

ОСНОВИ ЦИТОЛОГИЈЕ

Цитологија је наука која се бави проучавањем облика структуре и функције ћелије. Пошто је ћелија основна структурна и функционална јединица свих живих бића и сви се животињи процеси дешавају на нивоу ћелије, цитологија данас заузима централно место у биологији.

Жива супстанца ћелија биљака и животиња назива се протоплазма. Најједноставнији живи организми састављени су само од једне ћелије. Виши организми састоје се из већег броја ћелија. Ћелије које обављају исту функцију груписане су заједно и спојене међућелијском супстанцом формирајући ткива. Животињска ткива, на пример, су: копитано, мишићно итд.; биљна ткива су: палисадно ткиво, спроводно ткиво итд. Два или више ткива чине функционалну јединицу – орган. Анимални органи су: срце, бубрег итд., а биљни органи: лист, корен, стабло, цвет. Неколико органа чије су функције повезане чине органске системе: респираторни систем, нервни систем итд., који заједно чине један вишећелијски организам.

Сви организми и све ћелије које улазе у састав организма, сматра се, потичу од заједничког претка ћелије у процесу еволуције.

Први једноћелијски организам вероватно је настао развојем органских једињења у праоксану Земље. Претпоставља се да је у последњем стадијуму хемијске еволуције настао бујон органских једињења, од којих су нека стекла способност репродукције и временом еволуирала у прве биолошке системе, тј. у пробиће. Тада је почела биолошка еволуција. Може се закључити да су жива бића настала еволуцијом из неживих супстанци стицањем особина организованог живог система.

ХЕМИЈСКИ САСТАВ ЋЕЛИЈЕ

Макро и микроелементи

Жива бића састоје се од истих елемената који се налазе и у неживој природи. У састав ћелија живих бића најчешће улазе: кисеоник, водоник, угљеник, азот, фосфор, натријум, калијум, калцијум, магнезијум, гвожђе итд. Они се налазе у већим количинама, па се зову макроелементи. Неки

елементи се налазе у ћелији у мањим количинама, на пример јод, бакар, манган, кобалт и цинк. То је група микроелемената. Ови елементи називају се биогени елементи јер улазе у састав ћелије живих бића. Мора се нагласити да поред поменутих елемената у састав ћелије улазе и неки други елементи, али у веома малим количинама, тако рећи у траговима.

Може се рећи да су у живим организмима уграђени скоро сви елементи Менделјејевог система, заступљени и у неживој природи. Најзаступљенији елемент у живим ћелијама на Земљи је угљеник.

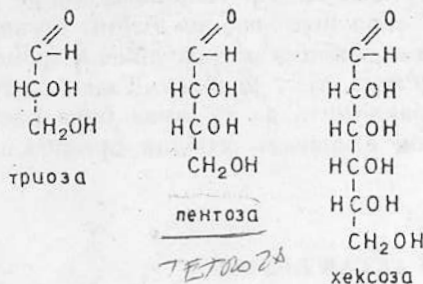
Неорганска једињења

Вода је најзаступљеније једињење у ћелијама. Она је основни растварач и средина у којој се одвијају многи процеси синтезе и разлагања. Из тога произилази да је воде у живој ћелији највише. У ћелијама плодова неких биљака има око 98% воде, док је у семенима знатно мање (10-14%). Са старашћу ћелија опада и количина воде у њима. Ипак и ћелије организма старијег човека садрже око 70% воде.

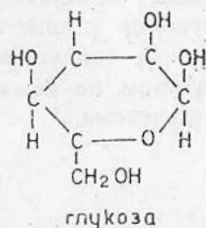
У неорганске састојке ћелије убрајају се и соли. Оне се у ћелији јављају као катјони или анјони, а неопходне су као структурни елементи или учествују у животним активностима ћелије.

Органска једињења

Угљени хидрати (шећер) су једињења састављена од угљеника, водоника и кисеоника, у којима су водоник и угљеник заступљени у односу 2:1. Прости шећери или моносахариди су триозе, пентозе и хексозе (сл. 1).



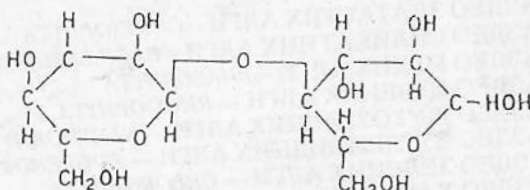
Сл. 1. Молекули моносахарида:
триоза, пентоза, хексоза



Сл. 2. Молекул глюкозе

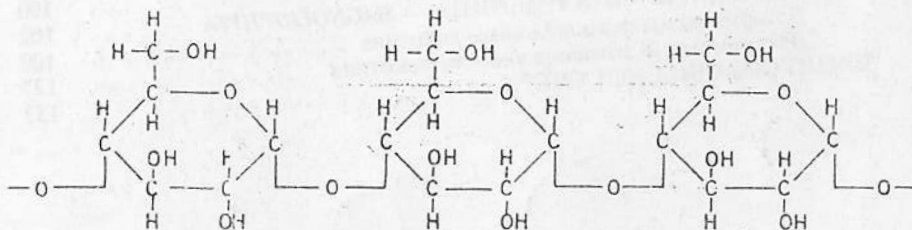
Од моносахарида са шест атома угљеника најраспрострањенији су глюкоза и фруктоза (сл. 2). Глюкоза представља основни енергетски материјал у ћелијама човјека и животињских организама, а фруктоза у биљним.

Моносахариди могу образовати веће молекуле: дисахариде и полисахариде (сл. 3). Међу дисахаридима, најпознатије су малтоза,



Сл. 3. Молекул дисахарида малтозе

сахароза и лактоза. Полисахариди настају спајањем више молекула моносахарида, а најпознатији су скроб и гликоген (полимери глукозе). Они се налазе у цитоплазми у облику гранула. Скроб је по правилу резервна материја биљних, а гликоген животињских ћелија. Јетра и мишићи су органи богати гликогеном. Целулоза је полисахарид који учествује у изградњи ћелијских зидова биљака. Хитин је чврсти омотач зглавкара, а агар се добија из морских алги. То су структурни полисахариди (сл. 4).



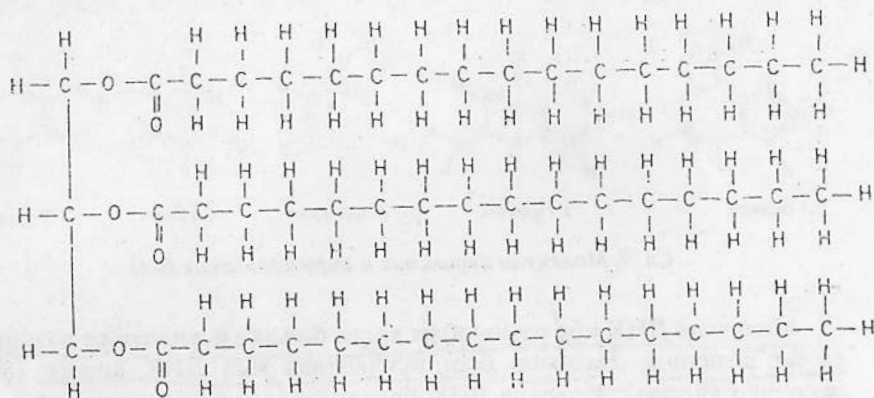
Сл. 4. Део молекула полисахарида

Масли (липиди) су такође грађене од угљеника, водоника и кисеоника. Оне се састоје од алкохола глицерола и виших масних киселина.

Од засићених масних киселина настају чврсте масти, а од незасићених течне масти - уља (сл. 5).

Масли су резервне супстанце које улазе у састав ћелијске мембране. Оне су у односу на шећере (угљене хидрате) и протеине најбогатије везаном хемијском енергијом.

Беланчевине (протеини) су сложени органски молекули. Састоје се од најмање четири елемента: азота, угљеника, водоника и кисеоника. Често садрже и друге елементе (сумпор, фосфор, гвожђе).



Сл. 5. Молекул триглицерола

Протеини су састављени од аминокиселина. У природи је познато око 200 различитих аминокиселина, од којих само 20 улази у састав живих бића (сл. 6).

аланин	валин	тирозин
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ \\ \text{O}-\text{H} \end{array}$
аргинин	хистидин	цистеин
$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{N}-\text{H} \\ \\ \text{C}=\text{NH} \\ \\ \text{H}-\text{N}-\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{C}=\text{C}-\text{H} \\ \quad \\ \text{H}-\text{N} \quad \text{N} \\ \\ \text{C}=\text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} \quad \text{H} \quad \text{O} \\ \quad \quad \\ \text{H}-\text{N}-\text{C}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{H}-\text{C}-\text{H} \\ \\ \text{S}-\text{H} \end{array}$

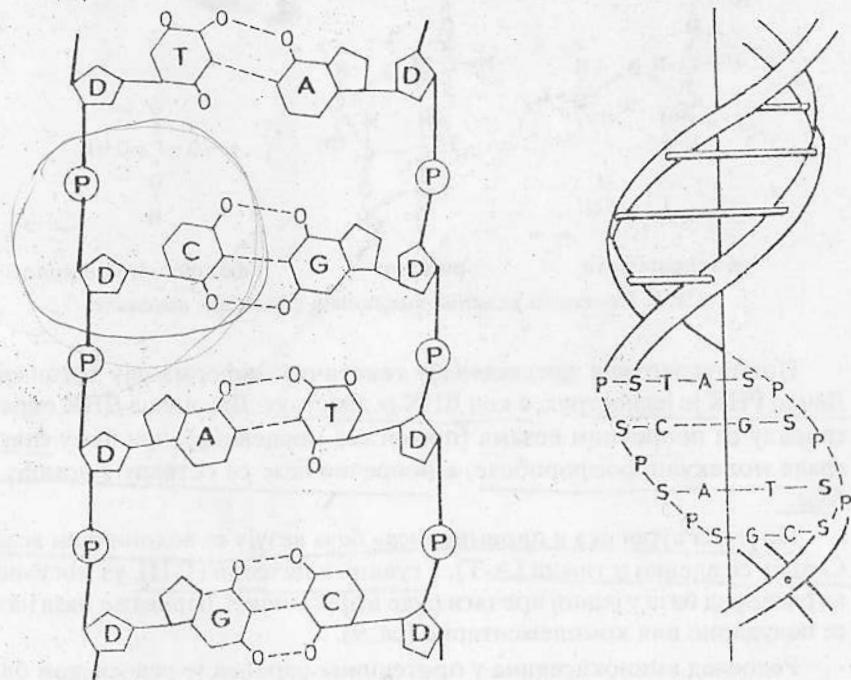
Сл. 6. Формуле аминокиселина саставних делова природних беланчевина

Аминокиселине се међусобно спајају, тако да се карбоксилна група (-COOH) једне аминокиселине везује за amino-групу (-NH₂) наредне аминокиселине. Тако настаје пептидна веза -CO-NH-, при чему се ослобађа молекул воде. Присуство карбоксилне и amino-групе омогућава да се аминокиселине понашају и као базе и као киселине. Аминокиселине су уграђене у беланчевине по утврђеном редоследу. Редослед аминокиселина одређен је наследним својствима саме ћелије.

Величина, облик и функција протеина зависе од броја, врсте и редоследа аминокиселина од којих су састављени. По две аминокиселине формирају дипептиде, три-трипептиде, а велики број amino-киселина гради ланце полипептида.

Грађа и функција нуклеинских киселина

Нуклеинске киселине су веома крупни молекули. Деле се на: дезоксирибонуклеинску киселину (ДНК) и рибонуклеинске киселине (РНК). Оне чине наследну основу индивидуалне и биолошке специфичности сваког живог бића.

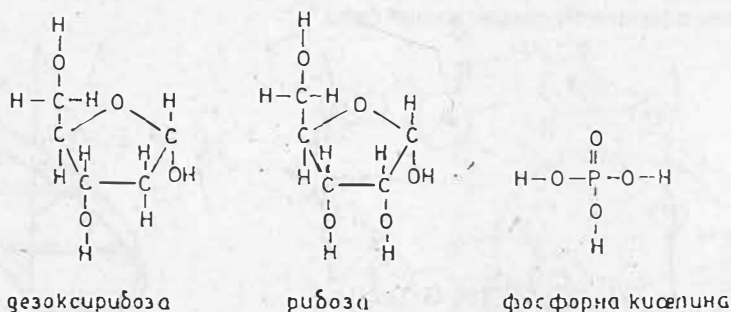


Сл. 7. Део молекула ДНК

Нуклеинске киселине састављене су од јединица које се називају нуклеотиди. Спајањем нуклеотида настају динуклеотиди, тринуклеотиди

и полинуклеотида. У састав нуклеотида улазе три врсте молекула: угљени хидрат (шећер дезоксирiboза или риboза), фосфорна киселина и пурина или пиримидинска база. Од пуринских база то су аденин (А) и гуанин (Г), а од пиримидинских цитозин (Ц) и тимин (Т). Крупан молекул нуклеинске киселине шематски може да се представи у облику мердевина, са два гредена састављеним од низа молекула шећера повезаних молекулима фосфорне киселине, при чему су пречаге мердевина по једна пурина и једна пиримидинска база. Распоред пурина и пиримидина је такав да се они међусобно повезују, тако да једну пречагу чине аденин и тимин, а другу гуанин и цитозин. Молекул је представљен на слици 7.

Нуклеотид дезоксирибонуклеинске киселине (ДНК) састоји се од фосфорне киселине, дезоксирiboзе и базе, док се нуклеотид рибонуклеинске киселине (РНК) разликује од нуклеотида ДНК по присуству шећера риboзе и базе урацила уместо тимина (сл. 8).



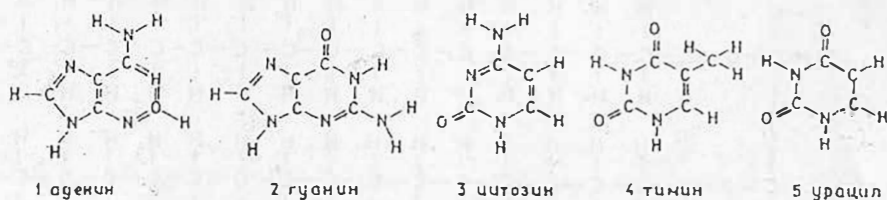
Сл. 8. Молекули угљених хидрата и фосфорне киселине

Полинуклеотиди представљају генетичку информацију организама. Ланац РНК је једнострук, а код ДНК је двострук. Два ланца ДНК образују спиралу са попречним везама (пречагама мердевина), при чему спиралу граде молекули фосфорибозе, а попречне везе се остварују помоћу две базе.

По једна пурина и пиримидинска база везују се водоничким везама. Спајају се аденин и тимин (А-Т), а гуанин и цитозин (Г-Ц), уз могућност да распоред база у једној пречаги буде и другачији. Спаривање база назива се подударно или комплементарно (сл. 9).

Редослед аминокиселина у протеинима одређен је редоследом база у ДНК. ДНК је важна за синтезу протеина, карактеристичних за сваку биљну или животињску врсту. Различитим комбинацијама истих нуклеотида образују се различите беланчевине, као што се словним комбинацијама могу написати различите речи. Низови нуклеотида

представљају кодове који одређују редослед уграђивања аминокиселина у поједине протеине.



Сл. 9. Молекули пуринских и пиримидинских база

Молекули ДНК код различитих врста биљака и животиња разликују се по величини. Најмањи број нуклеотида има ДНК вируса (само неколико хиљада). Молекул ДНК бактерија садржи неколико милиона нуклеотида, а код виших животиња и човека има их и више милијарди. Гени су наследне јединице и састоје се од више нуклеотида.

Сличност у грађи ДНК и РНК настаје због тога што се делови ДНК користе као „калупи“ (матрице) по којима се синтетишу молекули РНК. Пошто се „копирају“ само делови једног ланца ДНК, молекули РНК су једнострукни и много мањи од молекула ДНК. То значи да копирање врши више ланаца РНК.

За разлику од ДНК која је иста у свим ћелијама организма, молекули РНК су разноврснији. У ћелијама истог организма налазе се различите врсте РНК. Оне су заступљене у свим ћелијама, од бактерија па до најсложеније грађених биљних и животињских организма. У ћелијама се количина РНК повећава у време појачане синтезе протеина. Ове нуклеинске киселине сврставају се у три типа: информационе, рибозомалне и транспортне.

Информационе рибонуклеинске киселине (иРНК) преносе информације, односно упутства о редоследу аминокиселина које треба на основу преписане ДНК уградити у протеин. Ових иРНК има онолико колико и различитих пептидних ланаца у ћелији. Како све ћелије једног организма не производе исте протеине, иРНК ће се у њима разликовати. При различитим физиолошким условима састав и врсте иРНК се мењају у једној истој ћелији.

Рибозомалне рибонуклеинске киселине (рРНК) улазе у састав ћелијских органа - рибозома. Оне су специфичне за сваку врсту и исте су у свим ћелијама једног организма. Функција рРНК је синтеза протеина.

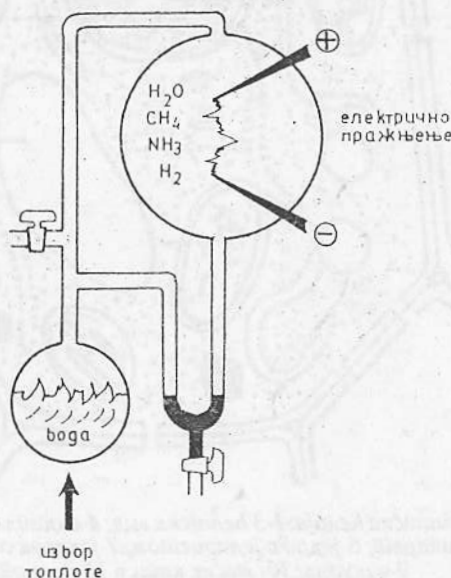
Транспортне рибонуклеинске киселине (шРНК) имају најмање молекуле. Оне транспортују аминокиселине до рибозома, односно до

места где ће бити уграђене у протеин. Све тРНК разликују се по редоследу нуклеотида.

ПРОКАРИОТСКА И ЕУКАРИОТСКА ЋЕЛИЈА

Појава првих органских молекула на Земљи. Планета Земља стара је око пет милијарди година. То је утврђено методом распадања радиоактивних елемената. Земља се постепено хладила и на њој су створени праокеани слатке воде. Било је пуно вулканских ерупција, обилних киша, а у атмосфери је било веома мало или нимало кисеоника. Земљу тада није штитио озонски омотач.

У води праокеана започета је органска хемијска еволуција. Настајала су све сложенија и сложенија органска једињења. То је и експериментално доказао С. Милер у лабораторији, имитирајући првобитне услове на Земљи уз претпоставку да је у води било SO_2 , CH_4 , NH_3 и H_2 . Ова смеша гасова загревана је уз додавање неопходне енергије електричним пражњењем или касније и ултравиолетним зрачењем (сл. 10).



Сл. 10. Оглед С. Милера.

На тај начин су добијени цијановодоник и формалдехид, који даље подлежу реакцијама у воденом раствору, образујући аминокиселине глицин и аланин и друга органска једињања. Две поменуте аминокиселине

улазе у састав и данашњих живих бића. Међутим, Земља је у свом развоју имала огромне предности над било каквим експериментом који човек може да изврши. На Земљи је постојао широк спектар услова и дуги временски распон.

Претпоставља се с правом да је у води праокеана настао бујон органских једињења и да је у једном моменту дошло до настанка нуклеинских киселина, при чему је једно сложено органско једињење добило око себе и мембрански омотач. Оваква једињења су касније добила својство саморепродукције па је настало прабиће и започела је биолошка еволуција.

У седиментним стенама Африке и Аустралије откривени су остаци најстаријих живих бића: једне бактерије (*Eobacterium isolatum*) и једне модрозелене алге (*Archaeosphaeroides barbertonensis*).

Прокариотска ћелија. Бактерије и модрозелене алге очувале су једноставну грађу ћелије и до данас. Тај облик ћелије је означен као прокариотски. Наиме, обе групе организама су једноћелијски или колонијални организми веома једноставне грађе. Њихова ћелија има мембрану и око ње живи ћелијски зид од протеина и муреина, у унутрашњости је цитоплазма. У цитоплазми се налазе рибозоми, а код модрозелених алги и тилакоиди који врше фотосинтезу. Једров материјал у облику ДНК постоји код ових организама, али он није обавијен посебном опном и назива се нуклеоид, што значи да личи на једро (сл. 11).

На основу изложеног може се закључити да су живе ћелије настале спонтано у праокеанима Земље, агрегацијом молекула пре отприлике 3,5 милијарде година. Тај процес одвијао се у најмање три фазе док се није појавила прва ћелија.

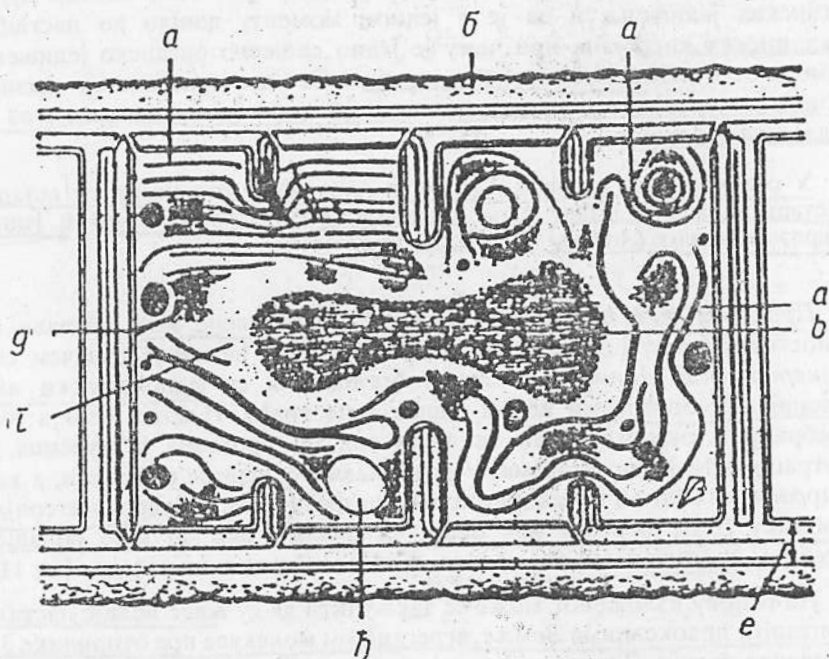
Прво, требало је да се формирају ДНК и РНК које могу да управљају својим сопственим удвајањем (репликацијом).

Друго, морао је да се развије механизам помоћу кога један РНК молекул може да управља синтезом протеина.

Треће, морала је да се образује липидна мембрана која је обухватала смешу саморепликујућих молекула РНК и протеина. У некој каснијој фази процеса еволуције, ДНК је заузела место РНК као наследни материјал.

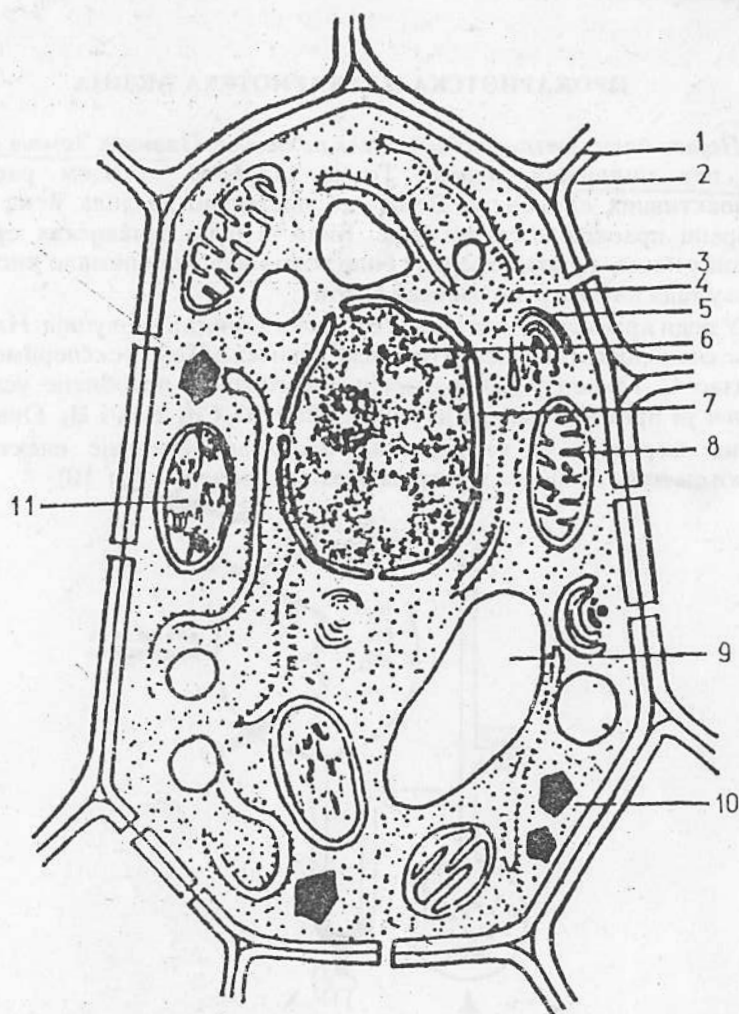
Еукариотска ћелија. У водама праокеана Земље дуго су живели само прокариотски организми. Претпоставља се да је еукариотска ћелија настала пре око милијарду година. Наравно, фосилних доказа о настанку еукариотске ћелије немамо, али се с правом претпоставља да је она настала еволуцијом (усавршавањем) прокариотске ћелије. По неким

претпоставкама еволуцију прокаритоске ћелије пратио је и низ симбиотских процеса.



Сл. 11. Прокариотска ћелија; модрозелена алга: а - појединачни и груписани тилакоиди; б-слузави омотач; в-нуклеоид; г-цитоплазма; д-рибозоми; ђ-вакуола и е-ћелијски зид.

Наследни материјал еукариотске ћелије обавијен је посебном једровом мембраном (грчки: *eu*-прави, истински и *karyon*-једро). Поред спољашње мембране, биљне ћелије образују и целулозни зид. У еукариотској ћелији развиле су се и бројне ћелијске органеле, којих нема ни код данашњих прокариотских организама (бактерија и модрозелених алги). Заједничке органеле биљне и животињске ћелије су: ендоплазматични ретикулум, митохондрије, Голџијев апарат, лизозоми и друге. За разлику од животињских, биљне ћелије имају пластиде (сл. 12).



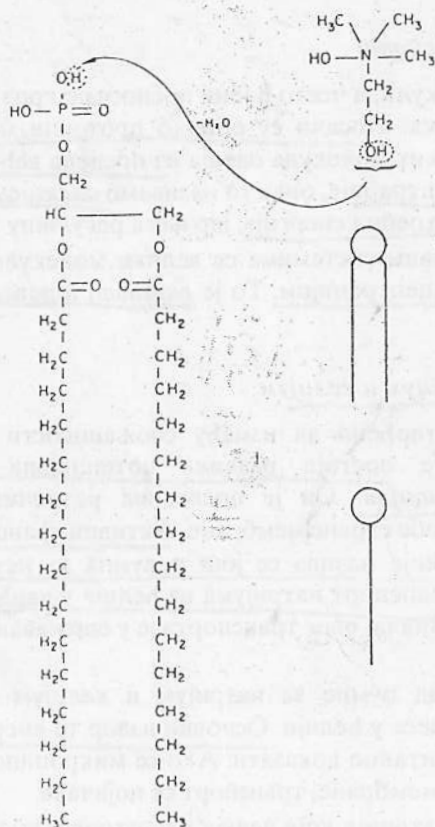
Сл. 12. Еукариотска ћелија: 1-3 ћелијски зид; 4-ендоплазматични реикулум; 5-Голџијев апарат; 6-једро с једарцејом; 7-једрова ојна; 8- митохондрија; 9-вакуола; 10- масне капи и 11-хлоропласти.

ЋЕЛИЈСКА МЕМБРАНА

На површини живе ћелије налази се опна (ћелијска мембрана). Мембрана животињских ћелија одваја унутрашњост ћелије од спољашње средине код једноћелијских облика, односно околних ћелија ткива код

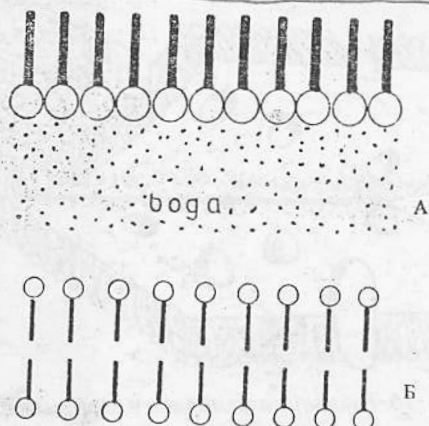
вишећелијских организама. Биљна ћелија, око ћелијске мембране ствара и неживу творевину - ћелијски зид. На основу истраживања електронским микроскопом утврђено је да су и ћелијске органеле: једро, Голџијев апарат, ендоплазматични ретикулум, пластиди и митохондрије, такође обавијене својим мембранама, које су истоветне грађе с ћелијском мембраном.

Грађа ћелијске мембране. У хемијским лабораторијама је давно извршена анализа одвојене ћелијске мембране. Том приликом је закључено да она има липопротеински састав, тј. да је грађена од липида и протеина. Овај резултат је подстакао истраживаче на даља истраживања грађе мембрана. Резултати тих истраживања доводе до закључка да су молекули липида у облику фосфолипида (сл. 13).



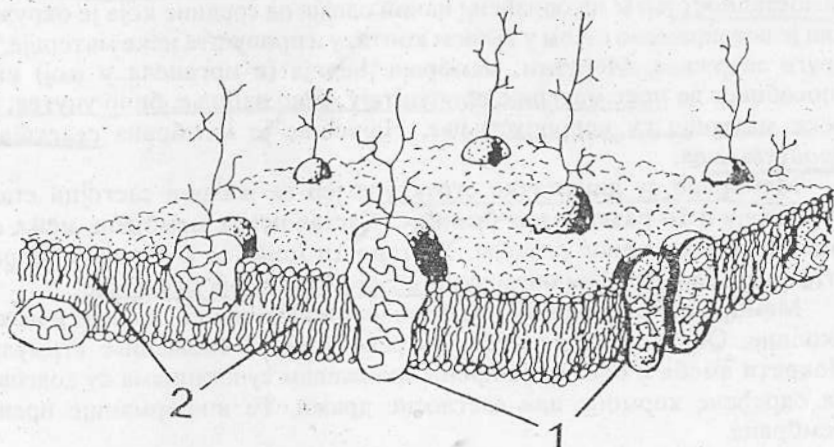
Сл. 13. Молекул фосфолипида

Молекул фосфолипида се састоји из глобуларног дела (поларне групе) и хидрокарбонског ланца. Глобуларни део молекула је хидрофилан и окренут ка цитоплазми, али пошто мембрану сачињавају два слоја фосфолипида, глобуларни део горњег слоја окренут је споља (сл. 14).



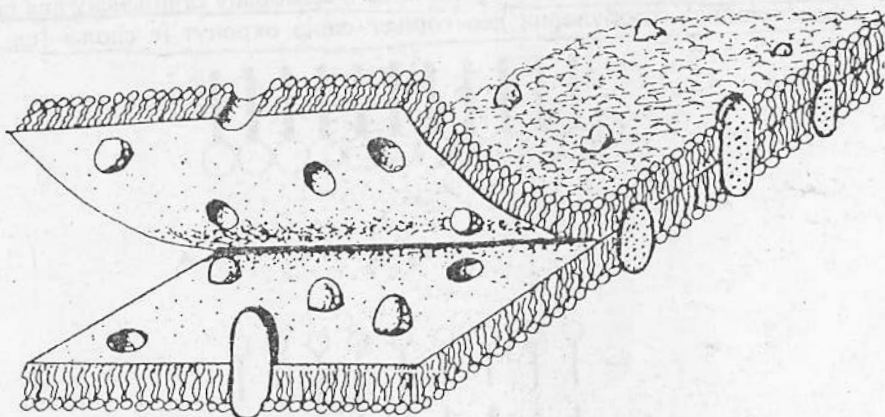
Сл. 14. Фосфолипиди: А-једнослојни; Б-двослојни

У слоју фосфолипида су местимично смештени крупнији глобуларни протеини (сл. 15).



Сл. 15. Мембрана ћелије: 1-глобуларни протеини; 2-липидни слој

Протеини који улазе у састав мембране налазе се местимично у слоју липида. Они се не могу видети на танком пресеку мембране, али могу постати видљиви применом методе смрзавања и цепања (сл. 16).



Сл. 16. Раздвојена мембрана у слојевима фосфолипида

Овом методом се ткиво замрзава течним азотом на температури -196°C и ломи у вакууму. На овај начин одваја се липидни слој при чему се може вршити анализа унутрашњег слоја. Унутрашњи слој садржи бројне протеинске партикуле, а на доњем слоју виде се места где су оне залазиле. Истраживања су показала да физиолошки активније ћелије имају већи број глобуларних протеина по јединици површине.

Функције мембране. Ћелијска мембрана обезбеђује ћелији самосталност јер је на одређени начин одваја од средине која је окружује, али је истовремено с њом у тесном контакту и пропушта неке материје, док друге задржава. Међутим, мембране ћелија (и органа у њој) имају способност да неке материје пропуштају, било напоље, било унутра, а за неке материје су непропустљиве. Најчешће је мембрана селективно пропусљива.

Мембране су динамичке структуре јер се њихови састојци стално обнављају и то различитом брзином. Састав неких мембрана мења се и током индивидуалног развића. У старости мења се и састав мембране, што значи да старењем организма, слаби и функција мембране.

Мембране контролишу токове информација између ћелија и њихове околине. Оне садрже специфичне рецепторе за спољашње стимулусе. Покрети амеба и бактерија према хранљивим супстанцама су „одговор” на одређене хормоне или светлосне дражи. Те информације преноси мембрана.

Транспорт материја кроз мембрану.

Кроз мембране се транспорт материја одвија на више начина, дифузијом, осмозом, активним транспортом и пиноцитозом.

Дифузија је процес кретања честица молекула или јона у простору са места веће концентрације на место мање концентрације. У раствору се честице крећу и у супротном правцу, иако им је кретање по правилу од веће ка мањој концентрацији. У биолошким системима дифузија се дешава не само унутар једне ћелије или органеле већ и кроз њихове мембране, уколико су пропустљиве за дату супстанцију.

Осмоза је процес пролаза растворених материја кроз мембране. Материје пролазе кроз мембрану у правцу њихове мање концентрације. Притисак потребан да би се спречила осмоза, назива се ефективан осмотски притисак.

Активни транспорт

Крупнији молекули, а често и јони преносе се кроз мембрану помоћу носача - преносника. Носачи су обично протеини мембране. Ако се преношење органских молекула одвија из предела веће концентрације у предео мање концентрације, онда то називамо олакшаном дифузијом. За овај процес није потребна енергија, јер њега регулишу хормони.

Међутим, у живим системима се велики молекули преносе и у део ћелије с већом концентрацијом. То је активан транспорт и за њега је потребна енергија.

Пумпа за натријум и калијум

Мерењем је утврђено да између спољашњости и унутрашњости ћелијске мембране постоји разлика потенцијала који је назван мембрански потенцијал. Он је последица различите концентрације анијона и катјона са обе стране мембране. Активни транспорт јона Na^+ и K^+ кроз мембрану ћелије назива се још и пумпа за натријум и калијум. Постоји активан транспорт натријума из ћелије у ванћелијску течност и калијума у ћелију. Значај овог транспорта је у одржавању сталног јонског састава у ћелији.

Енергија за рад пумпе за натријум и калијум обезбеђује се из метаболичких процеса у ћелији. Основни извор те енергије је АТФ, што се може експериментално доказати. Ако се микропипетом дода АТФ са унутрашње стране мембране, транспорт се појачава.

Све хемијске материје које делују као отрови, смањују или потпуно блокирају стварање АТФ молекула, а тиме и транспортни механизам у мембрани. При њиховој примени престаје рад пумпе.

Ендоцитоза

Ово је један од начина уласка крупних молекула у ћелију. Један њен облик је пиноцитоза. То је процес у коме велики молекули пролазе у ћелију уз активност њене мембране. Слично процесу пиноцитозе је фагоцитоза. Ту ћелије прождиру бактерије или нека друга страна тела. Приликом контакта с таквим честицама мембрана се уврће око њих и затвара обухваћени материјал. Унутарћелијски ензими варе органски материјал.

Екзоцитоза је обрнути процес у односу на ендоцитозу. Мембрана захвата материјал који треба да буде избачен и активно га излучује изван ћелије.

Промене пропусљивости мембране. Пропустљивост мембрана је променљива и зависи од спољашњих и унутрашњих чинилаца, као што су: температура, зрачење, анестетици, тешки метали и др.

Пропустљивост мембране се мења старењем организма. Младе ћелије имају мембране веће селективности од старијих ћелија.

У експерименталним условима могу се синтетисати мембране из мешавине фосфолипида и воде. Под одређеним условима такве мембране се савијају и образују мале мехуриће пречника до 10 микрометара. На основу тога лако је замислити да затварањем одређене групе молекула, мембране могу да формирају просторно изоловане функционалне јединице. Претпоставља се да је прва ћелија настала када су молекули фосфолипида у пребиотичким условима на Земљи спонтано формирали такву мембранску структуру, затварајући саморепликујућу смешу РНК и протеина.

ЋЕЛИЈСКЕ ОРГАНЕЛЕ

Појам ћелије увео је Енглез Роберт Хук (Robert Hooke) 1665. године. Он је посматрао мртво ткиво плуте испод микроскопа и констатовао да је оно састављено од коморица, слично саћу пчела. Међутим, оно што је он назвао ћелијом, то је само зид или омотач. Касније је Чех Пуркиње посматрао живо ткиво и закључио да ћелију испуњава течан садржај који је он назвао протоплазма. Одмах за њим је Енглез Роберт Браун (Robert Brown) констатовао да у протоплазми (цитоплазми) увек постоји бар једно једро. У биљним ћелијама је констатована и још једна органела која је названа хлоропласт. Оваква грађа ћелије уочљива је под светлосним микроскопом који има моћ увећања честица до 3000 пута. Тек педесетих година нашег века уведен је у истраживања електронски микроскоп, далеко веће моћи увећања, па су њима откривене и нове ћелијске органеле: рибозоми, ендоплазматични ретикулум, Голџијев апарат, лизозоми, пластиди, митохондрије, центрозоми и цитоскелет.

На основу тога у ћелији разликујемо основну масу цитоплазму и у њој распоређене ћелијске органеле.

Цитоплазма

У физичко-хемијском погледу цитоплазма има својство колоида који стоји између течног и чврстог стања. Она испуњава унутрашњост ћелије животиње у потпуности, а у биљним ћелијама простор између централно постављене ћелијске вакуоле и мембране. То је колоидни раствор у коме је вода основни састојак, а у њој су растворене органске и неорганске материје, соли и друга једињења. Цитоплазма се као колоид одликује већом густином од воде, а својства су јој еластичност и покретљивост. Она прима воду и постаје волуминознија, али се не расплињава у потпуности већ у извесном степену задржава наведена својства. У растворима соли и шећера отпушта извесну количину воде, али такође задржава својства живог система.

Једро (nucleus)

Једро је као органела присутно у свим ћелијама еукариотских организама. Зависно од типа ћелије, ова органела варира у величини, облику и положају. Једро је најчешће овално или округло, али може бити и неправилног облика или режњевито. Сваки тип ћелије има карактеристичан положај једра.

Већина ћелија има у цитоплазми једно једро, али постоје и ћелије са два (бинуклеарне ћелије) или више једара (полинуклеарне ћелије).

Једро се састоји од једрове ојне (мембране) и једровог сока (нуклеоплазме). У једровом соку налазе се хроматин (хромозоми), рибозоми и једарце (nucleolus) (сл. 17).

Једрова ојна састављена је од две мембране, дебљине до 6 нм.

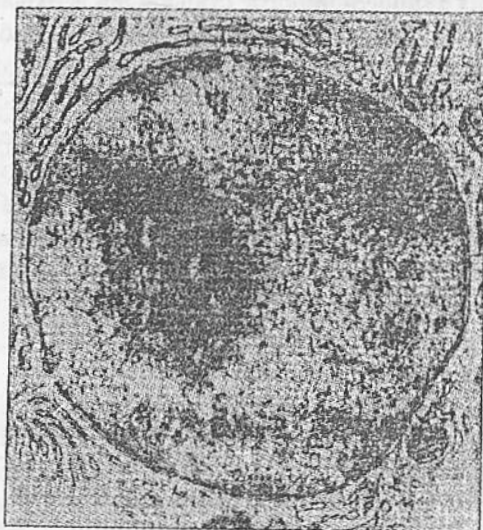
Између тих мембрана простор ширине 10-15 нм испуњен је течношћу која се назива перихондријална течност. Спољашња мембрана повезана је са ендоплазматичним ретикулумом.

Једрова опна има више пора, чији пречник није сталан, већ показује извесне пулсације. То су места за размену макромолекула између цитоплазме и нуклеоплазме.

Нуклеоилазма испуњава унутрашњост једра. Она је знатно гушћи колоид од цитоплазме, а садржи хроматин и једарце.

Нуклеопротеинске компоненте могу бити присутне или у кондензованом (хетерохроматин) или у диспергованом облику (еухроматин). Ове две врсте хроматина дају позитивну реакцију на ДНК.

Еухроматин заузима светлији део нуклеоплазме, а хетерохроматин се боји интензивније и чешће се налази уз мембрану једра и уз једарце.



Сл. 17. Једро с једарцем

Хромозоми

Већ смо нагласили да се у једру ћелије која није у стању деобе налазе конци хроматина. Ови се у деоби ћелије скраћују и задебљавају градећи карактеристична телашца—хромозоме. То су ћелијске структуре карактеристичног облика и величине и сталног броја за сваку биљну и животињску врсту. Омотач хромозома састоји се од протеина, а унутар њега је спирални ланац ДНК.

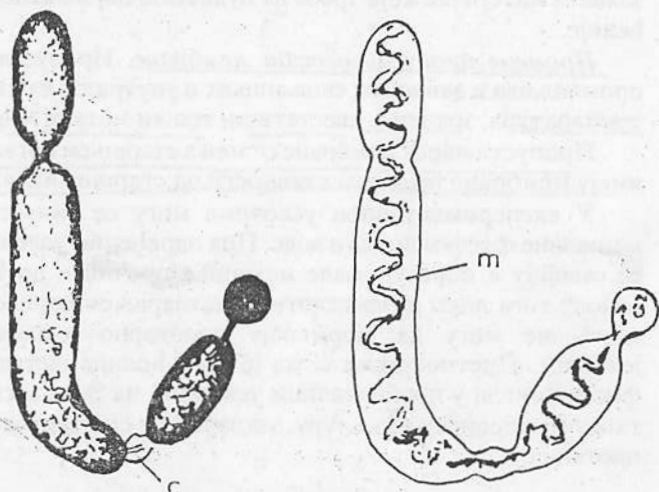
Хромозоми у телесним ћелијама биљака и животиња су у паровима, што значи да ове имају диплоидан број ($2n$). Половина хромозома је од оца, а друга половина од мајке, па пошто су они одговарајућег облика и величине, слично прстима леве и десне руке, то се и називају хомологни хромозоми. Полне ћелије ће после процеса деобе садржати упола мањи број хромозома који се означава као хайлоидан број (n).

Код различитих биљних и животињских врста број хромозома је различит, али специфичан за сваку врсту. Број хромозома се креће од 4 (код коњске глисте) до 1600 (код неких врста радиоларија) међу животињама, а код човека је 46. Такође, и главчица *Haplopappus* има у ћелијама 4 хромозома, пшеница 42, а врста папрати *Ophioglossum* 1260. Скуп свих хромозома у ћелији је сталан и карактеристичан за сваку врсту посебно. Назива се кариотипи.

KARIOGRAM. ПОРЕЂАЊЕ И ГРУП
ПО ВЕЛИЧ.

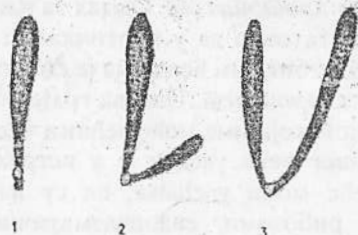
Хумани (људски) хромозоми спадају у ситније, а њихова величина се креће од 1,5 до 10 μm . Нарочито су ситни хромозоми неких инсеката и папрати, а врло крупни код водоземаца и љутића.

Грађа хромозома је расветљена употребом електронског микроскопа. На хромозому разликујемо беланчевинасти омотач или мајрикс и унутар њега конач ДНК или хромонему. На хромонемима се могу видети задебљања звана хромомере (сл. 18).



Сл. 18. Хромозом: лево — спољашњи изглед; десно — унутрашња грађа; c-centromera; m-мајрикс

Облик хромозома је различит, али се они ипак могу сврстати у четири типа: мeјтацeнтричан, субмeјтацeнтричан, acroцeнтричан и шeлoцeнтричан. На хромозомима се уочава и јeднo сужeњe које се назива цeнтримeра (сл. 19).



Сл. 19. Облици хромозома: 1-acroцeнтричан; 2-субмeјтацeнтричан; 3-мeјтацeнтричан

ДНК, а самим тим и хромозоми имају четири основна својства:
- магацинирање наследних особина у ДНК („банка гена“);

- удвајање ланца ДНК при хелијској деоби;
 - преписивање (транскрипција) генетичких информација од ДНК на РНК;

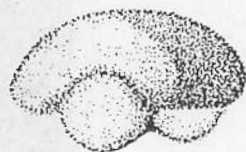
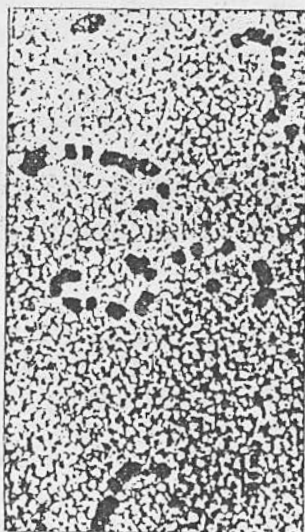
- ново распоређивање наследних информација (рекомбинација) у процесу полног размножавања.

Једарце (nucleolus) је обично округло, а у појединим хелијама може бити веома крупно, и то нарочито у хелијама где се одвија интензивна синтеза протеина. У једровој плазми може бити једно до више једараца. Ове органелице садрже рибонуклеопротеине, фосфопротеине и рибонуклеинске киселине. Оне су веома активне у синтези протеина. Једарце не садржи ДНК.

Око једарцета нема посебног омотача, а оно се за време хелијске деобе дели па се у новим хелијама њихов број задржава.

Рибозоми

Рибозоми се налазе у свим живим хелијама биљака и животиња. То су лоптасте честице величине 10-25 нм, састављене од протеина и РНК.



Сл. 20. Рибозом

Рибозом граде две компоненте, једна знатно крупнија и друга ситнија, која залази у удубљење прве, тако да заједно остављају утисак лоптастог тела. Могу се наћи слободни у цитоплазми или причвршћени за спољашњу мембрану једра и ендоплазматичног ретикулума. Знатно се чешће удружује по 3-30 рибозома у ланац полирибозома (полизома),

повезаних међусобно једном танком нити. Сматра се да је ова нит посебан молекул нуклеинске киселине (сл. 20).

Доказано је да су рибозоми, нарочито полизоми, места синтезе протеина.

Има два типа рибозома, с обзиром на место где се налазе и величину. У једровој плазми и цитоплазми налазе се крупнији и нешто тежи рибозоми од оних којима је место у хлоропластима и митохондријама. Њихова седиментациона константа је неједнака. Стога се први означавају као S 80, а други S 70.

Полизоми који се налазе у цитоплазми учествују у синтези структурних протеина, тј. протеина који улазе у састав саме ћелије. Уколико су полизоми везани за мембране ендоплазматичног ретикулума, они врше синтезу протеина који се ослобађају из ћелије као секреторни елементи. Синтетисани полипептидни ланци пролазе кроз мембране и долазе до Голџи-апарата, у коме се нагомилавају.

Ендоплазматични ретикулум

У цитоплазми биљних и животињских ћелија, помоћу електронског микроскопа откривена је органела развијена у облику мреже која је названа ендоплазматични ретикулум. Ова органела састављена је од мембранског система који ограничава одређене просторе унутар цитоплазме. Мембрана затвара каналиће или цистерне различитог облика, међусобно повезане (сл. 21). Сложени систем каналића и цистерни има непрекидни лумен који је у вези са простором између двеју мембрана једрове опне.



Сл. 21. Ендоплазматични ретикулум

Ендоплазматични ретикулум јавља се у два облика: грануларни ендоплазматични ретикулум и агрануларни или глатки ендоплазматични ретикулум. На спољашњој површини мембране гранулираног ендоплазматичног ретикулума (ГЕР) налази се много

полизома. Они могу, до извесног степена да буду усађени и укључени у синтезу протеина. Агранулирани ендоплазматични ретикулум нема на својим мембранама причвршћене рибозоме.

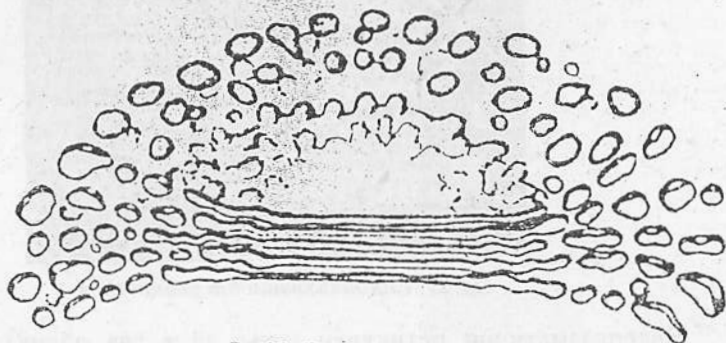
У једној истој ћелији биљних и животињских ткива могу се срести обе врсте ендоплазматичног ретикулума, али је у физиолошком погледу активнији онај тип ткива чије ћелије имају грануларни ендоплазматични ретикулум.

Основна улога ендоплазматичног ретикулума је транспорт материја из једних у друге делове ћелије, али и у премештању материја из ћелије у ћелију, јер поједини његови делови долазе до плазмодезми, међусобних веза у ћелијама ткива. У анималним ћелијама у њему се врши синтеза триглицерида, холестерола и стереоидних хормона. ГЕР врши биосинтезу пептидних ланаца у полизомира и њихов транспорт до Голџијевих апарата.

Голџијев апарат

Голџијев апарат је органела скоро свих ћелија еукариотских организама. Најбоље је развијен и највише проучаван у ћелијама ендокриних жлезда. У њему се врши синтеза секретних продуката.

Голџијев апарат се не види на рутинским хистолошким препаратима, али се његово присуство доказује импрегнацијом ткива сребром или хистохемијским методама за доказивање његових ензима (алкалне и киселе фосфатазе, хидролазе и др.). На електронском микроскопу Голџијев апарат се уочава као систем глатких (негрануларних) мембрана које затварају каналиће, мања и већа проширења или простране цистерне. На периферији ове органеле одвајају се цистерноидна проширења у виду мехурића (везикула) у којима се акумулирају производи активности у виду специфичних гранула (сл. 22).



Сл. 22. Голџијев апарат

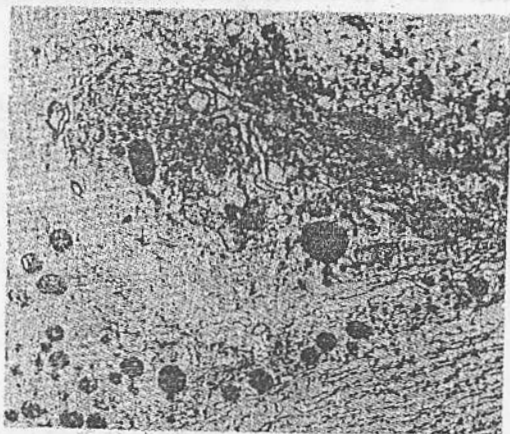
У ћелијама кичмењака налази се углавном по један Голџијев апарат постављен у близини једра, а у ћелијама биљака и бескичмењака има их

велики број. Нарочито је велики број Голџијевих апарата у жлезданим ткивима биљака и животиња.

Ова органела синтетише целулозу и пектин који се уграђују у ћелијски зид, а сматра се да и део својих мембрана уграђује у ћелијске мембране.

Лизозоми

Лизозоми су органеле у цитоплазми биљних и животињских ћелија. Обавијени су простом мембраном, а њихова величина и облик разликују се од врсте до врсте. Њихов опис тешко би могао да се обухвати по строго датој дефиницији (сл. 23).



Сл. 23. Лизозоми

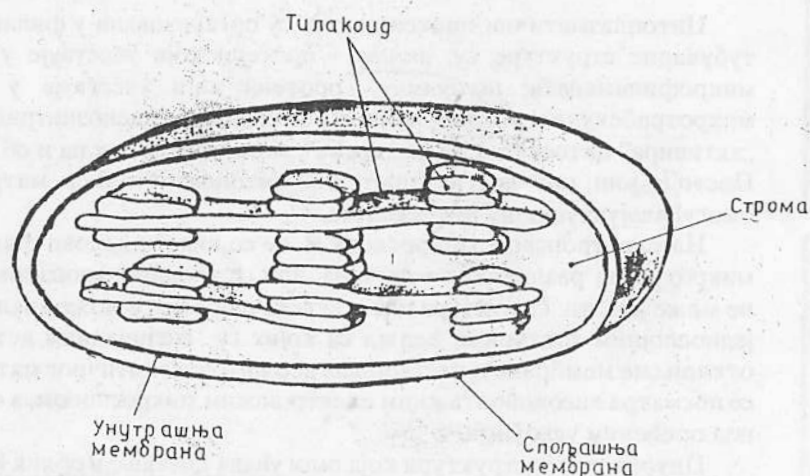
Унутар лизозома налази се велики број ензима: протеаза, гликозидаза, фосфатаза, фосфолипаза и др. У ћелији која нормално функционише ови ензими су смештени унутар самог лизозома. Међутим, у разним патолошким стањима мења се пропустљивост мембрана лизозома па ензими излазе у цитоплазму доводећи до лизирања (разарања) ћелије. Лизозоми могу да мењају пропустљивост својих мембрана и да доведу до лизирања ћелија и у нормалним условима, на пример, приликом регресије млечних жлезда после одбијања младунчади.

Најважнија улога лизозома је одбрана организма од инвазије микроорганизама. Лизозома има у великој количини у белим крвним зрнцима и у ћелијама ткива специјализованих за фагоцитозу - варење бактерија и других честица доспелих у унутрашњост ћелије. Лизозоми не само да разарају унет материјал већ ослобађају ћелију од деградационих продуката. Ипак, функција лизозома још није у потпуности проучена.

Пластиници

У цитоплазми биљних ћелија налазе се специфичне ћелијске органеле - пластиди. Ове органеле могу се посматрати и светлосним микроскопом, али је њихова унутрашња грађа детаљно проучена тек када је употребљен електронски микроскоп. Има три типа пластида. Подела је извршена у односу на њихову боју: хлоропласти су зелени, хромопласти су жути до црвени, а леукопласти безбојни.

Хлоропласти се налазе у зеленим биљним органима, претежно у листовима. Ткиво за фотосинтезу у својим ћелијама садржи велики број ових органела. Они су елипсастиг облика, при чему им дужина достиже око 5 μm , а ширина око 2 μm . Хлоропласт је обавијен двема мембранама. Спољашња мембрана је по површини глатка, а унутрашња гради цевасте израштаје (инвагинације) који се називају тилакоиди. Краћи тилакоиди се одвајају од мембране и пакују у гомиле између дугачких тилакоиди постављених дуж хлоропласта. Ти пакетићи називају се грана. У њиховим мембранама смештени су хлорофил а и б, значајни за фотосинтезу, и у мањој количини жућкасти пигмент ксантофил и црвенкасти каротин (сл. 24).



Сл. 24. Хлоропласт

Уз присуство светлосне енергије од неорганских материја у хлоропластима у процесу фотосинтезе настаје прости шећер. Хлоропласта има у ћелијама зелених органа, највише у листовима, у талусу свих алги и лишјаја.

У унутрашњости (строми) хлоропласта налазе се ситнији рибозоми слични рибозомима митохондрија и хлоропластна дезоксирибонуклеинска киселина (хДНК).

Хромопласти су по облику слични хлоропластима, али је њихова унутрашња грађа много простија. Грана је у њима знатно мањи број, а од пигмената су заступљени само ксантофил и каротин. Они се налазе у круничним листићима цветова и у плодовима, а улога им је да дају боју овим биљним органима, што значи еколошка. Живо обојене цветове лакше запажају инсекти опрашивачи цветова, а зрели, јарко обојени плодови бивају уочљиви за животиње које их користе за храну и тиме разносе њихова семена.

Леукопласти су најситнији пластиди. У њиховој унутрашњости нема тилакоида, а улога им је да магацинирају различите материје. Нарочито су бројни у ћелијама кртола и ризома, али их има и у другим органима. Они се, зависно од материје коју магацинирају, називају елајопласти (ако нагомилавају уље), или амилопласти (ако нагомилавају скроб).

Сва три типа пластида показују велику сродност. Под одређеним условима могу да пређу из једног типа у други. Леукопласти лако прелазе у хлоропласте, или, пак, хлоропласти у хромопласте.

Хлоропласти и други пластиди деле се у ћелији независно од деобе једра па се претпоставља да су пореклом од модрозелених алги које хетеротрофни прабиљар није сварио, већ су ступили у симбиозу.

Митохондрије

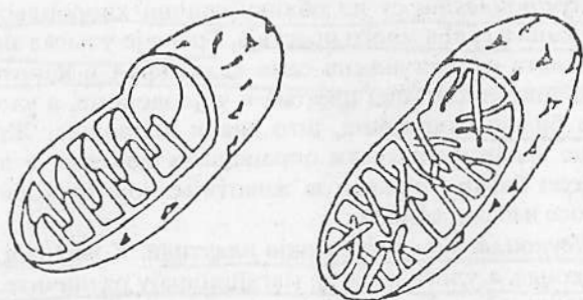
Митохондрије су присутне у свим живим ћелијама биљака и животиња. То су најчешће органеле облика елипсе, дужине од 2 до 3 μm , а пречника око 0,8 μm . Оне су споља обавијене двема танким мембранама, при чему је спољашња глатка, а унутрашња гради унутар свога матрикса израштаје, код животиња у облику преграда (*cristae*), а код биљака у облику цевчица (*tubulae*).

У матриксу митохондрија налазе се ситнији рибозоми, а поред њих и митохондријална дезоксирибонуклеинска киселина (мДНК). Поред наведених компонената, налазе се и ситна телашца причвршћена у облику перли на унутрашњим израштајима који деле матрикс. То су оксизоми. Кристе и тубуле увећавају површину унутрашње мембране митохондрија (сл. 25), а тиме стварају и могућност за бољи распоред телашца према ензимима.

У ћелијама, како биљним тако и животињским, повећање метаболичке активности условљено је повећањем броја митохондрија. Такође се повећава број криста и тубула унутар њих.

Митохондрије садрже ензиме и коензиме који учествују у стварању енергије потребне за многе процесе у ћелији. У митохондријама се синтетише АТФ (аденозин трифосфат) који носи енергију за све процесе

синтезе у хелијама, за моторну активност и транспорт материја кроз мембране.



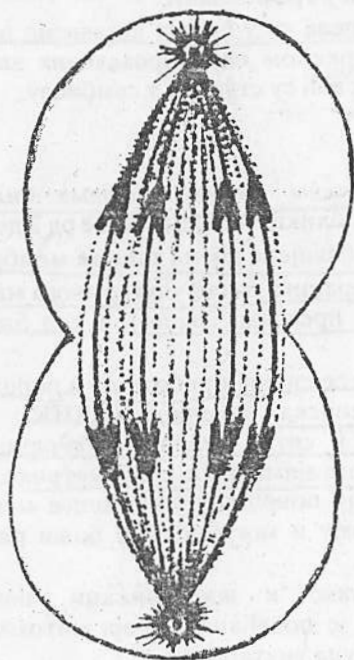
Сл. 25. Митохондрија: лево животињске, десно биљне хелије

Митохондрије садрже сопствену ДНК и дуплирају се независно од утицаја једра.

Центрозом

Центрозом је хелијска органела значајна у формирању деобног вретена при деоби хелија. Ова органела стално је присутна у животињским хелијама па се понекад констатује да је одлика само ових хелија. Међутим, она је пристуна у хелијама неких алги, па и у процесу образовања полних хелија раставића.

Центрозом се обично налази непосредно уз једро, а грађен је од неколико парова цевчица (центриола) (сл. 26).

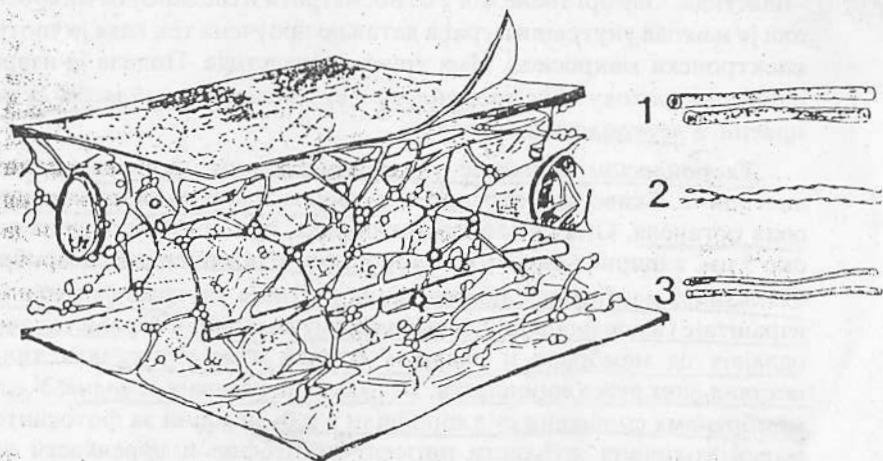


Сл. 26. Улога центрозома у образовању деобног вретена

Цитоскелет

Цитоплазматични матрикс има своју структуру која се назива цитоскелет. Овај термин се одскора користи и означава структуру која је састављена од протеина цитоплазме

организованих у облику микротубула (цевчица), микрофиламената (нити), интермедијалних филамената и решетке (сл. 27).



Сл. 27. Цитоскелет: 1 - микротубуле; 2 - филаменти; 3 - интермедијални филаменти

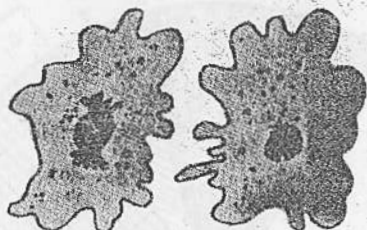
Цитоплазматични протеини који су организовани у филаментозне и тубуларне структуре су: актин - протеин који учествује у стварању микрофиламената; тубулин - протеин који учествује у стварању микротрабекула и миозин - који уз помоћ ензима аденозинтрифосфатазе „активира“ цитоскелет да се „креће“, мења свој облик па и облик ћелије. Постоји још низ других протеина цитоплазматичног матрикса који омогућавају функцију цитоскелета.

На електронском микроскопу могу се видети делови филамената и микротубула различитих величина, али се тродимензионална структура не може видети. Структура цитоскелета најбоље се може анализирати на једнослојним културама ћелија са којих су специјалним детерџентима отклоњене мембране и растворљив део цитоплазматичног матрикса. Ово се посматра високоволтажним електронским микроскопом, а светлосним под оређеним условима.

Цитоскелет је структура која омогућава кретање и облик ћелије, везе између ћелија, покрете на слободној површини ћелија и покретање органела унутар ћелије. За процес кретања ћелија нарочито је битна веза цитоскелета с ћелијском мембраном.

РАЗЛИКЕ ИЗМЕЂУ ЋЕЛИЈА ЈЕДНОЋЕЛИЈСКИХ И ВИШЕЋЕЛИЈСКИХ ОРГАНИЗАМА

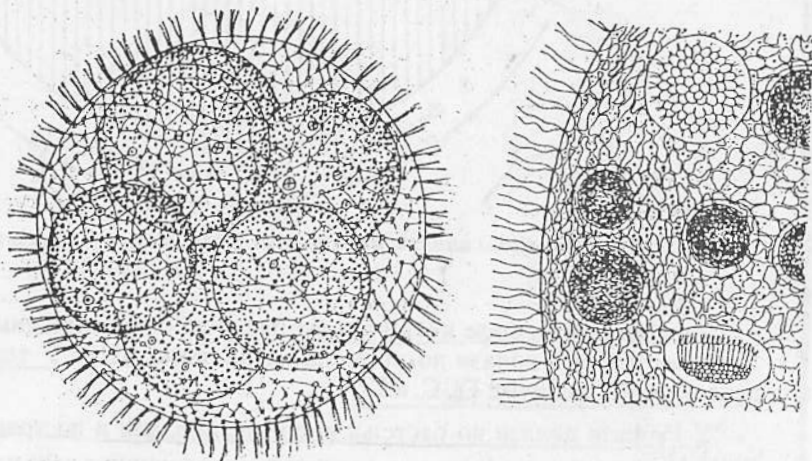
Прва еукариотска ћелија настала је пре око једне милијарде година. Такви једноћелијски организми живе и данас, како у биљном тако и животињском свету. Наведимо као примере зелену алгу *Chlamydomonas* и праживотињу *амебу* (сл. 28). То су једноћелијски организми са одређеним органеллама у цитоплазми у којима се одвијају различити процеси, синтезе и разлагања материја, секреције, исхране, кретања и др. Ови организми



Сл. 28. Амеба

размножавају се на најпростији начин деобом ћелије. Отуда се мора рећи да је ово пример једноћелијског организма, са свим његовим значајним процесима за живот укључујући и размножавање.

Најсложенији колонијални организам је алга *Volvox* (сл. 29). Тај организам, облика шупље лопте, састављен је од ћелија које врше одређену улогу: ћелије за кретање читаве колоније, ћелије за исхрану, ћелије за размножавање, што значи да је између њих извршена подела рада, односно улога.



Сл. 29. *Volvox* са ћелијама у којима је извршена подела улога

Следећа стапа у развоју живог света била је настанак сложено грађених вишећелијских организама. У њима су ћелије одређених облика

и улога груписане у ткива, а чак се више ткива удружује у одређене органе. Такав вишећелијски организам је било која цветница међу биљкама: пасуљ, сунцокрет или буква, а наравно и међу животињама чији организми имају и већи број органа, па, чак и система органа.

Ћелије у вишећелијском организму груписане су у одређена ткива и имају специфичну улогу, а такође је извршена и подела рада између органа. Правилно функционисање ћелија у оквиру појединих ткива и органа осигурава живот и врло сложено грађених вишећелијских организама.

Међутим, мора се нагласити чињеница да ћелије укључивањем у одређено ткиво губе своју целокупну функцију на нивоу једноћелијских организама, што значи да оне постају уско специјализоване. Та уска специјализованост праћена је упрошћавањем грађе ћелија у највећем броју случајева.

Разноврсни типови биљних и животињских ћелија вишећелијских организама диференцирају се од ембрионалних ћелија у велики број облика, при чему сваки добија посебну улогу и функцију у организму.

РАЗЛИКЕ ИЗМЕЂУ БИЉНЕ И ЖИВОТИЊСКЕ ЋЕЛИЈЕ

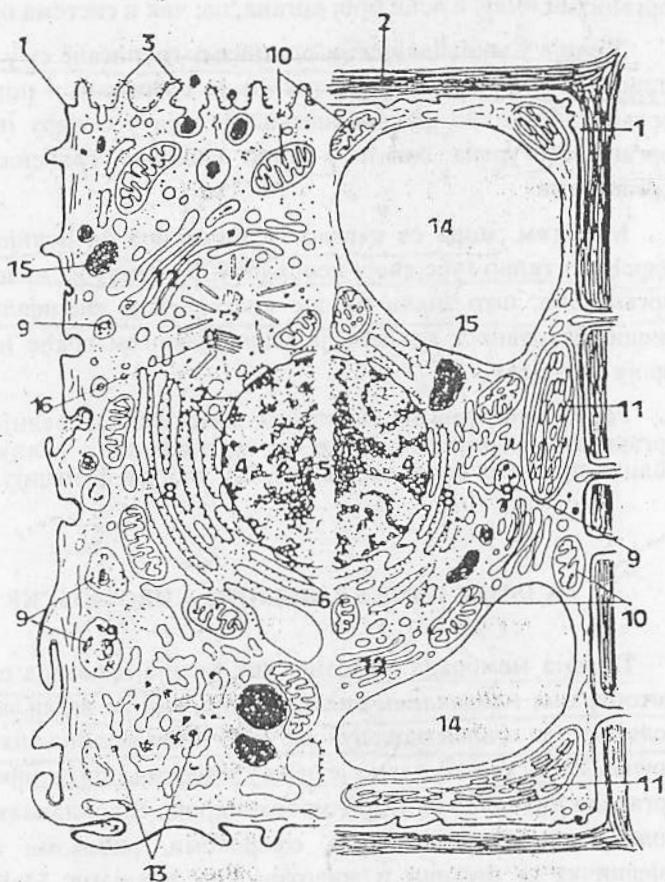
Плазма мембрана животињских ћелија одговара спољашњем слоју цитоплазме, илазмалеми биљне ћелије, али се изван ње образује чврст ћелијски зид грађен од целулозе. У цитоплазми биљних ћелија налази се крупна ћелијска вакуола, које нема у животињској ћелији. Већина осталих органела цитоплазме: једро, митохондрије, ендоплазматични ретикулум, Голџијев апарат, лизозоми, сферозоми, рибозоми и микроцевчице заједничке су биљним и животињским ћелијама. Међутим, само се у биљним ћелијама налазе њласциди, од којих су посебно значајни хлоропласти, у којима се изграђује органска храна неопходна за биљни али и животињски свет (сл. 30). Тај процес назива се фотосинтеза.

Може се рећи да се животињске ћелије одликују присуством центрозома као органеле, али се у једној групи биљака ова органела среће, те се не може рећи да је центрозом искључиво органела животињске ћелије.

Величина ћелија еукариота варира од неколико микрометара до неколико центиметара (јајна ћелија или неуронска ћелија).



Димензије ћелија су константне за одређене врсте ћелија и не зависе од величине организма.

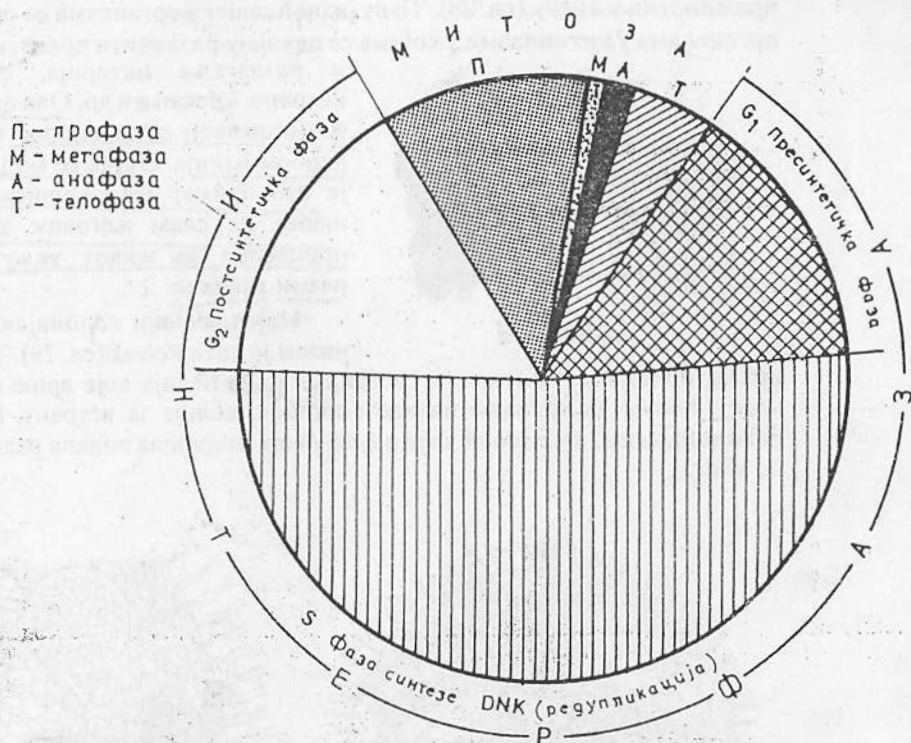


Сл. 30. Делови животињске и биљне ћелије: 1 - мембрана; 2 - ћелијски зид; 3 - микрокесице; 4 - једро; 5 - хроматин; 6 - једрова ојна; 7 - јоре на ојни; 8 - ендоплазмијски ретикулум; 9 - лизозоми; 10 - митохондрије; 11 - хлоропласти; 12 - Голџијев апарат; 13 - гликоген; 14 - вакуоле; 15 - липидне капи и 16 - центриола

ЦИКЛУС ЋЕЛИЈЕ

У телима биљака и животиња постоје ткива чије се ћелије непрестано деле. Оне пролазе кроз фазу раста и фазу припреме за деобу. Период времена пре деобе назива се интерфаза. То је најдужи период у животу

ћелије. Ако се претпостави да време од завршене деобе ћелије до деобе њених ћери ћелија траје 24 сата, онда би период интерфазе захватао око 20 сати, а период деобе одиграо би се за четири сата (сл. 31).



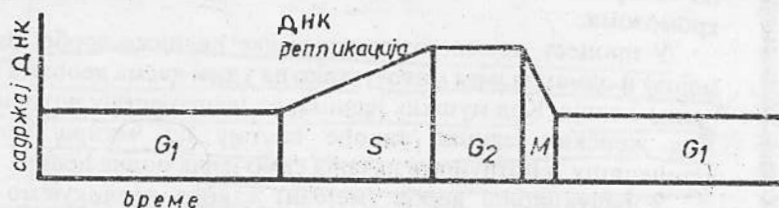
Сл. 31. Време трајања интерфазе и разних фаза миџозе у ћелија грашка

За време интерфазе ћери ћелије расту до одређених димензија и у њиховим једрима долази до промена на ланцима ДНК. У том погледу, разликујемо стадијуме Г₁, С, и Г₂.

У Г₁ фази долази до растења ћери ћелије, али и до транскрипције ДНК. Наиме, тада се ензимима, раскидањем водоничких веза између двеју фаза, одвајају две траке ДНК и свака пресликава ланцем РНК. У интерфази ово је најдужа фаза.

За време С фазе долази до синтезе изгубљених ланаца ДНК, односно до изградње леве половине на десној половини ланца ДНК и десне половине на левој половини ланца ДНК, што значи да су се сада образовала два ланца ДНК.

У G_2 фази долази до других промена значајних за деобу ћелије. Ако би се разматрала количина ДНК, онда би се морало нагласити да је она највећа у овој фази интерфазе (сл. 32).



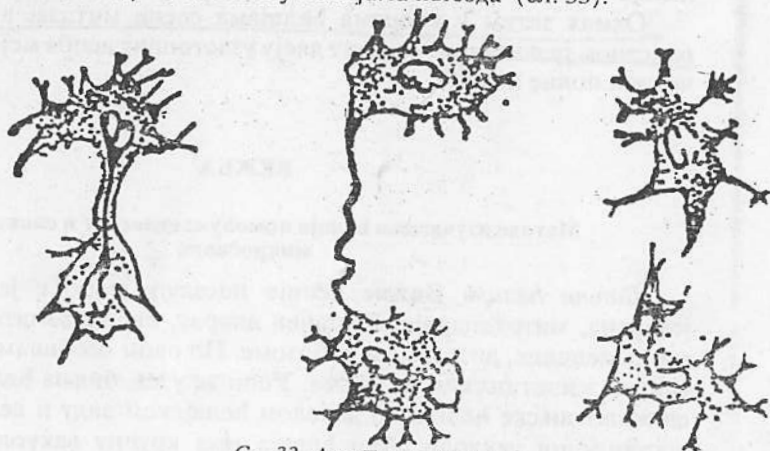
Сл. 32. Фазе у оквиру интерфазе и количина ДНК у њима

Деоба ћелије

Стварање нових јединки код једноћелијских еукариотских организама, како биљних тако и животињских, одвија се простим дељењем родитељске ћелије, које може бити амишоа и бинерна деоба. У оба случаја не долази до равномерне поделе наследног материјала, па две кћери ћелије не морају да имају потпуно исту количину наследног материјала.

Амишоа

Овај вид деобе јавља се код амеба. При овој деоби, једро се сужава по средини и дели на два, после чега следи деоба цитоплазме. На тај начин од једне ћелије настају две кћери-ћелије. Овај начин деобе среће се и код неких ткива ембриона или и у ћелијама жлезда (сл. 33).



Сл. 33. Амишоа код амебе

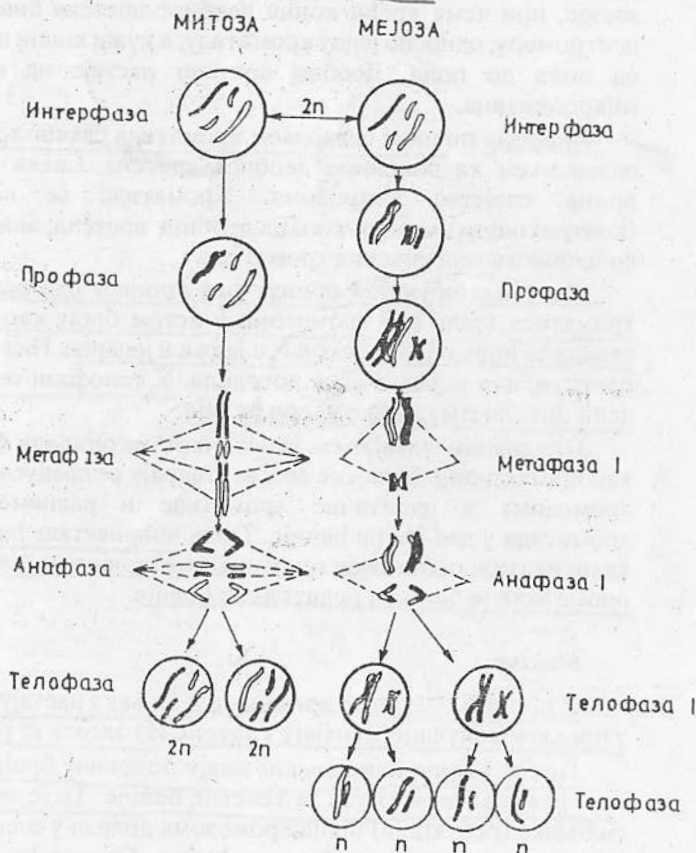
Бинерна деоба

Одвија се код неких бичара и скоро је истоветна амитози.

Митоза

Зигот, оплођена јајна ћелија животиња и биљака дели се митотичким деобама, при којима настају сва трајна ткива организма. При томе се хромозоми деле и раздвајају великом прецизношћу у две гарнитуре, које доспевају у две ћери-ћелије. Истовремено се одвија и деоба цитоплазме. Деоба једра назива се кариокинеза, а деоба цитоплазме цитокинеза.

Процес митозе траје у просеку 20-60 минута, ретко дуже. Митоза је континуиран процес, али се због лакшег проучавања дели у четири фазе: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (сл. 34).



Сл. 34. Митоза и мејоза

У периоду између ћелијских деоба (интерфази) хромозоми се удвајају (редупликују). Непосредно пред следећу деобу. Они се скраћују и задебљавају добијајући карактеристичне облике за дату врсту и постају видљиви под оптичким микроскопом.

Профаза отпочиње када хромозоми постану видљиви. У то време сваки хромозом се дели уздужно на две хроматиде, а у свакој од њих је по новостворени ланац ДНК. Половине хромозома називају се хроматиде. Током ове фазе једарца се губе, а центрозоми подлежу деоби. Новонастали центрозоми померају се ка половима једра. Једрова опна се разлаже, и тиме се завршава профаза.

У метафази долази до формирања деобног вретена и размештања хромозома у екваторијалној равни. Хромозоми су распоређени у облику звезде, при чему краћи конци деобног вретена бивају причвршћени за центромеру, односно једну хроматиду, а дужи конци деобног вретена теку од пола до пола. Деобно вретено настаје од међусобно спојених микроцевчица.

Анафаза почиње одвајањем хроматида сваког хромозома и њиховим одлажењем ка половима деобног вретена. Свака хроматида већ сада прима својство хромозома. Хроматиде се повлаче скупљањем (контракцијом) краћих конаца деобног вретена, али изгледа да долази и до одбијања сестринских хроматида.

Телофаза обухвата обрнут ред процеса одиграних у профази. Око хроматида (сада већ хромозома у истом броју као и код мајке ћелије) ствара се нова опна, а ускоро се јавља и једарце. Његова деоба не може се пратити, али је јасно да се догодила. У телофази се јавља преграда која дели цитоплазму на две ћери ћелије.

Прецизним удвајањем генетичког материјала (ДНК), у интерфази, као претходници ћелијске деобе, стварају се предуслови за уздужну деобу хромозома у идентичне хроматиде и равномерно распоређивање хроматида у две ћери ћелије. Тако, новонастале ћелије, квалитативно и квантитативно, поседују генетички материјал по појединцијалу идентичан ономе који је био код родитељске ћелије.

Мејоза

У полним органима животиња и биљака настају полне ћелије, које се у процесу копулације спајају у зигот. Из зигота се развија нова јединка.

Полне ћелије или гамети имају половину броја хромозома од броја који је карактеристичан за телесне ћелије. То је хаплоидни број (n). До смањења (редукције) броја хромозома долази у специјалној деоби која се назива редукциона деоба или мејоза. Гамети ће спајањем мушких са женским, у полном процесу размножавања дати зигот, у коме ће поново настати диплоидан број (2n) тј. број карактеристичан за врсту. Тако, сперматозоиди и јајна ћелија човека имају по 23 хромозома, а зигот 46,

поленова зрна и јајна ћелија у смбрионовој кесици тучка кукуруза имају по 10 хромозома, а зигот ће после њиховог спајања имати поново 20 хромозома.

У процесу мејозе разликујемо две ћелијске деобе: редукциону или мејозу и одмах за њом митозу, тако да у тим двама деобама настају четири полне ћелије. Код мушких јединки од једне настају четири полне ћелије. Код женских јединки такође настају по четири ћелије, али три дегенеришу, а потпуно се развија само једна полна ћелија.

У редукционој деоби (мејози) такође разликујемо четири фазе: профазу, метафазу, анафазу и телофазу (сл. 34).

У профазу долази до скраћивања и задебљавања хромозома, али се они удружују у парове, по један пореклом од оца и један пореклом од мајке. То су хомологни хромозоми. У то време нестаје једарце и разлаже се једрова опна.

У метафазу почиње деобним вретеном, које се формира од једног до другог центрозома, при чему се у екваторијалној равни распоређују хомологни хромозоми. Краћи конци деобног вретена причвршћују се за центромеру једног хромозома, а они са другог пола за центромеру другог хомологног хромозома.

У анафазу долази до покретања читавих хромозома ка половима деобног вретена, за разлику од анафазе код митозе, где одлазе хроматиде. На тај начин је број хромозома смањен за половину.

У телофазу долази до формирања једрове опне и поновног јављања једарцета. Одмах затим дели се и цитоплазма, што значи да једра кћери ћелија садрже двоструко мањи број хромозома.

Одмах затим у кћерима ћелијама слиеди митоза, која тече по већ описаном редоследу. Резултат двеју узастопних деоба мејозе и митозе јесу четири полне ћелије.

ВЕЖБА

Методe изучавања ћелија помоћу светлосног и електронског микроскопа

Биљна ћелија. Биљне ћелије поседују једро с једним или више једараца, митохондрије, Голџијев апарат, ендоплазматични ретикулум, микроцевчице, лизозоме и рибозоме. По овом особинама оне су потпуно сличне животињским ћелијама. Уопште узев, биљна ћелија разликује се од животињске ћелије по дебелом ћелијском зиду и великој централно постављеној вакуоли. Ако ћелија има крупну вакуолу, онда је њена цитоплазма смештена између ћелијске мембране и мембране вакуоле.

Ћелије зелених биљних органа садрже хлоропласте. То су микроскопска тела која садрже зелени пигмент хлорофил. Хлоропласти имају огроман биолошки значај, будући да су најзначајније