப் பொருள்களான அங்கக அமிலங்கள், ஆல்கஹால்கள் முதலியவற்றைப் பயன்படுத்துகின்றன.

**வேதிச் சேர்க்கை**

அநேக பாக்டீரியங்கள், ஒளியாற்றலின் உதவியின்றியே கார்பன்டை ஆக்சைடை நிலைகூர்த்துகின்றன. இதற்குத் தேவை யான ஆற்றலை இவை சில அனங்கக கூட்டுப்பொருள்களை ஆக்சீ கரித்துப் பெறுகின்றன. நைட்ரிஃபையசல் பாக்டீரியங்களென் பவை இதற்கு எடுத்துக்காட்டாகும். இவ்வகையைச் சேர்ந்த நைட்ரொசொமொனஸ் (nitrosomonas) நைட்ரோபேக்டர் (nitrobacter) முதலிய பாக்டீரியங்கள் அமோனியாவை நைட் ரைட்டாகவும், நைட்ரைட்டைநைட்ரேட்டாகவும் ஆக்சீகரிக் கின்றன. நிறமிகளைக் கொண்ட பெக்கியாட்டா (beggiata) என்னும் பாக்டீரியம் ஹைட்ரஜன் சல்பைடைச் சல்பராக ஆக்சீ கரிக்கிறது. மற்றும் ஃபெர்ரஸ்ஹைட்ராக்சைடை ஃபெர்ரிக் ஹைட்ராக்சைடாக ஆக்சீகரிப்பனவும் ஹைட்ரஜனைத் தண்ணீ ராக ஆக்சீகரிப்பனவும் கார்பன் பாக்டீரியங்களும் இவ்வகையில் அடங்குவனவாகும். இவற்றின் வேதிக்கிரியைகள் கீழே தரப் பட்டுள்ளன.

1. நைட்ரிஃபையிங் பாக்டீரியங்கள்:

நைட்ரோ சொமொனஸ்: $2NH_3 + 3O_2 \longrightarrow 2HNO_2 +$
$2H_2O +$ ஆற்றல்

நைட்ரோபேக்டர்: $2HNO_2 + O_2 \longrightarrow 2HNO_3 +$
ஆற்றல்

2. சல்பர் பாக்டீரியங்கள்:

$2H_2S + O_2 \longrightarrow 2S + 2H_2O +$ ஆற்றல்

இதில் வெளிப்படும் சல்பர், செல்லினுள் மேலும் $H_2SO_4$ ஆக ஆக்சீகரணமடைகிறது. இது கால்சியம் கார்பனேட்டோடு சேர்ந்து கால்சியம் சல்பேட்டாகிறது.

$2S + 2H_2O + 3O_2 \longrightarrow 2H_2SO_4$
$H_2SO_4 + CaCo_3 \longrightarrow Ca\ SO_4 + CO_2 + H_2O$

3. இரும்பு பாக்டீரியங்கள்

$2Fe(Hco_3)_2 + O + H_2O \longrightarrow 2Fe(OH)_3 + 4CO_2 +$
ஆற்றல்.

4. ஹைட்ரஜன் பாக்டீரியங்கள்:

$2H_2 + O_2 \longrightarrow 2H_3O +$ ஆற்றல்

5. கார்பன் பாக்டீரியங்கள்:

$2Co + O_2 \longrightarrow 2Co_2 +$ ஆற்றல்.

# 9. செல் சவ்வும் அதன் பணிகளும்

செல்லியக்கத்துக்குத் தேவையான ஆற்றலைச் செல்கள் எவ்வாறு வெளிப்படுத்தி ATPயாக மாற்றி வைத்துக்கொள்ளு கின்றன என்பதையும், அவ்வாறு செல்களில் பயன்படும் ஆற்றல் முழுதும் ஒளிக்கதிரிலடங்கிய ஆற்றலிலிருந்தே வருகிறதென்றும், ஒளியாற்றலை வேதியாற்றலாக மாற்றி உயிர்களின் இயக்கத்துக்கு அளிக்கும் திறனைப் பெற்ற பசுங்கணிகங்கள் எவ்வாறு செயல்படு கின்றன என்றும் இதுகாறும் சொல்லப்பட்டது. இனி ATP என்ற பொருளிலேற்றி வைக்கப்படும் வேதியாற்றலைக் கொண்டு செல் லினினுள்ள மற்ற நுண்ணுறுப்புகள் எவ்வாறு இயங்குகின்றன என்பதையும், அவற்றின் நுண்ணமைப்பு அவற்றின் செயலுக் கேற்றவாறு எப்படி அமைந்துள்ளன என்பதையும் இனிவரும் பகுதிகளில் பார்ப்போம்.

செல்லினுள்ளிருக்கும் நுண்ணுறுப்புகள் செம்மையாகவும், சிறப்பாகவும் இயங்குவதற்கேற்ற சூழ்நிலை செல்லினுள்ளிருந்தா லன்றி அவை நன்முக இயங்க முடியாது. இதற்காக எல்லாச் செல்களுமே அவற்றைச் சுற்றியுள்ள சூழ்நிலையிலிருந்து பொருள்களை எடுத்துக்கொள்ளவும், தமக்குத் தேவையில்லாத பொருள்களைச் செல்லிலிருந்து வெளியேற்றவும் வேண்டியுள்ளது. செல் நுண்ணுறுப்புகளெல்லாம் சைட்டொபிளாசத்தின் ஹயலோ பிளாசமென்னும் தளத்திலுள்ளனவேயாகும். ஒரு செல் எவ்வாறு சூழ்நிலையோடு தொடர்பு கொண்டுள்ளதோ, அதைப்போலவே செல் நுண்ணுறுப்புகள் ஹயலோ பிளாசத்தோடு தொடர்பு கொண் டுள்ளன என்று சொல்லலாம். மைட்டொகான்றியம், பசுங் கணிகம் முதலிய நுண்ணுறுப்புகள் தம்மைச் சூழ்ந்துள்ள ஹயலோ பிளாசத்திலிருந்து தமது இயக்கத்துக்குத் தேவையான பொருள்களை எடுத்துக் கொண்டு, தம்மாலுண்டாக்கப்படும் பொருள்களையும், தமக்குத் தேவையில்லாத பொருள்களையும் ஹயலோ பிளாசத்துக்குத் தள்ளுகின்றன. அவ்வாறு இந் நுண் ணுறுப்புகளுக்கும் ஹயலோ பிளாசத்துக்கும் நடைபெறும் பரிமாற்றங்களை அவற்றைச் சூழ்ந்துள்ள சவ்வே முறைப்படுத்தி அவை செம்மையாக இயங்க வழி செய்கின்றன. ஹயலோ பிளாசத்தின் சூழ்நிலையில் இயங்கும் செல் நுண்ணுறுப்புகள்

தம்மியக்கத்தைப் பாதிக்கும் வகையில் ஹயலோ பிளாசத்திலேற் படக்கூடிய சிறு மாற்றங்களைத் தமது வெளிச் சவ்வின் பாது காப்பால் ஓரளவுக்குக் சமாளிக்கக் கூடுமென்றாலும், அதிக மாற்றங்களைச் சமாளிக்க முடியாது. அப்படியே நேருமாயின் செல் நுண்ணுறுப்புகளின் இயக்கம் குலைந்து அதனால் செல்லியக் கமும் குலைவுறும். எனவே செல்லுனுள்ளிருக்கும் ஹயலோ பிளாசத்தின் சூழ்நிலையும், அதனுல் சூழப்பட்ட நுண்ணுறுப்பு களின் சூழ்நிலையும், ஒரு குறிப்பிட்ட வரம்புக்குள்ளிருந்தாலன்றி செல்லியக்கம் செவ்வனே நடைபெறாது. சுற்றுப்புறச் சூழ்நிலையால் செல்லின் ஹயலோ பிளாசத்தின் சூழ்நிலையும், அதனுல் நுண் ணுறுப்புகளின் சூழ்நிலையும் செல்லியக்கத்தில் வரம்பைக் கடக் காமல் பாதுகாத்துப் பணிபுரிவது செல்சவ்வேயாகும்.

சைட்டொபிளாசத்தின் வெளிவரம்பாயமைந்த செல் சவ்வு பிளாஸ்மா சவ்வு என்றும் சொல்லப்படும். இதுவே உயிர்ப் பொருளின் வெளிவரம்புமாகும். அதாவது செல் சவ்வுக்கு வெளியே உள்ள எதுவும் உயிர் பொருளாகக் கருதப்படுவதில்லை. எனவே, செல் சவ்வானது உயிர்ப்பொருளின் வெளி வரம்பாக மட்டுமல்லாமல், உயிர்ப் பொருளை உயிரற்ற பொருளிலிருந்து பிரிக்கும் வரம்பாகவும் உள்ளது என்று சொல்லலாம்.

சூழ்நிலையிலிருந்து தன்னைப் பாதுகாத்துக்கொள்ள உயிர்ப் பொருளின் வரம்பாயமைந்த செல்சவ்வையல்லாமல் அதற்கும் வெளியே உயிரற்ற உறையையும் பொதுவாகச் செல்கள் தோற்று விக்கின்றன. அவ்வாறு உண்டாக்கப்படும் உறை பல்வேறு செல் களில் பல்வேறு தன்மையைப் பெற்றதாயினும் அவையாவும் கிளைகோ சூழல் (glycocalyx)என்ற பொதுப் பெயரால் குறிப்பிடப் படுகின்றன. இஃது உயிரற்ற உறையாயினும், செல்லின் உட்சூழ் நிலையைப் பாதுகாப்பதில் செல்சவ்வுக்கனுசரணையாகவும் மற்றும், பல காரியங்களுக்கும் பயன்படுகிறது. எனவே முதலில் இதை பற்றியறிந்துகொள்ளுவது அவசியமாகும்.

### கிளைகோ சூழலின் அமைப்பு

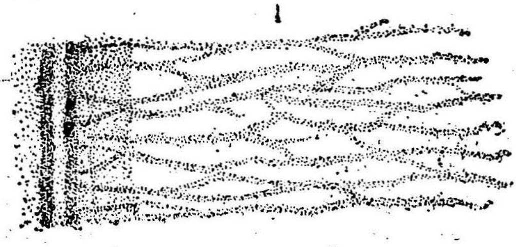
இதுவரை நடத்தப்பட்ட ஆய்வுகளிலிருந்து, கிளைகோ சூழலில் ஏதாவது சர்க்கரைப் பொருள் கண்டிப்பாய் இருக்கிற தென்று தெரியவந்துள்ளது. சர்க்கரைப் பொருளானது அமினோ அமிலங்கள், லிபிடுகள், லிசினின்கள், புரொட்டீன்கள், நியூக்ளி யோடைடுகள், மற்றப் பல்கூட்டுப் பொருள்கள் ஆகிய வற்றோடு கலந்தோ பெரும்பாலும் அவற்றோடு கூட்டிணைப்பில் ஈடுபட்டோ அமைந்துள்ளது. அனங்கக உப்புகளான கால்சியம்

கார்பனேட் அல்லது ஃபாஸ்பேட் படிவங்களும் சிலவற்றில் காணப்படலாம்.

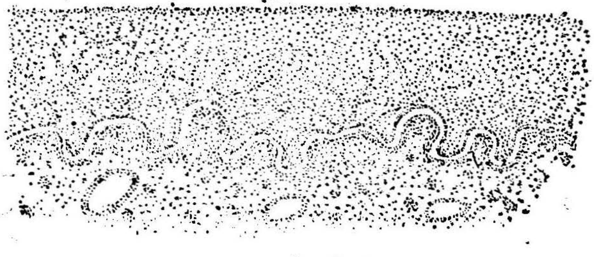
தோற்றத்திலும் அமைப்பிலும் மிகப் பல வேறுபாடுகளைக் கொண்ட கிளைகோ சூழலின், குறிப்பிட்ட சில வகைகளுக்குத்தனிப் பெயர்கள் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன. தாவரங்கள், பாக்டீரியங்கள் ஆகியவற்றின் உறுதியான கிளைகோ சூழல் செல்சுவர் (cell wall) என்று சொல்லப்படுகிறது. இது மிக உறுதியாகவும், கெட்டியாகவும் வலிமையளிப்பதாகவும், எளிதில் தெளிவாகக் கண்டுகொள்ளக் கூடியதாகவும் இருக்கிறது. ஆனல் பாலூட்டும் விலங்குகளின் குருதிச் செஞ்செல்களைச் (red blood cell) சூழ்ந்த கிளைகோசூழல் மிக நுண்ணியதாக, எலெக்லட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பிலும் காணப்படக்கூடாததாகவுள்ளது. ஆனல் அவற்றைச் சூழ்ந்து கிளைகோ சூழல் இருக்கிறதென்பது உயிர்வேதி, செல்வேதி முறைச் சோதனைகளிலிருந்து ஐயத்துக்கிடமின்றித் தெரிய வருகிறது.

செல் சவ்வோடு அது கொண்டுள்ள தொடர்பைப் பொறுத்துக் கிளைகோ சூழலை இணைந்த கிளைகோ சுழல் (attached glycocalyx) இணையாத கிளைகோ சூழல் (unattached glycocalyx) என இரண்டு வகையாகப் பிரிக்கலாம் (படம் 9.1). இணைந்த கிளைகோ சூழல்

1



2



படம்: 9.1

செல்லின் வெளிபரப்பு

1. அமீபாவின் இணைந்த கிளைகோ சூழல்

2. நியூரோஸ்போரா வின் இணையா கிளைகோ சூழல்

செல்சவ்வோடு நெருக்கமாகச் சேர்ந்திருப்பதால், செல்சவ்வு கொண்டுள்ள வளைவு, நெளிவுகளையெல்லாம் பெற்றிருக்கிறது. இணையாத கிளைகோ சூழல் செல் சவ்விலிருந்து விலகியே இருப்பதால், கிளைகோ சூழலின் வெளிப் பரப்பில் காணப்படாத வளைவு நெளிவுகளைச் செல்சவ்வுப் பெற்றிருக்கலாம்.

இணைந்த கிளைகோ சூழல், அமீபா, முதுகெலும்பு விலங்குகளின் குருதிச் செஞ்செல், பித்தப்பையின் மைக்ரோ வில்லாக்கள் (microvilli of gall bladder), கல்லீரலின் வாஸ்குலார் புறப்பகுதி (vascular surface of liver) பரங்கிம செல்கள் (Paranchymal cells), அநேக புரோட்டொசோவாக்கள், ஃபேகோசைட் செல்கள் ஆகியவற்றில் காணப்படுகிறது. இணையா கிளைகோ சூழல், பாக்டீரியங்கள் தாவரச் செல்கள், முதுகெலும்பு விலங்குகளின் சதை செல்கள், பேசல்லேமினத்தைக் (basallamina) கொண்டுள்ள எபிதீலிய செல்கள் ஆகியவற்றில் காணப்படுகிறது.

**கிளைகோ சூழலின் வேதித்தன்மை**

விலங்கு செல்களின் கிளைகோ சூழல் பொதுவாக உறுதியற்றவை. ஆனால் சில புரொட்டொசோவாக்கள் உறுதியான வெளிப்பரப்பைப் பெற்றுள்ளன, முதுகெலும்புள்ள விலங்குகளின் செல்களில், சியாலிக் அமிலம் (sialic acid) ஹையால்யுரொனேட் (hyaluronate) கோன்ராய்ட்டின் சல்ஃபேட்டுகள் (chondroisten sulphates) முதலியவை சர்க்கரைப் பொருள்களோடும், புரொட்டீன்களோடும் சேர்ந்து காணப்படுகின்றன அமீபாக்கள், மைக்ரோ வில்லாக்கள் ஆகியவற்றின் கிளைகோ சூழல் மூகஸ் உறைகளாக அபரிமிதமான அயனிப் பரிவர்த்தனைத் திறன் கொண்டுள்ளது.

தாவர செல்ச்சுவர்களில் காணப்படும் முக்கியமான பொருள் செல்லுலோசாகும். ஆனால் வெவ்வேறு செல்களில் செல்லுலோசின் அளவு மிகவும் வேறுபடக்கூடியதாகும். உயர் தாவர வளர்திசுக்களின் செல் சுவற்றின் வற்றெடையில் சராசரி 25-35% செல்லுலோஸ், 35-45% ஹெமி செல்லுலோஸ், 10-20% பெக்டின் பொருள்கள் 4-10% புரோட்டீன், 4-7% லிபிடுகள் காணப்படுகின்றன. பருத்தி இழை நார்கள் ஏறக்குறைய தூய செல்லுலோஸ் சுவற்றைக் கொண்டுள்ளன. ஆனால், கட்டையில் 40-50% செல்லுலோசும், சில விதைகளின் கருவூண் (endosperm) செல் சுவற்றில் ஒரு சில சதவீதச் செல்லுலோசுமே இருக்கிறது. பல தேலோஃபைட் தாவரங்களிலும் உயர்தாவரக் கார்க் செல்களின் சுவரினடுக்கிலும், வெளித்தோல் செல்களின் கூட்டிகிளிலும் செல்லுலோஸ் அறவே கிடையாது.

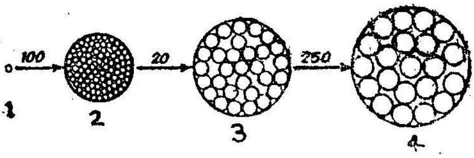
அனேக செல் சுவர்களில் காணப்படும் மற்றொரு வேதிப் பொருள், செல்லுலோசிலிருந்து வேதியமைப்பில் சற்று மாறுபட்ட மன்னுஸ் (mannas)என்பதாகும். மிருதுக் கட்டைகளின் ஹெமி செல்லுலோசில் சுமார் 15% குளுகோ மன்னுசும், கெட்டிக் கட்டைகளின் ஹெமி செல்லுலோசில் சுமார் 3% குளுகோமன்னுசும் உள்ளது. மலர்த் தாவரங்களின் கட்டை செல் சுவற்றின் செல்லுலோசல்லாத பாலிசேக்கரைடுகளின் பெரும் பகுதி சைலான் (Xylan) எனப்படுவதாகும். இது ஹெமி செல்லுலோசில் 80-90% காணப்படுகிறது. மற்றும் செம்பாசிகளிலிருந்தும் சைலான் பிரித்தெடுககப்பட்டுள்ளது. கேலக்டான்கள், அரபான்கள் (galae tans and arabans) ஆகிய நீரில் கரையும் பாலிசேக்கரைடுகள், உயர் தாவரச் செல் சுவரின் பெக்டினடுக்கில் காணப்படுகின்றன. மற்றும் தாவரச் செல்சுவர்களில் பாலி யுரோனிடுகள், பெக்டிக் பொருள்களாகவும், ஆல்ஜினிக் அமிலமாகவும் (alginic acid) காணப்படுகின்றன, இவை உணவுப் பொருள்கள் தயாரிப்பில் பெரிதும் பயன்படுவனவாகும். செம்பாசிகளில் காணப்படும் அகார் அகாரென்ற பொருளும் (agar-agar) இவை போன்றதாகும். கட்டைச் செல்களெல்லாவற்றிலும் லிசினின் அமைந்துள்ளது. கட்டையில் சுமார் 25%காணப்படும் லிசினினே அவற்றின் கெட்டிக்கும் உறுதிக்கும் காரணமாகிறது.

தாவரச் செல் சுவற்றில் காணப்படும் லிபிடுகளை, லிபிடுகரைக்கும் திரவங்களில் கரைபவை, கரையாதவை என இரு பிரிவுகளாகப் பிரிக்கலாம். கரைபவை பொதுவாக மெழுகுத் தன்மையினதாகத் தாவரங்களின் வெளிப்பரப்பில் காணப்படுவனவாகும். கரையாதன, வெளித்தோலில்காணப்படும் கூட்டின் கார்க் செல்களில் உள்ள சுபெரின், தாதுமணிகளின் சுவற்றில்காணப்படும் ஸ்போரோபொல்லெனின் (sporopollenin) முதலியவையாகும். உயர் தாவரங்கள், பூஞ்சைகள், பாசிகள் ஆகியவற்றின் செல் சுவற்றில் சில குறிப்பிட்ட புரோட்டீன்களும் இருக்கின்றனவென்று சமீப காலத்தில் தெரிய வந்துள்ளது.

### செல்சுவற்றின் இயல்பமைப்பு (Physical structure of cell wall)

தாவரச் செல்சுவர் இரு தொகுதிக் கூட்டாலமைந்ததாகும். அவை (1) மைக்ரோஃபைப்ரில்கள் (microfibrils) அல்லது நுண்ணிழைகளாலான இடைவிட்ட தொகுதியும் (படம் 92) (2) மேட்ரிக்ஸ் (matrix) அல்லது தளமாக அமைந்த தொடர் தொகுதியுமாகும். தளப்பொருளைத் தக்க கரைப்புகளைக் கொண்டு அகற்றிவிட்டால் நுண்ணிழைகளின் அமைப்பு

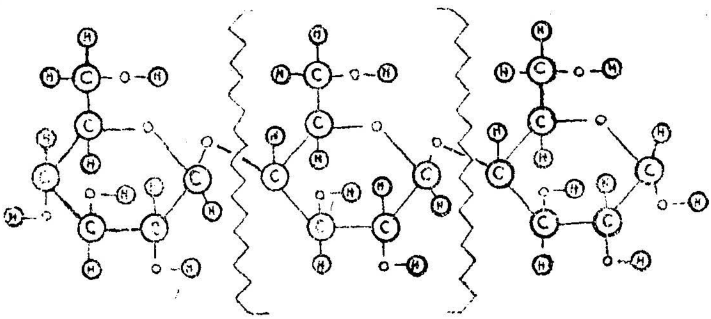
எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் தெளிவாகத் தெரிகிறது. (படம் 9.4) சில பாசிகளைத் தவிர மற்ற தாவரங்களிலெல்லாம் நுண்ணிழைகள் செல்லுலோசினுவானவையே.




படம்: 9.2
செல்சுவரில் செல்லுலோஸ் அமைப்பு.
1. செல்லுலோஸ் மூலக்கூறு தொடர்; 2. மைசெல்லா; 3. மைக்ரோஃபைப்ரில்; 4. ஃபைப்ரில்

**செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகளின் அமைப்பு**

செல்லுலோஸ் மூலக்கூறுகள், குளுகோஸ் அலகுகள் பல சேர்ந்து. நீளமான சங்கிலித் தொடர்போல் அமைந்ததாகும். (படம் 9 3). X கதிர் விலகல் (X ray diffraction) முறை மூலம் செல்லுலோஸ் மூலக்கூறுகள் ஒன்றுக்கொன்று நேர் இடையான ஒழுங்கில் குறிப்

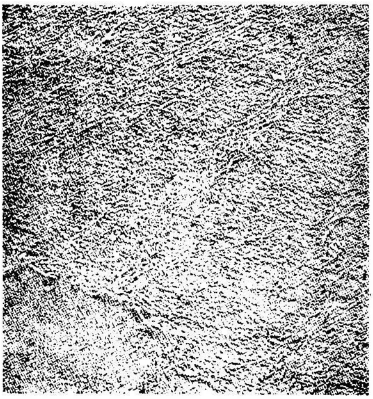



படம்: 9.3
செல்லுலோஸ் மூலக்கூறின் கட்டமைப்பு

பிட்ட நீளங்களுக்கு அமைந்து படிவ அமைப்பைப் பெற்றிருப்பதாகத் தெரியவந்துள்ளது. நுண்ணிழைகளின் மையப் பகுதியாக அமைந்துள்ள படிவக் கூட்டில், குளுகோஸ் அலகுகள் மட்டுமே உள்ளன. இந்த மையத்தைச் சுற்றி அதிபடிவ (paracrystalline) அமைப்பைக் கொண்ட குளுகோசல்லாத சர்க்கரை அலகுகளினு லமைந்த உறை அமைந்துள்ளது. எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகள் நீண்டு மெல்லியகோடு போல் தோற்றமளிக்கின்றன. அவற்றின் அகலம் தாவர இனத்தைப் பொறுந்து 35Å முதல் 250Å வரையும், அகலத்தில் சுமார் பாதியளவு தடிப்புமாகும்.

## தளப்பொருளின் அமைப்பு

செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகள் புதைந்திருக்கும் தளப்பொருள் படிவமில்லாத அல்லது அதி படிவ அமைப்பை உடையதாகும். லிகினின் இல்லாத செல்சுவற்றில் யுரோனிக் அமிலங்கள் செல்லுலோசல்லாத சர்க்கரைகள் ஆகியவற்றின் அலகாலமைந்த நீண்டு கிளைத்த நேரான பாலிமர்களாலமைகிறது. மற்றும், கரையுந் தன்மையைப் பொருத்துத், தளப்பொருளைப் பெக்டின், ஹெமி செல்லுலோஸ் என்று இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். சுடு நீரில் கரையக்கூடிய பெக்டினில் பிரதானமாக இருப்பது பாலி கேலக்டோயுரோனிக் அமிலமாகும் (polygalactouronic acid). மற்றவை கேலக்டோஸ், அரபினோஸ் பாலிமர்களாகும் ஹெமி செல்லுலோசானது குளிர்ந்த அல்லது சூடானகாரங்களில் கரையக் கூடியனவாயினும் தண்ணீரில் கரையக்கூடாதனவாகும். ஆறு கார்பன் பொருள்கள், ஐந்து கார்பன் பொருள்கள், யுரேனிக் அமிலம் ஆகியவற்ருல் இது அமைந்ததாகும். மற்றும் செல்லுலோசைவிட எளிதாக நீற்றுடைவு அடையக்கூடியதாகும். அநேக ஹெமி செல்லுலோஸ் பாலிமர்கள், கிளைத்த சங்கிலித் தொடர்களாகும். லிகினினுள்ள செல்சுவற்றில் ஹெமி செல்லுலோசோடு லிகினினும் கலந்திருக்கிறது.



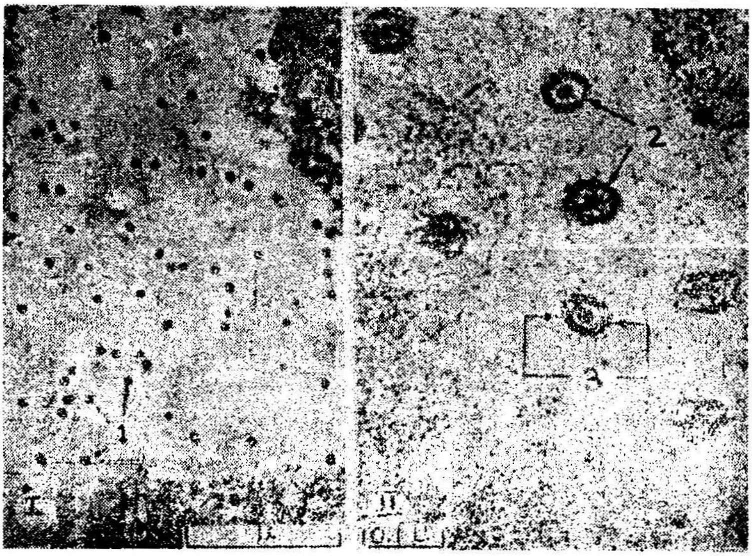
படம்: 9.4

எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் வழியாகக் காணப்படும் முதல் செல்சுவரின் செல்லுலோஸ் மைக் ரோஃபைப்ரில்கள்.

## செல்சுரின் தோற்றமும் வளர்ச்சியும்

செல்சுவரின் முதல் அறிகுறி நூக்ளியசின் டெலொஃபேஸ். தொடக்கத்தில் செல்லின் மத்தியில் உண்டாகும் நுண்துளிகள் போன்றவையாகும். இந்தத் துளிகள் கோல்கி உறுப்பிலிருந்து தோன்றி செல்லின் மையப் பகுதிக்கு நகர்ந்து செல்லுகின்றன

மைக்ரோ டியூபூல்களிடையே (microtubules) இவை ஒன்றோடொன்று இணைந்து செல் தட்டாக உருவாகின்றன. முதலில் செல்லின் மையப் பகுதியில் உருவாகும் செல் தட்டு மேலும் மேலும் கோல்கி உறுப்பிலிருந்து வரும் துளிகளோடு இணைந்து, செல்லின் விளிம்பை நோக்கி விரிவடைகிறது. நுண்துளிகளின் வெளிப் பக்கம் செல்சவ்வால் அமைந்ததாகையால் அவற்றின் இணைவால், அவற்றின் உள்ளடங்கிய பொருள்கள் சேர்ந்து நடுலேமெல்லா வாகவும், செல்சவ்வு இணைந்து நடுலேமெல்லாவுக்கு இருபுறமும் அமைந்த செல்சவ்வாகவும் உருவாகின்றன. ஆனால், நடுலே மெல்லாவில் ஆங்காங்கே நுண்துளைகள் அமைகின்றன. இந்த நுண்துளைகளே செல்சுவர்க்குழிகளின் தொடக்கமாகும் இவற்றின் வழியேஇரண்டு செல்களின் சைட்டொபிளாசங்களுக்கும்நுண்ணிய இணைப்புகள் ஏற்படுகின்றன. இந்த இணைப்புகள் பிளாஸ் மொடெஸ்மாக்கள் (Plasmodesmata) எனப்படும். (படம் 95).




படம்: 9.5
தாவரச் செல்சுவரின் பரப்பில் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப் வழியாகக் காணப்படும் பிளாஸ்மொடெஸ்மாக்கள்.
I. குறைந்த பெருக்கம்; II அதிகப் பெருக்கம்; 1, 3 பிளாஸ்மொடெஸ்மாக்கள்; 2. செல் சவ்வு

பெக்டின் பொருள்களும் இதர பொருள்களும் சேர்ந்து உருவாகும் நடுலேமெல்லாவின் இருபுறமும், நடுலேமெல்லாவுக்கும்

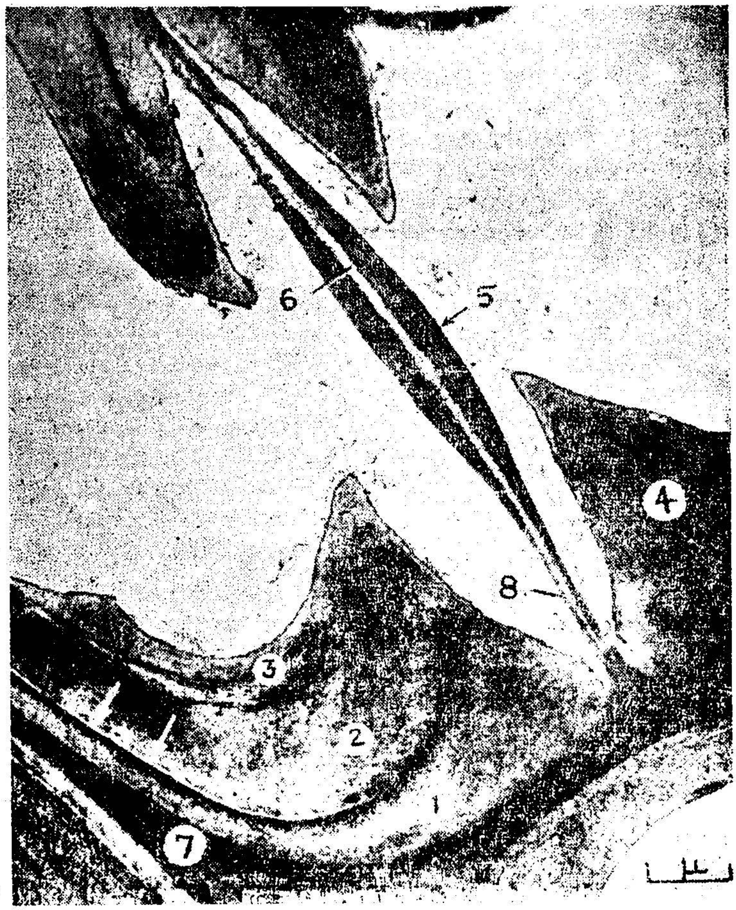
செல்சவ்வுக்கும் இடையில் விரைவிலேயே செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகள் தோன்றுகின்றன. முதலில் மிக மெல்லிய அடுக்காகத் தோன்றும் இதன்மேல் தொடர்ந்து இழைகள் அடுக்கப்படுவதால் செல் சுவர் பரப்பிலும், தடிப்பிலும் வளருகிறது. ஆனுல், பிளாஸ்மொடெஸ்மாக்கள் உள்ள இடங்களில் செல்சுவர் இழைகள் அடுக்கப்படுவதில்லையாதலால் அங்கு செல்சுவற்றில் குழிபோன்ற பள்ளங்கள் உண்டாகின்றன.

செல்சுவர் உருமாற்றத்தின் காலத்தை இரண்டாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று பரப்பளவு விரிவடையும் காலம், இரண்டு தடிப்பும் அதிகரிக்கும்காலம். ஆனுல் பரப்பளவு விரிவடையும் போதே தடிப்பும் ஓரளவுக்கு அதிகரிக்கிறது. பரப்பளவு விரிவடையும் காலத்தில் உண்டாகும் செல்சுவர் முதல் செல்சுவர் (primary cell wall) ஆகும். இது பொதுவாக மெல்லியதாகவும், குறைவான செல்லுலோசைக் கொண்டதாகவும், செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகள் தளக்கமாக அமைந்ததாகவும் இருக்கிறது. செல்சுவர் பரப்பளவில் விரிவடைவது நின்ற பிறகு, முதல் செல்சுவற்றின் உட்புறமாகச் சேருவது இரண்டாம் செல்சுவர் (secondary cell wall) ஆகும். இதுவே செல்சுவற்றின் தடிப்புக்குக் காரணமாகிறது.

இரண்டாம் செல்சுவற்றின் ஆரம்பத்தினறிகுறி, முதல் செல் சுவற்றின் குழிகளைச் சுற்றி நுண்ணிழைகள் சேர்க்கப்படுவதாகும். இதனுல் செல்சுவர்க்குழி தெளிவான உருவத்தைப் பெறுகிறது. அதன் பிறகு பொதுவாக S1, S2, S3 என்று குறிப்பிடப்படும். மூன்று அடுக்குகள் ஒன்றன்பின் ஒன்ருகச் சேர்க்கப்படுகின்றன. இந்த மூன்று அடுக்குகளும் அவற்றின் வேதித் தன்மையிலும், நுண்ணிழைகளின் போக்கிலும் வேறுபடுகின்றன. S1 அடுக்கு மெல்லியதாகவும், அதன் நுண்ணிழைகளின் போக்கு செல்லின் நீளவாக்கிலிருந்து அதிகமாகச் சாய்ந்த கோணத்தில் அமைந்து இருக்கிறது. S2 அடுக்கே மற்ற இரண்டு அடுக்குகளைவிடத் தடிப்பானதாகும். அதில் அநேக அடுக்கு நுண்ணிழைகள் செல்லின் நீளவாக்குக்கு மிகக் குறுகிய கோணத்தில் அமைந்திருக்கின்றன. S3 அடுக்கின் நுண்ணிழைகள் ஏறக்குறைய S1 அடுக்கிலிருப்பது போலவே அமைந்துள்ளன. இதன் தடிப்பும் S1 அடுக்கைப் போன்றதேயாகும். (படம் 9.6). மூன்று அடுக்குகளிலும் செல்லுலோஸ் நுண்ணிழைகள் சேருவது நின்ற பிறகு, அவற்றைச் சுற்றி லிகினினும் மற்றத் தளப்பொருள்களும் நிரப்பப்படுகின்றன. சில தாவரங்களின் செல்களில், S3 அடுக்கினுள் மெல்லிய மூன்ரும் கவர் தோன்றுகிறது. இதில் இழை அமைப்பு இருப்பதில்லை.

**கிளைகோசூழலின் பணிகள்**

செல்சுவர் செல்லுக்கு உறுதியையும் வலிமையையும் அளித்து, ஆஸ்மாசிய, டர்கார் அழுத்த வேறுபாடுகளைச் சமாளிக்கும் திறனைத்




படம்: 9.6

எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் வரையுற்ற குழியின் வெட்டுமுகக் தோற்றம்

1, 2, 3, இரண்டாம் செல்சுவரின் S1, S2, S3 அடுக்குகள்; 4. குழிவரை; 5. டோரஸ்; 6. நடுலேமெல்லா; 7. முதல் செல்சுவர்; 8; குழிச்சவ்வு

தருகிறது. விலங்கு செல்களில்கூட அடுத்தடுத்துள்ள செல்களின் கிளைகோஸ் சூழல்கள் இணைந்து செல்களின் வரம்பு தெரியா

வண்ணம் அகன்ற தளமாக மாறுவதும் உண்டு. உயர் விலங்குகளின் இணைப்புத் திசுக்கள்; கார்ட்டிலேஜ், எலும்பு முதலியவை இதற்கு நல்ல உதாரணங்களாகும். விலங்கு செல்களின் பேசல் லேமினுக்களில் (basal laminae) உள்ள பேஸ்மென்ட் சவ்வும் (basement membrane) தனித்தன்மை வாய்ந்த கிளைகோசூழலென்று சொல்லலாம். செல்லிடைத்தளம், பேஸ்மென்ட் சவ்வு ஆகியவை உறுதியளிக்கும் பணியைச் செய்கின்றன. அமீபா போன்ற புரோட்டொசோவாக்களின் செல், தவளையின்தோல், ஹேக்மீன் (hagfish), சல்மான்டர் (salmander) அநேக உயர் விலங்குகள் ஆகியவற்றின் செல்களைச் சூழ்ந்துள்ள வழுக்குறைகள், செல்கள் ஒன்றோடொன்று வழுக்கி நகர்வதற்கும், அவற்றை இணைப்பதற்கும் பயன்படுகின்றன.

செல்சவ்வைப் போலல்லாது, கிளைகோ சூழலைத் தண்ணீரின் மூலக்கூறுகள், மற்றச் சிறிய மூலக்கூறுகள், அயனிகள் முதலியவை எளிதில் ஊடுருவக்கூடும். ஆனால், கிளைகோசூழல் அதன் நுண் துளைகளின் வழியாகப் பெரிய மூலக்கூறுகளை நுழையவிடாமல் தடுத்து நிறுத்தக்கூடிய சல்லடையைப் போல் செயல்படுவதாகவும் கருதப்படுகிறது. அவ்வாறு செல்லுக்கு ஊறுவிளைக்கும் சில பெரிய மூலக்கூறுகள் செல்சவ்வினை அடையாமல் தடுப்பதல்லாமல், செல்லிலிருந்து செல்சவ்வுக்கு வெளியே சுரக்கப்படும் சில பொருள்களின் மூலக்கூறுகள் வெளியேறுமல், செல் சவ்வுக்கும் கிளைகோசூழலுக்கும் இடையில் தங்கியிருக்குமாறும் கிளைகோ சூழல் செய்யக்கூடுமென்று கருதப்படுகிறது.

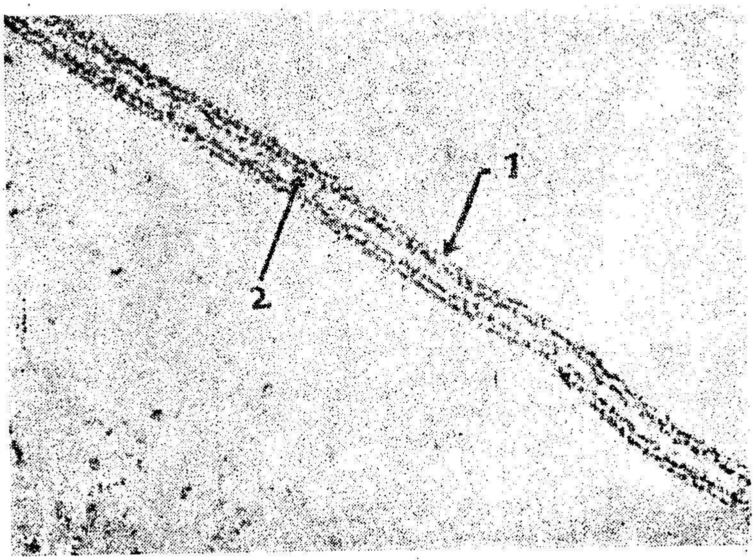
## செல்சவ்வு அல்லது பிளாஸ்மாசவ்வு

### அமைப்பு

செல் சவ்வே செல்லின் வெளி எல்லை எனக் கருதப்படுகிறது. எனவே, இது செல்லுக்கு அரண் போலமைந்ததென்று சொல்லலாம். செல்லின்மீது செய்யப்பட்ட நுண் அறுவை சோதனைகளிலிருந்து செல் சவ்வினைச் சேதப்படுத்தினுல் சிறிது நேரத்தில் செல் இறந்துவிடுகிறது எனத் தெரிய வந்துள்ளது.

எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில் செல் சவ்வானது, வெளிர் நிறமான நடுப்பகுதிக்கு இரண்டு பக்கமும் கருமையான இரு கோடுகள் அமைந்ததான தோற்றத்தைத் தருகிறது. (படம் 9.7). இது மொத்தம் சுமார் 75Å தடிப்புள்ளதாகும். இதன் நுண் வேதியமைப்பைப்பற்றி இன்னும் தெளிவாகத் தெரியவில்லை,

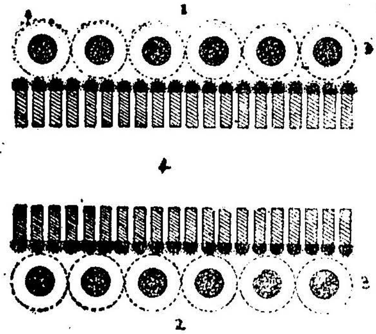
டேனியெல்லி (Danielli), டேவ்சன் (Davson) என்னும் இருவரது கருத்துப்படி சவ்வின் நடுப்பகுதியில் நீளமான லிபிட் மூலக் கூறுகள் செல்லின் வெளிப் பரப்புக்குக் குறுக்காக இரண்டு அடுக்கு களில் அமைந்துள்ளன என்றும், இதற்கு இருபுறமும் ஓர் அடுக்கு




படம்: 9.7
எலெக்ட்ரான் மைக்ரொஸ் கோப்பில் அருகமைந்த இரண்டு செல்சவ்வுகளின் தோற்றம்.
1. செல்சவ்வு; 2. செல்சவ்வுகளுக்கிடையே உள்ள வெளி.

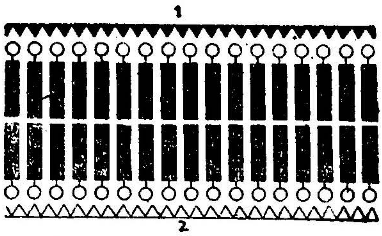
புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் அமைந்துள்ளனவென்றும் கருதப்படு கிறது. மேலும் லிபிட்மூலக்கூறுகளின் நீரேற்கும் தலைப்பகுதி வெளிப்புறமாகப் புரோட்டீனை நோக்கியும், நீரேற்கா வால் பகுதி உட்புறமாக அமைந்திருக்கின்றனவென்று சொல்லப்படுகிறது. படம் (9. 8). ராபர்ட்சன் (Robertson) என்பவரின் கருத்துப்படி, சவ்வின் வெளிப்பக்கமும், உட்பக்கமும் அமைந்துள்ள புரோட்டீன் ஒரே தன்மையானதல்லவென்றும், வெவ்வேறு தன்மையை உடையனவென்றும் கருதப்படுகிறது. (படம் 9.9). மொத்தம் 75Å தடிப்பில் இரண்டு லிபிட் அடுக்குகளும் சேர்ந்து 25Å தடிப்பும், ஒவ்வொரு புரோட்டீனடுக்கும் 25Å தடிப்பும் கொண்டவை எனச் சொல்லப் படுகிறது. எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் கருப்பு கோடுகள் போல் தெரிபவை புரோட்டீனடுக்குகளென்றும் அவற்

றிற்கு இடையில் தெரியும் வெளிர் பகுதி லிபிட் அடுக்குகளாகு மென்றும் கருதுகிறார்கள்.




படம்: 9.8
செல்சவ்வின் அமைப்பைப் பற்றிய டேனியல்லி, டேவ்சன் கருத்து
1. வெளிப்புறம்; 2. உட்புறம் 3. புரோட்டீன் அடுக்கு; 4. லிபிடு அடுக்கு.

75Å தடிப்பும் அதில் லிபிட் புரோட்டீனடுக்குகளினமைப்பும் பிளாஸ்மா சவ்வுக்குமட்டும் பிரத்தியேகமானதல்லவென்றும் செல்லினுள் காணப்படும் என்டொபிளாசவலை சவ்வு, கோல்கி உறுப்புச் சவ்வு, மைட்டோகான்றிய சவ்வு, பசுங்கணிகச் சவ்வு, முதலியஎல்லா சவ்வுகளுக்கும் பொதுவானதென்றும் ராபர்ட்சனாலும் மற்றும் சிலராலும் கருதப்படுகிறது. அப்படியாயின், செல்லின் மற்றச் சவ்வுப் படலங்களெல்லாம், பிளாஸ்மா சவ்விலிருந்தே அதன் உள் மடிப்புகளாகத் தோன்றியிருக்கக் கூடுமென்று கருத இடமுண்டு. என்டொபிளாச வலைச்சவ்வு சில சமயம், பிளாஸ்மா சவ்வோடு இணைந்திருப்பதாகத் தெரிவது இக் கருத்துக்கு அனுசரணையாகக் குறிப்பிடப்படுகிறது.




படம் 9.9
செல்சவ்வின் அமைப்பைப்பற்றிய ராபார்ட்சன் கருத்து
1. உட்புறம்; 2. வெளிப்புறம்.

ஆனால், சமீபகாலத்தில் செய்யப்பட்ட சில ஆராய்ச்சிகள் மேற்சொன்ன கருத்தை ஆதரிப்பனவாக இல்லை. செல் நுண்ணுறுப்புகளொவ்வொன்றிலும் காணப்படும் சவ்வுகள் அமைப்பு, தடிப்பு ஆகியவற்றில் தனித்தன்மை வாய்ந்தனவென்றும், பிளாஸ்மா சவ்வுக்கும் அவற்றுக்கும் தொடர்பில்லையென்றும் சொல்லப்படுகிறது.

### செல் சவ்வின் பணி

செல்லினுள்ளிருந்து சுற்றுப்புறத்துக்கும், சுற்றுப்புறத்திலிருந்து செல்லுக்குள்ளும் செல்லும் பொருள்களைக் கண்காணிக்கும்

அரணுகச் செல்சவ்வு பணியாற்றுகிறதெனலாம். இதில், செல்லினுள் செல்லும் பொருள்களைப்பற்றியும், அவை எப்படிச் செல்லுகின்றன என்பதைப்பற்றியுந்தான் அதிக ஆய்வுகள் நடத்தப்பட்டுள்ளன. செல்லிலிருந்து வெளியேறும் பொருள்களைப் பற்றி அவ்வளவாக ஆயப்படவில்லை.

பொருள்களைச் செல்சவ்வு செல்லுக்கு உள்ளும் புறமும் கடத்துவது இரண்டு பிரதான வழிகளில் நடைபெறுகிறது. ஒன்று சைட்டோசிஸ் (cytosis) அல்லது நுண்துளிக் கடத்தல். இரண்டு ஊடுருவிச் செல்லுதல் (permeation).

## சைட்டோசிஸ்

சைட்டோசிஸ் மூன்று படிகளில் நடைபெறுகிறது. அவை என்டோசைட்டோசிஸ் (endocytosis), இன்ட்ராசைட்டோசிஸ் (intracytosis), எக்டோசைட்டோசிஸ் (ectocytosis) என்பனவாம். என்டோசைட்டோசிசானது பினோசைட்டோசிஸ் (pinocytosis) என்றும் சொல்லப்படும். இதுசெல்லுக்கு வெளியிலிருக்கும் பொருளை உள்ளே கடத்துவதாகும். இதில் முதலில் வெளியிலுள்ள அயனிகள், மூலக்கூறுகள் அல்லது வேறு பொருள்கள், கிளைகோசூழ லுக்குள் நுழைகின்றன. இதனுல் கிளைகோ சூழலுக்கு ஏற்படும் சேதமே அதனுள்ளமைந்திருக்கும் பிளாஸ்மாசவ்வில் என்டோ சைட்டோசிஸ் நிகழக் காரணமாகிறதென்று தெரிகிறது. கிளைகோ சூழலைத் தாண்டி செல்சவ்வை அடையும் பொருளைச்சுற்றிச் செல் சவ்வு குழிந்து ஒரு சிறு துளியாக மூடி, செல்சவ்விலிருந்து பிய்ந்து தனித்துளியாகச் செல்லுக்குள் செல்லுகிறது. அவ்வாறு பொருளைச் சூழ்ந்த சவ்வு என்டோசோம் (endosome) எனப்படும். செல் லினுள் சென்ற என்டோசோமிலடங்கிய பொருள் பொதுவாக நொதிகளினுல் சீரணிக்கப்படுகிறது. அச் சமயம் பெரிய என்டொ சோம்கள் சிறு சிறு என்டொசோம்களாகப் பிரியலாம். இதுவே இன்ட்ராசைடோசிசாகும். சீரணிக்கப்பட முடியாத பொருள்கள் என்டொசோமுக்குள்ளேயே அடங்கியிருக்கின்றன. இவை மீண்டும் செல்சவ்வை அடைந்து அதனோடு இணைந்து செல்சவ் வுக்கு வெளியே திறந்து, சீரணமாகாத பொருள்களைச் செல்சவ் வுக்கு வெளியே தள்ளி விடுகின்றன. இதுவே எக்டோசைடோசி சாகும். என்டோசைட்டாசிசால் ஏற்படும் சவ்வுக் குறைப்பு, எக்டோசைட்டோசிசால் ஈடுகட்டப்படுகிறது எனத் தெரிகிறது.

## ஊடுருவல்

சைட்டோசிஸ் வழியில் எவ்வாறு பொருள்கள் செல்லுக் குள்ளும் வெளியேயும் கடத்தப்படுகின்றன, அதில் செல்சவ்வு

எவ்வாறு ஈடுபடுகிறது என்பதைப்பற்றித் தெரிவதுபோல், ஊடுருவலைப்பற்றித் தெரியவில்லை. ஆயினும் சைட்டோசிசைவிட, ஊடுருவலால்தான் அதிக பொருள்கள் செல்லுக்கு உள்ளும் புறமும் செல்லுவதாகத் தெரிகிறது. மற்றும் ஊடுருவல், செல்சவ்வின் நுண்ணமைப்பைப் பொருத்தே அமையுமாதலால், சவ்வை ஊடுருவும் பொருள்களின் அமைப்பையும், ஊடுருவும் வேகத்தையும் மற்றும் பல அமிசங்களையும் கொண்டு செல்சவ்வின் கட்டமைப்பை அனுமானிக்கக்கூடும். உண்மையில், இன்று செல்சவ்வின் அமைப்பைப்பற்றி நாமறிந்துள்ளதெல்லாம், ஊடுருவல் மூலம் செல்சவ்வைத் தாண்டப்படுவதைப்பற்றிச் செய்யப்பட்ட பல சோதனைகளிலிருந்து அனுமானிக்கப்பட்டதேயாகும். எனவே, இவற்றைப்பற்றிச் சற்று விரிவாகப் பார்ப்போம்.

ஊடுருவலானது இரண்டு பிரதான முறைகளில் நடைபெறுகிறது. ஒன்று இயல்பூடுருவல் (permeation). இரண்டு ஆற்றலாற் கடப்பு (active transport). இயல்பூடுருவலானது இயல்பான செயல்களாகிய அடர்த்தி வித்தியாசத்தால் நடைபெறும் ஊடுபரவல் (diffusion), அயனிகளின் மின்னழுத்த மட்ட வித்தியாசத்தால் ஏற்படும் பரிமாற்றம் முதலியவற்றை அடிப்படையாகக் கொண்டது. ஆகையால், இவற்றில் இவ் வித்தியாசங்கள் நீக்கப்பட்டுச் சமநிலை ஏற்படுகிறது. ஆனால் ஆற்றலாற்கடப்புக்கு இயல்பான இந் நிகழ்ச்சிகள் காரணமாவதில்லை. அடர்த்திமிக்க இடத்தில் மேலும் அடர்த்திமிகும் நிகழ்ச்சி நடைபெறலாமாகையால் இது செயலாற்றலைப் பயன்படுத்தி இயல்புக்கு மாறான போக்கில் நடத்தப்படும் நிகழ்ச்சியாகும். எனினும், இயல்பூடுருவல், ஆற்றலாற் கடப்பு ஆகிய இரண்டையும் துல்லியமாக வேறுபடுத்தியறிவது அவ்வளவு எளிதல்ல. கீழ்வரும் அடிப்படைகளைக் கொண்டு இவற்றைப் பிரித்தறியலாம்.

**இயல்பூடுருவலுக்கும் ஆற்றலாற்கடப்புக்கும் உள்ள வேறுபாடுகள்**

1. இயல்பூடுருவலின் வேகம் பெரும்பாலும் அடர்த்தி வித்தியாசத்தைப் பொறுத்தே அமைகிறது. ஆனால் ஆற்றலாற்கடப்பில் அவ்வாறில்லை.

2. ஆற்றலாற்கடப்பில், வேதியமைப்பில் ஒற்றுமையுடைய வெவ்வேறு பொருள்கள் ஒன்றையொன்று பாதிக்கின்றன. இதற்கு அவை தம்முள் போட்டி போடுவது காரணமாகலாம். ஆனால் இயல்பூடுருவலில் வேதியமைப்பில் ஒற்றுமையுள்ள பொருள்கள் ஒன்றையொன்று பாதிப்பதில்லை.

3. ஒரு பொருளின் இயல்பூடுருவல் வேகம் அப் பொருள் லிபிடில் கரையுந்திறனையும், மூலக்கூறின் பருமனையும் பொருத்த தாக இருக்கிறது. ஆனால் ஆற்றலாற்கடப்பில் அவ்வாறல்ல.

4. வளியுயிர்ப்பு நடத்தும் உயிரினங்களில் அவற்றிற்குக் கிடைக்கும் ஆக்சிஜன் வாயுவின் அளவு குறையுமானால், ஆற்ற லாற்கடப்பும் குறைகிறது. ஆனால் இயல்பூடுருவலுக்கும், ஆக்சிஜன் வாயுவினளவுக்கும் நேரடியான தொடர்பு கிடையாது.

5. போதைப்பொருள்களினால் ஆற்றலாற்கடப்புக் குறைகிறது. ஆனால், அவற்றை நீக்கினால் மீண்டும் அதிகரிக்கிறது. ஆனால் போதைப் பொருள்களால் இயல்பூடுருவல் மிகச் சிக்கலான முறை யில் பாதிக்கப்படுகிறது.

6. நொதியின் செயலைப் பாதிக்கும் ஹைட்ரோசயனிக் அமிலம் (hydrocyanic acid), கார்பன்மோனாக்சைடு (carbon monoxide) சோடியம் அசைடு (sodium azide) டைநைட்ரோஃ பினால் (dinitrophenol), அயொடோ அசிடேட் (iodoacetate), ஃபுளோரைடு (fluoride) முதலிய பொருள்களால் ஆற்றலாற் கடப்புப் பாதிக்கப்படுகிறது. ஆனால், இயல்பூடுருவல் அவ்வாறு பாதிக்கப்படுவதில்லை.

மேற்குறிப்பிட்ட பல அமிசங்களின் அடிப்படையில் ஆற்றலாற் கடப்பையும் இயல்பூடுருவலையும் வேறுபடுத்தியறியலாம்.

**இயல்பூடுருவலும் சவ்வமைப்பும்**

செல்சவ்வின் அமைப்பை அதன் செயலிலிருந்து அறிந்து கொள்ளுவதற்காக அதன் வழியாக இயல்பூடுருவிச் செல்லும் பல பொருள்களின் தன்மையைப்பற்றியும், அவை இயல்பூடுருவும் வேகம் முதலியனபற்றியும் பல விரிவான சோதனைகள் நடத்தப்பட் டுள்ளன. அவற்றிலிருந்து அறியப்பட்டுள்ள உண்மைகள் சில வற்றைப் பற்றிப் பார்ப்போம்.

**லிபிடில் கரைதிறனும் இயல்பூடுருவலும்:** ஒரு பொருளின் லிபிடில் கரைதிறனுக்கும், இயல்பூடுருவுத் திறனுக்கும் நேர் விகித தொடர்புள்ளதென்று அநேக சோதனைகள் வலியுறுத்துகின்றன. இதிலிருந்து, பிளாஸ்மா சவ்வில் லிபிடு ஒரு முக்கியப் பகுதியாக இருக்க வேண்டுமென்று தெரிகிறது. ஆனால், செல் சவ்வில் இருக்கக்கூடிய லிபிட் எத்தன்மையது, அதன் வேதிக் கட்ட மைப்பு என்ன? அது எவ்வாறு அமைந்துள்ளது? என்பனபற்றி

ஒன்றும் அறியமுடியவில்லை. மற்றும் லிபிடில் கரைதிறனுக்கும் இயல்பூடுருவலுக்கும் தொடர்பில்லாத பல பொருள்கள் இருப்பதாகவும், இது செல் சவ்வின் லிபிடு தன்மைக் கோட்பாட்டுக்கு முரணாகவுள்ளது என்றும் சிலரால் கருதப்படுகிறது. இதுபற்றிக் கீழ்வரும் மூன்று அமிசங்களைக் கவனிக்கலாம்.

1. லிபிடில் கரையாதனவாகிய சர்க்கரைகள், அமினோ அமிலங்கள், கனிம உப்புகள் முதலிய பல பொருள்களைச் சாதாரணமாகச் செல்கள் உள்ளெடுத்துக்கொள்ளுவதால், லிபிடில் கரையும் பொருள்களே செல்சவ்வை இயல்பூடுருவ முடியும் என்ற கொள்கை தவறானதென்று பலரால் வலியுறுத்தப்படுகிறது. ஆனால், இது சரியான வாதமல்லவென்று மற்றவர்களால் கருதப்படுகிறது. ஏனென்றால், பொதுவாக லிபிடில் கரையாதன என்று குறிப்பிடப்படும் பல பொருள்கள், உண்மையில் லிபிடில் ஒரு சிறு அளவுக்கேனும் கரையக்கூடியவையாகும். ஆகவே, லிபிடில் கரையாத்தன்மையால் செல்சவ்வை இயல்பூடுருவக் கூடாதது என்று எப் பொருளையும் குறிப்பிட முடியாது. மற்றும் லிபிடில் கரையாதவை எனக் குறிப்பிடப்படும் பல பொருள்கள் ஆற்றல் கடப்பால் செல்சவ்வைத் தாண்டுவதாகத் தெரிவதால், அவற்றின் இயல்பூடுருவலை ஆற்றற்கடப்பு மறைத்துவிடக்கூடும். பெக்கியடோவா (Beggiatova), சில டயாடம்கள் (diatoms) ஆகியவற்றைத் தவிர மற்றெந்தச் செல்லையும்,லிபிடில் கரையாதன இயல்பூடுருவிச் செல்லுகின்றன என்று சொல்ல முடியாது.

2. மெதிலின் பச்சை (methylene green), மெதைல் பச்சை (methyl green), தையோனின் (thionine) முதலிய காரச்சாயங்கள் லிபிடில் கரையாதனவாயினும், செல்சவ்வை இயல்பூடுருவுகின்றன என்று சொல்லப்படுகிறது. ஆனால், இங்கும் மேற்சொன்னது போலவே இவை லிபிடில் ஒரு சிறிதும் கரையாதன வென்று நிரூபிக்கப்படவில்லை. மற்றும் நாம் சாதாரணமாகச் சோதனைக்குப் பயன்படுத்தும் லிபிடுகளில் இவை கரையாவிட்டாலும், அமிலத் தன்மையுடைய வேறு லிபிடுகளில் கரையக் கூடியனவாக இருக்கலாம். எனவே, இவற்றைப்பற்றி மேலும் ஆய்ந்தறிவதற்குமுன் இதைப்பற்றி முடிவாகச் சொல்ல முடியாது.

3. இயல்பூடுருவலுக்கும், லிபிடில் கரைதிறனுக்குமிடையே ஒரு சில முரண்பாடுகளுள்ளனவாயினும், இவைகளெல்லாம் சோதனையின் தவறுகளாலும், மற்றும் செல்சவ்வின் லிபிடுகளைப் போன்ற லிபிடுகளை நாம் கண்டறிந்து சோதனை செய்யாமையாலும் ஏற்படக் கூடியனவேயாகும்.

### மூலக்கூறின் பருமனும் இயல்பூடுருவலும்

அயனீகரணமடையாத அல்லது மெல்லயனீகரணமடையும் பொருள்களில் 45 க்குக் குறைவான மூலக்கூறெடையைக்கொண்ட எப்பொருளும் செல்சவ்வை விரைவாக இயல்பூடுருவக் கூடியதாக வுள்ளது. இதற்கு எடுத்துக்காட்டாக $NH_3$ (17), $H_2O$ (18), HCN(27), CO (28), $O_2$(32), ஹைட்ரசீன் (32), மெத்தனுல்(32), ஹைட்ராக்சிலமின் (33), $H_2O_2$ (34), $H_2S$ (34), அசிடோநைட்ரைல் (41), $CO_2$(44) முதலியவற்றைக் குறிப்பிடலாம். இவைகளெல்லாம் லிபிடில் நன்ருகக் கரையக்கூடியனவுமாகையால் இவற்றின் இயல்பூடுருவலுக்கு இதுவும் காரணமாகலாம். ஆனுல் சில சோதனைகளிலிருந்து பெறப்பட்ட கணக்கீடுகள், இவற்றின் இயல்பூடுருவல் வேகம் இவற்றின் மூலக்கூறெடைக்கேற்ற வேகத்தைவிட மிக அதிகமாக இருக்கிறதென்று தெரிய வந்துள்ளது.

பொதுவாக ஒத்த கட்டமைப்புள்ள வரிசையான வேதிப் பொருள்களின் மூலக்கூறு நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, இயல்பூடுருவுத் திறனும் அதிகரிக்கிறது. ஆனுல், இந்த விதியானது, வரிசையின்முதல் பொருள் அல்லது முதலிரண்டு பொருள்களுக்குப் பொருந்துவதில்லை. எடுத்துக்காட்டாக ஃபார்மமைடு(formamide) அசிடமைட்டை (acetamide) விட வேகமாக இயல்பூடுருவுகிறது. ஆனுல், புரொப்பியோனமைடு (propionamide) அசிடமைடை விட வேகமாக ஊடுருவுகிறது. எனவே, இயல்பூடுருவல் திறன் மூலக்கூறெடையையோ, மூலக்கூறின் பருமனையோ நேரடியாகப் பொருத்ததாகத் தெரியவில்லை. வேறு ஏதோவோரு இன்னமும் அறியப்படாத அமிசம் இதில் சம்மந்தப்பட்டிருக்கலாம். மூலக்கூறெடை 252 உள்ள நியூட்ரல் சிவப்பு (neutral red), 289 உள்ள அட்ரொபின் (atropine), 303 உள்ள கொகேய்ன் (cocaine), 313 உள்ள திபேய்ன் (thebaine) முதலியவை பெரிய மூலக்கூறுகளைக் கொண்டனவாயினும், அவற்றின் லிபிட் கரைதிறனுக்கேற்ப மிக எளிதாகச் செல் சவ்வை ஊடுருவக் கூடியனவாக இருக்கின்றன.

### இயல்பூடுருவலில் மூலக்கூறெடைக்கும் லிபிடில் கரை திறனுக்கும் உள்ள முக்கியத்துவம்

இதுவரை செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து, ஒரு பொருளின் இயல்பூடுருவுத்திறனை நிர்ணயிப்பதற்கு அதன் மூலக்கூறெடையை விட, லிபிடில் கரைதிறனே முக்கியமென்று தெரிகிறது. 50, 100, 200, 400 முதலிய மூலக்கூறெடையுள்ள பொருள்கள் விரைவாக

இயல்பூடுருவக் கூடியனவாகவோ, அல்லது மிக மெதுவாக ஊடுரு வககூடியனவாகவோ இருக்கலாம் ஆனால், ஒரு கொல்லாய்டல் பொதபொருளானது ஆலிவ் எண்ணெய்போன்ற லிபிடில் எவ்வளவு கரைகிறது என்று தெரிந்தால் அதனுடைய இயல்பூடுருவுத் திறனை ஓரளவுக்கு நிச்சயிக்கலாம். ஆனல் ஒரு லிபிடில் கரையக்கூடிய பொருள்களின் இயல்பூடுருவுத் திறன் அவற்றின்மூலக்கூறெடை யைப் பொருத்து வேறுபடலாமாகையால், ஒரு பொருளின்லிபிட் கரை திறனையும், மூலக்கூறெடையையும் வைத்து அதன் இயல் பூடுருவுத் திறனைச் சரியாக நிர்ணயிக்கலாம்.

பல சோதனைகளிலிருந்து, மூலக்கூறெடை 50க்குக் குறைவாக உள்ள பொருள்கள் பெரிய மூலக்கூறுடைய பொருள்களைவிட மிக அதிகமான இயல்பூடுருவுத் திறனைக் காட்டுகின்றன என்று தெரிய வந்துள்ளது. செல்சவ்வில் சிறு மூலக்கூறுகள் நேரடியாக நுழையக் கூடியனவும், பெரிய மூலக்கூறுகள் நுழையக்கூடாதன வுமான துளைகள் இருப்பதே இதற்குக் காரணமாகலாமென்று பலரால் கருதப்படுகிறது. இதன்படி செல்சவ்வானது மூலக்கூறு லான ஒரு சல்லடையாகச் செயல்படுகிறது என்று சொல்லலாம். இது லிபிட்-சல்லடைக் கோட்பாடு எனப்படும்.

செல்சவ்வில் நுண்துளைகள் இருப்பதுண்மையாக இருந்தால் அத்துளைகள் நிரந்தரமானவையா என்ற கெள்வி எழுகிறது. இது பற்றி நடத்தப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து தாவரச் செல்சவ்வில் நிரந்தரமான, தண்ணீர் நிறைந்த நுண்துளைகள் இருக்கமுடியாது என்று தெரிகிறது. மாருக அவ்வப்போது ஆங்காங்கு நுண்துளைகள் தோன்றிப் பிறகு மறைந்துவிடலாமென்று கருதப்படுகிறது. இத் துளைகளின் வழியாகத்தான் சிறிய மூலக்கூறுகள் எளிதில் நுழைந்து செல்லுகின்றன என்று எண்ணலாம். ஆனல் நிரந்தர மாக இல்லாமல் மிகச்சிறு நேரமே தோன்றி மறையும் நுண் துளைகளின் வழியாக ஒரு பொருள் நுழைவது அதனுடைய மூலக் கூறின் உருவத்தையும், துளை தோன்றுங்கால் அத்துளையின் அருகில் மூலக் கூறு இருப்பதையும், அப்படி இருந்தாலும் அதன் மூலக்கூறு துளையில் நுழைவதற்கேற்ற கோணத்தில் அமைந்திருக் கிறதா என்பதையும் பொருத்ததாக இருக்கும்.

## செல்சவ்வும் ஆற்றலாற்கடப்பும்

அநேக பொருள்கள் ஆற்றலாற்கடப்பினுல் செல் சவ்வைத் தாண்டிச் செல்லுகின்றன. இயல்பூடுருவும் பல பொருட்கள்கூட ஆற்றலாற்கடப்பினுல் எடுத்துக்கொள்ளப்படலாம். ஏனெனில்

இயல்பூடுருவலானது அடர்த்தி மிகுந்த இடத்திலிருந்து அடர்த்திக் குறைந்த இடத்துக்குத்தான் நடைபெற முடியும். ஆகவே, இயல் பூடுருவும் பொருளும், அடர்த்திக்குறைவான இடத்திருலிந்து(பொது வாக வெளிப்பக்கத்திலிருந்து) அடர்த்திக் அதிகமான இடத்துக்குச் (பொதுவாக செல்லின் சைட்டொபிளாசத்துக்கோ, வேக்யூ லுக்கோ) செலுத்தப்படவேண்டுமென்றால் அது ஆற்றலாற் கடப்பின் மூலமே நடைபெற முடியும்.

ஆற்றலாற்சடப்பைப் பொறுத்தவரையில், பொருள்களை மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம். அவை, 1. அயனீகரணமடை யாதன அல்லது அயனீகரணமடைந்தாலும் இரு அயனிகளும் சம அளவிலமைபவை, 2. அயனீகரணமடைந்து ஓர் அயனியை அதிகமாகப் பெறுபவை, 3. தண்ணீர். இம் மூன்றின் ஆற்றல் கடப்பும் வெவ்வேறு முறைகளில் நடைபெறலாமாகையால் இவற்றைப்பற்றித் தனித்தனியாகப் பார்ப்போம்.

## அயனீகரணமடையாதனவற்றின் ஆற்றலாற்கடப்பு

1. **சர்க்கரைகள்:** சர்க்கரைகள் செல்களின் முக்கிய உணவுப் பொருள்களாகும். ஆனால் இவை மிக மெதுவாகவே இயல்பூடு ருவுவனவாகையால் தமது சர்க்கரைத் தேவையைச் சமாளிக்க செல்கள் சர்க்கரைகளை ஆற்றலாற்கடத்தப்படவேண்டியது அவசியமாகிறது.

சர்க்கரைகள் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுவதைப்பற்றிய பல சோதனைகள், சர்க்கரையையே முழு உணவாகக் கொண்டு வளரும் ஈஸ்ட் செல்களை வைத்துச் செய்யப்பட்டுள்ளன. ஈஸ்ட் செல்கள் லேக்டோஸ், கேலக்டோஸ், சேர்போஸ், அரபினோஸ் முதலிய சர்க்கரைகளைச் சிறிதும் எடுத்துக்கொள்வதில்லை. ஆனால் குளுகோஸ், மேனோஸ், ஃபிரக்டோஸ் ஆகிய சர்க்கரைகளை மிக வேகமாக எடுத்துக்கொள்ளுகின்றன. இம்மாதிரியாக, லிபிடில் கரைவதிலும் மூலக்கூறெடையிலும் ஏறக்குறைய சமமான சில சர்க்கரைகளை எடுத்துக்கொள்ளுவதும் சிலவற்றை எடுத்துக் கொள்ளாததும் இவை தனிப்பட்ட முறையில் எடுத்துக்கொள்ளப் படுகின்றன என்று வலியுறுத்துகிறது. ரோத்ஸ்டீன் (Rothstein) என்பவரும் அவரது கூட்டாளிகளும் இதைப்பற்றிப் பல சோத னைகள் நடத்தியுள்ளனர். முதலில் அவர்கள் கண்டது யுரேனில் அயனிகள் ($UO_2^{++}$) மிகக் குறைவான அடர்த்தியில் ஈஸ்ட் செல்கள் வாழும் சர்க்கரைக் கரைசலில் இருந்தாலும் குளுகோசை நொதிக்கச்செய்வது பெருமளவுக்குத் தடைபடுகிறது என்பதாகும். ஆனால், இதைப்பற்றி மேலும் ஆராய்ச்சி செய்ததில், யுரேனில்

அயனிகள் செல்களுக்குள் செல்லுவதில்லையென்றும், செல்லின் வெளிப்பரப்பில் மட்டும் குறிப்பிட்ட இடங்களில் ஒட்டிக்கொள்ளு கின்றனவென்றும் தெரியவந்தது. மற்றும் யுரேனில் அயனிகள் ஆறு கார்பன் சர்க்கரைகள் செல்லினுள் செல்லுவதைமட்டும் தடைசெய்கின்றனவேயன்றி, அவற்றின் உயிர்ப்பிலும் நொதித் தலிலும் நடைபெறும் வேறு கிரியைகளைப் பாதிப்பதில்லையென்றும் தெரியவந்தது. எனவே, யுரேனில் அயனிகள், ஆறு கார்பன் சர்க்கரைகளை ஆற்றலாற்கடத்தப் பயன்படும் சில பொருள் களையோ கிரியைகளையோ செல்லின் வெளிப்பரப்பில் பாதிக்கின்றன என்று எண்ணவேண்டியுள்ளது. சர்க்கரைகள் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுவதற்கும் தேவையான பாஸ்பரீகரணத்தை நடைபெறச் செய்யும் ATP போன்ற பொருள்களோடு யுரேனில் அயனிகள் சேர்ந்து அவற்றைச் செயலிழக்கச் செய்யக்கூடும் என்று அனுமானிக்கப்படுகிறது.

உயர் தாவரங்களின் இலைகளைச் சர்க்கரை கரைசலில் மிதக்க விட்டால் இலை செல்கள் சர்க்கரையை அதிகமாக எடுத்துக் கொள்ளுகின்றன. அவ்வாறு அவை எடுத்துக்கொள்ளுவ தானது, ஆக்சிஜன் வாயு உள்ளபோது வேகமாகவும், இல்லாத போது மிக மெதுவாகவும் நடைபெறுவதிலிருந்து இச் செயல் ஆற்றலாற் கடப்பினுல் நடைபெறுகிறதென்று தெரிய வருகிறது. மற்றும் இலைகளில் தயாரிக்கப்படும் சர்க்கரைகள், இலையின் சீவ் குழல்களுக்குச் செலுத்தப்பட்டு அங்கிருந்து வேறு பாகங்களுக்குச் செலுத்தப்படுவது ஆற்றலாற்கடப்பினுல் நடைபெறுவதாகுமெனக் கருதப்படுகிறது. ஆனுல், இதைப்பற்றி ஆய்ந்தறிவது மிகக் கடினமாகையால் ஈஸ்ட் செல்களில் சர்க்கரை நுழைவைப் பற்றி அறிந்த அளவுக்கு உயர் தாவரச் செல்களைப்பற்றி அறியப்படவில்லை

2. **அமினோ அமிலங்கள்:** அரிஸ் (Arisz) என்பவரும் அவருடைய கூட்டாளிகளும் வாலிஸ்னேரியா ஸ்பைராலில் (vallisneria spiralis) என்னுந் தாவரத்தில் இலை பாரங்கைமா செல்களும், ட்ரொசீரா கேப்பென்சிஸ் (drosera capensis) என்ற தாவரத்தினுடைய இலையின்வளரிகளும், அமினோ அமிலங்களையும் அமினோ அமில அமைடுகளையும் எவ்வாறு எடுத்துக் கொண்டு கடத்துகின்றன என்பதைப்பற்றிச் செய்த ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து இவ்விரண்டிலுமே இப்பொருள்கள் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுகின்றன என்பதைக் கண்டறிந்தார்கள். ஆக்சிஜன் வாயுவில்லாதபோதும் நொதியடக்கிகள் பலவற்றினுலும் இப் பொருள்களை எடுத்துக் கொள்ளுவது தடைப்படுகிறது.

ஸ்டஃபைலோ கோக்கஸ் அயூரியஸ் (staphylococcus aureus) என்னும் பாக்டீரியம் அமினோ அமிலங்களை எடுத்துக்கொள்ளுவது பற்றி கேல் (Gale) என்பவரும் அவரது கூட்டாளிகளும் பல சோதனைகளை நடத்தினார்கள். குளுடாமிக் அமிலம்(glutamic acid) என்ற அமினோ அமிலமற்ற செல்களை, அவ்வமிலக் கரைசலில் இட்டால், அச்செல்களுக்கு ஆற்றல் ஆதாரமெதுவுமளிக்கப்படாத வரை, அவற்றினுள் அவ்வமிலம் எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதில்லை. ஆனால் ஆற்றல்ஆதாரமான குளுகோஸ் போன்ற பொருளைக் கரைசலில் சேர்த்தால் உடனே செல்களினுள் குளுடாமிக் அமிலம்விரைவாக எடுத்துக்கொள்ளப்படுகிறது. அதனால் வெளிக் கரைசலிலிருப்பதைவிட, அவ்வமிலம் செல்களினுள் 400 மடங்கு அடர்த்தியை அடையலாம். மற்றும் குளுகோஸ் மெட்டபாலி சத்தைப் பாதிக்கும் பொருள்களால் குளுடாமிக் அமிலம் எடுத்துக் கொள்ளப்படுவது தடைப்படுகிறது. அதுவுமல்லாமல், குளுடாமிக் அமிலம் நிறைந்த செல்களைக் கழுவி, மறுபடியும் தண்ணீரி லிட்டால், செல்களிலிருந்து மிகச் சிறு அளவே அமிலம் வெளியேறு கிறது. ஆகவே, இவற்றிலிருந்து குளுடாமிக் அமிலமானது இந்தப் பாக்டீரியாவில் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுகிறதென்று தெளிவாகத் தெரிகிறது.

### 3. மற்ற பொருள்கள்

டையாட்டங்களைச் (diatoms) சர்க்கரைகள், பாலிஹைட்ரிக் ஆல்கஹால்கள் (polyhydric alcohols), அமைடுகள் (amides) முதலியவற்றால் பிளாஸ்மாலிசிஸ் (plasmolysis) அடையச் செய்தால், அவை மற்றத்தாவரச் செல்களைவிட விரைவில் பிளாஸ் மாலிசிஸ் நீக்கம் (deplasmolysis) அடைகின்றன என்று பல ஆண்டுகளாகத் தெரியும். இதற்குக் காரணம், அவற்றின் செல் சவ்வு மிக எளிதில் இயல்பூடுருவப்படக்கூடிய தன்மையைப் பெற்றிருப்பதாகுமென்று கருதப்பட்டது. ஆனால், இப்போது போகென் (Bogen), ஃபோல்மேன் (Follmann) என்பவர்கள் செய்த சோதனையிலிருந்து பிளாஸ்மாலிசிஸ் நீக்கமானது நொதி யடக்கிகளினால் தடை செய்யப்படுகிறதென்று தெரிய வந்துள்ளது. எனவே டையாடம் செல்களின் இயல்பான பிளாஸ்மாலிசிஸ் நீக்கம், அவை ஆற்றலாற்கடப்பினால் கரைசல்களை எடுத்துக் கொள்ளுவதனால் நிகழ்கிறதென்று தெரிகிறது. டையாட் டங்களைத் தவிர வேறு செல்களிலும் பிளாஸ்மாலிசிஸ் நீக்கம், நொதிடயக்கிகளினால் பாதிக்கப்படுகிறதென்று போகன் என்ப வரால் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. ஆகவே ஆற்றலாற்கடப்பு என்பது இதுகாறும் கருதப்பட்டதைவிட அதிக அளவில், நடை

பெறுகிறதென்றும், பல்வேறு பொருள்கள் ஆற்றல்கடப்பினுல் எடுத்துக்கொள்ளப்படுகின்றன வென்றும் கருதவேண்டியுள்ளது.

**அயனீகரணமடையும் பொருள்களின் ஆற்றலாற்கடப்பு**

பொதுவாகத் தாவரங்களுக்குத் தேவையான பல கனிம உப்புகள், கரைசலில் அயனீகரணமடைவனவாகும். ஆகவே இவற்றைத் தாவரச் செல்கள் அயனிகளாகவே எடுத்துக்கொள்ளு கின்றன என்று கருதப்படுகிறது. அவ்வாறு அயனி உறிஞ்சுதலைப் பற்றி பல்வேறு செல்களையும், திசுக்களையும், முழுத் தாவரங்களையும் வைத்து ஏராளமான சோதனைகள் நடத்தப்பட்டுள்ளன. ஆயினும், செல்களில் அயனிச் சேர்ப்பு எப்படி நடைபெறுகிறது என்பதற்கு எல்லா வகைகளிலும் திருப்தியான ஒரு விளக்கம் இதுவரை கிடைக்கவில்லை. எனினும், இப் பிரச்சினையைப்பற்றிய பொதுவான கருத்துகள் பலரால் ஏற்கப்பட்டுள்ளன.

குறைந்த செறிவான இடத்திலிருந்து அதிகச் செறிவான இடத்துக்கு அயனிகளைக்கடத்துவதற்குச் செல் மெட்டபாலிசத்தில் வெளிப்படும் ஆற்றல் உபயோகிக்கப்படுகிறது என்பது இப்போது அனைவராலும் ஒப்புக்கொள்ளப்படுகிறது. அயனிக் கடப்பைப் பற்றிச் செய்யப்பட்ட பெரும்பான்மையான சோதனைகள், வளி யுயிர்ப்பு நடத்தும் உயிர்களை வைத்தே நடத்தப்பட்டுள்ளன வாகையால் அயனிக்கடப்புக்குத் தேவையான ஆற்றல் வளி யுயிர்ப்பிலிருந்தே பெறப்படுகிறதென்று பலராலும் வலியுறுத்தப் படுகிறது. ஆனுல், ஆக்சிஜன் வாயு ஈடுபடும் வளியுயிர்ப்பைத் தவிர மற்ற மெட்டபாலிச நிகழ்ச்சிகளிலிருந்தும் இவ்வாற்றல் பெறப்படலாம். எனினும், இதைப்பற்றி அதிக ஆய்வுகள் நடத்த படவில்லை.

அயனிகளின் ஆற்றலாற்கடப்புக் கோட்பாடுகளிலெல்லாம் பொதுவாகக் 'கடத்தி' (carrier) ஒன்று செயல்படுவதாகக் கருதப் படுகிறது. குறிப்பிட்ட கடத்திகளளோடு அயனிகள் இணைந்து ஒரு தற்காலிக கடத்தியயனிக் கூட்டினை ஏற்படுத்தி, இக் கடத்தியயனிக் கூட்டுச் செல்சவ்வைத்தாண்டிச் செல்லுவதாகச் சொல்லப்படுகிறது. செல்லினுள் சென்றதும் கூட்டிலிருந்து அயனி விடுபட்டுக் கடத்திப் பொருள் தனியாகிறது. அப்படித் தனியான கடத்திப் பொருள் மறுபடியும் செல்சவ்வுக்கு வெளியே வந்து வேருேர் அயனியைக் கடத்துவதற்கு ஏற்றதாகிறது. இப்படிப் பட்ட சுழல்கிரியையின் பலபடிகளுக்கும் ஆற்றல் தேவைப்படு கிறது. முதலில் கடத்திப் பொருள்களை உண்டாக்குவதற்கும், பிறகு அது படிப்படியாக உபயோகத்தால் அழிந்து விடும்போது

மீண்டும் அதை நிரப்புவதற்கும் ஆற்றல் தேவையாகும். மற்றும் கடத்தி மூலக்கூறுகளையும் கடத்தியயனிக் கூட்டு மூலக்கூறு களையும் நகர்த்துவதற்கும் ஆற்றல் தேவைப்படும், கடத்தியோடு அயனியை இணைப்பதற்கும், இணைவை விடுவிப்பதற்கும ஆற்றல் தேவைப்படுகிறது.

கடத்தியாகப் பயன்படும் பொருள்கள் எவை என்பதுபற்றிப் பல்வேறு கருத்துகள் உள்ளன, முதன் முதலில் ஒஸ்டர்ஹோட் (Osterhout) என்பவர் வெளியிட்ட கருத்துப்படி அமிலத்தன்மை யான அயனிகளைக் கடத்த காரத்தன்மையான கடத்திகளும், காரத்தன்மையான கேட்டயனிகளைக் கடத்த அமிலத்தன்மை யான கடத்திகளும் பயன்படுகின்றன என்று சொல்லப்பட்டது. ஆனால் அதன் பிறகு செய்யப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து வேறு கருத்துகள் தோன்றின. ஓவர்ஸ்ட்ரீட் (Overstreet), ஜேகப்சன் (Jacobson) ஆகியவர்கள் கடத்திப் பொருள்களெல்லாம, இயல் பாகச் சைட்டொபிளாசத்தின் ஒரு பகுதியாக அமைந்தனவாக இருக்கவேண்டுமென்று கூறினார்கள். மற்றும் இக் கடத்திகள் மிகக் குறைவான செறிவிலிருக்கும் அயனிகளைத் தெரிந்து எடுத்துச் சேர்க்கும் தன்மையான சீலேசன் (Chelation) என்ற தன்மையைப் பெருமளவில் பெற்றனவாக இருக்கவேண்டுமென்றும் சொன் னார்கள். ஆனால், இத் தன்மைகளைப் பெற்ற பல பொருள்கள் சைட்டொபிளாசத்தல் இருந்தாலும் அவற்றில் எந்தெந்த பொருள்கள் எந்தெந்த அயனிகளைக் கடத்தக்கூடும் என்பதைப் பற்றி ஒன்றும் தெரியவில்லை. லுன்டிகார்து (Lundegardh) என்பவர் சைட்டொகுரோம் மூலக்கூறுகளைப்போன்ற பொருள்களடங்கிய துகள்களின் நிலைமின்னேற்றப் புள்ளிகளில் அயனிகள் இணைக்கப் படலாமென்ற கருத்தை வெளியிட்டார். வேறு ஆராய்ச்சி யாளர்கள், உயிர்ப்புக்கிரியைகளில் தோன்றும் இடை பொருள் களில் பலவற்றைக் கடத்தியாகக் குறிப்பிட்டு, அதன் மூலம் உயிர்புக்கும், அயனிகளின் ஆற்றல்கடப்புக்கும் நேரடியான தொடர்பைக் காட்டும் கருத்துகளை வெளியிட்டுள்ளனர். செல்லில் நடைபெறும் ஆற்றல் மாற்றங்கள் பலவற்றிலும் ஃபாஸ்பரிகரணம் நடைபெறுவதாகத் தெரிவதால், ஆற்றலால் கடத்தப் பயன்படும் கடத்திகளும் ஃபாஸ்பரிகரணத்தின் மூலமே ஆற்றலைப் பெற்று அயனிகளோடு இணைந்து அவற்றைக் கடத்தக் கூடுமென்று பலரால் கருதப்படுகிறது. பாக்டீரியங்களை வைத்துச் செய்த சோதனைகளிலிருந்து இஃது உண்மையென்று தெரியவந்துள்ளது

அயனிகள் ஊடுருவமுடியாமல் தடுக்கும் அமைப்பு எது வென்பதைப்பற்றியும் கருத்துவேறுபாடுகள் உள்ளன. சிலர்

சைட்டொபிளாசம் முழுவதுமே அத்தகைய தடையாக உள்ள தென்று கருதுகிறுர்கள். மற்றவர்கள் செல்சவ்வுமட்டுமே தடை யாக இருப்பதென்றும், சைட்டொபிளாசத்தில் அயனிகள் தாராள மாக நகர்ந்து செல்ல முடியுமென்றும் கருதுகிறுர்கள். செல்லி னுள் அமைந்துள்ள வேக்யூல்களில் பல அயனிகளையும், இதர பொருள்களையும் தனிப்படுத்தி வைக்கக் கூடிய இயல்பை சைட் டொபிளாசம் பெற்றுள்ளது. இதில் வேக்யூல்களைச் சூழ்ந்திருக்கும் சவ்வான டோனேபிளாஸ்ட் என்பது மிக முக்கியப் பங்கு வகிக்கிற தென்று தெரிகிறது. ஆகவே, மொத்தத்தில் அயனிகளுக்கும், இதர பொருள்களுக்கும் ஊடுருவுத்தடையாக இருப்பவை சைட் டொபிளாசத்தின் பகுதியான செல்சவ்வுகளேயாகுமென்று சொல்ல லாம். எனினும் சைட்டொபிளாசத்தினுள் அயனிகள் தன்னிச்சை யாகச் செல்லக் கூடுமென்று சொல்ல முடியாது. ஏனெனில் எந்தெந்த இடங்களில் எந்தெந்த அயனிகள் செயல்பட வேண்டு மென்பதைச் சைட்டொபிளாசத்தின் மெட்டபாலிச நிகழ்ச்சிகள் கட்டுப்படுத்துவதவசியமாகும்.

சைட்டொபிளாசத்தினுள்ளமைந்த வேக்யூல்களில் அயனி களைத் தனிப்படுத்தும் தன்மை வேக்யூலில்லாத செல்களில் என்ன வாகிறது என்ற ஒரு கேள்விக்கு விடையளிப்பது எளிதல்ல. உயர் தாவரங்களின் நுனிஆக்குத்திசுக்களின் செல்களிலும், பல நுண்ணுயிர்களின் செல்களிலும், தெளிவான வேக்யூல்கள் காணப் படுவதில்லை. வேக்யூல்களில் பிறகு தனிப்படுத்தப்படும் அயனிகள் இந்த வேக்யூலற்ற செல்களின் சைட்டொபிளாசத்தின் களத்தில் சில குறிப்பிட்ட மூலக்கூறுகள் அல்லது நுண்மையங்களில் இணைக்கப்பட்டுத் தனிப்படுத்தப்பட்ட நிலையிலிருக்கலாமென்று கருதப்படுகிறது. எனவே, அயனிக்கடப்பிணைப் பொறுத்த வரை, வேக்யூலுள்ள செல்களும், வேக்யூலற்ற செல்களும் ஒரே தன்மை யினவாகுமன்றி வெவ்வேறுன தன்மைகளைக் கொண்டனவென்று சொல்லுவதற்கில்லை.

இனி, சில குறிப்பிட்ட விளக்கங்களைப்பற்றிப் பார்ப்போம். அமில-கார சேர்க்கை மூலம் கடத்திப் பொருள்கள் செயலாற்று கின்றன என்ற முதல் கருத்தின்படி வெளிக் கரைசலுக்கும், செல் சாறுக்குமிடையே சில குறிப்பிட்ட pH மட்டங்கள் நிலவவேண்டிய தவசியமாகும். அவ்வாறு உண்மையில் இருப்பதில்லையாதலால் இக் கருத்துத் தவறுனதென்று நிராகரிக்கப்பட்டது. அடுத்து லுன்டி கார்து என்பவரால் வெளியிடப்பட்டு, ராபர்ட்சன் என்பவரால் ஆதரிக்கப்பட்ட கருத்தின்படி சைட்டொகுரோம் பொருள்களினீடு பாட்டால் அனயனிகள் மட்டும் செல்சவ்வுக்கு வெளியிலிருந்து

செல்லுக்குள் கடத்தப்படுகின்றனவென்றும், கேட்டயனிகள் இயல்பூடுருவலால் செல் சவ்வைத் தாண்டி செல்லை விட்டு வெளியேறுகின்றனவென்றும் சொல்லப்பட்டது. இதற்கு ஆதாரமாக, அயனிகள், அல்லது அவற்றைக் கொண்ட உப்புகளின் உள்ளெடுத்துக் கொள்ளப்படும் அளவுக்கேற்ப செல்லின் உயிர்ப்பு வேகம் மாறுபடுகிறதென்று சில சோதனைகளிலிருந்து தெரிய வந்தது. உயிர்ப்பில் பயன்படுத்தப்படுத்தப்படும் ஒவ்வோர் ஆக்சிஜன் மூலக் கூறுக்கும் நான்கு அயனிகள் எடுத்துக் கொள்ளப்படுவதாகக் கணக்கிடப்பட்டது. ஆனால் அதன் பிறகு நடத்தப்பட்ட பல சோதனைகளிலிருந்து, ஆக்சிஜன் மூலக்கூறுகளினெண்ணிக்கைக்கும், எடுத்துக்கொள்ளப்படும் அயைனிகளின் எண்ணிக்கைக்கும் துல்லியமான தொடர்பில்லையென்றும், நான்குக்கும் மேற்பட்ட அயனிகள் எடுத்துக்கொள்ளப்படலாமென்றும் தெரிய வந்தது. மற்றும் டைநைட்ரோஃபினல் (dinitrophenol) என்னும் பொருளால் உயிர்ப்பைத் தடை செய்யும் சோதனைகள், சைட்டொகுரோம் பொருள்களுக்கும் அயனிக் கடப்புக்கும் தொடர்பில்லையென்றும், உயிர்ப்புக்கும் அயனிக் கடப்புக்கும் பொதுவான தொடர்புதான் உள்ளதென்றும் குறிப்பிடுகின்றன. அதாவது, ஃபாஸ்பரீகரணம் அல்லது மற்ற நிகழ்ச்சிகளே அயனிக் கடப்பை நடத்தப் பயன்படக்கூடுமென்று எண்ண இடமிருக்கிறது.

முடிவாகச் சொல்லுமிடத்து, இதுகாறும் நடத்தப்பட்ட ஆய்வுகளிலிருந்து உயிர்ப்புக்கும், அயனிகள் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுவதற்கும் நேரடியான தொடர்பு உள்ளதென்று நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளது. ஆனால் உயிர்ப்பில் வெளிப்படும் ஆற்றல் அயனிக்கடப்புக்கு எவ் வழியில் எப் பொருள்களின் வழியாகச் செயல்படுகிறது என்று இன்னமும் தெரியவில்லை. அயனிக் கடப்பு என்பது செல்லின் மொத்த இயக்கத்தின் ஒரு பகுதியேயாகுமாதலால், புரோட்டீன் தயாரிப்புப் போன்ற மற்ற இயக்கங்களோடு இது தொடர்பு கொண்டு மொத்த இயக்கத்தின் போக்கினுல் கட்டுப்படுத்தப்பட வேண்டுமென்பதை மறுக்க முடியாது. செல்லின் மற்றப் பல கிரியைகளிலும் இயக்கங்களிலும் ஆற்றலைப் பயன்படுத்துவதற்கு ஃபாஸ்பரீகரணமே பிரதான வழியாக இருப்பதால், அயனிக் கடப்புக்கும் இவ்வழியே பயன்படக்கூடுமென்று கருதலாம். ஆனுல் இது எவ்வாறு செயல்படுகிறது, எப் பொருள்கள் இதில் ஈடுபடுகின்றன என்பவையெல்லாம் வருங்கால ஆய்வுகளால் கண்டறியப்பட வேண்டியனவாகும்.

## தண்ணீர் ஆற்றலாற்கடத்தப்படுதல்

தாவரச் செல்களில் தண்ணீர் உட்புகுவதும், செல்லிலிருந்து கடத்தப்படுவதும் இயல்பூடுருவலால் நடைபெறுகிறதா ஆற்றலாற்கடத்தப்படுகிறதா என்பதைப்பற்றி மிகுந்த கருத்து வேறுபாடுகளுள்ளன. பல பொருள்களின் கடப்பு ஆற்றல் மூலம் நடைபெறுவதாகத் தெரிய வந்துள்ளதால் தண்ணீரும் அதே முறையில் செல்களால் எடுத்துக் கொள்ளப்படலாமென்றும், அனால் தண்ணீரானது இயல்பூடுருவல் ஆற்றலாற்கடப்பு ஆகிய இரண்டு வழிகளிலுமே எடுத்துக்கொள்ளப்படலாமென்றும் கருதப் படுகிறது.

தாவரச் செல்களில், வேக்யூலுக்குள் தண்ணீர் சுரக்கப்படுவதும் தண்ணீர் அபரிமிதமாக உள்ள சூழ்நிலையில், நீர் ஸ்டோமாக்களிலிருந்து தண்ணீர் உகுக்கப்படுவதும் ஆற்றலாற் நடைபெறும் கடப்பாகுமென்று கருதப்படுகிறது.

பிளாஸ்மாலிசிஸ் முறையில் சில பாரங்கைமா செல்களின் செல் சாற்றின் ஆஸ்மாசிய அழுக்கத்தை நிருணயித்தால் அஃது அவற்றின் செல்சாற்றைப் பிழிந்து நிருணயிக்கப்படும் அழுக்கத்தின் அளவைவிட அதிகமாக இருக்கிறது. பொதுவாகச் செல் வேக்யூலில் அடங்கிய செல்சாற்றின் ஆஸ்மாசிய அழுக்கம், பிளாஸ்மாலிசிஸ் தொடங்கு நிலையை உண்டாக்கும் ஆஸ்மாசிய அழுக்கத்துக்குச் சமமாகும் என்று கருதப்பட்டது. சைட்டொபிளாசமானது வேக்யூல்களை அழுக்கிக் கொண்டிருப்பதால் உண்மையில் அவற்றின் சாற்றினுடைய ஆஸ்மாசிய அழுக்கம், நிருணயிக்கப்படும் அழுக்கத்தைவிடக் குறைவாகவே இருக்க வேண்டுமென்றும் தெரிகிறது. இக் குறைவு பலர் எதிர்பாராதபடி சுமார் 2 அல்லது 3 அட்மாஸ்பியர்களுக்குச் சமமாக இருக்கிறது. எனவே, செல் சாற்றைப் பிழிந்து நிர்ணயிக்கப்படும் ஆஸ்மாசிய அழுக்கம், பிளாஸ்மாலிசிஸ் முறையில் நிருணயிக்கப்படுவதைவிட அதிகமாக இருப்பது வியப்புக்குறியதாகும். மற்றும் பாரங்கைமா திசுவின் செல்கள் அவற்றிலிருந்து பிழிந்தெடுத்த சாற்றுல் 50%க்கும் அதிகமாகப் பிளாஸ்மாலிசிசை அடைகின்றன. இவற்றிலிருந்து தெரிவது யாதெனில் செல்லில் சைட்டொபிளாசமானது வேக்யூலுக்குள் ஆற்றலால் தண்ணீரைச் செலுத்துகிறது என்பதாம்.

உயிருள்ள செல்லின் சைட்டொபிளாசமானது தண்ணீரை மிக வலிமையாகப் பற்றி நிறுத்திக்கொள்ளுகிறது. ஆகையால்

வேக்யூல்களிலிருக்கும் தண்ணீரை வெளிப்படுத்தத் தேவையான அழக்கத்தில் சைட்டொபிளாசத்திலிருக்கும் தண்ணீர் வெளிப்படாது எனக் கருதப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, ஃபேகஸ்சில்வாட்டிகா (fagus sylvatica) என்னுந் தாவரத்தின் இலைகள் உயிரோடிருக்கும்போது அவற்றைப் பிழிந்தால் குறைவான சாறு வெளிப்படுகிறது. ஆனால் இலைகளைத் திரவ வாயுவில் குளிர வைத்து இறக்கச் செய்தால் மேலும் அதிகமான சாறு வெளிப்படுகிறது. மைக்கிராஸ்கோப்பில் பார்க்கும்போது உயிருள்ள இலையைப் பிழிந்தால் வேக்யூல்களிலுள்ள சாறு மட்டும் வெளிப்பட்டிருக்கிறதென்று தெரிகிறது. செல்கள் இறந்த பின்னல் சைட்டொபிளாசத்தில் வலிமையாகப் பிணைந்திருந்த தண்ணீரும் வெளிப்படுகிறது. சைட்டொபிளாசத்தில் தண்ணீரை இருத்திக் கொள்ளுவதில் செல்சவ்வின் பங்கு என்ன? ஹயலோபிளாசத்தின் பங்கு என்ன? என்பதைப்பற்றித் தெரியவில்லை.

## செல்சவ்வின் இயங்காற்றல்

செல்சவ்வின் பணியைப்பற்றி இதுகாறும் சொல்லப்பட்டதெல்லாம், செல்சவ்வானது நிலையான ஓர் அமைப்பாக இருந்து கொண்டு செயலாற்றும் அரணாக அனுமானிக்கப்பட்டது. ஆனல் அவ்வாறு நிலையாக ஆற்றும் பணிகளைத் தவிர செல்சவ்வானது பல வழிகளில் நகர்ந்தும், வளைந்தும் இயங்கிச் செயலாற்றவும் செய்கிறது.

செல்சவ்வின் இயங்காற்றலில் முக்கியமானது, செல்சவ்வுக்கு ஊறுநேர்ந்தவிடத்து அங்குப்புதிய சவ்வினை உடனே உண்டாக்கிக் கொள்ளுவதாகும். ஒரு நுண்ணூசியைக் கொண்டு செல்சவ்வைத் துளைத்து காயப்படுத்தினல், அவ்வூசியை எடுத்தவுடனே துளை ஏற்பட்டக் இடத்தில் புதிய செல்சவ்வு உண்டாக்கப்பட்டுக்காயம் ஆற்றப்படுகிறது. ஆனல் செல்சவ்வின் பெரும் பகுதியை அழித்து அதனல் செல் இறந்துபடுமாயின் புதிய செல்சவ்வு உண்டாக்கப் படுவதில்லை. பல ஒற்றைச் செல்லுயிர்களின் செல்லை இரண்டாக வெட்டினல் பெரும்பாலும் இரண்டு பாதிகளும் தனித் தனிச் சவ்வால் மூடப்பட்டுத் தனித் தனிச் செல்களாகவே செயலாற்றக் கூடும். ஒரு செல்லின் சைட்டொபிளாசத்தில் வேருெரு செல்லின் நூக்ளியசைச் செல்லுக்கு ஊறுநேராமல் நுழைக்க முடியும். பல நுண்ணுயிர்களில் காணப்படும் சுருங்கு வேக்யூல்கள் (contractile vacuoles) செல்சவ்வு தொடர்ச்சியாக மாறி மாறிக் கிழிந்து கூடும் இயக்கத்தை நிரூபிக்கின்றன. சைட்டொபிளாசம் முழுதும் பரவிக் கிடக்கும் என்டொபிளாசவலை, ஒரு செல்லைச் சிதற்றும் போது

பிய்ந்து சிறு சிறு குமிழ்களாக மாறுகின்றன. இக் குமிழ்களே மைக்ரொசோம்கள் எனப்படும்.

செல்சவ்வின் இயங்காற்றலால் நடைபெறும் மற்றொரு முக்கிய செயல் ஏற்கெனவே சொல்லப்பட்ட சைட்டோசிஸ் என்பதாகும். இயல்பூடுருவல், ஆற்றல்கடப்பு முதலியவற்றினுல் மூலக்கூறளவில் பொருள்கள் செல்லுகின்றன. ஆனுல் சைட்டொசிசில் அதிக அளவு பொருள்கள் அப்படியே விழுங்கப்படுகின்றனவதலால், இதன் மூலம் ஏராளமான பொருள்களை விரைவாகச் செல்லுக்கு உள்ளும் புறமும் கடத்த முடியும். செல்லுக்குத் தேவையான பொருள்களே பெரும்பாலும் விழுங்கப்படுமாயினும், தேவையான பொருள்களோடு தேவையற்ற அல்லது கெடுதலான பொருள்களும் விழுங்கப்படலாம். ஆனுல், விழுங்கிச் சூழப்பட்ட பொருள் செல்லுக்குள் சென்ற பின்னும் சவ்விஞல் சூழப்பட்டிருப்பதால், கெடுதலான பொருள்களும், தேவையற்ற பொருள்களும் சைட்டொபிளாசத்தினுள் செல்லாமல் தடுத்து நிறுத்தப்படுகின்றன. பிறகு இவை வெளியே உமிழப்படுகின்றன. ஆகவே செல் சவ்வைத் தாண்டிச் செல்ல முடியாத, அதாவது இயல்பூடுருவ முடியாத பொருள்களை ஆற்றல் கடப்பினுல் கடத்துவதைவிட சைட்டோசிஸ் முறையில் கடத்துவது வசதியானதென்று சொல்லலாம். இதில் பொருள்களை நகர்த்துவதற்கு ஆற்றல் உபயோகிக்கப்படுவதற்குப்பதிலாகச்சவ்வினைக் குழித்துக் குமிழாக்குவதற்கும், கிழித்து விரியச் செய்யவுமே ஆற்றல் பயன்படுத்தப்படுகிறது. ஆனுல், இரண்டிலும் செலவாகும் ஆற்றலின் விகிதம் என்ன? எதில் ஆற்றல் இலாபமாகிறது? என்பதைச் சொல்ல முடியாது. மற்றும் இந் நிகழ்ச்சிகள் ஆற்றலின் இலாப நஷ்டத்தைப் பொறுத்ததாகமட்டும் கருதப்படக்கூடாது. செல்லின் மற்ற வசதிகள் தேவைகள் ஆகியவற்றையே பொறுத்ததாக அமைபனவாகும்.

புரோட்டொசோவாக்களில் காணப்படும் சுருங்கு வேக்யூல்கள் கழிவுப்பொருள்களையும், அதிகப்படியான திரவங்களையும் வெளியேற்றும் சாதனங்களென்று தெரிந்தாலும்,சில சோதனைகள் அவை பிரதானமாகத் தண்ணீரை வெளியேற்றும் சாதனங்களேயென்று காட்டுகின்றன. சுருங்கு வேக்யூல்களையுண்டாக்கும் மரபுத் திறனை இழந்துவிட்ட புரோட்டொசோவாக்கள், குறைச் செறிவான (hypotonic) கரைசலில் உயிர் வாழ முடிவதில்லை. அவை தண்ணீரை உறிஞ்சி வெடித்துவிடுகின்றன அல்லது உள்ளமைப்புச் சேதமடைகிறது. ஆஸ்மாசிய விசையால் இவற்றினுள் தண்ணீர் இயல்பூடுருவிச் செல்லுகிறது. இந்த நீரை

வெளியேற்றுவதற்கு, அது உள் நுழையும் விசைக்கேற்ற ஆற்றலைப் பயன்படுத்த வேண்டும். ஆனால் ஆற்றல் பயன் படுத்தப்பட்டாலும், எந்தச்சவ்வைத் தாண்டித் தண்ணீர் உள்ளே நுழைகிறதோ அதே சவ்வைத் தாண்டித் தண்ணீர் வந்தவழி யாகவே வெளியில் எவ்வாறு தள்ளப்படுகிறது என்பது சற்றும் விளங்காத புதிராகவே உள்ளது. நடப்பது என்னவென்றால், வேக்யூலானது படிப்படியாகப் பெரிதாகிக் கடைசியில் வெடித்து அதனுள்ளடங்கிய பொருள்களைச் செல்லுக்கு வெளியே தள்ளி விடுகிறது. ஒரு செல்லுக்கு ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட வேக்யூல்களிருக்கலாம். வெளித் திரவத்தின் செறிவு குறையக் குறைய வேக்யூலினளவு பெரிதாகிறது. செல்லின் உட்புறத்தில் வேக்யூலுக்குள் தண்ணீர் எப்படி சுரக்கப்படுகிறதென்று தெரிய வில்லை. ஒருவேளை, வேக்யூலில் அயனிக் கரைசல் அதிக அடர்த்தியில் முழுகுவதால், செல்லினுள்ளிருந்து தண்ணீரை இயல்பூடுருவலால் எடுத்துக்கொள்ளலாமென்று கருதப்படுகிறது. எப்படியாயினும், வேக்யூல் வெடித்து, நீரை வெளியேற்றுவது ஆற்றல் தேவைப்படும் ஒரு செயலாகும். உயிர்ப்பைப் பாதிக்கும் நச்சுப் பொருள்கள், வேக்யூல் செயலையும் பாதிக்கிறது. செல் சவ்வை வேக்யூல் வெடிப்பு எப்படி பாதிக்கிறதென்று தெரிய வில்லை. ஆனால் புதிய சவ்வுற்பத்தி வேகமாக நடைபெற வேண்டுமென்பதை நிச்சயமாகச் சொல்லலாம். பினோசைட்டோ சிசில் 25% பிளாஸ்மாசவ்வு ஐந்து நிமிடங்களில் புதுப்பிக்கப்பட வேண்டுமென்றும், ஃபேகோசைட்டோசிசில் ஐந்து நிமிடங்களில் செல்சவ்வு முழுதுமே புதுப்பிக்கப்பட வேண்டுமென்றும் தெரிகிறது

**நொதிகளின் சுரப்பு:** பொதுவாகப் புரொட்டீன்கள் செல்லை விட்டுச் செல்சவ்வைத் தாண்டி வேறு இடங்களுக்குக் கடத்தப் படுவது அபூர்வமாகும். ஏனென்றால் எல்லாச்செல்களுமே தமக்குத் தேவையான புரொட்டீன்களைத் தயாரித்துக்கொள்ளும் திறனைப் பெற்றுள்ளன. மற்றும் புரொட்டீன்களின் மூலக்கூறைப் போன்ற பெரிய மூலக்கூறுகள் ஊடுருவத்தக்கதுளைகள் எந்தச்செல்சவ்விலும் அமைந்திருப்பதாகத் தெரியவில்லை. அப்படிப்பட்ட துளைகள்சுமார் 100Å அளவு இருக்க வேண்டுமாதலால், அவற்றை எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் மூலம் எளிதில் காணலாம். மற்றும் அப்படிப் பட்ட பெரிய துளைகள் இருக்குமாயின், கரையும் புரோட்டீன்கள், மற்றக் கரைபொருள்கள், அயனிகள் முதலியவை செல்லைவிட்டு வெளியேறாமல் தடுப்பதற்கு முடியாது. நூக்ளியஸ் சவ்வில் மட்டும் அத்தகைய பெரிய துளைகள் அமைந்திருக்கின்றன. அவை பெரிய மூலக்கூறுகள் நூக்ளியசிலிருந்து சைட்டொபிளாசத்துக்கும்,

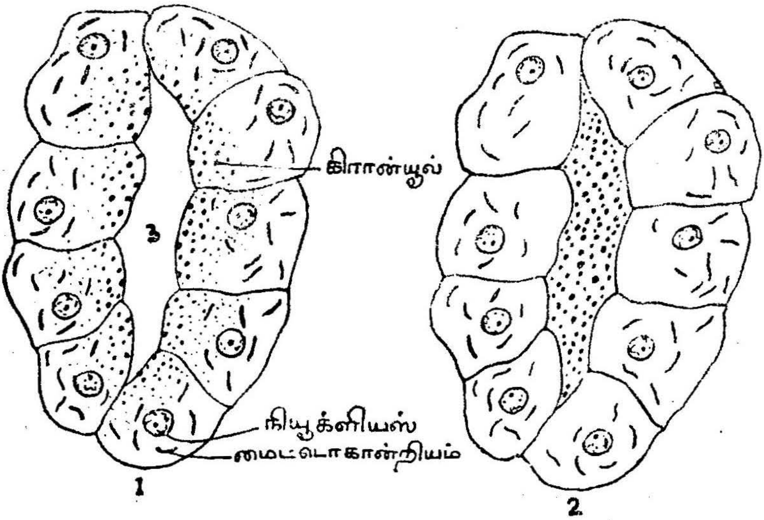
சைட்டொபிளாசத்திலிருந்து நூக்ளியசுக்கும் நகர்ந்துசெல்ல ஏதுவாகவுள்ளன என்று கருதப்படுகிறது.

தமக்குத் தேவையான புரோட்டீன்களைத் தாமே தயாரித்துக் கொள்ள கூடியனவாக இருந்தாலும், செல்களிலிருந்து புரொட்டீன் களும் சவ்வைத் தாண்டிச் செலுத்தப்படவேண்டிய அவசியம் பல சமயங்களில் ஏற்படுகிறது. பல நுண்ணுயிர்கள், பெரிய மூலக் கூறுகளைத் தாக்கிச் சிறிய மூலக்கூறுடைய பொருள்களாகப் பிளக்கும் நொதிகளைச் சுரக்கின்றன. பிறகு இந்தச் சிறிய மூலக் கூறுகளை அவை உறிஞ்சிக்கொள்ளுகின்றன. இது அவை உயிர் வாழ இன்றியமையாததாகும். செல்லுலோஸ், லிசினின், புரோட் டீன்கள் முதலிய பொருள்கள் அவ்வாறு தாக்கப்பட்டு, பிளக்கப் படும் முக்கியப் பொருள்களாகும். மற்றும் விலங்குகளிலும் செல்லை விட்டுப் புரோட்டீன்கள் வெளியே செலுத்தப்பட வேண்டிய அவசியம் உள்ளது. கல்லீரல் செல்களில் உற்பத்தியாகும் சீரம் ஆல்புமின்(serum albumin) என்ற பொருள் இரத்தத்துக்கு செலுத் தப்பட வேண்டும். பேங்க்ரியஸ் செல்களில் புரொட்டீன்களில், நியூக்ளியக் அமிலங்கள், பாலிசேக்கரைடுகள் முதலியவற்றை நீற் றுடைக்கும் பல நொதிகள் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. இந் நொதிகளெல்லாம் அவை உற்பத்தியாகும் செல்களிலிருந்து வெளி யேறிச் சீரண உறுப்புகளை அடைய வேண்டும். பூச்சிக்கொல்லித் தாவரங்கள் தமது இரையைச் சீரணிக்கத் தேவையான நொதி களைச் சுரக்கின்றன. மற்றும் விலங்குகளின் என்டொக்ரின் சுரப்பி களாலுண்டாக்கபபடும் ஹார்மோன்கள் அவையுண்டாகும் செல்களை விட்டு வெளியேறிச் செல்ல வேண்டும்.

மேற்குறிப்பிடப்பட்டனவற்றைத் தவிர மற்றும் வேறு பெரு மூலக்கூறுகளின் கடப்பு நிகழ்கிறதா என்று தெரியவில்லை. ஆயினும் மேற்சொன்னவற்றில் எப்படிப் பெரிய மூலக்கூறுகள் செல் சவ்வைத் தாண்டிச் செல்லுகின்றன என்ற கேள்வி எழு கிறது. மற்றும் ஒரு பிரச்சினையும் இதில் உள்ளது. அதாவது செல்லைவிட்டு நொதிகள் முதலியவை வெளியேற்றப்படுவதற்கு முன்பு செல்லினுள் அவை எப்படித் தனிப்படுத்தப்படுகின்றன என்பதாகும். இல்லாவிட்டால் அந் நொதிகள் அந்தச் செல்லுள்ளி ருக்கும் பொருள்களையே தாக்க ஏதுவாகும். உண்மையில், புரோட்டீனைத் தாக்கும் நொதிகள் நூக்ளிக் அமிலத்தைத் தாக்கும் நொதிகள் முதலியனவற்றைச் செல்லுக்குள் விட்டால் செல்கள் வெகுவாகப் பாதிக்கப்படுகின்றன. எனவே, செல்லினுள்ளுற் பத்தியாகும் புரோட்டீன் பொருள்கள், உடனே எவ்வாறு தனிப் படுத்தப்பட்டுச் செல்லுக்கு ஊறுவிளைக்காமல் பாதுகாக்கப்படுகிறது

என்பதும் பிறகு அவை செல்லைவிட்டு எவ்வாறு வெளியில் செல்லுகின்றன என்பதும் இரு பிரச்சினைகளாகும்.

இப் பிரச்சினைகளுக்குச் சரியான விளக்கம் இன்னும் தெரியவில்லையென்றாலும், இவை எவ்வாறு நடைபெறுகின்றன என்பதைப்பற்றிச் சில பொதுவான நிகழ்ச்சிகள் தெரிய வந்துள்ளன. இதுபற்றி மிகத் தீவிரமாக ஆராயப்பட்டுள்ளது பேங்க்ரியசிலிருந்து நொதிகள் சுரக்கப்படுவதேயாகும். இதிலிருந்து தெரியவந்துள்ளது யாதெனின், இச் செயல்களில் முழுக்க முழுக்க ஈடுபடுபவை செல்லில் அமைந்துள்ள சவ்வுப் படலங்களேயாகுமென்பதாம். இந் நிகழ்ச்சிகளின் போக்குப் படம் 9.10-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது. மற்றச் செல்களில் நடைபெறுவதைப் போலவே, பேங்க்ரியஸ் செல்களிலும், என்டோபிளாசவலையோடு




படம் 9.10
பேங்க்ரியசிலிருக்கும் சுரப்பு செல் தொகுதியொன்றின் இரண்டு நிலைத்தோற்றம்.

*1. சுரக்குமுன்; 2. சுரந்தபின்; 3. கிரான்யூல்கள் காக்கப்படும் வெளி தொகுதி.*

ஒட்டிய ரைபொசோம்களால் நொதிகள் உற்பத்திச் செய்யப்படுகின்றன. ஆனால் இவை, எப்படியோ ஹயலோ பிளாசத்தில் சேராமல், என்டோபிளாச வலைச்சவ்வுகளுக்கிடையேயுள்ள வெளிக்கு அனுப்பப்படுகின்றன. இவ்வெளியில் குமிழும் நொதியின் மூலக்கூறுக் கூட்டுகள் சிறுசிறு துகள்களாகத் தெரிகின்றன. நொதியுற்பத்தி நடைபெற நடைபெற இத் துகள்களின் எண்

ணிக்கை அதிகரித்து, அவை சவ்விடை வெளிகளின் வழியாகச் செல்லில், பேங்க்ரியஸ்தூம்பை நோக்கியுள்ள புறப்பகுதிக்குச் செல்லுகின்றன. அங்கிருந்து செல்லுக்கு வெளியில் நொதி சுரக்கப்படுவது தனிப்பட்ட கட்டுப்பாட்டின் கீழ் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஏனென்றால் பட்டினியான விலங்குகளில் நொதி செல்லுக்குள்ளேயே நிறுத்திக் கொள்ளப்படுகிறது. ஆனால் அவை உணவுட் கொண்டவுடனே நொதிகள் செல்லிலிருந்து தூம்புக்குள் சுரக்கப்படுகின்றன. எப்படியோ செல்லுக்குள்ளிருந்து தூம்பின் வெளிக்குள் துகள்கள் தள்ளப்படுகின்றன. நொதிகளின் மூலக் கூறுகள் பெரிய அளவினதாக இருந்தாலும், செல்சவ்வும் செல் வெளிப்புறமும் சேதமடையாமல் இருந்தபடியே இருக்கின்றன. ஆனால் சவ்வு கிழிந்து மீண்டும் உருவாக்கப்படும் செயல் நடை பெறுவதாகக் கருதப்படுகிறது.

**கேப்பிலரி கடப்பு** : சைட்டோசிஸ் மூலம் செல்சவ்வைத் தாண்டிப் பொருள்கள் செலுத்தப்படுவதற்கு மற்றொரு முக்கிய எடுத்துக் காட்டு பாலூட்டி விலங்குகளின் கேப்பிலரி இரத்தக் குழாய்களிலிருந்து திசுக்களின் செல்களுக்குப் பொருள்கள் கடத் தப்படுவதாகும். கேப்பிலரிகளுக்கும் திசுச் செல்களுக்குமிடையே உயிர்ப்பு வாயுக்களல்லாமல், சீரம் புரொட்டீன்கள், ஹார்மோன்கள் முதலிய பொருள்களும் கடத்தப்பட வேண்டும். 0.3$\mu$ குறுக்களவே யுள்ள கேப்பிலரிகளை எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பின் வழியாகப் பார்க்கும்போது, கேப்பிலரியின் சுவர் மூன்று நீண்ட தட்டையான செல்களாலமைந்திருப்பது தெரிகிறது. இந்தச் செல் களும் மற்ற செல்களினமைப்பையுடையனவாயினும், இவற்றில் அபரிமிதமான சவ்வுப்படலங்களிருக்கின்றன. மற்றும் பிளாஸ்மா சவ்வில் குழிகளாகவும், செல்லினுள் நுண் குமிழ்களாகவும் சவ்வுகள் அமைந்து காணப்படுகின்றன.

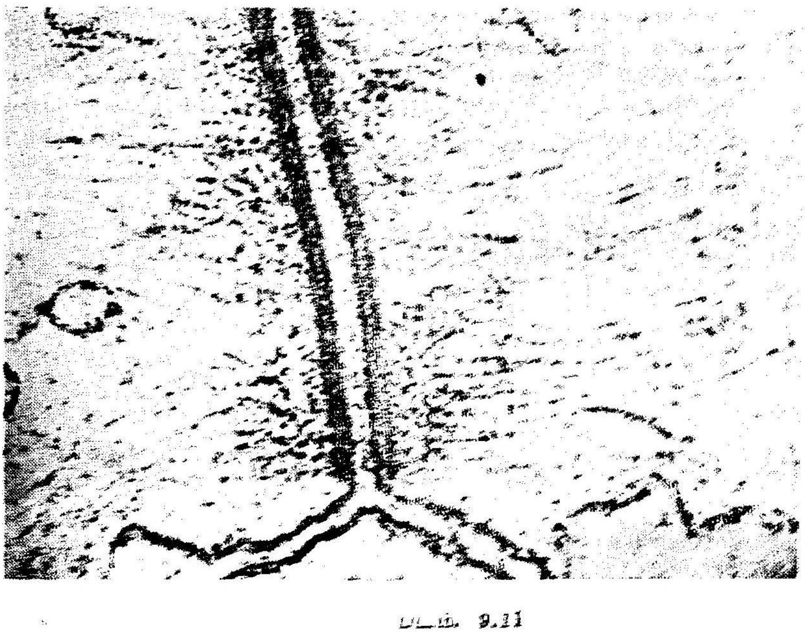
கேப்பிலரி செல்களின் சவ்வுகளின் செயலைக் கொல்லாய்டு நிலையான தங்கத்தைச் செலுத்திக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. கேப் பிலரியின் உட்புறத்திலிருக்கும் தங்கத்துகள்கள், கேப்பிலரி சுவர் செல்களின் உட்புறச் சவ்வால் குழித்து விழுங்கப்படுகிறது. துகள் களடைங்கிய குமிழ்கள் செல்சவ்விலிருந்து விடுபட்டு சைட்டொ பிளாசத்தைத் தாண்டி செல்லின் எதிர்ப்பக்கத்தையடைந்து செல்லுக்கு வெளியேயுள்ள திசுச் செல்களை நோக்கி வெளிவிடப் படுகின்றன.

செல் சவ்வின் நெகிழ்வைப் பயன்படுத்தி சைட்டோசிஸ் மூலம் பெரிய மூலக்கூறுகளும், அதிக அளவிலும் பொருள்கள் செல்களினுள்ளும் வெளியிலும் கொண்டு செல்லப்பட்டாலும், சில

பொருள்களை மட்டும் ஊடுருவ அனுமதிக்கும் சல்லடைத் தன்மையே செல்சவ்வின் மிக முக்கியமான பண்பாகுமென்பதை மறுக்க முடியாது. ஏனெனில் சைட்டோசிஸ் மூலம் செல்லுக்குள் சென்ற பொருள்களைச் சீரணித்தோ, சீரணிக்காமலோ செல்லின் ஹயலோ பிளாசத்துக்கும், மற்ற நுண்ணுறுப்புகளுக்கும் செலுத்துவதற்குத் தெரிந்து செலுத்தும் சல்லடைத் தன்மையே பயன்படும். ஆனால் ஏற்கெனவே சொன்னபடி சைட்டோசிஸ் நிகழ்ச்சியைப் பற்றித் தெரிந்துள்ள அளவுகூட, தெரிந்து கடத்தும் செயலைப்பற்றி நாமறியவில்லை எனலாம்.

## டெஸ்மோசோம் அல்லது சவ்விணைப்பு

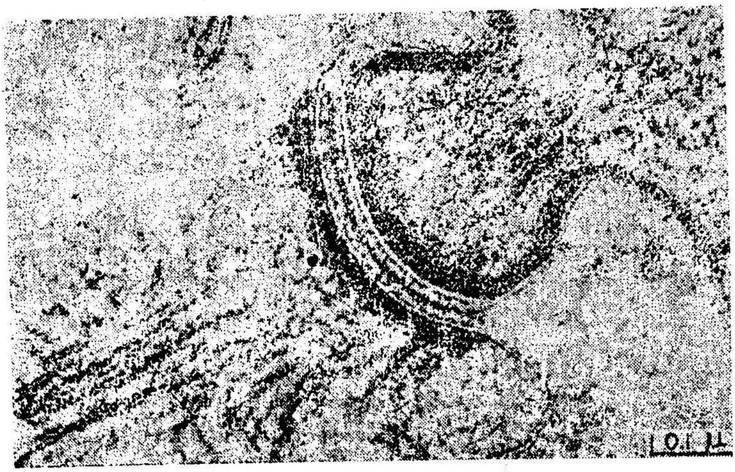
தாவர செல்களில் உறுதியான செல்சுவரும் நடுலேமெல்லாவும் செல்களை ஒன்றோடொன்று இணைத்து உறுதிப் படுத்துகின்றன. ஆனால் விலங்கு செல்களின் கிளைகோசூழல் உறுதியற்றதாகவும்



படம். 9.11
டெஸ்மோசோமின் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப் தோற்றம்

நெகிழக் கூடியதாகவும் இருப்பதால், அவற்றின் திசுக்களுக்கு உறுதிதரவும் மற்றும் பல பணிகளுக்கும் செல் சவ்வுகள் பலவிதங்களில் ஒன்றோடொன்று இடைப்பட்ட கிளைகோசூழல் இல்லாமல் நெருங்கி இணைந்திருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட இணைப்புகள் டெஸ்மொசோம்கள் எனப்படும். இதில் இரண்டு செல்களின் சவ்வுகளோ, அல்லது ஒரு செல்லின் சவ்வு செல்சவ்வல்லாத மற்றெந்த உறுப்புடனோ இணைந்திருக்கலாம்.

உருவம் அமைப்பு, இணைப்புத்தரம், பணி ஆகியவற்றைப் பொறுத்து டெஸ்மொசோம்கள் பலவகைப்படுவனவாகும் படம் (9 11. 9.12) ஒட்டு டெஸ்மொசோம்கள் (adherent desmoso

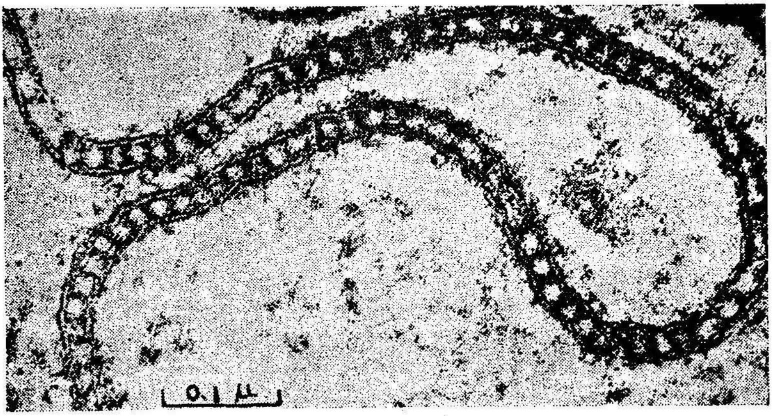



படம்: 9.12

எலெக்ட்ரான் மைக்ரோஸ் கோப்பில் காணப்படும் வளைந்த டெஸ்மொசோம் தோற்றம்

mes) என்பவை செல்லுக்கும் திசுவுக்கும் உறுதியளிப்பனவாகும். அடைப்பு டெஸ்மொசோம்களென்பவை (Occluding desmosomes) செல்லிடை வெளியின் திரவங்களின் ஊடுருவலைத் தடுப்பனவாகக் கருதப்படுகின்றன. கூட்டு டெஸ்மொசோம் (synthetic desmosome) என்பவை இரு செல்களின் சைட்டொபிளசங்களுக்கிடையில் அயனிக் கடப்பை எளிதாக்குவதற்காகக் குறைந்த மின்தடைப்பகுதிகளாகச் செயல்படுகின்றன. தடுப்புள்ள டெஸ்மொசோம்கள் (septate dosmosomes) என்பவை சிறுசிறு

அறைகளாகத் தடுக்கப்பட்டனபோல் தோற்றமளிக்கின்றன (படம்9.13) நரம்பு செல்களின் கிளைகளுக்கிடையே உள்ள



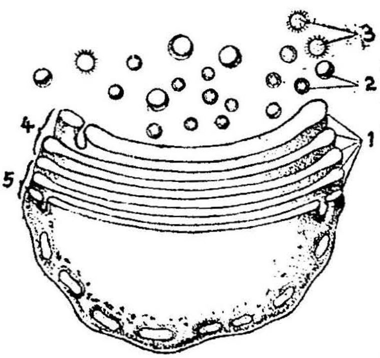

படம் 9.13
எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில்; தடுப்புள்ள டெஸ்மொசோம் தோற்றம்.

சைனுப்ஸ் (Synapse) என்னும் தனிப்பட்ட இணைப்பைப் பற்றிப் பிறகு சொல்லப்படும்.

# 10. கோல்கி உறுப்பு

சவ்வுப்படலங்களாலமைந்து சில தனிப்பட்ட பணிகளைச் செய்யும் மற்றொரு நுண் ணுறுப்பு கோல்கி உறுப்பு என்பதாகும் இது முதன்முதலில் 1898 ஆம் ஆண்டு கோல்கி (Golgi) என்ற இத்தாலிய செல்லியறிலஞரால் விவரிக்கப்பட்டது. இதனுடைய முக்கியமான பண்பு, கன உலோகங்களாகிய ஆஸ்மியம் (osmium) ருபிடியம் (rubidium) முதலியவற்றின் ஆக்சைடுகளை செல்லினுள் செலுத்தினுல் அந்த உலோகங்களைத் தன்னிடத்தே படியச் செய்வதாகும். ஆனுல் ஒளி மைக்கிராஸ்கோப்பில் இதன் அமைப்பைத் தெளிவாகக்காண முடியாதாகையால், உண்மையில் இது ஒரு தனிப்பட்ட நுண்ணுறுப்பாகச் செல்லில் இருக்கிறதா என்பதைப்பற்றிப் பல சர்ச்சைகள் 1954ஆம் ஆண்டு வரையில் நடந்தன. எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பினுல் நோக்கி, (Dalton) ஃபெலிக்ஸ் (Felix) என்பவர்கள் இதை 1954-55ல் தெளிவாக விவரித்த பிறகே இதைப்பற்றி சர்ச்சைகள் ஓய்ந்தன.

### கோல்கி உறுப்பின் அமைப்பு




படம்: 10—1

கோல்கி உறுப்பின் அமைப்பு.
1. டிக்டியொசோம் பைகள்;
2. மழமழப்பான சுரப்புக்குமிழ்கள்;
3. பூசப்பட்ட சுரப்புக்குமிழ்கள்;
4. உட்பக்கம்; 5' வெளிப்பக்கம்.

கோல்கி உறுப்பு (படம்10.1) என்பதுசவ்வினுல் உருவாக்கப் பட்ட தட்டையான பைகள் ஒன்றின்மேலொன்ருக அடுக் கப்பட்டிருக்கும் அமைப்பை உடையதாகும். இந்த அடுக்கு டிக்டியொசோம் (dictyosome) என்று அழைக்கப்படுகிறது. தட்டையான வட்ட வடிவ முள்ள பைகளொவ்வொன்றும் ஒரு பக்கம் சற்று குவிந்திருக் கிறது. அதன் விளிப்புப்பகுதி பலவருகக் கிளைத்து ஒழுங் கற்றதாகக் காணப்படுகிறது. ஒரு டிக்டியொசோமில் சுமார் நான்குமுதல் எட்டுபைகளிருக் கலாம். ஒரு பைக்கும் அடுத்த பைக்கும் சுமார் 200Å இடைவெளியுள்ளது. பையின் சவ்வு 75Å

தடிப்பைக் கொண்டு செல்சவ்வுகளுக்குப் பொதுவான மூன்றடுக்கு அமைப்பைப் பெற்றிருக்கிறது. சவ்வோடு ரைபொசோம் முதலிய நுண்துகள்களெதுவும் ஒட்டியிராததால், சவ்வின் பரப்பு மழமழப்பாகவுள்ளது. பையின் உட்புறத்தின் தடிமன் சுமார் 1ɔ0Å ஆகும். ஆனால் பையின் விளிம்புப்பகுதி அகலமாக விரிந்திருக்கிறது.

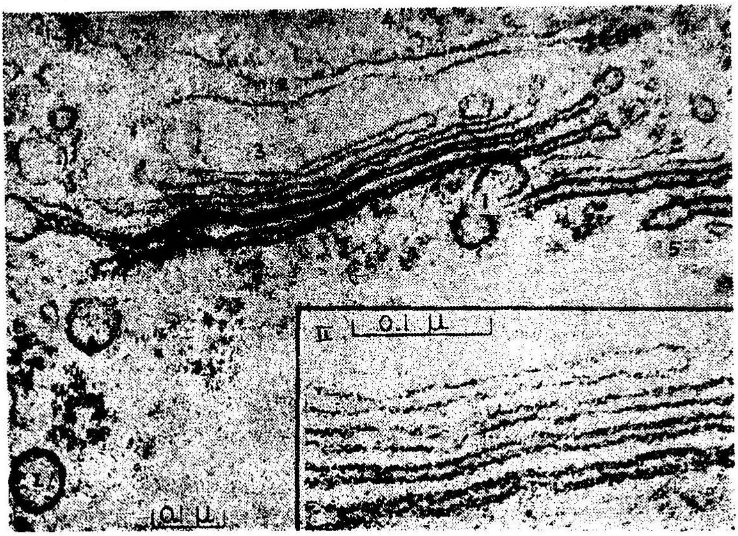
படம்: 10—2

ஹலிக்ஸ் ஆஸ்பெரா என்னும் தாவரத்தின் செல்லில் கோல்கி உறுப்புகள்; எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில்.

டிக்டியொசோமுக்கு இருதுருவங்கள் உள்ளன. பைகளின் குவிந்த பக்கம் வெளித்துருவத்தை நோக்கியும் கவிந்த பக்கம் உள்துருவத்தை நோக்கியும் உள்ளன. மற்றும் டிக்டியொசோமின் பைகள் எல்லாம் உருவத்தில் தம்முள் சற்று வேறுபடுகின்றன. வெளித்துருவத்திலிருக்கும் பைகள் மிகத் தட்டையாகவும், உட்துருவத்திலிருப்பவை சற்று அதிகமான தடிப்பையும் கொண்டுள்ளன. (படம் 10.3)

டிக்டியொசோமின் வெளித்துருவத்துக்கு அருகாமையில் பொதுவாகத் துகளற்ற என்டொபிளாசவலை அமைந்திருக்கிறது. இந்த என்டொபிளாசவலையிலிருந்து நுண் குமிழ்கள் மொட்ட

இணைத்து விடுபட்டு, டிக்டியொசோமின் வெளித்துருவ மையினுக்கிணையாக வரிசையாக அமைகின்றன. டிக்டியோசோமின் உட்துருவத்திலிருந்தும், விளிம்புப் பகுதிகளிலிருந்தும் 200 முதல் 1000Å குறுக்களவுள்ள குமிழ்கள், மொட்டணைத்து டிக்டியொசோம் பைகளிலிருந்து விடுபடுகின்றன (படம் 10-1) இக்குமிழ்களில், டிக்டியொசோம்பைகளிலடங்கிய பொருள்களே அடங்கியுள்ளன. இவற்றின் வெளிச்சவ்வு 75Å தடிப்புடைய அமைப்பைச் கொண்டிருக்கிறது. இந்தக் குமிழ்கள் இரண்டு வகைப்படுகின்றன. ஒரு வகை மழமழப்பான வெளிச்சவ்வையும், மற்றொருவகை, சில பொருட்களால் பூசப்பட்ட சொர சொரப்பான வெளிச்சவ்வையும் கொண்டுள்ளன. மழமழப்பான குமிழ்கள் எண்ணிக்கையில் அதிகமாகவும், சொரசொரப்பானவை எண்ணிக்கையில் குறைவாகவும் இருக்கின்றன.



படம் 10.3

கோல்கி உறுப்பின் உட்புற வெளிப்புற சவ்வுகளிடையே தடிப்பு வேறுபாடு பித்தியம் அல்டிமம் என்னும் பூஞ்சையில் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்

I. குறைந்த பெருக்கம்; II. மிகுந்த பெருக்கம்.

1. சுரப்புக் குமிழ்கள்; 2. நூக்ளிய உறை; 3. கோல்கி உறுப்பின் வெளிப் பக்கம்; 4. நூயூக்ளியஸ்; 5. கோல்கி உறுப்பின் உட்பக்கம்.

கோல்கி உறுப்பின் முக்கியமான மையப்பகுதி டிக்டியொசோமேயாகுமென்றாலும், அதனாலுண்டாக்கப்பட்டு அதனரு

காமையில் குழுமியிருக்கும் குமிழ்களும் கோல்கி உறுப்பின் பகுதியாகவே கருதப்படுகின்றன.

யூகேர்ய செல்களனைத்திலும் கோல்கி உறுப்பு காணப்படுகிறது. ஒரு செல்லில் இருக்கக்கூடிய டிக்டியொசோம்களின் எண்ணிக்கை வேறுபடக்கூடியதாகும். செல்லின் வகையைப் பொருத்தும், செல்லின் செயல்நிலையைப் பொருத்தும் எண்ணிக்கை வேறுபடுகிறது. ஆனால் பொதுவாக அவற்றின் சராசரி

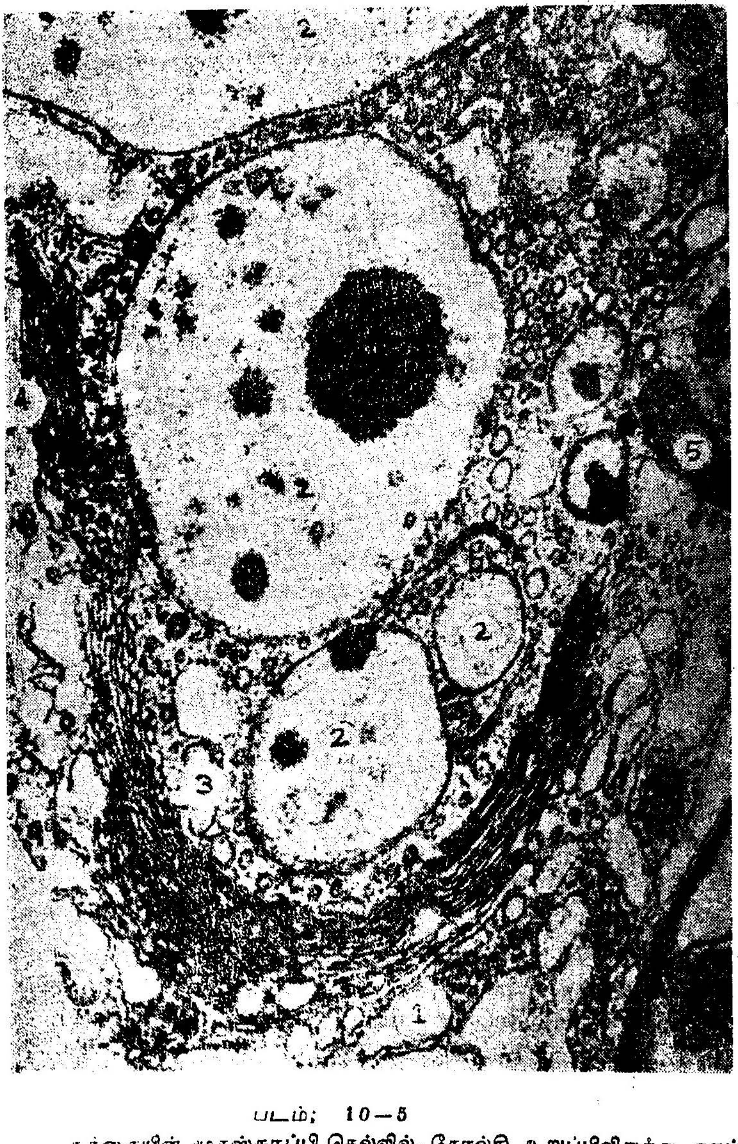
படம் 10.4

புருனர்சுரப்பி செல்லில், என்டொபிளாசவலையின் குமிழ்கள் டிக்டியோசோமாக உருவாதலைக் காட்டுவது எலெட்க்ரான் மைக்ராஸ்கோப்.

எண்ணிக்கை சுமார் 20 எனலாம். விலங்கு செல்களில் டிக்டியொசோம்கள் பொதுவாக சென்ட்ரியோலைச் சுற்றியமைந்துள்ளன. தாவரசெல்களில் சைட்டொபிளாசத்தின் பல பகுதிகளிலும் பரவியுள்ள புரோகேர்ய செல்களில் கோல்கி உறுப்புகிடையாது.

## கோல்கி உறுப்பின் இயக்கம்

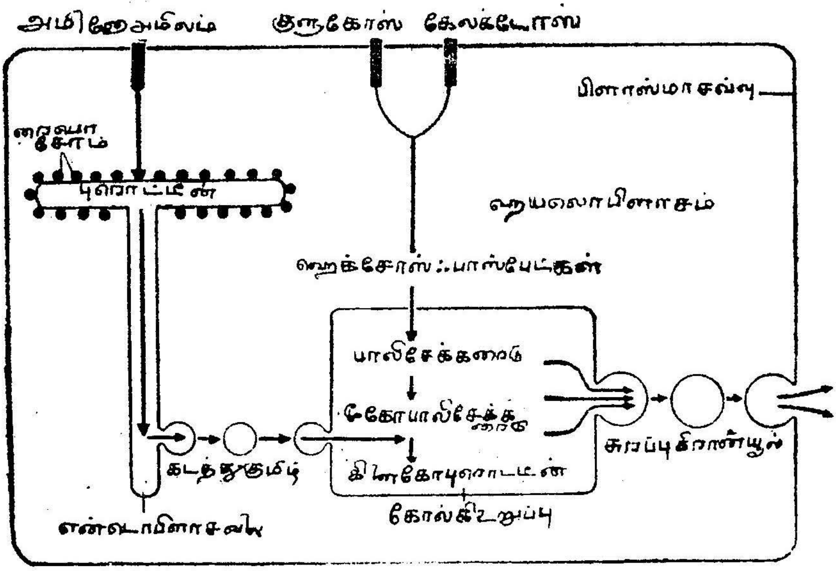
டிக்டியொசோமின் உட்துருவத்தில் உண்டாகும் குமிழ்களே அதன் இயக்கத்தைக் காட்டும் அறிகுறிகளாகும். இதிலிருந்து தெரிவது யாதெனில் டிக்டியொசோம் பைகள் தம்முள்ளடங்கிய பொருள்களை நுண்குமிழ்களாக மொட்டணைத்து வெளிவிடுகின்றன என்பதாம். அவ்வாறு வெளிப்படும் நுண்குமிழ்கள் பல ஒன்றோடொன்று இணைந்து படிப்படியாக சைமோகென்கிரான்




படம்; 10—5

நத்தையின் மூகஸ்சுரப்பி செல்லில், கோல்கி உறுப்பிலிருந்து சுரப்பு கிரான்யூல்கள் உண்டாக்கப்படுவது; எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப். 1,4-கோல்கி உறுப்புக்கள்; 2-சுரப்பு கிரான்யூல்கள்; 3-சுரப்புக்குமிழ்கள், 5-மைட்டொகான்றியம்.

யூல்கள் (zymogen granules) எனப்படும் பெரிய குமிழ்களாகஉருவா கின்றன. (படம் 10.5) இந்தக் கிரான்யூல்கள் பொதுவாகச் செல்லின் வெளிவரம்புக்கு நகர்ந்து சென்று, அங்கு அவற்றின் சவ்வு செல் சவ்வோடு இணைந்து வெளிப்புறமாகத் திறந்து தம்முள் ளடங்கிய பொருள்களை எக்டொசைட்டோசிஸ் மூலமாக வெளிவிடு கின்றன. எனவே டிக்டியொசோம் பைகளிலுற்பத்தியாகி நுண் குமிழ்களாக ஹைலொபிளாசத்தினுள் சுரக்கப்படும் பொருள்கள் எப்போதும் சவ்வினுல் சூழப்பட்டு, ஹைலொபிளாசத்திலிருந்து பிரிக்கப்பட்டே இருக்கிறது. இதிலிருந்து கோல்கி உறுப்பின்பணி செல்லால்சுரக்கப்படும் சில பொருட்களை வெளியேற்றுவதற்கோ அல்லது சேமிப்புக்கோ தகுந்த முறையில் அடைப்பதாகும் எனக் கருதப்படுகிறது. (படம் 10.6)

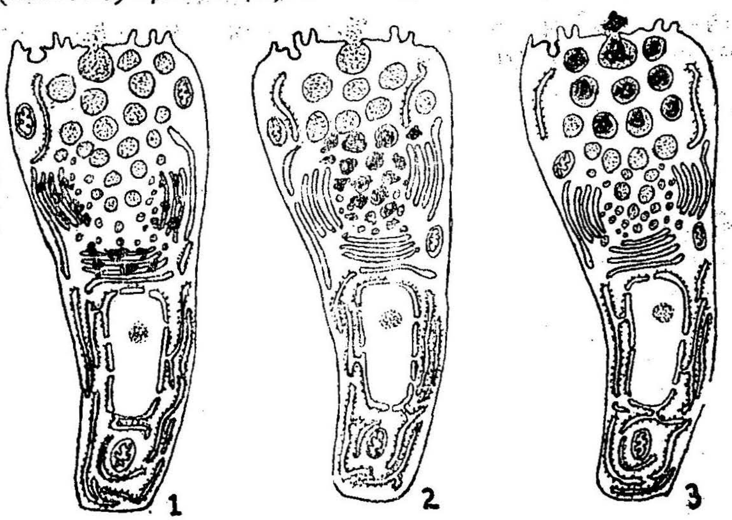



படம்: 10—6
கோல்கி உறுப்பின் பணியைப்பற்றிய விபரங்கள்.

டிக்டியொசோம்களிலிருந்து சுரக்கப்படும் கிரான்யூல்களிலடங் கிய பொருள்கள் பல திறப்படுவனவாகும் பாலிசேக்கரைடுகள், மூகோபுரோட்டீன்கள், பெக்டின் பொருள்கள், வழுக்கைப் பொருள்கள் (silone), லிப்பொபுரோட்டீன்கள், ஆகியவையும், மற்றும் பலவகைப்பட்ட புரோட்டீன்களும் தாவர விலங்கு செல் களின் கோல்கி கிரான்யூல்களில் காணப்படுகின்றன. இப்பொருள்

களெல்லாம் எங்கு உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. அவற்றை நுண் குமிழ்களாக அடைப்பதில் கோல்கி உறுப்பின் பங்கு என்ன என்பதை அறிந்து கொள்ள வேண்டியதவசியமாகிறது.

ஆட்டொரேடியோகிராஃபி (autoradiography) எனப்படும் சோதனை முறையைப் பயன்படுத்தி, பாலிசேக்ரைடுகள் எங்கு உற்பத்தி செய்யப்பட்டு எப்படி கோல்கி உறுப்பை அடைகின்றன என்பதை எலியின் குடலுட்புறத்திலமைந்திருக்கும் கோப்லெட் செல்களில் (Goblet cells) கண்டறியப்பட்டுள்ளது. (படம்10.7) கதிர்வீச்சுத் தன்மையை(radioactive) உடைய ஹைட்




படம்: 10—7

பாலிசேக்கரைடு உற்பத்தியில் கோல்கி உறுப்பின் பங்கு: 3Hகொண்ட குளுகோஸ் அளிக்கப்பட்ட பிறகு கதிர் வீச்சானது முதலில் கோல்கி உறுப்பிலும், பிறகு சுரப்புக் குமிழ்களிலும், அடுத்து சுரப்பு கிரான்யூல்களிலும் காணப்படுகிறது; எலியின் குடல் கோப்லெட்செல்லில்.

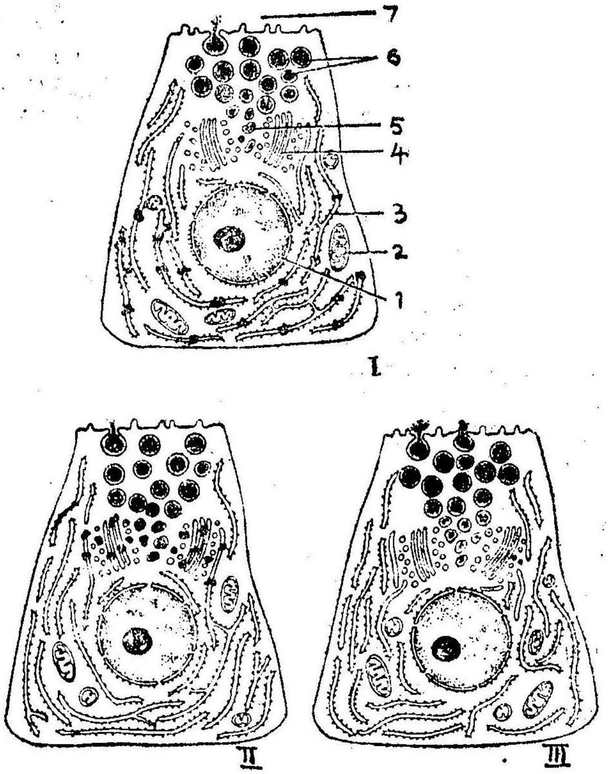
ரஜனைக் டிரிடியம்(Tritium)கொண்ட குளுகோசை குடலில் செலுத்தினால், முதன் முதலில் கதிர்வீச்சானது டிக்டியொசோம்களிலும் பிறகு அவற்றினுட் துருவத்தில் காணப்படும் நுண்குமிழ்களிலும், பிறகு குடலினுட்புறம் நோக்கியுள்ள செல்பகுதியிலுள்ள கிரான்யூல்களிலும் காணப்படுகிறது. இதிலிருந்து, பாலிசேக்கரைடுகள் டிக்டியொசோம்களில் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு நுண் குமிழ்களாகச் சுரக்கப்பட்டு, செல்லின் வெளிப்பகுதிக்குக் கடத்தப்பட்டு அங்கு எக்டோசைட்டோசிஸ் மூலம், செல்லிலிருந்து வெளியேற்றப்படுகிறது என்று தெரிய வருகிறது.

தாவர செல்களின் கோல்கி உறுப்பு பகுப்பிடைநிலையிலுற்பத்தி செய்யும் பாலிசேக்கரைடுகளைத் தவிர, பகுப்பு நிலையில் ஹெமி செல்லுலோஸ்கள், பெக்டித் தொகுதி பாலிசேக்கரைடுகள் முதலியனவற்றை உற்பத்தி செய்கின்றன. செல்பகுப்பின்போது நடுலேமெல்லாவை உண்டாக்கத் தேவையான பொருள்களடங்கியனவாகக் கோல்கியுறுப்பிலிருந்து தொடர்ச்சியாக வெளிப்படும் நுண்குமிழ்களின் இணைவினால் செல்தட்டுத்தோன்றி, செல் பகுக்கப் படுகிறது என்று ஏற்கெனவே சொல்லப்பட்டது. செல் தட்டுக்கான பொருள்களை உண்டாக்கத் தேவையான செல்லுலோஸ் முதலிய முன்னோடிகளைச் செல்லின் வேறு பகுதிகளிலிருந்து கோல்கி உறுப்பு பெறுகிறதென்றும், அம்முன்னோடிகளை அடிப்படைப் பொருள்களிலிருந்து கோல்கி உறுப்பு தயாரிப்பதில்லையென்றும் கருதப்படுகிறது.

புரோட்டீன் கிரான்யூல்களைச் சுரக்கும் செல்களில் கோல்கி உறுப்பு மற்ற இடங்களிலுற்பத்தியாகும் பொருளைச் சேகரித்து நுண்குமிழ்களாகச் சுரக்கும் பணியைச் செய்கிறது. துகளுள்ள என்டொபிளாசவலையினிலுற்பத்தி செய்யப்படும் புரோட்டீன்கள், வலைச்சவ்விடை வெளிகளின் வழியாக டிக்டியொசோமின் வெளித் துருவத்துக்கருகாமையிலிருக்கும் துகளற்ற என்டொபிளாச வலையை அடைந்து அதிலிருந்து டிக்டியொசோமுக்குச் சென்று டிக்டியொசோமின் உட்துருவத்தில் நுண்குமிழ்களாக சுரக்கப்படுகிறது. இக் குமிழ்கள் பெரிய கிரான்யூல்களாகச் சேர்ந்து செல் வரம்பையடைந்து எக்டொசைட்டோசிசால் செல்லிலிருந்து வெளியேற்றப்படுகின்றன. கோல்கி உறுப்பின் இப்பணியினையும், பேங்க்ரியாஸ் செல்களில் ஆட்டொரேடியோகிராஃபி முறையைப் பயன்படுத்திக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. (படம் 10.8)

கினிப்பன்றியின் பேங்க்ரியாசுக்குக் கதிர்வீச்சு ஹைட்ரஜனையுடைய லூசின் (leucine) என்னும் அமினோ அமிலத்தை 3 நிமிடங்களுக்கு அளித்தால், முதலில் பேங்ரியாசின் அசினார் செல்களின் துகளுள்ள என்டொபிளாசவலையில் கதிர்வீச்சு தோன்றுகிறது (படம் 10.9) பதினேழு நிமிடங்கள் கழித்து டிக்டியொசோம்களை அணுகியுள்ள துகளற்ற என்டொபிளாசவலையிலும், டிக்டியொசோம்களிலும் கதிர்வீச்சு தோன்றுகிறது. 117 நிமிடங்கள் கழித்து செல்லின் வரம்பில் தலைப்பகுதியிலுள்ள சைமொகென் கிரான்யூல்களில் மட்டுமே கதிர்வீச்சுதோன்றுகிறது. இதிலிருந்து புரோட்டீன் சுரப்பில் கோல்கியுறுப்பின் பணி என்னவென்று தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஆனால் துகளுள்ள என்டொபிளாச வலையில் உண்டாகும் எல்லா புரோட்டீன்களும் கோல்கி

உறுப்பால் சேகரிக்கப்பட்டு, சுரக்கப்படுகின்றன என்று சொல்ல முடியாது. குறிப்பாகப் பாலிசேக்கரைடுகளோடு இணைக்கப்பட்டு கிளைகோ புரோட்டீன்களாகவும் மாற்றப்படவேண்டிய புரோட்டீன்களே, அவ்வாறு கோல்கி உறுப்பில் மாற்றப்பட்டு சுரக்கப்படுகின்றன. ஆனால் புரோட்டீன்களோடு எவ்வாறு பாலிசேக்கரைடுகள் கோல்கி உறுப்பில் இணைக்கப்படுகின்றன என்பதைப்பற்றி எதுவும் தெரியவில்லை.

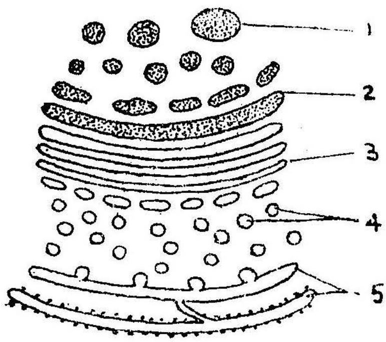



படம் 10.8

புரோடீன் மெடபாலிசத்தில் கோல்கி உறுப்பின் பங்கு. கினி பன்றியின் பேங்க்ரியாஸ் அசினார் செல்லில், $^{3}H$ கொண்ட லூசினை 3 நிமிடங்கள் அளித்தபிறகு கதிர்வீச்சு படிப்படியாக இடம் மாறுகிறது. I-அளித்தவுடனே; II அளித்தபிறகு 17 நிமிடங்கள் கழித்து: III அளித்த பிறகு 117 நிமிடங்கள் கழித்து 1. நியூக்ளியஸ்: 2. ஸமட்டோகான்ரியம்; 3. சொர சொரப்பான என்டொ பிளாசவலை; 4. டிக்டியொசோம்: 5. சுரப்புக் குமிழ்கள்; 6. சைமோ சென்கிரான்யூல்கள்; 7. செல்லின் வெளிப்புறம்;

**கோல்கி உறுப்பின் தோற்றம்**

டிக்டியொசோமின் உட்துருவத்திலமைந்த பைகள் நுண்குமிழ்களாகச் சிதறி அழிந்துவிடுகின்றன. ஆனால் இவற்றுக்குப் பதிலாக டிக்டியொசொமின் வெளித்துருவத்தில் துகளற்ற என்டொபிளாச வலையிலிருந்து மொட்டணைக்கும் நுண் குமிழ்கள் சேர்ந்து புதிய பைகளாக உருவாகின்றன. எனவே டிக்டியொசோமின் உட்துருவத்தில் பைகள் அழிவதற்கேற்ப, வெளித்துருவத்தில் புதிய பைகள் உருவாகி டிக்டியொசோமின் அமைப்பு அழியாமல் இருக்கிறது (படம் 10.9) டிக்டியொசோம்களின் பைகள் இவ்வாறு தோன்றி அழிகின்றன என்பதற்குக்கீழ்கண்டசான்றுகள் ஆதாரமாகின்றன.




படம் 10.9

என்டோபிளாச வலைக்கும் கோல்கி உறுப்புக்கும் உள்ள தொடர்பின் விவரங்கள்.
1. சுரப்பு கிரான்யூல்கள்; 2. கோல்கி உறுப்பின் உட்பக்கம்; 3. கோல்கிஉறுப்பின் வெளிப்பக்கம்; 4. மாற்றும் குமிழ்கள்; 5. என்டொபிளாசவலை.

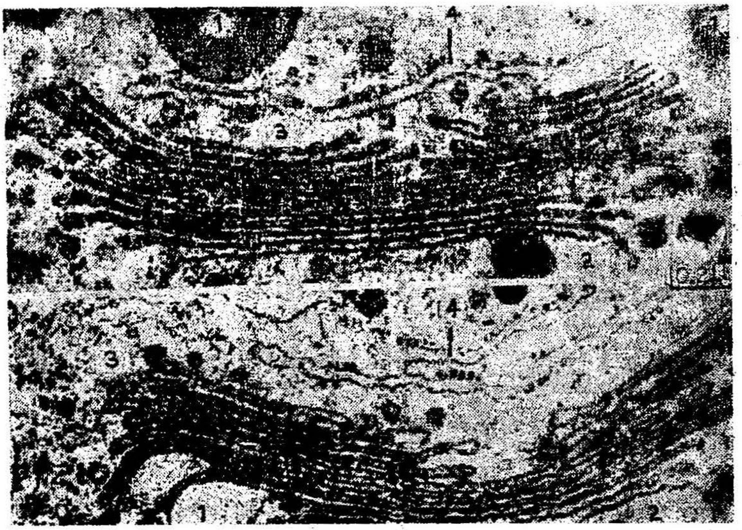
1 டிக்டியொசோமில் அடுக்கப்பட்ட பைகளின் எண்ணிக்கை செல்லின் செயல் நிலையைப் பொறுத்து மாறுபடுகிறது. 2. பட்டினியான செல்களில் பைகளின் எண்ணிக்கை குறைகிறது. ஆனால் கிரான்யூல்சுரப்பைத் தடை செய்தால், பைகளின் எண்ணிக்கை அதிகரிக்கிறது.

ஒரு கோல்கி உறுப்பின் டிக்டியொசோமடுக்கு இரண்டு சமபாகங்களாகப் பகுப்புற்று இரண்டாகலாமெனத் தெரிகிறது. மைக்ராஸ்டீரியாஸ் டென்டிகுலேட்டா (Micrasterias denticulata) என்ற விலங்கில் டிக்டியொசோம் பகுப்புறுவது காணப்பட்டுள்ளது (படம் 10.10)

புறொகேர்ய செல்களில் கோல்கி உறுப்பு இல்லையென்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. யூகேர்ய செல்லிலும், நுக்ளியசை அகற்றி விட்டால், செல் உயிரோடிருந்தாலும், டிக்டியொசோம்கள் முழுதும் மறைந்து விடுகின்றன.

சமீப காலக் கருத்தின்படி கோல்கி உறுப்பானது என்டொபிளாச வலையின் ஒரு பிரத்தியேகமான அமைப்பேயாகுமென்று சொல்லப்படுகிறது. என்டொபிளாசவலையும், கோல்கி உறுப்பும் ஒருங்கிணைந்து செயலாற்றுவதாகவும், செல்லின் தேவைக்கேற்ப

கோல்கி உறுப்பின் அமைப்பும் பணியும் என்டொபிளாசவலையோடியைந்து மாற்றங்களுறுவதாகவும் கருதப்படுகிறது.




படம் 10. 10

கோல்கி உறுப்பின் பகுப்பைக் காட்டும் இரண்டு படிகள்.

1. சுரப்புக் கிரான்யூல்கள்; 2. கோல்கி உறுப்பின் உட்பக்கம்; 3. கோல்கி உறுப்பின் வெளிப்பக்கம்; 4. என்டொபிளாசவலை.

# 11. லைசோசோம், சென்ட்ரியோல், சிலியம் முதலியன

**லைசோசோம்:**

1959ஆம் ஆண்டு டிடுவெ (de Duve) என்பவரும் அவருடைய கூட்டாளிகளும், கல்லீரல் திசுவின் செல்களில் அதுவரை காணப் படாத நுண்ணுறுப்புகளை கண்டனர். அவற்றிற்கு லைசோசோம்கள் என்ற பெயர் சூட்டப்பட்டது. அதற்குப் பிறகு நுண்ணுறுப்புகள் வேறு பல விலங்குத் திசுக்களின் செல்களிலும் இருப்பதாகக் கண்டறியப்பட்டது. தாவர செல்களில்கூட அவை இருக்கலாம் என்பதற்கு இப்போது சில ஆதாரங்கள் தெரியவந்துள்ளன.

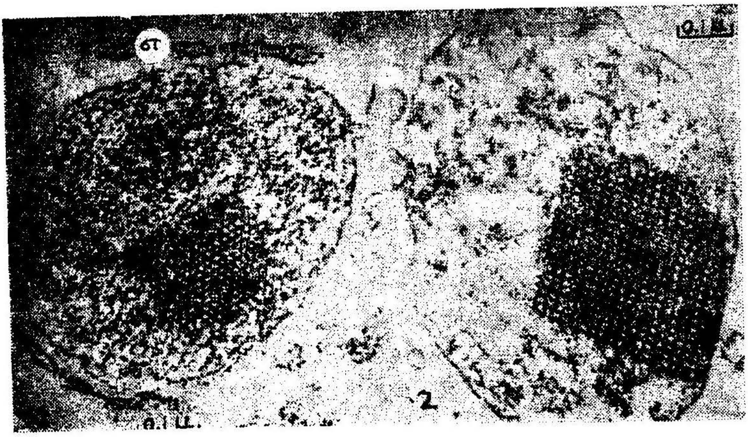
மற்ற செல் நுண்ணுறுப்புகளைப் போலல்லாமல் லைசோ சோம்களென்பவை உருவத்திலும், அளவிலும் பலவிதமாக வேறு படக்கூடியனவாகும். எனவே ஒரு குறிப்பிட்ட உருவத்தையோ அளவையோ வைத்து அவற்றை அறிந்து கொள்ள முடியாது. (படம் 11. 1) எனவே அவற்றை அவற்றின் உயிர் வேதியப் பண்புகளைக் கொண்டே பெரும்பாலும் அறிந்து கொள்ளக்கூடும். முக்கியமாக அவற்றிலடங்கிய நொதிகளின் இயல்பு, அந் நொதிகள் செயலாற்றுமலிருப்பது முதலியவைகளே லைசோசோம் களைக் குறிப்பனவாகவுள்ளன.

லைசோசோம்கள் பிரதானமாக நொதிகளடங்கிய சவ்வுப் பைகளாகும். ஆனல் பசுங்கணிகங்கள், மைட்டொகான்றியங்கள் ஆகியவை இரட்டைச் சவ்வால் சூழப்பட்டிருப்பது போலல்லாமல் லைசோசோம் பைகள் ஒற்றைச் சவ்வால் சூழப்பட்டவைகளாகும். இந்தச் சவ்வின் அமைப்பு தெளிவாகத் தெரியவில்லையாயினும் செல்சவ்வின் அமைப்பைப் போன்றதாகவே இருக்கவேண்டு மென்று கருதப்படுகிறது. லைசோசோம் சவ்வின் முக்கியமான இயல்பு யாதெனில் லைசோசோமினுள்ளடங்கிய நொதிகளும் அந் நொதிகளின் தளப்பொருள்களும் ஊடுருவ முடியாத தடை யாக இருப்பதாகும். லைசோசோம்களில் அடங்கியிருக்கும் நொதிகள் யாவும் அநேகமாக ஹைட்ரொலேஸ்கள் எனப்படும் நீர்ப்பகுப்பு நொதிகளாகும்.

பிரைமரி லைசொசோம்கள் எவ்வாறு உற்பத்தியாகின்றன என்று தெரியவில்லை. என்டொபிளாசவலையிலிருந்து இவை குமிழ் களாகச் சுரக்கப்படலாமென்று எண்ணப்படுகிறது.

## பெராக்சிசோம் (Peroxisome)

பெராக்சிசோம் என்பது சமீப காலத்தில் கண்டு பிடிக்கப்பட்டுள்ள செல்நுண்ணுறுப்பாகும். (படம் 11.2) இவை உயிர்ப்பின் சில கிரியைகளைச் செய்யக் கூடியனவென்று கருதப்படுகிறது. இவற்றில் பொதுவாக ஹைட்ரஜன்பெராக்சைடை உற்பத்தி செய்யக்கூடிய ஆக்சிகரண நொதிகளும், ஏராளமான கேட்டிலேஸ்



படம் 11.3

எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் பெராக்சிசோம்களின் தோற்றம்; நடுவில் நூக்ளியாய்டு உள்ளவை.

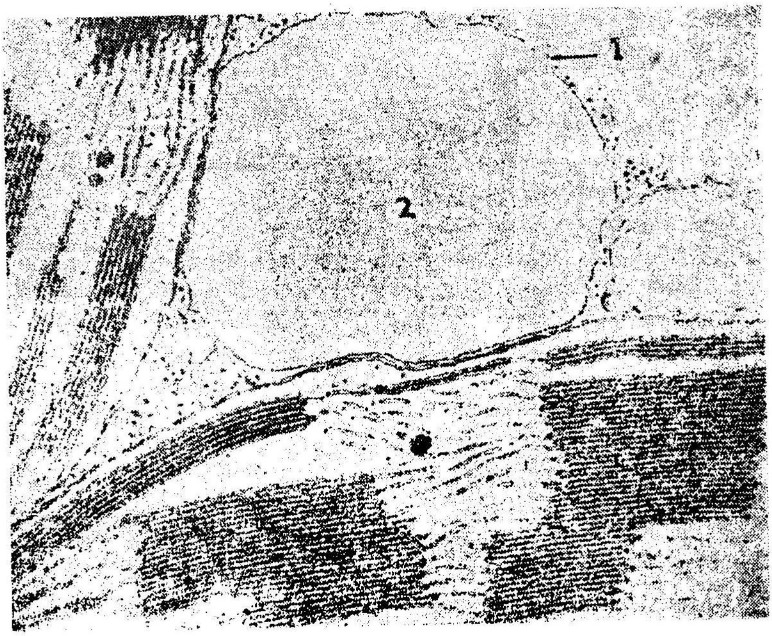
1. கினிப்பன்றியில்; 2. ஜூஸ்பர்பியா கேரேசியாஸ் மொசகில் எ. என்டொபிளாசவலை.

(catalase) நொதியும் அடங்கியிருக்கின்றன. பெராக்சிசோம்கள் ஆக்சிஜனை ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடாகவும், ஹைட்ரஜன் பெராக்சைடைத் தண்ணீராகவும் நீக்கரிக்கவல்லனவாகும்.

பெராக்சிசோம்களைப்பற்றித் தெரிய வந்துள்ள சொற்ப தகவல் களிலிருந்து, அவை செல்களில் பெருவாரியாகக் காணப்படுவன வாயினும், கார்போஹைட்ரேட்டல்லாத முன்னோடிகளிலிருந்து கார்போஹைட்ரேட்டைத் தயாரிக்கும் செல்களில் மட்டுமே இருக்

கின்றன என்று தெரிகிறது. மைக்ரொபாடி(microbody) கிளையாக்சி சோம் (glyoxysome) என்ற பல பெயர்களால் குறிப்பிடப்படும் செல் நுண்ணுறுப்புகள் பெராக்சிசோம்களேயாகுமென்று தெரிகிறது (படம் 11.3)

கல்லீரல் செல்களில் காணப்படும் பெராக்சிசோம்கள் ஒரே ஒரு சவ்வால் சூழப்பட்ட 0.5μ குறுக்களவுள்ள பைகள் போன்ற அமைப்பை உடையனவாகும். அதனுள்ளேயிருக்கும் பொருள் நுண்துகள்கள் போலத் தோற்றமளிக்கின்றன. சிலவற்றின் மத்தியபாகத்தில் மிக ஒழுங்கான அமைப்பையுடைய மைய அமைப்பு காணப்படுகிறது. (படம் 11.4) இந்த மைய அமைப்பி




படம் 11.4

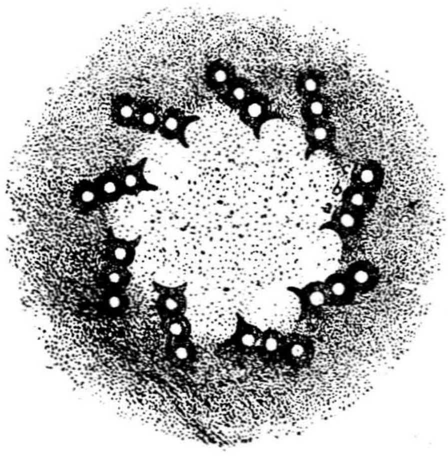
புகையிலையின் இலை செல்லிலுள்ள மைக்ரோபாடியில் காணப் படும் பெரிய படிகம். எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில் 1. மைக்ரொபாடி அல்லது பெராக்சிசோம்; 2. படிகம்.

னுடைய நுண்ணமைப்பு இனத்துக்கு இனம் வேறுபடக் கூடியது. பொதுவாக அது நெருக்கமாகப் பிணைக்கப்பட்ட நுண் குழல்களா லமைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது.

**சென்ட்ரியோல்**

பெரும்பான்மையான விலங்கு செல்களிலும், அநேக புரோடிஸ்ட் (Protist) செல்களிலும், சிலதாவர செல்களிலும் செல் பகுப்பின்போது, செல்துருவங்களிலிருந்து செயல்படும் நுண்ணுறுப்பு சென்ட்ரியோல் எனப்படுவதாகும். சைட்டொபிளாசத்தில் அது ஒரு நிலையான உறுப்பாக இருந்து பகுப்பிடைக்காலத்தில் இரட்டிக்கிறது.

சாதாரணமாகச் சென்ட்ரியோல் 20mμ குறுக்களவும், 200 முதல் ∶00mμ நீளமுள்ள உருளைபோன்ற உருவத்தை உடையதாகும். அதில் மிகக் கச்சிதமான ஒழுங்கில் ஒன்பது நுண் குழல் தொகுதிகள் நீள வாக்கில் முழு நீளத்துக்கும் அமைந்துள்ளன. குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தில் பார்க்கும்போது ஒவ்வொரு நுண் குழல் தொகுதியிலும், மூன்று நுண்குழல்கள் வரிசையாக இணைந்திருப்பது தெரிகிறது. இந்த நுண்குழல் வரிசைகள் ஒன்றுக்கொன்று சாதுரத்தில், சென்ட்ரியோல் உருளையின் வெளி விளிம்பின் டேஞ்சென்டுக்கு (tangent) 30 முதல் 40°சாய்வாக மையப் பகுதியிலிருந்து விலகி அமைந்திருக்கின்றன. (படம் 11.15)



படம்: 11—5

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் காணப்படும் சென்ட்ரியோலமைப்பின் படம். a, b, c- உபஃபைப்ரில்கள்.

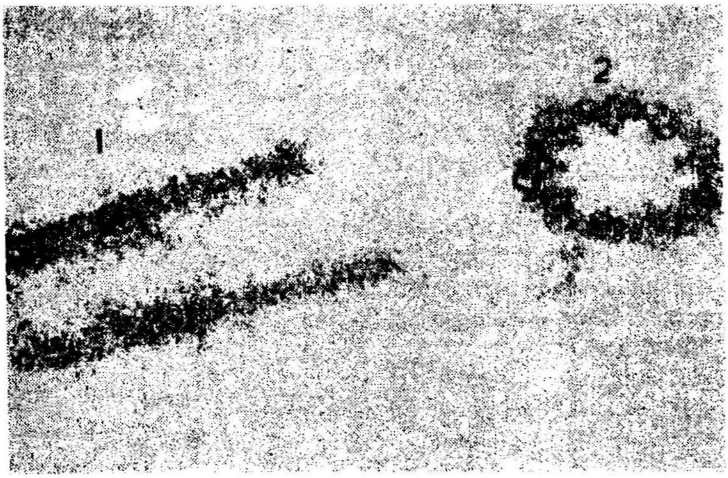
ஒவ்வொரு நுண்குழலும் சுமார் 20mμ குறுக்களவுள்ளதாக இருக்கிறது. மூன்று நுண் குழல்களும் உட்புறமிருந்து வெளிப்புறமாக

முறையே A,B,C உபஃபைப்ரில்கள் (Subfibrils) எனக் குறிப்பிடப் படுகின்றன. நுண் குழல்கள் புதைந்திருக்கும் தளப்பொருள் மிக நுண்ணிய நீண்ட அல்லது புள்ளிபோன்ற நுண் பொருள்களால மைந்ததாகத் தோன்றுகிறது. பொதுவாக இந்தத் தளப்பொருள் நுண்குழல் தொகுதிகளமைந்துள்ள பகுதிக்குஉட்புறமாக அடர்த்தி குறைந்தும், வெளிப்புறமாக அடர்த்தி மிகுந்தும் இருக்கிறது. அநேகமாகச் சென்ட்ரியோலைச் சுற்றித் தனிப்பட்ட சைட்டொ பிளாச அல்லது ஹைலொபிளாச சூழல் அமைந்திருக்கிறது. இதுவே ஒளிமைக்கிராஸ் கோப்பில் காணப்படும் சென்ட்ரொசோம் எனப்படுவதாகும். இந்த சைட்டொபிளாச சூழலில் நுண்ணுறுப்பு களெதுவும் இருப்பதில்லை.

ஒரு சென்ட்ரியோலின் இரு முனைகளும் சற்று வேறுபட்ட அமைப்பைக் காட்டுகின்றன. பழைய முனை அல்லது பின் முனை (old end or proximal end) எனப்படும் முனையில் சென்ட்ரியோலின் மையப்பகுதியிலிருந்து நுண் குழல் தொகுதிகளுக்கு ஒன்பது மெல்லிய நூலிழை போன்ற ஆரைகள் செல்லுகின்றன. மற்றும் ஒவ்வொரு நுண்குழல் தொகுதியின் A உபஃபைப்ரிலும் அதற்கு அருகாமையிலமைந்த அடுத்த நுண்குழல் தொகுதியின் C உபஃபைப்ரிலோடு மெல்லிய இழையால இணைக்கப்பட்டிருக்கிறது.

பகுப்பிடைப்பட்ட செல்களில் எப்போதும் சென்ட்ரியோல்கள் ஜதையாகவே இருக்கின்றன. ஜதையின் இரண்டு சென்ட்ரி யோல்களும் அருகாக நெருங்கி ஒன்றுக்கொன்று குறுக்காக அமைந்திருக்கின்றன. (படம் 11-6) சாதாரணமாகப் பகுப்பிடைக் காலம முடிவடையுந்தருவாயில் இரண்டு சென்ட்ரியோல்களும் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று சற்று விலகுகின்றன, அதே நேரத்தில் ஒவ்வொரு சென்ட்ரியோலின் பழைய அல்லது பின்முனைக்கருகில் ஒரு புதிய சென்ட்ரியோல் தோன்றுகிறது. புதிதாகத் தோன்றும் சென்ட்ரியோல் புரொசென்ட்ரியோல் (prosentriole) எனப்படும். இது பழைய சென்ட்ரியோலைவிட மெல்லியதாகவும், சுமார் 70mμ நீளமுள்ளதாகவும் இருக்கிறது. புரொஃபேஸ் நிலையில், புரொ சென்ட்ரியோலானது அது தோன்றியபோது, இருந்த வாக்கிலேயே நீளத் தொடங்கி, மெட்டஃபேஸ் நிலையில் மற்ற முதிர்ந்த சென்ட்ரி யோலின் அளவைஅடைகிறது. எனவே புதிய சென்ட்ரியோல்கள் பழைய சென்ட்ரியோல்களின் பகுப்பினுல் தோன்றுவதில்லை. மாறுக முதலில் ஒரு சிறிய சென்ட்ரியோலாகத் தோன்றி பிறகு வளர்ந்து பெரிதாகிறது. மற்றொரு சென்றியோலுக்கு அருகில தோன்றும் சிறிய பிரொசென்ட்ரியோல் எப்படி எந்த ஆதாரத்தி லிருந்து உண்டாகிறதென்று தெரியவில்லை.

**சென்ட்ரியோலின் பணி :** சென்ட்ரியோல்களின் முக்கிய பணி செல்பகுப்பின் போது ஸ்பின்டில் இழைகளைத் தோற்றுவித்து, பகுப்பின் இருதுருவங்களையும் நிர்ணயிப்பதாகும். மற்றும் சிலியங்கள், ஃபிளாஜெல்லங்கள் முதலிய நுண் வீழ்ச்சிழைகளைத் தோற்றுவிப்பதும் சென்ட்ரியோல்களின் பணியேயாகுமென்று தெரிய வந்துள்ளது. இப்பணியிலீடுபடும் சென்ட்ரியோல்கள், கைனெடொசோம்கள் (Kinetosomes) அல்லது பேசல் கிரான்யூல்கள் (basal granules) என்று அழைக்கப்படுகின்றன. சிலியங்




படம்: 11--6

ஒரு செல்லின் இரண்டு சென்ட்ரியோல்கள் ஒன்றுக்கொன்று நேர்க் கோணத்தில் அமைந்திருப்பது. எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில். 1. நீள்வெட்டு; 2. குறுக்குவெட்டு.

களிலும் ஃபிளாஜெல்லாக்களிலும் காணப்படும் ஒன்பது இரட்டை நுண்குழல் நீட்சிகள் கைனெடொசோமின் A,B உபஃபைப்ரில்களின் தொடர்ச்சியாக உண்டாகின்றன. கைனெடொசோம்களும், சென்ட்ரியோல்களிலிருந்து செல் பகுப்பின் போது எது சென்ட்ரியோல்கள் உண்டாவது போலவே உண்டாவதாகத் தெரிகிறது.

**சென்ட்ரியோலின் வேறுபாடுகள் :** அமைப்பிலும் உற்பத்தியாகும் வழியிலும் முன் சொன்னவற்றிலிருந்து மாறுபடும் சென்ட்ரியோல்களையும் சிலியங்களையும் கொண்ட சில உயிர்களில் காணப்படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, சியாரா (sciara) எனப்படும்

பூஞ்சணந்தின்னும் பூச்சியில், சென்ட்ரியோல்களின் நுண் குழல் தொகுதிகளொவ்வொன்றிலும் மூன்று நுண்குழல்களுக்குப் பதிலாக இரண்டு நுண்குழல்களே காணப்படுகின்றன. விவிப்பேரஸ் (Viviparus) என்ற நத்தையில் ஒரு இயல்பான சென்ட்ரியோலின் பின் முனையினருகில் பதினைந்துக்கும் மேற்பட்ட புரொசென்ட்ரி யோல்கள் ஒரே சமயத்தில் தோன்றுகின்றன. ஒவ்வொரு புரொ சென்ட்ரியோலும் பிறகு ஒரு பிளாஜெல்லத்தைத் தோற்றுவிக் கிறது.

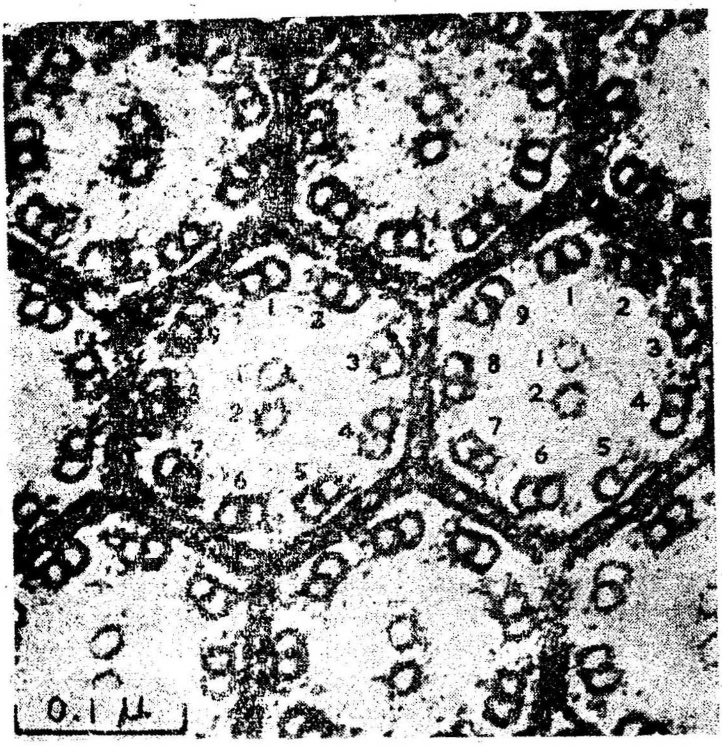
## சிலியங்களும் ஃபிளாஜெல்லாக்களும்

அநேக நுண்ணுயிர்களும், பிறவிலங்குகள் சிலவும், அநேக தாவரங்களின் இனப்பெருக்க செல்களும் நீரில் வீசி நீந்துவதற் கேற்ற சிலியங்களையும், ஃபிளாஜெல்லங்களையும் உடைத்தாயிருக் கின்றன. சற்று குட்டையாக இருப்பவை சிலியங்களென்றும், நீண்ட சாட்டை போன்றிருப்பவை ஃபிளாஜெல்லங்களென்றும் சொல்லப்படுகின்றன. மற்றும் இவை அசையும் விதத்திலும் வேறுபட்டனவாகக் கருதப்படுகின்றன. ஆனால் இவ்வேறு பாடு களைக் கொண்டு சிலியத்தையும் ஃபிளாஜெல்லாவையும் துல்லிய மாக வேறு படுத்தி விடமுடியாது. மற்றும் உள்ளமைப்பிலும் இவை ஒரே தன்மையானவைகளாகவே இருக்கின்றன.

சிலியம் ஃபிளாஜெல்லம் ஆகியவற்றின் குறுக்களவு எல்லா உயிர்களிலும் சுமார் 0.2$\mu$ ஆகும். ஆனால் நீளமோ 1$\mu$ முதல் பல மில்லி மீட்டர்கள் வரை இருக்கலாம். எலெக்ட்ரான் மைக் கிராஸ் கோப்பில் காணப்படும் இவற்றின் நுண்ணமைப்பில் மையத்தில் இரண்டு தனி நுண் குழல்களும், அவற்றைச் சுற்றி ஒன்பது இரட்டை நுண்குழல்களும் அமைந்து சவ்வால் சூழப் பட்ட நீண்ட குழலாகத் தோற்றமளிக்கின்றன (படம் 11.7)

தனித்தனியாக அமைந்த இரண்டு நடு நுண்குழல்களும் குறுக்குவெட்டுத் தோற்றத்தில் வட்டவடிவமாகவுள்ளன. சுற்றிலும் அமைந்த ஒன்பது இரட்டை நுண்குழல்களொவ்வொன் றும் எட்டின் வடிவத்தைப் போலமைந்துள்ளன. இந்த 9+2 நுண்குழல் கூட்டமைப்பு ஆக்சொனீம் (axoneme) எனப்படும். ஆக்சொனீமைச் சுற்றிச் சூழ்ந்திருக்கும் சவ்வு, செல்சவ்வின் தொடர்ச்சியேயாயினும், சிலியச் சவ்வு செல்சவ்வின் தொடர்ச் சியேயாயினும், சிலியச்சவ்வு என்று சொல்லப்படுகிறது. நடு நுண் குழல்களிலிருந்து மெல்லிய ஆரை போன்ற இழையொன்று சுற்று வட்ட நுண் குழல் தொகுதியொவ்வொன்றுக்கும் செல்லுகிறது.

இவற்றிற்கு ஆரைஇழைகள் (Spokes) என்று பெயர். இந்த ஆரை இழைகளின் நடுவில் செகண்டரி நுண்குழல் (Secondary filament) என்றஅமைப்பும் காணப்படலாம்.




படம் 11.7

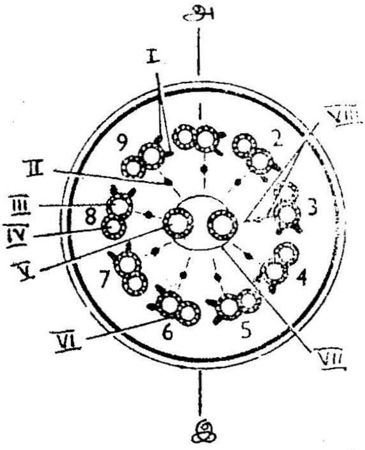
நாடாப்புழுவின சுடர்செல்லின் சிலியங்களின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றம். எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் சிலியங்கள் ஒன்றோடொன்று நெருக்கமாக அழுத்தப்பட்டு அறுகோண வடிவைப் பெற்றுள்ளன. ஒவ்வொரு சிலியத்திலும் 9+2 உபஇழை ஆக்சொநீம் காணப்படுகிறது.

சுற்று வட்டத்திலமைந்த இரட்டை நுண்குழல் தொகுதியின் இரண்டு குழல்களும் தம்முள் வேறுபடுகின்றன. உப நுண்குழல் (Sub filament) A என்பதிலிருந்து ஒரு பக்கம் இரண்டு குறுகிய வளரிகள் நீட்டிக்கொண்டிருக்கின்றன. இவற்றிற்குப் புயங்கள் (Arms)என்று பெயர் அவ்வாறு A உப நுண் குழலில் புயங்களமைந்திருப்பதால் சிலியத்தின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தில் ஆரச் சமச்சீரமைப்பற்றதாகிறது. நடு நுண்குழல்களிலிருந்து

வரும் ஆரை இழைகளும் A உப நுண் குழலோடு தான் இணைந்திருக்கின்றன. இரட்டை நுண்குழல் தொகுதியின் மற்றொரு உப நுண்குழல் B உபநுண்குழல் என்று சொல்லப்படும் (படம் 11.8).

நடு நுண்குழல்களிரண்டையும் சுற்றித் திருகுச்சுருள் போல் அமைந்த ஒரு சூழல் காணப்படுகிறது. இதற்குநடுச் சூழல் (central sheath) என்று பெயர் (படம் 11.10)

நுண் குழல்களெல்லாம் சுமார் 35Å குறுக்களவுள்ள நுண் இழைகளாலமைந்தன வென்று உயர் பெருக்க எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் மூலம் தெரியவந்துள்ளது. இந்த நுண்ணிழைகள் மிக ஒழுங்காக அமைந்து காணப்படுகின்றன.




படம் 11.8

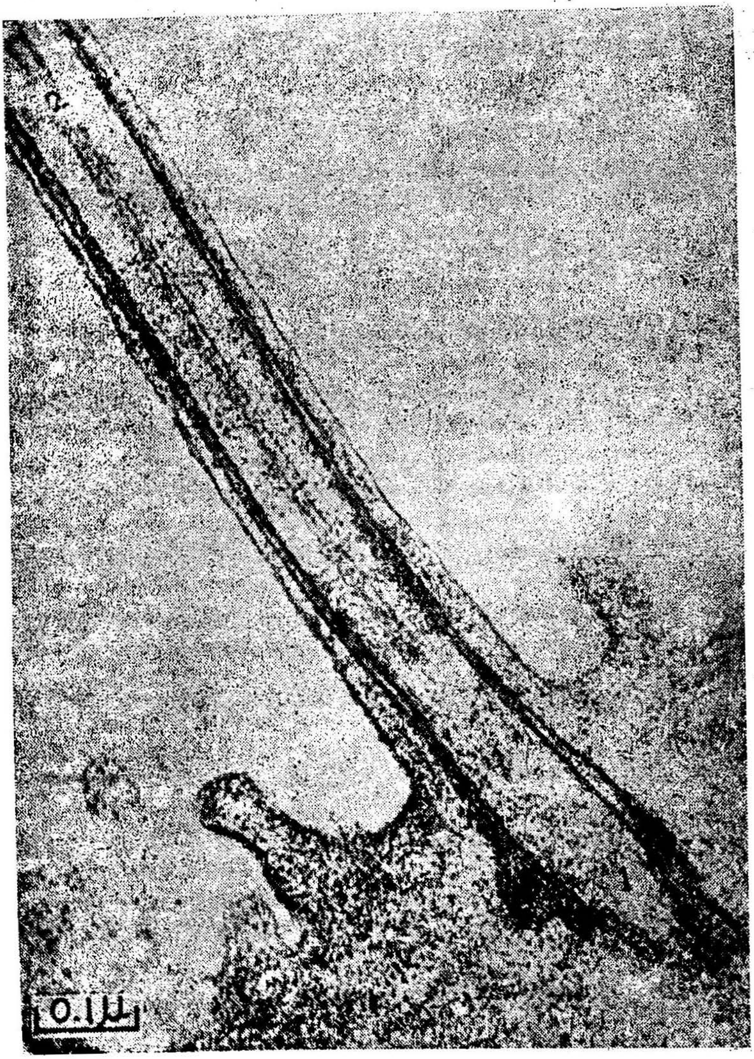
சிலியத்தின் குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றப் படம்.

I. ஆர்ம்; II. செகண்டரி இழை; III. உப இழை; A; VI உபஇழைB; V. நடுஇழை; VI. சுற்றுவட்ட இழை VII. நடு சூழல்; VIII. ஆரை; அ-இ சிலியத்தின் அசைவு மட்டத்தைக் குறிக்கிறது.

சிலியம், ஃபிளாஜெல்லம் ஆகியவற்றின் பெரும் பகுதி செல் லுக்கு வெளியே நீட்டிக் கொண்டிருந்தாலும், அவற்றின் அடிப்பகுதி சைட்டொ பிளாசத்திலமைந்த ஒரு தனிப் பகுதியிலிருந்து தொடங்குகிறது. இந்தத் தனிப்பகுதி சென்ட்ரியோலைப் போன்ற அமைப்பைக் கொண்டதாகவுள்ளது. இதற்கு பேசல்பாடி (basalbody), கைனெடொசோம் (Kinetosome), பிளிஃபெரோப்ளாஸ்ட் (blepheroplast), சென்ட்ரியோல் முதலிய பல பெயர்கள் சொல்லப்படுகின்றன. இது சிலியத்தை உண்டாக்கும் பணியைச் செய்யும் சென்ட்ரியோலேயாகுமென்று கருதப்படுகிறது (படம் 11.10)

### சிலியம், ஃபிளாஜெல்லம் ஆகியவற்றின் பணி

திரவச் சூழ் நிலையில் அசைவுகளை உண்டாக்கிச் செல்லை நகரச் செய்வதே இவற்றின் முக்கிய பணியாகும் ஃபிளாஜெல்லமானது கப்பலைச் செலுத்தும் சுழல் விசிறி போலவும், சிலியமானது படகைச் செலுத்தும் துடுப்பு போலவும் அசைந்து செயல்படுவ

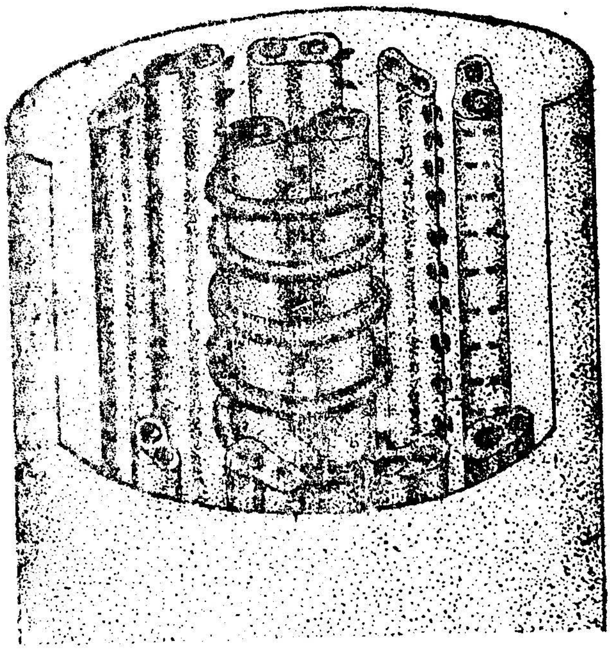



படம் 11.9

சிலியத்தின் நீள் வெட்டுத் தோற்றம்.

1. சிலியவேர் (கைனெட்டோசோம்); 2. சிலிய நடுப்பகுதி (சிலியவேரில் நடு இழைகள் இல்லாமையைக் கவனிக்கவும்)

தாகக் கருதப்படுகிறது. ஆனால் இவ்விருவகை அசைவுகளு கிடைப்பட்ட பல திறமான அசைவுகளும் நடைபெறலாம். சிலியம், ஃபிளாஜெல்லம் ஆகியவற்றின் சுற்று வட்ட நுண்குழல் தொகுதிகள் வரிசையாக நீண்டு சுருங்குவதால் அவை அசைகின்றன என்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால் சமீப கால ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, சுற்றுப்புற நுண்குழல் தொகுதிகளின் நீளம் மாறுவதில்லையென்றும், அவை ஒன்றின்மேலொன்று வழுக்கியசைவதன் மூலமே அசைவுண்டாகிறதென்று கருதப்படுகிறது.



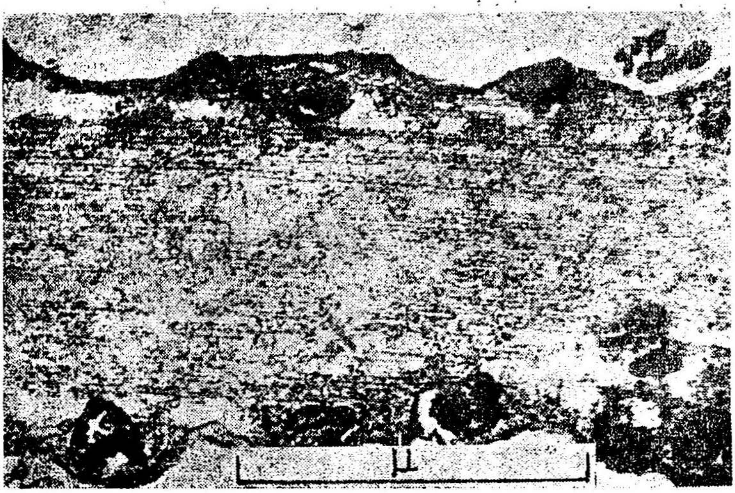
படம் 11.10

நீளவாக்கில் சிலியத்தின் அமைப்பைக்காட்டும் படம்.

## மைக்ரொட்யூப்யூல்களும் சைட்டொபிளாச இழைகளும்

குளுடரால் டிஹைடு (glutaraldehyde) என்ற பொருளில் கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்ட செல்களை எலெக்ட்ரான்மைக்கிராஸ் கோப்பில் பார்க்கும் போது அவற்றின் சைட்டொபிளாசத்தில் சுமார் 230Å குறுக்களவுள்ள நீண்ட மெல்லிய நுண் குழல்கள் காணப்படுகின்றன. இவை மைக்ரொட்யூப்யூல்கள் (microtubules)

எனப்படுகின்றன. குறுக்கு வெட்டுத் தோற்றத்தில் இவை வட்ட வடிவமாகத் தோன்றுகின்றன. நீள்வெட்டுத் தோற்றத்தில், இவை ஓரளவு வளைந்து நெளிந்து தோன்றினாலும், ஒரே குழல் வெகு நீளத்துக்குத் தொடர்ந்து காணப்படலாம் (படம் 11.11) மைக்ரொட்யூப்யூல்கள் செலசவ்வாலானவையல்ல.

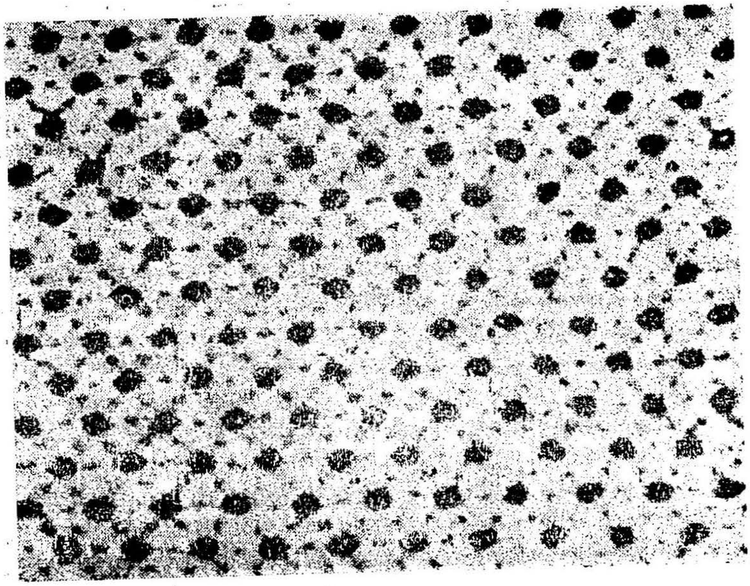


படம் 11.11

எகைனேஸ்பேரியம் என்னும் விலங்கின் ஆக்சொபோடியத்தில், நீள வாக்கில் அமைந்துள்ள மைக்ரோட்யூப்யூல்கள்; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில்.

**மைக்ரோட்யூப்யூல்களின் பணி:** செல் பகுப்பின்போது குரோமொசோம்களை இருதுருவத்துக்கும் கொண்டு செல்வதற்குப் பயன்படும் ஸ்பின்டில் இழைகள் மைக்ரொயூப்யூல்களாலானவையே என்று கருதப்படுகிறது. சிலியங்கள், ஃபிளாஜெல்லாக்சள் விந்துவால்கள் ஆகியவற்றிலும் மைக்ரொட்யூப்யூல்கள் நடுமையமாக அமைந்திருப்பதால், மைக்ரொட்யூப்யூல்கள் சுருங்கி நீளும் அமைப்புகளாக இருக்க வேண்டுமென்று கருதப்படுகிறது. ஆனால் உண்மையில், செல்லியக்கத்தில் இவற்றின் பங்கு என்னவென்று சரியாகத் தெரியவில்லை. சமீப காலத்தில் இந் நூலாசிரியர் வெளியிட்டுள்ள செல்லியக்கக் கோட்பாட்டில் சைட்டொபிளாசத்திலெற்படும் சூழ்நிலைத் தூண்டல்களை நூக்ளியசுக்கு வேகமாக மின்னாற்றல் மூலம் தெரிவிக்கும் சாதனங்களாக இவை பயன்பட ஏற்றவை என்ற கருத்து தெரிவிக்கப்பட்டுள்ளது.

**மைக்ரோஃபைப்ரில்கள்:** அநேக செல்களின் சைட்டொபிளா சத்தில் நீண்ட கட்டுகள் போலமைந்த நுண் இழைகள் காணப் படுகின்றன. இந்த நுண் இழைகள் மைக்ரொஃபைப்ரில்கள் என்று சொல்லப்படுகின்றன. இவை பெரும்பாலும் நீண்ட இழை



படம்: 11,12
தசையின் மயோஃபைப்ரினின் குறுக்கு வெட்டில் மிக ஒழுங்காக அமைந்திருக்கும் மைக்ரோ ஃபைப்ரில்கள் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில்.

புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளாலானவையாகும். இவை செல்லுக்கு நீண்டு சுருங்கும் இயல்பையும், வலிவையும் தருவதாகக் கருதப் படுகிறது. விலங்குகளின் தசைகள் நீண்டு சுருங்கும் இயக்கத்தைச் செய்பவை அவற்றின் செல்களில் மிக ஒழுங்காகவும், தனிப்பட்ட விதத்திலும் அமைந்துள்ள புரோட்டீன் நுண் இழைகளேயாகும்.

# 12. பகுப்பிடைநிலை நூக்ளியஸ்

யூகேர்ய உயிர்களில் செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளில் மிகப் பெரியதும், மிக முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததாகவும் கருதப்படுவது நூக்ளியசாகும். பெரும்பாலும் நூக்ளியசின் பகுப்பைத் தொடர்ந்தே செல் பகுப்பு நடைபெறுவதாலும், மரபுப்பொருளான DNA நூக்ளியசில் பெருமளவுக்கு இருப்பதாலும் நூக்ளியஸ்தான் செல்லின் இயக்கங்களனைத்தையும் ஒழுங்குப்படுத்தி செல்லெனப் படும் சிறிய உயிர்வகை நிர்வகிக்கும் செல்லுறுப்பாகுமென்று கருதப்படுகிறது. யூகேர்ய உயிர்களில் நூக்ளியஸ் நீக்கப்பட்ட அல்லது நூக்ளியஸ் அழிந்துபோன செல் வெகுசீக்கிரம் இறந்து விடுகிறது. ஆனால் நூக்ளியசும் எப்போதும் சைட்டொபிளாசத்தால் சூழப்பட்டே இருக்கிறது. சைட்டோபிளாசத்தால் சூழப்படாமல் தனித்திருக்கும், அல்லது இயங்கும் நூக்ளியஸ் கிடையாது.

மற்ற செல் நுண்ணுறுப்புகளைப் போலல்லாமல், நூக்ளியசானது எளிதில் புலனாகும் இருவேறுநிலைகளை அடுத்தடுத்துத் தொடர்ச்சியாக எய்துகிறது. இவ்விரண்டு நிலைகளும் பகுப்பிடை நிலை (interphase) பகுப்பு நிலை (Asineticphase) எனப்படும். பகுப்பு நிலையை அடுத்து பகுப்பிடை நிலையும், பகுப்பிடைநிலையை அடுத்துப் பகுப்பு நிலையும் வருகின்றன. இவ்விரு நிலைகளில் பகுப்பிடை நிலையே நீண்டதாகும். பகுப்பிடை நிலையோடு ஒப்பு நோக்கும்பொழுது பகுப்புநிலை சொற்ப நேரத்தினதாகும். மற்றும் ஒரு உயிரின் பெரும்பான்மையான நூக்ளியஸ்கள், குறிப்பிட்ட தடவைகள் பகுப்புநிலையடைந்த பிறகு மீண்டும் பகுப்புநிலை எய்தாமல் பகுப்பிடை நிலையிலிருந்து முடிவில் செல்லோடு அழிந்து விடுகின்றன. எனவே பகுப்பிடைநிலை நூக்ளியசின் அமைப்பும் இயக்கமும் செல்லியக்கத்தில் மிக முக்கியமானவைகளாகும்.

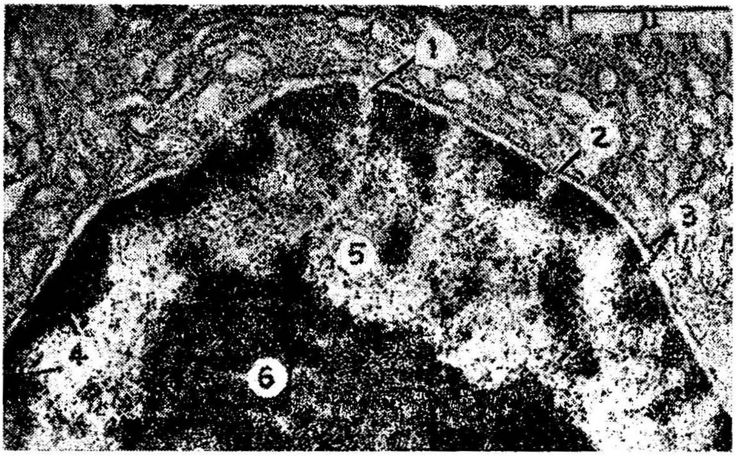
பகுப்பிடைநிலை நூக்ளியசில் நான்கு அல்லது ஐந்து வெவ்வேறு பகுதிகள் உள்ளன. அவை:

1. நூக்ளிய உறை அல்லது நூக்ளிய சவ்வு
2. குரொமேட்டின்
3. நூக்ளியசாறு அல்லது கேர்யோலிம்ப் (Karyalymph)
4. நூக்ளியோலஸ்
5. இதர பொருள்கள்.

இவை ஒவ்வொன்றும் தனிப்பட்ட அமைப்பையும், தனிப்பட்ட பணியையும் உடையனவாகும். ஆனால் நூக்ளிய உறையைத் தவிர மற்றவை ஒன்றிலிருந்து ஒன்று சவ்வுப் படலங்களால் தனித் தனியாகப் பிரிக்கப்பட்டனவல்ல: ஆங்காங்கே அவை வேறுபடும் அடர்த்திகளாகவும், மற்றும் ஒன்றேடொன்று நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டனவாகவுமுள்ளன.

**நூக்ளிய உறை** (nuclear envelope)

நூக்ளியசையும், சைட்டோ பிளாசத்தையும் பிரிக்கும் வரம்பு இரட்டைச் சவ்வாலானதும் சிக்கலான அமைப்பிணைக்கொண்டது மாகுமென்று எலெக்ட்ரான் நுண் நோக்கியின் மூலம் தெரிய வந்துள்ளது. எனவே முன்பு நூக்ளிய சவ்வு எனக்கூறப்பட்ட இது இப்போது நூக்ளிய உறை என்று அழைக்கப்படுகிறது.




படம் 12.1

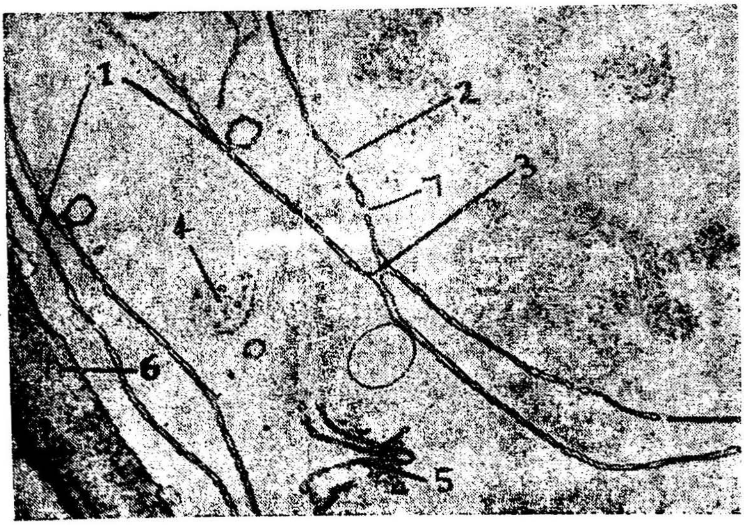
எலியின் பேங்ரியஸ் செல்லின் நூக்ளியஸ் பகுதி அடர்ந்த குரொமேட்டின் நூக்ளிய உறையிலிருந்து துளைக்கும் இடைவெளிகள் காணப்படுகின்றன; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில்.

1. நூக்ளியசினுட் செல்லும் இடைவெளி; 2. நூக்ளிய துளை; 3. நூக்ளிய உறை; 4. அடர்ந்த குரொமேட்டின்; 5- நூக்ளியஸ், 6. நூக்ளியோலஸ்.

நூக்ளிய உறையில் மொத்தம் ஐந்து பகுதிகளுள்ளன. அவை 1. உள், வெளி நூக்ளிப சவ்வுகள், 2. சவ்விடைச் சுற்று வெற்றிடம் (Perinuclear space), 3 துளைகள் 4. ஆனுலர் பொருள்

(Onnular material) 5. உட்புற அடர்லேமெல்லா (Internal dense-lamella) என்பவையாகும்.

**1. உள் வெளிச்சவ்வுகள்:** வெளிச்சவ்வானது சைட்டொ பிளாசத்தை நேரடியாகத் தொட்டுக்கொண்டிருக்கிறது. உட்சவ்வு நூக்ளியசின் உட்புறமாக இருக்கிறது. இரண்டு சவ்வுகளும் இணை வட்டங்களாகப் பெரும்பாலும் ஒன்றுக்கொன்று இடையாக இருக்கின்றன. சவ்வின் தடிமன் சுமார் 70 முதல் 80Å ஆகும். சவ்வுகளின் நுண்ணமைப்பு என்டொ பிளாசவலைச் சவ்விணை ஒத்திருப்பதுமல்லாமல், வெளிச்சவ்வானது ஆங்காங்கே என்டொபிளாச வலைச்சவ்வோடு நேரடியாக இணைந்துள்ளது. மற்றும் துகளுடைய என்டொபிளாச வலைச் சவ்வோடு ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் ரைபொசோம்களைப் போன்ற நுண் துகள்கள் வெளிச்சவ்வின் சைட்டொ பிளாசப் பக்கமாக ஒட்டிக்கொண்டிருக்கின்றன,




படம் 12.2

தாவர செல்லில் நூக்ளிய உறைக்கும், என்டொபிளாசவலைக்கும் இடையில் இணைப்பு காணப்படல்.

1. என்டொபிளாசவலை: 2. நூக்ளிய உறை; 3. இணைப்பு; 4. மைட்டொகான்றியம்; 5. கோல்கி உறுப்பு; 6. செல்சுவர்; 7. நூக்ளியதுளை.

**2. சவ்விடைச் சுற்று வெற்றிடம்: இது நூக்ளிய உட்சவ்வுக்கும் வெளிச்சவ்வுக்கும் இடையில் உள்ள இடைவெளியாகும்.**

இதில் எலெக்ட்ரான்களை விலகச் செய்யக்கூடிய ஒருபொருளும் இல்லாததால், எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் இந்த இடை வெளி வெறும் வெற்றிடமாகத் தெரிகிறது. இதன் அகலம் சுமார் 150 முதல் 300Å வரை இருக்கலாம். மற்றும் இதன் அகலம் நியூக்ளியசைச் சுற்றிலும் ஒரே மாதிரியாக இல்லாமல் ஆங்காங்கே வேறுபடலாம். ஏற்கெனவே சொன்னபடி, நூக்ளிய வெளிச்சவ்வு, என்டொபிளாசவலையோடு ஆங்காங்கே இணைந்திருப்பதால், சவ்விடைச்சுற்று வெற்றிடமும், என்டொ பிளாசவலை இடை வெளியும் நேரடியாகத் தொடர்பு கொண்டவையாகின்றன. (படம் 12.2)

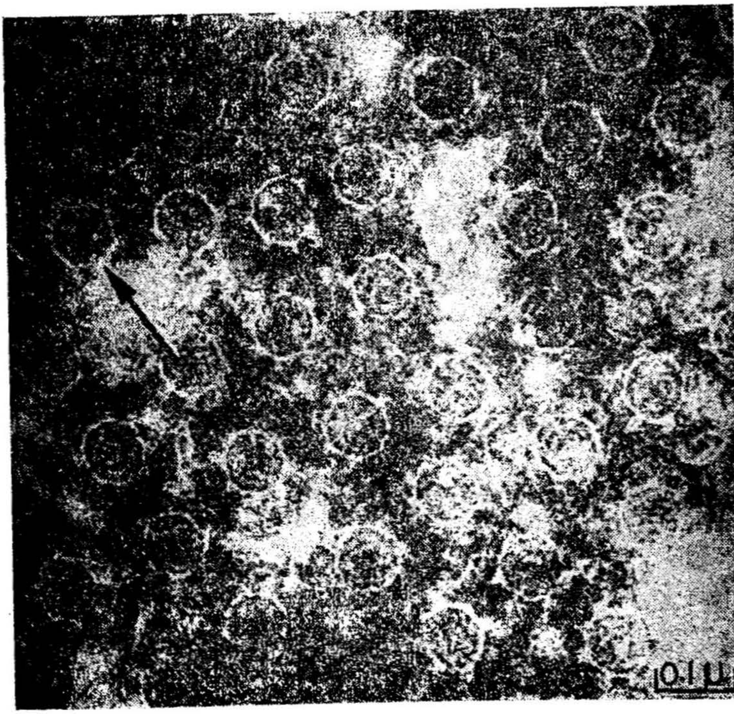
படம்: 12—3

வெங்காயத்தின் வேர் செல்லில் உறை அச்சு முறைத் தயாரிப்பில் காணப்படும் நூக்ளிய துளைகளின் தோற்றம்; எலெக்ட்ரான்மைக்ராஸ் கோப்பில்:

1. சைட்டொபிளாசம்; 2. நூக்ளிய துளைகள்.

3. **துளைகள் :** நூக்ளிய உறையின் வெளி, உட்சவ்வுகள் ஆங்காங்கே ஒன்றோடொன்று இணைந்து வட்டவடிவமான துளைகளை ஏற்படுத்துகின்றன. (படம் 12.3) இவை நூக்ளிய துளைகள் என்று குறிக்கப்படுகின்றன. இவற்றின் உருவம் வட்ட வடிவ

மான தென்று பொதுவாகக் குறிப்பிடப்பட்டாலும், உண்மையில் அவை எட்டுகோண வடிவத்தை உடையனவென்று சமீப கால ஆய்வுகளிலிருந்து தெரிய வந்துள்ளது (படம் 12.4) ஆனால் இத்



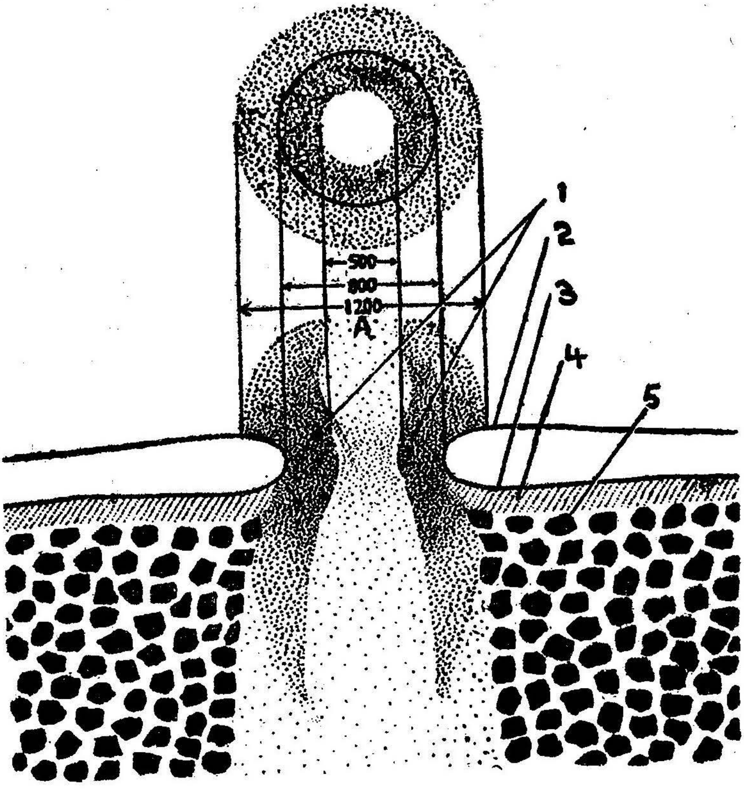

படம்: 12—4

டிரிட்டுரஸ் விரிடிசென்ஸ் என்னும் விலங்கின் நூக்ளியசில் காணப் படும் எண் கோண வடிவ நூக்ளிய துளை (அம்புக்குறி); எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்.

துளைகளின் குறுக்களவைப் பொறுத்து சுமார் 300Å முதல் 1000Å வரை வேறுபடும் அளவுகள் சொல்லப்படுகின்றன. இவ்வளவு அதிகமான வேறுபாட்டுக்குக் காரணம் என்னவென்றால், துளையின் வெவ்வேறு மட்டங்களில் அதன் குறுக்களவு சற்றுவேறு படுவதும், துளையை அடைத்துக் கொண்டிருக்கும் ஆனுலர் பொருளின் அமைப்பினால் ஏற்படும் சிக்கல்களுமே காரணமாகலா மென்று தோன்றுகிறது. (படம் 12.5)

**ஆனுலர் பொருள் (annular material):**

ஆனுலர் பொருளென்பது நூக்ளியத் துளைகளை சார்ந்துள்ள, தனி அமைப்பற்ற பொருளாகும். நூக்ளிய சவ்வின் மட்டத்தில் இது அதிநுண் துகள்களாலமைந்ததாக இருக்கிறது. அங்கிருந்து துளையின் வரம்பாயமைந்த சவ்வுப்பகுதியில் சற்று தூரம் வியாபித்து நூக்ளிய உறையின் உட்பக்கமாகவும், வெளிப்பக்கமாகவும் குழல்போல் நீண்டிருக்கிறது. (படம் 12.5) நூக்ளியசின் வெளிப்




படம்: 12–5

நூக்ளிய துளையின் நீள் வெட்டு, பரப்பு வெட்டுத் தோற்றங்களை இணைத்துக் காட்டும் படம்.

1. ஆனுலர்பொருள்; 2. நூக்ளிய வெளிச்சவ்வு; 3. நூக்ளிய உட்சவ்வு; 4. உட்புற அடர்லேமெல்லா; 5. குரோமேட்டின்;

பக்கத்தில் சைட்டொபிளாசத்துக்குள் நீண்டிருக்கும் பகுதி, நூக்ளியசினுட்பக்கம் நீண்டிருக்கும் பகுதியைவிடக் குட்டையாகவும், ஒழுங்கான உருவத்தை உடையதாகவும் இருக்கிறது.

5. உட்புற அடர்லேமெல்லா (internal dense lamella)

இது நூக்ளிய உறையோடு சேர்ந்த ஒரு தனிப்பட்ட அமைப் பாகுமென்று சமீப காலத்தில் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இது நூக்ளிய உறையின் உட்சவ்வைச் சார்ந்து, சவ்வையும், குரொ மேட்டினையும்விட வெளிரியதாகக் காணப்படுகிறது. இந்த லேமெல்லாவினுட்புறமாகக் குரொமேட்டின் தொகுதிகள் மணி போன்ற வரிசையாக அமைந்திருக்கின்றன. லேமெல்லாவின் தடிப்பு 200Å முதல் 800Å வரை இருக்கலாம். நூக்ளிய துளைப் பகுதியில் இந்த லேமெல்லா படிப்படியாக மெலிந்து ஆனுலர் பொருளோடு கலந்துவிடுகிறது (படம் 12.5)

**நூக்ளிய உறையின் பணி:**

நூக்ளியசினுள்ளிருக்கும் மரபுக்குறியீட்டுகளுக்கும், சைட் டொபிளாசத்தில் அக்குறியீடுகளினடிப்படையில் செயல் நடப் பதற்குமிடையில் ஒரு தனித்தன்மை வாய்ந்த வேலியாக நூக்ளிய உறை பணியாற்றுவதாகக் கருதப்படுகிறது. ஆனால் நூக்ளிய உறையற்ற புரொகேர்ய உயிர்களிலும் மரபுக் குறியீடும் அதன் செயல்களாலான சைட்டொபிளாசமும் செவ்வனே இணைந்து இயங் குவதால், நூக்ளிய உறையின் தனிப்பங்கு என்ன என்று சொல்லுவது கடினமாக உள்ளது. பொதுவாக, நூக்ளியசுக்கும் சைட்டொ பிளாசத்துக்குமிடையில் பல பொருள்கள் கடந்து செல்லுகின்றன என்பது நிச்சயம். இவற்றில், சைட்டொ பிளாசத்திலிருந்து நூக்ளியசுக்குள் சிறிய மூலக்கூறுகளும், அயனி களும் செல்லுவதாகவும், நூக்ளியசில் உருவாகும் பெரிய மூலக் கூறுகள் நூக்ளியசிலிருந்து சைட்டொ பிளாசத்துக்கு செல்லுவ தாகவும் கருதப்படுகிறது. அயனிகளும், சிறிய மூலக்கூறுகளும் நூக்ளிய சவ்வுகளை நேரடியாக ஊடுருவிச் செல்லலாம். ஆனால் பெரிய மூலக்கூறுகள் நூக்ளிய துளைகளின் வழியாகவே செல்லக் கூடும். ஆனால் மொத்தத்தில் இக்கடப்புகள் எப்படி நடைபெறு கின்றன என்று தெரியவில்லை. சமீபகால ஆய்வுகளிலிருந்து, நூக்ளிய துளைகளோடு சார்ந்திருக்கும் ஆனுலர் பொருள் தன் னிடத்தேயுள்ள சில நொதிகளின் வாயிலாகத் துளையின் வழியாக நூக்ளியசுக்குள்ளும் புறமும் செல்லும் பொருள்களைக் கட்டுப் படுத்தக் கூடுமென்று கருதப்படுகிறது.

நூக்ளியசின் சவ்விடைச் சுற்று வெற்றிடமும், என்டொ பிளாச வலை வெளிகளும் நேரடியாகத் தொடர்பு கொண்டிருப்ப தால் இது சைட்டொபிளாசத்துக்கும் நூக்ளியசுக்குமிடையே பொருள்கள் வேகமாக பரிமாறிக் கொள்ளப்படக்கூடிய வழியாகப்

பயன்படலாமென்று கருதப்படுகிறது. ஆன்டிபாடிகள் எனப் படும் புரோட்டீன் பொருள்கள் இவ்வழியாக நூக்ளியசிலிருந்து சைட்டொபிளாசத்துக்குக் கடத்தப்படுகிறதென்று கண்டறியப் பட்டுள்ளது.

## நூக்ளிய உறையின் அழிவும் தோற்றமும்

செல்பகுப்பின் போது நூக்ளிய உறை சிறுசிறு பகுதிகளாக உடைந்து மறைந்துவிடுகிறது. அவ்வாறு நூக்ளிய உறை மறைவதே புரொஃபேஸ் நிலையின் முடிவையும், புரொமெட்டஃபேஸ் நிலையின் தொடக்கத்தையும் குறிப்பதாகும். நூக்ளிய உறைச் சிதறல்களுக்கு என்ன நேருகிறதென்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. பொதுவாக இவை தமது தனித்தன்மையினை இழந்து, செல்லின் பொதுச் சவ்வுத் தொகுதியோடு கலந்துவிடுவதாகவும் மீண்டும் டெலொஃபேஸ் நிலையில் நூக்ளிய உறை தோன்றும் போது, செல்லின் பொதுச் சவ்வுப்படலத்திலிருந்து உருவாக்கப் படுகிறதென்றும் கருதப்படுகிறது.

## குரொமேட்டினும் நூக்ளிய சாறும்

காரத்தன்மையுடைய சாயங்களை நன்கு ஏற்றுக் கொள்ளுகின்ற இயல்புடைய நூக்ளியப் பொருள்களே குரொமேட்டின் எனப் படுகிறது. மற்றும் இது நூக்ளியப் பகுப்பின்போது குறிப்பிட்ட எண்ணிக்கையையும், உருவங்களையும் பெற்ற குரொமொசோம் களாக மாற்றமடைகிறது. நூக்ளியசாறு என்பது குரொமேட்டினையும், நூக்ளியோலசையும் தவிர்த்து, நூக்ளிய உறைக்குள் ளடங்கிய இதர பொருள்களை யெல்லாம் குறிப்பதாகும்.

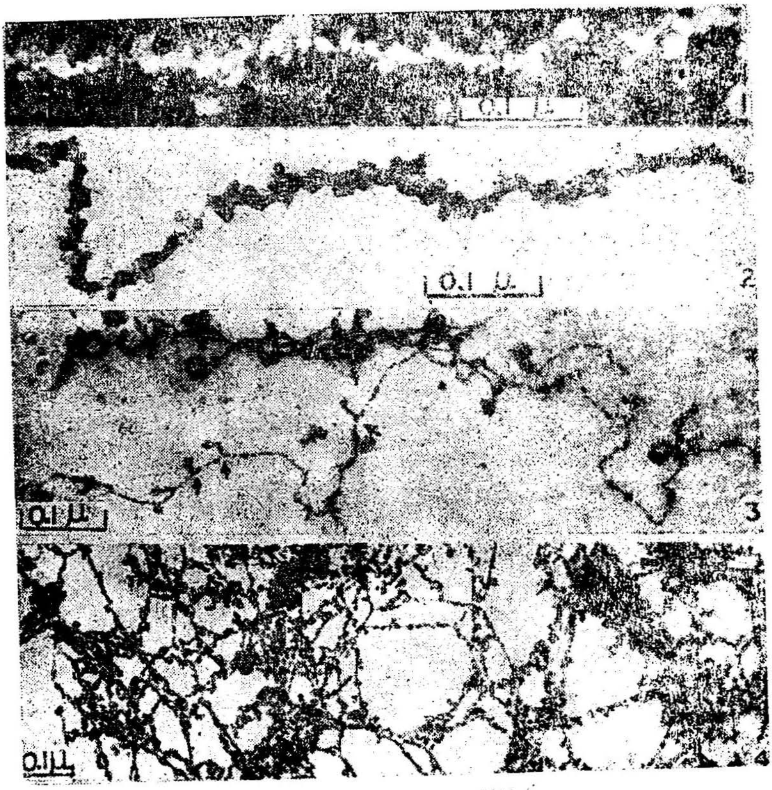
பகுப்பிடைநிலை நூக்ளியசின் குரொமேட்டின்தான், பகுப்பு நிலையில் குரொமொசோம்களாக உருவாகின்றன என்று பொதுவாக நம்பப்பட்டாலும் இவ்விரண்டும் ஒன்று மற்றொன்றாக எவ்வாறு மாற்றமடைகின்றன என்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. எலெக்ட்ரான்மைக்கிராஸ் கோப்பினாலும் இப்பிரச்சினைக்கு விடை காண முடியவில்லை. நூக்ளியசின் குரொமேட்டின் பலவகையான அமைப்புகளைக் கொண்டிருக்கிறது. சில உயிர்களின் நூக்ளியசில், நூக்ளிய உறையை நெருங்கியமைந்த பெரிய பெரிய திட்டுகளாகக் குரொமேட்டின் காணப்படுகிறது. மற்ற உயிர்களில், நூக்ளியஸ் முழுதும் வியாபித்த மெல்லிய வலைப்பின்னலாகக்குரொமேட்டின் அமைந்திருக்கிறது. முந்தையது புரொகுரொமொசோம் நூக்ளியசென்றும், பிந்தையது வலைப்பின்னல் நூக்ளிய சென்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. ஆனால் இவ்விரண்டுக்கும்

இடைப்பட்ட பல்வேறு அமைப்புகளிலும் குரொமேட்டின் காணப் படலாம்.

எப்படிப்பட்ட நூக்ளியசாயினும், அதன் குரொமேட்டின் மிக அடர்த்தியாகச் சாயமேற்கும் ஹெட்டிரொ குரொமேட்டினுகவும், குறை அடர்த்தியாகச் சாயமேற்கும் யூகுரொமேட்டினுகவும் இரு வகைப்படுகிறது. ஆனுல் இவ்விரண்டு பகுதிகளிலுமே மரபடிப் படைப் பொருளாகிய DNA அமைந்துள்ளதாகையால், இவற்றின் வேறுபாட்டுக்கு DNA இருப்பதும் இல்லாததும் காரணமல்ல வென்று தெரிகிறது. எனவே இவற்றின் DNA அடர்த்திதான் வேறுபாட்டுக்குக் காரணமாகத் தெரிகிறது. ஹைட்டிரொகுரொ மேட்டினில் DNA மிக அடர்த்தியாகவும், யூகுரொமேட்டினில் அடர்த்தி குறைவாகவும் இருப்பதாகத் தெரிய வந்துள்ளது. எனவே ஹெட்டிரொகுரொமேட்டின், யூகுரொமேட்டின் ஆகிய இரண்டும் ஒரே பொருளின் இருவேறு அடர்த்தி நிலைகளேயாகு மன்றி வெவ்வேறு பொருள்களல்ல. ட்ரோசோஃபைலா (Drosophila) வின் இளங்கரு நிலையில் நூக்ளியஸ் ஹெட்டிரொகுரொ மேட்டினைப் பெற்றிருப்பதில்லை. ஆனுல் முதிர்ச்சி நிலைகளில் தோன்றுகிறது. ஸ்பெக்ட்ரோஃபோட்டோமீட்டர் (spectro photo meter) அளவைகளிலிருந்து ஒரே நூக்ளியசின் யூகுரொமேட்டி னில் ஒரு குறிப்பிட்ட கனபரிமாணத்தில் உள்ள DNAவைவிட, அதே கனபரிமாண ஹெட்டிரொகுரொமேட்டினில் மூன்று மடங்கு DNA இருப்பதாகத் தெரியவந்துள்ளது.

குரொமேட்டினின் மிக மெல்லிய வெட்டுப் பகுதியை எலெக்ட் ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில் நோக்கும் பொழுது அதில் நீள வாக்கிலமைந்தனவும், குறுக்காக வெட்டப்பட்டனவுமான மெல்லிழைகள் அமைந்திருப்பது போன்ற தோற்றமளிக்கிறது. இந்த இழைகளைத் தவிர அனேக நூக்ளியஸ்களில், ஒழுங்கற்ற உருவமும்,சுமார் 200 முதல் 800 Å அளவுள்ளனவுமான துகளமைப் புகளும் காணப்படுகின்றன. (படம் 12.6) குரொமேட்டின் இழை களின் தடிப்பு 40 முதல் 150 Å வரை இருப்பதாகச் சொல்லப் பட்டாலும், வெவ்வேறு ஆய்வாளர்கள் வேறுபடும் அளவுகளைக் குறிப்பிடுகிருர்கள். சமீப காலத்தில் குரொமேட்டின் பொருளைச் சில திரவ அல்லது மற்ற பொருள்களின் பரப்பில், எண்ணெயை மிதக்கச் செய்வது போல், மெல்லிய ஒற்றை மூலக்கூறுப்படலமாக மிதக்கச் செய்து அப்படலத்தை எலெக்ட்ரான்மைக்கிராஸ்கோப் மூலம் பார்க்கும் ஆராய்ச்சிகள் செய்யப்பட்டு வருகின்றன. இத்தகைய தயாரிப்புகளில் இழைகளைத் தவிர வேறு அமைப் புடையன குரொமேட்டினில் காணப்படவில்லை. மற்றும் இழைகள்

ஒன்றைவிட்டு ஒன்று நன்கு விலகி, வெட்டு நோக்கில் காணப் படுவதை விட மிகத் தெளிவாகத் தெரிகின்றன. (படம் 12.7) ஆனால் இந்த இழைகளில் தடிப்பு பொதுவாகச் சுமார் 250Å யாக, வெட்டுத் தோற்றத்தில் காணப்படுவதை விட இரண்டு மூன்று

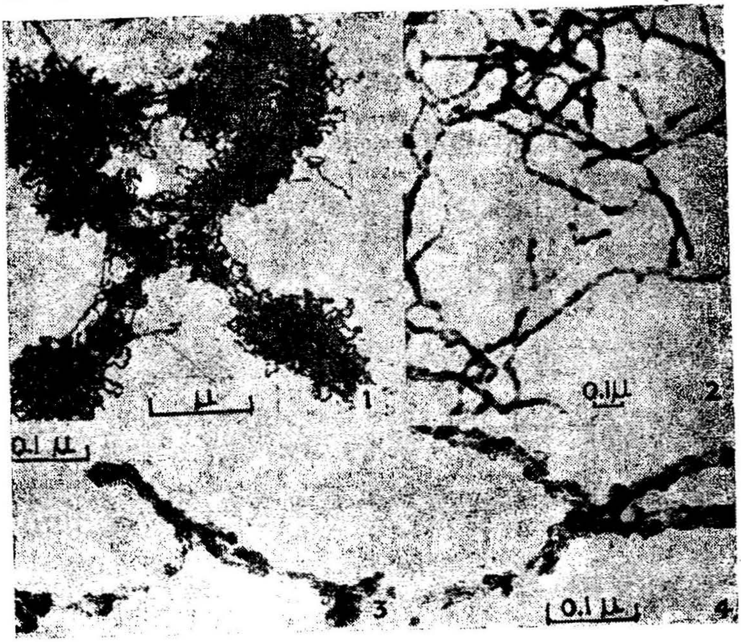



படம் 12.6

நான்கு வகையான தயாரிப்புகளில் சல்மான்டர் எரித்ரோசைட்டின் நியூக்ளிய ஹிஸ்டோன் இழைகள் தோற்றம்; எலெக்ட்ரான்மைக் ராஸ்கோப்பில்.

மடங்கு உள்ளது. நியூக்ளியசில் இயல்பாக அமைந்திருப்பது இந்த 250 Å இழைகளேயாகுமென்றும், ஆனால் இவை வெட்டுத்தோற்றத் தில் தெரியும் மெல்லிய இழைகளின் மடிப்பாலுருவானவைகளாக இருக்கலாமென்றும் கருத்துகள் சொல்லப்படுகின்றன. வெட்டுத் தோற்றத்திலும், பரப்புப் படலங்களிலும் காணப்படும் மிக மெல்லிய இழைகள் குறைந்த பட்சம் 40 Å அளவைக் கொண்டனவாகும்,

குரொமேட்டினில் உள்ள அடிப்படைப்படை பொருளாகிய DNA, பல்வேறு புரோட்டீன்களோடு சேர்ந்திருக்கிறது. ஆனால் DNA யும் இப்புரோட்டீன்களும் எவ்வாறு சேர்ந்திருக்கின்றன என்று தெரியவில்லை, எனினும் குரொமேட்டினில் காணப்படும் 40 Å அளவுள்ள மெல்லிழைகளில் ஒரே ஒரு DNA மூலக்கூறுக்கு மேல் இராது எனக் கருதப்படுகிறது.




படம் 12.7

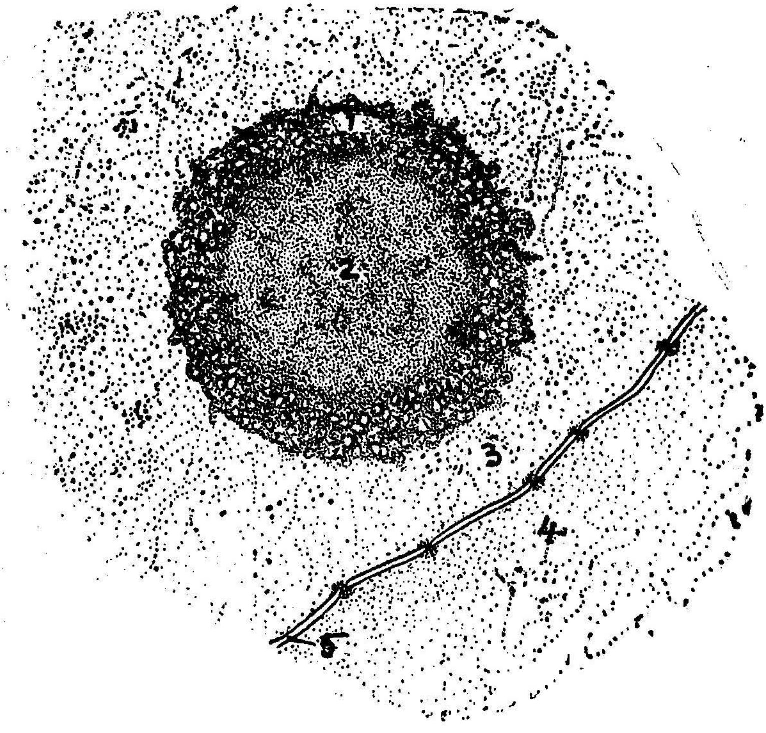
தண்ணீர்ப் பரப்பில் பரப்பப்பட்ட நூக்ளிய ஹிஸ்டோன் இழைகளின் தோற்றம்; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்.

1. மனித ஈரல் செல் வளர்ப்பின் மெட்டபேஸ் குரொமொசோம்களிலிருந்து; 2. சலமான்டர் எரித்ரோசைட் நூக்ளியசிலிருந்து; 3,4— சலமான்டர் எரித்ரோசைட்டிலிருந்து வேறுவித தயாரிப்புகள்.

### குரொமேட்டினின் பணி

இப்போதுள்ள கோட்பாட்டின்படி குரொமேட்டினிலிருக்கும் DNA மூலக்கூறுகளை அச்சாக வைத்து அதன் வார்ப்பாகத் தூது RNA தோற்றுவிக்கப்படுகிறதென்று கருதப்படுகிறது. இச்செயல் டிரான்ஸ் கிரிப்சன் (Transcription) எனப்படும் தூது RNA சைட்டொ பிளாசத்துக்குச் சென்று அங்கு புரோட்டீன் தயாரிப்

யைத் துவக்குகிறது. எனவே குரொமேட்டினிலுற்பத்தியாகும் தூது RNAயின் பெரும்பகுதி சைட்டொபிளாசத்துக்குச் சென்று விடுமாயினும் சிறிது நேரமேனும் அது குரொமேட்டினின் பகுதியாக இருத்தல் வேண்டும். சமீபகால ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, தூது RNA உற்பத்தியானது யூகுரொமேட்டினில் மட்டுமே நடைபெறுகிறதென்றும், ஹெட்டிரோ குரொமேட்டினில் நடைபெறுவ




படம் 12.8

நடுப்பகுதியைச் சுற்றியமைந்த சுற்றுப்பகுதியை உடைய நூக்ளியோலஸ்.

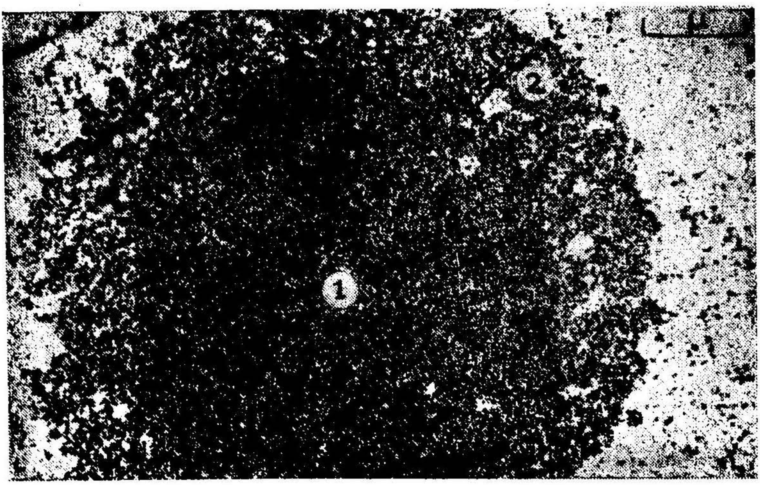
1. சுற்றுப்பகுதி; 2. நடுப்பகுதி; 3. நூக்ளியஸ்; 4. சைட்டொபிளாசம்; 5. நூக்ளிய உறை.

தில்லையென்றும் தெரியவருகிறது இது காரணம் பற்றி, செல்லின் இயக்க நிலையைப் பொருத்து யூகுரொமேட்டின், ஹெட்டிரோகுரோமேட்டின் பகுதிகள் மாறுபடுகின்றன என்று நம்பப்படுகிறது. தூது RNAயின் உற்பத்தி, செயல் முதலியவற்றை பின்வரும் வேறொரு அத்தியாயத்தில் விரிவாகச் சொல்லப்படும்.

தூது RNA யைத் தவிர வேறு பல RNA மூலக்கூறுகளும் குரொமேட்டினில் காணப்படுகின்றன. மற்றும் பெருமளவு கால்சியம், மெக்னீசியம் முதலிய உலோகங்களின் கேட்டயனி களும் நூக்ளியஸ்சாறில் காணப்படுகின்றன. இவற்றின் பணியும் தேவையும் என்னவென்று குறிப்பாகத் தெரியவில்லை.

## நூக்ளியோலஸ்

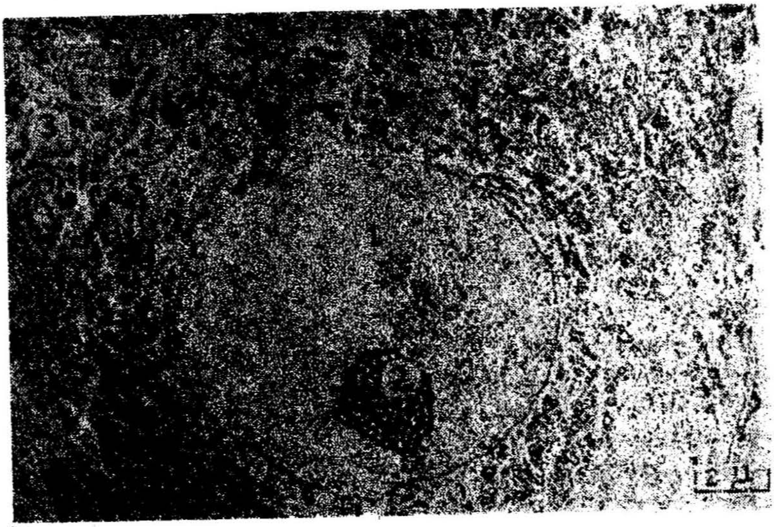
அநேகமாக எல்லா பகுப்பிடை நூக்ளியஸ்களிலும் ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட உருண்டையான தனிப்பட்ட அமைப்புகளைப் பெற்றிருக்கின்றன. இவையே நூக்ளியோ லஸ்கள் எனப்படும். உயிரினத்தைப் பொருத்தும் செல்லைப் பொருத்தும், செல்லின் செயல்நிலையைப் பொருத்தும் நூக்ளியோ லசின் உருவமும் அமைப்பும் வேறுபடுகின்றன. அதன் முக்கிய பணியான RNA உற்பத்தியில் தீவிரமாக ஈடுபட்டிருப்பவை எனக் கருதப்படக்கூடிய நூக்ளியோலஸ் இழைப்பகுதி துகள்பகுதி என இரண்டு பகுதிகளைப் பொதுவாகப் பெற்றிருக்கிறது. பல நூக்ளியோலஸ்களில் இவ்விரண்டு பகுதிகளும் கலந்து காணப் பட்டாலும் மற்ற நூக்ளியோலஸ்களில் இழைப்பகுதி மையத்திலும் துகள்பகுதி சுற்றுப்புறத்திலும் காணப்படுகின்றன படங்கள்(12.8




படம் 12.9
எலெட்க்ரால் மைக்ராஸ் கோப்பில் நடுப்பகுதியைச் சுற்றியமைந்த சுற்றும் பகுதியைக் கொண்ட நூக்ளியோலசின் தோற்றம்.
1. நடுப்பகுதி; 2. சுற்றுப்பகுதி.

12.9). நடுப்பகுதி கோர் (core) என்றும் சுற்றுப்பகுதி கார்டெக்ஸ் (Cortex) என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன.

நூக்ளியோலசின் இரு பகுதிகளிலுமோ அல்லது ஏதாவதொரு பகுதியிலோ 0.1 முதல் 0.2$\mu$ தடிப்புள்ள கரடுமுரடான இழைகள் காணப்படலாம். மற்றும் 60 முதல் 110Å தடிப்புள்ள நுண்ணிழைகளும் இருக்கலாம். துகள் பகுதியில் 150 முதல் 200Å குறுக்களவுள்ள ஏராளமான துகள்களும் காணப்படுகின்றன. தனி உருவமற்ற புரோட்டீன் பொருள்களும் இருபகுதிகளின் தளப்பகுதியில் மைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. (படம் 12.10) வேதித் தன்மையை



படம்: 12—10

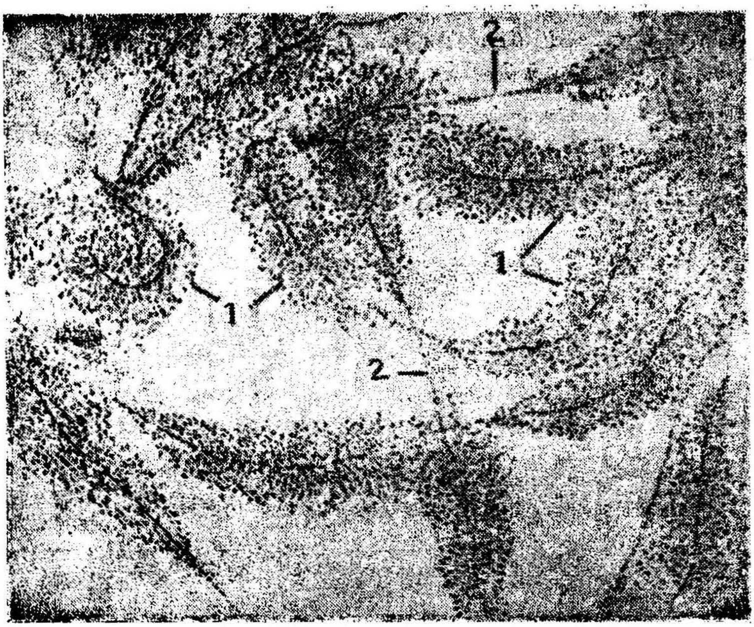
இழைப்பகுதியும், துகள்பகுதியும் கலந்தமைந்த நூக்ளியோலஸ், எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்.

1. நூக்ளியஸ்; 2. நூக்ளியோலஸ்; 3. சைட்டொபிளாசம்.

பொருத்து இருபகுதிகளிலும் RNA, புரோட்டீன் ஆகியவையும், இழைப்பகுதியில் RNA உற்பத்தியிலீடுபட்டிருக்கும் DNAயும் காணப்படுகின்றன. (12.11)

நூக்ளியஸ் பகுப்பின்போது, புரொஃபேஸ் நிலையில் நுக்ளியோலஸ் மறைந்து பிறகு டெலோஃபேஸ் நிலையில் மீண்டும் உற்பத்தியாகிறது. மறையும் போதும், திரும்பத் தோன்றும் போதும் நூக்ளியோலசோடு ஒரு ஜோடி குரொமொசோம்கள் இணைந்து காணப்படுகின்றன. ஒத்த குரொமொசோம்களாகிய

இந்த ஜோடியில் நூக்ளியோலஸை உருவாக்கும் பகுதிகளமைந் திருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. பகுப்பிடை நிலை நூக்ளியசில் குரொமொசோம்கள் தம்முருவத்தை இழந்த பின்னரும், குரொமேட்டினுக்கும் நூக்ளியோலசுக்கும் நெருங்கிய இணைப்பு இருப்பதாகக் கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்ட நூக்ளியசிலும், உயிருள்ள நூக்ளியசிலும் தெளிவாகத் தெரிகிறது.




படம்: 12—11

ஜீன் குறியீட்டை தூது RNAக்கு மாற்றும் பணியில் நூக்ளியோலசின் ஜீன்கள் ஈடுபட்டிருப்பது; எலெக்ட்ரான்மைக்ராஸ்கோப்.

1. தூது RNA; 2. DNA இழை.

**நியூக்ளியோலசின் பணி:** வெகுகாலமாக நூக்ளியோலசின் பணி என்னவென்று தெரியாமலிருந்தது. ஆனால் சமீபகால ஆய்வுகளிலிருந்து, சைட்டொபிளாசத்தில் காணப்படும் ரைபொசோம்களை உற்பத்தி செய்யும் முக்கியமான பணி நூக்ளியோலசில் நடைபெறுவதாகத் தெரிய வந்துள்ளது. (படம் 12.12)

ரைபொசோம்களொவ்வொன்றும் இரு அலகுகளைக் கொண்டதாகும். இவ்விரண்டு அலகுகளில் பெரியது 50S அளவையும், சிறியது 30S அளவையும் கொண்டன. இவ்விரண்டு அலகுகளும்

தனித்தனியாக நூக்ளியோலசில் உற்பத்தி செய்யப்பட்டு சில புரோட்டீன்களோடு இணைக்கப்பட்டு சைட்டொபிளாசத்துக்கு அனுப்பப்படுவதாகத் தெரிகிறது. சைட்டொபிளாசத்தில் ரைபொசோம் அலகுகள் புரோட்டீனிலிருந்து பிரிந்து, தூது RNA வில் ஒன்று சேர்ந்து புரோட்டீன் தயாரிப்பதிலீடுபடுகின்றன என்று எண்ணப்படுகிறது.

நூக்ளியோலசில் நடைபெறும் ரைபொசோம் அலகு உற்பத்தியில் நிகழும் முக்கிய படிகள் வருமாறு: (படம் 12.12)

1. நூக்ளியோல்சின் இழைப்பகுதியில் ரைபொசோம் RNA உற்பத்திக்கு ஆதாரமான ஜீன்கள் 45S அளவான RNA மூலக்கூறுகளை உண்டாக்குகின்றன. இவையே ரைபொசோம் உற்பத்திக்கு முன்னோடிகளாகும்.

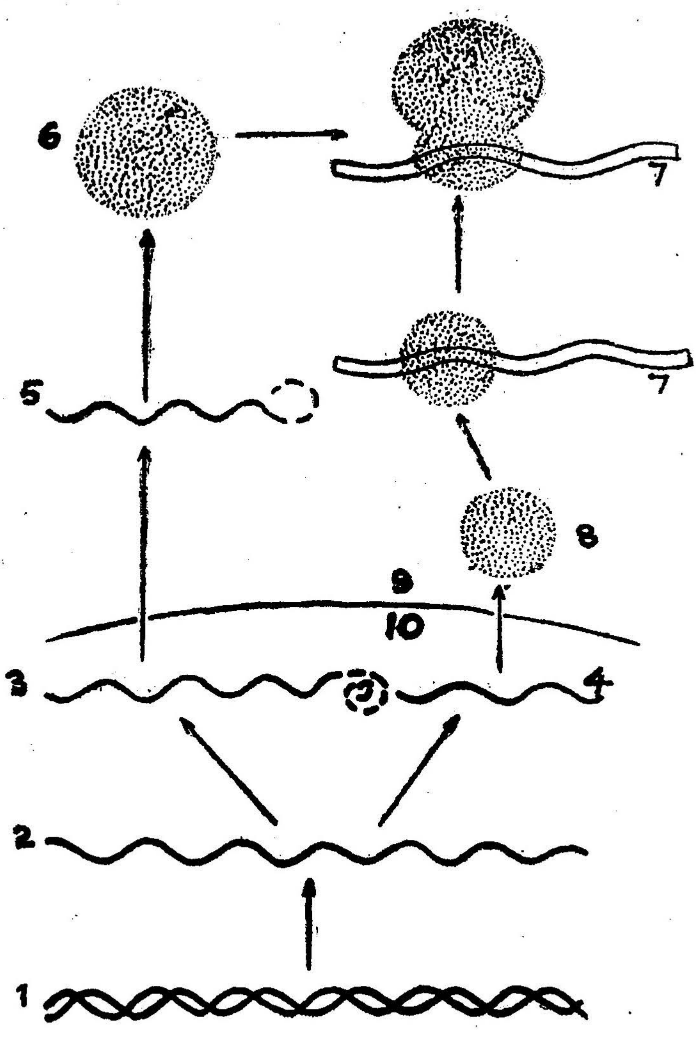
2. 45S அளவான RNA புரோட்டீன்களோடு சேர்க்கப்பட்டு 80S அளவான கூட்டுப்பொருள் உண்டாகிறது. இதில் சேர்க்கப்படும் புரோட்டீன்கள் ரைபொசோம் புரோட்டீன்களும் மற்ற புரோட்டீன்களுமாகும்.

3. 45S அளவான RNA யானது 18S, 32S அளவுகளுள்ள துண்டுகளாகப் பிளக்கப்படுகிறது அப்போது அதனோடு சேர்ந்த புரோட்டீன்களில் சில, வேறு புரோட்டீன்களாக மாற்றப்படுகின்றன. சில புரோட்டீன்கள் நீக்கப்படுகின்றன. துகளின் உருவத்திலும் மாற்ற மேற்படுகிறது.

4. 32S RNAயுடன் நூக்ளியோலசிலிருந்து தோன்றுமல் வேறு எங்கோ உற்பத்தி செய்யப்பட்ட 5S RNA இணைக்கப்பட்டு 60S அளவான அலகாக மாற்றப்படுகிறது. பிறகு இது ரைபொசோமின் பெரிய அலகான 50S அலகாக மாற்றப்படுகிறது.

5. ரைபொசோமின் சிறிய அலகான 30S அலகு 18S துண்டுகளிலிருந்து உண்டாக்கப்படுகிறது.

6. 50S, 30S அலகுகளிரண்டும், சில துணை புரோட்டீன்களோடு, சைட்டொபிளாசத்துக்கு விரைவாகக் கடத்தப்படுகின்றன. சைட்டொபிளாசத்தில் இரு அலகுகளும் துணை புரோட்டீன்களை இழந்து தூது RNAயுடன் இணைந்து புரோட்டீன் தயாரிப்பிலீடுபடும் பாலிரைபொசோம்களாகின்றன.




படம்: 12.12

ரைபொசோம் உற்பத்திப்படம்.

1. நூக்ளியோலசின் DNA; 2. 45S RNA; 3. 32S RNA; 4. 18S RNA; 5. 28S RNA; 6. ரைபொசோமின் 60S உபயூனிட்; 7. தூது RNA; 8. ரைபொசோமின் 30S உபயூனிட்; 9. சைட்டொபிளாசம்; 10. நூக்லியஸ்.

## நூக்ளியசின் இதர பொருள்கள்

அநேக பாலூட்டிவிலங்குகளின் நூக்ளியஸ்களில் ரைபொசோம்கள், பாலிசோம்கள் ஆகியவற்றைப் போன்றவை எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் மூலம் காணப்படுகின்றன. நூக்ளியசின் ரைபொ நூக்ளிய புரோட்டீன்கள் அவற்றின் வேதியமைப்பு, மண்டுதல் தன்மை, எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில் தெரியும் தோற்றம் ஆகிய அமிசங்களில் சைட்டொபிளாசரைபொசோம்களைப் பெருமளவுக்கு ஒத்திருக்கின்றன. ஆனால் ரைபொசோம்களல்லாத வேறு ரைபொ நூக்ளிய புரோட்டீன்களும் நூக்ளியசில் காணப்படுகின்றன.

நூக்ளியசில் இடைவிடாமல் RNA உற்பத்தி செய்யப்பட்டு சைட்டொபிளாசத்துக்குச் செல்லுகிறதென்றாலும், நூக்ளியசிலுற்பத்தியாகும் எல்லா RNAயும் சைட்டொபிளாசத்துக்குச் செல்லுவதில்லை. பெருமளவு RNA நூக்ளியசிலேயே அழிக்கப்பட்டு விடுகிறதென்பதற்கு ஆதாரங்களுள்ளன. அமீபா புரோட்டியஸ் (Amoeba proteus) என்னும் உயிரின் நியூக்ளிய புரோட்டீன்களில் சுமார் 40% சைட்டொபிளாசத்துக்கும் நூக்ளியசுக்குமிடையே இடைவிடாமல் நகர்ந்து செல்லுகின்றன. மற்ற 60% நூக்ளியசை விட்டு வெளியில் செல்லுவதில்லை.

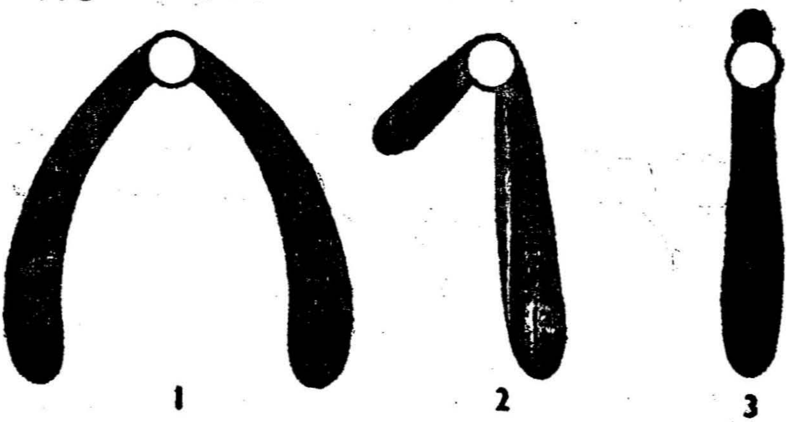
# 13. குரோமோசோம் அமைப்பு

குரோமோசோம்களென்பவை நூக்ளியஸ் பகுப்பின்போது நியூக்ளியசினில் தோன்றும் தனிப்பட்ட உருவங்களாகும். ஒரு உயிரில் அடுத்தடுத்து நடைபெறும் நூக்ளியஸ் பகுப்புகளில் குரோமோசோம்கள் தமது அமைப்பும், இயல்பும் மாருமல் இரட்டிப் படைகின்றன. செல் பகுப்பின்போது இவற்றின் இயக்கத்தைத் தெரிந்து கொள்ள இவற்றின் அமைப்பை அறிந்து கொள்ளுவது அவசியமாகும்.

அமைப்பு, செயல் ஆகியவற்றில் தொடர்ச்சியான மாற்றங் களெய்தும் சுழலில் குரோமோசோம்களின் அமைப்பைத் தெளி வாகத் தெரிந்து கொள்ள ஏற்றநிலை நூக்ளியஸ் பகுப்பின் மெட்ட பேஸ், அனபேஸ் நிலைகளேயாகும் இந்நிலைகளில் அவை மிகத் தெளிவான உருளை போன்ற வடிவத்தைப் பெறுவதோடு, காரத் தன்மையான சாயங்களையும் ஃபாயில்ஜன் சாயத்தையும் (Feulgen stain) நன்கு ஏற்றுக் கொள்ளுகின்றன. மற்றும் ஃபேஸ்கான்ட் ராஸ்ட் மைக்கிராஸ்கோப்பில் உயிருள்ள செல்களிலும் தெளி வாகத் தெரிவதோடு, 2600Å அலைநீளமுள்ள அதியூதாக்கதிர்களை (ultraviolet light) அபரிமிதமாக உறிஞ்சிக் கொள்ளுகின்றன.

மெட்டபேஸ் அனபேஸ் நிலைகளில் காணப்படும் ஒரு குரோமோசோமின் உருவம், அதிலமைந்துள்ள சென்ட்ரோமியர் (Centromere) எனப்படும் குறுகிய பகுதியைப் பொருத்ததாகும். இக் குறுகிய பகுதியில் குரோமோசோம் மடிந்து கொள்ளுகிற தாகையால், இதன் இரு பக்கமும் உள்ள நீளங்களைப் பொருத்து வெவ்வேறு உருவங்கள் ஏற்படுகிறது. சென்ட்ரோமியருக்கு இரு புறமும் இருக்கும் பகுதிகள் புயங்கள் (arms) எனப்படுகின்றன. புயங்களின் நீளத்தைப் பொருத்து குரோமோசோம்கள் மூன்று வகையாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன (படம் 13.1) ஏறக்குறையக் குரோமோசோமின் இரு நுனிகளிலுமிருந்து சமதூரத்தில் சென்ட் ரோமியர் இருப்பதால் இருபுயங்களும் சமநீளமாக இருக்கும் குரோமோசோம் மெட்டா சென்ட்ரிக் (Metacentric) குரோமோ சோம் எனப்படுகிறது. இது மடிந்து கொள்ளும் போது V உரு வத்தைப் பெருகிறது. நடுவிலிருந்து ஒரு பக்கமாகத் தள்ளி

சென்ட்ரோமியர் இருப்பதால், ஒரு புயம் மற்ற புயத்தை விட நீள மாக அமைந்திருக்கும் குரொமொசோம், சப்மெட்டா சென்ட்ரிக் (Submeta centric) குரொமொசோம் எனப்படுகிறது. இது மடிந்து கொள்ளும் போது L உருவத்தை அடைகிறது. குரொமொசோமின் ஒரு நுனிக்கு மிக அருகாமையில் சென்ட்ரோமியர் இருந்தால் ஒரு புயம் மற்ற புயத்தை விட மிகக் குறுகியிருக்கும் குரொமொ சோம் அக்ரோ சென்ட்ரிக் (Acrocentric) குரொமொசோம் எனப் படுகிறது. இது I உருவத்தைப் பெருகிறது. இம்மூன்று வித அமைப்புகளும் நிலையானதாகும். ஒரு மெட்டா சென்ட்ரிக் குரொமொசோம் அடுத்தடுத்து நடைபெறும் பகுப்புகளில் அதே உருவத்தைச் சற்றும் மாருமல் பெற்றிருக்கும், எனவே ஒரு உயிரின் குரொமொசோம்களைத் தனித்தனியாக வரைப்படுத்தி யறிந்துகொள்ளமுடியும்.



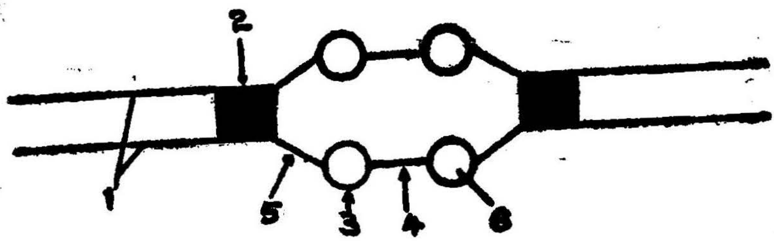
படம் 13.1

குரொமொசோமின் மூன்று உருவங்கள்-

1. மெட்டாசென்ட்ரிக்; 2. சப்மெட்டாசென்ட்ரிக்; 3. அக்ரோ சென்ட்ரிக்.

குரொமொசோமின் பிரதான குறுக்கமாகிய சென்ட்ரோமியர் சாயமேற்காத தெளிவான பகுதியாக இருக்கிறது. நூக்ளியஸ் பகுப்பின்போது குரொமொசோமைத் துருவத்துக்கு நகர்த்திச் செல்லும் முக்கியமான பணியை இது செய்கிறது. சென்ட்ரோ மியர் இல்லாவிட்டால் பகுப்பின்போது அக்குரொமொசோம் துருவத்துக்குச்சென்று இதர குரொமொசோம்களோடு நூக்ளியசில் சேருவது தடைப்பட்டு அழிந்து விடும். எனவே சென்ட்ரோமியர் குரொமொசோமின் மிக முக்கியமான பகுதியாகும்.

**சென்ட்ரோமியரின் அமைப்பு:** (படம் 13.2) சென்ட்ரோமியரில் நடுவிலமைந்த உள்மண்டலமும் இம்மண்டலத்துக்கு இருபக்கங்களிலும் நடுமண்டலங்களும், நடுமண்டலங்களுக்கு இருபக்கங்களிலும் வெளி மண்டலங்களும் இருப்பதாகச் சமீபகால ஆய்வுகளிலிருந்து தெரிய வந்துள்ளது. நடுமண்டலங்களில், சென்ட்ரோமியரின் குரோமொமியர்கள் உள்ளன. இம்மண்டலமே நூக்ளியஸ் பகுப்பின்போது குரோமொசோமைக் கதிர் இழைகளோடு இணைக்கும் பகுதியாகும். வெளி மண்டலங்களை அடுத்து குரோமொசோமின் இதர பகுதிகளிலிருந்து மாறுபடும் பகுப்பியல்பைக் கொண்ட இருபகுதிகள் இருக்கின்றன. இப்பகுதிகள்தான் நியூக்ளியஸ் பகுப்பின் தொடக்கத்திலேயே நீளவாக்கில் பிரிந்து கொள்ளும் இரண்டு பகுதிகளாகிய குரோமேட்டிருகளை, மெட்டஃபேஸ்நிலையின் முடிவுவரை ஒன்று சேர்த்துப் பிடித்துக் கொண்டிருப்பனவாகும் என்று கருதப்படுகிறது.




படம்: 13.2

சென்ட்ரியோல் நுண்ணமைப்பு.

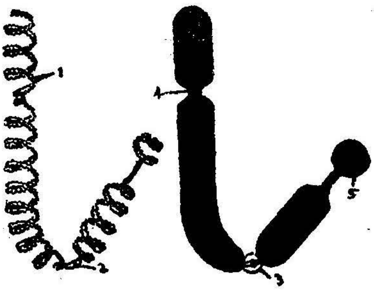
1. குரோமேட்டிடுகள்; 2. தனிப்பகுப்புத் தன்மை கொண்ட பகுதி; 3. நடு இடம்; 4. உள்ளிடம்; 5. வெளியிடம்; 6. சென்ட்ரிக் குரோமோமியர்.

பொதுவாக ஒரு குரோமொசோமில் ஒரு சென்ட்ரோமியர் தானிருக்கும். ஆனால் இரண்டு சென்ட்ரோமியர்கள் உள்ள குரோமொசோம்களும், பல சென்ட்ரோமியர்கள் உள்ள குரோமொசோம்களும் கூட உண்டு. பல சென்ட்ரோமியர்கள் உள்ள குரோமொசோம்கள் **அஸ்காரிஸ் மெகலோசெபாலா** (Ascaris megalocephala) என்ற புழுவில் காணப்படுகிறது.

பிரதான குறுக்கமாகிய சென்ட்ரோமியரைத்தவிர வேறு குறுக்கங்களும் குரோமொசோமில் இருக்கலாம் (படம் 13.3) இவற்றின் நீளமும், அமைந்திருக்கும் இடமும் நிலையானவையாகையால் குரோமொசோம்களை ஒன்றிலிருந்து ஒன்றைப் பிரித்தறிய இவை பயன் படுகின்றன. இக்குறுக்கங்களும்

சென்ட்ரோமியர் குறுக்கத்தைப் போல தோன்றினும், இக் குறுக்கங்களில் குரோமொசோம் மடிந்து கொள்ளுவதில்லை. இக் குறுக்கங்களில் சிலவற்றில் தான் நூக்ளியோலஸை உருவாக்கும் பகுதிகள் அமைந்திருக்கின்றன. ஆனால் நூக்ளியோலஸை உண்டாக்கும் குரொமொசோம்களில் காணப்படும் இக்குறுக்கங்கள் மற்ற அவை போன்ற குறுக்கங்களிலிருந்து வேறாகத் தெரிய வதில்லை.

**டிலோமியர்:** குரொமொசோமின் இரு நுனிகளும் டிலோமியர்கள் (telomeres) என்ற தனிப்பெயரால் குறிப்பிடப்படுகின்றன. ஏனென்றால் நுனியானது மற்றபகுதிகளிலிருந்து சில அமிசங்களில் வேறுபட்டிருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஏதாவது காரணத்தால் ஒரு குரொமொசோம் நடுவில் அறுந்து விட்டால் அறுந்த பகுதிகள் மீண்டும் ஒட்டிக் கொள்ளக்கூடும். ஆனால் அந்த முனைவேறொரு அறுத்த முனையோடு தான் ஒட்டிக் கொள்ளுமே தவிர டிலோமியரோடு ஒட்டிக் கொள்ளுவதில்லை. எனவே மற்ற குரொமொசோம்கள் தம்மோடு ஒட்டிக் கொள்ளுவதைத் தடுக்கக்கூடிய துருவ அமைப்பை டிலோமியர் பெற்றிருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது.

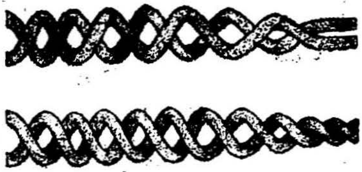


படம். 13.3
குரொமொசோமின் பொது அமைப்பு.
1. குரொமானிமொக்கள்; 2. கதிரிழை இணைவு இடம்; 3. சென்ட்ரோமியர்; 4. செகன்டரி குறுக்கம்; 4. சேட்டிலைட்.

**சேட்டிலைட் :** சில குரொமொசோம்களில், குரொமொசோமின் பிரதான பகுதியிலிருந்து தனியாகப் பிரதானபகுதியோடு மெல்லிய இழையால்இணைக்கப்பட்ட ஒரு உருண்டையான அல்லது சற்று நீளமான சிறுபகுதி காணப்படலாம். இந்த சிறு பகுதி சேட்டிலைட் (satellite)எனப்படுகிறது. சேட்டிலைட்டின் குறுக்களவு, குரொமொசோமின் பிரதான பகுதியினளவோ அல்லது அதை விடக் குறைவாகவோ இருக்கலாம். சேட்டி லைட்டை இணைக்கும் இழையின் நீளமும் வேறுபடக் கூடியதாகும். இத்தகைய குரொமொசோம்கள் சேட்-குரொமொசோம்கள் என்று அழைக்கப் படுகின்றன. (படம் 13.3)

**குரோமொனீமா:** நூக்ளியஸ் பகுப்பின் புரோபேஸ் நிலையில் குரோமொசோம்களில் திருகுச் சுழல்போல் முறுக்கிக் கொண்டிருக்கும் அமைப்புகள் காணப்படுகின்றன. சுடுநீர், அமில ஆவிகள் காரக்கரைசல்கள் முதலியவற்றை உபயோகித்துத் தனிப்பட்ட முறையில் கொன்று நிலையுறுத்தப்பட்டால் இம் முறுக்கிழைகள் மிகத் தெளிவாகத் தெரிகின்றன. இம் முறுக்கிழை குரோமொனீமா (Chromonema) எனப்படுகிறது. ஒரு குரோமொசோமில் இரண்டு, நான்கு அல்லது அதற்கும் அதிகமான இழைகள் காணப்படலாம். ஒவ்வொரு இழையும் குரோமோசோமின் ஒரு நுனியிலிருந்து மறு நுனி வரை தொடர்ச்சியாக உள்ளது. ஒவ்வொரு குரோமொனீமா இழையும் திருகுச் சுழல்போல் முறுக்கிக் கொண்டிருப்பதல்லாமல் இரண்டு அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட இழைகள் ஒன்றோடொன்றும் முறுக்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. அவ்வாறு ஒன்றோடொன்று முறுக்கிக் கொண்டிருப்பது இரண்டு வகைப்படும். (படம் 13.4) பிளக்டோநீமியத் திருகு (Plectonemic coil) என்பதில் இரண்டு இழைகளும் ஒரு கயிற்றின் இரண்டு இழைகள் முறுக்கிக் கொண்டிருப்பதுபோல் பின்னி முறுக்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. கயிற்றின் பின்னலைப் பிரிக்காமல் இழைகளைத் தனித்தனியாகப் பிரிக்கமுடியாது. பாரநீமியத் திருகு (Paranemic coil) என்பதில் இரண்டு இழைகளும் ஒன்றோடொன்று பின்னிக் கொள்ளாமலிருப்பதால், அவற்றை எளிதில் தனித்தனியாகப் பிரிக்கலாம்.

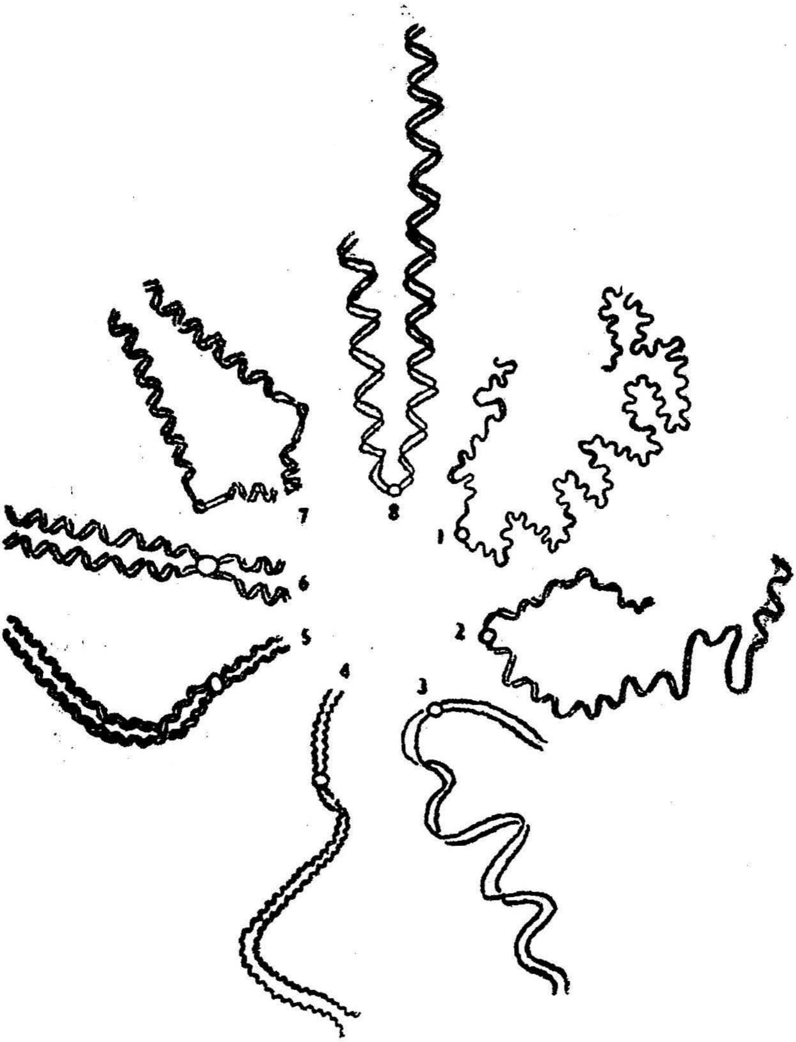
1



2

படம்: 13.4
குரோமொனீமா திருகுச் சுழல்கள்.
1. பாராநீமிய திருகுச் சுழல்;
2. பிலெக்டோநீமிய திருகுச்சுழல்.

குரோமொனீமாக்களின் திருகுச் சுருள் பலபடிகளில் அமைந்திருக்கிறது. நன்றாகப் புலனாகும் பெரியசுருள் (mojor coil) என்பது ஒரு குரோமொனீமாவுக்கு 10 முதல் 30 வரை இருக்கலாம். இச் சுருளுக்குக் குறுக்காகச் சிறிய சுருள் (minor coil) அமைந்திருக்கிறது. அதாவது ஒரு திருகுச் சுழலே திருகுச் சுழலாக முறுக்கப்பட்டது போன்ற அமைப்பாகும். ஒரு பகுப்புக்கும் அடுத்த பகுப்புக்கும் இடையில் குரோமொனீமச் சுருள் குறிப்பிட்ட வகையில் மாற்றங்களையடைகிறது (படம் 13.5) பகுப்பிடை நிலையில் குரோமொனீமா மிக நீண்டதாய் ஒழுங்கற்ற அகலமான வளைவுகளைக் கொண்டிருக்கிறது. புரோபேஸ் நிலையில் இரண்டு சுருண்ட குரோமேட்டிடுகள் ஒன்றோடொன்று பின்னிச் சுருண்ட




படம் 13.5

குரோமொனீமாக்களின் திருகுச் சுழல் மாற்ற வட்டம்.

1. பகுப்பிடைநிலை: 2,3,4, புரோபேஸ் நிலை; 5. புரோமெட்டபேஸ்; 6. மெட்டபேஸ்; 7. அனபேஸ்; 8. டெலோபேஸ் (சென்ட்ரோமியரானது வட்ட வடிவமாகக் காட்டப்பட்டுள்ளது).

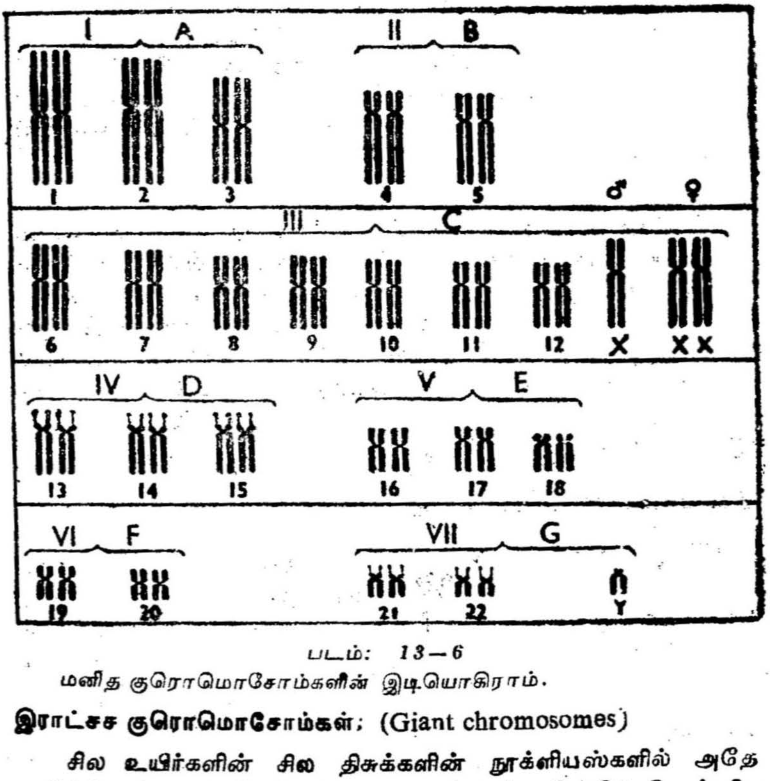
நிலை காணப்படுகிறது. புரொபேஸ் முடிவில் ஒழுங்கான திருகுச் சுருளமைப்பு ஏற்பட்டுப் பிறகு மெட்டபேஸ் நிலைவரை சுருள்களின் நீளம் குறைவதால் குரொமொனீமாக்களும் குரொமொசோமும் மிகக் குட்டையாகின்றன. அனபேஸ் நிலைக்குப் பிறகு சுருள்கள் மீண்டும் பிரிந்து நீளத் தொடங்குகின்றன.

புரொபேஸ் நிலையில், குறிப்பாகக் குன்றல் பகுப்பின் புரொபேஸ் நிலையில் குரொமொனீமாக்களில் மணிகோர்த்தது போல் வரிசையான தடிப்புகள் காணப்படுகின்றன. இத்தடிப் புகள் குரொமொமியர்கள் (chromomeres) என்றும், தடிப்புகளுக் கிடையே உள்ள மெலிந்தபகுதி இன்டர் குரொமொமியர்கள் (inter chromomeres) என்றும் சொல்லப்படுகின்றன. ஒருகுறிப் பிட்ட குரொமொசோமில் காணப்படும் குரொமொமியர்களின் எண்ணிக்கை, அளவு, தூரம் முதலியன நிலையானதாகும். குரொ மொமியர்கள் எப்படிப்பட்டவை என்பது குறித்து இரண்டு கருத்து களுள்ளன. ஒன்றின்படி, குரொமொமியர்ப் பகுதியில் குரொ மொனீம இழையே மிக நெருக்கமாக உருண்டைபோல் சுருண் டிருக்கிறதென்றும், மற்றொன்றின்படி குரொமொமியர்கள் குரொ மொனீம இழையில் ஏற்படும் தடிப்புகள் என்றும் கருதப்படுகிறது.

**ஹெட்டிரொபிக்னேசிஸ்** (heteropycnosis): பெரும்பாலும் பல குரொமொசோம்களின் எல்லாப் பகுதிகளும் ஒரே மாதிரியாகச் சாயமேற்பதில்லை. சில இடங்கள் அடர்த்தியாகவும், சில இடங்கள் குறைவாகவும் சாயமேற்கின்றன. இவ்வாறு வெவ்வேறு விதமாகச் சாயமேற்பது ஹெட்டிரோபிக்னேசிஸ் எனப்படுகிறது. அடர்த்தியாகச் சாயமேற்பது பாசிடிவ் ஹெட்டி ரோபிக்னேசிஸ் என்றும் குறைவாகச் சாயமேற்பது நெகடிவ் ஹெட்டிரோபிக்னேசிஸ் என்றும் குறிப்பிடப்படுகிறது.

பகுப்பிடை நிலை நூக்ளியசின் ஹெட்டிரொகுரொமேட்டினும், யூகுரொமேட்டினுமே குரொமொசோமின் பாசிடிவ் ஹெட்டிரோபிக் னேசிஸ் பகுதியாகவும், நெகடிவ்ஹெட்டிரோபிக்னேசிஸ் பகுதி யாகவும் இருக்கலாமென்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால் சமீப கால ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து அது உண்மையல்ல என்று தெரிய வந்துள்ளது. ஹெட்டிரோகுரோமேட்டினில் யூகுரொமேட்டினை விட மூன்று மடங்கு அடர்த்தியாக DNA உள்ளது. ஆனால் குரொமொசோமின் பாசிடிவ் ஹெட்டிரோபிக்னேசிஸ் பகுதியிலும், நெகடிவ்ஹெட்டிரோபிக்னேசிஸ் பகுதியிலும் ஒரே அளவும், அடர்த்தியுமான DNA உள்ளது. எனவே ஹெட்டிரோபிக்னேசி சின் காரணம் என்னவென்று தெளிவாகத் தெரிவதில்லை.

**கேர்யோடைப்:** ஒரு உயிரின் பல செல்களில் நூக்ளியசின் உருவமும், பணியும் வேறுபடலாமென்றாலும், குரோமொசோம் களினமைப்பு மட்டும் சற்றும் மாறுபடுவதில்லை. எனவே ஒரு உயிரின் நூக்ளியஸ் பகுப்பின்போது தோன்றும் குரோமொசோம் களை அவற்றின் உருவம், அளவு, அமைப்பு முதலியனவற்றைக் கொண்டு அடையாளங் கண்டு கொள்ள முடியும். ஒரு நூக்ளியசின் குரோமொசோம்களெல்லாம் சேர்ந்த தொகுதி அந்த இனத்தின் கேர்யோடைப் (Karyotype) எனப்படும். கேர்யோடைப்பின் குரோமொசோம்களை அவற்றின் நீளத்தை வைத்து வரிசைப் படுத்தி வரையப்படும் படத்துக்கு இடியொகிராம் (idiogram) என்று பெயர். மனித இனத்தினுடைய கேர்யோடைப்பும் இடியொகிராமும் படம் 13.6-ல் காட்டப்பட்டுள்ளது.




படம்: 13—6
மனித குரோமொசோம்களின் இடியொகிராம்.

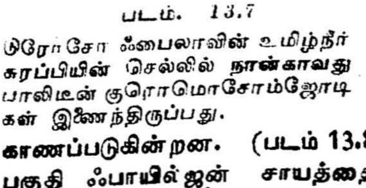
**இராட்சச குரோமொசோம்கள்; (Giant chromosomes)**

சில உயிர்களின் சில திசுக்களின் நூக்ளியஸ்களில் அதே உயிரின் மற்ற நூக்ளியஸ்களில் காணப்படும் குரோமொசோம்களை விட மிகப் பெரிய குரோமொசோம்கள் காணப்படுகின்றன. பல பூச்சிகளின் லார்வா புழுக்களின் உமிழ் நீர் சுரப்பிகள், குடல்வளை,

அன்னக்குழல் முதலியவற்றில் காணப்படும் இத்தகைய குரோமொ சோம்கள் பாலிடீன் குரொமொசோம்கள் (Polytene chromosomes) எனப்படுகின்றன. பல விலங்குகளின் ஊசைட்டுகளில் (oocytes) காணப்படும் இத்தகைய குரொமொசோம்கள் விளக்குப் புருசு (Lamp brush) குரொமொசோம்கள் எனப்படுகின்றன.

ட்ரொசோஃபைலா மெலனொகாஸ்டர் (Drosophila melano gaster) என்னும் பூச்சியின் பாலிடீன் குரொமொசோம்கள் அதன் சாதாரண குரொமொசோம்களை விடச் சுமார் 1000 மடங்கு பெரிதாக இருக்கின்றன. சாதாரண குரொமொசோம் தொகுதியின் மொத்த நீளம் 7.5µ ஆகும். ஆனால் பாலிடீன் குரொமொசோம்களின் மொத்த நீளம் 2000µ ஆகும். பாலிடீன் குரொமொசோம்களின் இராட்சச உருவம் சுமார் பத்து தடவைகள் குரொமொசோம் இரட்டிப்படைந்து பிரியாமலிருப்பதால் ஏற்படுகிறது. இதன் காரணமாக அவற்றின் DNA அளவும் சாதாரண குரொமொசோம்களைப் போல் 1000 மடங்காகிறது தனியாக பிரியாமலே குரோமோசோம் இரட்டிப்படைவது என்டொமைட்டோசிஸ் (Endomitosis) எனப்படும்.

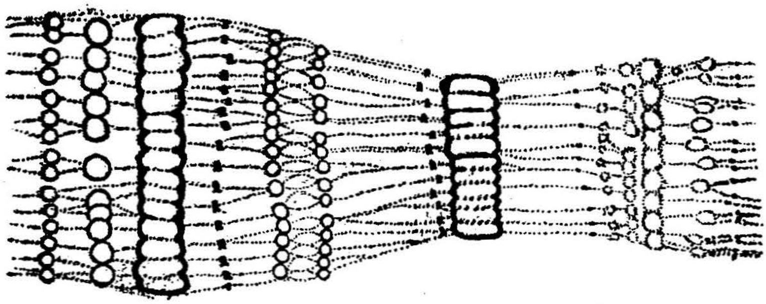
பாலிடீன் குரொமொசோமின் நீளம் ஏறக்குறைய அதே சாதாரண குரொமொசோம் மைட்டோசிஸ் பகுப்பின் புரொபேஸ் நிலையில் எய்தும் நீளத்துக்குச் சமமாகவுள்ளது. மற்றும் ஒத்த பாலிடீன் குரொமொசோம் ஜோடி நிரந்தரமாக ஒன்று சேர்ந்திருக்கின்றன (படம் 13.7) இது சொமேட்டிய சேர்க்கை (Somatic pairing) எனப்படும். இக் குரொமொசோம்கள் நிரந்தரமான புரொபேஸ் நிலையிலிருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது



படம். 13.7
ட்ரோசோஃபைலாவின் உமிழ்நீர் சுரப்பியின் செல்லில் நான்காவது பாலிடீன் குரொமொசோம்ஜோடிகள் இணைந்திருப்பது.

பாலிடீன் குரொமொசோம்களின் நீளவாக்கில் அடர்த்தியாகச் சாயமேற்கும் வளையங்களும், சாயமேற்காத வளையங்களும் அடுத்தடுத்துக் காணப்படுகின்றன. (படம் 13.8) அடர்த்தியாகச் சாயமேற்கும் பகுதி ஃபாயில்ஜன் சாயத்தை நன்றாக ஏற்றுக் கொள்ளுவதாகவும், 2600Å அலைநீளமுள்ள அதியூதாக் கதிர்களை நன்கு உறிஞ்சக்கூடியவையாகவும் இருப்பதால் இவற்றில்தான் பெரும் பகுதி DNA அமைந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. சாயமேற்காத

வளையங்கள் இழைபோன்ற அமைப்பையும், ஃபாயில்ஜன் சாயத்தையும் மற்றும் இதர காரச்சாயங்களையும் ஏற்றுக் கொள்ளாத தன்மையையும் பெற்றுள்ளன பாலிடீன் குரோமோசோம்களின் வளையங்கள், குரோமோமியர்களைக் குறிப்பனவென்று கருதப்படுகிறது. இவற்றின் எண்ணிக்கையும், அமைப்பும், வரிசைக் கிரமமும், ஒத்த குரோமோசோம்களில் ஒரே மாதிரியாக இருக்கிறது. ட்ரொசொஃபைலாவின் நான்கு குரோமோசோம்களில் சுமார் 5000 வளையங்கள் இருக்கின்றன.



படம்: 13—8

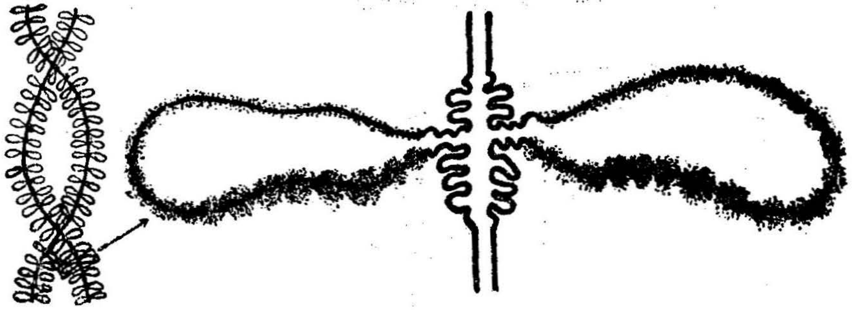
சிமுலியம் வாகேட்டம் என்னும் விலங்கின் ராட்சசகுரோமோசோமின் ஒரு பகுதி.

பாலிடீன் குரோமோசோம்களின் தனி வளையங்களோ அல்லது அடுத்தமைந்த சில வளையங்களோ சில சமயம் உப்பிக் கொள்ளுகின்றன. இந்த உப்பல் சில சமயம் மிகப் பெரியதாக இருக்கின்றன. இவற்றை முதலில் கண்டுபிடித்தவர் பால்பியானி (Balbiani) என்பவராதலால் இவை பால்பியானி வளையங்கள் எனப்படுகின்றன. இவ்வளையங்களில், குரோமோசோமின் குரோமோனீமாக்கள் நீண்டு விரிந்து கொள்ளுவதாகக் கருதப்படுகிறது:

### விளக்குப் புருசு குரோமோசோம் (lamp brush chromosome)

விளக்குப் புருசு குரோமோசோம்கள் பாலிடீன் குரோமோசோம்களைவிடப் பெரிதானவையாகும். இவை முதன் முதலில் 1892ஆம் ஆண்டு ருக்கெர்ட் (Rukert) என்பவரால் கண்டுபிடிக்கப்பட்டன. இவை பல விலங்குகளின் ஊசைட்டுகளில் குன்றல் பகுப்பின்போது டிப்லொடீன் நிலையில் காணப்படுகின்றன. இவற்றில் நடு அச்சுபோன்ற பகுதியிலிருந்து பல மயிர் போன்ற நீட்சிகள் நீட்டிக் கொண்டிருக்கின்றனவாகையால் குரோமோசோம் ஒரு விளக்குப் புருசுபோன்றத் தோற்றத்தைப் பெறுகிறது.

நடுஅச்சுப் பகுதியில் நான்கு குரோமேட்டிருகள் இருப்பதாகவும் அவற்றிலிருந்து நுண் குரோமொனீமக்கண்ணிகள் சுற்றிலும் நீட்டிக் கொண்டிருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. (படம் 13.9) அச்சுப் பகுதி ஃபாயில்ஜன் சாயத்தை நன்கு ஏற்பதால் அங்கு DNA அதிக இருப்பதாகவும், கண்ணிகளில் RNA யும் புரோட்டீனும் இருப்பதாகவும் தெரிகிறது.



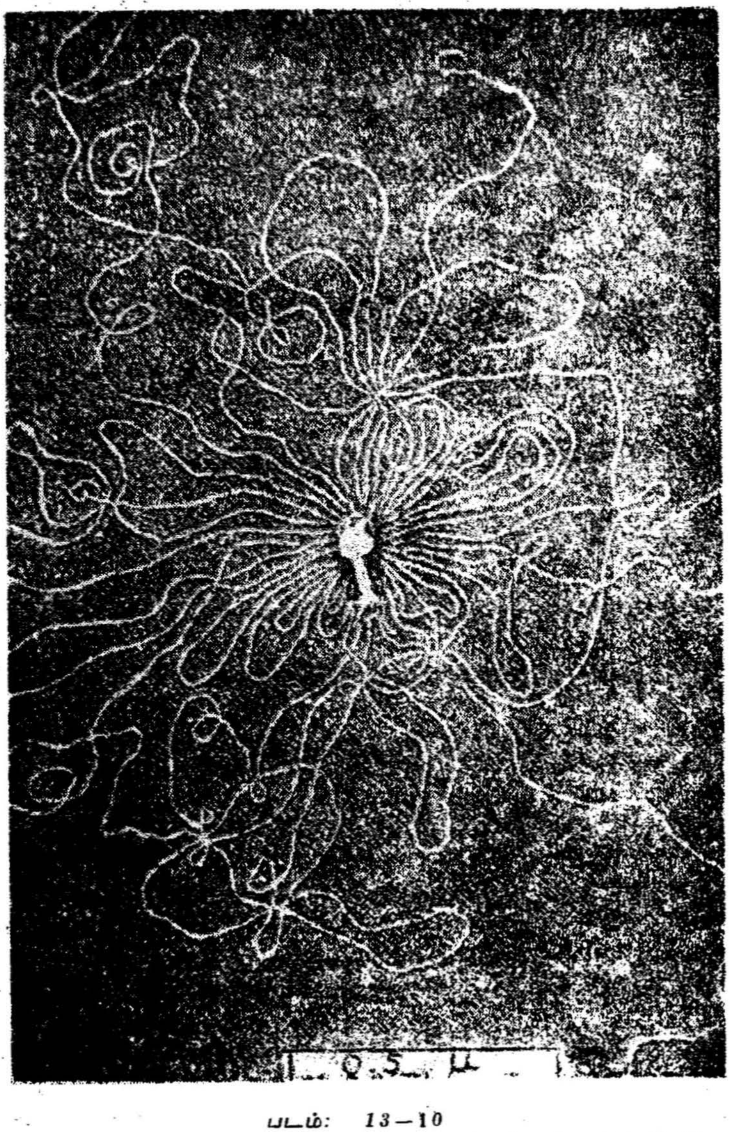
படம்: 13—9

டிரிட்டூரஸ் விரைசைட்டின் விளக்குப் புருசு குரோமொசோம் அமைப்பு.

விளக்குப் புருசு குரோமொசோம்களின் கண்ணிகளும் பாலிடீன் குரோமொசோம்களின் பால்பியானி வளையங்களும் தீவிரமான செயலில் ஈடுபட்டுள்ள பகுதிகளாகுமென்று குரோமொசோம்களின் இயக்க ஆய்வுகளிலிருந்து தெரிய வந்துள்ளது.

## குரோமொசோம்களில் DNA அமைப்பு

வாட்சன், கிரிக் இருவராலும் கண்டுபிடிக்கப்பட்ட DNA மூலக்கூறின் பொது வடிவமைப்பும், குரோமொசோம்களில் காணப்படும் குரோமொனீமாக்களின் அமைப்பும் பெருமளவு ஒன்றையொன்று ஒத்துள்ளன என்பது வியப்புக்குரியதாகவுள்ளது. ஏனெனில் குரோமொனீம இழைகள் தம்முள் முறுக்கிக் கொண்டுள்ள அமைப்பு, முறுக்கிய ஏணிபோன்ற DNA மூலக்கூறமைப்பைப் போன்று தோன்றினாலும், இரண்டினுடைய அளவும் மிக வேறுபடுவதாகும். DNA மூலக்கூறின் குறுக்களவு 20Å அல்லது 2mμ ஆகும். அதன் நீளமும் சுமார் 0.5 முதல் 4μக்குமேலிருப்பதில்லை. ஒரு பேக்டீரியோஃபேஜின் DNA மூலக்கூறு (படம் 13.10) சுமார் 5μ நீளம் இருக்கிறது. எஷ்ரிஷியா கோலி (Escherichia coli) என்னும் பாக்டீரியாவின் DNA (படம் 13.11) 1முதல் 1.5 மில்லி




படம்: 13—10

ஆஸ்மாசிய அதிர்ச்சியால் வெடித்த பாக்டீரிஸஃபேஜின் DNA இழை; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில்.

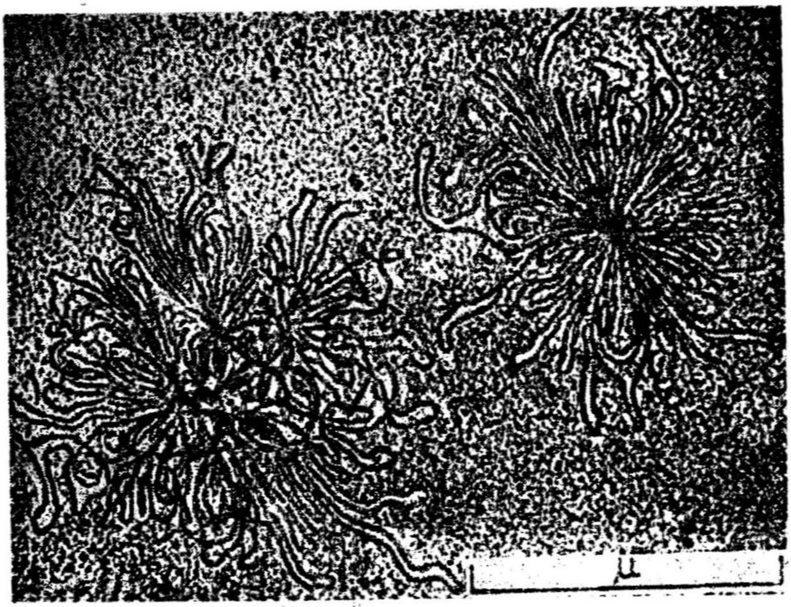
மீட்டர் நீளமிருக்கிறது. ஆனுல் இதர விலங்குகள், தாவரங்கள் (படம் 13.12) ஆகியவற்றின் குரோமொசோம்கள் சுமார் 500mμ குறுக்களவும் 2 முதல் 10μ நீளமும் உள்ளன. மனித உடலின் ஒரு செல்லின் குரோமொசோம்களில் மொத்தம் சுமார் $6\times10^{-12}$ கிராம் DNA உள்ளது. இதிலிருந்து, மனித குரோமொசோம்களில் மிக நீளமான குரோமொசோமில் சுமார் $0.6\times10^{-12}$ கிராம் DNA இருக்குமென்று சொல்லலாம். இது பத்துலட்சம் மூலக்கூறெடையுள்ள $0.3\times10^{6}$ DNA மூலக்கூறுகளுக்குச் சமம். வாட்சன், கிரிக்

படம்: 13—11

ஆஸ்மாசிய அதிர்ச்சியால் வெடித்த பாக்டீரியத்தின் DNA இழை: எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில்.

வடிவமைப்பின்படி பத்துலட்சம் மூலக்கூறெடையுள்ள DNAமூலக் கூறு 0.5μ நீளமிருக்கவேண்டும். இதன்படி மனித குரோமொ சோம்களில் மிக நீளமானதில் மட்டும் 15 சென்டிமீட்டர் நீளமுள்ள DNA இருக்க வேண்டும். மற்ற சில உயிர்களில் ஒரு மீட்டர் DNA அடங்கியிருக்கக்கூடிய அவ்வளவு பெரிய குரோமொசோம்கள் கூட உள்ளன. எனவே மொத்தத்தில் பல சென்டிமீட்டர்கள் நீளமுள்ள DNA மூலக்கூறிழை ஒவ்வொரு குரோமொசோமிலும் சில μ நீளத்தினுள் அடக்கப்பட்டிருக்கிறது என்று தெரிகிறது.

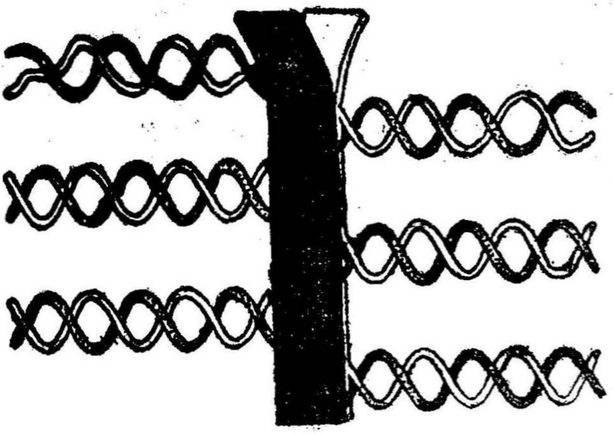
நீளமான DNA இழை குரோமொசோமில் எப்படி அடக்கப்பட்டிருக்கிறதென்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. ஆனால் இதைப் பற்றி மூன்று கருத்துகள் சொல்லப்பட்டுள்ளன. முதலில் டேலர் (Taylor) என்பவர் வெளியிட்ட கருத்தின்படி, ஒரு புருசில் மயிர்கள் நீட்டிக் கொண்டிருப்பதுபோல், ஒரு நடு அச்சிலிருந்து DNA மூலக்கூறுகள் நீட்டிக் கொண்டிருக்கலாமென்று சொல்லப்பட்டது. நடு அச்சு DNA அல்லது வேறு பொருளால் அமைந்திருக்கலாம் (படம் 13.13) இப்படிப்பட்ட வடிவமைப்பில் DNAயின் நீளவரிசை



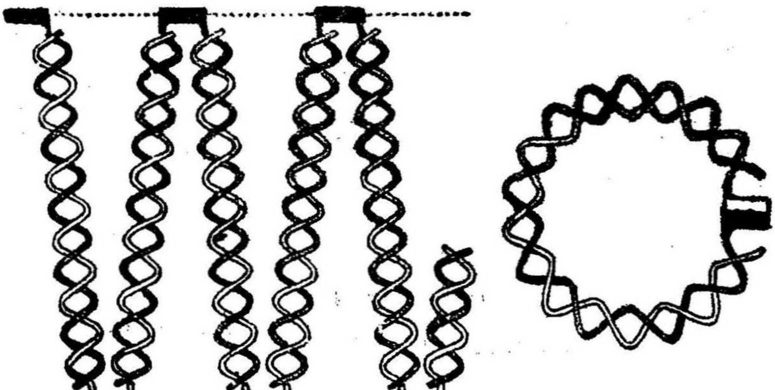

படம்: 13—12
வேதிய அதிர்ச்சியால் பட்டாணி நாற்றின் செல்லிலிருந்து வெளிப்பட்ட DNA இழைகள்.

DNA அல்லாத பொருளால் நிர்ணயிக்கப்படலாமென்பதால் இது தவறாகுமென்று பலரால் சொல்லப்பட்டது. எனவே ஃபிரிஸ் (freeze) என்பவரின் குறிப்பினை ஆதாரமாகக் கொண்டு டேலர் இரண்டாவது வடிவமைப்பொன்றை வெளியிட்டார். இதன்படி ஒரு குரோமொசோமில் DNA மூலக்கூறுகள் ஒரே சங்கிலியாகச் சில இனந்தெரியாத ஆனால் புரோட்டின் தன்மையுள்ள இணைப்பு

களால் இணைக்கப்பட்டிருப்பதாகச் சொல்லப்பட்டது (படம் 13.14) இந்த இணைப்புகள் ஒன்றோடொன்று நெருங்கி DNAயானது கண்ணிகளாக வளைய ஏதுவாகலாமென்றும் சொல்லப்பட்டது.



படம்: 13—13
குரோமொசோமில் DNA இழை அமைந்திருப்பதைப்பற்றிய ஒரு கருத்தைக் காட்டும் படம்.



படம்: 13—14
குரோமொசோமில் DNA இழை அமைந்திருப்பதைப் பற்றிய மற்றொரு கருத்தை விளக்கும் படம்.

மற்றும் இந்தக் கண்ணிகளிலும், இணைப்புத் தொடரிலும் திருகுச் சுழல் ஏற்படுமாயின் குரோமொசோமில் காணப்படும் குரோமொனீம அமைப்பைப் போன்ற தோற்றத்தைப் பெறக்கூடும். மற்றும் இதில் DNAயின் நீளவரிசை DNA மூலக்கூறுகளைப் பொருத்தே அமைவதாகும். மூன்றுவதாகச் சொல்லப்பட்டுள்ள வடிவமைப்பும் இரண்டாவதைப் போன்றதே. ஆனால் இதன்படி ஒவ்வொரு குரோமொசோமிலும் DNA ஒரே சங்கிலியாக இருப்பதற்குப் பதிலாக, ஐந்தாறு சங்கிலிகளாக இருப்பதாகக் கருதப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட வடிவமைப்பில், குரோமொசோம் இரட்டிப்பு மிகச் சிக்கலானதொரு சம்பவமாகவே நடைபெறும்.

# 14. செல்லதிகரிப்பு

தம்மைப்போன்ற பிரதிகளை உற்பத்தி செய்யாவிட்டால் உயிரினம் உலகில் தொடர்ந்து இருக்க முடியாது என்பது விதி விலக்கற்ற விதியாகும். உலகில் உயிர் தோன்றிய காலத்தி லிருந்து உயிர்கள் இறந்து போகும் வேகத்தைவிட அதிக வேகத்தில் தம்மைப்போன்ற பிரதிகளை உற்பத்தி செய்வதன்மூலமாகவே இதுவரை தொடர்ந்து வாழ்ந்து வருகிறது. ஏனெனில் நிரந்தரமாக வாழும் ஓர் உயிருடல் இதுவரும் தோன்றவில்லை.

பொருளும், விசையும் செல் என்று நாம் குறிப்பிடும் ஒன்ருக அமைந்தால் மட்டுமே உயிர்ப்பண்புகள் உருவாகின்றன. எனவே செல்லே உயிரின் முதலாகும். செல்வடிவின்றிச் செயல்படும் உயிர் இவ்வுலகில் இல்லை, ஆகவே உயிர்கள் தம்மைப் போன்ற பிரதிகளை உற்பத்தி செய்ய வேண்டுமென்ருல் தமது செல்களைப் போன்ற பிரதிகளை உற்பத்தி செய்வதே முதல் காரியமாகும். செல்லமைப்பில்லா விட்டாலும், உயிர் வாழ்வன என்று கருதப்படும் வைரஸ்களும் வேறு செல்களுக்குள்ளன்றிச் செயல்பட முடியாதாகையால், இவற்றின் வாழ்வும் செல்லதிகரிப்பைப் பொருத்ததேயாகும்.

ஒரு செல் தன்னைப்போன்ற பிறிதொரு செல்லை உற்பத்தி செய்யக் கையாளப்படும் வழி செயல் பகுப்பாகும். அதாவது ஒரு செல் பகுப்புற்று இரண்டு செல்லாவது செல் பகுப்பு நடைபெறும் வழிகளில் மிக முக்கியமானது மைட்டாசிஸ் எனப்படும் செல் பகுப்பேயாகும்.

## மைட்டாசிஸ்

மைட்டாசிஸ் என்ற சொல் பொதுவாகச் செல்பகுப்பைக் குறிக்குமென்ருலும், உண்மையில் அது செல்லின் நூக்ளியசினுடைய பகுப்பை மட்டுமே குறிப்பதாகும். பொதுவாக நூக்ளியஸ் பகுப்பைத் தொடர்ந்து செல் பகுப்பும் நடைபெறுவதால் இரண்டும் சேர்ந்து ஒரே சம்பவமாகக் கருதப்படுகிறது. ஆனல் நூக்ளியஸ் பகுப்பைத் தொடர்ந்து செல் பகுப்பு பல சமயம் நடைபெறும

லிருக்கலாம். இப்படிப்பட்டனவற்றிலும் நூக்ளியஸ் பகுப்பு மைட்டாசிஸ் என்றே சொல்லப்படும். செல் பகுப்பானது சைட்டோபிளாச பகுப்பு அல்லது சைட்டோகைனசிஸ் (Cytokinesis) என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. ஆனால் நூக்ளியஸ் பகுப்புருமல் சைட்டொபிளாசம் மட்டும் பகுப்புறுவதில்லை.

ஒரு செல்லின் வாழ்க்கைச் சரிதத்தைப் பொருத்தவரை அதற்கு இரண்டு நிலைகளுள்ளன. ஒன்று பகுப்பிடை நிலை, இரண்டு பகுப்பு நிலை. பகுப்பிடை நிலையின் அமைப்பைப் பற்றியும் பகுப்பு நிலையில் நூக்ளியசில் தோன்றும் குரொமொசோம்களைப் பற்றியும் முன் அத்தியாயங்களில் பார்த்தோம். இங்கு பகுப்பு நிலையைப் பற்றி இனி பார்ப்போம்.

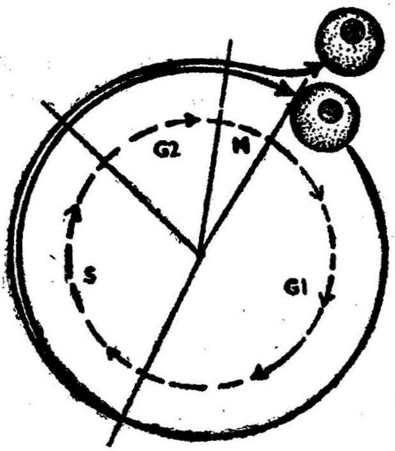
பகுப்புக்கான ஆயத்தங்கள் செல்லின் பகுப்பு தொடங்குவதற்கு மிக முன்னரே பகுப்பிடை நிலையில் தொடங்கி விடுகின்றன என்று தெரிய வந்துள்ளது. எனவே மைட்டோசிஸ் பகுப்பை நாம் மூன்று பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம்: 1. பகுப்புக்கான ஆயத்தங்கள்: 2. பகுப்புப் பங்கீடு: 3. பகுப்பின் இயக்கச் குறிக்கோள்.

**1. பகுப்புக்கான ஆயத்தங்கள்**

**DNA இரட்டிப்பு :** நூக்ளியசிலுள்ள மரபுப் பொருள் இரட்டிப்பதே பகுப்புக்கான மிக முக்கியமான ஆயத்தமாகும். செல்லின் மரபுப் பொருளின் பெரும்பகுதி நூக்ளியசிலிருந்து பகுப்பு நிலையில் உருவாகும் குரொமொசோம்களில் அடங்கியிருக்கிறது. பகுப்பிடை நிலையில் குரொமொசோம்கள் வேற்றுருவத்தில் குரொமேட்டினுக இருக்கின்றன. இவற்றிலடங்கிய மரபுப் பொருளான DNA இரட்டிப்பதே மரபுப்பொருளிரட்டிப்பின் முக்கியபடியாகும். DNA யுடன் சேர்ந்திருக்கும் புரோட்டீன்களும் அதே சமயம் இரட்டிப்படைய வேண்டும்.

யூகேர்ய உயிர்களில் நூக்ளியசின் பகுப்பிடைநிலையின் குறிப்பிட்ட காலத்தில் அதன் DNA இரட்டிப்படைகிறது. பகுப்புறப் போகும் செல்களில் மட்டுமே இந்த இரட்டிப்பு பொதுவாக நடைபெறுகிறது. பகுப்புருத செல்களில் நடைபெறுவதில்லை. நூக்ளியசின் DNA இரட்டிக்கும் காலம் S காலம் (S-Period) என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. இதற்கு முன்பும், பின்பும் DNA அளவில் மாற்றமில்லாத ஓய்வுக்காலங்களுள்ளன. முன்புள்ள ஓய்வுக்காலம் G 1 காலம் (G1-Period) என்றும், பின்புள்ள ஓய்வுக்காலம் G2 காலம் (G2-Period) என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. G2 காலம் முடிந்து பங்கீடு நடை பெறும் காலம் M காலம் (M-Period) எனப்படுகிறது.

ஆகவே செல்களின் DNA வைப் பொருத்தவரை G1, S,G2,M காலங்கள் தொடர் சுழலாக வருகின்றன எனலாம். இச்சுழலும், நான்கு காலங்களின் கால அளவுகளும் படம் 14.1-ல் காட்டப் பட்டுள்ளன.




படம்: 14 1

நூக்ளியசின் DNA இரட்டிப்புச்சுழல்.

இதுகாறும் ஆயப்பட்ட பல உயிர்களிலும், ஒரு நூக்ளியசின் DNA இரட்டிப்பு திடீரென்று நடைபெறுவதில்லை யென்று தெரி கிறது. ஒரு நூக்ளியசின் வெவ்வேறு குரொமொசோம்களிலும், ஒரே குரொமொசோமின் வெவ்வேறு பகுதிகளிலும் DNA இரட்டிப்பு S காலத்தின் வெவ்வேறு சமயங்களில் நடைபெறலாம். ஆனால் செல்வகையைப் பொருத்து, குறிப்பிட்ட குரொமொசோம் களில் குறிப்பிட்ட வழியிலும், குறிப்பிட்ட கால அளவிலும் DNA இரட்டிப்பு நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஹெட்டிரோ குரொமேட்டினுகவுள்ள பால் குரொமொசோம்களிலும், மற்ற குரொமொசோம்களின் பாசிடிவ் ஹெட்டிரோபிக்னேசியப் பகுதிகளிலும் யூகுரொமேட்டின் பகுதிகளை விடத்தாமதமாக DNA இரட்டிப்படைகிறது. பொதுவாகவே பகுப்பிடை நூக்ளியசின் ஹெட்டிரோகுரொமேட்டின் பகுதிகளில் யூகுரோமேட்டின் பகுதி களை விடத் தாமதமாக DNA இரட்டிப்படைகிறதென்று சொல்லப் படுகிறது. மொத்தத்தில் DNA இரட்டிப்பு மரபின் கட்டுப்பாட்டி லும், பகுப்பிடை நூக்ளியசில் குரொமொசோம் உள்ள நிலையைப் பொருத்தும் நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது.

S-காலத்தின் மொத்த நேரம் முதலில் DNA இரட்டிப்பு தொடங்கிப் பிறகு கடைசியாக முடிவடையும் மொத்த நேரத்தையும் குறிப்பதாகும். சில குரொமொசோம்களின் S காலம் மொத்த S காலத்தில் ஒரு சிறு அளவாக இருக்கலாம். அதாவது வெவ்வேறு குரொமொசோம்களின் DNA இரட்டிப்பு வெவ்வேறு நேரங்களில் தொடங்கி வெவ்வேறு நேரங்களில் முடிவடையலாம். எனவே வெவ்வேறு குரோமொசோம்களின் G1 காலம் வெவ்வேறு நேரங்களில் முடிவடைந்து, G2 காலம் வெவ்வேறு நேரங்களில் தொடங்கலாம். பொதுவாக ஒரு குறிப்பிட்ட குரொமொசோமின் DNA இரட்டிப்பு குறிப்பிட்டபோக்கில் நடைபெறுகிறதென்ருலும் செல்வகையைப் பொறுத்து ஒரு குரொமொசோமின் DNA இரட்டிப்பின் போக்கு மாற்றமடையலாம். இது ஏனென்ருல் செல்லின் செயல் நிலையைப் பொருத்து ஒரு ஹெட்டிரோ குரொமேட்டிக் பகுதியும் யூகுரொமேட்டிக் பகுதியும் மாற்றமடைவதாக இருப்பதனுலாகும்.

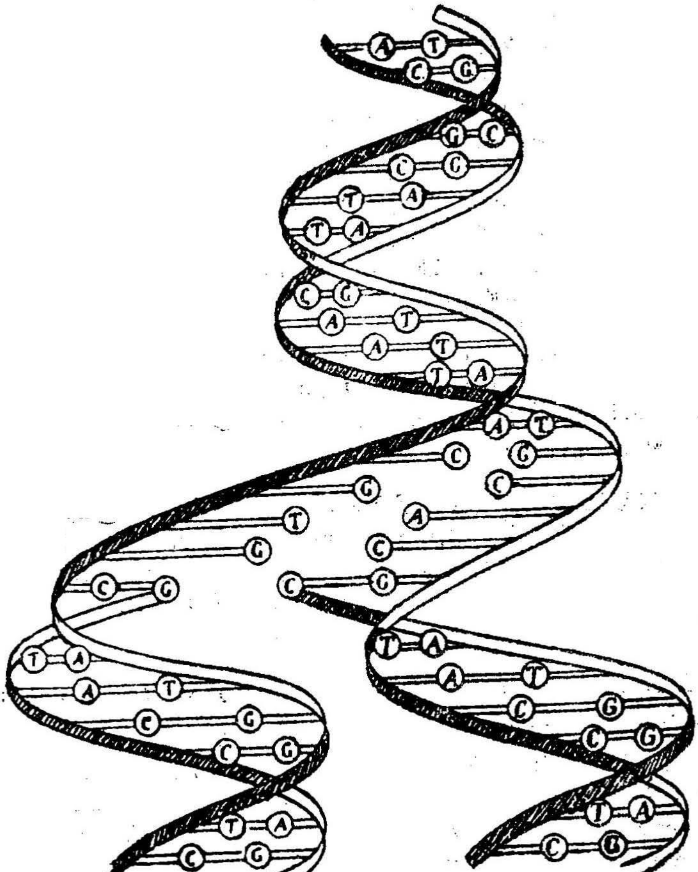
உயர் தாவரங்கள், விலங்குகளைப்போலல்லாமல், பாக்டீரியங்கள் ஈஸ்ட் முதலியனவற்றில் G1, G2 காலங்களில்லை. தொடர்ச்சியாக DNA இரட்டிப்பும் அதைத் தொடர்ந்து பங்கீட்டுப் பகுப்பும் நடைபெறுகின்றன.

DNAயோடு சேர்ந்த ஹிஸ்டோன் புரோட்டீன்களும், DNA இரட்டிக்கும் போதே இரட்டிப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனுல் இவ்விரண்டு செயல்களும் ஒன்றையொன்று பொருத்ததல்ல. DNA இரட்டிப்பைத் தடைப்படுத்தினுல் கூட ஹிஸ்டோன் உற்பத்தி இயல்பான வேகத்தில் நடைபெறுகிறது.

**மெட்டாசிய சாதனம் அல்லது கதிரிழைத் தொகுதி** (mitotic apparatus or spindle fibres)

மைட்டாசிஸ் பகுப்பின்போது நிகழும் பங்கீட்டில் மிக முக்கிய பங்கு கொள்ளுவது கதிரிழைத் தொகுதியினுலான மெட்டாசிய சாதனமாகும், மெட்டாசிய சாதனமே, நியூக்ளியஸ் பகுப்பின் துருவங்களையும், எத்திசையில் செல்பகுப்பு நடைபெற வேண்டுமென்பதையும் பெரும்பாலும் நிர்ணயிக்கிறது. விலங்கு செல்களில் மெட்டாசிய சாதனத்தின் உற்பத்தி அவற்றின் சென்ட்ரியோலுடன் நெருங்கிய தொடர்பு கொண்டதாக இருக்கிறது தாவர செல்களில் சென்ட்ரியோல் இல்லையென்ருலும் இவற்றின் மைட்டாசிய சாதனமும், விலங்கு செல்களினதைப் போன்றே காணப்படுகிறது. சென்ட்ரியோல்களுக்குப் பதிலாக ஏதோ இனந் தெறியாத மையங்கள் தாவர செல்களில் செயல்பட்டு, மைட்டாசிய

சாதனம் உருவாகக்காரணமாகலாமென்று கருதப்படுகிறது. எனவே, சென்ட்ரியோல் இருந்தாலும் இல்லாவிட்டாலும், மைட்டாசிஸ் பகுப்பின் துருவங்களை மையங்கள் என்ற பொதுப் பெயரால் குறிப்பிடவேண்டுமென்று சிலர் சொல்லுகிறார்கள்.



படம்: 14—2

*பகுதிமாறு DNA இரட்டிப்பு வழி.

சென்ட்ரியோலுள்ள செல்களில் அவை இரட்டையாகவே இருக்கின்றன. குரோமொசோம் இரட்டிப்பிற்கு முன்பே, முன் பகுப்பின்போதே சென்ட்ரியோல் இரட்டித்து விடுகிறது.

உண்மையில், சென்ட்ரியோலிரட்டிப்பே அடுத்து நடைபெறப் போகும் செல் பகுப்பின் முதலறிகுறி என்று கருதப் பல ஆதாரங் களுள்ளன. ஆனால், DNA இரட்டிப்பு சென்ட்ரியோலிரட்டிப்பைப் பொருத்ததல்ல. எனவே, இவ்விரண்டு சம்பவங்களும் ஒன்றுக் கொன்று தொடர்பில்லாத இணைப்போக்கு சம்பவங்களென்றே கருதப்பட வேண்டியுள்ளன.

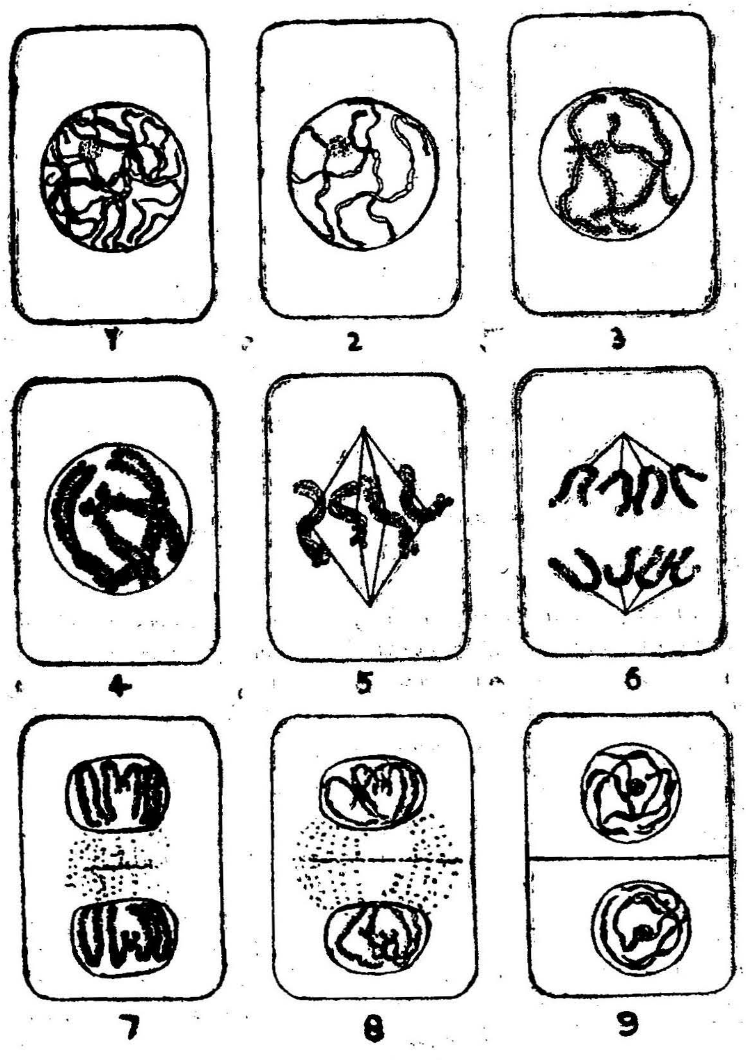
பகுப்புநிலை செல்லின் பெரும்பகுதியை மைட்டாசிய சாதனம் ஆக்கிரமித்துக் கொள்ளுகிறது. இப்போதுள்ள ஆதாரங்களின் படி மைட்டாசிய சாதனத்தை உருவாக்கத் தேவையான புரோட்டீன்கள் பகுப்பு தொடங்குவதற்கு முன்பே சைட்டொபிளாசத்தில் தயாராகத் தயாரிக்கப்பட்டு விடுகின்றன என்றும், பகுப்பின்போது தயாரிக்கப்படுவதில்லையென்றும் தெரிகிறது. எனவே, மைட்டாசிய சாதனத்துக்குத் தேவையான தனியமைப் புள்ள புரோட்டீன்களைத் தயாரிப்பதும், பகுப்புக்கான ஆயத்தங் களில் முக்கியமானதொன்றாகும். மற்றும் இதுவே பகுப்புப் பங்கீடு தொடங்குவதை நிர்ணயிக்கும் காரணியாக இருக்கக் கூடும்.

## 2. பகுப்புப் பங்கீடு

பகுப்புக்கான ஆயத்தங்கள் பூர்த்தியானவுடனே, பகுப்பிடை நிலை செல்லானது, பகுப்புநிலை செல்லாக மாறத் தொடங்குகிறது. இம் மாற்றம் மிக மெதுவாக நடைபெறுவ தொன்றாகையால், எப்போது பகுப்பிடைநிலை முடிந்து பகுப்புநிலை தொடங்கு கிறதென்று துல்லியமாகச் சொல்லமுடியாது.

பகுப்புப் பங்கீட்டைப் பொதுவாக நான்கு படிகளாகப் பிரித் துக் கூறுவது வழக்கமாகவுள்ளது. இவை முறையே புரொபேஸ், மெட்டபேஸ், அனபேஸ், டெலொபேஸ் என்பனவாகும் (படம் 14.3). பகுப்புப் பங்கீடானது ஆரம்பமுதல் முடிவுவரை தொடர்ச்சி யாக நடைபெறும் ஒரு நிகழ்ச்சியெனினும், இந் நான்கு படிகளும் இந் நிகழ்ச்சியை விவரிப்பதற்கு வசதியாகவுள்ளன. இந் நான்கு படிகளில் ஒவ்வொன்றும் நடைபெறும் நேரமும் வெவ்வேறு செல் களில் வேறுபடுவதாகும். இவற்றின் மிக அதிக, மிகக் குறைந்த நேரங்களின் பட்டியல் கீழே தரப்பட்டுள்ளது.

| படி | மிகக்குறைந்த நேரம் (நிமிடங்கள்) | மிக அதிகநேரம் (நிமிடங்கள்) |
|---|---|---|
| புரொபேஸ் | 2 | 270 |
| மெட்டபேஸ் | 0.3 | 175 |
| அனபேஸ் | 0.3 | 122 |
| டெலொபேஸ் | 1.5 | 140 |




படம் 14.3

மைட்டாசிஸ் பகுப்பு.

1-4. புரோபேஸ் நிலைகள்; 5. மெட்டபேஸ்; 6. அனபேஸ்; 7 9 டெலோபேஸ்.

## புரோபேஸ்

இப் படியின் முக்கிய நிகழ்ச்சிகள் குரோமொசோம்கள், மைட்டாசிய சாதனம் ஆகியவை தோன்றுவதாகும். குரோமொசோம்கள் அடுத்த படியாகிய மெட்டபேசுக்கு நகர்ந்துசெல்லத் தொடங்குவதோடு புரோபேஸ் முடிவதாகக் கொள்ளலாம்.

நூக்ளியசின் குரோமேட்டின், குரோமொசோம்களாக வடிவெடுத்துத் தமக்குரிய தனிப்பட்ட உருவ அமைப்பைப் பெறுவதே புரோபேசின் மிக முக்கிய நிகழ்ச்சியெனலாம். பகுப்பிடை நிலையில் நீண்டவைகளாக இருக்கும் குரோமேட்டின் இழைகள், பல மட்டங்களிலான திருகுச்சுழல் அமைப்பைப் பெறுவதனால் குரோமொசோம்களாக வடிவெடுக்கின்றன என்று கருதப்படுகிறது. பங்கீடு சிக்கலில்லாமலும் தடங்கலில்லாமலும் நடைபெறுவதற்கேதுவான சுலபமான வழியே இவ்வாறு திருகுச் சுருளமைப்பால் குரோமொசோம்கள் உருவாகக் காரணமாகலாமென்று எண்ணப்படுகிறது.

புரோபேசில் குரோமொசோம்கள் வடிவெடுக்கும்போதே அவற்றின் இரு புயங்களும் நீளவாக்கில் இரண்டாகப் பிளந்து காணப்படுகின்றன. ஏற்கெனவே நடைபெற்ற இரட்டிப்பின் விளைவே இது. பிளவுற்ற பகுதிகள் குரோமேட்டிடுகளெனப்படுகின்றன. ஆனால், ஒவ்வொரு குரோமொசோமின் இரு குரோமேட்டிடுகளும் சென்ட்ரோமியரில் மட்டும் இணைந்திருக்கின்றன. குரோமொசோமின் சிறு பகுதியான சென்ட்ரோமியரைத் தவிர மற்ற பகுதிகளில் குரோமேட்டிடுகளாக இரட்டித்திருந்தபோதிலும் அமைப்பிலும் இயக்கத்திலும் குரோமேட்டிடுகள் குரோமொசோம்களாகா. மெட்டபேஸ் படியில் சென்ட்ரோமியர் பிளந்த பிறகே அவை இரண்டு குரோமொசோம்களாகின்றன.

குரோமொனீம இழைகளின் திருகுச் சுழலமைப்பால் குரோமொசோம் வடிவெடுக்கிறதென்று நம்பப்பட்டாலும், அவ்வாறு சுருளச் செய்யும் விசை என்னவென்று தெரியவில்லை. இழைகள் தாமாகவே சுருண்டு கொள்ளுகின்றனவா அல்லது அவற்றைச் சூழ்ந்திருக்கும் தளப்பொருள் சுருளச் செய்கிறதா என்பதும் தெரியவில்லை.

செல் பகுப்பின் துருவங்களை நிர்ணயிப்பதும் புரோபேஸ் படியில் நடைபெறுகிறது. சென்ட்ரியோல் உள்ள செல்களில், இரட்டையான சென்ட்ரியோல்கள் தனித்தனியாக விலகி எதிர் முனைகளுக்குச் சென்று துருவத்தை நிர்ணயிக்கின்றன. சென்ட்ரி

யோல்கள் விலகுவது அவை ஒன்றையொன்று விலக்கித் தள்ளுவது போல் தோன்றினாலும், அத்தகைய விசை எதுவும் செயல்படுவதற்கான ஆதாரமில்லை. சென்ட்ரியோல் மையங்கள் விலகிச் செல்லும்போது பொதுவாக அவற்றினிடையே கதிர் இழைகள் தோன்றுகின்றன. சென்ட்ரியோல்கள் இல்லாத செல்களில் பகுப்புத் துருவ மையங்கள் எப்படி நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்று தெரியவில்லை.

புரோபேசின் மற்றொரு நிகழ்ச்சி நூக்ளியோலஸ் மறைவதாகும். ஆனால், மைட்டோசிஸ் பகுப்பில் நூக்ளியோலஸ் மறைய வேண்டுமென்ற நியதி கிடையாது. ஏனென்றால், பகுப்பு முடியும் வரை நூக்ளியோலஸ் மறையாமலிருக்கும் உதாரணங்களும் உள்ளன. ஆனால், நூக்ளியோலஸ் மறையாமலிருந்தாலும் அது குரோமொசோம்களிலிருந்து விலக்கப்பட்டு சைட்டொபிளாசத்தை அடைகிறது. தாவர செல்களில், மறையாத நூக்ளியோலஸ் மெட்டபேஸ் படியில் நடுவட்ட மட்டத்துக்குச் (equatorial plane) சென்று அங்கிருந்து இரண்டாகப் பிய்ந்து இருதுருவங்களுக்கும் செல்லலாம். அல்லது நடுவட்ட மட்டத்திலில்லாமல் ஒரு துருவத்துக்கு அருகாமையிலிருந்தால் அத் துருவத்தையடையலாம். இப்போதுள்ள மொத்த ஆதாரங்களை வைத்துப் பார்க்கும்போது, மைட்டோசிஸ் பகுப்பின் ஆயத்தத்தில் நூக்ளியோலஸ் முக்கியப் பங்கு வகிக்கிறதென்றும், பகுப்புப் பங்கீட்டுக்கு அது அத்தியாவசியமானதல்லவென்றும் தெரிகிறது.

நூக்ளிய உறையின் சிதைவு, புரோபேஸ் படியின் முடிவில் நடைபெறும் மற்றொரு நிகழ்ச்சியாகும். நூக்ளிய உறை முழுதும் சிறுசிறு இரட்டைச் சவ்வுக் குமிழ்களாகச் சிதறிச் சைட்டொபிளாசச் சவ்வு மண்டலத்தோடு கலந்துவிடுகிறது. ஆனால், பெரும்பாலான புரொட்டொசோவாக்களில் மைட்டோசிஸ் பகுப்பு முடியும் வரை நூக்ளியஉறை சிதைவதில்லை. ஆனால், இவற்றிலும் நூக்ளிய உறையானது அமைப்பு மாற்றத்தையும் இயக்க வேறுபாட்டையும் அடைந்து, குரோமொசோம்களல்லாத பொருள்களை நூக்ளியசிலிருந்து வெளியேற்ற ஏதுவாகிறதென்று கருதப்படுகிறது. இயல்பாக நூக்ளிய உறை புரோபேஸ் முடிவில் சிதையும் செல்களில் நூக்ளிய உறைச் சிதைவைத் தடை செய்தாலும், குரோமொசோம்களின் போக்கில் யாதொரு மாற்றமுமில்லாமல் அவை மெட்டபேஸ் படியை அடைகின்றன.

புரோபேஸ் தொடக்கத்தில் நீண்ட வடிவத்தைக் கொண்டவையாகத் தோன்றும் குரோமொசோம்கள், தொடர்ந்து குறுகிக்

கொண்டு வருகின்றன. அவ்வாறு குறுகிக் கொண்டுவரும் அதே சமயத்தில் அவை பகுப்பின் அடுத்த படியாகிய மெட்டபேஸ் படியின் இடத்தை நோக்கி நகருகின்றன. அப்படி நகருவது புரொமெட்டபேஸ் (prometaphase) அல்லது மெட்டாகைனெசிஸ் (metakinesis) என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. குரொமொசோம்கள் பொதுவாகத் தாமிருக்குமிடத்திலிருந்து நேராக மெட்டபேஸ் இடத்துக்குப் போவதில்லை. மாறாக, இங்கும் அங்கும் ஊசலாடி நகர்ந்து கடைசியாகவே மெட்டபேஸ் இடத்தை அடைகின்றன.

மெட்டாகைனெசிஸின் போது நடைபெறும், கீழே சொல்லப் படும் மூன்று நிகழ்ச்சிகள் எவ்வாறு நடைபெறுகின்றன என்பது சரியாகத் தெரியவில்லை.

1. குரொமொசோம்கள் மிகக் கச்சிதமாக இரண்டு துருவங் களுக்கும் நடுவில் நகர்ந்து நிற்பது.

2. குரொமொசோம்களனைத்தும் குறிப்பிட்ட குரொமொ சோம்கள் குறிப்பிட்ட இடங்களில் இருக்குமாறு ஒரே நடு மட்டத்தட்டில் வரிசைப்படுத்தப்படுவது.

3. ஒவ்வொரு குரொமொசோமின் சென்ட்ரோமியரும் இரண்டாகப் பிளந்தவுடன் இரண்டும் இருவேறு துருவங் களுக்குச் செல்லும் கதிரிழைகளோடு இணைக்கப்படுவது.

இப்போது தெரியவந்துள்ள ஆதாரங்களின்படி, மேற் சொல்லப்பட்ட மூன்று காரியங்களும், துருவ மையங்களுக்கும் சென்ட்ரோமியருக்கும் இடையில் நிகழும் கூட்டுச் செயலால் நடை பெறலாமென்று தெரிகிறது. மெட்டாகைனெசிஸ் தொடக்கத்தில் குரொமொசோம்களோடு மைட்டாசிய சாதனத்தின் கதிரிழைகள் இணைந்து, குரொமொசோம்களை மெட்டபேஸ் இடத்துக்கு நகர்த் தலாமென்று கருதப்படுகிறது.

### மெட்டபேஸ்

மெட்டபேஸ் படியின் முக்கியமான இயல்பு யாதெனின், குரொமொசோம்களெல்லாம் ஒரே நடுவட்ட மட்டத்தில்(equatorial plane) அமைவதாகும். இந்த அமைப்பு நடுவட்ட மட்டத்தட்டு (equatorial plate) என்றும் குறிக்கப்படுகிறது. இந்த அமைப்பைத் தோற்றுவிக்கும் காரணி என்னவென்று தெரியவில்லையென்றாலும் இரு துருவ மையங்களும் குரொமொசோம்களைச் சமமாகப் பாதிப் பதனாலாகலாமென்று கருதப்படுகிறது. மற்றும் ஒவ்வொரு

குரோமொசோமின் குரோமேட்டிடுகளும், இரண்டு குரோமொ சோம்களாகப் பிளக்கும் சூட்சுமத்தை ஆதாரமாகக் கொண்ட தாகவுமிருக்கலாம். நூக்ளிய உறை சிதையாத பல புரொட்டொ சோவாக்களில் மெட்டபேஸ் தட்டு உண்டாவதில்லை. மற்ற செல் களிலும், மைட்டாசிய சாதனத்தின் உற்பத்தி தடைசெய்யப் பட்டாலும், மெட்டபேஸ் தட்டு அமைவதும், அதைத் தொடர்ந்து சென்ட்ரோமியர் பிளந்து இரண்டு குரோமொசோம்களும் இரண்டு துருவங்களுக்கும் பிரிந்து செல்லுவதும் தடைப்படுவதில்லை.

மெட்டபேஸ் தட்டின் மொத்த உருவம் வெவ்வேறு உயிர் களில் வேறுபடுகிறதாயினும், ஒரே உயிரின் செல்களில் ஒரே மாதிரியாகவே அமைகிறது. நீளமான குரொமொசோம்களின் சென்ட்ரோமியர் மட்டுமே நடுவட்ட மட்டத்தில் இருக்கிறது. புயங்கள் இருபக்கங்களிலும் நீண்டு தொங்குகின்றன. குட்டை யான குரொமொசோம் முழுவதுமே நடு வட்டத்தட்டில் இருக் கிறது. அநேகமாகக் குரொமொசோம்கள் நடுவட்டத்தட்டின் விளிம்பில் அமைவதால் குறுக்குத் தோற்றத்தில் தட்டின் மையப் பகுதி காலியாக இருப்பதாகத் தோன்றுகிறது. ஆனால், மற்ற செல் களில் குட்டையான குரொமொசோம்கள், தட்டின் மையத்திலும், நீளமான குரொமொசோம்கள் தட்டின் விளிம்பிலும் அமைந்து காணப்படுகின்றன. எப்படியாயினும் குரொமொசோம்கள் ஒன்றையொன்று தொடாமல் விலகியே இருக்கின்றன.

மெட்டபேஸ் படியில், மைட்டாசிய சாதனம் அதன் உச்ச வளர்ச்சியையும், மிக ஒழுங்கான அமைப்பையும் அடைகிறது. மற்றும் செல்லின் பெரும்பகுதிப் பொருளைத் தன்னுள்ளடக்கிச் செல்லின் பெரும்பகுதி இடத்தையும் ஆக்கிரமித்துக் கொள்ளு கிறது.

உச்ச வளர்ச்சியடைந்த மைட்டாசிய சாதனம் இரு வேறு பகுதிகளைக் கொண்ட ஓர் அமைப்பாகும். இடைக் குறுக்கீடின்றி ஒரு துருவ மையத்திலிருந்து மற்றொரு துருவ மையத்துக்கு நீண்டிருக்கும் நடு இழைகள் (central spindles), குரொமொசோம் களைத் துருவங்களோடு இணைக்கும் குரொமொசோம் இழைகள் (chromosome spindles) ஆகிய இருவித அமைப்புகள் மெட்டாசிய சாதனத்திலுள்ளன. இந்த இருவித இழைகளும் தமது பணியிலும் வேதியியல்பிலும் வேறுபடுவனவாகுமெனினும் எல்லா இழை களுமே நீண்ட நடு நுண்ணிழைகளைச் சுற்றியமைந்த தனியமைப் புடைய நாரிழைகளைக் கொண்டனவாகுமென்று கருதப்படுகிறது. நாரிழைகளைத் தவிர, வேதியமைப்பில் மிக வேறுபடாத ஆனல்

துகளமைப்புடைய தளப்பொருள்களும் மைட்டாசிய சாதனத்தி லிருக்கலாமென்று எண்ணப்படுகிறது. வேதியியல்பைப் பொருத்த வரை, மைட்டாசிய சாதனம் RNA, லிபிடுகள் ஆகியவற்றோடு கூடிய பெரிய புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளின் பாலிமரைசேஷனுல் உருவானதென்று கருதப்படுகிறது.

**அனபேஸ்**

சென்ட்ரோமியர் பிளப்பதால் குரோமேட்டிடுகள் குரோமொ சோம்களாக மாறி இரு துருவங்களுக்கும் நகரத் தொடங்குவதே மெட்டபேஸ் முடிந்து அனபேஸ் தொடங்குவதைக் குறிப்பதாகும். மெட்டபேஸ் தட்டில் நிலை கொள்ளும் குரோமொசோம்கள் அன பேஸ் நிலை தொடங்குவதற்கு முன்னுள்ள இடைக்காலத்தில் என்ன செய்கின்றன என்பதைப் பற்றி ஒன்றும் தெரியவில்லை. சென்ட்ரோமியரின் பிளப்பு, செல்லிலிருந்து தரப்படும் ஏதோ ஒரு சமிக்கையைப் பொறுத்ததாகவும் மைட்டாசியசாதனத்தாலியக்கப் படாததாகவும் இருக்கவேண்டுமென்று தெரிகிறது. பொதுவாக எல்லா குரோமொசோம்களின் சென்ட்ரோமியர்களும்ஏககாலத்தில் பிளக்கின்றன. ஆனல்,வெவ்வேறு குரோமொசோம்களின் சென்ட் ரோமியர்கள் வெவ்வேறு நேரத்தில் நடைபெறுதலும் உண்டு.

குரோமொசோம்கள் பிரியத் தொடங்கிய பிறகு, இரண்டு குரோமொசோம் தொகுதிகளும், மெட்டபேஸ் தட்டிலிருந்த அதே அமைப்பில், ஒரே வேகத்தில் இரண்டு அனபேஸ் தட்டுகளாக இரண்டு துருவங்களுக்கும் நகருகின்றன. ஆனல், சில சமயங் களில் குரோமொசோம்கள் ஒன்றுக்கொன்று வேறுபடும் வேகத்தில் நகரலாம். இதிலிருந்து, ஒவ்வொரு குரோமொசோமும் தனிப் பட்ட முறையில் நகருகிறதேயன்றி ஒரே தொகுதியாக நகருவ தில்லையென்று தெரிகிறது. ஒரே தொகுதியைச் சேர்ந்த குரோமொ சோம்களின் நகர்வைக் கவனிக்கும்போது, குரோமொசோமின் அளவைப் பொறுத்து நகர்வின் வேகம் அமைவதில்லையென்று தெரிகிறது. வெவ்வேறு செல்களின் குரோமொசோம் நகர்வைப் பார்க்கும்போதும் இதே உண்மை புலப்படுகிறது.

அனபேஸ் நகர்வின் நிகழ்ச்சியில் இரண்டு சம்பவங்கள் நடை பெறுகின்றன. முதலாவது இரண்டு குரோமொசோம் தொகுதி களும் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகிச் செல்லுவது. இரண்டாவது ஒவ்வொரு குரோமொசோம் தொகுதியிலுள்ள குரோமொசோம் களும் ஒன்றையொன்று நெருங்கி ஒன்றுகூடுவது. இவ்விரண்டு சம்பவங்களுக்குமுள்ள பரஸ்பரத் தொடர்பு வேறுபடக்கூடிய தாகும். சில செல்களில் குரோமொசோம்கள் நெருங்கிக்

கூடாமலே இரு தொகுதிகளும் விலகிச் செல்லுகின்றன. அப்போது தொகுதிகளிடையேயுள்ள கதிரிழைகள் நீட்சியடைகின்றன. ஆனால், மற்ற செல்களில் குரோமொசோம் தொகுதிகள் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகும் வேகத்தைவிடத் தொகுதிகளின் குரோமொசோம்கள் வேகமாக நெருங்கி ஒன்று கூடுகின்றன. மற்றும் இரண்டு சம்பவங்களும் ஒரே சமயத்திலோ அல்லது ஒன்றுக்குப் பின் ஒன்றோ நடைபெறலாம்.

அனபேசில் குரோமொசோம்கள் நகரும் சூட்சுமம் என்னவென்று தெரியவில்லை. இது குறித்து ஏராளமான அனுமானங்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன. அவற்றில் முக்கியமானவை கீழே குறிக்கப்பட்டுள்ளன.

1. குரோமொசோம்கள் தாமாகவே நகருவது.
2. காந்த, மின்காந்த ஈர்ப்பு, விலக்கு விசைகள் ஈடுபடல்.
3. சைட்டொபிளாசப் பாய்வு ஓட்டம்.
4. சைட்டொபிளாசத்தின் பிசுக்கடர்த்தி மாற்றங்கள்.
5. அசைந்து ஊசலாடும் தனிப்பட்ட பொருள்கள் ஈடுபடல்.
6. மைட்டாசிய சாதனத்தின் கதிரிழைகள் சுருங்கி ஈர்த்தல்.

மேற்சொல்லப்பட்ட அனுமானம் எதற்கும் சோதனை ஆதாரங்களில்லை. ஆனால் மொத்தத்தில், தொகுதிகளுக்கிடையேயுள்ள கதிரிழைகள் நீளுவதால் குரோமொசோம் தொகுதிகள் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகிச் செல்லுவதாகவும், துருவ மையத்தோடு குரோமொசோம்களை இணைக்கும் இழைகள் குறுகுவதால், குரோமொசோம்கள் ஒன்றையொன்று நெருங்கக்கூடுவதாகவும் கருதப்படுகிறது. சமீப கால ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து மைட்டாசிய சாதன ஸ்பிண்டில் கதிர்களில் விசையுண்டாக்கும் பகுதியொன்றும், அல்லாததொன்றும் இருப்பதாகவும், இவ்விரு பகுதிகளும் மெட்டபேஸில் ஒன்றாகவும், அனபேசில் தனித்தனியாகப் பிரிந்தும் செயல்படுவதாகத் தெரியவந்துள்ளது.

### டீலொபேஸ்

குரோமொசோம் தொகுதிகள் துருவங்களை அடைந்தவுடனே மைட்டாசிய சாதனம் மறைந்து பகுப்பிடை நிலை நூக்ளியஸ் வடிவெடுக்கத் தொடங்குகிறது.

குரோமொசோம்கள் மீண்டும் பகுப்பிடை நூக்ளியசாக வடிவெடுக்கும் சம்பவம், புரோபேஸ் படியில் நடைபெறும் சம்பவத்

துக்கு எதிர்போக்கான சம்பவமென்று சொல்ல முடியாது. டெலொபேசில் குரொமொசோம்கள் பகுப்பிடை நிலையை அடைவதில் சுருள் நீக்கத்தை விட உப்புதலே உருமாற்றத்துக்குக் காரணமாகிறதென்றும் கருதப்படுகிறது.

நூக்ளியோலஸை உருவாக்கும் குரொமொசோம் ஜதையோடு இணைந்தாற்போல் நூக்ளியோலஸ் திரும்பத் தோன்றுவது அனபேஸ் நிலையிலேயே தொடங்கிவிடுகிறது. அக் குரொமொசோம்களிலிருந்து உண்டாகும் சிறு துகள் போன்ற ஒழுங்கற்ற உருவமுடைய பொருள்கள் டெலொபேஸ் நிலையில் ஒன்று சேர்ந்து நூக்ளியோலசாகிறது. புரொபேஸில் சிதைந்து மறைந்த நூக்ளியோலஸ் பொருள்கள் எவ்வளவு தூரம் புது நூக்ளியோலஸ்கள் தோன்றுவதற்குப் பயன்படுகின்றன, எவ்வளவு பொருள் புதிதாக உண்டாக்கப்படுகிறது என்பதெல்லாம் இன்னமும் அறியப்படவில்லை.

நூக்ளிய உறை திரும்பத் தோன்றுவது மற்றொரு முக்கிய டெலொபேஸ் சம்பவமாகும். டெலொபேஸ் குரொமொசோம்களும் எண்டொபிளாச வலையும் கூட்டாகச் செயல்பட்டு நூக்ளிய உறையைத் தோற்றுவிப்பதாகத் தெரிகிறது. எண்டொபிளாச வலையின் சவ்வுப்படலம் சிறு குமிழ்களாகவும் தட்டையான பைகளாகவும், குரொமொசோம்களைச் சுற்றிக் குழுமிப் பிறகு ஒருங்கிணைவதால் நூக்ளிய உறை உண்டாக்கப்படுகிறது.

## செல் பகுப்பு அல்லது சைட்டோபிளாசப் பகுப்பு (Cytobinesis)

நூக்ளியஸ் பகுப்பைத் தொடர்ந்து நடைபெறும் சைட்டொபிளாசப் பகுப்பு மூன்று வழிகளில் நிகழலாம். அவை: (1) நூக்ளியஸ்களுக்கிடையே அல்லது நூக்ளியஸ்களைச் சுற்றி செல்சுவர் உண்டாவது; (2) நூக்ளியஸ்களுக்கிடையே சைட்டொ பிளாசம் குழிந்து பிரிவது; (3) ஒரு நூக்ளியஸ் செல்லின் ஒரு முனைக்குச் சென்று, அம்முனைப் பகுதி குழிந்து தனியாகப் பிரிவது.

சைட்டொபிளாசம் செல் தட்டால் பகுக்கப்படுவது, பொதுவாகத் தாவரசெல்களில் நடைபெறுகிறது. நூக்ளியஸ் பகுப்பு முடிந்ததும் அவற்றினிடையேயுள்ள கதிரிழைகளிலிருந்து உண்டாகும் ஃபிராக்மோபிளாஸ்ட் (phragmoplast) எனப்படும் சாதனமே செல் தட்டைத் தோற்றுவிப்பதில் ஈடுபடுகிறது. கோல்கி உறுப்புகளிலிருந்து உற்பத்தியாகும் நுண் குமிழ்கள் நடுவட்ட மட்டத்தின் மையத்தில் முதலில் குழுமி ஒன்றோடொன்று இணைந்து செல் தட்டாகவும் அதன் இருபுறங்களிலும்

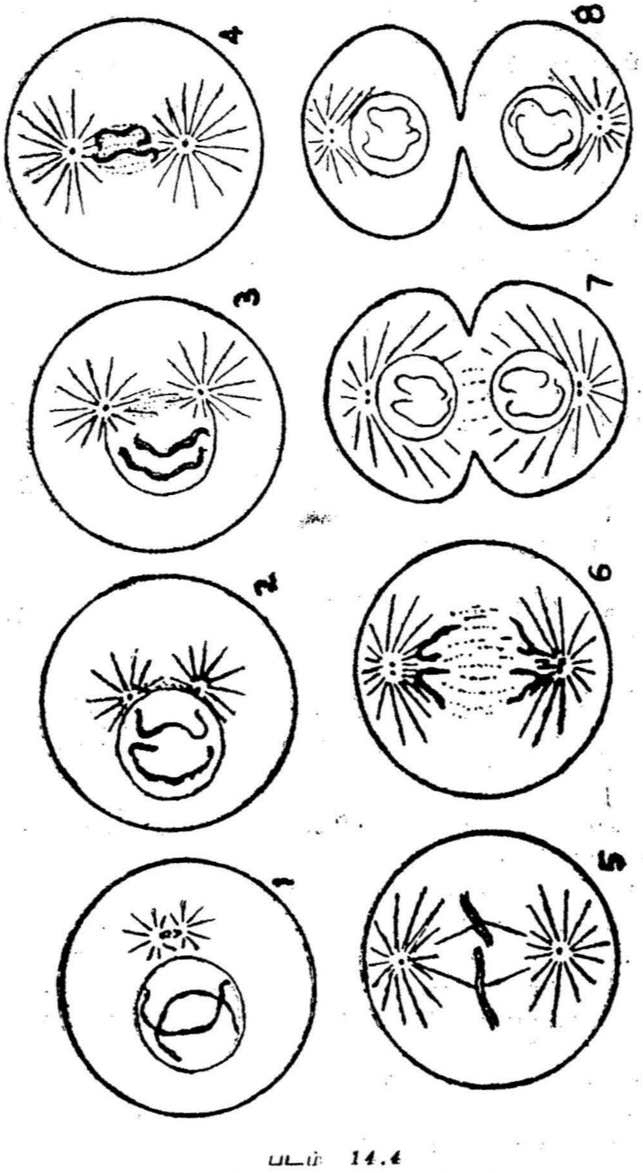
அமைந்த செல் சவ்வாகவும் வடிவெடுக்கின்றன. மேலும் மேலும் குமிழ்கள் வந்து இணைவதால், ஃபிராக்மோபிளாஸ்டும், செல் தட்டும் மையத்திலிருந்து விளிம்பை நோக்கி விரிகிறது. செல் விளிம்புவரை விரிந்து தாய்ச் செல்லின் சுவற்றைத் தொட்டதும் ஃபிராக்மோபிளாஸ்டானது மறைந்துவிடுகிறது. எனவே, செல் தட்டினால் ஏற்படும் பகுப்பு, மையத்திலிருந்து விளிம்புக்கு விரிவடையும் பகுப்பெனக் கொள்ளலாம்.

ஃபிராக்மோபிளாஸ்டோ செல்தட்டோ உண்டாகாமல் சைட்டொபிளாசம் இரு நூக்ளியஸ்களுக்குமிடையில் விளிம்பிலிருந்து மையத்தைநோக்கிக் குழிந்து இரண்டாகப் பிரிவது (படம் 14.4) பொதுவாக விலங்கு செல்களில் நடைபெறுகிறது.

### 3. பகுப்பின் இயக்கக் குறிக்கோள்

தூலப்பொருள்கள் இடம் விட்டு இடம் நகரும் எக்காரியமும், ஆற்றலைப் பயன்படுத்தாமல் நடைபெற முடியாது. எனவே, மைட்டாசிசில் நடைபெறும் நகர்வுகளுக்கும் ஆற்றல் தேவையாகிறது. பகுப்புப் பங்கீடு தொடங்கியவுடனே, செல்லில் மெட்டபாலிசம் நடைபெறக்கூடாமல் தடை செய்தாலும் அத் தடையால் பாதிக்கப்படாமல் பகுப்புப் பங்கீடு இயல்பான முறையில் நடைபெறுகிறது. என்று சோதனைகளிலிருந்து கண்டறியப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து, பகுப்புப் பங்கீடு தொடங்கு முன்னரே அதற்குத் தேவையான ஆற்றல் செல்லில் சேமித்து வைக்கப்பட்டுவிடுகிறதென்று அனுமானிக்கப்படுகிறது. ஆனால், எவ்வாறு எப்பொருள்களில் ஆற்றல் சேமித்து வைக்கப்படுகிறதென்று தெரியவில்லை.

மைட்டாசிஸ் பகுப்பினாலுண்டாகும் இரண்டு செல்களொவ்வொன்றும் தாய்ச்செல் செய்த அதே பணிகளை, அல்லது பெரும்பாலான பணிகளைச் செய்யத் தக்கனவாக இருக்கவேண்டும். எனவே, பகுப்பினால் உருவம் இரட்டிப்படைவதுபோல் செயல்திறனும் இரட்டிப்படைகிறது. செல்பகுப்பில் எப்போது ஒன்றாக இருந்த செயல்திறன் இரண்டாகிறதென்பது முக்கியமான ஒரு கேள்வியாகும். மரபுப்பொருளான DNA-யின் இரட்டிப்பால் செயல்திறன் இரட்டிப்படைகிறதென்று சொல்ல முடியாது. ஏனென்றால், பகுப்புக்கான ஆயத்தங்கள் நடைபெறும்போதே DNA இரட்டித்துவிடுகிறது. ஆனால், அப்போதும் செயல்திறன் இரட்டிக்காமல் ஒரே செல்லாகவே இருக்கிறது. செயல்திறனிரட்டிப்பை உண்டாக்குவது எதுவாக இருந்தாலும் அது ஒன்றாக இருந்து, ஒன்றுமில்லாததாக மறைந்து இரண்டாகத் தோன்ற வேண்டுமென்று கருதலாம். இக் கண்ணோட்டத்தில் பார்க்கும்




படம் 14.4
விலங்கு செல்லின் மைட்டாசிஸ் பகுப்புப் படிகள்,

போது நூக்ளியோலசைத் தவிர மற்றெந்த உறுப்பும் இதற்கு ஒத்து வரவில்லை. எனவே, பகுப்புப் பங்கீட்டுக்கு முன்பேமுடிவடையும் மரபுப் பொருளிரட்டிப்புக்கு மாறாகச் செல்லின் செயல்திரனி ரட்டிப்பு பகுப்புப் பங்கீட்டின்போது மறைந்து, மீண்டும் இரண்டாக உற்பத்தியாகும் நூக்ளியோலசோடு தொடர்புடையதாக இருக்கலாமென்று அனுமானிக்க இடமுள்ளது. செல்லியக்கத்தின் முக்கிய நிகழ்ச்சியாகிய புரோட்டீன் உற்பத்தியைச் செய்யத் தேவைப்படும் ரைபொசோம்களை நூக்ளியோலஸ் உற்பத்தி செய்கிறதென்று இப்போது தெரியவந்துள்ள உண்மை, மேற்சொன்ன அனுமானத்துக்கு ஆதாரமாக உள்ளது.

## மியாசிஸ் அல்லது குன்றல் பகுப்பு

மியாசிஸ் பகுப்பின் நிகழ்ச்சியை விவரிப்பதற்கு முன்பு இப்பகுப்பு ஏன், எதற்காக நடைபெறுகிறதென்பதை விளக்கிக் கூற வேண்டியதவசியமாகும். பாலீடுபாட்டால் இனவிருத்தி செய்யும் எல்லா உயிர்களும் சைகோட் எனப்படும் ஒரே ஒரு செல்லிலிருந்து வளருகின்றன. சைகோட் செல்லானது, உயிர்களின் சாதாரண உடற் செல்லல்ல. அது கேமீட்டுகளெனப்படும் இரண்டு செல்களின் இணைவாலுண்டாகும் ஒரு செல்லாகும். எனவே, சைகோட்டின் நூக்ளியஸ் இரண்டு கேமீட்டுகளின் நூக்ளியஸ்கள் இணைந்துண்டாகிறதாகையால் அதன் குரொமொசோம்கள் சைகோட்டைப்போலிரண்டு மடங்காக இருக்கும். கேமீட்டின் குரொமொசோம் எண் ஹெப்லாய்டு(haploid) என்றும் சைகோட்டின் குரொமொசோம் எண் டிப்லாய்டு (diploid) என்றும் சொல்லப்படுகிறது.

சைகோட்டின் செல் மைட்டாசிஸ் பகுப்பின் மூலம் பகுப்புற்று அவ்வுயிரின் பல செல்களைத் தோற்றுவிக்கிறது. அவ்வுயிர் முதிர்ச்சி பெற்றுப் பாலினவிருத்திக்கான கேமீட்டுகளை யுண்டாக்குகிறது. கேமீட்டுகளின் குரொமொசோம் எண்ணிக்கை அவ்வுயிரின் செல்களைப்போல் டிப்லாய்டு எண்ணிக்கையாக இருந்தால் அவை இணையும்போது குரொமொசோம் எண்ணிக்கை மீண்டும் இரட்டிப்படைந்துவிடும். அதாவது, அடுத்த தலைமுறையில் முன் தலைமுறையைப்போலிரண்டு மடங்கும், இவ்வாறே தலைமுறை தோறும் இரட்டிப்படைந்து ஒரு சில தலைமுறைகளில் எண்ணிலடங்காத அளவு பெருகிவிடும். ஆனல், உண்மையில் ஒரு தலைமுறையில்காணப்படும் குரொமொசோம் எண்ணிக்கையே பாலினவிருத்தியால் தோன்றும். அடுத்த தலைமுறைகளிலும் காணப்படுகிறது. ஆகவே, இதிலிருந்து தெரிவது யாதெனின்,

கேமீட்டுகளின் குரொமொசோம் எண்ணிக்கை, உடல்செல்களின் எண்ணிக்கையில் பாதியாகக் குறைக்கப்பட வேண்டுமென்பதாம். இக் குறைப்பு நடைபெறும் பகுப்பே மியாசிஸ் அல்லது குன்றல் பகுப்பு எனப்படுகிறது. எனவே, பாலினவிருத்தியிலீடுபடும் உயிர்கள் தம்முடைய குரொமொசோம் எண்ணிக்கையை ஒரு நிலையில் வைப்பதற்கு மியாசிஸ் பகுப்பு அவசியமாகிறது. பாலின விருத்தியி லீடுபடாதவற்றிற்கு மியாசிஸ் பகுப்புத் தேவையில்லை.

மியாசிஸ் பகுப்பானது ஒன்றையடுத்து மற்றென்றாக இரண்டு நூக்ளியஸ் பகுப்புகளைக் கொண்டதாகும். முதல் பகுப்பில் தாய் செல்லின் குரொமொசோம்களில் சரிபாதி ஒரு நூக்ளியசுக்கும், மற்ற பாதி மற்றொரு நூக்ளியசுக்கும் வினியோகிக்கப்படுகிறது. இவ்விரண்டு நூக்ளியஸ்களொவ்வொன்றும் உடனே மைட்டாசிஸ் பகுப்பாலிரண்டாகப் பகுப்புறுகின்றன. எனவே, குறைந்த குரொமொசோம் எண்ணிக்கையுடைய நான்கு நூக்ளியஸ்கள் மியாசிஸ் பகுப்பினால் உண்டாகின்றன. அதாவது, மைட்டாசிசில் நடைபெறுவது போலவே பகுப்படை நிலையில் ஒருமுறை இரட்டிக்கும் DNA இரண்டு நூக்ளியஸ்களுக்குப் பங்கீடு செய்யப்படுவதற்குப் பதிலாக மொத்தம் நான்கு நூக்ளியஸ்களுக்குப் பங்கீடு செய்யப்படுகிறது. அதனால் குரொமொசோம் எண்ணிக்கையும், DNA அளவும் பாதியாகக் குறைகிறது.

மியாசிஸ் பகுப்பின் முதற் பகுப்பில் நடைபெறும் குரொமொசோம் பங்கீட்டில், தாய் நூக்ளியசின் குரொமொசோம்களில் ஏதாவது பாதி எண்ணிக்கை ஒரு நூக்ளியசுக்கும், மற்ற பாதி மற்ற நூக்ளியசுக்கும் பங்கிடப்படுவதில்லை. மாறாக இப் பங்கீடு மிக ஒழுங்காக நடைபெறுகிறது. டிப்லாய்டு நூக்ளியசின் குரொமொசோம்கள் பொதுவாக ஜதைகளாக இருக்கின்றன. அதாவது எடுத்துக்காட்டாக, டிப்லாய்டு குரொமொசோம் எண்ணிக்கை 8 என்றால், அதில் நான்கு ஜதை குரொமொசோம்களிருக்கும். ஒரு ஜதையின் இரண்டு குரொமொசோம்களும் உருவத்திலும், அமைப்பிலும் ஒரே மாதிரியானவைகளாகவே இருக்கும். எனவே, இவை ஒத்த குரொமொசோம்கள் (homologous chromosomes) எனப்படுகின்றன. மியாசிசின் முதல் பகுப்பின்போது ஒத்த குரொமொசோம்களிரண்டும் ஒன்றோடொன்று நெருங்கிக்கூடுகின்றன. பிறகு இக் கூட்டின் இரண்டு குரொமொசோம்களும் இரு வேறுநூக்ளியஸ்களுக்கு நகர்ந்துசெல்லுகின்றன. எனவே, ஒத்த குரொமொசோம்களிரண்டு ஒரே நூக்ளியசுக்குச் செல்லுவதில்லை. ஒத்த குரொமொசோம்களிரண்டும் இரண்டு கேமீட்டுகளிலிருந்து பெறப்

பட்டனவாகும். ஆனால், மியாசிஸ் முதல் பகுப்பின்போது ஒரு நூக்ளியசுக்குச் செல்லும் குரொமொசோம்களெல்லாம் ஒரே கேமீட்டிலிருந்து வந்தவையாக இருக்க வேண்டுமென்பதில்லை.

மியாசிசின் இரு பகுப்புகளும், மைட்டாசிசைப் போலவே, விவரித்துக் கூறுவதற்கு வசதியாக புரொபேஸ், மெட்டபேஸ், அனபேஸ், டெலொபேஸ் என்ற நான்கு படிகளாகப் பிரிக்கப்படுகின்றன.

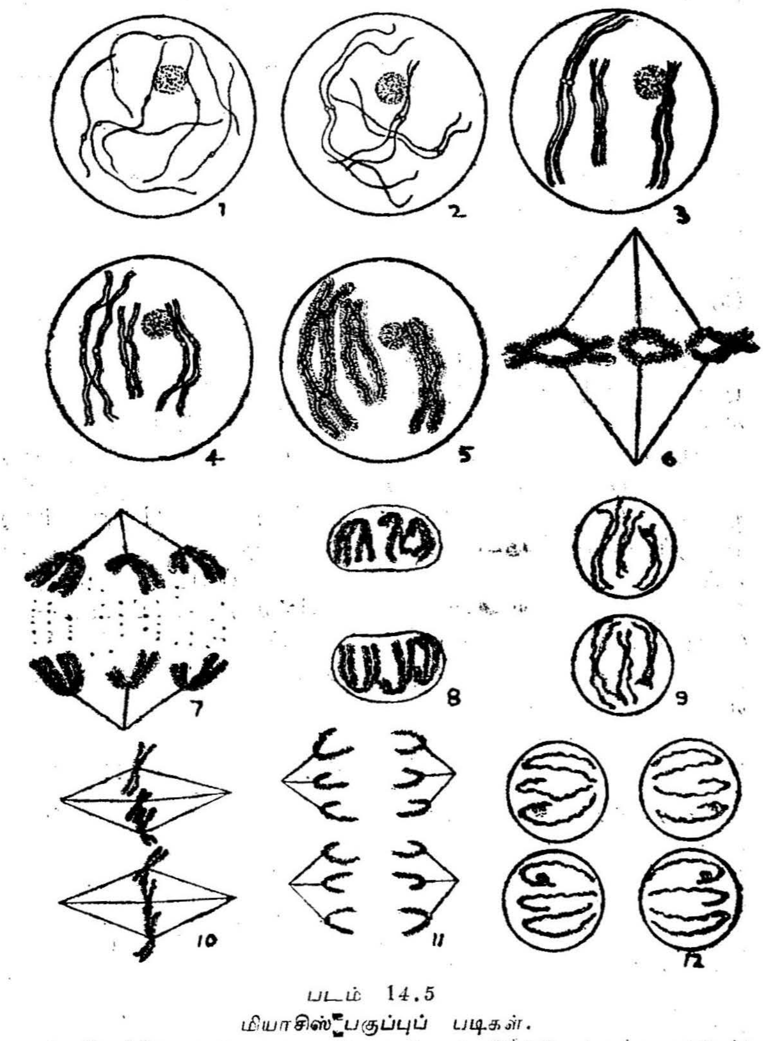
**மியாசிசின் முதல் பகுப்பு**

**புரொபேஸ்:** முதல் மியாசிஸ் பகுப்பின் புரொபேசில்தான் மிக முக்கியமான பல சம்பவங்கள் நடைபெறுகின்றன. மற்றும் இது மற்ற படிகளைவிட மிக நீண்டநேரம் நிகழுவதால், ஐந்து உப படிகளாகப் பிரிக்கப்படுகிறது (படம் 14.5).

**லெப்டொனிமா அல்லது லெப்டொடீன்** (Leptonema or leptotene) : இது மைட்டாசிஸ் பகுப்பின் புரொபேஸ் ஆரம்ப நிலையைப் பெருமளவுக்கு ஒத்ததாகும். ஆனால், பொதுவாக மியாசிஸ் பகுப்பிலீடுபடும் நூக்ளியங்கள், மைட்டாசிசிலீடுபடும் அதே உயிரின் நூக்ளியசைவிட உருவத்தில் பெரியவையாக இருக்கின்றன. உருவாகும் குரொமொசோம்களும் மிக நீண்டு மெலிந்து காணப்படுகின்றன. மற்றும் குரொமொசோம்களில் நீள வரிசையாகத் தெளிவான குரொமொமியர்கள் தோன்றுகின்றன. இவற்றின் உருவம், அமைப்பு, இருப்பிடம் முதலியவை மாறாத நிலைப்பண்புகளாகும். குரொமொமியர்களின் இந் நிலைப்பண்புகள், ஒவ்வொரு குரொமொசோமையும் தனியாகப் பிரித்தறிய உதவுகின்றன. லிலியம் (Lilium) என்ற தாவரத்தின் குரொமொசோம் தொகுதியில் மொத்தம் சுமார் 1500 முதல் 2500 குரொமொமியர்கள் காணப்படுகின்றன.

லெப்டொடீன்படியில் குரொமொசோம்கள் நூக்ளியசில் எதேச்சையாகப் பரவியிருப்பதில்லை. அநேக விலங்கு செல்களில் குரொமொசோம்களின் ஒரு பகுதி நுனிகளெல்லாம் சென்ட்ரொசோம் இருக்கும் பக்கமாக ஒரு கற்றையாகச் சேர்ந்தும், மற்றப் பகுதிகள் நூக்ளியசின் மையப் பகுதியை நோக்கி நீண்டும் காணப்படுகின்றன. இதற்குப் போலரைசேசன் (Polarisation) என்று பெயர். பெரும்பாலான தாவரங்களில் போலரைசேசன் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால், லிலியம் போன்ற சில தாவரங்களில் குரொமொசோம்களெல்லாம் நூக்ளிய உறையின் அருகாக ஒரே இடத்தில் கும்பலாகக் குழுமிக் கொள்ளுவதால், நூக்ளியசின் சொச்சப் பகுதி

வெறுமையாகக் காணப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட அமைப்புக்கு சினசெசிஸ் (synesesis) என்று பெயர். சென்ட்ரோமியருக்கும்




படம் 14.5

மியாசிஸ் பகுப்புப் படிகள்.

1. லெப்டொடீன்; 2. சைகொடீன்; 3. பேக்கிடீன்; 4. டிப்லொடீன்; 5. டையகைனெசிஸ்: 6. மெட்டபேஸ் I; 7. அனபேஸ் I; 8. டெலொபேஸ் I; 9. புரொபேஸ் II; 10. மெட்டபேஸ் II; 11. டெலொபேஸ் II.

குரொமொசோம்களுக்குமிடையே ஏற்படும் ஏதோ ஓர் ஈர்ப்பு விசையே போலரைசேஷனுக்குக் காரணமாகலாமென்று கருதப்

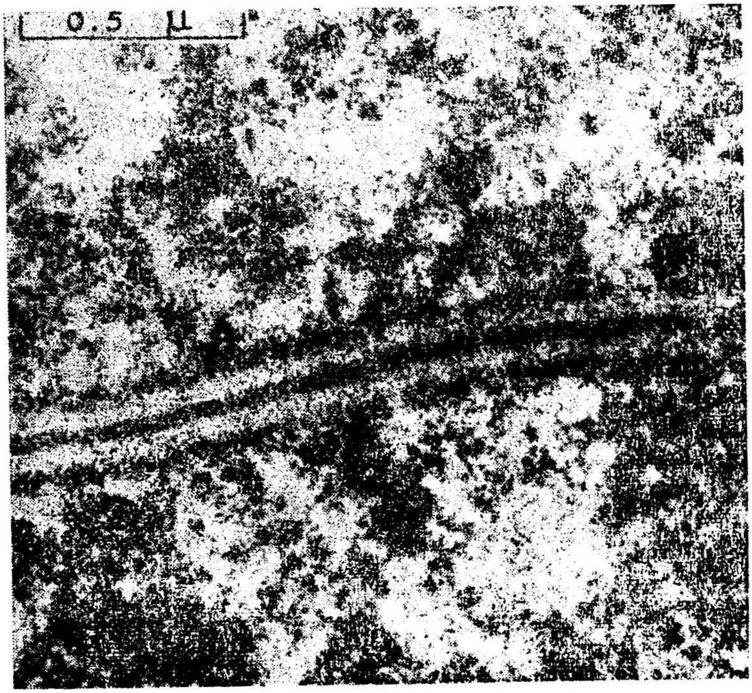
படுகிறது. அப்படியாயின் தாவர செல்களில் சென்ட்ரோசோம் இல்லாததே அவற்றில் போலரைசேசன் ஏற்படாததற்குக் காரணமாகலாம்.

**சைகோனிமா அல்லது சைகோடீன்**(Zygonema or Zygotene): ஒத்த குரோமோசோம்கள் ஒன்றுகூடத் தொடங்குவதே இப்படியின் தொடக்கத்தைக் காட்டும் அறிகுறியாகும். ஒத்த குரோமோசோம்களிரண்டும் நீளவாக்கில், இனத்தைப் பொறுத்த தனிவிதத்தில் சேரத் தொடங்குகின்றன. முதலில் குரோமோசோம்களை ஒன்றுசேர்ப்பதற்குப் போலரைசேசன் ஏதுவாகலாம். ஒத்த குரோமோசோம்களொன்றுசேருவது சைனுப்சிஸ் (synapsis) என்றும் சொல்லப்படும். குரோமோசோமின் நீளம் முழுதும் ஒரே சமயத்தில் ஒன்றுசேர்ந்துவிடுவதில்லை. குரோமோசோம்கள் முதலில் ஒரு நுனியில் சேர்ந்து பிறகு மற்ற பகுதிகள் படிப்படியாகச் சேருவது புரோடெர்மினல் (proterminal) சைனுப்சிஸ் எனப்படும். முதலில் சென்ட்ரோமியரில் தொடங்கிப் பிறகு இருபுயங்களும் சேர்ந்தால் அது புரொசென்ட்ரிக் (procentric) சைனுப்சிஸ் எனப்படும். குரோமோசோம்கள் பல இடங்களில் முதலில் சேர்ந்தால் அது இன்டர்மீடியேட் (intermediate) சைனுப்சிஸ் எனப்படும். எவ்வாறாயினும் ஓர் இடத்தில் சைனுப்சிஸ் தொடங்கிய பிறகு விரைவாக மற்றப் பகுதிகள் சேர்ந்துகொள்ளுகின்றன. டிரிப்லாய்டு (triploid) டெட்ராபிலாய்டு (tetraploid) நூக்ளியஸ்களின் மியாசிஸ் பகுப்பிலிருந்து, ஓர் இடத்தில் இரண்டுக்குமேற்பட்ட குரோமோசோம்கள் சேர்வதில்லை என்று தெரிகிறது.

**பேக்கினிமா அல்லது பேக்கிடீன்** (Pachynema or pachytene)

சைனுப்சிசின் முடிவு பேக்கிடீனின் ஆரம்பமாகும். பேக்கிடீன் தொடக்கத்தில் ஒத்த குரோமோசோம்களின் சில பகுதிகள் சேராமலிருந்தால் அவை பிறகு சேருவதில்லை. இப்போது குரோமோசோம்களின் தடிப்பு அதிகமாகிறது. ஒன்று சேர்ந்த இரு ஒத்த குரோமோசோம் கூட்டு பைவெலன்ட் (bivalent) என்று குறிப்பிடப்படுகிறது. ஒவ்வொரு பைவெலன்டிலும் இரண்டு குரோமோசோம்கள் ஒன்றோடொன்று நெருங்கிச் சேர்ந்திருப்பது நன்றாகத் தெரிகிறது. சில இனங்களில் இரு குரோமோசோம்களும் ஒன்றோடொன்று முறுக்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. இந்தப் படியில் நூக்ளியோலசும், அதனோடு சம்மந்தப்பட்ட குரோமோசோம்களும் நன்கு தெரிகின்றன. மக்காச் சோளம் போன்ற சில இனங்களில் பேக்கிடீன் நெடுநேரம் நடைபெறுகிறது.

பொதுவாக எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பினுல் பார்க்கப் படும்போது குரொமொசோம்கள் இழைபோன்ற உருவமற்ற பொருள்களாலமைந்த ஒழுங்கற்ற அமைப்பைக் காட்டுகின்றன. ஆனுல் சைகொடீன், பேக்கிடீன் குரொமொசோம்கள், அதாவது பைவெலன்டுகள் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் மிக ஒழுங்கான நீள்வரிசையமைப்பைக் காட்டுகின்றன. இந்த அமைப்பு சைனுப்டோனிமல் காம்ப்லெக்ஸ் (synaptonemal complex) அல்லது சைனுப்டினிமல் காம்ப்லெக்ஸ் (synaptinemal complex) என்று அழைக்கப்படுகிறது. (படம் 14.6) இது மொத்தத்

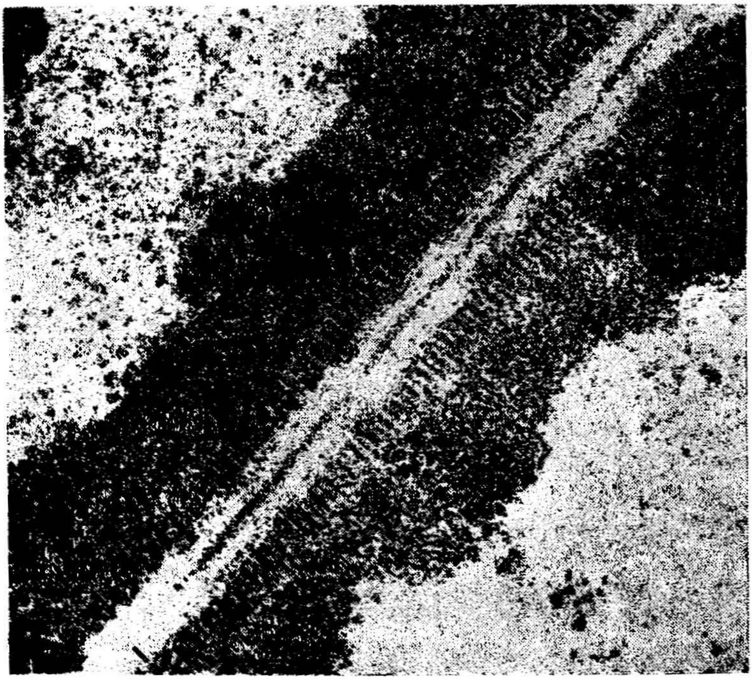



படம்: 14—6

அகிடா டெமஸ்டிகஸ் என்னும் விலங்கின் ஊசைட்டின் சைனுப்டோனீமிய காம்ப்லெக்ஸ். எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில்.

தில் வெவ்வேருன அடர்த்தியைக் கொண்ட மூன்று நீள்பட்டைகள் இணையாக அமைந்திருக்கும் அமைப்பைப் பெற்றுள்ளது. ஒவ்வொரு பட்டையும் 0.25 முதல் 0.8μ வரையான தடிப்பையும், 200 முதல் 400Å அகலத்தையும் கொண்டதாகும். இப்பட்டைகள்

சைனுப்டிய பட்டைகளென்றும், இவற்றிற்கிடையேயுள்ள இடைவெளி சைனுப்டிய இடைவெளி என்றும் சொல்லப்படுகின்றன. பொதுவாக மூன்று பட்டைகளில் நடுவில்மைந்த பட்டை மற்ற இரண்டையும்விடக் குறைவான அடர்த்தியைப் பெற்றிருக்கிறது. பட்டைகளின் நீளம் பைவெலன்டின் நீளமேயாகும். பட்டைகளின் இருநுனிகளும் நூக்ளிய உறையோடு இணைந்திருக்கின்றன. மற்றும் பட்டைகள் ஒன்ரேடொன்று சற்றே முறுக்கிக் கொண்டிருக்கின்றன. (படம் 14.8) ஆரம்பத்தில் நீண்டு மிகச் சில்வாக



படம் 14—7

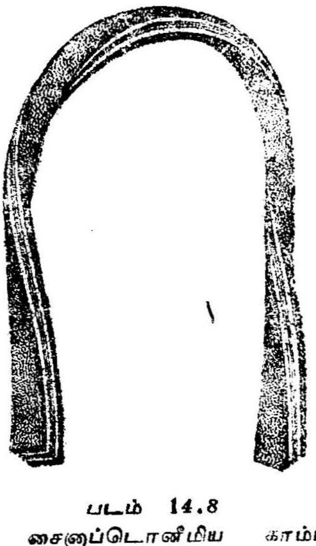
நியோட்டியெல்லா என்னும் பூஞ்சையில் சைனுப்டோனிமிய காம்ப்லெக்ஸ். எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பில்.

இருக்கும் முறுக்குகள் போகப் போகக் குறுகி எண்ணிக்கையிலதிகரிக்கின்றன. வெளிப்பபட்டைகளுக்கும் நடுப்பட்டைக்கும் இடையிலுள்ள இடைவெளியின் வழியாக, அவற்றினிடையே இழைபோன்ற பல நுண் இணைப்புகள் காணப்படுகின்றன. (படம் 14.7) இவ்விணைப்புகள் ஒழுங்கான வரிசையமைப்பைக்

கொண்டோ அல்லது ஒழுங்கின்றியோ அமைந்திருக்கலாம். சைனப்டொனிமல் காம்ப்லெக்சில் குரோமொசோம்கள் எவ்வாறுள்ளன என்பதும், இதற்கும் கயாஸ்மா உண்டதால், குறுக்கேற்றம் முதலியவைகளுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்னவென்றும் தெரியவில்லை.

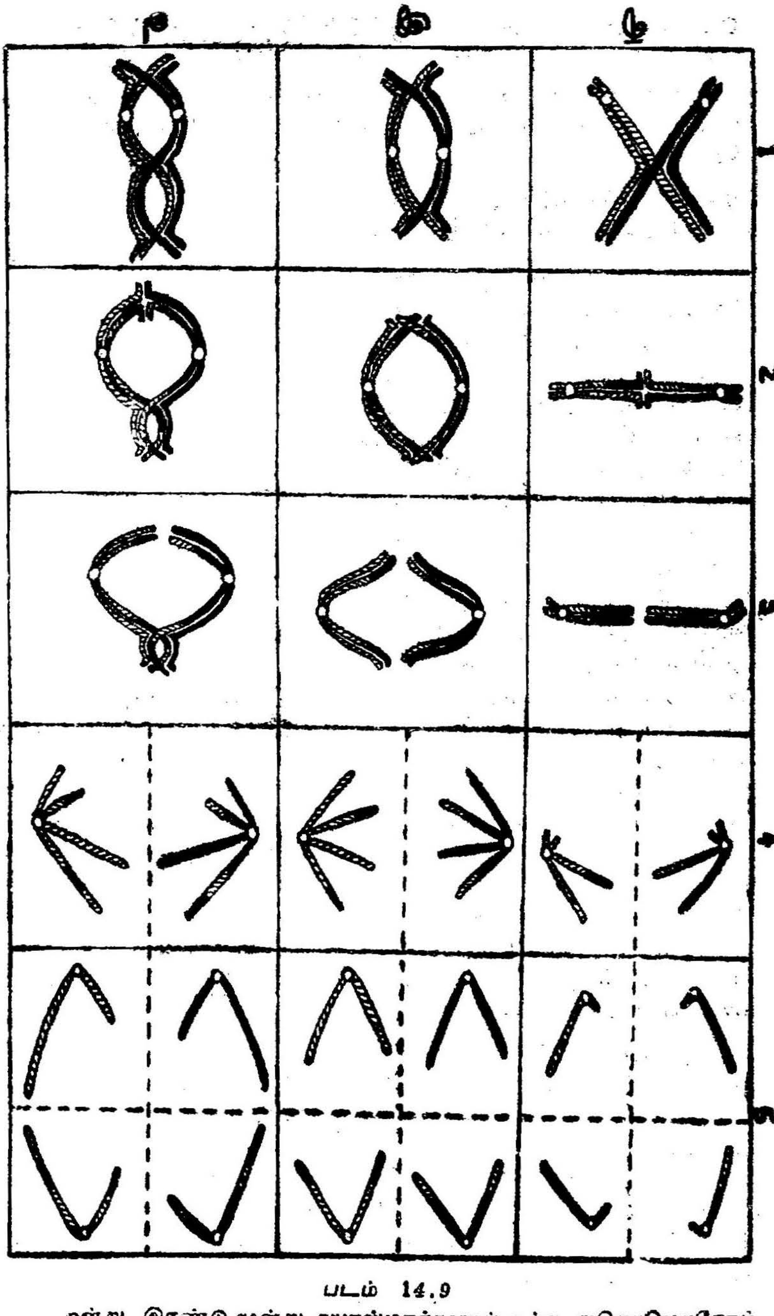
**டிப்லொனிமா அல்லது டிப்லொடீன் (Diplonema or diplotene)**

பைவெலண்டாக ஒன்று சேர்ந்த ஒத்த குரொமொசோம்கள் ஒன்றை விட்டொன்று விலகத் தொடங்குவதே டிப்லொடீன் தொடக்கத்தைக் குறிப்பதாகும். அவ்வாறு அவை பிரியத் தொடங்கும்போது, ஒவ்வொரு குரொமொசோமும், சென்ட்ரோமியரைத் தவிர மற்ற பகுதிகளில் இரண்டாகப் பிளந்து இரண்டு குரொமேட்டிடுகளாக இருப்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. எனவே ஒவ்வொரு பைவெலன்டிலும் நான்கு குரொமேட்டிடுகள் இருக்கின்றன. ஒத்த குரொமொசோம்கள் ஒன்றை விட்டு ஒன்று விலகும் போது சில இடங்களில் மட்டும் அவை ஒன்ருேடொன்று ஒட்டிக் கொண்டிருப்பது தெரிய வருகிறது. அப்படிப்பட்ட ஒட்டு ஒவ்வொன்றும் ஒரு கயாஸ்மா (Chiasma) என்று சொல்லப்படுகிறது. ஒவ்வொரு கயாஸ்மாவிலும், இரண்டு ஒத்த குரொமொசோம்களைச் சேர்ந்த ஏதாவது இரண்டு குரோமேட்டிகள் தம்மிடையே பகுதிகளைப் பரிவர்த்தனை செய்து கொள்ளுகின்றன என்று தெரிகிறது. இப்பரிவர்த்தனை குறுக்கேற்றம் (Crossing over) என்று சொல்லப்படும்.



படம் 14.8
சைனப்டொனிமிய காம்ப்லெக்சின் அமைப்பு.

ஒன்றைவிட்டு ஒன்று விலகும் இரண்டு ஒத்த குரொமொசோம்களும் கயாஸ்மா இடங்களில் ஏற்படும் ஒட்டின் காரணமாக முற்றிலும் தனித்தனியாக விலகுவதில்லை. மாருகக் கயாஸ்மாவின் எண்ணிக்கையைப் பொருத்து சிலுவையைப் போலவோ ஒற்றைக் கண்ணி வளையம் போலவோ, அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட கண்ணி வளையங்களைப் போலவோ வடிவெடுக்கின்றன. (படம் 14.9) சென்ட்ரோமியர் பிளக்காததால் குரொமேட்டிடுகள் குரொமொசோம்களாவதில்லை.

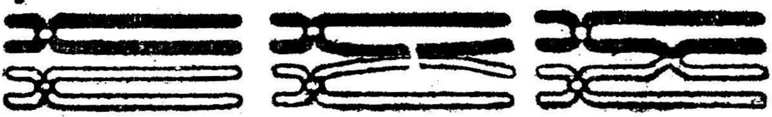


படம் 14.9

ஒன்று, இரண்டு மூன்று கயாஸ்மாக்களால் ஒத்த குரோமோசோம்களில் ஏற்படும் குறுக்கேற்ற மாற்றங்கள்;

கயாஸ்மா இடங்களில் இரண்டு ஒத்த குரோமொசோம்களைச் சேர்ந்த ஏதாவது இரண்டு குரொமேட்டிடுகள் தம்மிடையே பரிவர்த்தனைசெய்து கொள்ளுவதால் குறுக்கேற்றம் ஏற்படுகிறதென்று தெரிந்தாலும் இது எப்படி நடைபெறுகிறதென்று நிச்சயமாகத் தெரியவில்லை. பாக்டீரிய குரொமொசோம் இழைகளின் நடவடிக்கைகளைப்பற்றி செய்யப்பட்ட ஏராளமான ஆய்வுகளிலும் இதைப்பற்றித் தெரிந்து கொள்ளமுடியவில்லை. எனினும் இதுபற்றி இரண்டு கோட்பாடுகள் சொல்லப்படுகின்றன. (படம் 14.10)

1



2

படம்: 14—10
குறுக்கேற்ற கோட்பாடுகள்.
1. பிய்ந்து ஒட்டும் கோட்பாடு; 2. பிரதி மாறுதல் கோட்பாடு

ஒரு கோட்பாடு அறுந்து பரிவர்த்தனையாதல்(break and exchange) எனப்படும். இதன்படி கயாஸ்மா இடங்களில் பரிவர்த்தனையிலீடுபடும் குரொமேட்டிடுகள் அறுந்து ஒன்றோடொன்று மாறிச்சேர்ந்து கொள்ளுகின்றனவென்று கருதப்படுகிறது. இரண்டாவது கோட்பாடு அச்சுத் தேர்வுக் (copy choice) கோட்பாடு எனப்படும். இதன்படி குரொமொசோம்கள் இரட்டிக்கும்போது சில இடங்களில் ஒரு ஒத்த குரொமொசோமையும், மற்ற இடங்களில் வேறு ஒத்த குரொமொசோமையும் அச்சாக வைத்து இரட்டிப்பதால் வெவ்வேறு பகுதிகளில் வெவ்வேறு ஒத்த குரொமொசோம்களின் ஜீன் அமைப்பைப் பெறுகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. இப்படிப்பட்ட ஒத்த குரொமொசோம்கள் பைவெலன்டாகச் சேரும்போது ஒத்த குரொமேட்டிடு பகுதிகள் சேருவதால் கயாஸ்மாக்கள் உண்டாகின்றன என்று எண்ணப்படுகிறது.

அறுந்து பரிவர்த்தனையாதல் கோட்பாட்டின்படி குரோமொ சோம்கள் பைவெலன்டாகச் சேர்ந்தபிறகு பரிவர்த்தனை ஏற்படுகிற தென்றும், அதனால் கயாஸ்மா தோன்றுகிறதென்றும் கருதப்படு கிறது. ஆனால் அச்சுத் தேர்வுக் கோட்பாட்டின்படி குரொமொ சோம்கள் பைவெலன்டாகச் சேருவதற்கு முன்பே, அதாவது இரட்டிப்பின்போதே பரிவர்த்தனை ஏற்பட்டுவிடுகிறதென்றும், அப்பரிவர்த்தனையே பைவெலன்டில் கயாஸ்மாக்களாகத் தோன்று கின்றன என்றும் எண்ணப்படுகிறது. ஆனால் பொதுவாக ஒத்த குரொமொசோம்கள் மியாசிசின் சைகொனிமாவின் போதுதான் ஒன்றோடொன்று சேருகின்றனவேயன்றி மற்ற நேரங்களில் ஒன்றுக்கொன்று அருகாமையிலிருக்கின்றன என்பதற்கு ஆதாரங் களில்லை. அப்படியாயின் இரட்டிப்பின்போது ஒரு பகுதியில் ஒரு ஒத்த குரொமொசோமும் வேறு பகுதியில் வேறு ஒத்த குரோமோசோமும் அச்சுக்களாகச்செயல்பட ஏதுவில்லை. எனவே அறுந்து பரிவர்த்தனையாதல் கோட்பாடே உண்மையாகுமென்று இப்போது பலரால் கருதப்படுகிறது.

ஒரு பைவெலன்டில் ஏற்படும் கயாஸ்மா எண்ணிக்கையும் நடைபெறும் குறுக்கேற்றங்களும் வேறுபடுவனவாகும். பொது வாக நீளம் அதிகமாக இருக்கும் பைவெலன்டுகளில் அதிக கயாஸ்மாக்களும், நீளங்குறைந்தவற்றில் குறைவான கயாஸ் மாக்களும் ஏற்படுகின்றன. சில பைவெலன்டுகளில் கயாஸ்மா ஏற்படாமலிருப்பதுமுண்டு. பைவெலன்டின் நுனிகளில் ஏற்படும் கயாஸ்மா நுனிகயாஸ்மா (terminal chiasma) என்றும் நுனிகளுக் கிடையில் ஏற்படும் கயாஸ்மா இடைப்பட்ட கயாஸ்மா (Interetitial chiasma) என்றும் சொல்லப்படுகிறது. டிப்லொடீன் படியின் நேரம் செல்லச் செல்ல இடைப்பட்ட காயஸ்மாக்களின் எண் ணிக்கை குறைந்து நுனி கயாஸ்மாக்களின் எண்ணிக்கை அதி கரிக்கிறது. குரொமொசோம்கள் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று விலக விலக இடைப்பட்ட கயாஸ்மாக்கள் விலகி நுனிக்குச் செல்லு கின்றனவென்றும் நுனிகயாஸ்மாக்கள் விடுபட்டு விடுகின்றன என்றும் எண்ணப்படுகிறது. அவ்வாறு இடைப்பட்ட கயாஸ் மாக்கள் நுனிக்கு நகருவது நுனிர்தல் (terminalisation) என்று சொல்லப்படுகிறது.

டிப்லொட்டீன் படியில் ஒன்றைவிட்டு ஒன்று விலகுவதோடு, குரொமொசோம்கள் வேகமாகக் குறுகுகின்றன. அதனால் அவற்றின் திருகுச் சுருளமைப்பு நன்றாகத் தெரிகிறது. லெப்டொ டீன் படியிலேயே திருகுச் சுருள்கள் தொடங்குகின்றன. ஆனால் டிப்லொடீன் படியில் தான் தெளிவாகத் தெரியத் தொடங்கு

கின்றன என்று சிலரால் கருதப்படுகிறது. எப்படியாயினும் திருகுச் சுருளேற்படுவதே குரொமொசோம் குருகுவதற்கு முக்கிய காரண மாகும். டிப்லொடீன் முடிவிலும் நியூக்ளியோலசானது அதனோடு சம்பந்தப்பட்ட குரொமொசோம்களோடு இணைந்து காணப்படு கிறது. ஆனால் நியூக்ளியோலசின் அளவு சுருங்கிவிடுகிறது.

**டையகைனெசிஸ்**(Diakinesis) டிப்லொடீனுக் கும் டயகைனெசி சுக்கும் அதிக வேறுபாடு கிடையாது. டையகைனெசிசில் பைவெலன்டுகள் மேலும் குறுகுகின்றன. நூக்ளியோலசானது அதனோடு சம்பந்தப்பட்ட குரொமொசோம்களிலிருந்து விடு பட்டுப் பிரிந்துவிடுகிறது. பைவெலன்டுகளெல்லாம் நூக்ளியஸ் முழுதும், நூக்ளிய உறைக்கு அருகாமையில் சம தூரங்களில் பரவியமைகின்றன. குறுகுதல் அதிகரிக்க அதிகரிக்க, பைவெலன் டுகளின் இடைப்பட்ட கயாஸ்மாக்கள் விடுபட்டு நுனிக்கயாஸ் மாக்களாவதால், மொத்தத்தில் குட்டையான ஒவ்வொரு பைவெலன்டும் ஒரு வளையம் போன்ற உருவத்தை அடைகிறது. ஆனால் நீண்ட பை வெலன்டுகளில் எல்லாகயாஸ்மாக்களும் நுனிர் வதில்லை. எனவே இவை இரட்டை அல்லது அதற்கு மேற்பட்ட வளையங்களைப் போன்ற வடிவத்தைப் பெறுகின்றன. நூக்ளிய உறைச்சிதைவும் நூக்ளியோலஸ் மறைவும் டையகைனெசிஸ் படியின் கடைசிச் சம்பவங்களாகும்.

**மெட்டபேஸ் I:** நூக்ளிய உறையின் சிதைவைத் தொடர்ந்து இரட்டை துருவக் கதிரிழை சாதனம் தோன்றுகிறது. இதன் கதிரிழைகளோடு பைவெலன்டின் குரொமொசோம் சென்ட்ரோ மியர்கள் இணைகின்றன. பிறகு பைவெலன்டுகள் மெட்டபேஸ் இடமாகிய நடுவட்ட மட்டத்துக்கு நகர்ந்து செல்லுகின்றன. அவ்வாறு நகருவது புரொமெட்டபேஸ் அல்லது மெட்டகைனே சிஸ் எனப்படும். முழு மெட்டபேஸ் படியில் பைவெலன்ட் ஒவ்வொன்றும் அதன் இரு சென்ட்ரோமியர்களும் நடுவட்ட மட்டத்தின் இருபுறமும் இருக்கும்படி அமைகிறது.

மைட்டாசிஸ் பகுப்பின் மெட்டபேஸ் குரொமொசோம் களுக்கும், மியாசிஸ் முதல் பகுப்பின் மெட்டபேஸ் குரொமொ சோம்களுக்கும் பலவேறுபாடுகளுள்ளன. மைட்டாசிசின் போது ஒவ்வொரு குரொமொசோமின் சென்ட்ரோமியரும் நடுவட்ட மட்டத்திலமைந்து, இருதுருவங்களுக்குச் செல்லும் ஸ்பின்டில் இழைகளோடு இணைந்திருக்கிறது. ஆனால் மியாசிஸ் முதல் பகுப்பின் மெட்டபேசில் குரொமொசோம்கள் பைவெலன்டுகளாக வும், ஒவ்வொரு குரொமொசோமின் சென்ட்ரோமியர் நடுவட்ட

மட்டத்தில் ஒரு பக்கமாகவும் இருக்கின்றன. மற்றும் ஒவ்வொரு குரோமொசோமின் சென்ட்ரோமியரும் ஒரு துருவத்துக்குச் செல்லும் இழையோடு மட்டும் இணைந்திருக்கிறது. மேலும் ஒத்த குரோமொசோம்களின் குரோமேட்டிடுகளுக்கிடையே நடைபெற்ற பரிவர்த்தனையால் குரோமொசோம்கள், மெட்டாசிஸ் குரோமொசோம்களிலிருந்து சற்று வேறுபட்ட ஜீன் வரிசையைப் பெற்றவைகளாகலாம்.

நடுவட்டமட்டத்திலிருந்து பைவெலன்டின் சென்ட்ரோமியர்களுக்குள்ள தூரம் சென்ட்ரோமியருக்கு மிக அருகிலிருக்கும் கயாஸ்மாக்களின் தூரத்தைப் பொருத்ததாகும். கயாஸ்மாக்கள் சென்ட்ரோமியரை நெருங்கியிருந்தால் தூரம் குறைவாகவும், தூரமாக இருந்தால் தூரம் அதிகமாகவும் இருக்கிறது. எனவே கயாஸ்மாக்களின் எண்ணிக்கையும், இடமும், குரோமொசோம் புயங்களின் நீளமும் சேர்ந்து மெட்டபேஸ் பைவெலன்ட்டின் வடிவத்தை நிர்ணயிக்கின்றன.

குரோமொசோம்களின் அனபேஸ் நகர்வு தொடங்குவதற்கு முன்பே, பைவெலன்டின் இரண்டு சென்ட்ரோமியர்களும் ஒன்றையொன்று வலுவாக விலக்கித் தள்ளுகின்றன என்று தெரிகிறது. இது எப்படியென்றால் சென்ட்ரோமியர்களுக்கு இருபுறமும் கயாஸ்மாக்கள் நெருங்கியமைந்திருந்தால், சென்ட்ரொமியருக்கும் அதையடுத்த முதல் கயாஸ்மாக்களுக்கும் இடையிலுள்ள குரொமொசோம் பகுதி மற்ற பகுதிகளை விட மெலிந்து காணப்படுகிறது. இதிலிருந்து, சென்ட்ரோமியர்கள் ஒன்றையொன்று விலக்கித் தள்ளும் விசையால் அவற்றையடுத்த குரொமொசோம் பகுதிகள் நீண்டு மெலிகின்றன என்று தெரிகிறது.

**அனபேஸ் I:** பைவெலன்டின் நான்கு குரோமேட்டிடுகளும் இரண்டு குரொமொசோம்களாக இருதுருவங்களுக்கு விலகிச் செல்லுவதே அனபேசில் நடைபெறும் சம்பவமாகும். இரு துருவ இழைகளோடு இணைந்திருக்கும் இரண்டு சென்ட்ரோமியர்களும்இரு துருவங்களுக்கு நகரும் போது, கயாஸ்மாக்கள் விடுபட்டுக் கடைசியாக முழுதும் எடுபட்டு விடுகின்றன. கயாஸ்மா ஒட்டுகள் விலகியதும் குரொமொசோம் புயங்கள் விடுதலையடைந்து, முன்னே செல்லும் சென்ட்ரோமியரோடு தொடர்ந்து பின் செல்லுகின்றன. குரொமொசோமின் புயங்களொவ்வொன்றும் இரண்டாகப் பிளந்து, பிளவுகள் ஒன்றிலிருந்து ஒன்று தூரமாக விலகியிருக்கின்றன. ஆனால் குரோமேட்டிடுகள் சென்ட்ரோமியரில் சேர்ந்திருப்பதால், குரொமொசோமின் உருவத்தைப் பொருத்து, அதாவது மெட்டா,

சப்மெட்டா, அக்ரோ சென்ரிய வகைகளைப் பொருத்து, அனபேஸ் குரோமொசோமானது இரட்டை V, இரட்டை L அல்லது இரட்டை I போலத் தோற்றமளிக்கிறது. (படம் 14.10)

படம் 14.11

கலங்கா ஓட்ரேட்டா என்னுந் தாவரத்தின் மைக்ரோஸ்போர் தாய் செல்லின் சைமல்டேனியஸ் மியாசிஸ் பகுப்பு.

**டெலோபேஸ் I :** தாய் செல்லிலிருந்த குரோமொசோம் எண்ணிக்கையில் சரி பாதியான எண்ணிக்கையில் கதிரிழையின் இரு துருவமையங்களையடைந்தவுடனே, குரோமொசோம்கள்

பகுப்பிடை நிலை நூக்ளியசாக வடிவெடுக்கத் தொடங்குகின்றன. பெரும்பாலான உயிர்களில் நூக்ளிய உறை, நூக்ளியோலஸ் ஆகியவை தோன்றுவதுடன், குரோமொசோம்களின் உருவமும் மாற்றமடைகிறது. ஆனால் பொதுவாகப் பகுப்பிடை நிலை மிகக் குறைவான நேரமே இருப்பதால் குரோமொசோம்கள் முழு உரு மாற்றத்தையும் அடைய அவகாசமிருப்பதில்லை. மற்றும் நூக்ளியோலசின் அளவும் சிறிதாகவே இருக்கிறது.

**டிரில்லியம்:** (Trillium) என்ற தாவரத்தின் தாதுப்பையிலும் மற்ற சில விலங்குகள், தாவரங்களிலும், மியாசிஸ் முதல் பகுப்பின் டெலொபேசில் குரொமொசோம்கள் நூக்ளியசாக வடிவெடுப்பதில்லை. அனபேஸ் நகர்வு முடிந்து துருவத்தையடைந்தவுடனே இரண்டாவது பகுப்பின் மெட்டபேஸ் படிக்கு நேரடியாகத் தயாராகின்றன. இப்படிப்பட்டனவற்றில் முதல் பகுப்பின் டெலொபேசே இல்லை எனலாம்.

பெரும்பாலான தாவரங்களில் மியாசிஸ் முதல் பகுப்புக்குப் பிறகு தாய் செல்லானது, செல் தட்டாலோ அல்லது சைட்டொபிளாசக் குழிவாலோ இரண்டாகப் பகுக்கப்படுகிறது. அப்படித் தோன்றும் இரண்டு செல்களும் டையாடு (dyad) செல்கள் எனப் படுகின்றன. ஆனால் மற்ற தாவரங்களிலும் விலங்குகளிலும், முதல் பகுப்பிற்குப் பிறகு செல் பகுப்பு நடைபெறுவதில்லை. இரண்டு நூக்ளியஸ்களும் ஒரே செல்லின் எதிர்ப்பக்கங்களில் அமைந்திருக்கின்றன அவற்றின் இரண்டாவது பகுப்பும் முடிந்த பிறகே செல்லானது ஒரேயடியாய் நான்காகப் பகுப்புறுகிறது (படம் 14.11)

## மியாசிசின் இரண்டாம் பகுப்பு

மியாசிசின் இரண்டாம் பகுப்பு மைட்டாசிஸ் பகுப்பேயாகும் எனவே இது மியாசிய மைட்டாசிஸ் என்றும் குறிப்பிடப்படுகிறது, ஆனால் மைட்டாசிஸ் படிகளனைத்தும் நடைபெறுகின்றனவா என்பது முதல் பகுப்புக்கும் இரண்டாம் பகுப்புக்கும் உள்ள இடை நேரத்தையும் பொருத்ததாகும். பொதுவாக மைட்டாசிசிற்கும், மியாசிசின் இரண்டாம் பகுப்புக்கும் மூன்று வேறுபாடுகள் உள்ளன.

1 குரொமொசோம்கள் ஹெப்லாய்டு எண்ணில் இருக்கின்றன.

2. குரோமேட்டிடுகள் ஆரம்பத்திலிருந்தே ஒன்றோடொன்று முறுக்கிக் கொள்ளாமல், நன்றாகப் பிரிந்து காணப்படுகின்றன.

3. இரண்டு குரோமேட்டிடுகளின் ஜீன் வரிசை சற்றுமாற்ற மடைந்திருக்கலாமென்பதோடு, ஒரே குரோமொசோமின் இரு குரோமேட்டிடுகளுக்கிடையே ஜீன் வேற்றுமைகளிருக்கலாம்.

மியாசிஸ் முதல் பகுப்புக்கும் இரண்டாம் பகுப்புக்குமிடையே DNA இரட்டிப்போ குரோமொசோமிரட்டிப்போ நடைபெறுவதில்லை. அனபேஸ் I-ல் காணப்பட்ட குரோமொசோம்கள் எவ்வித மாற்றமுமில்லாமல் புரோபேஸ் II-ல் தோன்றுகின்றன. நூக்ளிய உறை தோன்றியிருந்தால் அது மெட்டபேஸ் IIக்கு முன்பு சிதைகிறது. கதிரிழைகள் தோன்றி அவற்றின் துருவங்களோடு ஒவ்வொரு குரோமொசோமின் சென்ட்ரோமியரும் இணைகிறது. குரோமொசோம்களின் சென்ட்ரோமியர்களெல்லாம் நடுவட்ட மட்டத்தை அடைந்த பிறகு சென்ட்ரோமியர்கள் பிளப்பதால் ஒவ்வொரு குரோமேட்டிடும் ஒரு குரோமொசோமாகிறது. குரோமொசோம் இழைகளோடு இணைந்த குரோமொசோம்கள் அனபேஸ் II-ல் துருவங்களுக்கு நகர்த்தப்படுகின்றன. டெலொபேஸ் II-ல் மொத்தம் நான்கு நூக்ளியஸ்கள் உருவாகின்றன.

டெலோபேஸ் I-ல் செல் பகுப்பு நடைபெற்றிருந்தால், டெலொபேஸ் II-ல் இரண்டு செல்களும் ஏக காலத்தில், முதல் செல் பகுப்பின் வழியில், அதாவது செல் தட்டினுலோ அல்லது சைட்டொபிளாசக் குழிவினாலோ, பகுப்புறுகின்றன. முதல் பகுப்பைத் தொடர்ந்து செல்பகுப்பு நடைபெறாதிருந்தால், சைட்டொபிளாசக் குழிவால் நான்கு நூக்ளியஸ்களும் நான்கு செல்களில் பிரிக்கப்படுகின்றன.

மியாசிசின் இரண்டு பகுப்புகளில், குன்றல் எப் பகுப்பில் நடைபெறுகிறதென்பது ஒரு சுவாரசியமான விஷயமாகும். குரோமொசோம்களின் எண்ணிக்கையை வைத்துப் பார்த்தால் குன்றலானது முதல் பகுப்பில் நடைபெறுகிறது. ஆனால் DNA அளவை வைத்துப் பார்த்தால் குன்றல் இரண்டாவது பகுப்பில் நடைபெறுகிறது. எப்படியென்றால் தாய் செல்லில் இரட்டித்த DNA யானது மியாசிஸ் முதல் பகுப்பில் மைட்டாசிசைப் போலவே இரண்டு நூக்ளியஸ்களுக்கும் சமமாகப் பங்கிடப்படுகிறது. அதனால் மியாசிஸ் முதல்பகுப்புக்குப் பிறகு தோன்றும் நூக்ளியஸ் ஒவ்வொன்றிலும் மைட்டசிசுக்குப் பிறகு தோன்றும் நூக்ளியஸ்களிலிருக்கும் அளவு DNA இருக்கும் இரண்டாவது பகுப்பில் DNA இரட்டிப்பு நடைபெறாமலே, ஒவ்வொரு நூக்ளியசிலுமுள்ள DNA

இரண்டு நூக்ளியஸ்களுக்கும் சமமாகப் பங்கிடப்படுவதால் DNA அளவு பாதியாகக்குறைகிறது.

நூக்ளியசின் DNA அளவு, இரட்டிப்பு முதலியவை அறியப் படுவதற்கு முன்பு, பகுப்பில் குரோமொசோம் எண்ணிக்கையே பிரதானமான அமிசமாகக் கருதப்பட்டதால் மியாசிசின் முதல் பகுப்பே குன்றல் பகுப்பு (reductional division) என்றும், இரண் டாவது பகுப்பு சமபங்கீட்டுப்பகுப்பு (equational division) என்றும் குறிப்பிடப்பட்டன. அப்பழக்கமே இன்றும் நடைமுறையி லுள்ளது. ஆனால் DNA அளவைப் பார்க்கும்போது முதல்பகுப்பே மைட்டாசிசைப் போன்ற சம பங்கீட்டுப் பங்காகவும், இரண் டாவது பகுப்பே குன்றல் பகுப்பாகவும் உள்ளன. இதைப் பார்க்கும்போது இவ்விரண்டு காரியங்களையும் ஒரே சமயத்தில் செய்வது சிக்கலாக இருக்கக் கூடுமாதலால், இரண்டும் தனித் தனியாக வெவ்வேறு பகுப்புகளில் செய்யப்படுகின்றன என்று தோன்றுகிறது.

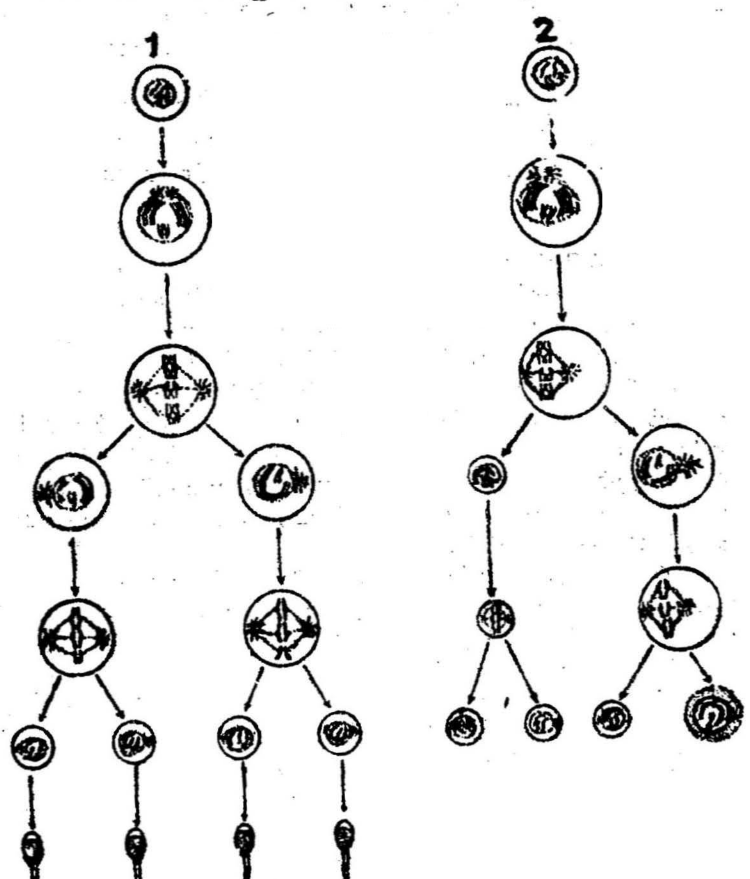
## கேமீட் தோற்றமும் வாழ்க்கைச் சுழலும்

மியாசிஸ் பகுப்பானது பாலினப் பெருக்கத்தின் விளைவாகு மென்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. பல செல்களைக் கொண்ட உயிர்களில், வெவ்வேறு செல்கள் வெவ்வேறு பணிகளைச் செய் வதற்கேற்ற உருவ அமைப்பையும், செயல் திறனையும் பெறு கின்றன. இந்தக் கண்ணோட்டத்தில் பார்க்கும் போது கேமீட்டு கள், பாலினப் பெருக்கத்துக்கான உருவ அமைப்பையும், செயல் திறனையும் பெற்றவை எனச் சொல்லலாம். இதற்கான தனி நடவடிக்கைகள், குன்றாத குரொமொசோம் எண்ணிக்கையைக் கொண்ட தாய் செல்லில் தொடங்குகிறது. அந்த செல் குன்றல் பகுப்புற்று அதனாலுண்டாகும் நான்கு செல்களிலிருந்து கேமீட்டு கள் தோன்றுகின்றன. தாய் செல்லில் தொடங்கி, தனியமைப் புடைய கேமீட்டாக உருவாகும் வரை நடைபெறும் சம்பவங்கள் கேமீடோஜெனிசிஸ் (gameto genesis) எனப்படும். இணையும் கேமீட்டுகளின் உருவமும், அமைப்பும், செயலும் மிக வேறு படுமாயின் அவற்றில் பெரிய, உருண்டையான, நகராத கேமீட் முட்டை (egg) அல்லது பெண் கேமீட் என்றும், பெரும்பாலும் சிறியதும், நீண்ட உருவத்தைக் கொண்டதும், நகர்ந்து இடம் பெயருவதுமான கேமீட் விந்து (sperm) அல்லது ஆண் கேமீட் என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன. இந்த இருவித கேமீட்டுகளின் உற்பத்தி ஊவோஜெனிசிஸ் (Oogenesis) என்றும், ஸ்பெர்மெட் டோஜெனிஸிஸ் (spermatogenesis) என்றும் சொல்லப்படும்.

விலங்குகளிலும், தாவரங்களிலும் இவை பொதுவாக எப்படி நடை பெறுகின்றன என்பதைப் பார்ப்போம்.

**விலங்குகளில் கேமீட் உற்பத்தி**

**ஸ்பெர்மெட்டோ ஜெனிசிஸ் :** உயர் விலங்குகளில் விந்துகள்




படம் 14812
விலங்குகளில் கேமீட் தோற்றம்.
1, ஆண்கேமீட்; 2, பெண்கேமீட்

ஆண் இனப் பெருக்க உறுப்பான டெஸ்டிஸ் (testis) அல்லது விறையில் உற்பத்தி செய்யப்படுகின்றன. குன்றல் பகுப்புக்குத் தயாராகும் செல்கள் ஸ்பெர்மெட்டொகோனியங்கள் (spermato gonia) எனப்படும் டெஸ்டிஸ் திசுவின் மைட்டாசிஸ் பகுப்பால் ஸ்மெர்மெட்டொகோனியங்கள் தொடர்ந்து உண்டாக்கப்படு கின்றன. முதலில் ஸ்பெர்மெட்டகோனியமானது உருவத்தில் பெரிதாகி பிரைமரி ஸ்மெர்மெட்டோசைட்டாக (primary spermato cyte) மாறுகிறது. பிறகு மியாசிஸ் முதல் பகுப்பால் ஒவ்வொரு பிரைமரிஸ் பெர்மெச்டோசைட்டும் இரண்டு செகன்டரி ஸ்பெர் மெட்டோ சைட்டுகளாகின்றன. இவ்விரண்டின் பகுப்பாலுண் டாகும் நான்கு செல்களும் ஸ்பெர்மேட்டிடுகள் (spermatids) எனப் படும். (படம் 14.12)

ஒரு ஸ்பெர்மேட்டு, முட்டையைக் கருவுறுத்துவதற்கேற்ற விந்தாக மாறும் சம்பவம் ஸ்பெர்மியோஜெனிசிஸ் (spermiogenesis) எனப்படும். இது போதில் பெரிய, உருண்டையான, நகராத ஸ்பெர்மேட்டிடு, சிறிய, நீண்ட, நீந்தி நகரும் விந்தாக வடிவெடுக் கிறது. பெரும்பாலான விலங்குகளில் ஸ்பெர்மேட்டிடின் முதல் மாற்றம் அக்ரொசோம் (acrosome) அல்லது உச்சியுறுப்பு (apical body) என்பது உண்டாவதும், ஒரு சென்ட்ரியோலிலிருந்து ஃபிளாஜெல்லம் அல்லது விந்தின்வால் (sperm tail) வளருவது மாகும். உருண்டையான ஸ்பெர்மேட்டிடு, முட்டை வடிவமாக மாறும் போது, சைட்டொபிளாசத்தின் பெரும் பகுதி வெளியே தள்ளப்படுகிறது. நியூக்ளியசானது செல்லின் ஒரு ஓரத்துக்குச் சென்று, நீண்டு ஒரு ஒழுங்கான அமைப்பைப் பெறுகிறது. பெரும் பகுதி கோல்கி உறுப்பிலிருந்து உற்பத்தியாகும் அக்ரொசோம் விந்தின் தலைப்பாகத்தைச் சுற்றியமைகிறது. சில விலங்குகளின் விந்தில் அக்ரொசோம் முட்டையைத் துளைத்து உட்புகுவதற்கே துவாகக் கூர்நுனியைப் பெறுகிறது. ஆனால் மற்ற செல்களில் அக்ரொசோம் கூர்நுனியற்று, முட்டையின் வெளிச்சவ்வை வேதிக்கிரியையால் கரைத்து உட்புகுவதற்கேற்றவாறு அமை கிறது. (படம் 14,13)

விந்தின் வால் மைய இழை, சுற்றுச் சூழல் என்ற இரண்டு பகுதிகளைப் பெற்றிருக்கிறது. சுற்றுச் சூழலானது சைட்டொ பிளாசத்திலிருந்து உண்டாகிறது. மைய இழையானது (axial filament) ஸ்பெர்மேட்டிடின் ஒரு சென்ட்ரியோலின் ஒரு நுனியின் நீட்சியால், விந்தின் தலைப்பகுதியிலிருந்து வாலின் நுனிவரை சுற்றுச் சூழலின் நடுமையத்தில் நீண்டு அமைகிறது. மைய இழையைத் தோற்றுவிக்கும் சென்ட்ரியோலின் மற்ற நுனிப்

பகுதியும், மற்ளுெரு சென்ட்ரியோலும், சற்று உருமாறிய மைட்டொ கான்றியத் தொகுதியும் சேர்ந்து நடுத்துண்டு (middle piece) எனப்படும் ஒரு அமைப்பாக வடிவுறுகின்றன. (படம் 14.14) நடுத்துண்டு விந்தின் தலைக்கும் வாலுக்கும் இடையில் அமைந் திருப்பதாகும்.

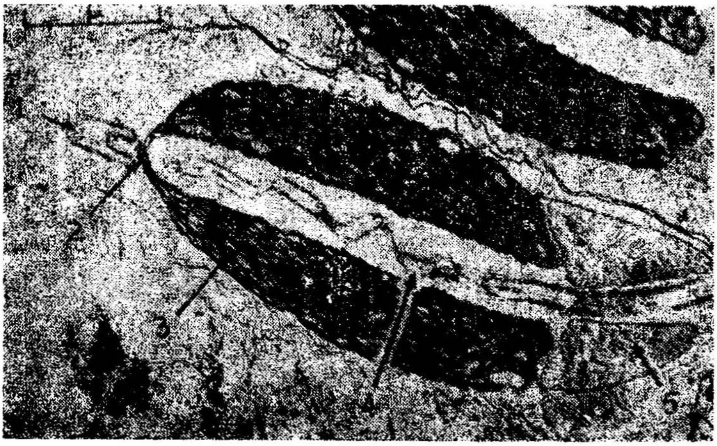
படம் 14.13

எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில் கடல் அர்ச்சினுடைய விந்தின் நீள் வெட்டுத் தோற்றம்.

1. அக்ரொசோம் வெசிகிள்; 2. சப் அக்ரொசோம் பகுதி; 3. நூக் ளியஸ்; 4. முன் பகுதி சென்ட்ரியோல்; 5. மைட்டொகான்றியம்; 6. ஃபிளாஜெல்லம்.

பால் முதிர்ச்சியடைந்த ஆண் விலங்குகள் பெரும்பாலான வற்றின் டெஸ்டிசில் ஸ்பெர்மெட்டோஜெனிசிசானது இடை

விடாது நடந்து பலகோடிக்கணக்கான விந்துகள் தொடர்ந்து தோற்றுவிக்கப்படுகின்றன. அநேக பூச்சி இனங்களில், ஸ்பெர் மெட்டோஜெனிசிஸ் சம்பவம் நடக்க ஒரு சில நாட்களே போதும். ஆனால் பாலூட்டிகளில் இச்சம்பவம் பல வாரங்கள் அல்லது மாதங்கள் பிடிக்கலாம். எடுத்துக் காட்டாக, மனிதனில், ஸ்பெர் மெட்டோகோனியத்திலிருந்து முதிர்ந்த விந்து தோன்றுவதற்குச் சுமார் 74 நாட்களாகின்றன. ஸ்பெர்மெட்டோசைட்டின் லெப் டொடீன் தொடக்கத்திலிருந்து முதிர்ந்த விந்து உண்டாக 48 நாட் களாகின்றன.



படம் 14.14

நூசெல்லா லேப்பிலஸ் என்னும் விலங்கின் விந்து நீள்வெட்டுத் தோற்றம்; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில்.

1. வளரும் அக்ரொசோம்; 2. இடைச்சவ்வு; 3. நியூக்ளியஸ்; 4. ஃபிளாஜெல்லக்காம்பின் திருகுச்சுழல் பகுதி; 5. வளரும் நடுப்பகுதி யின் மைட்டொகான்றியம்.

**ஊவோஜெனிசிஸ்:** குரொமொசோம் நடவடிக்கைகளைப் பொருத்தவரை, ஊவோஜெனிசிசும், ஸ்பொர்மெட்டோஜெனி சிசைப் போன்றதேயாகும். ஆனால் மற்ற அமிசங்களில் இரண்டும் மிக வேறுபட்டனவாகும். முக்கியமாக, விந்தில் சேமிக்கப்படும் உணவுப் பொருள்களைவிட மிக அதிகமான உணவுப் பொருள் முட்டையில் சேமிக்கப்படுகிறது. முட்டையிட்டுக் குஞ்சு பொரிக்கும் விலங்குகளில் உணவு சேமிப்பு உச்சநிலையை அடை கிறது. ஏனெனில் இவற்றின் கரு தாய் விலங்கின் உடலுக்கு வெளியே வளருவதால் அதன் வளர்ச்சிக்குத் தேவையான உணவுப் பொருள் முழுதும் முட்டையில் சேமித்து வைக்கப்பட

வேண்டியுள்ளது. தாயுடலினுள் கரு வளர்ந்து குட்டிபோடும் விலங்குகளிலும், முட்டையில் பெருமளவு உணவு சேமிக்கப்படு கிறது. உணவு சேமிக்கப்படும் காரணமாகவே முட்டை விந்தினை விட உருவத்தில் பெரிதாக இருக்கிறது.

ஊவோஜெனிசிசுக்கும், ஸ்பெர்மெட்டோஜெனிசிசுக்குமுள்ள மற்றொரு வேற்றுமை, ஊவோஜெனிசிசின் மியாசிஸ் பகுப்பினு லுண்டாகும் செல்கள் சம அளவானவைகளல்லவென்பதாம். பிரைமரி ஊவோசைட்டின் (primary oocyte) மியாசிஸ் முதல் பகுப்பினுல் யோக் (yolk) எனப்படும் உணவுப் பொருளைப் பெருமளவுப் பெறும் ஒரு பெரிய செல்லும் மிகக் குறைவான யோக்கைப் பெறும் ஒரு சிறிய செல்லும் உண்டாகின்றன. பெரிய செல் செகன்டரி ஊவோசைட் (secondary oocyte), சிறிய செல் முதல் போலார் பாடி (first polar body) என்றும் குறிப்பிடப்படு கின்றன. செகன்டரி ஊவோசைட்டின் இரண்டாவது பகுப்பிலும் ஒரு பெரிய செல்லும், ஒரு சிறிய செல்லும் உண்டாகின்றன. பெரிய செல்லே முட்டையாகும். சிறிய செல் இரண்டாம் போலார்பாடி எனப்படும். முதல் போலார்பாடியும், இரண்டாம் போலார் பாடியும் ஊவோசைட்டுகள் பெறும் அதே குரோமோ சோம்களைப் பெறுகின்றனவெனினும் அவை முட்டைகளாகச் செயல்படுவதில்லை. ஸ்பெர்மெட்டோஜெனிசிசின், ஸ்பெர்மேட்டிடு களுக்கிணையானபடி ஊவோஜெனிசிசில் கிடையாது. மற்றும் முட்டையுண்டாவதில் ஸ்பெர்மியோஜெனிசிஸ் போன்ற படிகளும் கிடையாது. ஏனென்ருல் முட்டை செயல் திறனடைய உருமாற்றம் தேவைப்படுவதில்லை.

சில விலங்கினங்களில், பால் முதிர்ச்சியடைந்த பெண்களில் ஊவோஜெனிசிஸ் தொடர்ந்து நடைபெற்று ஏராளமான முட் டைகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன. பொதுவாகக் கருவுறுதலுக்கு முன்பாகவே இரண்டாவது மியாசிஸ் பகுப்பு நடைபெற்று இரண் டாவது போலார் பாடியும், முட்டையும் உண்டாகின்றன. ஆனல் பாலூட்டிகளை உள்ளிட்ட பல விலங்குகளில், விந்து நுழைந்த பிறகே இரண்டாவது மியாசியப் பகுப்பு நடைபெறுகிறது.

மனித இனத்தில், பெண் குழந்தை பிறப்பதற்குமுன்பே அதன் ஊவோஜெனிசிஸ் தொடங்குகிறது. கருவின் ஓவரியில் (ovary) இருக்கும் ஊகோனியங்கள், கருவளர்ச்சியின் மூன்ருவது மாதத்திலேயே பிரைமரி ஊவோ சைட்டுகளாக மாறுகின்றன. பெண் குழந்தை பிறக்கும்போது அதன் பிரைமரி ஊவோசைட் டுகள் மியாசிஸ் முதல் பகுப்பின் புரொபேஸ் படியிலிருக்கின்றன.

ஆனால் பெண் வளர்ந்து பால் முதிர்ச்சியடையும் வரை, அதே நிலையில் தொடர்ந்து இருக்கின்றன. பிறகு ஓவரி செல்களான ஃபாலிகிள்கள் (follicles) என்பவற்றில் மியாசிஸ் திரும்பவும் தொடங்கி நடைபெறுகிறது. ஒரு முட்டை வெளிவிடப் படுவதற்கு முன்னால் முதல் மியாசிஸ் பகுப்பு முடிவடைந்து, பிரைமரி ஊவோசைட்டும், முதல் போலார்பாடியும் உண்டாகின்றன. பிரைமரி ஊவோசைட்டில் இரண்டாவது பகுப்பு தொடங்கியவுடனே அது ஓவரியிலிருந்து வெளியேறி ஃபெல்லோப்பியன் குழலை (Fallopian tube) அடைகிறது. ஆனால் அக்குழலில் அது விந்து வொன்றால் கருவுற்றாலல்லது இரண்டாவது மியாசியப் பகுப்பு நடைபெற்று முடிவதில்லை. கருவுற்றால் இரண்டாவது பகுப்பு நடைபெற்று முட்டையும் இரண்டாம் போலார் பாடியும் உண்டாகின்றன. முட்டையின் நூக்ளியசில் 23 குரொமொசோம்களுள்ளன. விந்தின் தலைப் பகுதியிலிருந்து 23 குரொமொசோம்களைக் கொண்ட புரொநியூக்ளியஸ் உண்டாகிறது. இரண்டு நூக்ளியஸ்களும் சேருவதால் 46 குரொமொசோம்களைக் கொண்ட சைகோட் உண்டாகி மைட்டாசிஸ் பகுப்பை உடனே தொடங்குகிறது.

## தாவரங்களில் கேமீட் தோற்றம்

பெரும்பாலான தாவரங்களின் வாழ்க்கைச் சுழலில் தலைமுறை மாற்றம் (Alternation of generation) என்ற நிகழ்ச்சி ஏற்படுவதால் அவற்றின் கேமீட் தோற்றம், விலங்குகளிலிருந்து சில அமிசங்களில் வேறுபடுகிறது. குரொமொசோம் எண்ணிக்கையைப் பொருத்துப் பாலினவிருத்தி செய்யும் எல்லா உயிர்களிலும் ஹெப்லாய்டு எண்ணிக்கையும், டிப்லாய்டு எண்ணிக்கையும் அடுத்தடுத்து மாறிவருகின்றன. இது செல்லியத் தலைமுறை மாற்றம் (Cytological alternation of generation) எனப்படும் பல செல்களைக் கொண்ட உயிர்களில், இவ்விரண்டு தலை முறைகளில் எந்தத்தலை முறை ஒரு செல்லுக்கு அதிகமாக வளருகிறதோ அது உடலியத் தலைமுறையும் (morphological generation) ஆகிறது. விலங்குகளில் ஹெப்லாய்டு தலைமுறையானது, கேமீட்டாகிய ஒரு செல் நிலைக்குமேல் உடலியத் தலைமுறையாக வளருவதில்லை. ஆகவே அவற்றில் உடலியத் தலைமுறை மாற்றம் ஏற்படுவதில்லை. ஆனால் பெரும்பாலான தாவரங்களில் இரண்டு தலைமுறைகளுமே, ஒன்றுக்குமேற்பட்ட செல்களைக் கொண்ட உடலியத்தலைமுறையாக வளருகின்றன. அதுவுமன்றி அநேக தாவரங்களில் இரண்டு உடலியத் தலைமுறைகளும் வெவ்வேறு உடலங்களாகவும் தனித்தியங்குகின்றன. எனவே ஹெப்லாய்டு உடலும், டிப்லாய்டு உடலும் அடுத்தடுத்து மாறிவருவதால் இது உண்மையான தலை

முறை மாற்றமாகிறது. டிப்லாய்டு உடல் ஸ்போரோபைட் (Sporophyte) என்றும், ஹெப்லாய்டு உடல் கேமீடோபைட் (gametophyte) என்றும் அழைக்கப்படுகின்றன. டிப்லாய்டு தலை முறையில் தான் மியாசிஸ் நடைபெறுகிறது. ஆனால் மியாசிசா லுண்டாகும் செல்கள் கேமீட்டுகளாகச் செயல்படாமல் மைட்டா சிஸ் பகுப்புற்று ஹெப்லாய்டு படலமாக வளருகிறது. டிப்லாய்டு தலைமுறையில் உடலுக்கு வெளியே இது வளர்ந்தால் ஹெப்லாய்டு தலைமுறையாகும். பிறகு ஹெப்லாய்டுதலைமுறையில் மியாசிஸ் பகுப்பு நடைபெறுமலே கேமீட்டுகள் உண்டாக்கப்படுகின்றன.

**ஆண்கேமீட்தோற்றம்:** ஆஞ்சியொாஸ் பெர்ம்களைத் தவிர்த்த மற்ற தாவரங்களில் ஆண்கேமீட்டுகள், சிலியங்களைக் கொண்டு நகருந்திறனுடையனவாகும். பொதுவாக சிலியங்களின் எண் ணிக்கை இரண்டு அல்லது அதற்கும் மேற்பட்டதாக இருக்கலாம். இவை ஒரு செல்லாலான ஸ்பெர்மெட்டாஞ்சியத்திலோ, பல செல் களாலான ஆந்தீரியத்திலோ தோற்றுவிக்கப்படலாம். ஹெப் லாய்டு உடலத்தின் செல், விந்தாக மாறுவது விலங்குகளின் ஸ்பெர்மியோ ஜெனிசிசைப்போன்ற சிக்கலான நிகழ்ச்சியே யாதும். தாவர விந்திலும் குறைந்த அளவான சேமிப்புப் பொருள்களே இருக்கின்றன.

ஆஞ்சியொஸ் பெர்ம் தாவரங்களில் மட்டும் விந்து சிலியங் களற்று, நகரக் கூடாததாக இருக்கிறது. விந்துகள், தாது அல்லது மகரந்தம் எனப்படும் செல்லினுள் தோற்றுவிக்கப்படு கிறது. இவற்றின் தோற்றத்தில் சிக்கலான மாற்றங்களிருப்ப தாகத் தெரியவில்லை. நகர முடியாத விந்துகள், தாதிலிருந்து வளரும் தாதுக் குழலின் வழியாக எவ்வாறோ முட்டைக் கருகாகக் கொண்டு செல்லப்படுகின்றன. மியாசிஸ் பகுப்பால் தோன்றும் தாதின் முதல் மைட்டாசிஸ் பகுப்பைத் தொடர்ந்து ஒரு பெரிய செல்லும், வில்லை வடிவான சிறிய செல்லும் உண்டாகின்றன. பெரிய செல் வெஜிடேடிவ் செல் (vegetative cell) என்றும், சிறிய செல் ஜெனரேட்டிவ் செல் (generative cell) என்றும் சொல்லப்படு கின்றன. (படம் 14.15) ஜெனரேட்டிவ் செல்லானது தாதி னுள்ளோ அல்லது தாதுக் குழலிலோ பகுப்புற்று இரண்டு விந்து களாகிறது. விந்து நடுவிலமைந்த நூக்ளியசையும், சுற்றிலும் மெல்லிய சைட்டோ பிளாசப்படலத்தையும்கொண்டதாகவுள்ளது. (படம் 14.16)

**முட்டைத் தோற்றம் :** தாவரங்களில் முட்டைத் தோற்றமான ஊவோஜெனிசிஸ், விலங்குகளினதை விடவும் எளிதாகும் போலாா்

பாடிகள் தாவரங்களிலுண்டாவதில்லை. ஆனால் பெரும்பாலான ஆஞ்சி யொஸ்பெர்ம் தாவரங்களில், மியாசிஸ் பகுப்பாலுண்டாகும் நான்கு செல்களில் மூன்று அழிந்துபட, ஒன்று மட்டும் மேற் கொண்டு மைட்டாசிஸ் பகுப்புற்று பெண் கேமீடோபைட்டாக

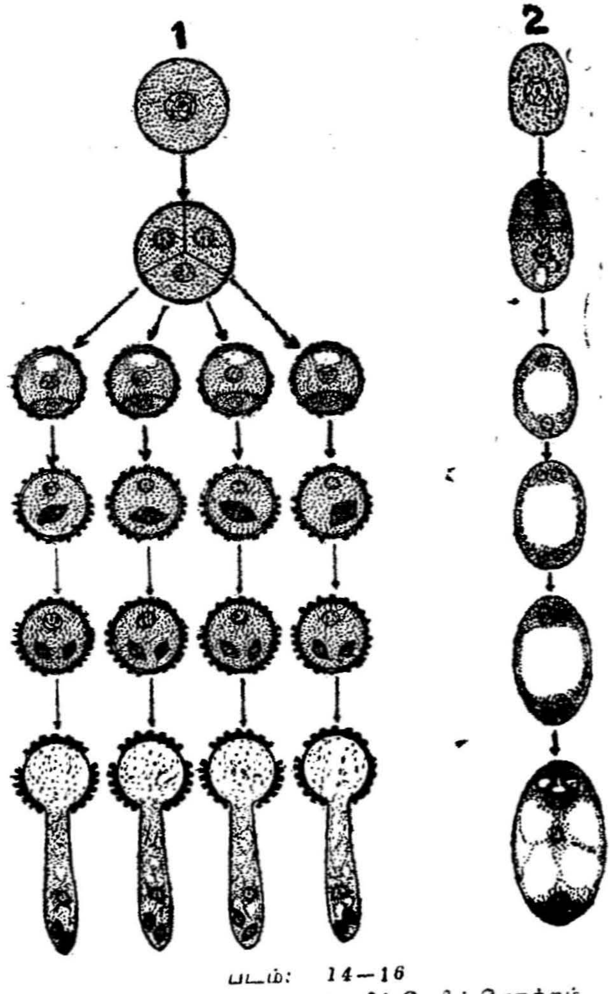
படம் 14.15

ஆஞ்சியொஸ்பெர்ம் தாவரத் தாது மணியில், வெஜிடேடிவ் செல்லினுள் புதைந்திருக்கும் ஜெனரேடிவ் செல் தோற்றம் எலெக்ட்ரான்மைக்ராஸ்கோப்பில்.

1. ஜெனரேடிவ் செல்சவ்வு; 2. வெஜிடேடிவ் செல்சவ்வு; 3. வெஜிடேடிவ் செல்லின் சைட்டொபிளாசம்; 4. வெஜிடேடிவ் நியூக்ளியஸ் 5. ஜெனரேடிவ் நியூக்ளியஸ்; 6. தாது மணியின் எக்சைன் சுவர்.

வளருகிறது. ஆஞ்சியொஸ்பெர்ம் தாய்த் தாவரத்தின் சூலினுள் வளரும் பெண் கேமீடோபைட்டானது கருப்பை (embrayo sac) எனப்படும். இதனுள் முட்டை உருவாகிறது. முட்டையைத் தவிர, சினெர்ஜிடுகள், ஆன்டிபோடல் செல்கள், செகன்டரி

நூக்ளியஸ்கள் முதலியனவும் கருப்பையினுள்ளுருவாகின்றன. (படம் 14.16) ஆஞ்சியோஸ்பெர்ம்களைத் தவிர மற்ற பெரும்பாலான




படம்: 14—16
ஆஞ்சியொஸ்பெர்ம் தாவரங்களில் கேமிட் தோற்றம்.
1. ஆண்கேமிட்; 2. பெண்கேமிட்.

தாவரங்களில், ஒரு செல்லாலான ஊகோனியம் என்பதிலோ, பல செல்களாலான ஆர்கிகோனியம் (archegonium) என்பதிலோ

முட்டை உண்டாகிறது. தாவரங்களின் முட்டையிலும் விலங்குகளினதைப் போல் அதிக உணவுப் பொருள்கள் சேமிக்கப்படுகின்றன. ஆனால் ஆஞ்சியொஸ்பெர்ம் தாவரங்களில் கரு வளர்ச்சிக்கான உணவு, கருவுற்ற பிறகு வளரும் என்டொஸ்பெர்ம் அல்லது கருவூண் எனப்படும் திசுவாலளிக்கப்படுகிறது. முட்டையும், விந்தும் சேர்ந்துண்டாகும் சைகோட்டிலிருந்து கருவும், மற்றொரு விந்தும் செகன்டரி நூக்ளியசும் சேர்வதாலுண்டாகும் நூக்ளியசிலிருந்து கருவூனும் வளருகின்றன.

# 15. மரபுக் குறியீடும் புரோட்டீன் தயாரிப்பும்

இதுவரை செய்யப்பட்டுள்ள பல ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, பெரும்பாலான உயிர்களின் அடிப்படை மரபுப்பொருளாகச் செயல் படுவது DNA என்று தெரிய வந்துள்ளது. ஒரு சில வைரஸ்களி லும், பாக்டீரியங்களிலும் மட்டுமே RNA மரபுப் பொருளாக இருக் கிறது. உயிரின் இயல்பு, அமைப்பு, செயல், இயக்கம் முதலிய அனைத்துக்கும் அவற்றின் மரபுப் பொருளே அடிப்படையானதாக இருக்க வேண்டுமாகையால், மரபுப் பொருளின் அடிப்படையில் அவை எவ்வாறு வெவ்வேறு அமைப்பும், இயல்பும், இயக்கமும் கொண்டவைகளாகின்றன என்பது உயிரியலறிவில் மிக முக்கிய மான விஷயமாகும்.

DNA என்ற ஒரே பொருள் தம்முள் வேறுபடும் பல்லாயிரக் கணக்கான உயிர்களுக்கும் மரபுப் பொருளாக எப்படிச் செயல்பட முடியும் என்பது, DNA அமைப்பைப் பற்றி விவரித்த முன்னொரு அத்தியாயத்தில் குறிப்பிடப்பட்டது. அதாவது அது எத்தனை நூக்ளியொசைடுகள் வேண்டுமென்றாலும் இணைந்து எவ்வளவு நீளமான மூலக்கூறாக வேண்டுமென்றாலும் வடிவுறலாமென்றும், அதன் மூலக்கூறில் இருக்கும் நான்கு வெவ்வேறுவிதகார இணைப்பு களின் வரிசை பல்லாயிரக்கணக்கான வகைகளான வேறு பாட்டைத் தோற்றுவிக்கலாம் என்றும் சொல்லப்பட்டது. இப்படி வேறுபடக் கூடிய இயல்பும் எப்படிப்பட்ட அமைப்பாயினும் அவ்வமைப்பு மாறாமல் இரட்டிக்குந் தன்மையும் DNA வை மரபுப் பொருளாகச் செயல்பட ஏற்றதாகச் செய்கின்றன.

ஒரு உயிருக்கும், மற்றொரு உயிருக்கும் இரண்டு வகையான DNA வேற்றுமை இருக்கலாம். ஒன்று DNA யின் அளவு மாறு படுவது, மற்றொன்று DNA யின் அமைப்பு மாறுபடுவது. உண்மையில் உயிர்களுக்கிடையில் இவ்விரண்டுவித வேற்றுமை களும் உள்ளன என்று தெரிகிறது.

ஒரு செல்லின் நூக்ளியசிலிருக்கும் DNA அளவைத் துல்லிய மாக அளந்தறியக் கூடுமாதலால் மேற்சொன்ன இருவகை

வேற்றுமைகளில், அளவு வேற்றுமையை எளிதில் கண்டறியலாம். இதுபற்றிச் செய்யப்பட்ட ஆய்வுகளிலிருந்து, பாக்டீரியங்களி லிருந்து பாலூட்டி விலங்குகள் வரை ஒரு செல்லிலிருக்கும் DNA அளவு சுமார் $10^3$, அதாவது 1000 மடங்கு படிப்படியாக அதிகரிக் கிறது என்று தெரிய வந்துள்ளது. ஆனால் இப்படிப்படியான அதிகரிப்புக்குப் பல விதிவிலக்குகளுள்ளன. ஆனால் பாலூட்டிகள் பறவைகள், பல்லியினங்கள் முதலிய தொகுதிகளுக்குள் DNA அளவு 10 சதவீதத்துக்கு மேல் வேறுபடுவதில்லை. சில உயிர் களில் காணப்படும் DNA அளவு கீழ்வரும் பட்டியலில் கொடுக்கப் பட்டுள்ளது.

பட்டியல் 15.1

சில யூகேர்ய உயிர்களின் ஹெப்லாய்டு குரோமோசோம் தொகுதியிலிருக்கும் DNA அளவு

| உயிரின் பெயர் | DNA அளவு | |
|---|---|---|
| ஈஸ்ட் (yeast) | $0.02 \times 10^{-9}$ | மில்லி கிராம் |
| ஸ்பாஞ்சு (Sponge) | $0.06 \times 10^{-9}$ | ,, |
| ஜெல்லி மீன் (Jelly fish) | $0.33 \times 10^{-9}$ | ,, |
| கடல் அர்ச்சின் (Sea urchin) | $0.9 \times 10^{-9}$ | ,, |
| ஆம்ஃபியாக்சிஸ் (Amphioxis) | $0.5 \times 10^{-9}$ | ,, |
| வளர்ப்புக் கோழி | $1.7 \times 10^{-9}$ | ,, |
| தேரை | $3.0 \times 10^{-9}$ | ,, |
| தவளை | $7.0 \times 10^{-9}$ | ,, |
| மனிதன் | $3.0 \times 10^{-9}$ | ,, |

குறிப்பு: எஷ்ரிஷியா கோலி (Echerichia coli) என்ற பாக்டீரி யத்தின் DNA $0.004 \times 10^{-9}$ மில்லி கிராமாகும்.

DNAயின் அளவு வேறுபாட்டைக் கண்டறிவது போல், அமைப்பு வேறுபாட்டைக் கண்டறிவது எளிதல்ல. ஏனெனில் DNAயில் வேறுபடும் ஒரே அமிசமாகிய நைட்ரஜன் கார இணைப்பு வரிசையை அறியக் கூடிய வழிவகைகள் இன்னும் கண்டுபிடிக்கப் படவில்லை. நான்கு காரங்களின் விகிதத்தை மட்டுமே கண்டறிய முடியும். ஆனால் இதிலிருந்து அவற்றின் வரிசைக்கிரமம் என்ன என்பதைத் தெரிந்துகொள்ள முடியாது. எனினும் DNA மூலக் கூறின் காரவரிசை, உயிருக்குயிர் வேறுபடுவதே அவற்றின் அமைப்பு, இயக்கம், செயல் ஆகியவற்றில் உயிர்கள் வேறுபடக் காரணமென்று அனுமானிக்கப் பல ஆதாரங்களுள்ளன. அப்படி யாயின் DNA மூலக்கூறின் கார வரிசை வேற்றுமை, உயிர்களில்

வெளிப்படையாகக் காணப்படும் வேற்றுமைகளை எவ்வாறு தோற்றுவிக்கிறது என்ற கேள்வி எழுகிறது. மற்றும் மரபியலாய்வு களிலிருந்து உயிரின் உருவ, செயல் பண்புகள் ஜீன் எனப்படும் மரபியலலகோடு நெருங்கிய தொடர்புடையன என்று தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஆகவே மரபுக்கு அடிப்படையான DNA மூலக் கூறுக்கும், மரபின் வெளித்தோற்றமான உருவ, செயல் பண்பு களுக்கும் இவற்றினிடையேயுள்ள ஜீன் அலகுகளுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன என்ற கேள்வியும் எழுகிறது.

DNA மூலக்கூறோ, ஜீன் அலகுகளோ எவ்வாறு வெளித் தோற்ற இயல்புகளைத் தோற்றுவிக்கின்றன என்ற முக்கியமான கேள்விக்கு இதுகாறும் விடை காணப்படவில்லை. எனினும் DNA யானது ஜீன் அலகுகளாயமைந்து, செல்லில் உற்பத்தி செய்யப் படும் நொதிகளின் தயாரிப்பைக் கட்டுப்படுத்துகின்றன என்ற ஒரு உண்மை மட்டும் தெரிய வந்துள்ளது. ஏற்கெனவே சொல்லப் பட்டபடி, செல்லில் நடைபெறும் ஒவ்வொரு வேதிக்கிரியையும் நொதிகளின் ஈடுபாட்டாலும், கிரியாஊக்குத் தன்மையாலுமே நடைபெறுகின்றன. ஒரு குறிப்பிட்ட நொதி இல்லையேல் குறிப்பிட்ட கிரியை நடைபெற முடியாது. எனவே குறிப்பிட்ட நொதிகளைக் குறிப்பிட்ட நேரங்களிலும், குறிப்பிட்ட செல்களிலும் உற்பத்தி செய்வதன் மூலம், வேதிக்கிரியைகளின் போக்கை மாற்றுவதன் மூலமாகச் செல் திசு, அவயம், உயிர் ஆகியவற்றின் இயல்புகளும் செயல்திறனும், போக்கும் கட்டுப்படுத்தப்பட்டு, ஓர் உயிரின் இயல்பான வழியில் செலுத்தப்படுகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. நொதிகளெல்லாம் புரோட்டீன் அமைப்பைக் கொண்டனவாகு மென்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. எனவே நொதியுற்பத்தி என்பது புரோட்டீனுற்பத்தியேயாகும். ஆகவே செல்லில் காணப்படும் நூற்றுக்கணக்கான புரோட்டீன்களின் உற்பத்தியை DNA எவ்வாறு கட்டுப்படுத்துகிறது என்பதை நாமறிய வேண்டி யுள்ளது.

## புரோட்டீன் அமைப்பும் மரபுக் குறியீடும்

புரோட்டீன்களினமைப்பு ஏற்கெனவே விவரிக்கப் பட்டுள்ளது. புரோட்டீன் களினமைப்பையும், DNA அமைப்பையும் ஒப்பு நோக் கும்பொழுது இரண்டுக்கும் ஒரு முக்கியமான ஒற்றுமையிருப்பது புலனாகும். புரோட்டீன்கள் சுமார் 20 விதமான அமினோ அமிலங் களின் வரிசையாலமைந்திருப்பது போல் DNA யில் நான்கு விதமான காரங்களின் வரிசையுள்ளது. ஒரு புரோட்டீன் மற்றொரு புரோட்டீனிலிருந்து வேறுபடுவதற்குக் காரணம், வெவ் வேறான அமினோ அமில வரிசையாகும். அதே போல் ஒரு

உயிரின் DNA மூலக்கூறு மற்றொரு உயிரின் DNA மூலக்கூறிலிருந்து காரவரிசையின் வேற்றுமையால் வேறுபடுகிறது. இவற்றிலிருந்து, DNA மூலக்கூறின் காரவரிசைக்கும், அதனால் கட்டுப்படுத்தப்படும் புரோட்டீன்களின் அமினோ அமில வரிசைக்கும் சம்மந்தமிருக்க வேண்டுமென்று அனுமானிக்கலாம். அதாவது DNA மூலக்கூறின் காரவரிசை, புரோட்டீன் மூலக்கூறின் அமினோ அமில வரிசையை நிர்ணயிக்கும் குறியீடாகச் செயல்படலாம். அப்படியானால் DNAயின் நான்கு காரங்களின் வரிசை, சுமார் 20க்கும் மேற்பட்ட அமினோ அமிலங்களுக்குக் குறியீடாவதெப்படி?

DNA குறியீட்டின் தன்மையை நேரடியாக அறிய வேண்டுமென்றால் குறிப்பிட்ட DNA மூலக்கூறின் காரவரிசையையும், அதன் செயலால் உற்பத்தி செய்யப்படும் புரோட்டீனின் அமினோ அமில வரிசையையும் கண்டறிய வேண்டும். ஆனால் புரோட்டீன்களின் அமினோ அமில வரிசையை ஓரளவுக்கு அறியலாமென்றாலும், DNA மூலக் கூறின் காரவரிசையை அறிந்து கொள்ள வழிவகைகளிதுகாறும் தெரியவில்லை. எனவே DNA குறியீட்டை மேற் சொன்ன நேரடி முறையிலறிய முடியாது. புரோட்டீன் தயாரிக்கப்படும் சம்பவத்தைப் பற்றியறிந்து, அதிலிருந்து மறைமுகமாக DNA குறியீட்டை அறிந்து கொள்ளுவதே சாத்தியமாகவுள்ளது.

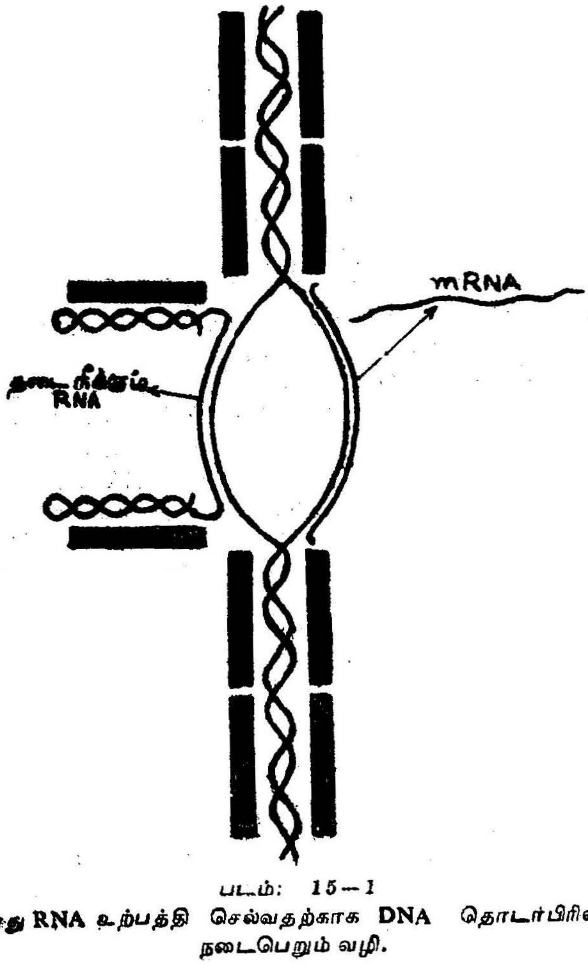
DNA குறியீட்டுக்கும், புரொட்டீன் அமைப்புக்கும் உள்ள தொடர்பை அறிந்துகொள்ளுவதில் மற்றொரு பிரச்சினை உள்ளது அதாவது DNAயானது நூக்ளியசினுள்ளிருக்கிறது. ஆனால் புரோட்டீன் தயாரிப்போ சைட்டொபிளாசத்தில் தான் நடைபெறுகிறது நூக்ளியசிலிருந்து DNA வெளிப்பட்டு சைட்டொபிளாசத்துக்கு செல்லுவதில்லையாதலால், அது நூக்ளியசினுள்ளிருந்து கொண்டே சைட்டொபிளாசத்தில் நடைபெறும் புரோட்டீன் தயாரிப்பை எவ்வாறு கட்டுப்படுத்துகிறது? நூக்ளிய உறைக்குள் DNA தனிப்படுத்தப்படாத புரொகேர்ய உயிர்களில் கூட DNA நேராகப் புரோட்டீன் தயாரிப்பில் ஈடுபடுவது கிடையாது. இப்பிரச்சினைக்கு விடையாதெனின் நூக்ளியசிலுள்ள DNA குறியீடானது தூது RNA எனப்படும் பொருளின் வழியாக சைட்டொபிளாசத்துக்கு அனுப்பப்படுகிறதென்பதாம்.

RNAக்களின் அமைப்பு ஏற்கெனவே விவரிக்கப்பட்டது. தூது RNA என்பது, DNA இரட்டிப்பின்போது நூக்ளியொடைடு தொடரை அச்சாக வைத்து மற்றொரு நூக்ளியொடைடு தொடர் உற்பத்தியாவது போலவே, ஏதாவதொரு DNA நூக்ளியொடைடு

தொடரை அச்சாக வைத்து அதன் பிரதியாக உற்பத்தி செய்யப் படுகிறதென்று தெரியவந்துள்ளது. இதை RNA பாலிமரேஸ் என்ற ஒரு நொதி ஊக்குவிக்கிறது. இச்சம்பவம் டிரான்ஸ் கிரிப்ஷன் (Transcription) எனப்படுகிறது. ஆனால் தூது RNA யில் DNAயிலுள்ள தைமின் என்ற காரத்துக்குப் பதிலாக யுரேசில் என்ற காரமிருப்பதால், DNA நூக்ளியொடைடு தொடரில் அடினின் இருக்குமிடத்தில் அதன் பிரதியாக தூது RNAயில் யுரேசில் உண்டாகிறது. எனவே DNA நூக்ளியொடைடு தொடரி லிருக்கும் A (அடினின்) T (தைமின்) G (குவானின்) C (சைட் டொசின்) என்ற காரங்களின் பிரதியாகU(யூரேசில்) C(சைட்டொ சின்) A (அடினின்), G (குவானின்( என்பன தூது RNAயில் உண்டாகின்றன.

தூது RNA உற்பத்தியில் இன்னும் சரியாக விளக்கப்படாத ஒரு புதிருள்ளது. அது யாதெனின், DNA யின் இரண்டு நூக்ளி யொடைடு தொடர்களில் ஏதாவது ஒன்றின் அச்சாக RNA உற்பத்தி செய்யப்படுவதற்கு, DNA மூலக்கூறின் காரங்களுக் கிடையே உள்ள ஹைட்ரஜன் இணைவு விடுபட்டு இரண்டு நூக்ளி யொடைடு தொடர்களும் தனித்தனியாகப் பிரிய வேண்டும். இது எப்படி நடைபெறுகிறது? பகுப்பிடைநிலை நூக்ளியசின் குரொமேட் டினில், யூகுயுராமேட்டினில் மட்டுமே தூது RNA உற்பத்தி நடை பெறுகிறது என்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. எனவே தூது RNA உற்பத்தியிலீடுபடும் DNA, அவ்வாறு ஈடுபடாத DNA யுடன் சம்மந்தப்படாத சில கூட்டுப் பொருள்களோடு சம்மந்தப்பட்டிருக் கலாமென்று தெரிகிறது. சமீப காலத்திய ஒரு அனுமானத்தின் படி பொதுவாக DNA மூலக்கூறின் நூக்ளியொடைடு தொடர்கள் பிரியாதபடி லிகன்டுகள் (ligands) எனப்படும் சில பொருள்கள் அதனோடு பிணைந்திருக்கின்றன என்றும், அப்பொருள்கள் ஹிஸ்டோன்களாகவும் எதிர்மின்னயனிகளான வேறு சில புரோட் டீன்களாகவும் இருக்கலாமென்றும் கருதப்படுகிறது. ஆனால் இவற்றைத் தவிர, RNA ஃபாஸ்போ புரோட்டீன்களும், ஃபாஸ்போ லிபிடுகளும் ஹெட்டிரொகுரொமேட்டினிலிருப்பதை விட, யூகுரொமேட்டினில் அதிக அளவில் காணப்படுகின்றன. எனவே இப்பொருள்கள், DNA நூக்ளியொடைடு தொடர்களைப் பிரியாமலிருக்கச் செய்யும் பொருள்களுக்கு எதிராக, அதாவது எதிர் லிகன்டுகளாகச் (counter ligands) செயல்பட்டு தொடர் பிரிவை ஏற்படுத்தலாமென்றும் கருதப்படுகிறது. எதிர் லிகன் டுகள், லிகன்டுகளோடு ஏற்படுத்தும் தற்காலிக வேதியிணைப்பால், லிகன்டுகளைச் செயலறச் செய்வதால் DNA நியூக்ளியொடைடு தொடர்கள் பிரிய ஏதுவாகலாமென்று சொல்லப்படுகிறது.

(படம் 15.1) அவ்வாறு தொடர்பிரிவு ஏற்பட்ட இடத்தில் ஏதோ வொரு தடைநீக்க RNA மூலக்கூறு, அச்சாகச் செயல்படாத தொடரோடு இணைந்து கொண்டு, மீண்டும் இரண்டு தொடர்களும் இணையாதபடி பார்த்துக் கொள்ளுகிறது. அதனால் அச்சாகச்




படம்: 15—1

தூது RNA உற்பத்தி செல்வதற்காக DNA தொடர்பிரிவு நடைபெறும் வழி.

செயல்படும் மற்றொரு நூக்ளியொடைடு தொடர் தூது RNA வை உற்பத்திக்குப் பயன்பட ஏதுவாகிறது. சமீபகால ஆராய்ச்சிகளி லிருந்து, DNA மூலக்கூறில் ஒரு குறிப்பிட்ட இடத்தில் தொடர்

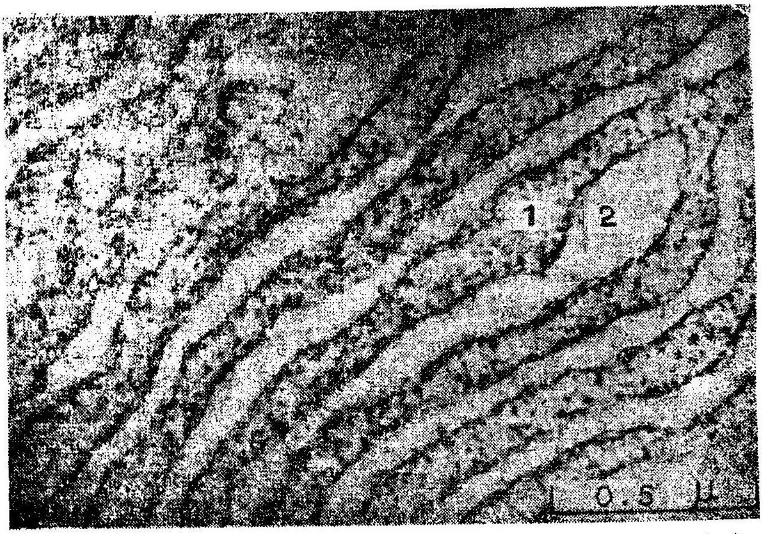
பிரிவுத் தொடங்கித் தூது RNA மூலக்கூறு உற்பத்தியாக ஆக மேற்கொண்டு பிரிகிறதென்று தெரிய வருகிறது.

எப்படியாயினும், தூது RNA மூலக்கூறு DNA மூலக்கூறளவு நீளமானதல்ல. DNA மூலக் கூறின் ஒரு சிறு, குறிப்பிட்ட அளவு நீளத்தின் பிரதியாக மட்டும் உண்டாகிறது. ஆகவே ஒரே சமயத்தில் பல தூது RNA மூலக் கூறுகள் DNA மூலக்கூறின் பல பகுதிகளிலிருந்து உற்பத்தி செய்யப்படலாம். அவ்வாறு DNA யின் பல இடங்களில் தூது RNA உற்பத்தியாகக் கூடுமென்றாலும், ஒரு தூது RNA மூலக்கூறின் உற்பத்தித் தொடக்கமும், முடிவும் யதேச்சையாக எந்த இடத்தில் வேண்டுமென்றாலும் தொடங்கி, எந்த இடத்தில் வேண்டுமென்றாலும் முடிவடையாது. குறிப்பிட்ட இடங்களில் தொடங்கிக் குறிப்பிட்ட இடங்களில் முடிவடைகிறது. பாக்டீரியங்களில் செய்த ஆராய்ச்சிகளிலிருந்து, தூது RNA உற்பத்தியை, RNA பாலிமெரேஸ் என்ற நொதி ஊக்குவிப்பதல்லாமல், உற்பத்தித் தொடக்கத்துக்கு சிக்மா காரணி (sigma factor) என்ற ஒரு பொருள் காரணமாக இருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனால் இந்த சிக்மா காரணி, குறைந்த பட்ச நொதி (minimal enzyme) யோடு சேர்ந்து தூது RNA உற்பத்தியைத் தொடங்கி வைத்தவுடனே விடுபட்டு விடுகிறது. நொதி மட்டும் டிரான்ஸ்கிரிப்ஷனைத் தொடர்ந்து ஊக்குவிக்கிறது. விடுபட்ட சிக்மா காரணி வேறொரு இடத்தில் தூது RNA உற்பத்தியைத் தொடக்கி வைக்க ஏதுவாகிறது. இதனால் மிகச் சிறு அளவான சிக்மா காரணி பல இடங்களில் தூது RNA உற்பத்தியைத் தொடக்கி வைக்கப் போதுமானதாகவுள்ளது. மற்றும், தூது RNA உற்பத்தியைத் தொடக்கி வைப்பதல்லாமல் எவ்விடத்தில் உற்பத்தி தொடங்க வேண்டுமென்பதை நிர்ணயிப்பதிலும் பங்கு கொள்ளுவதாகத் தெரிகிறது. DNA தொடர்பிரிவை ஊக்குவிக்கும் நொதியின் செயலைச் சிக்மா காரணி கட்டுப்படுத்துவதன் மூலம் இதைச் சாதிப்பதாகத் தெரிகிறது.

தூது RNA உற்பத்தியின் தொடக்கத்தைப் பற்றித் தெரியுமளவு கூட, அதன் உற்பத்தி முடிந்தவுடன் அது எவ்வாறு அதன் அச்சான DNA நூக்ளியொடைடு தொடரிலிருந்து விடுபடுகிறதென்று தெரியவில்லை. சோதனை மூலம் தூது RNA உற்பத்தி செய்யும் சில ஆய்வுகளிலிருந்து, தூது RNA விடுபட ரைபொசோம்கள் காரணமாகலாமென்று தெரிகிறது.

## என்டொ பிளாச வலையும் ரைபொசோம்களும்

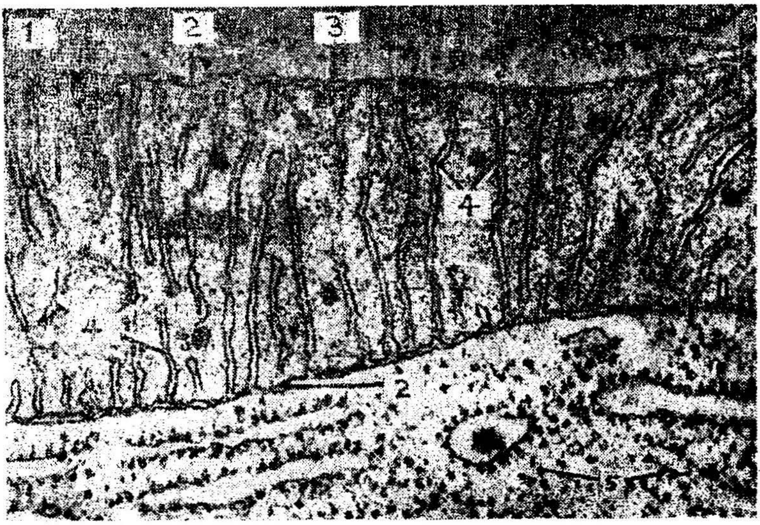
சைட்டொ பிளாசத்தில் புரோட்டீன் தயாரிக்கப்படும் இடம் என்டொ பிளாசவலை என்னும் சவ்வுப்படலத்தோடு ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் ரைபொசோம்களிலாகும். என்டொபிளாசவலை என்பது 1952ஆம் ஆண்டில் போர்டர் (porter) கால்மேன்(Kallmann) என்ற இருவரால் எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப் மூலம்




படம்: 15—2
எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில் மனிதனின் குடல் செல்லில் துகளுடைய என்டொ பிளாசவலையின் தோற்றம்.
1. ஹயலொ பிளாசம்; 2. வலைவெளி.

முழு செல்களில் கண்டறியப்பட்டது. பிறகு நுண் சீவல் தயாரிப்பு முறைகளும், அதிப்பெருக்க எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ் கோப்பும் உபயோகத்துக்கு வந்ததும், முழு செல்களில் நுண்குழல்களாகவும் குமிழ்களாகவும் காணப்படும். என்டொபிளாச வலையானது சைட்டொபிளாசத்தின் பெரும் பகுதியில் பரவியிருக்கும் தனிப் பட்டதொரு சவ்வு மண்டலமாகுமென்று கண்டுபிடிக்கப்பட்டது. மேற்கொண்டு நடத்தப்பட்ட ஆய்வுகளிலிருந்து, என்டொபிளாச வலையில், துகளுடைய வலை (granular reticulum) படம் (15.2) மழ மழப்பான வலை (Somooth reticu!um) என்ற இரண்டு பகுதி களிருப்பதாக அறியப்பட்டது. (படம் 15.3)

என்டொபிளாசவலையானது மிகச் சிக்கலான, ஒன்றோடொன்று ஆங்காங்கு இணைந்த தட்டையான நுண் குழல் மண்டலமாகும். குழல்களின் சுவர் பிளாஸ்மாசவ்விலிருந்து சற்று வேறுபடும் லிப்பொ புரோட்டீன் சவ்வினாலானது. என்டொபிளாசவலைச் சவ்வின் தடிப்பு சுமார் 50-60Å ஆகும். பிளாஸ்மா சவ்வின் முப்படல அமைப்பிலிருந்து வேறுபடும் ஒழுங்குருண்டைகளாலமைந்த அமைப்பை என்டொபிளாசவலை பெற்றுள்ளதாகச் சொல்லப்படுகிறது. வேதியமைப்பிலும் பிளாஸ்மாசவ்வை விட, மைட்டொகான்றியச் சவ்வை என்டொபிளாசவலைச் சவ்வு ஒத்திருப்பதாகத் தெரிகிறது.

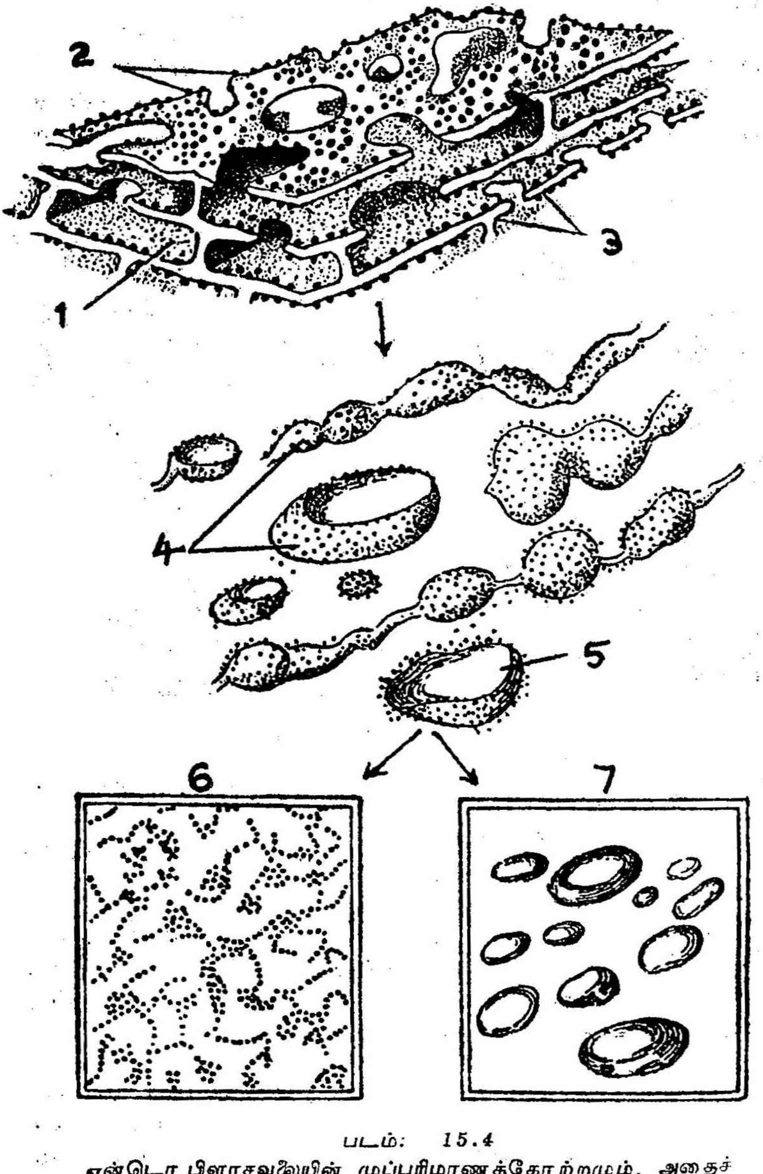



படம்; 15—3

வௌவாலின் பேங்க்ரியஸ் செல்லில் துகளுடையஎன்டொபிளாசவலையம் மைட்டோகான்றியத்தின் பகுதியும்; எலெக்ட்ரான்மைக்ராஸ்கோப்பில்.

1. மைட்டொகான்றிய மேட்ரிக்ஸ்; 2. மைட்டொ கான்றிய உட்சவ்வு; 3. மைட்டொகான்றிய வெளிச்சவ்வு; 4. மைட்டொகான்றிய கிரிஸ்டாக்கள்; 5. ரைபொசோம்கள்.

துகளுடைய வலைப்பகுதியிலொட்டியிருக்கும் துகள்கள் ரைபொசோம்களாகும். இத்துகள்கள் என்டொபிளாச வலைச் சவ்வின் ஹயலோ பிளாசப் பரப்பில் உள்ளன. மழமழப்பான வலைப் பகுதியில் ரைபொசோம் துகள்கள் கிடையாது. ரைபொ




படம்: 15.4

என்டோ பிளாசவலையின் முப்பரிமாணத்தோற்றமும், அதைச் சிதற்றுவதால் ஏற்படும் மாற்றமும்.

1. ஹயலொ பிளாசம்; 2. ரைபொசோம்கள்; 3. வலைச்சவ்வு; 4. வலையின் பிய்ந்த பகுதிகள்; 5. வெசிகிள்; 6. ரைபோசோம்கள்; 7. சவ்வுகள்.

சோம் துகள்கள் ஒன்றுக்கொன்று சுமார் 150Å தூரத்திலிருக்கின்றன. செல்களை உயர்மையத்தறுவிசைக்கு உட்படுத்தும் போது என்டொபிளாச வலை சிறு பகுதிகளாகப் பிய்ந்து விடுகிறது. அப்படிப் பிய்ந்த கலவையில் ரைபொசோம்களொட்டியிருப்பதை வைத்துத் துகளுடைய என்டொ பிளாச வலையை அறியலாம். (படம் 15.4) ஆனால் துகளற்ற என்டொ பிளாச வலையை, செல்லின் மற்ற சவ்வுத் தொகுதியிலிருந்து பிரித்தறிய முடியாது.

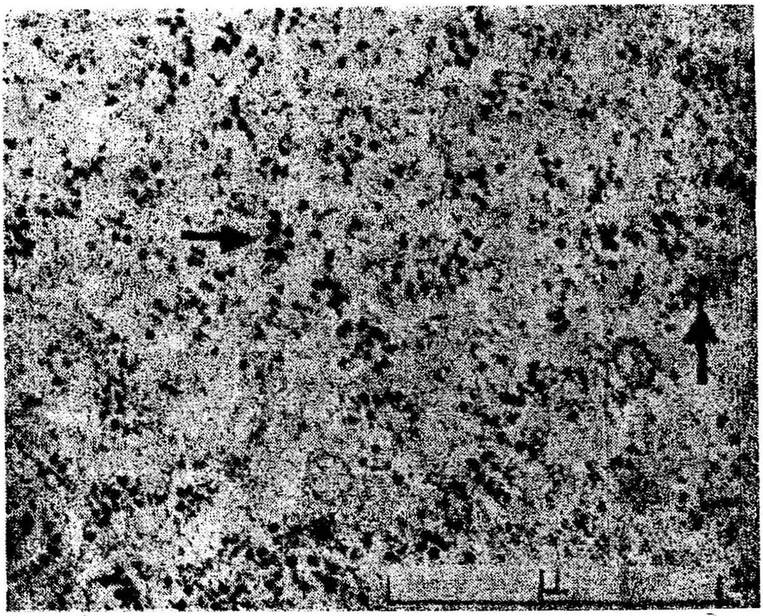
என்டொபிளாச வலை, நூக்ளிய உறையின் வெளிச் சவ்வோடு இணைந்திருக்கிறது. சில சமயம் பிளாஸ்மா சவ்வோடும் இணைந்திருக்கிறது. மற்றும் கோல்கி உறுப்பின் அருகாமையில் துகளற்ற என்டொபிளாசவலை அமைந்திருக்கிறது. எனவே நியூக்ளியஸ், கோல்கி உறுப்பு,பிளாஸ்மாசவ்வு ஆகியவற்றினிடையே தொடர்பு ஏற்படுத்தும் பாலமாக என்டொபிளாசவலை இருக்கிறதெனலாம். என்டொபிளாச வலையானது செல்லியக்கத்தாலுண்டாகும்பொருள்களையும், செல்லியக்கத்துக்குத் தேவையான பொருள்களையும் செல்லின் பல பாகங்களுக்கும் கடத்தும் சாதனமாகச் செயல்படலாமென்று கருதப்படுகிறது. மற்றும் புரோட்டீன் தயாரிப்பான மிக முக்கியமான பணி துகளுடைய என்டொபிளாச வலையின் ரைபொசோம்களில் நடைபெறுகிறது. ஆனால் இதில் என்டொ பிளாசவலைச் சவ்வின் பங்கு என்னவென்று தெரியவில்லை. துகளற்ற என்டொபிளாசவலை கொழுப்பமிலங்கள் (fatty acids), ஸ்டீரால்கள் (sterols) முதலியவற்றின் உற்பத்தியிலும், நச்சை முறிப்பதிலும் முக்கிய பங்கு வகிப்பதாகக் கருதப்படுகிறது.

செல் பகுப்பின்போது என்டொபிளாசவலை என்னவாகிறதென்றும் எப்படி உற்பத்தியாகிறதென்றும் தெரியவில்லை.

**ரைபொசோம்கள்:**

ரைபொசோம்கள் உயிருள்ள எல்லா செல்களிலும் காணப்படுகின்றன. பெரும்பாலும் ரைபொசோம்கள் சிறு சிறு தொகுதிகளாகச் சேர்ந்திருக்கின்றன. இப்படிப்பட்ட தொகுதிக்குப் பாலிரைபொசோம் என்று பெயர். (படம் 15-5) பாலிரைபொசோம்கள் என்டொபிளாச வலையோடு ஒட்டிக் கொண்டோ அல்லது வலையிலொட்டாமல் ஹயலொபிளாசத்திலோ அமைந்திருக்கலாம். புரோட்டீன்களைத் தயாரித்துச் சுரக்கும் செல்களில் பெரும்பாலான ரைபொசோம்கள் என்டொபிளாச வலையில் ஒட்டியவைகளாகவே இருக்கின்றன.

ரைபொசோம்கள், அவற்றைப் போன்ற நுண் துகள்கள் ஆகியவற்றின் அளவு S அலகுகளால் குறிப்பிடப்படுகிறது. S அலகு, ஸ்வெட்பெர்க் (Svedberg) அலகு என்பதைக் குறிக்கும். இது பல அமிசங்களினடிப்படையில் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. முக்கியமாக. மையத்தறுவிசையால் ஒரு பொருள் நகரும் வேகமே இதனடிப்படையாகும். எனவே இது செடிமென்டேசன் கொயஃபிசன்ட் (sedimentation coefficient) என்றும் குறிக்கப்படுகிறது.

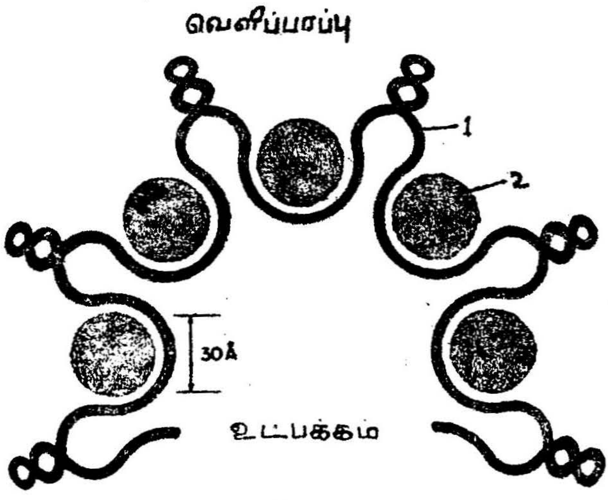


படம்: 15 – 5

வெங்காயத்தின் வேர் நுனி செல்லில் காணப்படும் பாலிரைபொசோம் தோற்றங்கள் (அம்புக்குறிகள்); எலெக்ட்ரான் மைக்கிராஸ்கோப்பில்.

பலதிறப்பட்ட உயிர்களின் செல்களிலிருக்கும் ரைபொசோம்களினளவை ஒப்பிட்டுப்பார்க்கும்போது, அளவைப் பொருத்து ரைபொசோம்கள் இருவகைப்படுகின்றன. பாக்டீரியங்கள், நீலப் பசும் பாசிகள், பசுங்கணிகங்கள், மைட்டொகான்றியங்கள் ஆகியவற்றின் ரைபொசோம்கள், 70S வகுப்பைச் சேர்ந்தனவாகும். (67S முதல் 73S வரை வேறுபடக்கூடும்). ஈஸ்ட், விலங்குகள், தாவரங்கள் முதலியவற்றின் ரைபொசோம்கள் 80S வகுப்பைச் சேர்ந்தனவாகும். (77Sமுதல் 81S வரை வேறுபடக்கூடும்).

70S ரைபொசோம்கள் 50S, 30S அளவுகளுடைய இரண்டு அலகுகளாகப் பிரியக்கூடியவையாகும். இவ்வலகுகளின் இணைப்பு கூட்டுப்பிணைப்பல்லவாகையால், எளிதில் விடுபடக் கூடியதாகும். ஒவ்வொரு அலகும் ஒரு பிரத்தியேக RNA மூலக்கூறைப் பெற்றிருக்கிறது. 50S அலகில் 23S, RNA மூலக்கூறும், 30S அலகில் 16S, RNA மூலக்கூறும், இருக்கின்றன. ஆனால் இவ்விரண்டுRNA வகுப்புகளிலும், நூக்ளியொடைடு வரிசையமைப்பில் வேறுபடும் பலவித RNA மூலக்கூறுகளிருக்கலாமென்று கருதப்படுகிறது. மற்றும் இவ்விரு அலகுகளொவ்வொன்றிலும் குறைந்தபட்சம் சுமார் 20 வகை புரோட்டீன்களிருப்பதாகத் தெரிகிறது. எனவே 70S அளவுள்ள ரைபொசோமானது குறைந்த பட்சம் இரண்டு வகையான RNAக்களையும் குறைந்தபட்சம் 40 வகை புரோட்டீன்களையும் கொண்ட கூட்டாகுமெனச் சொல்லலாம்.




படம்: 15.6
ரைபொசோமில் RNA, புரோட்டீன் ஆகியவற்றின் அமைப்பின் மாதிரி
1. RNA; 2. புரோட்டீன்;

ரைபொசோம் RNAயின் அமைப்பு இன்னமும் நிச்சயமாகத் தெரியவில்லை. ஒற்றை நூக்ளியொடைடு தொடரமைப்பு இரட்டைத் திருகுச்சுருளமைப்பு ஆகிய இரு அமைப்புகளுமே இருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனால், ரைபொசோமின் RNA அதன் வெளிப்புறத்திலும், புரோட்டீன்கள் உட்புறத்திலும் இருக்கின்றன என்பது பொதுவாக ஒப்புக் கொள்ளப்பட்டிருக்கிறது. (படம்15.6). ரைபொசோம் RNA, தூது RNAயுடன் ரைபொசோமைப் பிணைக்கப் பயன்படலாமென்று கருதப்படுகிறது.

·பாலிரைபொசோம் தொகுதியில் பல சமயம் 10Å அகலமுள்ள இழையால் ரைபொசோம்கள் இணைக்கப்பட்டிருப்பது தெரிகிறது. அவ்வாறு இணைக்கும் இழை தூது RNA இழையாக இருக்க வேண்டுமென்று கருதப்படுகிறது. எனவே, நூக்ளியசிலுற்பத்தியாகி அங்கிருந்து விடுபட்டு சைட்டொ பிளாசத்தையடையும் தூது RNA யோடு சைட்டொ பிளாசத்தின் என்டொபிளாசவலையிலொட்டியிருக்கும் ரைபொசோம்கள் பிணைந்து புரோட்டீன் தயாரிப்பை நடத்துகின்றன என்பது தெரிகிறது.

**மரபுக்குறியீடு** (genetic code)

ஒற்றை நூக்ளியொடைடு தொடராலமைந்த தூதுRNAயின் காரங்களான U, C, A, G என்ற நான்கின் வரிசைக்கிரமம், DNA மூலக்கூறில் அச்சாகப் பயன்பட்ட நூக்ளியொடைடு தொடரின் காரவரிசைக்குப் பிரதியாக அமைந்திருக்குமென்று கண்டோம். ஆகவே DNA மூலக்கூறின் வெவ்வேறிடங்களில் உற்பத்தி செய்யப்படும் தூது RNA வெவ்வேறு காரவரிசைகளைப் பெற்றிருக்குமாதலால், வெவ்வேறு வகையான அமினோ அமில வரிசையை உடைய புரோட்டீன்களின் தயாரிப்பை இயக்க ஏதுவாகிறது. அப்படியாயின், தூது RNAயின் காரவரிசை, புரோட்டீனின் அமினோ அமில வரிசையை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கிறது? அதாவது U, C, A, G என்ற நான்கு காரங்களின் வரிசை, அமினோ அமிலக் குறியீடாக அல்லது மரபுக் குறியீடாக எப்படி செயல்படுகிறது?

மரபுக் குறியீட்டின் அடிப்படைப் பிரச்சினை, நான்கு காரங்களின் வரிசை, புரோட்டீன்களில் காணப்படும் 20 வகை அமினோ அமிலங்களுக்குக் குறியீடாவதெப்படி என்பதாம். ஒரு அமினோ அமிலத்தை நிர்ணயிக்கும் குறியீட்டைக் "குறி" (codon) எனலாம். எனவே நான்கே நான்கு காரங்கள் எப்படி இருபது குறிகளாகின்றன?

ஒவ்வொரு காரமும் ஒரு அமினோ அமிலத்தின் குறியாகுமெனின், நான்கு காரங்களும் நான்கு அமிலங்களின் குறியாக மட்டுமே ஆகமுடியும். அடுத்தடுத்தமைந்த இரண்டு காரங்கள் (அதாவது, AA, UU, GG, CC, AU, CG, UG, AG, என்பவை) ஒரு அமினோ அமிலத்தின் குறியாகுமெனின், மொத்தம் எட்டு குறிகள் மட்டுமே ஏற்பட முடியும். இருபது அமினோ அமிலங்களுக்கு இதுவும் போதாது. மூன்று அடுத்தடுத்தமைந்த காரங்களின் வரிசை, ஒரு குறியாகுமெனின் (அதாவது, AAA, CCC, AUG, GUC போன்று) நான்கு காரங்களும் மொத்தம் 64 வித குறிகளாகலாம். இது 20 அமினோ அமிலங்களுக்குத் தேவைக்கு

மேற்பட்டதாகும். ஆனால் இப்படிப்பட்ட குறியீட்டு முறையில், ஒரு அமினோ அமிலத்துக்கு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட குறியீடுகளிருக்கக் கூடுமெனின், இக்குறியீடு நல்ல முறையில் செயல்பட முடியும். மற்றும் இப்படிப்பட்ட குறியீட்டில், அமினோ அமிலங்களை நிர்ணயிப்பதைத் தவிர, புரோட்டீனுற்பத்தியின் தொடக்கம், முடிவு முதலிய வேறு செயல்களை நிர்ணயிக்கத் தனிக்குறியீடுகள் ஒதுக்கப்படுவதற்கும் வாய்ப்புண்டு.

மேற்சொன்னபடி வாய்முறைக் கோட்பாடாக நாம் நிர்ணயிக்கக் கூடிய முக்காரவரிசைக் குறியீடுதான் உண்மையில் தூது RNA யில் செயல் முறைக் குறியீடாகவும் அமைந்திருக்கிறதென்று இப்போது பல சோதனைகளால் நிச்சயமாகியுள்ளது. இதை நிச்சயிப்பதற்கு அநேக உயிரியலாரின் ஆய்வுகள் அடிப்படையாயின வென்றாலும், யுனைடெட் ஸ்டேட்சைச் சேர்ந்த நிரென்பெர்க் (Nirenberg), இந்தியாவிலிருந்து சென்று யுனைடெட் ஸ்டேட்ஸ் குடிமகனாக மாறிய ஹரிகோவிந்த கொரானா (Hargovind korana) என்ற இருவரும் அவர்களுடைய கூட்டாளிகளோடு நடத்திய ஆய்வுகள் மிகப் பிரபலமானவைகளாகும்.

இவர்களுடைய ஆய்வுகளுக்கெல்லாம் முதற்படி, செல்லினுள் புரோட்டீன் தயாரிப்பிலீடுபடும் பொருள்களை நுண்வேதிய, பௌதிக முறைகளினால் செல்லிலிருந்து எடுத்து அவை செல்லுக்கு வெளியே சோதனைக் குழாயில் புரோட்டீனை உற்பத்தி செய்யும் வழியைப் வகுத்ததேயாகும். இதை வைத்து செல்லினுள் புரோட்டீனுற்பத்தி எப்படி நடைபெறுகிறது என்பது குறித்துப் பல சோதனைகள் செய்யப்படுகின்றன. அவற்றில் மரபுக் குறியீட்டை நிர்ணயிக்கும் சோதனைகள் மிக முக்கியமானவை களாகும்.

நிரென் பெர்க் என்பவர் ஒன்று அல்லது இரண்டு நூக்ளியொடைடுகளை அதாவது காரங்களை, மட்டும் கொண்ட தூது RNA யைச் செயற்கையாக உற்பத்தி செய்து, அவற்றால் தயாரிக்கப்படும் புரோட்டீனின் அமினோ அமிலங்களெவையென நிர்ணயிக்கும் வழியை மேற்கொண்டார். பாலிநூக்ளியொடைடு ஃபாஸ்பாரிலேஸ் எனப்படும் நொதியை ஈடுபடுத்தி தூது RNAயைச் செயற்கையாகத் தயாரிக்க முடியும். இந்நொதி RNA பாலிமெரேஸ் என்ற நொதியைப் போலல்லாமல், DNA நூக்ளியொடைடு அச்சு இல்லாமலே தூதுRNA மூலக்கூறை உற்பத்தி செய்ய வல்லதாகும்.

ஒரே ஒரு காரத்தை மட்டும் கொண்ட தூது RNA தொடரானது, 20 அமினோ அமிலங்களையும் கொண்ட புரோட்டீன்

தயாரிக்கக்கூடிய கலவைகளோடு சேர்க்கப்பட்டது. அவ்வாறு 20 கலவைகள் தயாரிக்கப்பட்டது. ஒவ்வொரு கலவையிலும் ஒரு அமினோ அமிலம் மட்டும் $C^{14}$ கார்பனுல் கதிரேற்றஞ் செய்யப் பட்டதாகச் சேர்க்கப்பட்டது. அதாவது 20 கலவைகளிலும் இருபது வெவ்வேறு அமினோ அமிலங்கள் கதிரேற்றஞ் செய்யப் பட்டன. இக் கலவைகளிலெல்லாம், ஒரே காரத்தை மட்டும் கொண்ட செயற்கைத் தூது RNA தொடர் சேர்க்கப்பட்டு, புரோட்டீன் தயாரிப்பு நடைபெறுமாறு செய்யப்பட்டது. குறிப் பிட்ட நேரம் புரோட்டீன் தயாரிப்பு நடைபெற்ற பிறகு கலவை களெல்லாம் நைட்ரோசெல்லுலோஸ் வழியாக வடிகட்டப் பட்டது. அவ்வாறு வடிகட்டும்போது நைட்ரோசெல்லுலோ சானது, ரைபொசோம்களை மட்டும் நிறுத்திக்கொண்டு மற்றவை களெல்லாம் கடந்துபோக அனுமதிக்கக்கூடியதாகும். அப்படி ரைபொசோம் நிறுத்தப்படும்போது, புரோட்டீன் தயாரிப்பின் போது அதனுல் எடுத்துக் கொள்ளப்பட்ட அமினோ அமிலமும் அதனோடு நிறுத்திக் கொள்ளப்படும். எந்த அமிலம் நிறுத்தப் பட்டுள்ளது என்பதை அந்த அமிலம் கதிரேற்றமடைந்த தாயிருக்கும் கலவையிலிருந்து எளிதில் நிர்ணயிக்கலாம்.

மேற்சொன்ன சோதனையில் யூரேசில் மட்டுமே உள்ள தூது RNA தொடரைப் பயன்படுத்தியபோது, அதனுல் புரோட்டீனுற் பத்திக்கு ஃபினைலலனின் (phenylalanin) என்ற அமினோ அமிலம் மட்டுமே பயன்படுத்தப்பட்டது. இதிலிருந்து இந்த அமினோ அமிலத்துக்கான குறி UUU அல்லது ஒன்றையொன்று அடுத்து வரிசையாக அமைந்த மூன்று யுரேசில்களாகுமென்று அனுமானிக் கலாம். அதேபோல் சைடொசின் மட்டுமுள்ள தூது RNA யால் ப்ரோலின் (proline) எனப்படும் அமினோ அமிலம் மட்டும் எடுத்துக் கொள்ளப்படுகிறது. ஆகவே இதன் குறி CCC எனலாம்.

கொரானு கையாண்டவழி நிரென்பெர்கின் வழியைவிட நேரடியானதாகும். இவர் ஒரு குறிப்பிட்ட வரிசையில் திரும்பத் திரும்ப காரங்கள் அமைந்துள்ள தூது RNA தொடரைத் தயாரித்து, அதனுல் உற்பத்தி செய்யப்படும் புரோட்டீனின் அமினோ அமில வரிசையைக் கண்டுபிடித்தார். எடுத்துக்காட்டாக UGUGUG என்ற வரிசையைக் கொண்ட தூது RNA யைத் தயாரித்துப் புரோட்டீனுற்பத்தியிலீடுபடுத்தினுல் இதன் கார வரிசை UGU-GUG என்று மாறி மாறிவரும் இரண்டு குறிகளாக மட்டுமே செயல் பட முடியும். இதனுல் இரண்டு அமினோ அமிலங்கள் மட்டும் மாறி மாறிவரும், புரோட்டீன் தொடர் உற்பத்தியாகும். உண்மை யில் இந்த தூது RNA யால் சிஸ்டைன்-வேலைன் என்ற இரண்டு

அமினோ அமிலங்கள் மாறி மாறிவரும் புரோட்டீன் உற்பத்தி செய்யப்படுகிறது. இரண்டு குறிகளில் எந்தக் குறி எதற்கு என்பதை நிரென்பெர்க் செய்த சோதனைகளின் மூலம் நிர்ணயிக்கலாம்.

மேற்சொன்னதைப் போன்றே கொரானா XYZ, XXYZஎன்ற வரிசைகளில் அமினோ அமிலங்களைக் கொண்ட தூது RNAவை உற்பத்திசெய்து அவற்றாலுண்டாக்கப்படும் புரோட்டீனின்

| RNA காரவரிசை | ஜீன் குறியீடு | அமினோஅமிலவரிசை |
|---|---|---|
| $(XY)_n$ | XYX \| YXY \| XYX \| YXY | αβαβ |
| $(XYZ)_n$ | XYZ \| XYZ \| XYZ | ααα |
| | YZX \| YZX \| YZX | βββ |
| | ZXY \| ZXY \| ZXY | γγγ |
| $(XXYZ)_n$ | XXY \| ZXX \| YZX \| XYZ | αβγυαβγυ |
| $(XYXZ)_n$ | XYX \| ZXY \| XYX \| YXZ | αβγυαβγυ |

படம்: 15—7

ஜீன் குறியீட்டை அறிவதற்காகக் கொரானா என்பவர் நடத்திய சோதனைகளின் விபரம்

அமினோ அமில வரிசைகளைக் கண்டறிந்தார். XYZ என்ற வரிசையைக் கொண்ட தூது RNA யால் அக் குறிக்கு ஏற்ற ஒரே அமினோ அமிலத்தை மட்டும் வரிசையாகக் கொண்ட புரோட்டீன் உற்பத்தி செய்யப்படலாமென்று எதிர்பார்க்கலாம். ஆனால் உண்மையில் அப்படி நடைபெறுவதில்லை. ஏனென்றால் எந்தக் காரத்தில் குறியீடு தொடங்கவேண்டுமென்ற வரையறையில்லையாதலால் XYZ XYZ என்றமைந்த வரிசையில் YZX ZXY என்

பனவும் குறிகளாகச் செயல்படலாம். எனவே இதில் மூன்று அமினோ அமிலங்கள் ஈடுபடுத்தப்பட வாய்ப்பு உண்டு. ஆகவே உண்மையில் AUC என்ற மூன்று காரங்களும் மாறி மாறி வரும் வரிசையைக் கொண்ட தூது RNAயால், பாலிஐசொலுசின், பாலி சிரைன், பாலி ஹிஸ்டிடின் ஆகிய மூன்றுவித புரோட்டீன்கள் உண்டாக்கப்படுகிறது. AUC என்பது ஐசோலுசினுக்கும் UCA சிரைனுக்கும், CAU ஹிஸ்டிடினுக்கும் குறிகளாகின்றன. இதே

| முதல் எழுத்து | இரண்டாம் எழுத்து: U | C | A | G | மூன்றாம் எழுத்து |
|---|---|---|---|---|---|
| U | UUU, UUC – phe<br>UUA, UUG – leu | UCU, UCC, UCA, UCG – ser | UAU, UAC – tyr<br>UAA (ochre)<br>UAG (amber)<br>(terminators) | UGU, UGC – cys<br>UGA terminator<br>UGG trp | U C A G |
| C | CUU, CUC, CUA, CUG – leu | CCU, CCC, CCA, CCG – pro | CAU, CAC – his<br>CAA, CAG – gluN | CGU, CGC, CGA, CGG – arg | U C A G |
| A | AUU, AUC, AUA – ileu<br>AUG met (initiator) | ACU, ACC, ACA, ACG – thr | AAU, AAC – aspN<br>AAA, AAG – lys | AGU, AGC – ser<br>AGA, AGC – arg | U C A G |
| G | GUU, GUC, GUA, GUG – val | GCU, GCC, GCA, GCG – ala | GAU, GAC – asp<br>GAA, GAG – glu | GGU, GGC, GGA, GGG – gly | U C A G |

படம்: 15—8

ஜீன் குறியீட்டுப் பட்டியல்

போல் நான்கு காரங்களின் வேறுபடும் வரிசைகள், மற்றும் பல விதமான வரிசைகள் ஆகியவற்றைக் கொரானா உற்பத்தி செய்து சோதனைகள் நடத்தினர். இப்படிப்பட்ட வரிசையமைப்புகளால் பெறக்கூடிய முடிவுகளின் பொதுவிளக்கம் படம் 15.7-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது. இப்போது மூன்றெழுத்து ஜீன் குறியீட்டில் சாத்திய மாகும் 64 குறிகளும் எந்தெந்த அமினோ அமிலத்தின் குறியாகு

மென்று கண்டறியப்பட்டு விட்டது. இது படம் 15.8-ல் காட்டப் பட்டுள்ளது.

மேற்சொன்ன இரண்டு செயற்கைச் சோதனை வழிகளாலும் கண்டறியப்பட்ட உண்மைகள், எஷ்ரிஷியா கோலி (Esherichia coli) என்ற பாக்டீரியத்தின் நுண்மரூஉ (mutation) ஆய்வு களாலும் நிரூபிக்கப்பட்டுள்ளன. மற்றும் ஜீன் குறியீட்டின் செயல், RNAயை மரபுப் பொருளாகக் கொண்ட பாக்டீரியோஃபேஜில் 57 நூக்ளியொடைடுகளைக் கொண்ட உறை ஜீனின் செயலி லிருந்தும் நிரூபிக்கப்பட்டிருக்கிறது. இந்த 57 நூக்ளியொடைடு நீளமுள்ள RNA 19 அமினோ அமிலங்களின் குறியாகச் செயல்படுவ தாகக் கண்டறியப்பட்டுள்ளது. எனவே செயற்கைச் சோதனை களால் நிர்ணயிக்கப்பட்ட மரபுக் குறியீடு இயற்கையில் இருப்பதே யாகுமென்பதில் இன்று ஐயத்துக்கு இடமில்லை.

படம் 15.8-ல் காட்டப்பட்டிருக்கும் ஜீன் குறியீட்டுப் பட்டியலைப் பார்க்கும்போது ஒரே அமினோ அமிலத்துக்கு ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட குறிகளிருக்கின்றனவென்று காணலாம். இப்படிப்பட்ட குறியீடு டீஜெனரேட் (degenerate) குறியீடு எனப்படும். மற்றும் ஒருகுறி யின் மூன்று காரங்கள் அடுத்த குறியின் காரங்களாகா. உதாரண மாக AACCGAGCA என்ற வரிசை AAC, CGA, GCA என்ற மூன்று குறிகளாக மட்டுமே செயல்படும். AAC, ACC, CCG, CGA, GAG, AGC, GCA எனவாகாது. மேலும் தூது RNAயின் குறிவரிசை அதனுலுற்பத்தி செய்யப்படும் புரோட்டீனின் அமினோ அமில வரிசைக்கு நேரானதாகும். அதுவுமல்லாமல். மரபுக்குறி யீடு எல்லாவுயிர்களுக்கும் பொதுவானதாகும். அதாவது எல்லா உயிர்களிலும் குறிப்பிட்ட அமினோ அமிலத்தின் குறி ஒன்றேயாகும்.

**புரோட்டீன் தயாரிப்பு**

தூது RNAயும், ரைபொசோம்களும் பிணைந்து புரோட்டீனைத் தயாரிப்பதற்குத் தேவையான அமினோ அமிலங்கள் சைட்டொ பிளாசத்திலிருந்து பெறப்படுகின்றன. ஆனால் சைட்டொபிளா சத்தில் பரவயிருக்கும் அமினோ அமிலங்கள் புரோட்டீன் தயாரிக் கப்படும் தூது RNA, ரைபொசோம் கூட்டமைப்புக்கு எப்படிச் செல்லுகின்றன? இதை மற்றொருவகை RNA செய்வதாகத் தெரிய வந்துள்ளது. இந்த RNA யானது கடத்து RNA (transfer RNA) எனப்படும். (தூது RNA யானது mRNA என்றும், கடத்து RNA யானது tRNA என்றும் குறிப்பிடப்படுகின்றன). இதன் அமைப்பும் ஏற்கெனவே விவரிக்கப்பட்டுள்ளது.

புரோட்டீன் தயாரிக்கப்படும் இடத்துக்கு அமினோ அமிலத்தை கொண்டு வருவதல்லாமல் mRNA யின் குறியை அடையாளங்கண்டு அதற்கேற்ற அமினோ அமிலத்தை அவ்விடத்தில் சேர்ப்பதும் tRNA யின் பணியேயாகும். என்று பல சோதனைகளிலிருந்து தெரிய வந்துள்ளது. ஆகவே இருபது அமினோ அமிலங்களைப் புரோட்டீன் தயாரிக்குமிடத்துக்குக் கொண்டு வரவும், அவற்றின் குறிகளை அடையாளங் காணவும் இருபது tRNA மூலக்கூறுகள் உள்ளன. ஒரு குறிப்பிட்ட tRNA அதன் அமினோ அமிலத்தோடு பிணைப்புற்ற பிறகு, அந்த அமினோ அமிலத்தை வேதி முறைகளால், tRNA யிலிருந்து விடுபடாமலே, வேறு அமினோ அமிலமாக மாற்றலாம். அப்படி மாற்றினால், மாற்றப்பட்ட அமினோ அமிலம் அந்த tRNAயின் குறியிடத்தில் சேர்க்கப்படுமேயன்றி (அதாவது மாற்றப்படாத முதல் அமினோ அமிலம் சேருமிடத்தில்) மாற்றப்பட்ட அமினோ அமிலம் சேர வேண்டிய இடத்தில் சேருவதில்லை. இதிலிருந்து அமினோ அமிலக் குறியை அடையாளங் காணுவது அதன் tRNA யல்லாமல் அமினோ அமிலமல்ல என்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது.

ஒவ்வொரு tRNA மூலக்கூறிலும், அதனுடைய அமினோ அமிலத்தோடு பிணைவதற்கேற்றதாகவும், அந்த அமினோ அலமிக் குறிய அடையாளங் காணவும் இரண்டு தனியமைப்புடைய இடங்கள் அமைந்திருக்கின்றன. mRNA குறியை அடையாளங் காணுமிடம் அக்குறியின் மூன்று காரங்களின் வரிசைக்குப் பிரதியான மூன்று காரங்களைக் கொண்டதாகும். இதற்கு எதிர்க்குறி (anticodon) என்று பெயர்.

ஒரு அமினோ அமிலம் அதனுடைய tRNA மூலக்கூறுடன் பிணைவதற்கு வேண்டிய ஆற்றல்ATP, அமினோ அசில் சிந்தடேஸ் (amino acyl synthetase) ஆகிய இரண்டும் ஈடுபடும் கிரியை மூலம் அளிக்கப்படுகிறது. இருபது அமினோ அமிலங்களுக்கான இருபது வகைகள் இந்த நொதியில் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. எல்லா t RNA மூலக்கூறுகளிலும் CCA என்ற காரவரிசை அவற்றின் $3^1$ ஹைட்ராக்சில் முனையிலிருக்கிறது.இதுவே அமினோ அமிலத்தோடு பிணையும் இடமாகும். அமினோ அமிலத்தோடு பிணைந்த tRNA யானது அமினோ அசில் tRNA (Amino acyl tRNA) எனப்படும்.

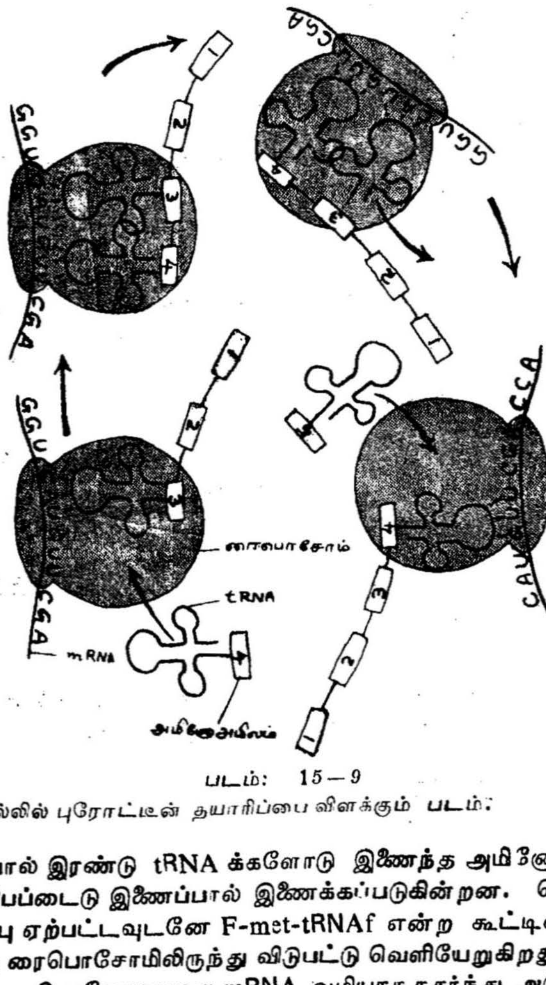
நூக்ளியசிலிருந்து சைட்டொபிளாசத்தையடைந்த mRNA யோடு ரைபொசோம்கள் பிணைந்து முதலில் எவ்வாறு புரோட்டீனுற்பத்தியைத் தொடங்குகின்றன என்பது ஒரு சிக்கலான விஷயமாகும். பல சோதனைகளிலிருந்து AUG என்ற குறியே எல்லா புரோட்டீன்களினுற்பத்தியையும் தொடங்கி வைக்கப் பயன்படும்

குறியாகுமென்று தெரியவந்துள்ளது. ஒவ்வொரு ரைபொ சோமிலும் இரண்டு tRNA பிணைப்பிடங்களிருப்பதாகக் கருதப் படுகிறது. ஒன்று பெப்டைடிய இடம் (Peptidyl site), மற் றொன்று அமினோ அசில் இடம் (Amino acyl site) mRNA, ரைபொசோம் பிணைப்பை அடையும் ஒரு அமினோ அசில் tRNA யானது ரைபொசோமின் அமினோ அசில் இடத்தில் பிணைந்து பெப்டைடிய இடத்தில் பிணைந்திருக்கும் அமினோ அமிலத்தோடு பெப்டைடு இணைப்பால் இணைகிறது. இவ்வாறு பெப்டைடு இணைப்பு ஏற்படுவதே புரோட்டீனுற்பத்தியின் மிக முக்கிய படி யாகும். ஆனால் அமினோ அசில் tRNA யானது ரைபொசோமின் அமினோ அசில் இடத்தில் மட்டுமே பிணைய முடியுமாகையால், முதலில் பெப்டைடிய இடத்தில் எப்படி ஒரு அமினோ அசில் tRNA பிணைந்து புரோட்டீனுற்பத்தியைத் தொடங்க ஏதுவாகிறது.

பாக்டீரியங்களின் புரோட்டீன் உற்பத்தி பற்றிய ஆய்வுகளி லிருந்து மேற் சொன்ன கேள்விக்கு ஒருவிடை கிடைத்துள்ளது. ஒரு தனிப்பட்ட tRNA ஃபார்மில் மெத்தியோனின் (formyl methonine) என்ற பொருளோடு இணையக்கூடியதாக இருக்கிறது. இப்பொருளின் அமினோ தொகுதியோடு ஃபார்மில் தொகுதிஇணைந் திருப்பதால், அமினோ தொகுதி முனையில் பெப்டைடு இணைப்பு ஏற்பட முடியாது. மற்றும் இந்த tRNA, மற்ற tRNA க்களைப் போலல்லாமல் ரைபொசோமின் பெப்டைடிய இடத்தில் மட்டும் பிணையக் கூடியதாக இருக்கிறது. மற்ற tRNAக்களெல்லாம் முதலில் அமினோ அசில் இடத்தில் பிணைந்த பிறகே பெப்டைடிய இடத்தை அடையத் தகுதி பெறுகின்றன. அந்த tRNA கூட் டானது F-met-tRNAf எனப்படும்.

புரோட்டீனுற்பத்தியின் தொடக்கத்தில், முதலில்தூது RNA யோடு ரைபொசோமின் 30S அலகு ஒன்று பிணைகிறது. இதை F3 என்ற ஒரு புரோட்டீன் பொருள் ஊக்குவிப்பதாகத் தெரிகிறது. அதன் பிறகு F1, F2 என்றஇரு காரணிகள், இந்த ரைபொசோம் அலகோடு F-met-tRNAf பிணைவதை ஊக்குவிக்கின்றன. இதற்கு GTP எனப்படும் குவானின் ட்ரைஃபாஸ்பேட் என்னும் பொருளும் தேவைப்படுவதாகத் தெரிகிறது. ஆகவே AUG, அல்லது GUG என்ற காரவரிசையை ஐந்தரங்கார்பன் முனையில் கொண்ட mRNA தொடர், ரைபொசோமின் 30S அலகு, தொடக்கும் காரணி களான F1, F2 மற்றும் F-met-tRNAf ஆகியவை சேர்ந்த கூட்டே பாக்டீரியங்களிலும் புரோட்டீனுற்பத்தியைத் தொடக்கி வைக்கும் சாதனமாகச் செயல்படுகிறது.

தொடங்கு சாதனம் உண்டானவுடனே ரைபொசோமின் 50S அலகு அதனேடு சேர்ந்து 70S ரைபொசோம் உண்டாகிறது (படம் 15.9). இப்போது mRNAயின் அடுத்த குறிக்குச் சரியான அமினே, அசில் tRNA யானது ரைபொசோமின் அமினே அசில் இடத்தில் பிணையலாம். அப்படிப் பிணைந்தவுடனே, ரைபொசோமின் 50S அலகில் இருக்கும் பெப்டைடு சிந்தடேஸ் என்னும்




படம்: 15—9

செல்லில் புரோட்டீன் தயாரிப்பை விளக்கும் படம்.

நொதியால் இரண்டு tRNA க்களோடு இணைந்த அமினோ அமிலங்களும் பெப்டைடு இணைப்பால் இணைக்கப்படுகின்றன. பெப்டைடு இணைப்பு ஏற்பட்டவுடனே F-met-tRNAf என்ற கூட்டின் tRNA யானது ரைபொசோமிலிருந்து விடுபட்டு வெளியேறுகிறது. அதே சமயம் ரைபொசோமானது mRNA வழியாக நகர்ந்து அடுத்த குறி நேராகச் செல்லுகிறது. அப்போது அதன் அமினே அசில் இடத்திலிருக்கும் tRNA அமினே அமிலக்கூட்டு, ரைபொசோமின்

பெப்டைடிய இடத்தை அடைகிறது. இதனுல் ரைபொசோமின் அமினோ அசில் இடம் காலியாகி, அடுத்த குறிக்குச் சரியான அமினோ அசில் tRNA யானது அங்கு வந்து சேர ஏதுவாகிறது. அவ்வாறு வந்து சேர்ந்தவுடனே அடுத்த பெப்டைடு இணைப்பு உண்டாகிறது. இப்படியே ரைபொசோமானது mRNA வழியாக நகர, நகர, mRNA யின் குறிகளுக்குச் சரியான அமினோ அசில் tRNAக்கள் வந்து சேர்ந்து, அமினோ அமிலங்கள் mRNA குறியீட்டுக்கேற்ப வரிசையாகப் பெப்டைடு இணைப்புகளால் இணைக்கப்படுகின்றன. இவ்வாறு படிப்படியாக அமினோ அமிலங்கள் இணைக்கப்பட்டு புரோட்டீன் தொடர் வளருகிறது. எப்போதும் புரோட்டீனுனது அதன் அமினோ முனையில் தொடங்கிக் கார்பாக்சில் முனைநோக்கி வளருகிறது. ஒரு அமினோ அமிலம் புரோட்டீன் தொடரிலிணைந்தவுடனே அதன் tRNA யானது விடுபட்டு அதே அமினோ அமிலத்தின் வேருெரு மூலக்கூறை எடுத்துச் செல்ல ஏற்றதாகிறது.

ஒரு mRNA மூலக்கூறின் தொடரில், முதலில் பிணைந்த ரைபொசோம் ஒரு குறிப்பிட்ட தூரம், புரோட்டீன் தயாரித்துக் கொண்டே நகர்ந்த பிறகு வேருெரு ரைபொசோம் mRNAயின் தொடக்கத்தில் பிணைந்து மற்ருெரு புரோட்டீன் மூலக்கூறை உற்பத்தி செய்யத் தொடங்கலாம். இப்படியாக ஒரு mRNA தொடரில் பல ரைபொசோம்கள் புரோட்டினைத் தயாரித்துக் கொண்டிருக்கலாம். இவையே பாலிரைபொசோம்களாகின்றன என்று கருதப்படுகிறது. ஹெமொகுளோபின் (hemoglobin) தயாரிப்பின்போது அடுத்தடுத்துள்ள ரைபொசோம்களுக்கிடையே சுமார் 150 நியூக்ளியொடைடுகள் தூரம் இருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனுல் பாக்டீரியங்களில் இதற்கும் குறைவான தூரமிருக்கலாம்.

புரோட்டீன் தொடரின் நீளம் அதிகரிக்க அதிகரிக்க அது அதனுடைய இரண்டாம், மூன்ரும் அமைப்புகளைப் பெறத் தொடங்கலாம். ஒரு குறிப்பிட்ட குறியை ரைபொசோம் அடைந்ததும் புரோட்டீனுற்பத்தி முடிவடைகிறது. UAA, UAG, UGA என்ற காரவரிசைகள் (குறிகள்) புரோட்டீன் தொடரை முடித்து வைக்கும் குறிகளாகச் செயல்படுவதாகத் தெரிகிறது. முடிவுற்ற புரோட்டீன் தொடரானது நொதி ஈடுபாட்டால் ரைபொசோமிலிருந்து விடுபட்டுத் தனி மூலக் கூருகிறது.

புரோட்டீனுற்பத்தியைத் தொடக்கி வைக்கும் குறியான AUG என்பது மெதியோனின் என்னும் அமினோ அமிலத்தின் குறியாகையால், எல்லா புரோட்டீன்களும் இந்த அமினோ அமிலத்தில் தான் தொடங்குகின்றனவா என்ற ஐயம் எழுகிறது. எஷ்ரிஷியா

**கோலி** என்னும் பாக்டீரியத்தில் அப்படித்தான் நிகழுகிறதென்று தெரிகிறது. ஆனால் இந்த பாக்டீரியத்தில் மெத்தியோனினில் தொடங்காத புரோட்டீன்களுமுள்ளன. எனவே புரோட்டீனுற்பத்தியின் போது முதல் அமினோ அமிலமாக மெத்தியோனின் அமைந்தாலும், பிறகு நொதிகளின் ஈடுபாட்டால் இது அகற்றப்படலாமென்று கருதப்படுகிறது.

மேலே விவரிக்கப்பட்டுள்ள புரோட்டீன் தயாரிப்பு நிகழ்ச்சி வெகு வேகமாக நடைபெறுகிறது. ஹெமொகுளோபின் தயாரிப்பில் 150 அமினோ அமிலங்களைக் கொண்ட தொடர் சுமார் 90 வினாடிகளில் உண்டாக்கப்படுகிறது. இதிலிருந்து ஒரு அமினோ அமிலம் சுமார் 0.6 வினாடியில் சேர்க்கப்படுகிறதென்று கணக்கிடலாம்.

புரோட்டீனுற்பத்தியிலீடுபடும் தூது RNAயின் குறியீடு, அதன் அச்சாகச் செயல்பட்ட DNA குறியீட்டின் நேர்ப்பிரதியேயாகும். DNA குறியீடுதான் அடிப்படைக் குறியீடாகுமென்றாலும் புரோட்டீனுற்பத்தியைப் பற்றிய விவரிப்புகளில் குறியீடு, குறி எனச் சொல்லப்படுபவையெல்லாம் செயல்படும் குறியீடான தூது RNAகுறியீட்டையே குறிப்பனவாகும்.

# 16. மரபுக்குறியீடும் ஜீனும்

உயிரின் பண்புகள், இயல்புகள், அமைப்புகள் ஆகியவை ஜீன்களால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்று மரபியல் சோதனை களிலிருந்து அறியப்பட்டுள்ளது. மற்றும் ஜீன்கள் குரொமொசோம் களிலும், குரொமேட்டினிலும் இருக்கின்றன என்றும் தெரிகிறது. ஆனால் செல்லின் நூக்ளியசிலிருக்கும் ஜீன்கள், உயிரின் வெளி யுருவமைப்பை எவ்வாறு நிர்ணயிக்கின்றன என்பதைப் பற்றி எதுவும் தெரியவில்லை. எனினும் முன் அத்தியாயத்தில் கூறப் பட்டபடி, மரபுப் பொருளின் அடிப்படையான DNA எவ்வாறு தனது மரபுக்குறியீட்டினால், புரோட்டீன் உற்பத்தியைக் கட்டுப் படுத்துகிறதென்றுமட்டும் அறியப்பட்டுள்ளது. இதிலிருந்து, மரபுக் குறியீட்டுக்கும், ஜீனுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்னவென்ற கேள்வி எழுகிறது.

வெளித் தோற்ற அமைப்புகளொவ்வொன்றையும் நிர்ண யிக்கும் ஜீன்களின் அளவையோ, உருவத்தையோ நம்மால் இன்னும் நிர்ணயிக்க முடியவில்லை யென்றாலும், புரோட்டீனுற் பத்தி என்னும் செயலைப் பொருத்து ஜீனளவைத் துல்லியமாக நாம் அறிய முடியும். மற்றும், ஜீனின் வேறு செயல்களாகிய மூடேசன் (mutation) குறுக்கேற்றத்தால் ஏற்படும் மாற்றுச் சேர்க்கை (recombination) ஆகியவற்றைப் பொருத்தும் ஜீனளவை நிர்ணயிக்க முடியும். ஆனால் ஜீனின் இம்மூன்று செயல்களைப் பொருத்து அதன் அளவு வேறுபடுகிறதாகையால், ஒவ்வொன்றுக்கும் ஒரு பெயர் அளிக்கப்பட்டுள்ளது.

**சிஸ்ட்ரான்** (Cistron) : ஒரு பாலிபெப்டைடு தொடரை உற்பத்தி செய்யப் பயன்படும் DNA மூலக்கூறின் அளவு ஒரு சிஸ்ட்ரான் என்று சொல்லப்படுகிறது. ஒரு பாலிபெப்டைடானது முழு புரோட்டீனாகவோ, நொதியாகவோ, அல்லது இவற்றின் ஒரு பகுதியாகவோ இருக்கலாம். எடுத்துக்காட்டாக மனித இரத்தத்திலிருக்கும் ஹமொகுளோபின், மூலக்கூறெடை 67,000 உள்ள ஒரு புரோட்டீனாகும். இது நான்கு பாலிபெப்டைடு தொடர்களாலானது. (படம் 6-13). இந்நான்கில், இரண்டு ஆல்பா தொடர்களென்றும், இரண்டு பீட்டாதொடர்களென்றும் குறிப்பிடப்

படுகின்றன. ஆல்பா தொடரில் 141 அமினோ அமிலங்களும், பீட்டா தொடரில் 146 அமினோ அமிலங்களும் உள்ளன. எனவே ஒரு ஹெமொகுளோபின் மூலக்கூறில் $(2\times141)+(2\times146) = 576$ அமினோ அமிலங்களுள்ளன. இவற்றில் புரோட்டீன்களில் காணப்படும் மொத்தம் 20 வகையான அமினோ அமிலங்களில் 19 வகைகள் இருக்கின்றன. ஆல்பா தொடரும், பீட்டா தொடரும் வெவ்வேறு DNA பகுதிகளால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. எனவே ஹெமொகுளோபினை நிர்ணயிக்கும் ஜீன் இரண்டு சிஸ்ட்ரான்களைக் கொண்டதாகும். DNA மரபுக்குறியீடும், பாலிபெப்டைடின் அமினோ அமிலவரிசையும் ஒன்றுக்கொன்று கோனவையாகையால் ஆல்பா தொடரை நிர்ணயிகக்கும் சிஸ்ட்ரான் $141\times3=423$ நூக்ளியொடைடுகள் நீளமும், பீட்டா தொடரை நிர்ணயிக்கும் சிஸ்ட்ரான் $146\times3=438$ நூக்ளியொடைடுகள் நீளமும் இருக்க வேண்டும்.

மூட்டான் (muton): மூட்டான் என்பது மூட்டேசனுல் மாற்றமடையக்கூடிய குறைந்த பட்சநீள DNAயாகும். பொதுவாக மூட்டானென்பதுசிஸ்ட்ரானைவிடக் குறைவான நியூக்ளியொடைடுகளாலானது. எனவே ஒரு சிஸ்ட்ரானில் அநேக மூட்டான்களிருக்கலாம். ஹெமொகுளோபினுற்பத்தியைப் பற்றியும், பாக்டீரியங்களில் புரோட்டீனுற்பத்தியைப் பற்றியும் நடத்தப்பட்ட பல சோதனைகளிலிருந்து மூட்டானுனது DNAயின் ஒரே ஒரு நூக்ளியொடைடு ஜதையின் நீளமும், RNAயின் ஒரே ஒரு நூக்ளியொடைடு நீளமும் உள்ளதாக இருக்கலாமென்று தெரிகிறது. ஒரே ஒரு நூக்ளியொடைடு மாறினும், மரபுக்குறி மாற்றமடைவதால், அந்த இடத்தில் சேர்க்கப்படும் அமினோ அமிலம் மாறி புரோட்டீன் அமைப்பு மாறக் காரணமாகிறது.

ரெகான் (recon): குறுக்கேற்றத்தால் மாறிச் சேரக்கூடிய குறைந்தபட்ச நீள DNA, ரெகான் எனப்படுகிறது. இதுவும் மூட்டானைப்போல் ஒரே ஒரு நூக்ளியொடைடு ஜோடியாகலாமென்று தெரிகிறது. எனவே ரெகானுக்கும் மூட்டானுக்கும் செயல் வேற்றுமை மட்டுமே இருக்கிறது. அளவில் இரண்டும் ஒரேமாதிரியானவையாகும்.

DNA மூலக்கூருலான, ஜீன் இயக்கத்தால், புரோட்டீன் எப்படித் தயாரிக்கப்படுகிறதென்று தெரிய வந்திருந்தாலும், குறிப்பிட்ட புரோட்டீன்கள் குறிப்பிட்ட செல்களிலும் நேரங்களிலும் தயாரிக்கப்படுவதைக் கட்டுப்படுத்துவது எது என்று தெரியவில்லை. எனினும் இதைப்பற்றி சில பாக்டீரியங்களை வைத்து நடத்திய சோதனைகளில் சில விவரங்கள் தெரிய வந்துள்ளன.

## மரபின் கட்டுப்பாடுகள்

**ஆப்பெரான் கருத்து** (The operon concept):

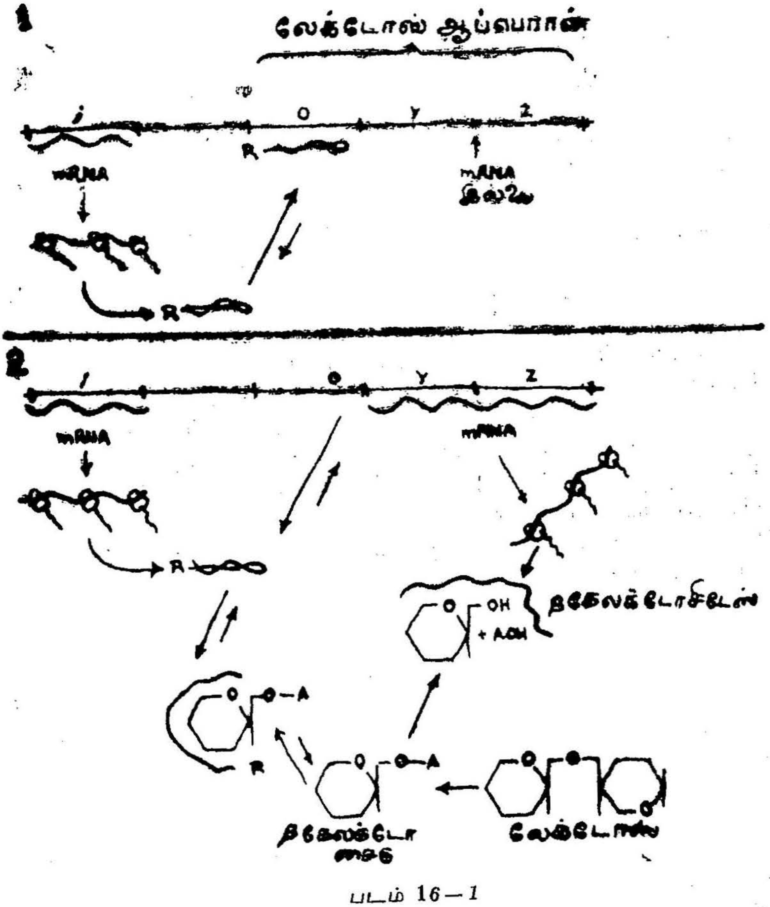
பாக்டீரியங்களை வைத்து நடத்தப்பட்ட அண்மைக்கால சோதனைகளிலிருந்து பலசிஸ்ட்ரான்களின் இயக்கம் வேறுசில கட்டுப்பாடுகளின் கீழிருக்கிறது எனத் தெரியவந்துள்ளது. இதனால் குறிப்பிட்ட சூழ்நிலைகளிலும், குறிப்பிட்ட வளர்ச்சிப்படிகளிலும் மட்டுமே சிஸ்ட்ரான்கள் செயல்பட்டுப் புரோட்டீனைத் தயாரிக்கின்றன. இது பற்றி **எஷ்ரிஷியாகோலி** என்ற பாக்டீரியத்தின் லேக்டோஸ் மெட்டபாலிசத்தின் நிகழ்ச்சிகள் பூரணமாக அறியப்பட்டுள்ளன.

**எஷ்ரிஷியா கோலி** என்ற பாக்டீரியத்தின் லேக்டோஸ்மெட்டபாலிசத்துக்கு இரண்டு நொதிகள் தேவைப்படுகின்றன. இப்பாக்டீரியத்தின் ஒரு ரகத்தில் லேக்டோஸ் இருந்தாலும் இல்லாவிட்டாலும் இரண்டு நொதிகளும் உண்டாக்கப்படுகின்றன. இதற்கு கான்ஸ்டிடுடிவ் ரகம் (Constitutive strain) என்று பெயர். மற்றொரு ரகத்தில் அது வளரும் ஊடகத்தில் லேக்டோஸ் சேர்க்கப்பட்டால் இந்த இரண்டு நொதிகளினளவு 100 முதல் 1000 மடங்கு அதிகரிக்கிறது இந்த நொதிகளின் பெயர்கள் I $\beta$ கேலக்டோசிடேஸ்($\beta$ galactosidese) 2. கேலக்டோசைடு பெர்மியேஸ்(galactoside Permease) என்பனவாம். லேக்டோஸ் சேர்க்கப்படுவதால் நொதிகளின் உற்பத்தி மிக அதிகரிக்கும் ரகம் இன்டக்டிவ் ரகம் (Inductive strain) எனப்படுகிறது. நொதியுற்பத்தியை அதிகரிக்கும் லேக்டோஸ் என்னும் பொருள் இன்ட்யூசர் (Inducer) எனப்படும்.

லேக்டோஸ் எப்படி மேற் சொன்ன இரண்டு நொதிகளின் உற்பத்தியை அதிகரிக்கிறது என்பதைச் சென்ற இருபது ஆண்டுகளாக ஆராய்ந்ததன் பயனாக இன்று அதைப் பற்றிய பலவிவரங்கள் தெரியவந்துள்ளன.(படம் 16.1)

இந்த இரண்டு நொதிகளை உற்பத்தி செய்வதற்கு மொத்தம் நான்கு ஜீன்கள் இயங்குகின்றன. இவற்றில் இரண்டு இந்நொதிகளின் அமினோ அமில வரிசையை நிர்ணயிக்கும் குறியீட்டைக் கொண்டனவாகும். எனவே இவ்விரண்டும் அமைப்பு ஜீன்கள் (Structural genes) என்று சொல்லப்படும். இவை இரண்டும் ஒன்றையொன்று அடுத்து அமைந்திருக்கின்றன. இவற்றை அடுத்து உள்ள மற்றொரு ஜீன் ஆப்பரேட்டர் ஜீன் (Operator gene) எனப்படும். ஒன்றையொன்று அடுத்துள்ள இம்

மூன்று ஜீன்களும் ஒரே அலகாகச் செயல்படுவதால் இவை லேக்டோஸ் ஆப்பெரான் என்று சொல்லப்படுகின்றன. நான்காவது ஜீனை I-ஜீன் என்பது லேக்டோஸ் ஆப்பெரானிலிருந்து சற்று தள்ளி அமைந்திருக்கிறது.




படம் 16—1
லேக்டோஸ் ஆப்பெரான் செயல்
1. லேக்டோஸ் இல்லாதபோது; 2. லேக்டோஸ் உள்ளபோது:

லேக்டோஸ் இல்லாத போது, ரிப்ரெசார் (repressor) எனப்படும் ஒரு புரோட்டீனை I ஜீன் உற்பத்தி செய்கிறது. இந்த புரோட்டீன் ஆப்பரேட்டர்ஜீனோடு (O-ஜீன்) பிணைந்து அதை யடுத்துள்ள இரண்டு அமைப்பு ஜீன்களும் தமது குறியீட்டை

mRNAக்கு டிரான்ஸ்கிரைப் செய்ய முடியாதபடி RNA பாலிமெரேஸ் என்னும் நொதியின் செயலைத் தடை செய்கிறது. ஆகையால் இந்நிலையில் லேக்டோஸ் ஆப்பெரான் இயக்கத்தால் நொதிகள் உற்பத்தியாக முடியாது. எனவே லேக்டோஸ் ஆப்பெரான் முழுதும் ரிப்ரெஸ் (repress) ஆகியிருக்கிறது. அதாவது தடையுற்ற நிலையில் இருக்கிறது. I ஜீனுல் உண்டாக்கப்படும் புரோட்டீனை R புரோட்டீன் தொடர்ந்து உற்பத்தியாகிக் கொண்டேயிருப்பதாலும், அது O ஜீனேடு பிணைந்து கொள்ளக் கூடியதாக இருப்பதாலும், அது சைட்டொபிளாசத்திலும், குரொமொசோமிலுள்ள O ஜீனேடு இணைந்தும் இருக்கக் கூடியதாகும். ஆனல் சைட்டொபிளாசத்திலிருப்பதை விட O ஜீனேடு இணைவதே எளிதாக நடைபெறுகிறது,

வளரும் ஊடகத்திலிருந்து செல்லினுள் லேக்டோஸ் நுழைந்தவுடனே அது பல வகையான βகேலக்டோசைடுகளாக மாற்றப் படுகிறது. இந்த β-கேலக்டோசைடுகள் R புரோட்டீனேடு பிணைந்து கொள்ளுகின்றன. இப்பிணைவால் அதனுடைய கன உருவ அமைப்பு மாற்றமடைவதாலோ, அல்லது வேறு ஏதோ காரணத்தாலோ, R புரோட்டீனது DNAயின் O ஜீனேடு பிணையும் இயல்பை இழந்து விடுகிறது. எனவே R புரோட்டீன் செல்லினுள் இரண்டு நிலைகளில் இருக்கக்கூடும் (1) லேக்டோசாகிய இன்ட்யூசர் இல்லாத போது லேக்டோஸ் ஆப்பெரானின் O ஜீனேடு பிணைந்து கொள்ளுகிறது. (2) லேக்டோஸ் உள்ள போது அதனேடு பிணைந்து, O ஜீனேடு பிணைய முடியாத நிலையை அடைகிறது.

ஆப்பெரானிலிருந்து R புரோட்டீன் விலக்கப்பட்டவுடனே இரண்டு அமைப்பு ஜீன்களையும் அச்சாக வைத்து ஒரே mRNA மூலக்கூறு உற்பத்தியாக ஏதுவாகிறது. இப்போது இந்த ஆப்பெரான்டிரிப்ரெஸ்டு நிலையில் அல்லது தடை நீங்கிய நிலையிலிருப்பதாகச் சொல்லப்படுகிறது. அமைப்பு ஜீன்களிலிருந்து உற்பத்தியான mRNA யோடு ரைபொசோம்கள் பிணைந்து β-கேலக்டோசிசிடேஸ், கேலக்டோ சிடேஸ் பெர்மியேஸ் ஆகிய இரண்டு நொதிகளையும் உற்பத்தி செய்கின்றன. இவ்வாருக லேக்டோசானது ஜீன் மட்டத்தில் தனதுவிளைவை ஏற்படுத்துகிறது.

βகேலக்டோசிடேஸ் நொதி உற்பத்தியானதும், அது செல்லிலிருக்கும் βகேலக்டோசைடுகள் வேதிக்கிரியையால் வேறு பொருளாக மாற்றப்பட ஏதுவாகிறது. செல்லுக்கு மென்மேலும் லேக்டோஸ் வெளியிலிருந்து கிடைக்கவில்லையானல் செல்லிலிருக்கும் β கேலக்டோசைடுகளெல்லாம் மாற்றப்பட்டுவிடும். இதன் காரண

மாக R புரோட்டீனேடு பிணைவதற்கு $\beta$ கேலக்டோசைடு இல்லாமல் போகும். ஆகவே அது லேக்டோஸ் ஆப்பெரானின் O ஜீனேடு பிணைந்து செயல் தடையை ஏற்படுத்துகிறது.

பாக்டீரியத்தில் காணப்படும் மேற்சொன்ன கட்டுப்பாட்டின் வழி, உயர் தாவரங்கள், விலங்குகள் ஆகியவற்றுக்குப் பொருந்துமா என்று தெரியவில்லை. எஷ்ரிஷியாகோலி என்னும் பாக்டீரியத்தின் நொதியுற்பத்தியானது அதன் செயல்பாட்டில் ஏற்படும் சிறு மாறுதல்களால் நிகழும் தற்காலிக நிகழ்ச்சியாகவே உள்ளது. வளரும் ஊடகத்திலிருந்து கிடைக்கும் ஒரு புதிய உணவுப் பொருளை வெற்றிகரமாகப் பயன்படுத்திக் கொள்ளும் சூக்குமமாகவும் அமைகிறது. இரண்டு மூன்று ஜீன்கள் சேர்ந்து ஆப்பெரானக செயல்படுவது இத்தகைய போக்குக்கு மிகவும் அனுசரணையாகவுள்ளது. ஏனென்றால் இதில் ஈடுபடும் மொத்த ஜீன்களையும் ஒரேயடியாக இயக்கவோ, தடை செய்யவோ ஆப்பெரான் சேர்க்கை பயன்படுகிறது. லேக்டோஸ் மெட்டபாலிசத்தைப் பொருத்தல்லாமல் மற்றும் பல உயிர் வேதியக் கிரியைத் தொடர்களின் ஜீன்களும் இந்த பாக்டீரியத்தில் ஆப்பெரான்களாகக் குழுமியிருப்பதாகத் தெரிகிறது.

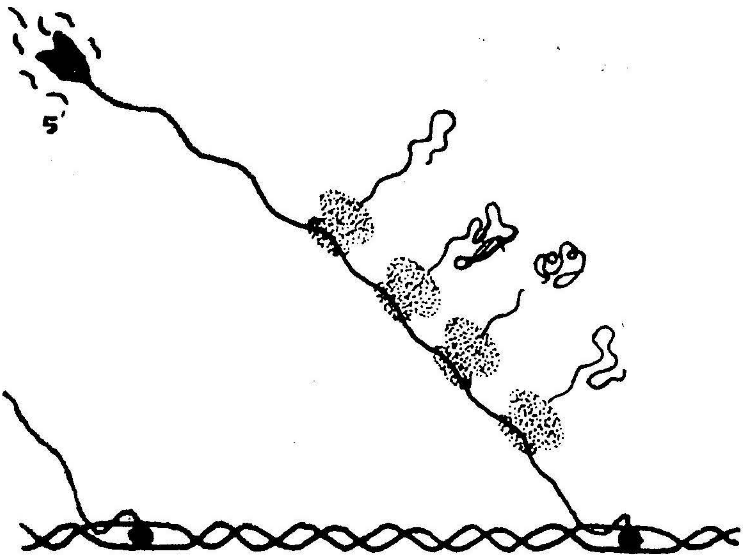
மற்ற உயர் உயிர்களின் செல்கள் பொதுவாக பாக்டீரிய செல்களைப்போல் அடிக்கடி மாறுபடும் சூழ்நிலைக்கு இலக்காவதில்லை. மற்றும் இவற்றில் உயிர் வேதியக் கிரியைத்தொடர்களின் ஜீன்கள் ஆப்பெரானகக் குழுமியிருப்பதாகவும் தெரியவில்லை. எனவே இவற்றின் கட்டுப்பாடுகள் பாக்டீரியங்களினதிலிருந்து வேறுபட்டதாக இருக்க வேண்டுமென்று கருதப்படுகிறது.

**பாக்டீரியங்களில் டிரான்ஸ்கிரிப்ஷனும், டிரான்ஸ்லேஷனும் ஒரே சமயத்தில் நடைபெறல்:**

புரோட்டீன் தயாரிப்பில் புரொகேர்யவுயிர்களுக்கும், யூகேர்யவுயிர்களுக்கும் ஒரு முக்கிய வேறுபாடு இருக்கிறது. யூகேர்யவுயிர்களில் டிரான்ஸ்கிரிப்சனது நூக்ளியசிலும், டிரான்ஸ்லேஷனது சைட்டொபிளாசத்திலும், வெவ்வேறு இடங்களில் நடைபெறுகின்றன. ஆனல் புரொகேர்யவுயிர்களில் இவ்விரண்டு செயல்களும் ஒரே இடத்தில் நடைபெறலாம். உண்மையில் பாக்டீரியங்களை வைத்து நடத்திய சோதனைகளில், டிரான்ஸ்கிரிப்சன் முடிவடைவதற்கு முன்பே டிரான்ஸ்லேஷன் தொடங்கி விடுவதாகத் தெரிய வந்துள்ளது.

**எஷ்ரிஷியாகோலி** என்ற பாக்டீரியத்தில் **lac** ஆப்பெரானிலும், **trp** ஆப்பெரானினும் டிரான்ஸ்கிரிப்சனும், டிரான்ஸ்லேஷனும்

ஒரே சமயத்தில் நடைபெறுவதாகத் தெரிகிறது. β கேலக்டோசிடேஸ்ஜீன் டிரான்ஸ்கிரைப் ஆவதற்கு 2.5 நிமிடங்கள் பிடிக்கிறது. அதனோடிணைந்த மற்ற ஜீன்களை டிரான்ஸ்கிரைப் செய்ய மற்றும் 1.5 நிமிடங்கள் வேண்டும். அதிலிருந்து நொதிகள் தயாரிக்கப்பட்டு, செயல் திறனடைய சுமார் 1.5 முதல் 2 நிமிடங்கள் பிடிக்கும். ஆகவே டிரான்ஸ்கிரிப்சன் ஆரம்பித்ததிலிருந்து சுமார் 4 நிமிடங்கள் கழித்தே செயல்திறனுடைய நொதி தயாராகும். ஆனால் 4 நிமிடங்களுக்கு முன்பே செயல்திறனுடைய β கேலக்டோசிடேஸ் நொதி தயாராகி விடுகிறது. டிரான்ஸ்கிரிப்ஷன் முடிவதற்கு முன்பே, டிரான்ஸ்லேஷன் ஆரம்பிக்காவிட்டால் இது சாத்தியமில்லை. (படம் 16.2)




படம் 16·2
பாக்டீரியாவில் mRNA உற்பத்தியாகும் அதேசமயத்தில் அதிலிருந்து புரோட்டீன் உற்பத்தியாவது.

பாக்டீரிய mRNA சொற்பகாலமே நிலைமாறுதிருக்கக்கூடியதாகவுள்ளது. lac ஆப்பெரானின் அரை ஆயுட் காலம் இரண்டு நிமிடங்களேயாகும். ஆகவே முதலில் உண்டாக்கப்படும் mRNA நுனி, அடுத்த நுனி வரை உண்டாக்கப்பட்டு DNA யிலிருந்து விடுபடுமுன்பே, நொதிகளால் சிதைவடையத் தொடங்குகிறதென்று அனுமானிக்க வேண்டியுள்ளது. (படம் 16.2)

## ஜீன் மூட்டேசன் நடைபெறும் மூலக்கூறடிப்படை

மேற்சொன்னவற்றிலிருந்து ஜீனின் அடிப்படை அலகு மூன்று நூக்ளியொடைடுகளின் வரிசையான குறியீடாகும் என்று தெளிவாகத் தெரிகிறது. எனவே ஜீன் மாற்றம் ஏற்பட வேண்டுமென்றால் இந்த அடிப்படை அலகில் மாற்றமேற்பட வேண்டும். ஒரு குறியாகவுள்ள மூன்று நூக்ளியொடைடுகளின் வரிசையில் ஏதாவதொரு நூக்ளியொடைடு மாற்றமடைந்தாலும் குறியீடு மாற்றமடைந்து, ஜீனும் மாற்றமடையலாம். ஆனால் இம்மாற்றம் ஒரே வேதி மாற்றத்தால், ஒரேபடியில் நடைபெறக்கூடியதல்ல. ஏனென்றால் ஒரு A-T ஜதையை G-C ஜதையாகவோ, C-G அல்லது T-A ஜதையாகவோ ஒரே படியில் மாற்றக்கூடிய வேதிப் பொருளெதுவும் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை. பொதுவாக மூட்டேசனின் முதல்படி ஏதாவது ஒரு நூக்ளியொடைடு தொடரில் கார மாற்றம் ஏற்படுவதாகுமென்று தெரிகிறது. பெரும்பாலும் ஒரு காரம் நேரடியாக மற்றொரு DNA காரமாக மாற்றப்படுவதில்லை. மாறாக DNA யில் சாதாரணமாக இல்லாத வேறொரு பொருளாக மாற்றப்படுகிறது. இதிலிருந்து படிப்படியாகப் பலபடிகளில் DNAயின் இயல்பான கார ஜதைகளுண்டாக்கப்படும்போது அவை வேறு காரங்களாகி, மூட்டேசன் ஏற்பட ஏதுவாகிறது.

**மூட்டேசன் வழிகள்:**

மொத்தம் மூன்று வழிகளில் மூட்டேசன் நடைபெறலாம்.

1. **நோடி மாற்றம்** (direct eonversion) DNA இரட்டிப்போடு தொடர்பில்லாமல், வேதிய நொதி ஈடுபாட்டுக் கிரியைகளால் DNA யின் கார வரிசை மாற்றப்படுதல்.

2. **இரட்டிப்பில் நேரடிப் பிழை:** (direct replication error) இரட்டிப்பின்போது அச்சுக்கு நேரான பிரதிக்குப் பதிலாக வேறு ஏதாவதொரு காரம் இணைக்கப்படுதல்.

3. **இரட்டிப்பில் மறைமுகப் பிழை:** (Indirect replication error) DNA யின் ஒரு நூக்ளியொடைடு தொடரின் ஒன்று அல்லது ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட காரங்கள், DNA பகுப்பின் போது வேறு பொருள்களாக மாற்றப்படலாம் இப்பொருள்கள் இயல்பாக DNA மூலக்கூறில் காணப்படாதனவாயினும், DNA சில தடவை இரட்டிப்படையும் வரை DNAயில் இருக்கக் கூடியனவாகையால், இவற்றின் பிரதிகளாக உண்டாகும் காரங்கள் மாறுபட்டவரிசையிலமைந்து மாற்றத்தை ஏற்படுத்துதல்.

DNA இரட்டிப்பின்போது இணைக்கப்படும் பிழையான காரம் DNAயில் காணப்படும் மற்றொரு காரமாகவோ, அல்லது அவற்றி லொன்றைப் போன்ற போலியான வேறொரு காரமாகவோ இருக்க லாம். அப்படிப்பட்ட காரங்கள் காரப்போலி(base analogue) எனப் படும் கேஃபீன் (Caffeine) போன்ற காரப்போலிகள் உயிர்களால் இயற்கையாக உண்டாக்கப்படுவனவாகும். மற்றவைகள் செயற் கையாகத் தயாரிக்கப்பட்டு மூட்டேசனை ஏற்படுத்தப் பயன்படுத்தப் படுவனவாகும். காரப்போலியானது இயற்கையானதாக இருந் தாலும் செயற்கையானதாக இருந்தாலும் அது சேர்த்துக் கொள் ளப்படுவதால் இயல்பு மாறிய DNA மூலக்கூறு தோன்ற ஏது வாகிறது.

மூடேசன் வகைகள் (Type of mutations)

DNA மூலக்கூறின் நூக்ளியொடைடு தொடர்களில் ஒரு இடத் தில் ஒரே ஒரு ஜோடி காரங்கள் மட்டும் மாற்றமடைந்தால் அது புள்ளி மூடேசன் (point mutation) எனப்படும். தொடர்ச்சியாக ஒன்றுக்கு மேற்பட்ட காரங்கள் மாற்றமடைந்தால் பல்லிட மூடேசன் (multisite mutation) எனப்படும். புள்ளி மூடேசன் ஒரு கார ஜோடி வேறொன்றாக மாறுவதாலோ, ஒரு கார ஜோடி நீக்கப் படுவதாலோ அல்லது புதிதாக ஒரு கார ஜோடி இடைச் செருகப் படுவதாலோ ஏற்படலாம்.

கார ஜோடி மாற்றங்கள் டிரான்சிஷன் (transition) டிரான்ஸ் வெர்ஷன் (transversion) என இருவகைப்படும் நைட்ரஸ் அமிலம் போன்ற சாதாரண வேதிப் பொருள்களே ஒரு பிரிமிடின் காரத்தை மற்றொரு பிரிமிடின் காரமாகவும் ஒரு புரைன் காரத்தை மற்றொரு புரைன்காரமாகவும் மாற்றக்கூடும். ஆனால் ஒரு பிரிமி டினைப் புரைனாகவோ, புரைனைப் பிரிமிடினாகவோ மாற்றுவது எளிதல்ல. DNAயின் ஒரு நூக்ளியொடைடு தொடரில் ஒரு புரை னுக்குப்பதில் மற்றொரு புரைனும், அதன் ஜோடியான பிரிமிடி னுக்கு பதில் வேறு பிரிமிடினும் ஏற்படுவது டிரான்சிஷன் எனப் படும். ஆகவே இதனால் ஒரு A-T ஜோடி G-C ஜோடியாகவோ G-C ஜோடி A-T ஜோடியாகவோ மாற்றமடைகிறது. ஒரு புரை னுக்குப் பதில் பிரிமிடினோ, பிரிமிடினுக்குப் பதில் புரைனோ உண்டாவது டிரான்ஸ்வெர்ஷன் எனப்படும். இதனால் கீழ்க் காணும் மாற்றங்கள் நிகழலாம்.

A-T ⟶ C-G
A-T ⟶ T-A
G-C ⟶ C-G
G-C ⟶ T-A

ஒரே ஒரு கார ஜோடி மாற்றத்தால் ஏற்படக் கூடிய விளைவு மாற்றப்பட்ட ஜோடி DNAயில் இருக்கும் இடத்தைப் பொருத்துத் தீவிரமானதாகவோ, மிக எளிமையானதாகவோ இருக்கலாம். ஒற்றைக் கார ஜோடி மாற்றம் கீழ்க்காணும் மூன்று விதங்களில் மரபுக் குறியீட்டை மாற்றக் கூடும்.

1. மரபுக் குறியீடு டிஜெனரேட் (degenerate) இயல்புடைய தாகையால் இரண்டு குறிகள் ஒரே அமினோ அமிலத்தைக் குறிப்பன வாக இருக்கலாம். பெரும்பாலும் அப்படிப்பட்ட இரண்டு குறிகளில் ஒரே ஒரு காரம் மட்டுமே வேறு படுகிறது. எடுத்துக்காட்டாக, AGU, AGC ஆகிய இரண்டு குறிகளும் செரைன் என்ற அமினோ அமிலத்தைக் குறிப்பனவாகும். ஆகவே இவற்றின் மூன்றாவது காரங்கள் ஒன்றிலிருந்து மற்றொன்றாக மாறினாலும் அதனால் புரோட்டீனில் எந்த வித மாறுதலும் ஏற்படாது. எனவே இத் தகைய மூடேசனால் வெளியில் தெரியக் கூடிய விளைவு எதுவும் ஏற்படாது.

2. மூடேசனாலேற்படும் புதிய காரவரிசை வேறொரு அமினோ அமிலத்தைக் குறிப்பதாக இருக்கலாம். இப்படிப்பட்ட மூடேசன் பொருட்பிழை (missense) மூடேசன் எனப்படும். இதனாலேற்படும் அமினோ அமில மாற்றத்தினால் புரோட்டீனின் சிதைவுக்கிரியை இயல்பு, மின்னேற்றம் முதலிய பண்புகள் மாற்றமடையலாம். சிதைவுக்கிரியை இயல்புகளிலேற்படும் பெரிய மாற்றங்கள்மட்டுமே எளிதில் கண்டறியப்படக்கூடியனவாகும்.

3. ஏதாவதொரு அமினோ அமிலத்தின் குறி மூடேசனால் புரோட்டீன் தொடர் முடிவைக் குறிக்கும் குறியாக மாறலாம். இதனால் புரோட்டீன் தொடரின் நீளம் முந்தைய புரோட்டீனின் ஒரு பகுதியோடு முடிவுற்றுப் போக நேரிடும் இப்புதிய புரோட்டீன் முந்தையதிலிருந்து மிக வேறுபட்டதாக இருக்கக் கூடுமாதலால் அது முந்தையதன் மாற்றமென்று அமினோ அமில வரிசையினாலல்லாமல் வேறு வழிகளால் அறிய முடியாமல் போகலாம். இப்படிப்பட்ட மூடேசன்கள் பொருளற்ற (nonsense) மூடேசன்கள் எனப்படும்.

ஒரு ஜோடி காரங்கள் நீங்குவதாலோ அல்லது புதிதாகச் செருகப் படுவதாலோ, புரோட்டீனமைப்பில் பெரும் மாறுதலேற் படலாம். ஏனென்றால் இவை தாம் உண்டான இடத்தைப் பொருத்து ஒரு புரோட்டீனின் குறியீட்டு வரிசை முழுவதையுமே அல்லது பெரும் பகுதியையோ வேறு குறியீடாக மாற்றி

விடக்கூடும். எடுத்துக் காட்டாக ஒரு DNA நூக்ளியொடைடு தொடரின் காரவரிசை ATG, ACG, AGT, GCC, ATC என்று இருப்பதாக வைத்துக் கொண்டால் இதில் முதலில் வரும்Tயானது நீங்கிவிட்டால் குறியீடானது AGA,CGA, GTC, GCA, TC என்று மாறிவிடும். ஆகவே மூடேசன் இடத்தில் குறிக்கப்படும் அமினோ அமிலமல்லாமல், அதற்குப் பிறகு வரும் எல்லா அமிலங்களும் மாற்றமடைகின்றன. பொருட்பிழை மூடேசன்களிலிருந்து வேறு படும். இப்படிப்பட்ட மூடேசன்கள் உளறு (gibberish) மூடேசன் கள்எனப்படும். ஆனால் பெரும்பாலும் இப்படிப்பட்ட உளறு மூடேச னல்வெகு நீளத்துக்கு அமினோ அமிலக் குறிகள் மாறுவதற்குப் பதி லாகப் புரோட்டீன் தொடர் முடிவு ஏற்பட்டுவிடுகிறது.ஏனென்றால் புதிய குறியீட்டில் ஏதாவதொன்று புரோட்டீன் தொடர்முடிவினைக் குறிக்கும் குறியீடாகலாம். புள்ளி மூடேசன்களின் தன்மையும் அவற்றின் விளைவுகளும் பட்டியல் 16.1-ல் குறிக்கப் பட்டுள்ளன.

பட்டியல் 16.1

புள்ளி மூடேசன்களும் அவற்றின் விளைவும்

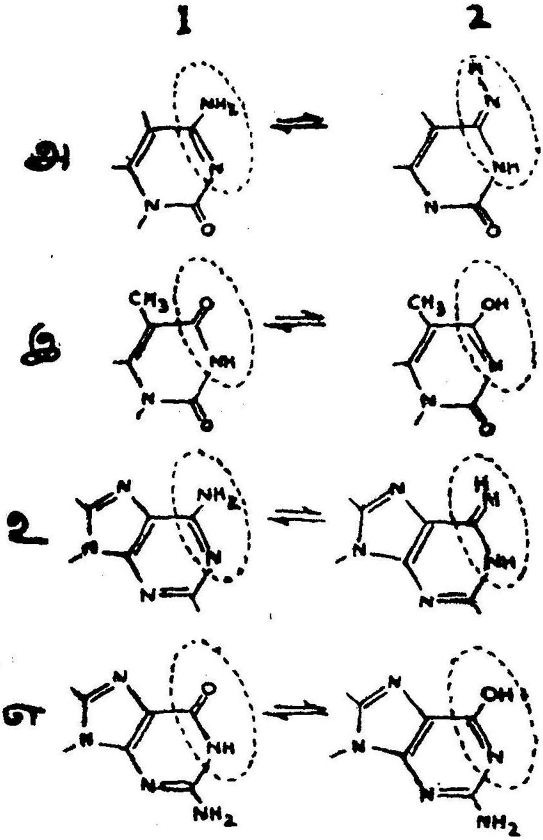
| DNA மாற்றம் | விளையும் புரோட்டீன் மாற்றம் |
|---|---|
| ஒரு காரம் மாறுதல் | 1. மாற்றமின்மை<br>2. ஒரு அமினோ அமிலம் மாற்றமடைதல்(பொருட் பிழை)<br>3. தொடர் முடிவுறுதல் (பொருளற்ற) |
| ஒரு காரம் அல்லது ஒரு சில காரங்கள் விலகுதல் அல்லது செருகப்படல் | 1. அமினோ அமிலத் தொடர் வரிசைக் குறியீடு மாறுதல் (உளறு)<br>2. தொடர்முடிவுறல் (பொருளற்ற) |

## மூடேசன் காரணிகள் சில

**டாட்டோமெரிசேஷன்** (tautomerization) அல்லது **வேற்றுருவாதல்**

DNAயின் புரைன்களும், பிரிமிடின்களும் பெரும்பாலும் காணப்படும் அவற்றின் இயல்பான உருவவடிவமைப்பிலிருந்து சற்று மாறுபட்ட அமைப்பில் இருக்கக்கூடும். மூலக்கூறின் இப்படிப்பட்ட வேறுபட்ட உருவம் டாட்டொமெர் (tautomer) அல்லது வேற்றுரு எனப்படும். மூலக்கூறின் எலெக்ட்ரான் களும் புரோட்டான்களும்மாறுபட்ட சில இடங்களில் அமைவதால்

இப்படிப்பட்ட வேற்றுருக்கள் ஏற்படுகின்றன. DNAயின் நான் காரங்களின் அசாதாரண வேற்றுருக்கள் அவற்றின் ஹைட்ரஜன் அணு இடம் மாறுவதாலேற்படுகிறது. (படம் 16-3). இதனல் சில ஒற்றை இணைவுகள் இரட்டை இணைவுகளாகவோ, இரட்டை இணைவுகள் ஒற்றை இணைவுகளாகவோ மாறுவதால் அவற்றின் ஜோடி சேருந்தன்மை மாறுபடுகிறது. அடினினுடைய சாதாரண

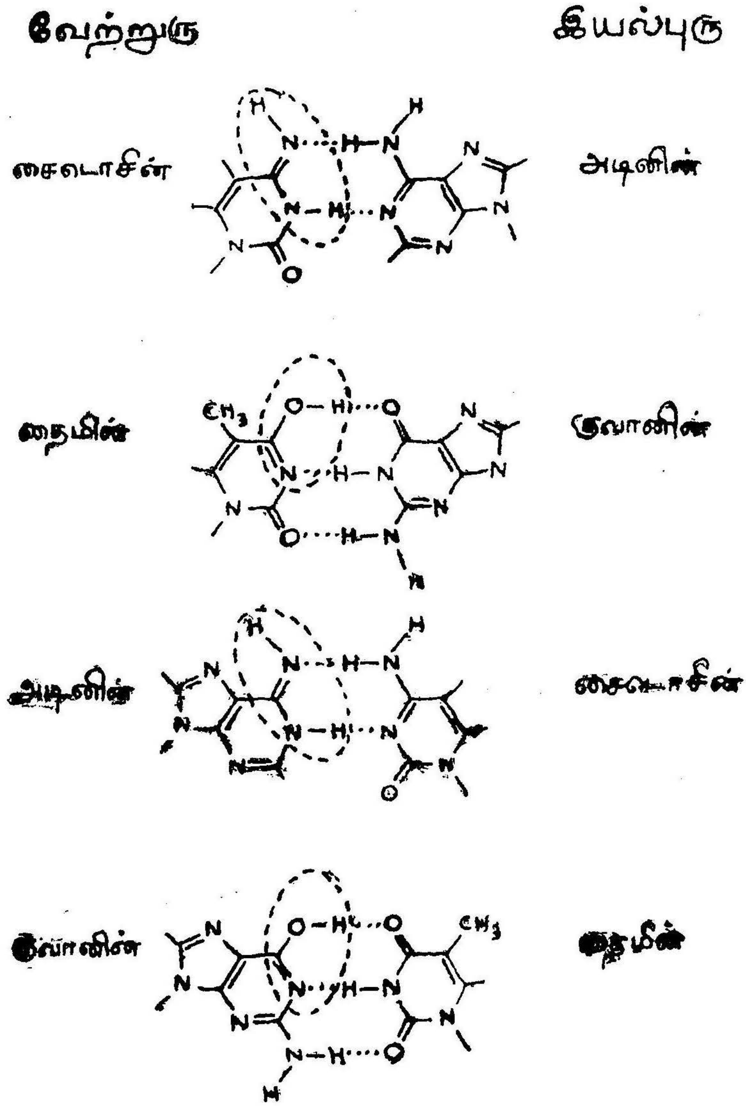



படம்: 16—3

DNA காரங்களின் இயல்புரு அமைப்பும், அபூர்வ டபட்டமர் (வேற்றுரு) அமைப்பும்:

1. இயல்பமைப்பு; 2. அபூர்வ டாட்டமெர். அ. சைட்டொசின் இ. தையமின்; எ. அடினின்; உ. குவானின்.

டாட்டொமெரானது தைமினேடு ஜோடிசேருகிறது. ஆனல் அதன் அசாதாரண (இமினே) டாட்டொமெர்சைடொசினின் சாதாரண



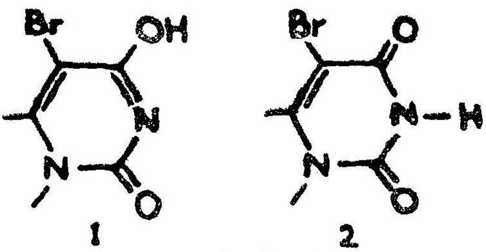

படம்: 16—4

DNA காரங்களின் அபூர்வ டாட்டமெர்கள். (வேற்றுருக்கள்) இயல்புரு காரங்களோடு இணைதல்.

டாட்டொமெரோடு ஜோடி சேருகிறது. (படம் 16.4) இதனுல் ஒரு AT ஜோடி GC ஜோடியாகவோ அல்லது இதற்கு நேரெதிராகவோ மாற்றமடைய ஏதுவாகிறது.

**பேஸ் அனலாக்** (base analogue) **அல்லது கார ஒப்புரு :**

சிலபொருள்கள் DNA காரங்களைப்போன்ற மூலக்கூறமைப்பை உடையனவாக இருக்கின்றன. எனவே DNA இரட்டிப்பின் போது இயல்பான காரத்துக்குப் பதிலாக இவை இருந்தால் சேர்த்துக்கொள்ளப்படலாம். எடுத்துக்காட்டாக 5- புரோமோயுரேசில் என்ற பொருளின் சாதாரண உருவம் தைமினைப் போலவே இருப்பதால் (படம் 16.5) தைமினுக்குப் பதிலாக சேர்த்துக் கொள்ளப் படலாம். மற்றும் இதனுடைய அசாதாரண டாட்டொமெர்




1 2

படம் 16—5

5—புரோமோயுரேசில் மூலக்கூறின் இரு அமைப்புகள்.
1. அபூர்வமான இனுல் அமைப்பு 2. இயல்பான கீட்டோ அமைப்பு.

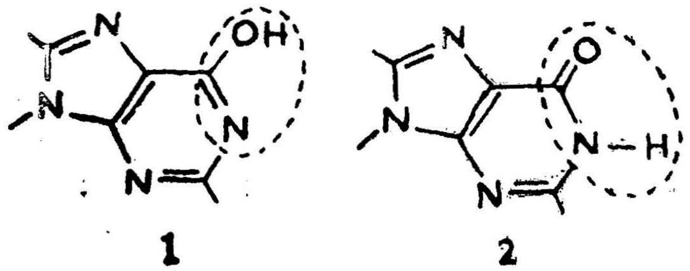
தைமினின் அசாதாரண டாட்டொமெரைப் போல இருப்பதால் குவானினோடு ஜோடி சேருகிறது. இதனுல் ஒரு AT ஜோடி GC ஜோடியாக மாற ஏதுவாகிறது. பாக்டீரியங்களில் 5- புரோமோயுரேசிலானது மூடேசன் விகிதத்தை பல மடங்கு அதிகரிப்பதாகத் தெரிய வந்துள்ளது.

**அமின் நீக்கம்** (deamination) : நைட்ரஸ் அமிலம் ($HNO_2$) ஒரு பிரபலமான மூடேசனூக்கியாகும். இது DNA மூலக்கூறின் அமினோ தொகுதிக்குப் பதிலாக ஹைட்ராக்சில் தொகுதியைச் சேர்ப்பதன் மூலம் DNAயில் மாற்றத்தையுண்டாக்குகிறது. எடுத்துக் காட்டாக ஆறுவது கார்பன் அணுவோடு அமினோ தொகுதி இணைந்ததான அடினின் மேற சொன்ன மாற்றத்தால் ஹைபோசாந்தினுக (Hypoxanthine) மாறுகிறது (படம் 16.6) ஹைபோசாந்தினில் உருமாற்றத்தால் சைடோசினோடு ஜோடி சேரத்தக்க டாட்டொமெர் உண்டாகிறது. இதன் மூலம் ஒரு AT ஜோடி GC ஜோடியாக மாற ஏதுவாகிறது. இதே போல் அமின் நீக்கத்தால் சைடொசினுனது யுராசிலாகவும் குவானினுனது சாந்தினுகவும் மாறுகின்றன.

அதியூதா ஒளிக்கதிர்கள் (ultraviolet light) : அதியூதாக்கதிர்களும் ஒரு சுமாரான மூடேசனூக்கியாகும். அது சைடொசின் தைமின் ஆகிய இரண்டு காரங்களிலும் கீழ்வரும் இரண்டுவித மாற்றங்களை ஏற்படுத்தக் கூடியது.

1. ஒளியேற்பினுல் நிகழும் சில மாற்றங்களால், DNA யின் இரண்டு நூக்ளியொடைடு தொடர்களும் பிரிதல்.

2. DNAயின் தொடர் பிரிவையும், இரட்டிப்பையும், கார ஜோடி சேர்க்கையையும் தடைப்படுத்தக்கூடிய இரட்டை மூலக்கூறினை உண்டாக்குதல்.



படம்: 16—6

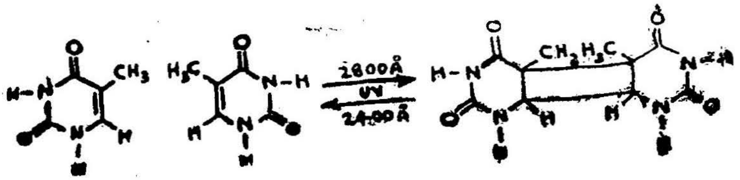
ஹைப்போ சோந்தின் மூலக்கூறின் இயல்புருவும், அபூர்வவேற்றுருவும். 1. இயல்புரு; 2. வேற்றுரு.

சைடொசினின் நான்காவது ஐந்தாவது கார்பன் அணுக்களுக்கு இடையிலுள்ள இரட்டை இணைப்பை(படம் 16.3)அதியூதாவொளிக் கதிர்கள் பலவீனப்படுத்துவதால் அந்த இடங்களில் தண்ணீர் மூலக்கூறு இணைக்கப்பட ஏதுவாகிறது. இதனுலுண்டாகும் ஒளியேற்புப் பொருள் ஹைட்ரஜன் இணைவுகளைச் சரியான முறையில் ஏற்படுத்த முடியாதாகையால் DNA தொடர்பிரிவு ஏற்படுகிறது.

2800Å அலைநீளமுள்ள அதியூதாவொளிக்கதிர் தைமினின் நான்காவது ஐந்தாவது கார்பன் அணுக்களுக்கிடையிலுள்ள இரட்டை இணைப்பை பலவீனப் படுத்துவதால் இரண்டு தைமின் மூலக்கூறுகள் இணைந்து இரட்டை மூலக்கூறாகக் கூடும்.(படம் 16.7) தைமின் இரட்டை மூலக்கூறுகள் உயிர்க்கொல்லியாகையால் அவை DNAயில் தொடர்ந்து இருந்தால் செல் இறந்துவிடும். ஆனுல் செல்கள் அதியூதாவொளிக் கதிராலுண்டாக்கப்படும் சேதத்தைச் சரி செய்யக் கூடியனவாகும். தைமின் இரட்டை மூலக்கூறுகளை

DNA யிலிருந்து நீக்கிவிட்டு, அந்த இடத்தில் அறுந்த DNA மூலக்கூறை மீண்டும் இணைத்துக் கொள்ளக் கூடிய திறனை செல்கள் பெற்றுள்ளன. அப்படிச் சரிசெய்யும்போது ஏற்படும் தவறுகளாலும் மூடேசன் உண்டாகலாம்.

முழு நூக்ளியொடைடு மாற்றங்கள் (whole nucleotide changes)
அக்ரிடின் சாயங்களைப் போன்ற வேதிப்பொருள்கள் DNA நூக்ளியொடைடு தொடரின் இரண்டு நூக்ளியொடைடுகளிடையே செருகப்பட்டு மூட்டேசனை ஏற்படுத்துவதாகக் கருதப்படுகிறது. இதனால் நூக்ளியொடைடு தொடரின் நீளம் 3.4Å அதிகரித்து,



படம்: 16—7
தையமின் இரட்டை மூலக்கூறு உண்டாகும் விதம்.

அங்கு ஒரு புதிய நூக்ளியொடைடு இணைய ஏதுவாகிறது. இதனால் மரபுக்குறியீடு மாற்றமடைந்து மூட்டேசன் ஏற்படுகிறது. மற்றும் அக்ரிடின் சாயங்கள் காரஜோடிகளை நீக்கவும் கூடுமெனத் தெரிகிறது.

இழை அறுதல் (strand breakage): X கதிர்கள் எளிதில் குரோமொசோம்களை அறுந்துபோகச் செய்யக் கூடியனவாகும். அதுவுமல்லாமல் X கதிர்கள் DNAயை நேரடியாகத் தாக்கி, சர்க்கரை-பாஸ்ஃபேட் இணைவை நீக்கக் கூடியனவாகும். சில பாக்டீரியங்களில் குரோமொசோமின் ஒற்றை இழை அறுந்துபோனால் அது பெரும்பாலும் சரி செய்யப்பட்டு விடுகிறது. ஆனால் இரண்டு இழைகளும் அறுந்துபோனால் சரிசெய்யப்படுவதில்லை. இதனால் குரோமொசோம் இரட்டிப்பும் காரஜோடி சேர்ப்பும் பாதிக்கப்பட்டு சில நூக்ளியொடைடுகள், புதிதாகச் சேர்க்கப்படவோ சில நீக்கப்படவோ ஏதுவாகிறது.

கீழ்க்காணும் பட்டியலில் சில முக்கிய மூட்டேசனூக்கிகளும் அவற்றாலேற்படும் விளைவுகளும் கொடுக்கப்பட்டுள்ளன.

### பட்டியல்

மூட்டேனூரசக்கிகளால் ஏற்படும் விளைவுகள்.

| மூட்டேசனூக்கியின் பெயர் | ஏற்படும் மூட்டேசன் விளைவு |
|---|---|
| நைட்ரஸ் அமிலம் | டிரான்சிஷன் பெருமளவு நீக்கம் |
| கார ஒப்புருக்கள் | டிரான்சிஷன் |
| அக்ரிடின்கள் | குறியீட்டுவரிசை மாற்றங்கள் |
| அதிபூதாவொளிக்கதிர் | டிரான்சிஷன், டிரான்ஸ்வெர்சன், குறியீட்டு வரிசை மாற்றம் பெருமளவு நீக்கம் |
| நைட்ரசோகுனிடின் (nitrosoguanidine) | டிரான்சிஷன், டிரான்ஸ்வெர்சன் |

# 17. செல்லின் மொத்த இயக்கம்-இடவழித் தொடர்பு

முன் அத்தியாயங்களில், செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளுடைய அமைப்பும், அவற்றின் இயக்கங்களும் தனித்தனியாக விவரிக்கப் பட்டது. ஆனால் உயிரின் அடிப்படை அலகாகிய செல்லில், ஒவ்வொரு நுண்ணுறுப்பும் ஒரு குறிப்பிட்ட பணியை ஆற்றுகிற தெனினும் அவற்றின் இயக்கங்கள் யாவும் ஒன்றோடொன்று தொடர்பு கொண்டு, ஒன்றையொன்று பாதித்து, கட்டுப்படுத்து வனவாக இருக்க வேண்டும். இல்லையேல் ஒரு செல்லின் மொத்த இயக்கம் ஒரு சீராகவும் ஒழுங்காகவும் நடைபெற முடியாது அவ்வாறு செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளினுடைய இயக்கங்கள் இடம், கலாம், சூழ்நிலை ஆகிய அமிசங்களைப் பொருத்து எவ்வாறு தொடர்பு கொண்டுள்ளன என்பதைப் பற்றிப்பார்ப்போம்.

**எளிய செல்களில் இடவழி இயக்கப் பிரிவு:**

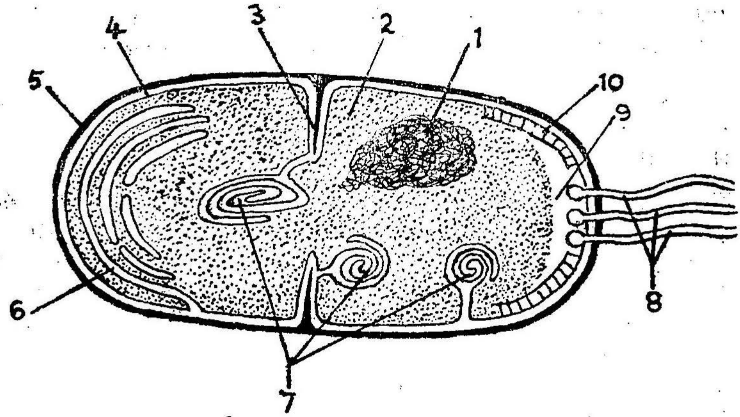
மற்ற உயிர்களின் செல்களோடு ஒப்பு நோக்குமிடத்து, பாக்டீரிய செல்களே மிக எளிய அமைப்பைக் கொண்டனவாக வுள்ளன. இவற்றின் எளிமையான அமைப்பு இவை உயிர்மரு உவில் தாழ்நிலையினவாகுமென்று கருத இடமளிக்கிறது. ஆயினும் மற்றெந்த உயிரும் வாழ முடியாத சூழ்நிலைகளிலும் வாழக் கூடிய இவற்றின் தன்மையையும், வேகமாக வளர்ந்து இனவிருத்தி செய்யும் இயல்பையும் பார்த்தால் இவற்றை உண்மையில் தாழ் நிலையின என்று சொல்ல முடியாது என்ற கருத்தும் உள்ளது. அது எப்படியாயினும், மிக நுண்ணிதான பாக்டீரிய செல்லிலும் அதன் வெல்வேறு இயக்கங்கள் வெவ்வேறு இடங்களில் நடை பெறுமாறு பிரிக்கப்பட்டிருப்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. (படம் 17.1)

பாக்டீரிய செல்லின் DNA இடைத்தொகுதி செல்லின் மையப் பகுதியிலமைந்து மற்றெந்த செல் நுண்ணுறுப்போடும் தொடர்பில் லாமல் தனித்திருக்கிறது. இதுவே மரபுப் பொருளாகும். சில பாக்டீரியங்களில் DNA இழை பிளாஸ்மா சவ்வுடன் தொடர்பு கொண்டுள்ளதாகச் சொல்லப்படுகிறது. எப்படியாயினும் மரபுப்

பொருளான DNA யிலிருந்து RNA உற்பத்தியாவது DNA இழைகளில் மட்டும் நடைபெறும் இயக்கமாகும்.

பாக்டீரிய செல்லின் ரைபொசோம்கள் சைட்டொபிளாச முழுதும் பரவியுள்ளன. எனினும் புரோட்டீனுற்பத்தி இவற்றில் மட்டும் நடைபெறும் இயக்கமாகும். இதில் இவை மரபுப் பொருளோடு RNA மூலம் தொடர்பு கொண்டியங்குகின்றன.

பாக்டீரிய செல்லின் உயிர்ப்பு, செல்லின் உள் ஓரங்களில் அமைந்திருக்கும் சவ்வு மண்டலங்களில் நடைபெறுகிறது. இந்த இயக்கத்துக்கேற்ப வெவ்வேறு வேதிப் பொருள்களின் ஊடுபரவலை




படம் 17.1
பாக்டீரிய செல்லின் நுண்ணமைப்பு.
1. DNA; (நியூக்ளியஸ்) 2. சைட்டொபிளாசம்; 3. தடுப்பு; 4. செல்சவ்வு; 5. செல்சுவர்; 6; சைட்டோசவ்வுப் படலம்; 7. மீசெசோம்; 8. ஃபிளாஜெல்லங்கள்; 9. ஃபிளாஜெல்லா அடி வெளி; 10. துருவச்சவ்வு.

ஒழுங்கு படுத்தக்கூடிய அமைப்புகள் பாக்டீரிய செல்லில் இருப்பதாகத் தெரியவில்லை யெனினும், யாதொரு இடர்ப்பாடு மின்றி உயிர்ப்பின் பல படிகளும் செவ்வனே நடைபெறுவது ஆச்சரியமான நிகழ்ச்சியாகும். சில பாக்டீரியங்களில் பிளாஸ்மாசவ்வு பல இடங்களில் உட்புறமாகக் குழிந்து, ஆங்காங்கு சில நுண் இழை அமைப்பைப் போன்ற தனிப்பட்ட சிக்கலான அமைப்புகளைப் பெற்றுள்ளன. ஆனால் இவற்றின் பணியும், இயக்கமும் என்ன என்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. ஒளிச்சேர்க்கை பாக்டீரியங்களில், தனிப்பட்ட சவ்வுக் குமிழ்கள் செல்லின் பெரும் பகுதியை

ஒழுங்கின்றி நிரப்பிக் கொண்டோ, அல்லது பசுங்கணிகங்களைப் போல் ஒழுங்கான தட்டுகளாக அமைந்தோ இருக்கின்றன. எனவே இவற்றின் ஒளிச் சேர்க்கை இயக்கம் இச்சவ்வு மண்டலங்களில் மட்டும் நடைபெறுவதாகும்.

மொத்தத்தில் பாக்டீரிய செல்லைப்பற்றிய ஆய்வுகளிலிருந்து தெரிவது யாதெனில், பாக்டீரியங்கள் முன்பு கருதப்பட்டது போல், வெறும் நொதிப் பைகளல்ல வென்பதும், அவை பல்வேறு இயக்கங்களில் ஈடுபடும் தனிப்பகுதிகளைத் தம்முள் கொண்டு, அவ்வியக்கங்கள் சீராக நடைபெறுமாறு ஒழுங்கு படுத்தவல்ல உயிரமைப்புகளாகுமென்பதாம். உண்மையில் உயிர்களின் பிரத்தியேக பண்புகளையும், இயக்கங்களையும் பாக்டீரிய செல்கள் அவற்றின் மிக எளிய அமைப்பைக் கொண்டே பெறுகின்றன.

செல்களில் நடைபெறும் எல்லா இயக்கங்களுக்கும் அடிப்படையானவை நொதிகளாகு மென்று முன்பே சொல்லப்பட்டது. செல்களில் பொதுவாக நொதிகள் மூன்று இட வழிகளில் இருக்கின்றன. ஒன்று, சவ்வுப் படலத்தோடு நெருக்கமாக இணைந்தும், இரண்டு, சவ்வுப் படலங்களால் மூடப்பட்டும், மூன்று, சவ்வுப் படலங்களல்லாத பிற அமைப்புகளோடு சேர்ந்தும் காணப்படுகின்றன. குறிப்பிட்ட நொதிகள் குறிப்பிட்ட பணிகளுக்கும் வேதி மாற்றங்களுக்கும் தேவைப்படுவதால், அப்பணிகளும், மாற்றங்களும் நடைபெறும் இடங்களில் மட்டுமே அந்நொதிகள் இருக்கும் படியாகத் தனிப்படுத்தும் சூக்குமத்தைச் செல்கள் பெற்றிருக்கலாமென்று கருத இடமிருக்கிறது. சிக்கலான சவ்வுப் படல அமைப்பில்லாமலே, உயிர் செயலனைத்தையும் பாக்டீரிய செல்கள் செய்கின்றனவாகையால், செல்லியக்கத்துக்கு சவ்வுப் படலங்கள் இன்றியமையாதன என்று சொல்ல முடியாது.

செல்களில் சவ்வுப்படலங்களின் தனிப்பட்ட பங்கும், முக்கியத்துவமும் என்ன? அவை எலெக்ட்ரான் செலவை நடத்துவதற்கும், ஊடு பரவலைக் கட்டுப்படுத்துவதற்கும் வழிவகையாக இருக்கின்றன என்று பொதுவாகக் கருதப்படுகிறது. முதல் பணியைப் பொருத்தவரையில் இப்பணி இதர தாவர விலங்கு செல்களில் சவ்வுப்படலத்தால் மூடப்பட்ட செல் நுண்ணுறுப்புகளில் நடைபெறுகிறதென்பதைத் தவிர வேறு வழிகளில் பாக்டீரியங்களில் நடைபெறுவதிலிருந்து வேறுபட்டதாகத் தெரியவில்லை. ஊடுபரவலைப் பொருத்து, எல்லா செல்களின் பிளாஸ்மா சவ்வும் ஒரே மாதிரியாகச் செயல்படுகின்றனவென்றே சொல்லலாம். ஆனால் உயர்தாவர விலங்கு செல்களின் சைட்டொ பிளாசத்தில் நுண்ணுறுப்புகளாகவும், வலையமைப்பாகவும் சவ்வுப்படலங்கள்

அமைந்திருப்பதன் முக்கியத்துவம் என்னவென்று நிச்சயமாகச் சொல்ல முடியாது. இப்படலங்களின் பெரும்பகுதி எலெக்ட்ரானைச் செலுத்தும் பணியைச் செய்வதில்லையாதலால், ஊடுபரவலைக் கட்டுப்படுத்துவதே அவற்றின் முக்கிய பணியாக இருக்கவெண்டு மென்று கருதப்படுகிறது.

ஒரு பாக்டீரிய செல்லின் வாழ்க்கையில் ஊடுபரவுதலென்பது முக்கியத்துவம் வாய்ந்ததல்ல. ஏனெனில் அதன் உருவம் மிகச் சிறியதாகையால் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து வேதிப் பொருள்கள் அதனுள் எந்த இடத்தையும் விரைவாக அடையவும் விரைவாக வெளியேறவும் முடியும். எடுத்துக்காட்டாக ஒரு கிளைசின் மூலக்கூறு 20°C வெப்ப நீரில் வினுடிக்கு சுமார் 100μ நகர்ந்து செல்லுகிறது. எனவே சுமார் 0.5μ குறுக்களவேயுள்ள பாக்டீரிய செல்லை ஒரு வினுடியில் சுமார் 200 முறைகள் கடக்கலாம். மூலக்கூறெடைக்கும், ஊடுபரவு வேகத்துக்கும் உள்ள தொடர்பிலிருந்து கணக்கிட்டால், கிளைசினைப்போல் 500 மடங்கு மூலக்கூறெடையுள்ள ஒரு பொருள் கிளைசினைப்போல் சுமார் 1/10 வேகத்தில் ஊடுபரவக்கூடுமென்று தெரிகிறது. எனவே மிகப் பெரிய மூலக்கூறுகள்கூட பாக்டீரிய செல்லுக்கு உள்ளும் புறமும் மிக வேகமாகச் சென்று அதன் தேவைகளைச் சமாளிக்க முடியும்.

பாக்டீரிய செல்களில் சாத்தியப்படுவது போல், உயர் செல்களில் தன்னிச்சையான ஊடுபரவலால் சுற்றுப்புறத்திலிருந்து செல்லுக்குத் தேவையான பொருள்கள் செல்லினுள் பல பாகங்களுக்கும் செல்ல முடியாது. ஏனெனில் அவற்றின் அளவு பாக்டீரிய செல்லைவிட பலமடங்காகும். எனவே செல்லினுள் நடைபெறும் பல பணிகளும் ஆங்காங்கே நுண்ணுறுப்புகளில் சவ்வுப் படலங்களால் தனிபபடுத்தப்படுகின்றன.

செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளைச் சூழ்ந்துள்ள சவ்வுகள், சில பொருள்களின் ஊடுபரவலைத் தடுத்தும், வேறு சில பொருள்களின் ஊடுருவலை ஊக்குவித்தும், ஒவ்வொரு நுண்ணுறுப்பினுள்ளும் அதன் செயலுக்குத் தேவையான வேதிச்சூழ்நிலையை உண்டாக்குகின்றன. இதனால் மற்ற பொருள்களின் குறுக்கீடின்றி செல் நுண்ணுறுப்புக்களின் பணி செவ்வனே நடைபெறுகிறது. ஒவ்வொரு நுண்ணுறுப்பிலும், மற்ற நுண்ணுறுப்புகளிலிருந்தும் ஹையலோபிளாசத்திலிருந்தும் வேறுபடும் தனிப்பட்ட நுண் சூழ்நிலை நிலவி அவற்றின் பணி ஒழுங்காக நடைபெறுவதற்கு அவற்றைச் சூழ்ந்துள்ள பசவ்வுகள் வழி செய்கின்றன. ஆனால் நூக்ளிய சவ்வு மட்டும இதற்கு விதிவிலக்காக இருக்கிறது. ஏனெனில் மற்ற

நுண்ணுறுப்புகளைச் சூழ்ந்துள்ள சவ்வைப் போலல்லாமல், நூக்ளிய உறையில் பெரிய புரோட்டீன் மூலக்கூறுகளும் எளிதில் ஊடுருவக்கூடிய துளைகள் உள்ளன. உண்மையில் நூக்ளிய உறையின் மொத்த பரப்பளவில் சுமார் 10% துளைகளாகும். நூக்ளியஸ்களை வைத்துச் செய்த பல சோதனைகளிலிருந்து நூக்ளியசுக்கும், சைட்டோபிளாசத்துக்குமிடையே இடைவிடாமல் பல பொருள்கள் நகர்ந்து கொண்டிருக்கின்றன என்று தெரிகிறது. ஆகவே நூக்ளியசானது மற்ற நுண்ணுறுப்புகளைப் போலல்லாமல், ஒரு தனிப்பட்ட நுண்சூழ்நிலையைத் தனிப்பட்ட முறையில் பெறுவதாகத் தெரிகிறது.

ஒரு பொருளின் கன அளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க அதன் பரப்பளவு அதே விகிதத்தில் அதிகரிப்பதில்லையென்ற பொது விதியே, செல்களின் கன அளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க அவற்றின் உருவ அமைப்பில் மாற்றங்களேற்பட முக்கிய காரணமாகிறது. ஒரு உருண்டையின் ஆரையினுடைய மும்மடங்காக (cube) அதன் கன அளவு அதிகரிக்கிறது. ஆனால் பரப்பளவு, ஆரையினுடைய இருமடங்காக (square) அதிகரிக்கிறது. எனவே கன அளவு அதிகரிக்க அதிகரிக்க, உட்பகுதிகள் வெளிப்பகுதியிலிருந்து மிக விலகிச் செல்லுவதோடு மட்டுமல்லாமல், சுற்றுப் பரப்பின் வழியாகச் சூழ் நிலையோடு கொள்ளும் தொடர்பின் விகிதமும் குறைகிறது. இதனால் ஊடுபரவல் மூலம் செல்லினுள் பொருள்கள் செல்லுவதும், செல்லை விட்டுப் பொருள்கள் வெளியேறுவதும் சிரமமாகிறது. இப்பிரச்சினையைச் சமாளிக்கவே செல்களின் உருவ அமைப்பில் பல மாற்றங்களேற்படுகிறது. பிளாஸ்மா சவ்வின் குழிவுகளான என்டொபிளாச வலையின மூலம் செல்லின் வெளிப்பரப்பு பல மடங்கு அதிகரிக்கப்படுகிறது. மறலும் இவ்வலையின் மூலம் குறிப்பிட்ட இடங்களுக்குக் குறிப்பிட்ட பொருள்களைக் கடத்துவதும் சாத்தியப்படலாமென்று கருதப் படுகிறது. தாவர செல்களில் தோனறும் வேக்யூல்களும், சைட்டொபிளாசத்தின் பரப்பளவை அதிகரித்து, சுற்றுப் புறத்தோடு அது கொள்ளும் தொடர்பின் விகிதத்தை அதிகரிக்க ஏதுவாகின்றன.

### சவ்வுகளின் செய்தி கடத்தும் பணி :

செல்களின் கன அளவு அதிகரிப்பதால் அவற்றின் அமைப்பில் சிக்கலான மாற்றங்கள் ஏற்படுவதைப் போல், செல்களின் கூட்டு அதிகரிப்பதால் அவற்றின் பணிகளும் வெவ்வேருகத் தனிப்படுகின்றன. உடலுக்கும் உறுதியளித்தல், வேதிப் பொருள்

களைச் சுரத்தல், உடலின் அசைவை ஏற்படுத்துதல், பாதுகாப் பளித்தல் முதலிய பல பணிகளைச் செய்யத் தனிப்பட்ட அமைப்பு களைக் கொண்ட செல்கள், உடலின் குறிப்பிட்ட பகுதிகளில் உண் டாகின்றன. அதாவது, ஒரே செல்லினுள் நுண்ணுறுப்புகளில் பல பணிகள் தனிப்படுத்தப்படுவது போல், பல செல்களின் கூட்டாலமைந்த உடலில், குறிப்பிட்ட செல் தொகுதிகளில் குறிப் பிட்ட பணிகள் தனிப்படுத்தப்படுகின்றன. அவ்வாறு பணிகள் தனிப்படுத்தப்பட்டாலும், அவையாவும் சேர்ந்து ஒரே உயிரின் பகுதியாக இயங்க வேண்டுமாகையால் அவற்றினிடையே பரஸ்பர தொடர்பும், கட்டுப்பாடும் ஏற்பட வேண்டியதவசியமாகிறது. இதற்காக விலங்குகளில் சில தனிப்பட்ட செல்கள் தனிப்பட்ட அமைப்பைப் பெற்று, உடலின் பல பகுதிகளிடையே செய்திகளைக் கடத்தும் பணியை மேற் கொள்ளுகின்றன. இவையே நரம்பு செல்கள் எனப்படுகின்றன.

செல்லின் நுண்ணுறுப்புகளைத் தனிப்படுத்துவதற்கும், அவை பணி புரிவதற்கும், அப்பணிகளிடையே தொடர்பு ஏற் படுத்தவும், செல்சவ்வு பயன்படுவது போலவே, உடலின் பல பகுதிகளில் நடைபெறும் பணிகளை ஒழுங்குபடுத்துவதற்காக அவற்றிடையே செய்திகளைக் கடத்தும் பணியையும், நரம்பு செல்களிலும் செல்சவ்வே செய்கிறது.

செய்தி கடத்தும் பணியைச் செய்வதற்கும், செல்சவ்வின் தெரிகடத்துத் திறனே பயன்படுகிறது. இதில் மிக முக்கியமான அடிப்படைவிஷயம் யாதெனில் அநேக செல்களில் பிளாஸ்மா சவ்வுக்கு உள்ளும் புறமும் அயனிகளின் அடர்த்தி வேறுபடுகிற தென்பதாகும் செல்சவ்வின் தடிமன் சுமார் 100Å ஆகையால் இதன் இருபுறமும் உள்ள அடர்த்தி வேறுபாடு மிகக் குறுகிய இடைவெளியிலேற்படும் பெரிய வேறுபாடாகிறது. ஒற்றை மின்னேற்ற அயனிகளை உணரும் ஒரு மின்கடத்தியைச் செல் சவ்வினுள்ளும், மற்றொன்றை வெளியிலும் வைத்து இரண்டையும் மின்கடத்தும் கம்பியாலிணைத்தால், மின்னழுத்த வேற்றுமை பதிவாகிறது. அநேக செல்களில் 50 முதல் 100 mv மின்ன ழுத்தமுள்ளது. இதில் உட்புறம் எதிர் மின்னேற்றத்தையும் வெளிப்புறம் நேர்மின்னேற்றத்தையும் காட்டுகின்றன. இந்த மின்னழுத்தத்துக்குச் சவ்வின் இருபுறமும் உள்ள அயனியடர்த்தி வேறுபாடே காரணமாகும். அதுவும், சவ்வை எளிதில் கடந்து செல்லும் அயனிகளே மின்னழுத்தத்தை ஏற்படுத்தக் கூடும். அவ்வாறு கடக்க முடியாத அயனிகளால் மின்னழுத்தம் ஏற்பட முடியாது.

சவ்வை எளிதில் கடப்பதால் மின்னழுத்தத்துக்குக் காரண மாகும் அயனி பெரும்பாலும் $K^+$ அயனியாகும். சாதாரணமாக $Na^+$ அயனிகள் செல்சவ்வைக் கடக்கக் கூடாதனவாகும். செல் சவ்வின் இருபுறமுமுள்ள மின்னழுத்த வேறுபாட்டை, அயனி அடர்த்தியிலிருந்து கணக்கிடலாம். இதற்கான சமனம்:

$$E = -58 \log_{10} \frac{K^+ \text{ உள்ளே}}{K^+ \text{ வெளியே}} mv$$

சவ்வின் தடிமன் 100Å என்றும் அதன் இருபுறமும் உள்ள மின்னழுத்த வேறுபாடு 50 mv என்றும் வைத்துக் கொண்டால் ஒரு சென்டி மீட்டரில் 50,000 வோல்ட் மின்னழுத்த வித்தியாசம் கணக்காகிறது.

இப்படிப்பட்ட மின்னழுத்த வித்தியாசத்தின் முக்கியத்துவம் என்ன? செல்களில் உலோக மின்கடத்திகள் கிடையாது. அதுவுமல்லாமல் உலோகங்களைப் போல் எலெக்ட்ரான்களை எளிதில் அளிக்கும் பொருள்களும் செல்லில் கிடையாது. ஆனாலும் திரவ மின்கடத்திகளைப் பயன்படுத்தி உயர் மின்னழுத்தத்தினை செல்கள் தோற்றுவிக்கக் கூடுமென்பது மின்னாற்றலை வெளிப்படுத்தும் மீனினங்களிலிருந்து நன்கு புலனாகிறது. ஆனால் செல்கள் அவ்வாறு மின்னழுத்தத்தையும், மின்னாற்றல் வெளிப்பாட்டையும் உண்டாக்கும் சூக்குமம் என்னவென்று தெரியவில்லை. அதைப் போலவே நரம்பு செல்களின் மூலம் செய்திகள் கடத்தப்படும் சூக்குமத்தைப் பற்றியும் நாம் இன்னும் முழுமையாக அறிய முடியவில்லை. எனினும் நரம்பு செல்களில் செய்திகள் மின்னாற்றலாகவே கடத்தப்படுகின்றன என்பதைப்பற்றி ஐயப்பாடு இல்லை எனலாம்.

சவ்வுக்கு இருபுறமுமுள்ள அயனி அடர்த்தி வித்தியாசத்தால் மின்னழுத்தம் ஏற்பட்டுக் கடத்தப்படுவது உண்மையாயினும், மின்னாற்றல் மூலம் நரம்பில் எவ்வாறு பல்வேறு வகையான செய்திகள் கடத்தப்படுகின்றன என்பது சரியாகத் தெரியவில்லை. ஆனால் தூண்டல்களுக்கிலக்காகும் சவ்வுகளின் மின்னாற்றல் போக்குகளிலிருந்து இதைப்பற்றி சில விவரங்கள் அறியப்பட்டுள்ளன.

ஒரு நரம்பு செல்லை, மின்விசை அல்லது உராய்வு மூலம் தூண்டி அதற்கு மிக அருகாமையில் ஏற்படும் மின்னழுத்தமாற்றங்களைக் கணக்கிட்டால், முறையான சில நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுவது தெரியவருகிறது. மிகவலிமைகுன்றிய தூண்டலால் கக்குறைவான மின்னழுத்த மாற்றங்களே ஏற்படுகின்றன. தூண்டலின்

வலிமை அதிகரிக்க அதிகரிக்க, மின்னழுத்த மாற்றமும் அதிகரித்து முடிவில் ஒரு உச்ச அளவை அடைகிறது. அதற்குமேல் தூண்டலின் வலிமை அதிகரித்தாலும் மின்னழுத்த மாற்றம் அதிகரிப்பதில்லை. எனவே அது உச்ச மின்னழுத்தம் (spike potential) என்று சொல்லப்படுகிறது.

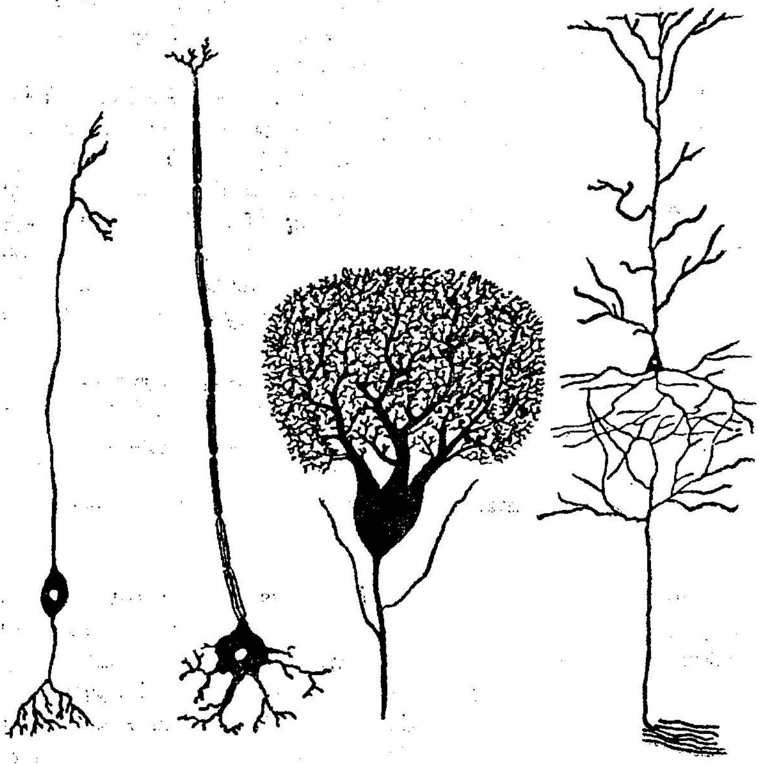
தூண்டல் விசையினளவையும், அதனாலேற்படும் விளைவின் விசையளவையும் ஒப்பிடும்போது, எப்பொழுதும் தூண்டல் விசையைவிட விளைவின் விசை அதிகமாக இருக்கிறது. விளைவின் விசை உச்ச நிலையை அடைந்ததும், செல் சவ்வின் அடிப்படையான ஒரு இயல்பு தெரியவருகிறது. அதாவது உச்சநிலை எய்தியவுடன், தூண்டல் நடைபெறும்இடத்தை அடுத்துள்ள சவ்வுப்பகுதிகள் படிப்படியான தூண்டலுக்கு உட்பட்டு, படிப்படியான உச்சநிலை விளைவுகள் அடுக்கடுக்காகத் தூண்டப்பட்ட இடத்திலிருந்து பரவுகின்றன. அப்படிப் பரவும் விளைவுகளின் தீவிரம், அதாவது மின்னழுத்த மட்டம், முதலில் ஏற்பட்ட உச்சவிளைவினளவாகவே இருக்கின்றன; சற்றும் குறைவதில்லை. எனவே தூண்டப்படும் இடத்திலிருந்து அதன் விளைவுகள், ஒன்று முழுமையாக கடத்தப் படுகிறது அல்லது கடத்தப்படுவதேயில்லை. அதாவது ஒரு குறிப்பிட்ட வலிமைக்குக்கீழுள்ள தூண்டலின் விளைவு கடத்தப்படுவதேயில்லை. குறிப்பிட்ட வலிமைக்கு மேலுள்ள தூண்டலின் விளைவு முழுதும் சற்றும் குறையாமல் தூண்டல் ஏற்படும் இடத்திலிருந்து கடத்தப்படுகின்றன. இதில் சவ்வானது உண்டு, இல்லை என்ற இரட்டைத்தேர்வு (bianary choice)விதியைக் கடைப்பிடிப்பதாகத் தெரிகிறது.

எப்படிப்பட்ட தூண்டலாயினும் மாற்றமடைந்த நிலையிலிருந்து வெகு விரைவில், அதாவது சில மில்லி வினாடிகளில் சவ்வு மறுமடியும் இயல்பு மின்னழுத்த நிலையை அடைந்து விடுகிறது. உச்ச மின்னழுத்த நிலையை அடைந்து மின்னாற்றலைக் கடத்தி மறுபடியும் இயல்பு நிலையை அடைந்த சவ்வு ஒரு குறிப்பிட்ட நேரத்துக்குத் தூண்டலை ஏற்காத நிலையைப் பெறுகிறது இந்தச் செயலறு நேரத்தில் தூண்டல் ஏற்பட்டால் தூண்டல் விளைவான மின்னழுத்த மாற்றமும், மின்னாற்றல் கடப்பும் ஏற்படாது

**நரம்பு செல்லின் அமைப்பு :**

தூண்டல்களை மின்னாற்றலாக மாற்றிக் கடத்தும் செல்சவ்வின் இயல்பை நன்குகப் பயன்படுத்தும் வகையில் தனிப்பட்ட அமைப்பை நரம்பு செல்கள் பெற்றிருக்கின்றன. நரம்பு செல்கள்

அவை செய்யும் தனிப்பட்ட பணியைப் பொருத்து வெவ்வேறு பெயர்களால் அழைக்கப்படுகின்றன. (படம் 17.2) சென்சரி செல் (sensory cell) என்பது ஒளி, ஒலி, தொடுதல், சுவை முதலிய தூண்டல்களைப் பெற்று நடு நரம்பு மண்டலத்துக்கு அனுப்புவதாகும். மோட்டார் செல் (Motor cell)என்பது நடு நரம்பு மண்டலத்திலிருந்து கட்டளைகளை வெளியில் எடுத்துச் செல்லுவனவாகும்



படம்: 17—2
பலவகையான நரம்பு செல்கள்

இவற்றை இணைக்கும் செல்கள் இன்டர்நியூரான்கள் (inter neurons) எனப்படும்.

எப்படிப்பட்ட நரம்பு செல்லாயினும், அதை செல்லுடல் (Cell body), செல் நீட்சிகள் (Cell processes) என்று இரண்டு பகுதிகளாகப் பிரிக்கலாம். செல்லுடல் பகுதியில் நியூக்ளியஸ் இருக்கிறது. மற்றும் சாதாரண செல்லில் காணப்

படும் செல்லுறுப்புகளான, மைட்டொகான்ரியங்கள், கோல்கி உறுப்புகள், என்டொபிளாசவலை, ரைபொசோம்கள் முதலியன இருக்கின்றன. செல் நீட்சிகளில் பெரும்பாலும் ஒன்று மிக நீளமாகப் பிரதானமாக இருக்கிறது அது ஆக்சான் (axon) எனப்படும். மற்ற சிறய நீட்சிகள் டென்ட்ரான்கள் (dendrons) எனப்படும்.

**படம் 17:3**

*மயலின் சூழலுடைய நரம்பிழையின் குறுக்கு வெட்டுத்தோற்றம்; எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில், அம்புக் குறிகள் உள், வெளி மீசாக் சான்களைக் காட்டுகின்றன.*

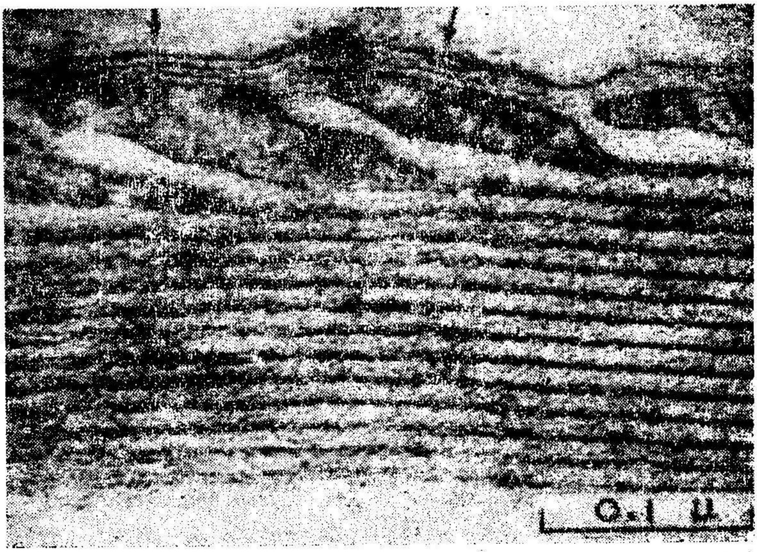
செல்நீட்சிகளில், செல்லுடலில் காணப்படும் செல்நுண்ணுறுப்புகள் கிடையாது. ஆக்சானென்பது மிக நீளமான நுண்ணிய குழல் போன்ற நீட்சியாகும். இதில் ஒரு சில மைட்டொகான்

றியங்களைத் தவிர வேறு நுண்ணுறுப்புகள் இல்லை. ஆனால் ஆக்சானை மையலின் உறை (myelin sheath) எனப்படும் செல் சவ்வுப்படலம் பல அடுக்குகளாகச் சூழ்ந்திருக்கிறது (படம்17.3). இந்த உறை ஆக்சானின் முழு நீளத்துக்கும் ஒரே தொடர்பாக இருப்பதில்லை. ஆங்காங்கே விட்டு விட்டு இருக்கின்றன. அவ்வாறு உறை இல்லாத இடைவெளிகள் ரான்வீர் கணுக்கள் (nodes of ranvier) எனப்படும் நரம்பு. செல்லின் மரு உவில் உயர் நிலையான மையலின் உறை பெற்ற செல்கள் முதுகெலும்புள்ள விலங்குகளில் மட்டும் காணப்படுகிறது. இது மின்னாற்றலைப் பயன் படுத்தி செல்சவ்வின் மூலம் செய்தி பரிமாற்றங்களைச் செய்து கொள்ளுவதற்கான பிரத்தியேக அமைப்பாகுமெனலாம். தூண்டல் அல்லது கட்டளையின் பயனாக ஆக்சான் சவ்வில் ஏற்படும் மின்னாற்றல் கடப்பு மையலின் சூழலற்ற ரான்வீர் கணுவுக்குக் கணு தாண்டிக் குதித்துச் செல்லுவதாகத்தெரிகிறது. மின்னாற்றல் கடப்பின் போது ஆக்சானை மையலின் சூழல் இன்சுலேட் (insulate) செய்கிறது. ரான்வீர் கணுக்களைத் தாண்டிக் குதிப்ப தால் மின்னாற்றல் கடப்பின் வேகம் அதிகரிக்கிறது.

சில நீளமான நரம்பு இழைகளில் வினாடிக்கு 150 மீட்டர் வேகத்தில் மின்னாற்றல் கடத்தப்படலாம். ஆனால் முதுகெலும் பற்ற சில விலங்குகளின் நரம்பு வலைகளில் வினாடிக்கு 0.1 மீட்டர் மட்டுமே கடக்கலாம். ஆனால் இந்த தாழ்ந்த வேகமும், சிறிய மூலக்கூறுகளின் ஊடுபரவும் வேகத்தைவிடப் பல மடங்கு அதிக மாகும். எடுத்துக்காட்டாகக் கிளைசின் மூலக்கூறு கரைசலில் வினாடிக்கு $1 \times 10^{-4}$ மீட்டர் மட்டுமே நகர முடியும். எனவே செய்திப் பரிமாற்றங்களை நடத்துவதற்கு வேதி மூலக்கூறுகள் மிக மந்தமானவை எனலாம். ஒரு செல்லின் எல்லைக்குள் நடை பெறும் செய்திப் பரிமாற்றங்களுக்கு அவை போதுமானதாக இருக்கலாம். ஆனால் பல செல்களைக் கொண்ட உயிர்களின் செல் களிடையே நடைபெற வேண்டிய வேகமான செய்திப் பரிமாற்றங் களுக்கு அவை ஏற்றனவல்ல.

நரம்பிழைகளின் நுனிகள், வேறு நரம்பிழைகளின் நுனி களோடோ அல்லது வேறு செல்களோடோ இணைந்திருக்கின்றன. இந்த இணைப்புக்கு நரம்பிணைவு (synapse) என்று பெயர். இது ஒரு தனிப்பட்ட டெஸ்மொசோம் எனலாம். நரம் பிணைவில் இரண்டு செல்களின் பிளாஸ்மாசவ்வுகளும் ஒன்றையொன்று நெருங்கியிருக்கின்றன. இவற்றினிடையேயுள்ள 100 முதல் 400Å வரையான குறுகிய இடைவெளி இணைப்பிடைவெளி (synaptic gap) எனப்படும்.

ஒரு ஆக்சான் நுனி, தசை செல்லோடு இணைந்துள்ள நரம்பிணைவைப் பார்த்தால், ஆக்சான் சைட்டொபிளாசத்தில் இணைவை ஒட்டிச் சுமார் 350 முதல் 500Å குறுக்களவுள்ள ஏராளமான நுண்குமிழ்கள் காணப்படுகின்றன. இக் குமிழ்கள் நரம்பிணைவுக்குமிழ்கள் எனப்படும். அதேபோல் இரண்டு நரம்பிழை நுனிகளிடையே ஏற்படும் இணைவில், ஒரே ஒரு நரம்பிழை நுனியில் மட்டும் நுண்குமிழ்கள் காணப்படுகின்றன. இந்த நரம்பிழையிலிருந்தே மற்றவைக்கு செய்தி கடத்தப்படுகிறது. எப்போதும்




படம் 17.4

மயலின் சூழலுடைய நரம்பிழையின் கணுப் பகுதியின் குறுக்கு வெட்டு. எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் அம்புக்குறிகள் ஏழடுக்கு ஆக்சான் ஷ்வான் கூட்டுச் சவ்வைக் காட்டுகின்றன;

நரம்பிழைகளில் ஒரே திசையில் மட்டுமே செய்திக்கடப்பு நிகழும். அதற்கு எதிர்த்திசையில் நடைபெறாது. நரம்பிணைவு நுண்குமிழ்களில் அசிடைல் கோலின் (acetyl choline) என்ற பொருளிருப்பதாகவும், மின்னூற்றல் கடப்பினால் செய்தியானது நரம்பு நுனியை அடைந்ததும் அங்குள்ள இக் குமிழ்கள் சில வெடித்து அசிடைல் கோலினை இணைப்பிடை வெளியில் பாய்ச்சுவதால் செய்தியாலுந்தப்படும் செயல் நடைபெற ஏதுவாகிறதென்றும் கருதப்படுகிறது.

நரம்புகள் மூலம் மின்னூற்றலாகச் செய்தி கடத்தப்படுகின்றன என்று தெரிந்தாலும், வெவ்வேறு விதமான செய்திகளை அவை எவ்வாறு கடத்துகின்றன என்று தெரியவில்லை. வெற்றிகரமான செய்தி பரிமாற்றத்துக்குக் குறைந்த பட்சம் மூன்று முக்கிய இயல்பு களிருக்க வேண்டும். ஒன்று செய்தியாலேற்படும் தூண்டலை வேறு இடத்துக்குக் கடத்தக்கூடிய வகையில் மாற்றுவது, இரண்டு கடத்தும் சாதனம், மூன்று, கடத்தப்பட்ட செய்தி இலக்கை அடைந்ததும், மறுபடியும் செய்தியாக மாற்றி அதற்கேற்ப செயல் படுதல் ஆகியவையாம். இவற்றில், செய்தி கடத்தும் சாதனம் நரம்பிழைகளின் செல்சவ்வு என்றும், செய்திகள் மின்னூற்றலாகக் மாற்றப்பட்டு கடத்தப்படுகின்றன என்று தெரிந்தாலும், வெவ் வேறு செய்திகள் வெவ்வேறு மின்னூற்றல் துடிப்புகளாக எப்படி மாற்றப் படுகின்றன என்று தெரியவில்லை. ஏனென்றால் பல வகையான தூண்டல்கள் ஒரே வகையான மின்னூற்றல் துடிப்பையே ஏற்படுத்துவதாகவே நம்மால் காண முடிகிறது.

வேதிப் பொருள்களின் ஊடுபரவலைக் கட்டுப்படுத்தும் அடிப் படைப்பணியிலிருந்து, செய்திகளைக் கடத்தும் பணி மிக வேறு பட்டதாகத் தோன்றினாலும் உண்மையில் செய்தி கடத்தும் பணியும் செல்சவ்வில் ஊடுபரவலைக் கட்டுப்படுத்துவதால் நடை பெறுவதேயாகும். செல்சவ்வு தூண்டலுக்காளாகும்போது, அது தற்காலிகமாகத் தனது தெரிகடத்துத் தன்மையை இழக்கிறது. அதனால் உள்ளிருக்கும் $K^+$ அயனிகள் வேகமாக வெளியே பாய் கின்றன. $Na^+$ அயனிகள் உட்செல்லுகின்றன. இந்த அயனிப் பாய்வுகளே மின்னழுத்தமட்ட வேறுபாட்டை உண்டாக்குகிறது. செல் சவ்வில் இப்படிப்பட்ட மாற்றம் உண்டாகிறதென்பதை, செல் சவ்வின் மின்னூற்றற் கடப்பெதிர்ப்பை அளந்தறிவதால் தெரிய வருகிறது. தூண்டப்பட்டவுடன் எதிர்ப்பு திடீரென்று குறைந்து விடுகிறது.

தூண்டலால் ஏற்படும் மின்னழுத்த வேற்றுமை அயனிப்பரி மாற்றத்தினளவைப் பொருத்ததாகும். ஒரு குறிப்பிட்ட அளவு அயனிப்பரிமாற்றம் ஓரிடத்தில் நடைபெற்றால், அதையடுத்த இடங்களிலும் அதே அளவு அயனிப் பரிமாற்றம் தூண்டப்படு கிறது. இவ்வாறாகத் தொடர்ந்து நரம்பிழையின் முழுநீளத்துக்கும் அதே அளவு அயனிப்பரிமாற்றமும் அதனால் அதே அளவ மின்ன ழுத்தமட்ட வேறுபாடும் படிப்படியாக ஏற்படுகின்றன. எனவே நரம்பிழையில் செய்தி கடத்தப்படுவது மின்னூற்றலின் நேரடிக்கடப்பல்ல. அவ்வாறாயின் அக்கடப்பு ஒளியின் வேகத் தில் நடைபெற வேண்டும். மாறாக நரம்பிழையில் செய்தி கடத்தப் படுவது, படிப்படியாக நடைபெறும் வேதிச் செயலின் கோர்வை

யால் நடைபெறுவதேயாகும். இதன் அடிப்படை செல்சவ்வுப் பெற்றுள்ள அயனிக்கடப்பைக் கட்டுப்படுத்தும் ஆற்றலேயாகும்.

## செல் அசைவுகள்

வேதியாற்றலை வேலையாக மாற்றும் திறன் ஃபிளாஜெல்லங்களையுடைய பாக்டீரியங்கள் முதல் மனிதன் வரை எல்லாவுயிர்களிலும் காணப்படுகிறது. பல செல்கள் இடம் விட்டு இடம் நகரும் வேலையைச் செய்யாவிட்டாலும் அவற்றினுள்ளே பல அசைவுகளும், செல் பகுப்பின்போது செல் நுண்ணுறுப்புகளின் நகர்வும் நடைபெறுகின்றன. பொதுவாக செல்களில் காணப்படும் அசைவுகளை மூன்று வகையாகப் பிரிக்கலாம். ஒன்று செல்லினுள் நடைபெறும் அசைவுகள், இரண்டு சிலியம், ஃபிளாஜெல்லம் முதலிய நுண் நீட்சிகளின் அசைவால் ஏற்படும் நகர்வு, மூன்று, தசைகளின் இயக்கத்தால் ஏற்படும் நகர்வு.

அநேக தாவர விலங்கு செல்களின் புரொட்டோபிளாசம் இடைவிடாமல் சுழன்று கொண்டும் சுற்றிக்கொண்டும் இருக்கிறது. எடுத்துக்காட்டாக ஸ்பைரோகைகார(Spirogyra)என்னும் பாசியின் செல்லில், அதன் நியூக்ளியஸ் செல்லின் நடுவில் சைட்டொபிளாச இழைகளால் நிறுத்தப்பட்டிருக்கிறது. இந்த இழைகளில், சைட்டொபிளாசம் இடைவிடாமல் நகர்ந்து கொண்டிருப்பது தெளிவாகத் தெரிகிறது. ஒரே இழையில் இரண்டு திசைகளில் கூட சைட்டொபிளாசம் நகர்ந்து கொண்டிருக்கலாம் இந்த நகர்வால் சைட்டொபிளாசத்திலுள்ள நுண் துகள்களும உறுப்புகளும் இடம் விட்டு இடம நகர்த்தப்படுகின்றன. ஹைட்ரில்லா (Hydrilla) என்னும் தாவரத்தின் செல்களின் புரொட்டொபிளாசம் ஒரே திசையில இடைவிடாமல் சுழன்று கொண்டிருக்கிறது. புரொட்டொபிளாசத்தினசைவால், முழு செல்லும் இடம் விட்டு நகருவதும் உண்டு. இதுவே அமீபிய (amoeboid) நகர்வு எனப்படும். குருதியிலுள்ள ஃபேகோ சைட்டுகளும் அமீபிய நகர்வைக் காட்டுகின்றன. மற்றும் விலங்குகளின் இளங்கரு வளரும்போது சில செல்கள் தம்மிடத்திலிருந்து விடுபட்டு வேறு இடங்களுக்கு அமீபிய முறையில் நகர்ந்து செல்லுகின்றன.

செல்லினுள் ஏற்படும் புரொட்டொபிளாச நகர்வும், அமீபிய நகர்வும் எப்படி ஏற்படுகின்றன என்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. ஏனென்றால் நகர்வை ஏற்படுத்தும் தனிப்பட்ட அமைப்புகளெதுவும் இதில் ஈடுபடுவதாகத் தெரியவில்லை. கொல்லாய்டு நிலையிலுள்ள சைட்டோபிளாசம் திட திரவ நிலைகளுக்கு மாறுவ

தால் இந்நகர்வுகளேற்படலாமென்று முன்பு கருதப்பட்டது. ஆனால் இந்த விளக்கம் சரியானதல்லவென்று இப்போது கருதப் படுகிறது.

சிலியங்களும், ஃபிளாஜெல்லங்களும், செல்நகர்வுக்காக உண்டாக்கப்படும் தனிப்பட்ட அமைப்புகளாகும். இவற்றின் உள்ளமைப்பு ஏற்கெனவே விவரிக்கப்பட்டுள்ளது. இந்த அமைப்பு தசை செல்களில் காணப்படும் அமைப்பிலிருந்து மிக வேறுபட்ட தெனினும் இரண்டிலும் வேதியாற்றலானது அசைவை உண்டாக் கப்பயன்படுகிறது. ஆனால் இது எப்படி நடைபெறுகிறதென்பது தெளிவாகத் தெரியவில்லை யென்றாலும், தசை அசைவைப்பற்றி பல உண்மைகள் கண்டுபிடிக்கப்பட்டுள்ளன.

**தசைசுருக்க இயக்கம்**

கிளிசரினில் சேமிக்கப்பட்ட தசை நார்கள், இறந்தவை யாயினும், சுருங்குந் தன்மையை இழப்பதில்லை. இத்தசைநாரை சமநிலை உப்புக் கரைசலில் வைத்து, அதனோடு ATP யைச் சேர்த்தால் சுருங்குகிறது. இச்சுருக்கத்துக்கான ஆற்றல் ATP யினால் தரப்படுகிறது. அதனால் ATP யானது ADP யாக மாறு கிறது. இதிலிருந்து தெரிவது யாதெனின், உயிர்களின் ஆற்றல் கருவூலமான ATP யின் ஆற்றல் உயிரின் மற்ற இயக்கங்களுக்கு ஆதாரமாவது போல், அசைவுக்கும் ஆதாரமாகிறது என்பதாகும்.

தசை செல்களின் பிரதான பொருளை, உப்புக்கரைசல்களினால் பிரித்தெடுக்கக்கூடும். அவ்வாறு பிரித்தெடுக்கப்பட்ட பொருள் 'ஆக்டொமையொசின்' எனப்படும் புரோட்டீனாகும். மற்ற பல புரோட்டீன்களைப் போலல்லாமல் இது குறை அடர்த்தியான உப்புக்கரைசல்களினால் துவைகிறது. துவைந்த பொருளோடு ATP யைச் சேர்த்தால் சுருங்குகிறது. ஆக்டொமையொசினை ஒரு நுண் சல்லடைத் தட்டின் வழியாக அழுத்தி உப்புக் கரைசலில் வெளியேற்றினால் நீண்ட இழைகளாகத் துவைகிறது. இந்த இழைகளோடு ATPயைச் சேர்த்தால் இழைகள் சுருங்குகின்றன. இப்படிப்பட்ட சோதனைகளிலிருந்து, தசைகள் சுருங்குவதற்குக் காரணமாக அவற்றிலடங்கியிருக்கும் ஆதாரப்பொருள் ஆக்டொ மையொசினாகத்தான் இருக்க வேண்டுமென்று தீர்மானிக்கலாம். ஆனால் தசைகள் சுருங்குவதற்கு ஆக்டொமையொசின் ATP யின் சத்தியை எப்படிப் பயன்படுத்துகிறதென்ற கேள்வி எழுகிறது. இதுகாறும் விவரிக்கப்பட்ட செல்லியக்கங்களிலெல்லாம் ஒரு மூலக்கூறிலிருந்து மற்றொரு மூலக்கூறுக்குச் சில பொருள்களை மாற்றிச் சேர்க்கவும், வேதியிணைப்புகளை உடைக்கவும் ATP பயன் படுகிறதல்லாமல், மூலக்கூறின் உருவத்தை மாற்றப் பயன்படுவ

தாகத் தெரியவில்லை. செயற்கையாகத் தயாரிக்கப்பட்ட ஆக்டொமையொசின் இழையின் ஒரு நுனியில் சிறு எடையைத் தொங்க விட்டு (ATP) யைச் சேர்த்தால், இழையானது சுருங்கி அந்த எடையைத் தூக்க முடியும். ATP யின் ஆற்றலைப் பயன்படுத்தி இப்படிப்பட்ட வேலையைத் தசை நார்கள் செய்வது தனிப்பட்ட ஒரு உயிர்ச் செயலாகும்.

ஆக்டொமையொசின் என்பது ஒருதனி புரோட்டீனல்ல. அது ஆக்டின் (actin), மையொசின் (myosin) என்ற இரண்டு பகுதிகளாக எளிதில் பிரிகிறது. ஆனால் இவ்விரண்டும் தனித் தனியாக இருக்கும் போது சுருங்கும் இயல்பைப் பெறுவதில்லை. மற்றும் மையொசின் மட்டுமே ATPயை நீற்றுடைவால் ADPயாக மாற்ற வல்லதாகவுள்ளது. ஆக்டின் அவ்வாறு செய்வதில்லை.

ஆக்டின் என்பது 300 × 30Å அளவும் 60,000 மூலக்கூறெடையுமுள்ள உருண்டை புரோட்டீனாகும். இந்த அமிசத்தில் இது ஒரு நொதியைப் போலும், மையொசினோடு சேர்ந்து சுருங்கிழையை உண்டாக்க முடியாததாகவும் இருக்கிறது. ஆனால் உருண்டை ஆக்டினைக் குறிப்பிட்ட அயனி அமைப்புள்ள தளப்பொருளோடும் ATPயோடும் வினை புரியச் செய்தால், ஆக்டின் மூலக்கூறுகள் சுமார் 1μ நீளமும் 40,000,000 மூலக்கூறெடையுமுள்ள இழையமைப்பைப் பெறுகிறது. ATPயின் ஆற்றல் இந்த இழையமைப்பை ஏற்படுத்துவதற்குப் பயன் படுகிறது. இழையமைப்புடைய இந்த ஆக்டின் மையொசினோடு சேர்ந்து சுருங்கிழைகளைத் தோற்றுவிக்கக் கூடியதாகவுள்ளது. எனவே இதில் ATPயின் ஆற்றல் வேலையைச் செய்யப் பயன்படுவதற்குப் பதிலாக ஒரு அமைப்பை உண்டாக்குவதற்கு ஏதுவாகிறது. இதிலிருந்து செல்கள் வேதிக்கிரியைகளுக்கும், நகர்வுகளுக்கும் மட்டுமல்லாமல், குறிப்பிட்ட உருவ அமைப்புகளை உண்டாக்கவும் ATPயின் ஆற்றலைப் பயன் படுத்துகின்றன என்று தெரிகிறது.

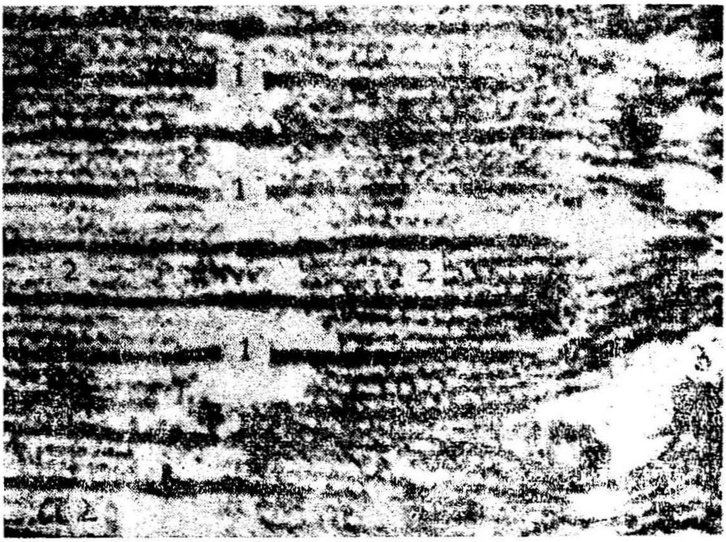
உருண்டை ஆக்டினானது இழை ஆக்டினாக எப்படி மாறுகிறது என்பதைப் பற்றிய சில விவரங்கள் தெரிய வந்துள்ளன. உருணடை ஆக்டினைச் சிலவகைகளில் தூயதாகப் பிரித்தெடுத்தால் அதன் ஒவ்வொரு மூலக்கூறும ஒரு ATP மூலக்கூறோடு சேர்ந்திருப்பதாகத் தெரிகிறது. ஆனால் இரண்டுக்குமிடையில் உள்ள இணைவு பலவீனமானதாகவும $Ca^{2+}$ அயனிகளிருப்பதைப் பொருத்ததாகவும உளளது. கால்சியம் அயனிகளை அகற்றினால் ATP விடுபட்டு உருண்டை ஆக்டின் இழை ஆக்டினாக மாறும் தனமையை இழக்கிறது. இழை ஆகடினில ADPயானது மூலக்

கூறுகளுடன் வலுவாக இணைந்துள்ளது. எனவே ATP யின் கடைசி ஃபாஸ்பேட் இணைப்பின் ஆற்றல் உருண்டை ஆக்டினை இழை ஆக்டினாக உருவாக்குவதற்குப் பயன்படுகிறதென்று தெரிகிறது. ஆனால் இதில் என்ன மாற்றங்களும், இணைப்புகளும் ஏற்படுகின்றன என்று தெரியவில்லை. ADPயை நீற்றுடைப்பதில் ஆக்டின் ஒரு நொதியைப்போல் செயலாற்றினாலும், இச்செயல் உருண்டை ஆக்டினானது, இழை ஆக்டினாக உருவாகப்படும் போது மட்டுமே நடைபெறுவதாகவுள்ளது. இம்மாற்றம் முடிந்தவுடனே அச்செயலும் நின்றுவிடுகிறது. இழை ஆக்டின் உண்டாவது, ஆக்டோமையோசின் சுருங்குவது ஆகிய இரண்டுகாரியங்களுக்கும் ATP தேவைப்பட்டாலும் இரண்டுக்குமுள்ள தொடர்பு என்னவென்று தெரியவில்லை.

மையோசினும் ஆக்டினைப் போன்றே மிகச்சிக்கலான அமைப்பைக்கொண்டதாகும். இதன் மூலக்கூறின் சில இணைவுகளை நொதிகளால் உடைத்தால் இரண்டுவித மூலக்கூறுகள் தோன்றுகின்றன. இவை 1. கனமான மெரோமையொசின் (heavy meromyosin)2.லேசான மெரோமையொசின் (Light meromyosin)என்று சொல்லப்படுகின்றன. கனமான பகுதியின் மூலக்கூறுகள் நொதியின் இயல்பைப் பெற்றுள்ளன. அதாவது ATPயை நீற்றுடைவு செய்யக் கூடியதாக இருக்கிறது. லேசான பகுதியானது இழை புரோட்டீனமைப்பைக் கொண்டுள்ளது. எனவே மையொசின் மூலக்கூறு நொதியைப்போன்ற இயல்புடைய ஒரு பகுதியையும், இழையைப் போன்ற அமைப்புடைய ஒரு பகுதியையும் கொண்டதாக இருக்கிறதென்று சொல்லலாம். அது உப்புக்களின் நிறைகரைசல்களில் மட்டும் கரையக் கூடியதாகும். கரைந்த நிலையில் அதன் மூலக்கூறெடை 450,000 என்றும் பரிமாணம் 25×1600Å என்றும் கணக்கிடப்பட்டுள்ளது. மையொசினின் நிறைகரைசலைக் குறைகரைசலாக அடர்த்தி குறைத்தால் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பினால் காணக்கூடியதும், 15 முதல் 20μ தடிமனும் 100 முதல் 150Å நீளமும் உள்ள இழைகள் உண்டாகின்றன. இந்த இழைகள் உண்மையான தசைகளில் எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ் கோப்பில் தெரியும் இழைகளைப்போலவே உள்ளன. (படம் 17.5) கனமான மெரோமைசின் மட்டுமே ஆக்டினோடு கூட்டுச்சேரக்கூடியதாகும்.

கனமான மையொசினையும், மெல்லியதான ஆக்டினையும் சேர்ந்து சோதனைக் குழாயில், சுருங்கக் கூடிய இழைகளைத் தோற்றுவிக்கக் கூடுமென்றாலும், தசைகளில் இவை மிக ஒழுங்கான அமைப்பில் ஒன்றோடொன்று தொடர்பு கொள்ளும் வண்ணம் உருவாகியுள்ளன. இந்த ஒழுங்கான அமைப்பே தசைகள் சுருங்கி

நீண்டு வேலை செய்ய முக்கியக் காரணமாகிறது. இப்போதுள்ள கருத்தின்படி, ஒன்ருேடொன்று கிடையாக இணைந்துள்ள ஆக்டின் இழைகளின் இரண்டு தொகுதிகளிடையே, தடிமனுன மையொசின் இழைகள் அமைந்துள்ளன என்றும், இவ்விழைகள் தம்து வெளிப் புறத்தில் நீட்டிக் கொண்டிருக்கும் பற்கள் போன்ற அமைப்பினுல் ஒன்ருேடொன்று பின்னிக் கொண்டு முன்னும் பின்னும் நகரக் கூடியனவாகவுள்ளன வென்றும் சொல்லப்படுகிறது. அவ்வாறு இழைகள் முன்னும் பின்னும் நகருவதால் தசைகள் சுருங்கவும், நீளவும் ஏதுவாகிறதென்றும் சொல்லப்படுகிறது. (படம் 17.6) இதைப்பற்றிய ஆராய்ச்சிகள் மும்மரமாக நடந்து கொண்டுள்ளன.

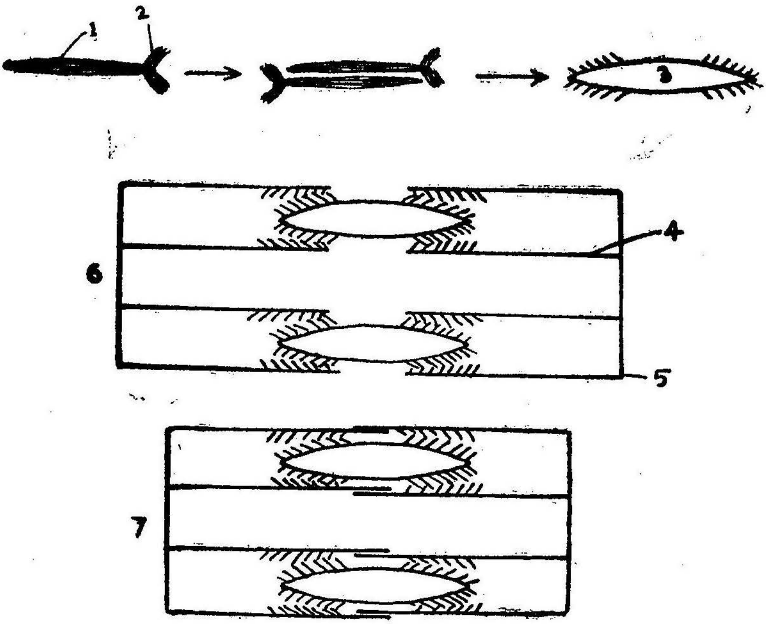



படம்: 17—5
வரித்தசையின் சார்கோமியர் வழியாக வெட்டுத் தோற்றம்: எலெக்ட்ரான் மைக்ராஸ்கோப்பில் 1. தடித்த இழைகள்; 2. மெலிந்த இழைகள்; Z-Zகட்டு.

## காலவழித் தொடர்பு

எந்த செல்லும் நிரந்தரமாக உயிர் வாழக் கூடியதல்ல. குறிப்பிட்ட காலம் உயிரோடிருந்து பிறகு பகுப்புற்ருே, வேருெரு செல்லோடு இணைந்தோ, அழிந்தோ போகிறது. செல்லமைப்பில் இட வழித் தொடர்பான உயிர் ஒழுங்கு நிலை காணப்படுவது போல், செல்லின் சரித்திரத்தில் அது காலவழித் தொடர்புகளால் மிகத்

துல்லியமான கட்டுப்பாடுகளையும் பெற்றுள்ளது, காலப் போக்கில், செல்லில் ஏற்படும் மாற்றங்கள் இயக்கங்கள் ஆகியவற்றில் சில எல்லா செல்களுக்கும் பொதுவாக இருக்கக் கூடுமென்றாலும், வெவ் வேறு செல்கள் பெரும்பாலும் வெவ்வேறு போக்குகளைக் கடைப் பிடிக்கின்றன. அது எவ்வாறாயினும், செல்கள் காலத்தை எவ் வாறு கணக்கிடுகின்றன, அவை காலத்தைக் கணக்கிடும் சாதனம்




படம்: 17 — 6

தசையின் நகர்வு நடைபெறும் விதத்தைக் காட்டும் படம்.
1. லேசான மெரோமைசின்; 2. கனமான மெரோ மைசின்; 3. தடித்த மயோசின் இழை; 4. மெலிந்த ஆக்டின் இழை; 5. பிணைப்பு இடம் 6. தசை நீண்டுள்ள நிலை; 7. தசை குறுகிய நிலை.

என்ன என்பனவற்றைப்பற்றி எதுவும் தெரியவில்லை. எனினும், அடுத்தடுத்து நிகழும் நிகழ்ச்சிகளைக் கொண்டே காலத்தைக் கணக்கிடுதல் சாத்தியமாகையால், குரோமொசோம் அல்லது DNA இரட்டிப்பு, செல்பகுப்பு முதலிய நிகழ்ச்சிகளே செல்லில் காலத்தைக் கணக்கிடும் ஏதுக்களாக இருக்கக் கூடுமென்று அனுமானிக்கலாம்.

காலத்தை எவ்வாறு செல்கள் கணக்கிடுகின்றன என்று தெரியாவிட்டாலும், காலத்தால் செல்களில் நடைபெறும் சில நிகழ்ச்சித் தொடர்களைப் பற்றிப் பார்க்கலாம். காலப்போக்கில் மிக எளிமையான வாழ்க்கைச் சுழலைப் பெற்றிருப்பது, பாலீடுபாடு இல்லாமல் செல் பகுப்பால் அதிகரிக்கும் ஒருசெல்லுயிர்களாகும். இந்த நுண்ணுயிர்களிலும், உயிர்களனைத்துக்கும் பொதுவான ஒரு இயல்பு காணப்படுகிறது. அதாவது பகுப்பாலுண்டாகும் சந்ததி செல்கள் தாய் செல்லைவிடச் சிறியவையாக இருக்கின்றன. பிறகு இச்சந்ததிகள் மறுபடியும் தாய் செல்லினளவுக்கு வளர்ந்து மீண்டும் பகுப்புறுகின்றன. ஆனால் பாக்டீரிய செல்களின் வளர்ச்சியில் DNA இரட்டிப்பும், செல்பகுப்பும் ஏறக்குறைய இடைவிடாமல் நடைபெறும் நிகழ்ச்சிகளாகும். காலப்போக்கில் பலபடிகளாகப் பிரிக்கப்பட்டனவல்ல. DNA இரட்டிப்பு முடிந்த பிறகே செல்லானது இரண்டாகப் பகுப்புற வேண்டுமென்ற காலத் தொடர்பைத் தவிர வேறு தொடர்புகளில்லை.

பாக்டீரிய செல்களைப் போலல்லாமல், உயர் தாவர, விலங்குகளின் யூகேர்ய செல்களில், செல் பகுப்பு, நூக்ளியஸ் பகுப்பு, DVA இரட்டிப்பு ஆகிய செயல்கள் காலப்போக்கில் குறிப்பிட்ட தொடர்புகளைக் கொண்டுள்ளன. G1, S, G2, M ஆகிய படிகளில் நூக்ளியஸ் பகுப்பின் நிகழ்ச்சிகள் நடைபெறுகின்றன என்று ஏற்கெனவே சொல்லப்பட்டுள்ளது. இப்படி ஒவ்வொன்றும் குறிப்பிட்ட கால அளவால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்று சொல்லலாம்.

பல செல்லுடலைக் கொண்ட உயிர்களில், உடலின் வளர்ச்சி, இனப்பெருக்க நிகழ்ச்சி முதலியவை குறிப்பிட்ட கால அளவுகளால் நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன. பாலணுக்களாகிய கேமீட்டுகள் தோன்றுதல், அவற்றின் இணைவால் சைகோட் உண்டாதல், செல் பகுப்பால் சைகோட் வளர்ந்து இளங்கருவும் இளங்கரு வளர்ந்து முதிர்ந்த உயிரும் தோன்றுதல் முடிவில் உடலானது இறந்து விடல் ஆகிய நிகழ்ச்சிகளெல்லாம் காலத்தால் நிர்ணயிக்கப்படுவனவேயாகும். தாவரங்களிலும் விலங்குகளிலும் வாழ்க்கைச் சுழல் பற்றிய விவரங்கள் ஏற்கெனவே விவரிக்கப்பட்டுள்ளன.

# 18. செல்லியக்கமும் சூழ்நிலையும்

செல்லின் இயக்கம் காலத்தாலும், இடத்தாலும் முறைப்படுத் தப்படுவதின் முக்கியமான இயல்பு யாதெனின், சூழ்நிலையின் தன்மைக்கு ஏற்றவாறும், சூழ்நிலையில் ஏற்படும் மாற்றங்களுக்குத் தக்கவாறும் இயக்கங்களை ஒழுங்கு படுத்தக் கூடிய ஆற்றலாகும். உயிரின் வாழ்க்கை முழுதுமே சூழ்நிலையோடு நடைபெறும் ஒரு போராட்டமென்று கருதலாமாகையால் செல்லானது சூழ்நிலையை எவ்வாறு உணருகிறது, உணர்வுக்கு ஏற்ப எவ்வாறு இயங்குகிறது என்பது உயிரியலின் அடிப்படையான பிரச்சினையாகும்.

இயற்கையில் எந்தச் சூழ்நிலையும் அதன் அனைத்து அமிசங் களிலும் ஒரே இயல்பைப் கொண்டதாகச் சிறிது காலங்கூட இருப்பதரிது. எனவே சூழ்நிலை அமிசங்களில் ஒரு சில மட்டும் மாருத நிலையில் மட்டும் வாழக் கூடிய சில செல்வகைகள் இருக் கலாமென்ருலும், பொதுவாகச் சூழ்நிலையின் அமிசங்கள் யாவும் மாரு திருந்தால் மட்டுமே உயிர் வாழக் கூடிய செல்கள் இல்லை அதே சமயத்தில் சூழ்நிலையின் எல்லா வேறுபாடுகளையும் சமாளித்து எப்படிப்பட்ட சூழ்நிலையிலும் வாழக் கூடிய செல்லும் இல்லை.

இயற்கைச் சூழ்நிலை மாற்றங்கள் ஆண்டு, பருவம், நாள், இரவு, பகல் முதலிய காலங்களைப் பொருத்து சில ஒழுங்கான மாற்றங்களை அடைகின்றன. இம் மாற்றங்களுக்குள்ளே வினுடி, நிமிடம், மணி, நாள், வாரம் ஆகிய கால அளவைகளில் நடை பெறும் மாற்றங்களும் உள்ளன. மற்றும் வெப்பம், ஈரப்பசை ஒளி முதலிய சூழ்நிலை அமிசங்கள் குறுகிய நேரத்தில் மிகுந்த வேறு பாடுகளை அடையக் கூடியனவாகும். பகற்காலம், கார்பன்டை ஆக்சைடு, ஆக்சிஜன் முதலிய வாயுக்களின் அடர்த்தி, கடல் நீரின் ஆஸ்மாசிய அடர்த்தி முதலியவை நீண்ட காலத்திலும் மிகச் சிறு வேறுபாடுகளை மட்டுமே அடைகின்றன. ஒரே இடத்தில் ஏற்படும் சூழ்நிலை மாற்றங்களைத் தவிர, உலகின் வெவ்வேறு பாகங்களில் சூழ்நிலை வெவ்வேருகவுள்ளது. உயிர்களின் இயக்கங் களாலும் சூழ்நிலை நுண்ணிய அளவிலிருந்து, பெருமளவுக்கு மாற்றங்களை அடையலாம்.

சூழ்நிலை மாற்றங்களுக்கேற்பச் செல்கள் தமது இயக்கங்களை அமைத்துக் கொள்ளுவதில், சூழ்நிலைமாற்றம் ஒவ்வொன்றும் ஒரு தூண்டலாக அமைகிறது. அத்தூண்டலை உணர்ந்து அதற் கேற்ப செல்லானது தன்னை மாற்றியமைத்துக் கொண்டவுடன், அச்சூழ்நிலைமாற்றம் தூண்டலாகச் செயல்படுவது நின்று விடுகிறது. அதாவது அச்சூழ்நிலைக்கு ஏற்பத் தன்னை செல் மாற்றிக் கொண்டு விட்டது எனலாம். ஒரு தூண்டலால் செல்லில் ஏற்படும் விளைவு குறிப்பானதாகவோ, பொதுவானதாகவோ இருக்கலாம். செல்லிலுள்ள தனிப்பட்ட அமைப்பால் அல்லது உறுப்பால் உணரப்படாத தூண்டல்கள் பொது விளைவையும், தனிப்பட்ட உணருறுப்பால் உணரப்படும் தூண்டல்கள் குறிப்பான விளைவுகளையும் ஏற்படுத்துகின்றன.

### பொது விளைவுகள்

பொது விளைவுகளை ஏற்படுத்தும் சூழ்நிலை அமிலங்களில் முக்கியமானவை நீரிருப்பும், வெப்ப நிலையுமாகும். இவ்விரண்டும் பல விளைவுகளை உண்டாக்கக் கூடியனவாகும். செல்லமைப்பிலும், இயக்கத்திலும் தண்ணீர் மிக முக்கியமானதாகையால், தண்ணீரளவின் மாற்றங்கள் செல்லின் பல இயக்கங்களைப் பாதிக்கிறது. நொதிகளின் செயல்கள் செல்லின் எல்லாக் கிரியைகளிலும் சம்மந்தப்படுவதாலும், நொதிகளின் கிரியைத் திறன் வெப்பநிலையோடு நெருங்கிய தொடர்பு பெற்றிருப்பதாலும், வெப்ப நிலை மாற்றங்கள் செல்கிரியைகளனைத்தையும் பாதிக்கிறது. வெப்பத்தையும், காற்றீரத்தையும் உணரத்தக்க தனிப்பட்ட உறுப்புக்களைச்சில உயர் விலங்குகள் பெற்றிருந்தாலும் இவ்விரண்டாலும் ஏற்படும் விளைவுகள் உயிரின் செல்களனைத்துக்கும் பொதுவானவையாகும்.

நீர்வாழ் உயிர்களின் செல்களின் நீரளவு ஆஸ்மாசிய அமிசங்களால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. உறுதியான செல்சுவரைப்பெற்ற செல்களெல்லாம் செல்லில் உப்புக்களின் அடர்வு அதிகமாக இருந்தாலும், அதிக நீருட்புகாதவாறு பாதுகாத்துக் கொள்ளலாம். ஏனென்றால் உறுதியான செல்சுவர் உட்புகும் நீரினளவைக் கட்டுப்படுத்துகிறது. ஆனால் அப்படிப்பட்ட செல்கள் உயர் அடர்வுடைய உப்புக்கரைசல்களில் வாழமுடியாது. ஏனென்றால் வெளியேறும் நீரினளவை உறுதியான செல்சுவர் கட்டுப்படுத்த முடியாது. நீர்வாழ் புரோட்டொசோவாக்கள் சுருங்கு வேக்யூல்களின் வழியாக அவற்றினுள் ஆஸ்மாசிய விசையாலுட்புகும் நீரை வெளியேற்றுகின்றன. இல்லாவிட்டால் அவை ஆஸ்மாசியவிசையால் வெடித்துப் போகக் கூடும். நிலன்வாழுயிர்கள் தண்ணீரை உட்

கொள்வதற்கும், தமது உடலிலிருந்து தண்ணீர் ஆவியாகாமல் பாதுகாக்கவும் பலவிதமான செல்லமைப்புக்களைப் பெற்றுள்ளன

தண்ணீர்ப் பற்றுக்குறையைச் சமாளிக்க ஒரு செல்லுயிர்களாலும், பலபாசிகளாலும் கையாளப்படும் முறை ஸ்போர்களை உண்டாக்குவதாகும். ஸ்போர்களின் செல்சுவர் தண்ணீர் அறவே வெளிச் செல்ல முடியாதபடி தடை செய்யக் கூடியதாகையால், ஸ்போர்கள் எப்படிப்பட்ட வறட்சியையும் நீண்ட காலம் சமாளிக்க முடியும். உயர் தாவரங்களின் விதைகளும், வரட்சி நிலையைச் சமாளிப்பதற்கான சாதனங்களேயாகும்.

பொதுவாக ஒரு செல் தன்னுள்ளிருக்கும் தண்ணீரளவில் அதிக மாற்றங்களைச் சமாளிக்க முடியாது. தண்ணீரளவு குறையக் குறைய பொதுவாக எல்லா செல்லியக்கங்களும் மந்தப்பட்டு கடைசியாக செயலற்ற முடக்கநிலை ஏற்படுகிறது. அப்படிச் செல்லின் நீர்க் குறைப்பு உயிரின் இயல்பான வளர்ச்சி மாற்றங்களால் நிகழ்ந்தால் மட்டுமே செல்கள் முடக்கநிலை அடையும். அதுவன்றித் திடீரென நீர்க்குறைப்பு ஏற்பட்டால் செல்கள் இறந்துவிடுகின்றன.

தண்ணீரைப் போலவே வெப்பத்தைப் பொருத்தும் மிகக் குறுகிய அளவு வேறுபாட்டைத்தான் செல்கள் சமாளிக்க முடியும். வெப்பவுடலிகளான பாலூட்டிகளின் செல்கள் மிகக் குறுகிய வெப்ப வேறுபாட்டில் மட்டுமே செயல்படக் கூடியவையாகையால் அந்த அளவுக்குள் உடல் வெப்பத்தைக் கட்டுப்படுத்தும் சாதனங்களைப் பெற்றுள்ளன. குளிருடலிகளும், தாவரங்களும் மிகுந்த வெப்ப வேறுபாட்டைச் சமாளிக்கக் கூடியவையாகும். உயிரியக்கங்களும் வேதிக் கிரியைகளைப்போலவே சுமார் 10°c அதிகரிப்பால் இரண்டு முதல் மூன்று மடங்கு வேக அதிகரிப்பைப் பெறுகின்றன. ஆனால் 40°c வெப்பத்துக்குமேல் சமாளிக்கக்கூடிய உயிர்கள் மிகச் சிலவே. உயர் வெப்பத்தால் செல்கள் இறந்து விடக்காரணம் என்னவென்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. உயர் வெப்பத்தில் புரோட்டீன் மூலக்கூறுகள் இயல்பிழக்கின்றன என்பது இதில் ஒரு முக்கியமான அமிசமாகும்.

செல்லில் நடைபெறும் இயக்கங்களெல்லாம் வெப்ப வேறுபாட்டால் ஒரே மாதிரி பாதிக்கப்படுவதில்லை. இது ஏனென்று தெளிவாகத் தெரியவில்லை. டெட்ராஹிமீனா (Tetrahymena) என்ற ஒற்றைச் செல் உயிரின் செல்கள் 34°c வெப்பத்தில் பகுப்புறுவதில்லை. ஆனால் மற்ற செல்லியக்கங்கள் இந்த வெப்பநிலையில் சில காலம் தொடர்ந்து நடைபெறுகின்றன. வளர்ச்சியின் பல்வேறு

படிகளிலிருக்கும் இதன் செல் கும்பலை 34°c வெப்பத்துக்காளாக்கினால், பகுப்புறத் தொடங்கும் நிலையிலுள்ளனவற்றின் பகுப்பு நடைபெறாமல் தடைபடுகிறது. ஆனால் வேறு செல்கள் பகுப்பு நிலைவரை தொடர்ந்து வளர்ச்சியடைகின்றன. எனவே பிறகு அதே செல் கும்பலை 28°c வெப்பத்துக்கு ஆட்படுத்தினால் எல்லா செல்களும் ஒரே சமயத்தில் பகுப்புறத் தொடங்குகின்றன, இதிலிருந்து தெரிவது யாதெனின் வெவ்வேறு செல்லியக்கங்களை வெவ்வேறு விதமாகப் பாதிப்பதன் மூலம் செல்லியக்கத்தின் ஒழுங்குநிலையை வெப்ப வேறுபாடு குலைக்கக் கூடுமென்பதாம்.

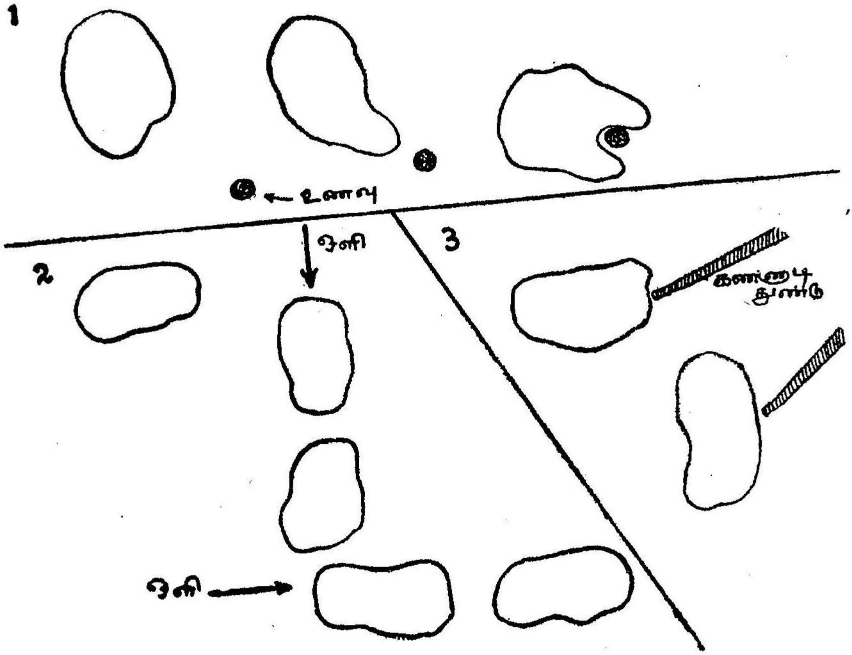
**குறிப்பு விளைவுகள் :**

சூழ்நிலையை உணர்ந்து அதற்கேற்ப அமைவதற்காகத் தக்க சூழ்நிலைக்கு நகர்ந்து செல்லும் இயல்பைப் பல செல்கள் பெற்றுள்ளன. பல செல்களை உடைய உயிர்களின் தனிப்பட்ட செல்கள் நகருவதில்லையாயினும் முழு உயிரும் நகருகிறது. முழு உயிரும் நகரும் இயல்பானது, தனிச் செல்கள் நகரும் இயல்பினடிப்படையில் ஏற்பட்டதேயாகும்.

உணவுத்துகளைப் பொருத்து ஒரு அமீபாவின் நகர்வைக் கவனிக்கும் போது, அது எதேச்சையாக உணவைப் பெறுவதாகத் தெரியவில்லை. மாறாக உணவுத்துகளிலிருந்து சற்று தூரம் விலகியிருக்கும் போதே, எப்படியோ உணவின் இருப்பை உணர்ந்து உணவை நோக்கி நகருகிறது. செல்லின் வெளி விளிம்பு உணவைத் தொட்டவுடனே அதைச் சூழ்ந்து விழுங்கிக் கொள்ளுகிறது. மற்றும் ஒளி, கண்ணாடி போன்றவற்றின் உறுத்தல்கள் முதலியவற்றை உணர்ந்து நடந்து கொள்ளும் இயல்பையும் அமீபா பெற்றுள்ளது. (படம் 18.1) யூக்ளீனா என்ற பாசி வளரும் நீரில் மிக வெளிச்சமான ஒளியைப் பாய்ச்சினால், செல்கள் ஒளியிலிருந்து விலகி நீந்திச் செல்லுகின்றன. நகரும் பாசி ஸ்போர்கள் மிக வெளிச்சமான ஒளியிலிருந்தும், மிகக் குறைவான ஒளியிலிருந்தும் விலகி நீந்திச் செல்லுகின்றன. இப்படியாக ஒளி, வேதியத் உராய்வுத் தூண்டல்களை நோக்கியோ விலகியோ செல்கள் நகருவதற்கு ஏராளமான எடுத்துக் காட்டுகளுள்ளன. இந்நகர்வுகள் உணவின் அடிப்படையிலும், கருவுறல் நிகழ்ச்சியினடிப்படையிலும், ஒளிச் சேர்க்கை போன்ற கிரியைகளினடிப்படையிலும் நிகழுவனவாகும்.

குறிப்பிட்ட தூண்டல்களுக்குக் குறிப்பிட்ட விளைவுகளை உண்டாக்கும் செல்கள் பொதுவாகக் குறிப்பிட்ட தூண்டலை உணரக் குறிப்பிட்ட அமைப்பைப் பெற்றுள்ளன. எடுத்துக்காட்டாக

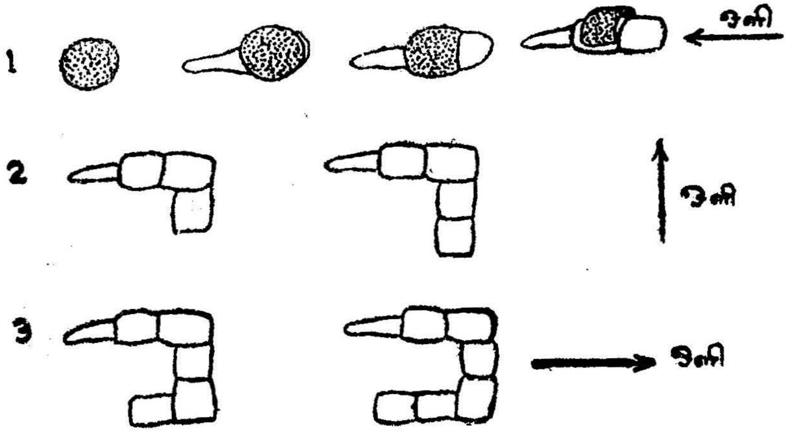
ஒளியின் தூண்டலை உணர நிறமிகள் பயன்படுகின்றன. இந்நிறமிகள் குறிப்பிட்ட இடங்களில், குறிப்பிட்ட அமைப்பில் அமைந்து ஒரு செல்லுயிர்களில் காணப்படும் கண் புள்ளி என்ற அமைப்பிலிருந்து கண் எனப்படுப் சிக்கலான அமைப்புடைய உறுப்பு வரையான அமைப்புகளாகக் காணப்படுகிறது.




படம் 18.1
பலவகையான சூழ்நிலைத் தூண்டலுக்கேற்ப அமீபா நடந்து கொள்ளும் விதம்.
1. உணவுத்தூண்டல்; 2. ஒளித்தூண்டல்; 3. உராய்ரவுத் தூண்டல்.

குறிப்பிட்ட அமைப்பு இல்லாமல் குறிப்பிட்ட தூண்டலை உணர்ந்து செயலாற்றும் செல்களும் உள்ளன. சில பெரணை ஸ்போர்கள் முளைத்து நீண்ட ஒரு செல்லடுக்கான இழையாக முதலில் வளருவது ஒளியின் திசையால் நிர்ணயிக்கப்படுகிறது. ஒளியின் திசையை மாற்றுவதன் மூலம் இழை வளரும் திசையை மாற்றலாம் (படம் 18.2). ஆயினும் இந்த ஸ்போர் செல்லிலோ,

அதிலிருந்து உண்டாகும் இழை செல்களிலோ குறிப்பாக ஒளியை உணரக் கூடிய சாதனம் எதுவுமிருப்பதாகத் தெரியவில்லே. அதே போல் உயர் தாவரங்களில் காணப்படும் ஒளிச்சார்பு, புவிஈர்ப்புச் சார்பு முதலிய இயக்கங்களின் தூண்டல்களே உணர்ந்து கொள்ளும் தனிப்பட்ட அமைப்புகளில்லே. இவற்றிலெல்லாம், செல்களில் பொதுவாகப் பரவியிருக்கும் சில வேதிப் பொருள்களே தூண்டல் களே ஏற்று அதற்கான விளேவுகளே உண்டாக்கக் காரணமா கின்றன. தாவரங்களின் வளர்நுனியில் காணப்படும் ஆக்சின்கள் இப்படிப்பட்ட வேதிப்பொருளுக்கு நல்ல எடுத்துக்காட்டாகும். உண்மையில், குறிப்பிட்ட உறுப்புகளின் வழியாக உணரப்படும்




படம் 18.2
பெரணியின் முனேக்கும் ஸ்போர் ஒளி வரும் திசைக்கேற்ப வளருதல். அம்புக்குறிகள் ஒளி வரும் திசையைக் குறிக்கின்றன.

தூண்டல்களும், அவற்றின் விளேவுகளுங்கூட அடிப்படையில் வேதிப் பொருள்களின் மாற்றங்களாலும் அதனுல் ஏற்படும் அயனி யடர்த்தி மின்னேற்ற மட்டம் முதலியவற்ருலும் நிகழ்வனவே யாகும்.

## செல்லின் சூழ்நிலேத் தகவமைவு—ஒரு புதிய கண்ணேட்டம்

மற்றெல்லாவற்றையும்விடச் சூழ்நிலேக்கேற்பத் தன்னே அமைத்துக் கொள்ளும் இயல்பே செல்கள் வெற்றிகரமாக உயிர் வாழ முக்கிய ஏதுவாகும். சூழ்நிலேக்கேற்ப இயங்கவும், அமைய வும் முடியாவிட்டால் செல்களும், அவற்ருலான உயிர்களும் உயிர்

வாழ்தலரிது. இதைப்பற்றி உயிரியலாரிடையே கருத்து வேற்றுமை இல்லை. ஆயினும் இந்த முக்கியமான இயக்கத்தை செல்கள் எவ்வாறு சமாளிக்கின்றன என்பதைப் பற்றி எதுவும் தெரியவில்லை. மற்றும் இப்பிரச்சினையோடு தொடர்புள்ளமற்றொன்று உருத்தோற்றப் பிரச்சினையாகும். அதாவது சைகோட் என்னும் ஒரே செல்லிலிருந்து பகுப்பாலுண்டாகும் ஒத்த செல்கள் உடலின் வெவ்வேறிடங்களில் வெவ்வேறு உருவமும் அமைப்பும் கொண்ட செல்களாகவும், அத்தகைய செல்களின் கூட்டால் அமைப்பு, உருவம், இயக்கம் ஆகியவற்றில் மிகவேறுபடும் உறுப்புகளுண் டாவதும் எப்படி என்பதாகும். இந்த உருத்தோற்றப் பிரச்சினைக் கும் இதுகாறும் சரியான விளக்கமெதுவும் தரப்படவில்லை. இவை சம்மந்தமாக, இதுவரை நிலவி வந்த கருத்துகளுக்கு மாறான ஒரு கண்ணோட்டத்தைச் சமீப காலத்தில் நான் எழுதிய ஆராய்ச்சிக் கட்டுரையொன்றில் வெளியிட்டுள்ளேன். இக்கண்ணோட்டத்தின் பிரதான அமிசங்களைப்பற்றிச் சொல்லி இந்நூலை முடிப்பது பொருத்தமுடையதாக இருக்கும்.

**உருத்தோற்ற இயல் கோட்பாடுகள் (morphogenetic concepts)**

உருத்தோற்றம், செல்லியக்கம் ஆகிய எல்லா அமிசங்களிலும் செல் நிலையில், செல்கோட்பாடு தோன்றிய காலத்திலிருந்து நிலவி வரும் ஒரு அடிப்படைக் கருத்து செல்லின் எல்லா அமிசங் களையும் அடக்கியாண்டு, கட்டுப்படுத்துவது செல்லின் நூக்ளிய சாகும் என்பதாம். யூகேர்ய உயிர்களில் மரபுப் பொருள் முழுதும் ஏறக்குறைய நூக்ளியசிலடங்கியிருப்பதால், மரபு வழியாகவே உருத் தோற்றத்தையும், இயக்கத்தையும் எய்தும் உயிர்களில் நூக்ளியசே பிரதானமான பங்கு வகிக்க வேண்டுமென்று கருதப் பட்டு வந்துள்ளது. நூக்ளியசின் முக்கியத்துவத்தைப் பலரும் ஒப்புக்கொண்டுள்ளனரென்றாலும் எல்லா செல்களிலும் ஒரே தன்மையான மரபுப் பொருளைக் கொண்ட நூக்ளியஸ், வெவ்வேறு செல்களில் வெவ்வேறு இயக்கங்களையும், உருவ அமைப்பையும் ஏற்படுத்துவதெப்படி என்ற கேள்விக்குத் திருப்திகரமான விடை காணப்படவில்லை. இப்போது நூக்ளியசின் யூகுரொமேட்டியப் பகுதியிலிருக்கும் ஜீன்கள் மட்டுமே செயலீடுபாடு கொண்டவை யென்றும், ஹெட்டிரோகுரொமேட்டிய பகுதியிலிருப்பவை முடக்க நிலையிலிருக்கின்றன என்றும் சொல்லப்படுகிறது. ஆகவே குறிப் பிட்ட சமயங்களில் குறிப்பிட்ட ஜீன்களைச் செயலீடுபாட்டுக்குத் தூண்டுவதன் மூலமும், மற்ற ஜீன்களை முடக்குவதன் மூலமும் வெவ்வேறு செல்களில் வெவ்வேறு விதமாக நூக்ளியஸ் செயல்படு கிறதென்றும் கருதப்படுகிறது. மற்றும் ஜீன்களைத் தடை செய்யும் தடைப்பொருள்களும் முறைப்படுத்தும் பொருள்களும் உள்ளன

வென்றும், இவற்றின் வழியாகச் செல்லியக்கங்கள் தேவைக் கேற்ப மாற்றப்படுகின்றன என்றும் சொல்லப் படுகிறது. ஆனால் இக்கருத்துகளிலெல்லாம், ஜீன்களைத் தூண்டுவது தடை செய்வது, தடை பொருளை உண்டாக்குவது முதலிய காரியங்களை நிகழச்செய்யும் அடிப்படைக் காரணம் என்னவென்று விளக்கப்படுவதில்லை. மொத்தத்தில் இக்கருத்துகளின் அடிப்படை அனுமானம் யாதெனின் செல்லின் இயக்கங்களும் அமைப்பு மாற்றங்களும் சூழ்நிலைத் தொடர்பின்றியே தன்னிச்சையாக நியூக்ளியசினால் உண்டாக்கப்படுவனவாகும் என்பதாம்.

சூழ்நிலைத் தொடர்பின்றியே நூக்ளியசும், அதன் கட்டுப்பாட்டில் செல்லும் இயங்குகின்றன என்ற கருத்து தோன்ற அடிப்படையான காரணம் டார்வினின் இயற்கைத் தேர்வு கொள்கையால் நிலைநாட்டப்பட்டு பலராலும் ஒப்புக் கொள்ளப்பட்ட உயிர் மரூஉ சித்தாந்தமேயாகுமெனலாம். இக் கொள்கையின்படி ஒரே இனத்தின் உயிர்களிடையே காணப்படும் வேற்றுமைகள் புறக் காரணமெதுவுமின்றித் தன்னிச்சையாகத் தோன்றுபவை என்றும், அப்படித் தன்னிச் சையாகத் தோன்றும் வேற்றுமைகளில் தக்கவற்றைச் சூழ்நிலை தேர்ந்தெடுத்து வாழ வழி செய்கிறது என்று சொல்லப்பட்டது. இக் கொள்கை வேரூன்றிய பிறகு, மரபியல் விதிகளும் அதைத் தொடர்ந்து செல்லின் நூக்ளியசிலுள்ள குரொமொசோம்களே மரபுப்பொருளின் இருப்பிடமென்றும், மரபு வழிப்படும் வேற்றுமைகளெல்லாம் குரொமொசோம்களிலிருக்கும் ஜீன்களில் ஏற்படும் வேறுபாடுகளேயாகுமென்றும் தெரிய வந்தது. அப்போது உயிர்களின் வேற்றுமைகள் புறக்காரணமின்றித் தன்னிச்சையாகத் தோன்றுகின்றன என்றால் உயிர்களின் பண்புக்கு அடிப்படையாகக் குரொமொசோம்களிலிருக்கும் ஜீன்களின் மாற்றமும், வேற்றுமையும் தன்னிச்சையாகவே தோன்றுவனவாக இருக்க வேண்டுமென்று நம்பப்பட்டது.

டார்வினுக்கு முன்பு லாமார்க் என்பவர் உயிர்மரூஉக் கொள்கையொன்றை வெளியிட்டார். அதன்படி, சூழ்நிலையைப் பொருத்தே உயிர்களின் மாற்றங்களும் வேறுபாடுகளும் தோன்றுகின்றன என்று சொல்லப்பட்டது. இது தவறென்றும், டார்வினின் இயற்கைத் தேர்வு கொள்கையே சரியானதென்றும் பொதுவாக நம்பப்பட்டு வந்துள்ளது. ஆனாலும் இந்த இரண்டு உயிர் மரூஉக் கொள்கைகளை கூர்ந்தாயும் போது, இரண்டுக்கும் பலராலும் கருதப்படுவது போல் இரண்டுக்கும் அதிக வேறுபாடில்லை என்பது புலனாகும். சூழ்நிலையே உயிர் மரூஉவின் அடிப்படைக்காரணம் என்பதை இரு கொள்கைகளும் ஒப்புக் கொள்ளுகின்றன. உயிரமைப்பின் எந்த மட்டத்தில் உயிர் மரூஉ நிகழும் வண்ணம் சூழ்

நிலை செயலாற்றுகிறது என்பதைப் பொருத்தே இரண்டும் வேறு படுகின்றன. டார்வினின் கொள்கைப்படி ஒரு இனத்தின் மொத்த ஜீன் தொகுதியின் இயல்பைச் சூழ்நிலை மாற்றுகிறது. லாமார்க்கின் கொள்கைப்படி தனிப்பட்ட உயிரின் ஜீன் தொகுதி யைச் சூழ்நிலை மாற்றுகிறது. அதாவது செல், உயிர் இனம், சமூகம் எனப்பலபடிகளாக அமைந்திருக்கும் உயிர் மட்டங்களில், டார்வின் குறிப்பிட்டமட்டத்துக்கு ஒருபடி முன்பான மட்டத்தில் சூழ்நிலை செயலாற்றுவதாக லாமார்க் குறிப்பிட்டாரென்பதே உண்மையாகும். எனவே லாமார்க்கின் கொள்கை டார்வினுடைய கொள்கையையும் உள்ளடக்கியதாகும் எனலாம். ஆனுல் டார்வின் கொள்கை லாமார்க்கின் கொள்கையை உள்ளடக்கிய தாகாது.

இவ்வாறு இரு கொள்கைகளுக்கும் தொடர்பிருந்தபோதும் லாமார்க்கின் கொள்கை தவருனதென்று நிராகரிக்கப்பட்டது. இதற்கு முக்கியக் காரணம் யாதெனின்டார்வின் கோள்கைப்படி இனத் தொகையில் மாற்றமேற்படுத்த சூழ்நிலையானது முழு உயிர் களின் மட்டத்தில் செயல்படுவதை எளிதில் காணவும், அனு மானிக்கவும் கூடும். ஆனுல் லாமார்க்கின் கருத்துப்படி தனி உயிரில் மாற்றமேற்படுத்த சூழ்நிலையானது உயிரின் அலகுகளான செல்களின் மட்டத்தில் செயல்படவேண்டும். ஒருசெல்லுயிர்களைத் தவிர மற்றவைகளில் சூழ்நிலை செல்களின் மட்டத்தில் செயல் படுவதைக் காணுவதும் அனுமானிப்பதும் எளிதல்ல. செல்களைப் பற்றியும் உயிர்களைப் பற்றியும் வெகுவாக அறியப்பட்டுள்ள இப்போது கூட பல செல்களாலான உயிர்களின் செல்மட்டத்தில் சூழ்நிலை செயலாற்றக் கூடுமென்று கருதப்படாதிருக்கும்போது நூருண்டுகளுக்கு முன்பு அக்கருத்தை உயிரியலார் ஏற்றுக் கொள் ளாததில் வியப்பொன்றுமில்லை.

லாமார்க்கின் கொள்கையைத் தள்ளிவிட்டு, டார்வினின் கொள்கையை ஏற்றுக் கொண்டதன் முக்கிய விளைவுயாதெனின், முழு உயிரின் மட்டத்துக்குக் கீழ் உயிரும் சூழ்நிலையும் ஒன்ரூே டொன்று தொடர்புகொண்டு ஒன்றையொன்று பாதிப்பதில்லை என்பதாம். முழு உயிரின் மட்டத்துக்குக் கீழ் உயிரும் சூழ்நிலையும் தொடர்பற்ற முறையில் தனித்தனியாக மாற்றமடைகின்றன. இம்மாற்றங்கள் முழு உயிரின் மட்டத்தில் ஒன்றையொன்று சந்திக்கும்போது இரண்டும் ஒன்றுக் கொன்று ஏற்புடையதாக இருந்தால் உயிரானது வெற்றிகரமாக வாழும் இல்லாவிட்டால் அழிந்துவிடும்.

இத்தகைய சித்தாந்தச் சூழ்நிலையில், மரபுப் பொருளின் மாற்றங்களுக்கடிப்படையான ஜீனிழப்பு, ஜீனதிகரிப்பு, ஜீன்வரிசை மாற்றம், ஜீன்தொகுதிகள் வேறு குரொமொசோம்களுக்கு மாறுதல், பல்மயமாதல், ஜீண்நுண்மருஉ முதலிய சம்பவங்கள் கண்டு பிடிக்கப்பட்டபோது இவையாவும் சூழ்நிலையின் தொடர்பின்றித் தன்னிச்சையாகவே ஏற்படுவனவென்றும், அதனால் இவற்றிற்குக் காரணமெதுவுமில்லையென்றும் இயல்பாகவே கருதப்படலாயிற்று. உயிரின் புறச் சூழ்நிலை மட்டுமன்றி அகச் சூழ்நிலையும், ஏன் நியூக்ளியசின் சூழ்நிலையான சைட்டொபிளாசமுங்கூட இம் மாற்றங்களோடு தொடர்புடையனவாக இருக்கக் கூடுமென்று கருதப்படவில்லை.

உயிரின் சில மட்டங்கள் மட்டும் சூழ்நிலையால் பாதிக்கப்பட்டு நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன, மற்ற மட்டங்கள் சூழ்நிலையின் தொடர்பின்றியே நிர்ணயிக்கப்படுகின்றன என்ற கருத்து இயல்பாகவே ஒன்றுக்கொன்று முரணானதாகும். உயிரென்பது வேதிய, பௌதிக அறிவுக்கு அப்பாற்பட்டதொன்றாகுமென்ற தத்துவப் பொருளில் இத்தகைய முரண்பட்ட கருத்துகளுக்கு இடமிருக்கலாமே தவிர வேதிய, பௌதிக நிகழ்ச்சிகளினடிப்படையில்தான் உயிரியக்கங்கள் நடைபெறுகின்றன என்ற அறிவியல் கருத்துக்கு இத்தகைய முரண்பட்ட கொள்கைகள் ஒவ்வாதனவாகும். எந்த நிலையிலும், சூழ்நிலைத் தொடர்பின்றி உயிரானது தனித்திருக்கக் கூடுமென்று கருத இடமில்லை. உண்மையில், செல்நூக்ளியசானது சூழ்நிலைத் தொடர்புற்றுத் தன்னிச்சையாக இயங்குவதொன்றாகும் என்ற கருத்தே, உருத் தோற்றத்தைப்பற்றியும், செல்லியக்கத் தொடர்புகளைப்பற்றியும் அறிவு முன்னேற்றமடையத் தடையாக இருந்து வந்துள்ளது என்று சொல்லலாம்.

## புதிய கண்ணோட்டம்

உருத் தோற்றத்தைப்பற்றிய பிரச்சினைக்கு, மேற் சொல்லப் பட்ட கருத்துகளினடிப்படையில் தீர்வு காண முடியவில்லை யாதலால், சமீப காலத்தில் பலரால் நூக்ளியசைவிட சைட்டொபிளாசமே செல்லியக்கத்தை வழி நடத்தும் முக்கியக் காரணியாக இருக்கவேண்டுமென்ற கருத்து வெளியிடப்பட்டுள்ளது. அதாவது, சைட்டொபிளாசம் செல்லின் சூழ்நிலைத் தூண்டல்களுக்கேற்பச் செல்லின் இயக்கம், அமைப்பு ஆகியவற்றை ஒழுங்குபடுத்துகிறது என்பதாம். இக் கருத்தானது சூழ்நிலைத் தொடர்பைச் சட்டை செய்யாமல் செல் நூக்ளியசும் செல்லும் தன்னிச்சையாகச் செயல் படுகின்றன என்ற கருத்துக்கு மாறானதாகும்.

உயிர்களைப்போலவே செல்லும் சூழ்நிலையைப் பொருத்தே இயங்க முடியும் என்ற கருத்தினடிப்படையில் பார்த்தால், செல்லின் சூழ்நிலையை உணரக் கூடியது சைட்டொபிளாசமேயாகு மென்று சொல்ல வேண்டும். ஏனென்றால் நூக்ளியசானது எப் போதும் சைட்டொபிளாசத்தால் சூழப்பட்டிருக்கிறது. சைட்டொ பிளாசத்தால் சூழப்படாத நூக்ளியஸ் உயிர் வாழ முடியாது. ஆனால், நூக்ளியஸ் அற்ற சைட்டொபிளாசம் சில காலம் செயல் பட முடியும். எனவே, செல்லின் சூழ்நிலைக்கு நேரடியாக இலக் காவது சைட்டொபிளாசமேயாகும். மற்றும் செல்லில் ஏற்படும் உருவ பேதங்கள் யாவும் சைட்டொபிளாசத்தையும் அதனோடு சேர்ந்த கிளைகோ சூழலையும் பொருத்ததேயாகுமன்றி நூக்ளிய சைப் பொருத்தல்ல. ஏனெனில், பல்வேறு உருவங்களையுடைய செல்களிலும் நூக்ளியசின் உருவம் ஏறக்குறைய ஒரே மாதிரியாகப், பெரும்பாலும் உருண்டை அல்லது சற்று நீண்ட உருளை வடிவ மாகவே இருக்கிறது.

செல்லின் சூழ்நிலையை உணர்ந்து செயல்படுவது சைட்டொ பிளாசமேயாயின், அது எவ்வாறு செயல்படுகிறது, அதற்கும், மரபுப் பொருளை உள்ளடக்கியிருக்கும் நூக்ளியசுக்கும் உள்ள தொடர்பு என்ன, சூழ்நிலைக்கேற்ப இயங்கும் செல்லியக்கத்தில் நியூக்ளியசின் பங்கு என்ன என்ற கேள்விகள் எழுகின்றன.

இக் கேள்விகளுக்கு விடை காணுவதற்கு, உயிரமைப்பில் மற்றொரு பண்பு உதவி செய்யக்கூடும். அதாவது, ஏற்கெனவே சொன்னபடி செல், உறுப்பு, உயிர், இனம், சமூகம் என்ற பல மட்டங்களிலமைந்திருக்கும் உயிரின் இயக்கம் பொதுவாக எல்லா மட்டங்களிலும் ஒரே தன்மையினதாகவே இருக்கின்றது. எடுத் துக்காட்டாகச் செல்லில் பல நுண்ணுறுப்புகள் இருப்பதுபோலவே பல செல்லுயிரில் பல அவயவங்களிருக்கின்றன. அவற்றின் இயக்கங்களும் ஒன்றையொன்று ஒப்பதாகவே இருக்கிறது. இன மென்பது பல உயிர்களின் கூட்டாலமைந்திருப்பதுபோல் பல செல்களை உடைய உயிர்கள் பல செல்களின் கூட்டால் அமைந் திருக்கிறது. சமூகத்தின் இயக்கத்திலும், அரசு, அரசின் இலாக் காக்கள், சமூகப் பிரிவுகள் முதலிய பல அமைப்புகள் உள்ளன. இப்படியாக உயிரின் அமைப்பு மட்டங்களுக்கிடையே உள்ள ஒற்றுமைக்குப் பல எடுத்துக்காட்டுகளைக் குறிப்பிடலாம். இதில் முக்கியமானது யாதெனின், ஒரு மட்டத்தின் இயக்கத்திலிருந்து மற்றொரு மட்டத்தில் அந்த இயக்கம் எப்படி நடைபெறக்கூடும் என்பதை அனுமானிக்கக் கூடுமென்பதாம்.

உயிரின் பல மட்ட அமைப்பில் விலங்குகளுக்கும் தாவரங்களுக்கும் பல ஒற்றுமைகளிருந்தாலும் ஒரு முக்கிய வேற்றுமையுள்ளது. தாவர செல்களின் உயர் அமைப்பு மட்டங்களிலும் செல்லின் முழு ஆற்றல் கூறுகளும் பயன்படுத்தப்படாமல் தாழ் நிலையிலேயே இருக்கின்றன என்று சொல்லலாம். எப்படியெனில், பல செல்களையுடைய தாவரங்களிலும் உடலின் பல பாகங்களிடையே வேதிப் பொருள்களின் மூலமே தொடர்பு ஏற்படுகிறது. இது செல்லின் வேதிய ஆற்றல் கூறின் முன்னேற்றமாகும். ஆனல் விலங்குகளில், வேதிய ஆற்றல் கூறல்லாமல், பௌதிக ஆற்றல் கூறுகளும் படிப்படியாக முன்னேற்றமடைந்து நரம்பு மண்டலமாக உருவாகின்றது. இவ்வாறு செல்லின் ஆற்றல் கூறுகளை உயிரின் மேல்பட்ட அமைப்புகளில் பயன்படுத்துவதில் தாவரங்களுக்கும் விலங்குகளுக்கும் உள்ள அடிப்படை வேற்றுமைக்குக் காரணம் அவற்றின் செல்லமைப்பில் இருக்கும் ஓர் அடிப்படை வேற்றுமையேயாகும். தாவர செல்கள் உறுதியான செல் சுவரால் பாதுகாக்கப்பட்டிருப்பதால் சைட்டொபிளாசம் சூழ்நிலையிலிருந்து நன்கு பாதுகாக்கப்படுகிறது. ஆனல், விலங்கு செல்கள் அப்படியல்ல. பொதுவாகப் பார்க்குமிடத்து, சூழ்நிலையை எதிர்ப்பதில் தாவரங்கள் தற்பாதுகாப்பு முறையையும் விலங்குகள் படையெடுப்பு முறையையும் கையாளுகின்றன என்று சொல்லலாம். அதனல் தாவரங்களைவிட விலங்குகளே செல்லின் முழு ஆற்றல் கூறுகளையும் பயன்படுத்திச் செயல்படுகின்றன. எனவே, விலங்குயிரின் மேல்மட்ட அமைப்புகளிலிருந்து செல்லின் இயக்கத்தைப்பற்றி நாம் அனுமானிப்பது எளிதாகும்.

அப்படிப் பார்க்கும்போது, ஓர் உயர் விலங்கின் உடலில் மூளையும் உடலின் மற்றப் பகுதிகளும் கொண்டுள்ள தொடர்பையே செல்லின் நூக்ளியசும், சைட்டொபிளாசமும், கொண்டிருக்கவேண்டுமென்று சொல்லலாம். உயர் விலங்குகளின் மூளையும் அதனோடு சேர்ந்த நரம்புமண்டலமும் எப்படிச் செயல்படுகின்றன என்பது முழுமையாக அறியப்படவில்லையென்றாலும், உடலின் மற்றப் பாகங்களினுடைய இயக்கங்களிடையே பரஸ்பரத் தொடர்பேற்படுத்துவதே அவற்றின் முக்கியப் பணியாகுமென்று தெரிகிறது. ஆனல், இதில் மூளையானது தன்னிச்சையாகச் செயல்படுவதாகத் தெரியவில்லை. உடலின் பல பாகங்களிலிருந்து வரும் தூண்டல்களுக்கேற்ப இயக்க நெறிகளை விளைவிக்கிறது. அப்படி விளைவிப்பதில் உயிரின் வளர்ச்சியில் உடலின் பகுதிகளுக்கு ஏற்படும் அனுபவங்களைக் குறித்து வைத்துக் கொண்டு அவற்றினடிப்படையில் மூளை செயலாற்றுகிறது. இந்தக் கண்ணோட்டத்தில் பார்ப்போமானல்,

சூழ்நிலைக்கிணக்காகும் சைட்டொபிளாசத்தின் அனுபவங்களைக் குறித்து வைத்துக்கொண்டு அதனடிப்படையில் செயல்படக்கூடு மென்று அனுமானிக்கலாம். மற்றும் சூழ்நிலையைச் சந்திக்கும் சைட்டொபிளாசம், தனது ஒவ்வொரு நடவடிக்கையையும் நூக்ளியசுக்குத் தெரிவித்து அதனிடமிருந்து தகுந்த வழிமுறைப் போக்கினைத் தெரிந்து செயல்படுகிறது எனலாம்.

மேற்குறிப்பிடப்பட்டுள்ள புதிய அனுமானம் சரியானதா என்பதையும் அப்படியாயின் அதன் வழிமுறை என்னவென்பதை யும் பல சோதனைகளின் மூலமாகவே அறியக்கூடும். ஆயினும், இப்போது செல்லியலைப்பற்றி நாமறிந்துள்ளனவற்றின் அடிப் படையில் இதற்கொரு விளக்கம் தரமுடியும்.

## நூக்ளியசின் நினைவுக் குறிப்பைத் தூண்டும் சூக்குமம்

சூழ்நிலைத் தூண்டல்களை நரம்புகள் மூலமாக மூளைக்கு அனுப் புவது அயனிகளின் மின்னேற்ற ஆற்றலைப் பயன்படுத்தும் செய லென்று ஏற்கெனவே சொல்லப்பட்டது. அவ்வாறே செல்லின் நூக்ளியசுக்குத் தூண்டல் செய்திகளையனுப்பச் சைட்டொபிளாசம் மின்னேற்ற ஆற்றலைப் பயன்படுத்த வேண்டுமென்றால் அதற்குக் குறிப்பிட்ட பாதைகள் தேவையாகும். செல்லில் இத்தகைய பாதைகளாகச் செயல்படத் தகுதியுள்ளவை என்டொபிளாச வலையும் மைக்ரொட்யூப்யூல்களுமாகும். மைக்ரொட்யூப்யூல்கள் செல்லினுள் நடைபெறும் நகர்வுகளுக்கு முக்கியமாகப் பயன்படு கின்றனவென்று தெரிகிறது. ஆகவே, அவை செல்லினுள் மின்னேற்ற ஆற்றலைக் கடத்தும் சாதனங்களாகச் செயல்படுவதும் சாத்தியமே. என்டொபிளாச வலையானது, சைட்டொபிளாசம் முழுவதும் வியாபித்து, வெளியில் பிளாஸ்மா சவ்வுடனும் உள்ளே நூக்ளிய உறையோடும் இணைந்திருக்கிறது. நூக்ளிய உறை குரொமேட்டினுக இருக்கும் குரொமொசோம்களோடு இணைந்திருக் கிறது. மற்றும், என்டொபிளாச வலையில் வரிசையாக ஒட்டிக் கொண்டிருக்கும் ரைபொசோம்களும் அவற்றின் அமைப்பு வரிசை அல்லது பிற இயல்புகளாக மின்னுற்றலைக் கடத்தும் பாதைகளாகச் செயல்படக்கூடும்.

உயர் விலங்குகளின் உடலியக்கத்தில் அவற்றின் நரம்பு மண் டலம் மின்னுற்றலைப் பயன்படுத்துகின்றனவென்றாலும் அது நேரடியான மின்காந்த அலைகளல்ல. மாருக, அடிப்படையில் மின் னேற்ற அயனிகள் ஈடுபடும் ஒரு வேதிய, பௌதிகக் கிரியையே யாகும். ஆகவே, செல்லினுள்ளும் நூக்ளியசுக்கும் சைட்டொ பிளாசத்துக்குமிடையே மின்னுற்றல் தொடர்பைவிட வேதிப்

பொருள்களின் மூலம் தொடர்பேற்படுவதே சாத்தியமெனக் கொள்ளலாம். செல்லின் இயக்கங்கள் மின்னுற்றலின் துரித கதியில் நடைபெறுவதாகத் தெரியவில்லை. மாறாக வேதிப் பொருள்களின் நகர்வால் நடைபெறக்கூடிய மந்த கதியில் நடை பெறுவதாகவே தெரிகிறது.

நூக்ளியசுக்கும் சைட்டொபிளாசத்துக்குமிடையே மின்னுற்றல் தொடர்பு இருந்தாலும் அதைப்பற்றி எதுவும் இதுவரை தெரிய வில்லை. ஆனால், வேதிப் பொருள்களின் மூலம் இரண்டுக்கு மிடையே தொடர்பு இருப்பது நன்கு அறியப்பட்டுள்ளது. இதில் மிக முக்கியமானதும், தெளிவாகத் தெரியவந்துள்ளதும் புரோட்டீன் தயாரிப்பாகும். புதிய கண்ணோட்டத்தில் இதை எப்படி விளக்கக்கூடும் என்பதைப் பார்ப்போம்.

புரோட்டீன் தயாரிப்பைப்பற்றி இப்போது தெரியவந்துள்ள விவரங்களில் சரியாக விளக்கப்படாத இரண்டு முக்கிய சம்பவங் களுள்ளன. ஒன்று, நூக்ளியசிலுள்ள பல்லாயிரக்கணக்கான ஜீன்கள், அல்லது DNA பகுதிகளில் குறிப்பிட்ட சமயத்தில் குறிப் பிட்ட பகுதிகள் மட்டும் தூது RNA உற்பத்தியிலீடுபடுவதெப்படி என்பதாகும். இரண்டு, இரட்டைத் தொடரான DNA-யின் தொடர்கள் தூது RNA உற்பத்திக்காகப் பிரிந்து ஒரு தொடர் மட்டும் தூது RNA-வை உற்பத்தி செய்வதெப்படி என்பதாகும். புதிய கண்ணோட்டத்தில் இவ்விரண்டு பிரச்சினைகளுக்குமே விளக்கங் கிடைக்கிறது.

சைட்டொபிளாசமானது, செல்லின் சூழ்நிலையைப் பிளாஸ்மா சவ்வு மூலம் உணர்ந்து, அச் சூழ்நிலையைச் சமாளிப்பதற்கேற்ற வேதிப் பொருளைத் தானாகவே உற்பத்தி செய்யக்கூடும் என்று அனுமானிக்கலாம். அவ்வாறு உற்பத்தி செய்யப்படும் பொருள் ஒற்றைத்தொடர் DNA அல்லது RNA யாகவும், குறிப்பிட்ட நூக்ளியொடைடு வரிசையைப் பெற்றதாகவுமிருக்கலாம். ஆனால், அச் சூழ்நிலையில் அப் பொருள் தயாரிக்கப்படுவது சரியா என்று சைட்டொபிளாசமறிய வேண்டுமென்றால் அதற்கான நூக்ளியசின் குறியீட்டிலிருந்தே தெரிந்து கொள்ள முடியும். மற்றும் அப்பொரு ளின் நினைவுக்குறியீடு, அதன் நூக்ளியொடைடு தொடர்களின் பிரதியாக நூக்ளியசின் DNA-ல் பதிந்திருக்குமென்று அனு மானிக்கலாம். எனவே சைட்டொபிளாசத்திலுற்பத்தியாகும்

பொருளின் மூலக்கூறு நூக்ளியசுக்கு நகர்ந்து சென்று அங்குத் தனக்கான நினைவுக்குறியீடு இருக்கிறதா என்று பார்க்கலாம். அவ்வுயிரின் செல்களின் அனுபவங்களனைத்தும் நூக்ளியசில் நினைவுக்குறியீடுகளாகப் பதிந்திருக்க வேண்டுமாதலால், சைட்டொபிளாசத்தின் பெரும்பான்மையான சூழ்நிலைத் தூண்டலா லுற்பத்தியாகும் பொருள்களின் நினைவுக் குறியீடு நூக்ளியசில் இருந்தாக வேண்டும். அப்படியுள்ள DNA நினைவுக்குறியீட்டுடன் சைட்டொபிளாசத்திலிருந்து வந்த பொருள் அச்சும் பிரதியுமான வேதிச் சேர்க்கையடையக் கூடுமென்று அனுமானிக்கலாம். அப்படி DNA-ன் ஒரு தொடருடன் இணைந்தால் அவ்விடத்தில் மற்றொரு தொடர் விடுபட்டுத் தூது RNA உற்பத்தியிலீடுபட ஏதுவாகும். இதுவே நினைவுத் தூண்டலாகுமென்று கருதலாம். அப்படித் தூண்டப்பட்டதால் தயாரிக்கப்படும் தூது RNA யானது சைட்டொபிளாசத்துக்கு நகர்ந்து சென்று அங்கு அச்சூழ்நிலையில் செல்லுக்குத் தேவையான அடிப்படை புரோட்டீன், அல்லது நொதியை ரைபொசோம்களினோடு சேர்ந்து உற்பத்தி செய்ய ஏதுவாகலாம்.

சைட்டோபிளாசத்தாலுற்பத்தி செய்யப்பட்டு நூக்ளியசுக்குச் சென்று நினைவைத் தூண்டும் பொருளின் செயற்காலம் ஒரு குறிப்பிட்ட அளவினதாக இருக்கலாம். அவ்வாருயின் அக்கால அளவுக்குப் பிறகு அப் பொருள் இயல்பிழந்து, செயலிழந்து போவதால் அந்த நினைவுத் தூண்டல் நின்று அக் குறிப்பிட்ட தூது RNA-ம், அதன் புரோட்டீனும் உற்பத்தியாவது நின்றுவிடும். ஆனால், அதே சூழ்நிலைத் தூண்டலுக்கு சைட்டொபிளாசம் தொடர்ந்து இலக்காகு மேல், மீண்டும் மீண்டும் அப்பொரு ளுற்பத்தியும், நினைவுத் தூண்டலும் தொடர்ந்து நடைபெற வாய்ப்புண்டு.

செல்லின் சூழ்நிலையென்பது பல்வேறு அமிசங்களைக் கொண்ட சிக்கலானதொன்ருகையால் ஒரே சமயத்தில் பல்வேறு வகையான தூண்டல்கள் ஏற்படலாம். ஆகவே, இவற்றிற்கான பல்வேறு பொருள்கள் சைட்டொபிளாசத்தாலுற்பத்தி செய்யப்பட்டு நூக்ளியசுக்கு ஒரே சமயத்தில் சென்று தமக்கான நினைவுத் தூண்டல்களை ஏற்படுத்தலாம். சூழ்நிலை மாறும்போது தூண்டல்கள் மாறி வேறு வித பொருள்களுண்டாகி வேறு விதமான செல்லியக்கத்துக்கும், அமைப்பு மாற்றங்களுக்கும் ஏதுவாகலாம். எனவே, இப் புதிய கண்ணோட்டத்தின்படி முழு உயிரைப் போலவே, செல்லும் தனது சூழ்நிலைக்கேற்ப இயங்குகிற வழிவகை விளக்கம் பெறுகிறது.

செல் பகுப்புக்காக நூக்ளியசின் DNA இரட்டிக்கும்போது, நூக்ளியொடைடு தொடரான புதிய பொருள் புதிதாக உண்டாக்கப்படும் தொடர்களில் இணைத்துக் கொள்ளப்படும் வாய்ப்பு உண்டு. அப்படி இணைத்துக்கொள்ளப்படுமாயின் அடுத்த பகுப்பில் அதன் பிரதியாக உண்டாக்கப்படும் DNA தொடர் அப் பொருளின் நினைவாக நூக்ளிய DNA-ல் பதிவாகி விடும். அதன் பிறகு அம்மாறுபட்ட சூழ்நிலையை அந்த செல் சந்தித்தால் அதற்கேற்ப மாறுபட்ட வழியில் இயங்கவும் அமைப்பைப் பெறவும் வாய்ப்பு ஏற்படுகிறது.

புதிய தொடர்கள் எவ்வளவுக்கெவ்வளவு அதிகமாகச் செல்லில் குழுமுகின்றனவோ அவ்வளவுக்கவ்வளவு அவை DNA-ல் இணைத்துக்கொள்ளப்படும் சாத்தியக் கூறு அதிகரிக்கிறது. மற்றும், மைட்டாசிஸ் பகுப்பின்போது புதிய தொடர்கள் இணைக்கப்படுவதைவிட மியாசிஸ் பகுப்பின்போது இணைக்கப்படும் வாய்ப்புகளதிகமாக இருக்கலாம். அப்படி மியாசிஸ் பகுப்பின்போது இணைக்கப்படும் தொடர்கள், அதன் பிறகு தோன்றும் கேமீட்களின்மூலம் புதிய உயிரின் செல்களனைத்திலும் பரவிப் புதிய சூழ்நிலைக்கேற்பப் புதிய முறையில் அமையவும் இயங்கவும் ஏதுவாகலாம்.

புதிதாக இணைக்கப்படும் தொடர் வேறு தொடருக்குப்பதிலாக இணைக்கப்படலாமா அல்லது புதிதாகவே இணையலாமா என்ற கேள்வியும் எழுகிறது. புதிய கண்ணோட்டத்தின் செயல் முறைக்கு, புதிய தொடர் DNA-ல் இணைவதுதான் தேவை. அதனல் வேறொரு தொடர் அகற்றப்பட வேண்டுமென்பதில்லை. மற்றும், மியாசிஸ் பகுப்பின்போது குரொமொசோம்களிடையே நடைபெறும் குறுக்கேற்றமும், அதனுலும் மற்ற வழிகளிலும் விளையும் மரபுப் பொருள் மாற்றங்களுக்கும் புதுத் தொடர்களின் இணைவே காரணமாகலாம். அப்படியாயின், உயிர்களில் ஏற்படும் மரபுப் பொருள் மாற்றங்களும் தன்னிச்சையாகவன்றிச் சூழ்நிலைத் தொடர்பினுலேற்படுவனவே என்ருகும்.

இதுகாறும் இங்குச் சொல்லப்பட்ட புதிய கண்ணோட்டத்தை, உயிரின் வேறொரு மட்டத்தில் நடைபெறும் ஒரு செயலின் மூலம் சுருக்கமாக விளக்கலாம். உயிரின் உருத்தோற்றமும் செல்லியக்கமும் ஒரு பரந்த, பல அறைகளைக் கொண்ட பெரிய மாளிகை நிர்மாணத்தைப் போன்றதாகும். மாளிகையை நிர்மாணிப்பதற்காக முன்கூட்டி வரையப்படும் 'புளூ பிரின்ட்' எனப்படும் நீல வரைபடம் போன்றது நூக்ளியஸ். அதை வைத்துக் கொண்டு

அதன்படி மாளிகையை நிர்மாணிக்கும் பொறியியல் வல்லுநர்களும் இதர வேலையாள்களுமே சைட்டொபிளாசம். ஒவ்வொருவரிடமும் ஒரு முழு நீல வரைபடமிருந்தாலும், அதில் தான் நிர்மாணிக்கும் பகுதிக்கு மட்டுமே அதை வழிகாட்டியாகக் கொள்ளுவான். மற்றப் பகுதிகளைப்பற்றி அவனுக்குக் கவலையில்லை. ஆனால், ஒருவன் நிர்மாணிக்கும் பகுதியில் சிறு மாற்றம் செய்தால் சிறப்பாக இருக்குமென்று ஒருவன் கருதினால் அதனை உடனே அவன் செயல்படுத்த முடியாது. தான் விரும்பும் மாற்றத்தைப் பிறருக்கும் எடுத்துச் சொல்லி அவர்களுடைய ஒப்புதலின் பேரில் நீல வரைபடத்தில் சேர்க்கப்பட்ட பிறகே மாற்றத்தைச் செய்ய முடியும். நீல வரைபடத்தில் மாளிகையின் நிர்மாணத்துக்கு வேண்டிய குறிப்புகளத்தனையும் இருந்தாலும் அது வழிகாட்டியாகச் செயல்படக் கூடுமேயன்றி, அதுவே மாளிகையை நிர்மாணிக்க முடியாது.

இப் புதிய கண்ணோட்டமானது, இன்றைய உயிரியலறிவின் சில உண்மைகளை வைத்துப் பெருமளவுக்குக் கற்பனையாக உருவாக்கப்பட்டதொன்றாகும். வருங்கால உயிரியலாய்வுகளில் நடத்தப்படப்போகும் பல சோதனைகளே இக் கண்ணோட்டம் சரியானதா, இல்லையா என்று நிர்ணயிக்கும். எனினும் செல்லின் நூக்ளியஸ் சூழ்நிலையின் தொடர்பின்றியே தன்னிச்சையாகச் செல்லை இயக்குகிறது என்ற கோட்பாட்டுக்குப் பதிலாக, நூக்ளியசானது ஒரு நீல வரைபடத்தைப்போல் செல்லியக்கத்துக்கு வழிகாட்ட மட்டும் பயன்படும் சாதனமாகுமென்ற கோட்பாடு, இதுகாறும் உயிரியலில் உருத்தோற்றம் முதலான பல விடைகாண முடியாத பிரச்சினைகளுக்கு விடைகாண உதவும் என்பதே எனது நம்பிக்கையாகும்.

# மேற்கோள் நூற்பட்டியல்

## BIBLIOGRAPHY


1. Periasamy, K., An Introduction to Cytology Genetics and Evolution, 1974, Emkay Publications, Delhi-51.
2. Telfer, W.H., and Kennedy. D., The Biology of Organisms, 1965, John Wiley and Sons, Inc. New York.
3. Stern, H. and Nanney. D.L., The Biology of Cells, 1965, John Wiley and Sons, Inc. New York.
4. Dowben, R., Cell Biology, 1971, Harper and Row, New York.
5. Topics in the Study of Life: The BIO Souce Book, 1971, Harper and Row, New York.
6. Verma, V.A., Text Book of Plant Physiology, 1973, Emkay Publications, Delhi 51.
7. Bassham, J.A. and Calvin, M., The Path of Carbon in Photosynthesis, 1975, Prentice Hall, NewJersey.
8. Calvin, M. and Bassham, J. A., The Photosynthesis of Carbon Compounds, 1962, W.A. Benjamin, Inc. New York.
9. Devlin, R.M. Plant Physiology, 1969, Reinhold Publishing Corporation, New York.
10 Jenson, W.A. and Park, R.B., Cell Ultrastructure, 1967, Wadworth, Belmont, Califf.
11 Loewy, A. and Slekevitz, P., Cell Structure and Function, 1963, Holt Rinehart and Winston, New York.
12. Morrison, J.H., Functional Organelles, 1966, Reinhold Publishing Corporation, New York.
13. Swanson, C. P., The Cell, 1964, Englewood Cliffs, N.J Prentice Hall.
14. Kamen, M.D., The Primary Processes in Photosynthesis 1963, Academic Press, New York.

15. Bennett, T.P. and Frieden., Modern Topics in Biochemistry. 1966, Macmillan, New York.

16. Lehninger, A.L., Bioenergetics: The Molecular Basis of Biological Energy Transformations, 1965, Benjamin, New York.

17. Lehninger A. L., The Mitochondrion: Molecular Basis of Structure and Function, W.A. Benjamin, Inc. NewYork.

18. Bell, E. Molecular and Cellular Aspects of Development, 1965, W.A. Benjamin, Inc. New York.

19. Watson, J.D., Molecular Biology of the Gene, 1965, W.A. Benjamin, Inc. New York.

20. De Robertis, Nowinski and Saez. Cell Biology, 1965, W.B. Saunders and Co.

21. Lima de Faria, A., (Editor) Handbook of Molecular Cytology, 1969, North Holland Publishing Co.

22. Tonner and Carr. Cell Structure, 1968, E.S. Livingston Limited.

23. Lewin, B.M., The Molecular Basis of Gene Expression, 1970, John Wiley and Sons Ltd., New York.

24. James, W.O., Cell Respiration, 1971, The English Universities Press Ltd., London.

25. Leopold, A.C., Plant Growth and Development, 1964, McGraw Hill Book Co., New York.

26. Dwness, H.R. The Chemistry of Living Cells, 1962, Harper and Row, New York.

27. சுந்தரம், எஸ்., தாவரங்களின் வாழ்க்கை (சிறப்புப் பாடம்) 1970, தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம், சென்னை.

28. கோவிந்தராஜுலு, இ., தாவர செல்களின் அண்மைக்கால ஆய்வுகள், 1973, தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம், சென்னை.

29. சுப்ரமணியம், டி.டி., தாவர நீர் உறவுகளும் கனிம ஊட்டமும், 1974, தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம், சென்னை.

# கலைச்சொற்கள்

அ

அச்சு — Template
அடர்காண் சோதனை — Titration experiment
அணுவிடைத் தூரம் — Interatomic distance
அதிமின்னேற்றக் கரைசல் — Strong electrolyte
அதிமையத்தறு விசையி — Ultracentrifuge
அமைப்பொத்தன — Structural analogues
அயனி — Ion
அயனிக் கூட்டு — Ion composition
அயனிப்பிரிவு — Dissociation

ஆ

ஆக்சிகரணம் — Oxidation
ஆற்றல் — Energy
ஆற்றலாற் கடப்பு — Active transport
ஆஸ்மாசிய — Osmotic

இ

இயல்பூடுருவல் — Permeation
இயல்பெடை — Fresh weight
இரட்டைப் பிணைப்பு — Double bond
இழை புரோட்டீன் — Fibrous protein

உ

உப்பிட்டுப் பிரித்தல் — Salting out
உப்பிட்டுக் கரைத்தல் — Salting in
உயிர்ப்பு — Respiration
உயிர் மருஉ — Organic evolution
உருண்டை புரோட்டீன் — Globular protein

ஊ

ஊடுபரவல் — Diffusion

எ

எலெக்ட்ரான் கடப்பு — Electron transport

ஒ

ஒழுங்கின்மை — Entrophy
ஒற்றை நிற வொளி — Monochromatic light

க

கடத்தி — Carrier
கடத்து RNA — tRNA
கனிம உப்பு — Mineral salt
கிளைகோ சூழல் — Glycocalyx
கிளர்ச்சி — Excitation
கிரியாவாற்றல் — Free energy
கிரியாவூக்கி — Catalyst
குளிர் விணைவு — Condensation
குறை — Weak
கொழுப்பமிலம் — Fatty acid
கூட்டுக்காரணி — Cofactor
கூட்டுப்பிணைப்பு — Covalent bond

ச

சமநிலைக் கொழுப்பு — Neutral fat
சிதற்றுதல் — Maceration
சிதைந்த நிலை — Denatured state
சுழலல்லா — Noncyclic
சூக்குமம் — Mechanism
செயலறு கலவை — Equilibrium mixture
செயலறு வாயு — Infert gas
செயலிடங்கள் — Active sites
செயல் தடை — Inhibition
செல் வேதியல் — Cytochemistry
சொந்த நிலை — Native state

த

தனிம ஒப்பு வரிசை — Periodic table of elements
திருகுச் சுருள் — Spiral, helix
தூது RNA — mRNA
தெரி கடப்பு — Selective permeability, Semi permeability

ந

| | | |
|---|---|---|
| நிலைதாங்கி | — | Buffer |
| நிறக்கணிகம் | — | Chromoplast |
| நீக்கரணம் | — | Reduction |
| நீர் கரைப்பகுதி | — | Soluble fraction |
| நீற்றுடைவு | — | Hydrolysis |
| நூக்ளிய உறை | — | Nuclear envelope |
| நொதியடக்கி | — | Enzyme inhibitor |
| நொதி தளக் கூட்டு | — | Enzyme-subtrate complex |
| நோக்கறுமோதல் | — | Random collision |

ப

| | | |
|---|---|---|
| பகாநிலை | — | Interphase |
| பாஸ்பரீகரணம் | — | Phosphorylation |
| பகுநிலை | — | Kinetic phase |
| பிசுக்கு | — | Viscosity |
| பிரதி | — | Copy |
| புரொகார்ய | — | Prokaryotic |
| பெயர்க்குறுக்கம் | — | Abbreviation |
| பொருண்மை | — | Mass |
| போட்டித் தடுப்பு | — | Competitive inhibition |
| போட்டித் தடை | — | Competitive inhibitor |

ம

| | | |
|---|---|---|
| மருஉ | — | Evolution |
| மின்னேற்றக் கரைசல் | — | Electrolyte |
| மின்னேறாக் கரைசல் | — | Non electrolyte |
| மின்னேற்றப் பிணைப்பு | — | Electovalent bond |
| முடுக்கி | — | Activator |
| முடுக்கு ஆற்றல் | — | Activation energy |
| மையத்தறுவிசை | — | Centrifugal force |
| மையத்தறுவிசையி | — | Centrifuge |

ய

| | | |
|---|---|---|
| யூகார்ய | — | Eukaryotic |

வ

| | | |
|---|---|---|
| வழுக்கைப் பொருள் | — | Slime |
| வளியறுயிர்ப்பு | — | Anaerobic respiration |

| | | |
|---|---|---|
| வளியுயிர்ப்பு | — | Aerobic respiration |
| வற்றெடை | — | Dry weight |
| விசை | — | Force |
| வெண்கணிகம் | — | Leucoplast |
| வேகம் | — | Velocity |
| வேகமிகுப்பு | — | Acceleration |

# தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனம்

சென்னை-600 031

*

தமிழில் பயில்பவர்க்குக் கல்லூரிப் பாடநூல்கள்

(Tamil Medium Books for Colleges)

1977 ஏப்ரல் முடிய 779 நூல்கள் வெளியிடப்பட்டுள்ளன.

*

## மேலும் விரைவில் வெளிவருபவை

| | | | |
|---|---|---|---|
| பொறியியல் | ... | 4 | நூல்கள் |
| மருத்துவவியல் | ... | 1 | ,, |
| இயற்பியல் | ... | 5 | ,, |
| வேதியியல் | ... | 1 | ,, |
| விலங்கியல் | ... | 2 | ,, |
| கணிதவியல் | ... | 2 | ,, |
| வணிகவியல் | ... | 3 | ,, |
| பொருளியல் | ... | 2 | ,, |
| புவியியல் | ... | 1 | ,, |
| வரலாற்றியல் | ... | 9 | ,, |
| அளவையியல் | ... | 1 | ,, |
| வானியல் | ... | 1 | ,, |
| உளவியல் | ... | 1 | ,, |
| புள்ளியியல் | ... | 3 | ,, |
| கல்வியியல் | ... | 2 | ,, |
| அரசியல் | ... | 2 | ,, |
| கூட்டுறவியல் | ... | 1 | ,, |

கிடைக்குமிடம் :

தமிழ்நாட்டுப் பாடநூல் நிறுவனக் கிடங்கு

(கல்லூரிக் கல்வி இயக்குநர் அலுவலகச் சுற்றுக்குள்)

கல்லூரிச் சாலை, நுங்கம்பாக்கம்.

சென்னை-600 006.

கல்லூரிப் பாடநூல்களுக்கு 20% கழிவு வழங்கப்படும்.