

*Univerzitet u Novom Sadu
Poljoprivredni fakultet*

*Mirjana Jarak
Mitar Govedarica*

MIKROBIOLOGIJA

*Novi Sad
2003*

SADRŽAJ

08.	Mehovita formu	99
10.	Pronini - izvor energije	99
10.	Lipidi - izvor energije	100
	101
	102
1.	UVOD	9
	Uloga i značaj mikroorganizama	9
	Istorijski razvoj mikrobiologije.....	10
	Budući pravci razvoja mikrobiologije	15
2.	MORFOLOGIJA MIKROORGANIZAMA	17
	Oblici i veličina mikroorganizama	17
	Veličina mikroorganizama	21
	Građa ćelije mikroorganizama	21
	Kapsula, sluzasti sloj i S-omotač.....	23
	Ćelijski zid.....	24
	Citoplazmina membrana	28
	Jedro	30
	Plazmidi.....	32
	Endoplazmatični retikulum	33
	Ribozomi	33
	Goldžijev aparat	33
	Mitohondrije.....	34
	Plastidi.....	35
	Vakuole	37
	Lizozomi.....	37
	Citoplazmatične inkluze.....	38
	Mezozomi	39
	Organele za kretanje.....	41
	Oblici za preživljavanje u nepovoljnim uslovima	44
3.	EKOLOGIJA MIKROORGANIZAMA	48
	ABIOTIČKI FAKTORI	49
	Voda	49
	Toplota	50
	Kiseonik	55
	Reakcija sredine	56
	Svetlost	58
	Radijacija.....	59

Osmotski pritisak.....	60
Hidrostatički pritisak	61
Hemijski agensi	61
BIOTIČKI FAKTORI	63
Međusobni odnosi mikroorganizama	63
Odnosi između mikroorganizama i biljaka	65
Odnosi između mikroorganizama i životinja	73
4. METABOLIZAM MIKROORGANIZAMA	76
Vrste i izvori hranjivih materija za mikroorganizme	76
Izvori ugljenika	77
Izvori azota	78
Izvori sumpora i fosfora	78
Izvori ostalih elemenata	79
Mehanizmi usvajanja hranjivih materija	79
KATABOLIZAM	82
Ugljeni hidrati - izvor energije	84
Mikrobiološko razlaganje celuloze	84
Mikrobiološko razlaganje skroba	85
Mikrobiološko razlaganje glukoze	85
<i>Prva faza: razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline</i>	<i>85</i>
Embden-Mayerhof-Parnasov put (EMP, glikoliza)	86
Pentoza - fosfatni put razgradnje glukoze	87
Entner-Doudoroff (ED) put razgradnje glukoze	88
<i>Druga faza: katabolizam pirogroždane kiseline</i>	<i>89</i>
Aerobno disanje	89
Ciklus trikarbonskih kiselina (Krebsov ciklus).....	90
Aerobne fermentacije	91
Sirćetna fermentacija.....	91
Fumarno-ćilibarna fermentacija	92
Limunska fermentacija.....	92
Ostale aerobne fermentacije	92
Lanac disanja i oksidativna fosforilacija	93
Anaerobno disanje	94
Anaerobne fermentacije	95
Alkoholna fermentacija	95
Mlečno kiselinska fermentacija	97
Propionska fermentacija	98
Buterna fermentacija	99

Mešovita fermentacija.....	99
Proteini - izvor energije.....	99
Lipidi - izvor energije.....	100
Neorganske materije - izvor energije	101
Dobijanje energije u procesu fotosinteze	102
ANABOLIZAM	104
Biosinteza monosaharida iz CO ₂	105
Biosinteza monosaharida iz organskih supstanci	105
Biosinteza polisaharida	107
Biosinteza masti	107
Biosinteza aminokiselina.....	108
Biosinteza proteina.....	109
Rast populacije mikroorganizama.....	110
Razmnožavanje mikroorganizama	114
Bespolno razmnožavanje	114
Polno razmnožavanje	118
Kretanje mikroorganizama	120
MIKROORGANIZMI SA POSEBNIM SVOJSTVIMA.....	122
Termogeni mikroorganizmi.....	122
Fotogeni mikroorganizmi	123
Hromogeni mikroorganizmi	124
Aromogeni mikroorganizmi	125
Toksikogeni mikroorganizmi	126
5. MIKROORGANIZMI U PRIRODI	127
Mikroorganizmi u zemljištu	127
Mikroorganizmi u vodenim sredinama	129
Mikroorganizmi u atmosferi	134
6. PROMENLJIVOST MIKROORGANIZAMA	137
Prenošenje genetskih informacija kod mikroorganizama	139
Geneticki inžinjering kod mikroorganizama i primena	142
7. OSNOVNE KARAKTERISTIKE SISTEMATSKIH GRUPA MIKROORGANIZAMA	144
Osnovna svojstva i sistematika virusa	145
Osnovna svojstva i sistematika protozoa.....	151
Osnovna svojstva i sistematika gljiva	153
Osnovna svojstva i sistematika algi.....	159

Mikrobiologijom sistematu mikroorganizama pomoću mikroskopa. Prema gradićem, postoji nekoliko sistema: virusi, bakteriji, virusi. Svaku od tih logije – lihenologija, virusologija, Mihaljevičev zemljštu, vodi, prehrambenim proizvodima.

Uloga i zn

Mikroorganizmi na planeti. Biljke u koju u svojoj iskrivljenoj organskoj materiji, organske materije, taj način omogućava omogućeno neprekidnizama, mrtva organizma, rezerve biljnih a toga i životinja i

Mikroorganizmi
pošto iz žetvenih
oslobađaju biljne
prinosa gajenih
čubrenje i zaštitu

U stočarskoj hrane kod domaćih formacija celulozne vitamine.

1

UVOD

Mikrobiologija je nauka koja izučava morfologiju, ekologiju, fiziologiju i sistematiku mikroorganizama. Mikroorganizmi su živa bića koja su vidljiva samo pomoću mikroskopa. Samo neke vrste su krupnije i mogu se videti golim okom. Prema građi ćelije mikroorganizmi su veoma heterogeni te su podeđeni u nekoliko sistematskih kategorija: lišajevi, protozoe, gljive, alge, bakterije, arheje i virusi. Svaku od ovih sistematskih kategorija izučava posebna grana mikrobiologije – lihenologija, protozologija, mikologija, algologija, bakteriologija i virusologija. Mikroorganizmi su široko rasprostranjeni u prirodi. Nalaze se u zemljištu, vodi, vazduhu, na biljkama, životinjama, u organima za varenje i u prehrambenim proizvodima.

Uloga i značaj mikroorganizama

Mikroorganizmi su nezaobilazna karika u lancu kruženja materije na našoj planeti. Biljke u toku fotosinteze stvaraju ogromnu količinu organske materije koju u svojoj ishrani koriste životinje i ljudi. Uginućem biljaka i životinja organska materija dospeva na zemljište i u zemljište. Transformaciju mrtve organske materije do mineralnih oblika mogu da vrše samo mikroorganizmi. Na taj način omogućena je ishrana biljaka i stvaranje nove organske materije čime je omogućeno neprekidno kruženje materije u prirodi. Kad ne bi bilo mikroorganizama, mrtva organska materija bi se nakupljala na površini zemljišta, postojeće rezerve biljnih asimilativa bi se vremenom istrošile, nestalo bi biljaka, a nakon toga i životinja i čoveka.

Mikroorganizmi su značajni za stvaranje i održavanje plodnosti zemljišta pošto iz žetvenih ostataka vrše sintezu humusa, a iz humusa mineralizacijom oslobađaju biljne asimilative. Na taj način mikroorganizmi učestvuju u formirajuju prisosa gajenih biljaka. Selepcionisani sojevi mikroorganizama koriste se za dubrenje i zaštitu biljaka.

U stočarskoj proizvodnji mikroorganizmi su značajni u procesima varenja hrane kod domaćih životinja. U organima za varenje oni omogućuju transformaciju celuloze i drugih polisaharida, pomažu varenje proteina, proizvode vitamine.

Mikroorganizmi su našli primenu u mnogim industrijama. Koriste se u proizvodnji hleba, piva, vina, mlečnih proizvoda, organskih kiselina, aminokiselina, materija rasta, vitamina, antibiotika, vakcina, enzima, u preradi voća i povrća, proizvodnji silaže, močenju tekstilnih biljaka i proizvodnji plemenitih metala.

Mikroorganizmi mogu biti i veoma štetni jer su uzročnici oboljenja kod ljudi, životinja i biljaka. Uzročnici su kvarenja hrane. Proizvode razne toksične materije u zemljištu te mogu umanjiti rezultate poljoprivredne proizvodnje.

Poznavanjem metabolizma mikroorganizama čovek ima mogućnost da usmeri mikrobiološke procese prema svojim potrebama, da korisne mikroorganizme praktično primeni, a da spreči razvoj štetnih mikroorganizama.

Istorijski razvoj mikrobiologije

Davno pre nego što su mikroorganizmi otkriveni, naučnici su prepostavljali da postoje nevidljivi organizmi koji uzrokuju različita oboljenja. Prvi među njima bili su rimski filozof Lukrecije (Lucretius, 98-55 godine pre nove ere) i fizičar Frakastoro (Fracastoro, 1478-1553 godine). Početna otkrića o postojanju mikroorganizama pripisuju se rimskom profesoru, jezuitu Kirheru (Athansius Kircher, 1601-1680), koji je pomoću lupe koja je uvećavala trideset dva puta posmatrao mleko i video "crviće" za koje se prepostavlja da su bile protozoe. Od tada je poraslo interesovanje za otkrivanjem i izučavanjem mikroorganizama.

Prve mikroorganizme uočio je Levenhuk (Antony van Leeuwenhoek, 1632-1723), holandski trgovac i optičar (slika 1). On je glaćanjem stakla 1672. godine dobio konveksna sočiva od kojih je konstruisao prvi mikroskop (slika 2). Njegovi mikroskopi su povećavali od 50 do 300 puta te je pomoću njih mogao uočiti mikroorganizme. Svoja otkrića je crtao i slao Kraljevskoj akademiji nauka u Londonu (slika 3). Jedan od svojih mikroskopa Levenhuk je 1698. godine poklonio ruskom caru Petru I.

Švedski botaničar i sistematičar Line (Karl Linne, 1707-1778) je mikroorganizme, zbog njihove velike heterogenosti, svrstao u redove "Haos" i "Infusoria". Od tada počinje sistematika mikroorganizama koja se s novim otkrićima stalno dopunjava, menja i usavršava. Prva sistematika bakterija je urađena 1923. godine i izdata u knjizi *Bergey's Manual*. Isti naslov nose sva naredna izdanja sistematike bakterija pa tako i ona koju danas koristimo. U periodu do 1880. godine, najveća pažnja posvećena je morfologiji mikroorganizama pa se ta faza u razvoju mikrobiologije zove **morfološka faza**. Nakon toga započelo je izučavanje metabolizma mikroorganizama i ta faza nazvana je **fiziološka faza**. Najveći doprinos izučavanju fiziologije mikroorganizama dao je francuski naučnik Lui Paster (Luis Pasteur, 1882-1895, slika 4). Svoj naučni rad

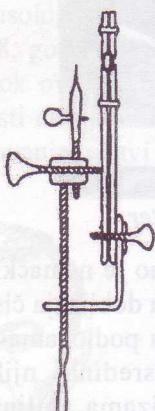


Slika 2. Leve

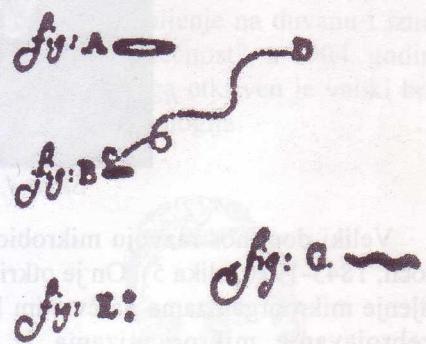
Paster je počeo k
je otkrio sposobn
je objasnio priroc
je mogućnost ga
mogućnost uništ
postupak po n
mikrobiologije o
antraksa (1881)
izazvana mikroo



Slika 1. Antoni Van Levenhuk



Slika 2. Levenhukov mikroskop



Slika 3. Levenhukovi crteži bakterija.

Paster je počeo kao hemičar, nastavio kao mikrobiolog, a završio kao lekar. Paster je otkrio sposobnost mikroorganizama da žive bez kiseonika – anaerobiozu, čime je objasnio prirodu anaerobnih fermentacija (alkoholnu, mlečnu, buternu). Otkrio je mogućnost gajenja mikroorganizama na veštačkim hranjivim podlogama i mogućnost uništavanja mikroorganizama pomoću visokih temperatura pa je taj postupak po njemu dobio ime – pasterizacija. U oblasti medicinske mikrobiologije otkrio je uzročnika bolesti svilene bube (1868), vakcinu protiv antraksa (1881) i vakcinu protiv besnila (1885). Potvrdio je da je svaka bolest izazvana mikroorganizmima koji prodiru u telo iz spoljne sredine. Izučavajući

mikroorganizme, Paster je svoja shvatanja iskazao u rečenici "Mikroorganizmi su svugde, mikroorganizmi su svemoćni, mikroorganizmi će imati poslednju reč", što se kao ispravno potvrdilo sve do danas. Zbog svog velikog doprinosa u izučavanju i otkrićima o životu mikroorganizama, Paster se smatra osnivačem mikrobiologije, a zbog doprinosa u razvoju medicinske mikrobiologije, u Parizu je 1888. godine osnovan Pasterov institut. Slični instituti postoje u mnogim državama sveta, a njihova delatnost je imunologija.



Slika 4. Luj Paster

Davno pre nevremenih mikroorganizama, učenici su pretpostavljali da postoji nevidljivi svet. Prvi učenici koji su otkrili mikroorganizme bili su rimski filozofi Lucretius i Plinije Stariji, a u srednjem veku Frakastorij (Francescus de Castore) i Galen (Galenus). U srednjem veku mikroorganizmi su bili poznati pod imenom "spontani". U 17. veku, učenik Kircher, 1601-1680, u svojim knjigama je opisao mikroorganizme i posmatrao mleko i vino. U 17. veku, učenici su počeli interesovati se za mikroorganizme, a u 18. veku, učenici su počeli interesovati se za mikroorganizma.

Veliki doprinos razvoju mikrobiologije dao je nemački lekar Koh (Robert Koch, 1843-1910, slika 5). On je otkrio tehniku dobijanja čistih kultura. Uveo je gajenje mikroorganizama na čvrstim hranjivim podlogama čime je omogućeno prebrojavanje mikroorganizama iz raznih sredina, njihovo izolovanje i determinacija. Uveo je bojenje mikroorganizama anilinskim bojama kao i mikrofotografiju što je olakšalo izučavanje njihove morfologije. Otkrio je uzročnika antraksa (*Bacillus anthracis*) i uzročnika tuberkuloze (*Mycobacterium tuberculosis*) koga su po njemu nazvali Kohov bacil.

U oblasti imunologije veliki doprinos dao je ruski naučnik Ilja Iljić Mečnikov (1845-1916, slika 6). On je radio u Pasterovom institutu i objavio je veliki broj radova iz oblasti fagocitoze i samoodbrane organizma od zaraznih bolesti. Otkrio je mogućnost lečenja stomačnih obolenja primenom mlečnih bakterija koje proizvode vitamine i druge zaštitne materije.

Dimitrije Ivanovič Ivanovski (1864-1920, slika 7) na duvanu je otkrio oboljenje za koje je smatrao da je prouzrokovano bakterijskim toksinima koji mogu da prođu kroz bakteriološke filtre. To je ustvari bilo oboljenje prouzrokovano virusom mozaika duvana.



Slika 5.

Osnivačem mikrobiologije je bio Robert Koch (slika 8). On je 1850. godine učinio mišljenje da je tuberkuloza uzročnik ove bolesti. Uzročnik ove bolesti je virus čijim se izloženjem



Slika 6. Ilja Iljić Mečnikov

Eksperimenti su učinili da se može uzrokovati tuberkulozu u eksperimentu na kultura u eksperim



Slika 5. Robert Koch



Slika 6. Ilja I. Mečnikov

Osnivačem virusologije smatra se Beijerinck (Martin Beijerinck, 1851-1931, slika 8). On je 1898. godine proučavao mozaično oboljenje na duvanu i izneo mišljenje da je uzrok ovog oboljenja "zarazna živa tečnost", a 1904. godine uzročniku ove bolesti dao je naziv "virus". Nakon toga otkriven je veliki broj virusa čijim se izučavanjem bavi posebna nauka - virusologija.



Slika 7. Dimitrije I. Ivanovski



Slika 8. Martin Beijerinck

Eksperimentalna faza razvoja mikrobiologije započinje uvođenjem čistih kultura u eksperimente, a potom i praktična primena ovih kultura. Tako je Hansen

(S.E.Hansen, 1842-1909) otkrio čiste kulture kvasaca koji se koriste u pivarstvu. Za izučavanje i primenu čistih kultura mikroorganizama u proizvodnji sirčeta značajan je Heneberg (Henneberg, 1871-1937), a za izučavanje i primenu čistih kultura u mlekarstvu značajni su radovi Orla Jenseна (1870-1951). Fleming (Alexander Fleming, 1881-1955, slika 9) je utemeljio nauku o antibioticima. On je 1929. godine otkrio antibiotik penicilin koji nastaje kao proizvod metabolizma gljiva iz roda *Penicillium*.



Slika 9. Aleksander Fleming

Matematička faza u razvoju mikrobiologije odlikuje se težnjom da se određene zakonitosti u životu mikroorganizama predstave matematičkim modelima u vidu formula. Veliki uspeh postignut je kod matematičkog predstavljanja rasta i razvića mikroorganizama u kontrolisanim uslovima što je olakšalo primenu mikroorganizama u industriji.

Otkrićem gena koji su odgovorni za pojedina svojstva mikroorganizama, u mikrobiologiji se sve više vrše genetička istraživanja. Genetskim manipulacijama (prenošenjem gena iz jednog mikroorganizma u drugi) dobijaju se mikroorganizmi sa hiperproducijom antibiotika, vitamina i drugih materija što ima velikog značaja u industrijskoj mikrobiologiji. Prenošenjem gena iz *Bacillus thuringiensis* u kukuruz mogu se dobiti biljke otporne na insekte.

Razvoj mikrobiologije zemljišta počeo je otkrićima do kojih je došao Sergej Nikolajević Vinogradski (1856-1953, slika 10). On je otkrio nitrifikaciju, azotofiksaciju i razlaganje celuloze, i dao veliki broj metoda za ispitivanje mikroorganizama u zemljištu. Beijerinck je otkrio krvžične bakterije i *Azotobacter* kao i proces razlaganja pektina. Vladimir Omeljanski (1867-1928, slika 11) je

Mikrobiologija

istraživao procese r
Waksman, 1888-197
neophodnost vraćan
stajnjaka. Ukoliko s
mineralizovati post
plodnosti. Ovaj nauč
metabolizma roda S



Slika 10. Sergej

Budući pravci

Mikrobiologija je se pred mikrobiologijom uključeni u izučavanje procese koji se zasnovaju na sintetišu složene organske prirodnim naukama i

U zemljištu mikroorganizmi materije te je neophodno u poljnoj proizvodnji koristeći fitopatogena i insekticida. Proizvodima svog moraju izolovati efekti polutanata u zemljištu

istraživaо procese razlaganja celuloze i pektina. Vaksman (Selman Abraham Waksman, 1888-1972) je ispitivao procese sinteze humusa. On je prvi ukazao na neophodnost vraćanja organske materije u zemljište putem žetvenih ostataka i stajnjaka. Ukoliko se organska materija ne vrati u zemljište, mikroorganizmi će mineralizovati postojeći humus u zemljištu i postepeno dovesti do gubitka plodnosti. Ovaj naučnik je otkrio antibiotik streptomycin koji nastaje kao proizvod metabolizma roda *Streptomyces* i koji je našao široku primenu u medicini.



Slika 10. Sergej N. Vinogradski



Slika 11. Vladimir Omeljanski

Budući pravci razvoja mikrobiologije

Mikrobiologija je nauka čije će značaj u budućnosti biti sve veći. Zbog toga se pred mikrobiologe postavljaju veoma ozbiljni zadaci. Mikrobiolozi su uključeni u izučavanje strukture gena, otkrivanje uzročnika bolesti i industrijske procese koji se zasnivaju na sposobnosti mikroorganizama da razgrađuju i sintetišu složene organske molekule. Mikrobiologija je povezana sa svim prirodnim naukama i zbog toga je veoma važna za sve oblasti života.

U zemljištu mikroorganizmi oslobađaju biljne asimilative iz organske materije te je neophodno takve mikroorganizme izolovati i primenjivati ih u biljnoj proizvodnji kao dopunu ili kao potpunu zamenu za mineralna đubriva. Proizvodima svog metabolizma neki mikroorganizmi mogu štititi biljke od fitopatogena i insekata te je za budućnost značajno da se ovakvi mikroorganizmi koriste umesto pesticida. Mikroorganizmi razgrađuju toksične materije te se moraju izolovati efektivni sojevi pomoću kojih bi se smanjio sadržaj različitih polutanata u zemljištu, vodama i u hrani.

Izolacijom i istraživanjima do sada nepoznatih mikroorganizama doprineće se boljem razumevanju interakcije između mikroorganizama i drugih živih bića. Mikroorganizmi su najvažniji partner u simbiotskim odnosima s višim organizmima, a bolje poznavanje tih odnosa može pomoći u sprečavanju širenja bolesti biljaka, životinja i čoveka.

U oblasti medicinske mikrobiologije, pred mikrobiolozima se javljaju novi problemi kao što su nove bolesti (AIDS, EBOLA, SARS), ili već odavno poznate kao što je tuberkuloza. Protiv uzročnika novih bolesti mikrobiolozi moraju tražiti načine njihovog suzbijanja, a kod već poznatih uzročnika javlja se rezistentnost na postojeće antibiotike što je takođe jedan od problema današnjice.

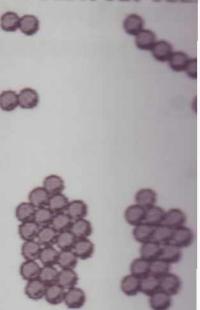
U oblasti genetskih istraživanja, poznavanje genoma mikroorganizama daće odgovor na mnoge nepoznanice u strukturi ćelije. Mikroorganizme treba dobro upoznati kako bi se korisni mogli primeniti, a delovanje štetnih spričiti.

MORFC

Morfologiju morfoloških osvjetlosnog mikrofluorescentnog struktura ćelije hemiji i biologiju pojedinih organa grade i funkcije nevidljiva živa bi-

Kod mikroos
štapićast, izvijen
zvezdastog i koc

OKRUGLI OBL



Okrugao ili mikroorganizama

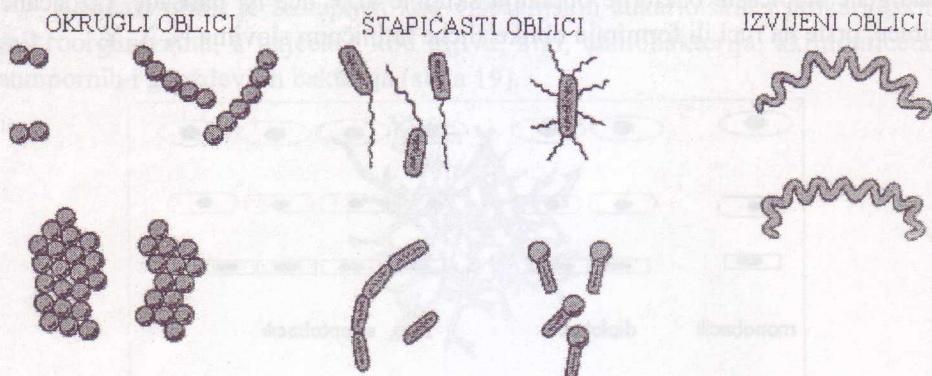
2

MORFOLOGIJA MIKROORGANIZAMA

Morfologija izučava izgled i građu ćelije mikroorganizama. Izučavanje morfoloških osobina mikroorganizama išlo je uporedo sa usavršavanjem svetlosnog mikroskopa. Zahvaljujući elektronskom, fazno-kontrastnom i fluorescentnom mikroskopu, omogućeno je detaljnije proučavanje unutrašnje strukture ćelije mikroorganizama. Razviće eksperimentalnih metoda u fizici, hemiji i biologiji, a posebno u molekularnoj biologiji omogućilo je izdvajanje pojedinih organela iz ćelije mikroorganizama i detaljnije proučavanje njihove građe i funkcije. Dosadašnja saznanja su pokazala da su mikroorganizmi nevidljiva živa bića specifične građe i fizioloških funkcija.

OBLICI MIKROORGANIZAMA

Kod mikroorganizama najzastupljenija su četiri osnovna oblika: okrugao, štapićast, izvijen i končast (slika 12). Pored ovih, postoje i mikroorganizmi zvezdastog i kockastog oblika i oblika rozete.



Slika 2. Oblici mikroorganizama

Okrugao ili loptast oblik (koka) je najrasprostranjeniji oblik mikroorganizama, a zastupljen je kod bakterija, algi i gljiva. Deoba koka može da

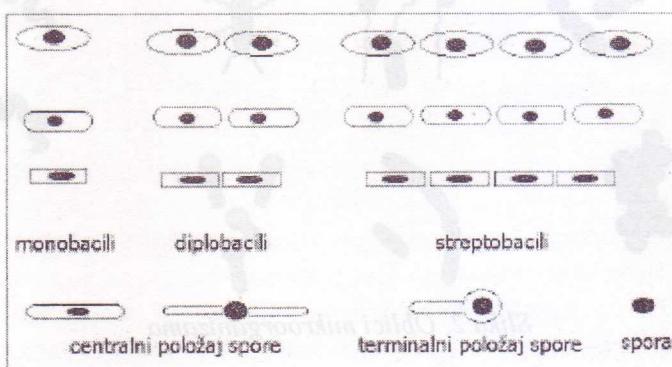
se vrši u jednoj, dve, tri ili više ravni tako da se dobijaju različite varijante okruglog oblika (slika 13).

Monokoke ili *mikrokoke* su pojedinačni okrugli oblici koji nastaju poprečnom deobom ćelije na dve odvojene čerke ćelije. *Diplokoke* nastaju poprečnom deobom ćelije, ali novonastale ćelije ostaju zajedno. *Streptokoke* su okrugli oblici povezani u lance. *Tetrade* su po četiri koke međusobno povezane. Nastaju deobom ćelije u dve ravni pod pravim uglom. *Sarcine* su paketići od po osam koka zajedno, a nastaju deobom koke u tri ravni pod pravim uglom. *Stafilocoke* su grozdaste skupine okruglih bakterija koje nastaju deobom koke u više ravni pod različitim uglovima.



Slika 13. Okrugli oblici

Štapićast oblik je zastupljen kod bakterija i algi. Štapići mogu imati ravne, zaostrene i zaobljene krajeve što pomaže determinaciji (slika 14., slika 15). Štapići koji obrazuju spore zovu se sporogene bakterije ili bacili, a oni koji ne obrazuju spore nazvani su asporogeni štapići ili štapićaste bakterije. Štapićasti oblici takođe stvaraju određene grupacije. Ako su po dve ćelije povezane, to su diplobacili ili diplobakterije, a ako su u lancima, nazvani su streptobacili ili streptobakterije. Neke patogene štapićaste bakterije obrazuju skupine koje liče na palisade, razbacane šibice, prste na ruci ili formiraju oblike slične latiničnim slovima N, X, Y.



Slika 14. Sporogeni štapići

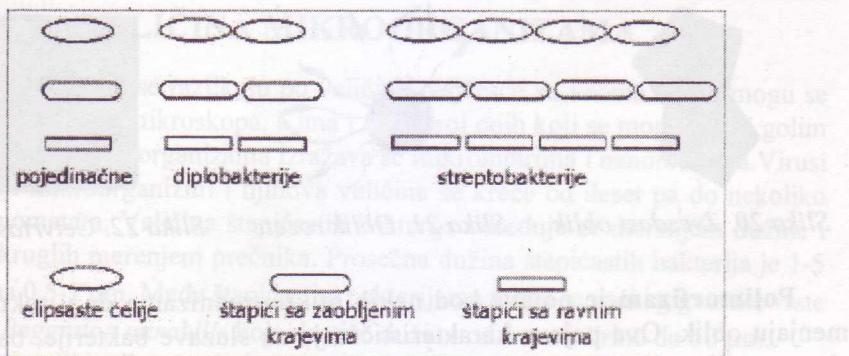
Izvijeni oblik je u obliku zareza nazvana zavoja spirohete.



Slika 16. Vibri

Končast oblik mikroorganizama, sumpornih i gvožđenih

Zvezdast oblik bakterije iz roda *Corynebacterium* i bakterije iz roda *Actinomyces* većim nakupinama.

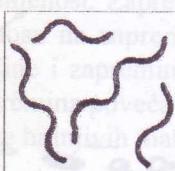


Slika 15. Asporogeni štapići

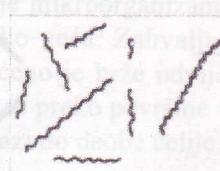
Izvijeni oblik je naročito zastupljen kod bakterija (slike 16, 17, 18). Bakterije u obliku zareza nazvane su vibrio, u obliku zavoja spirile, a one u obliku više zavoja spirohete.



Slika 16. Vibrio

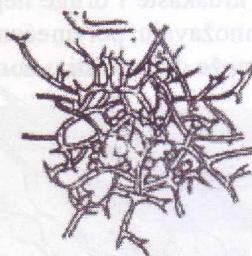


Slika 17. Spirillum



Slika 18. Spirohete

Končast oblik je zastupljen kod višećelijskih eukariotskih i prokariotskih mikroorganizama, a najčešće kod gljiva, algi, cianobakterija, aktinomiceta, sumpornih i gvođevidnih bakterija (slika 19).

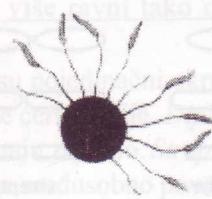


Slika 19. Končast oblik

Zvezdast oblik (slika 20) imaju bakterije iz roda *Astra*, a oblik **rozete** imaju bakterije iz roda *Caulobacter* (slika 21). **Četvrtast oblik** (slika 22) imaju bakterije iz roda *Arcula*. One žive u morima i slanim jezerima, u parovima ili većim nakupinama.



Slika 20. Zvezdast oblik

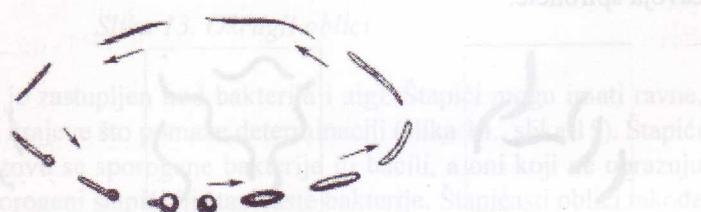


Slika 21. Oblik rozete

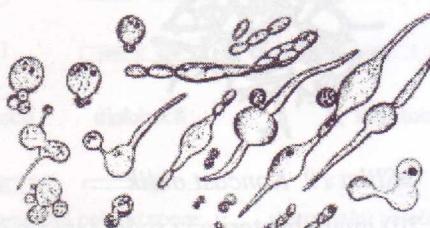


Slika 22. Četvrtast oblik

Polimorfizam je pojava kod nekih mikroorganizama da u toku života menjaju oblik. Ova pojava karakteristična je za sluzave bakterije, baciluse i sluzave gljive. Kod sluzave bakterije *Sporocytophaga myxococcoides* životni ciklus počinje klijanjem spore. Nakon toga se obrazuje štapićasta vegetativna ćelija koja prelazi u vretenast oblik. Nakon izvesnog vremena ova ćelija se skraćuje, zaokružuje i opet prelazi u sporu (slika 23).

Slika 23. Polimorfizam kod *Sporocytophaga myxococcoides*

Involucioni oblici nastaju starenjem ćelije kao i rastom ćelije u nepovoljnim životnim uslovima. Involucioni oblici najčešće nastaju pod uticajem antibiotika, pesticida i drugih otrovnih materija. Ćelije prelaze u nepravilne, naduvene, razgranate, okrugle, ameoboidne, kruškaste i druge nepravilne oblike (slika 24). Ovakve ćelije ne mogu da se razmnožavaju, poremećen im je metabolizam i samo mali broj u povoljnim uslovima može da se vrati u normalne oblike.



Slika 24. Involucioni oblici

Mikroorganizmi videti samo pomoću okom. Veličina mikroorganizama su najsitniji mikroorganizmi u stotina nanometara. Širine, a okruglih mikroorganizama, a širina 0,5-1 μm, a kao što je *Beggiaea*.

Eukariotski mikroorganizmi su prokariotskih (pravilno) i ličina protozoa 2-40 μm, a Širina ćelije i ona iznosi 2-40 μm.

Mala veličina i mesta na drugo i bočne mala, ali je zato po povoljnom odnosu i metaboličkih procesa, ne mogu usvojiti dovoljno hrane.

Ćelija mikroorganizma životne funkcije važne su višećelijskih mikroorganizama jedinica tog sistema.

VELIČINA MIKROORGANIZAMA

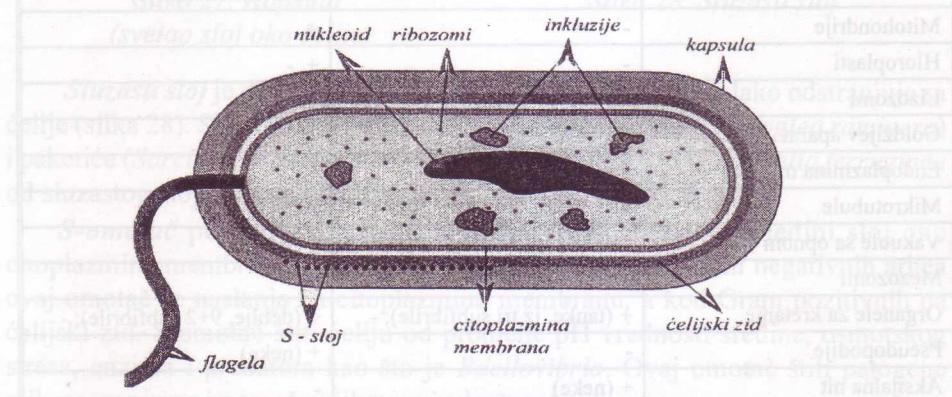
Mikroorganizmi se razlikuju po veličini. Najčešće su veoma sitni i mogu se videti samo pomoću mikroskopa, a ima i mali broj onih koji se mogu videti golim okom. Veličina mikroorganizama izražava se mikrometrima i nanometrima. Virusi su najsitniji mikroorganizmi i njihova veličina se kreće od deset pa do nekoliko stotina nanometara. Veličina štapićastih bakterija određuje se merenjem dužine i širine, a okruglih merenjem prečnika. Prosečna dužina štapićastih bakterija je 1-5 μm , a širina 0,5-1 μm . Među štapićastim bakterijama mogu se naći i gigantske vrste kao što je *Beggiatoa mirabilis* koja dostiže dužinu od 1 cm i širinu do 50 μm .

Eukariotski mikroorganizmi (gljive, alge, protozoe) su krupniji od prokariotskih (prave bakterije i arhebakterije). Veličina kvasaca je 5-10 μm , a veličina protozoa 2-400 μm . Kod končastih mikroorganizama (gljiva, algi) meri se širina ćelije i ona iznosi nekoliko μm , što je karakteristično za vrstu.

Mala veličina mikroorganizama omogućuje im lakši prelazak sa jednog mesta na drugo i bolju rasprostranjenost. Zapremina ćelije mikroorganizama je mala, ali je zato površina u odnosu na zapreminu daleko veća. Zahvaljujući povoljnem odnosu između površine i zapremine omogućeno je brže odvijanje metaboličkih procesa. Kad se zapremina poveća toliko da se preko površine više ne mogu usvojiti dovoljne količine hranjivih materija, dolazi do deobe ćelije.

GRAĐA ĆELIJE

Ćelija mikroorganizma je samostalni organizam u kojem se odvijaju sve životne funkcije važne za rast, razviće i razmnožavanje. I kod jednoćelijskih i kod višećelijskih mikroorganizama ćelija je osnovna strukturalna i funkcionalna jedinica tog sistema.



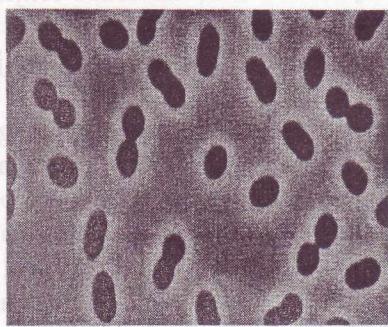
Slika 25. Građa prokariotske ćelije

Prema građi ćelije mikroorganizmi su podeljeni na **eukariote i prokariote**. Eukarioti (protozoe, gljive, alge, lišajevi) su složenije građe, imaju diferencirano jedro i organele, dok su prokarioti (bakterije i arhebakterije) jednostavne građe (slika 25, slika 26, tab. 1).

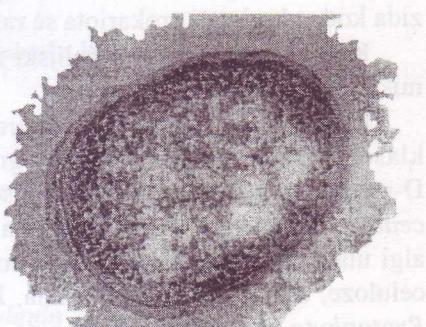
KAPSULA, SLUZASTI SLOJ I S - OMOTAČ

Kod mnogih mikroorganizama oko ćelije se nalaze omotači različite debljine i konzistencije. To su ili kapsula ili sluzasti sloj ili S-omotač.

Kapsula je dobro organizovana i ne može se lako odstraniti. Prema debljini razlikuje se mikrokapsula debljine do $0,2 \mu\text{m}$ i makrokapsula debljine iznad $0,2 \mu\text{m}$. Kod nekih mikroorganizama makrokapsula je i nekoliko puta deblja od ćelije. Kapsula predstavlja dopunsku osmotsku barijeru ćelije. Ona ima zaštitnu ulogu, štiti ćeliju od mehaničkih povreda, toksičnih materija, isušivanja, napada drugih mikroorganizama kao i od nepovoljnih uslova spoljašnje sredine. Kapsula pomaže mikroorganizmu da se pričvrsti na supstrat ili biljku domaćina. Za kapsulu su vezana antigena i serološka svojstva mikroorganizama (slika 27).



Slika 27. Kapsula
(svetao sloj oko ćelije)



Slika 28. Sluzasti sloj

Sluzasti sloj je difuzna labilno povezana materija koja se lako odstranjuje sa ćelije (slika 28). Sluzasti sloj povezuje veći broj ćelija u trake (*Zooglena ramigera*) i paketiće (*Sarcina ventriculi*, *Lampopedia hyalina*), a kod *Gallionella ferruginea* od sluzastog sloja su izgrađene drščice.

S-omotač poseduju *Archea* kod kojih često predstavlja jedini sloj oko citoplazmine membrane i ima ulogu ćelijskog zida. Kod Gram negativnih arhea ovaj omotač se naslanja na citoplazminu membranu, a kod Gram pozitivnih na ćelijski zid. S-omotač štiti ćeliju od promene pH vrednosti sredine, osmotskog stresa, enzima i predatora kao što je *Bdellovibrio*. Ovaj omotač štiti patogene mikroorganizme i pomaže njihovu virulentnost.

Kapsula, sluzasti sloj i S-omotač se sastoje iz vode, homopolisaharida, heteropolisaharida i ponekad proteina. Homopolisaharidni sastav kapsule imaju mlečna bakterija *Leuconostoc mesenteroides* (dekstran u čiji sastav ulazi alfa-D glukoza), *Acetobacter* (celuloza), *Salmonella typhi* (N-acetylgalaktozo-manuronska kiselina) *Streptococcus* (levulan) i kvaci iz roda *Hansenula* (fosfomanan).

Heteropolisaharide u kapsuli imaju gljive iz roda *Penicillium* (galaktan i manan), alge iz roda *Chlamydomonas* (glukoza i ksiloza), anaerobna azotofiksirajuća bakterija *Clostridium pasteurianum* (hemiceluloza i skrob), *Enterobacteriaceae* (glukoza, galaktoza i N-acetylglukozamin), *Pseudomonas aeruginosa* (glukoza, galaktoza, manzoza, ramnoza i galakturonska kiselina) i vrste iz roda *Bacillus* (galakturonska i glutaminska kiselina).

ČELIJSKI ZID

Ćelijski zid je spoljašnji omotač ćelije koji se nalazi oko citoplazmine membrane. On ćeliji daje oblik i čvrstinu, štiti je od mehaničkih i drugih nepovoljnih uticaja spoljne sredine, a kod patogenih mikroorganizama u ćelijskom zidu su komponente odgovorne za izazivanje oboljenja kod domaćina. Građa ćelijskog zida kod eukariota i prokariota se razlikuje.

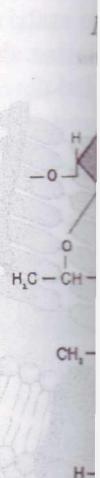
Kod većine *eukariota* ćelijski zid se sastoji od matriksa u koji su uronjeni mikrofibrilni konci.

Matriks ćelijskog zida algi izgrađen je od različitih polisaharida. Kod algi iz klase *Phyophyta* matriks je građen od alginske kiseline (polisaharid D-manuronske i D-glukuronske kiseline). Kod mrko žutih algi (*Bacillariophyceae*) matriks je građen od fukoidina (polisaharid fukoze). U sastav matriksa ovih algi ulaze još SiO_2 i CaCO_3 . Mikrofibrilni konci kod nekih algi su građeni od celuloze, a kod nekih od manana, ksilana i pektina. Jednoćelijske zelene alge *Protophyta* umesto ćelijskog zida imaju pelikulu. To je sloj koji predstavlja zadebljanje citoplazmine membrane. Pelikula je elastična te mikroorganizmi sa pelikulom nemaju stalan oblik ćelije. Pelikula kod roda *Euglena* se sastoji iz nekoliko izbrzdanih membrana.

Ćelijski zid končastih gljiva je čvrst, a hemijski sastav se razlikuje u zavisnosti od vrste gljive. Matriks je najčešće građen od glukana i galaktana, a mikrofibrilni konci od N-acetylglukozamina i celuloze. Za ćelijski zid gljiva vezani su različiti hidrolitički i oksidacioni enzimi.

Ćelijski zid kvasaca građen je od glukana i manana, a u manjem procentu od proteina, lipida i glukozamina.

Protozoe nemaju čvrst ćelijski zid te im se oblik delimično menja. U sastav ćelijskog zida ulazi pseudohitin, a kod nekih još i CaCO_3 i SiO_2 . Mnoge protozoe (klasa *Rhizopoda* i *Ciliata*) umesto ćelijskog zida imaju pelikulu. Kod protozoa iz

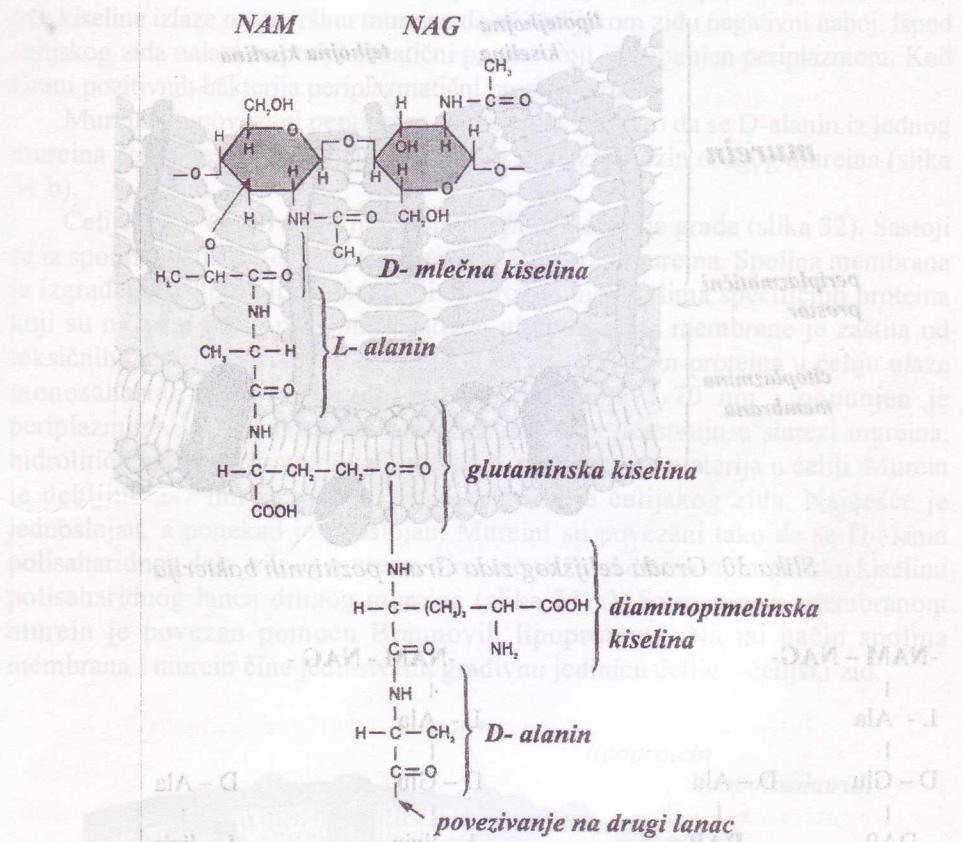


Slika 29. G

U sastav polis
N- acetilmuramins
vezama. Peptidni
kiseline i mezo
mezodiaminopime
međusobno povez
Na taj način se o

klase *Ciliata* pelikula je dvoslojna i složenije je građe pošto su tu ugrađene i druge materije.

Kod *prokariota* (osim mikoplazmi i arhea) ćelijski zid je čvrst. Građen je od peptidoglukana koji se zove murein. Murein je heteropolimer sastavljen iz polisaharidnog i peptidnog dela (slika 29).

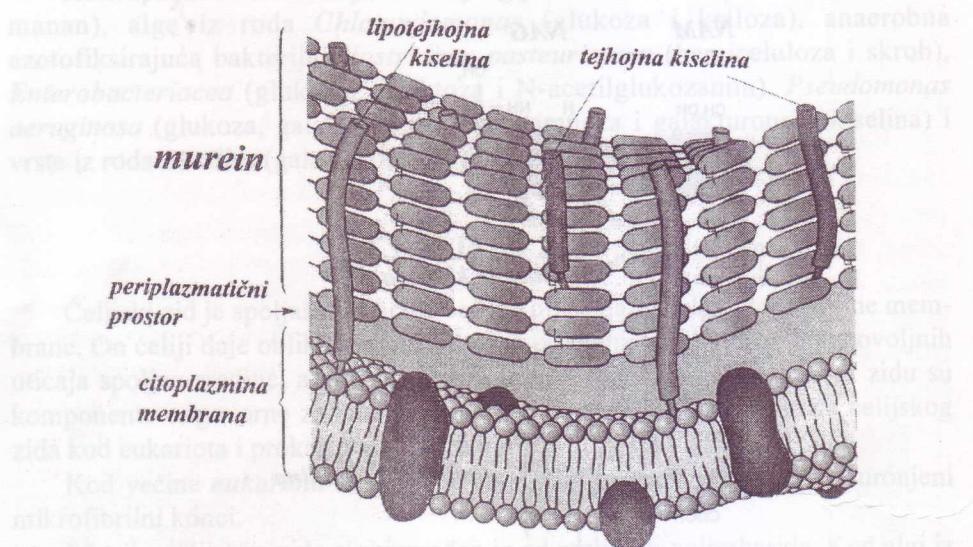


Slika 29. Građa mureina: NAM = N-acetilmuraminska kiselina;
NAG = N-acetylglukozamin

U sastav polisaharidnog dela ulaze dva amino šećera, N-acetilglukozamin i N-acetilmuraminska kiselina, koji su međusobno povezani β 1,4 glukozidnim vezama. Peptidni deo je tetrapeptid izgrađen od L i D-alanina, D-glutaminske kiseline i mezodiaminopimelinske kiseline. Neke bakterije umesto mezodiaminopimelinske kiseline sadrže lizin. Polisaharidni i peptidni deo su međusobno povezani preko karboksilne grupe iz N-acetilmuraminske kiseline. Na taj način se oko ćelije formira mureinska mreža. U zavisnosti od građe

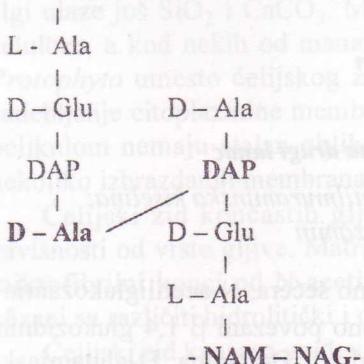
ćelijskog zida i na osnovu bojenja po Gramu (Christian Gram, 1884), bakterije su podeljene u dve velike grupe: Gram pozitivne i Gram negativne. Gram pozitivne bakterije boje se ljubičasto, a Gram negativne crveno ili roza.

Ćelijski zid **Gram pozitivnih bakterija** je homogen. Sastoji se od veće količine mureina koji čini 50-90% ukupne mase ćelijskog zida (slika 30).



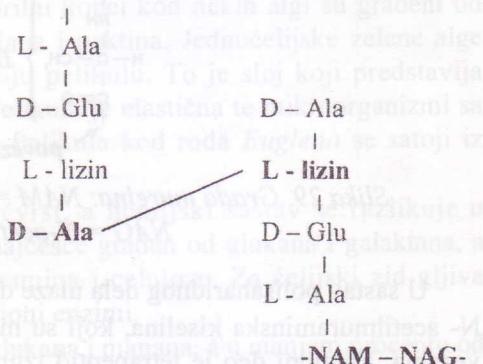
Slika 30. Građa ćelijskog zida Gram pozitivnih bakterija

-NAM - NAG-



a.)

-NAM - NAG -



b.)

Slika 31. Povezivanje molekula mureina: a) kod Gram negativnih bakterija; b) kod Gram pozitivnih bakterija

Debljina ovog sloja bakterija nalaze se i druge grupama. Na glicerol i kiselina je za murein N-acetilmuraminske kiseline izlaze na ćelijskog zida nalazi se Gram pozitivnih bakterija.

Mureini su povezani preko peptidoglikana (slika 31 b).

Ćelijski zid Gram pozitivnih bakterija iz spoljne membrane je izgrađena iz lipoproteina koji su nazvani pori toksičnih materija. Monosaharidi. Periplazmatični hidrolitički enzimi i je debljine 2-7 nm jednoslojan, a ponekad polisaharidnog dela. Polisaharidnog lanca murein je povezan sa membranom i mureinom.

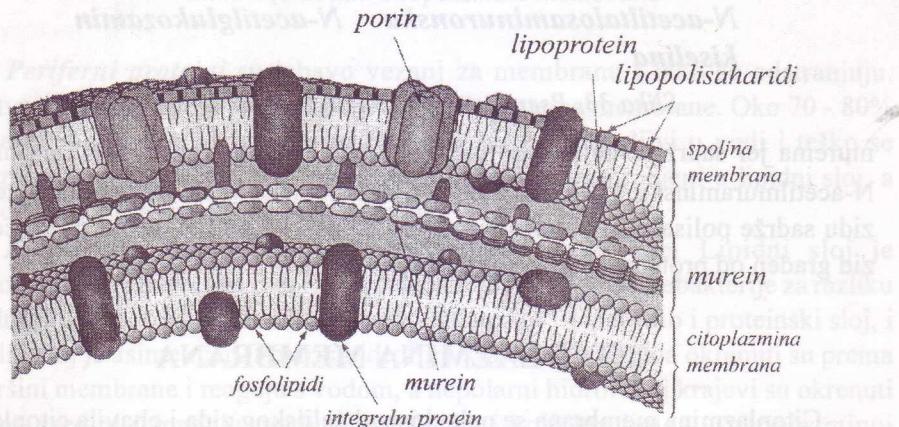


Slika 32

Debljina ovog sloja je od 20 do 80 nm. Pored mureina, u ćelijskom zidu ovih bakterija nalaze se i drugi sastojci među kojima najveći deo zauzima tejhojna kiselina. Tejhojna kiselina je polimer glicerola ili ribitola međusobno povezanih fosfatnim grupama. Na glicerol ili ribitol tejhojne kiseline veže se D-alanin ili glukoza. Tejhojna kiselina je za murein vezana kovalentnim vezama preko hidroksilne grupe N-acetilmuraminske kiseline, a za citoplazminu membranu preko lipida. Molekuli ove kiseline izlaze na površinu mureina dajući ćelijskom zidu negativni naboј. Ispod ćelijskog zida nalazi se periplazmatični prostor koji je popunjen periplazmom. Kod Gram pozitivnih bakterija periplazmatični prostor je mali.

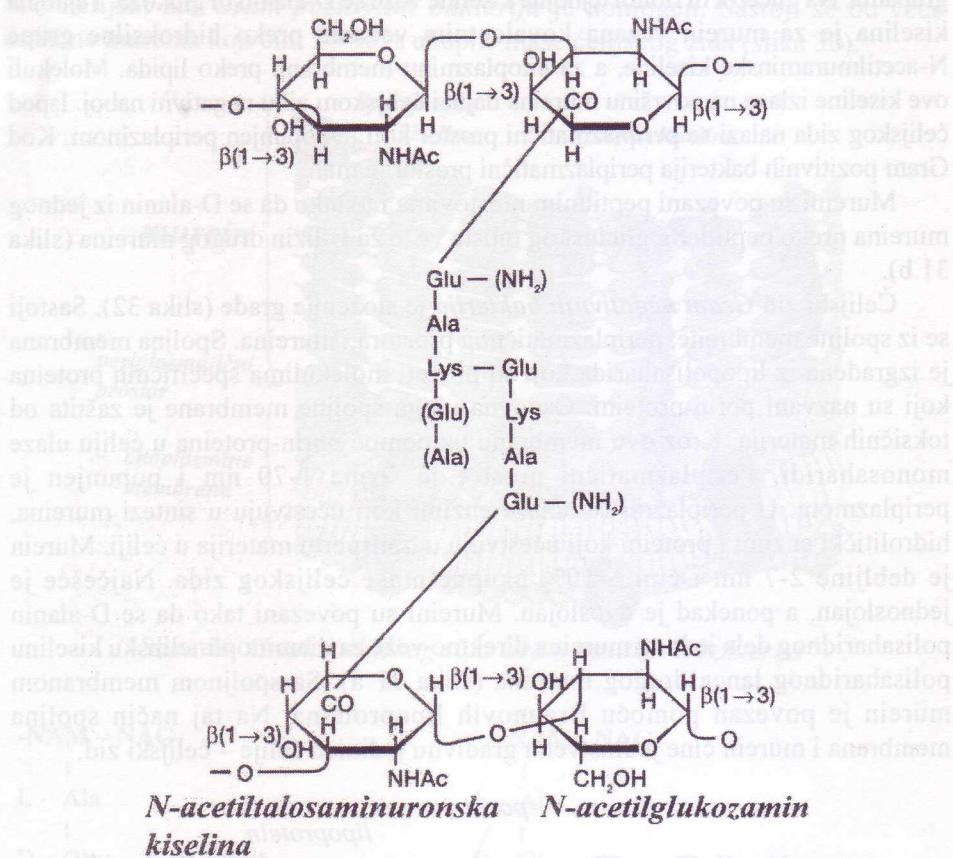
Mureini su povezani peptidnim mostovima i to tako da se D-alanin iz jednog mureina preko peptidnog glicinskog mosta veže za L-lizin drugog mureina (slika 31 b).

Ćelijski zid **Gram negativnih bakterija** je složenije građe (slika 32). Sastoјi se iz spoljne membrane, periplazmatičnog prostora i mureina. Spoljna membrana je izgrađena iz lipopolisaharida koji su prožeti molekulima specifičnih proteina koji su nazvani porin-proteini. Osnovna uloga spoljne membrane je zaštita od toksičnih materija. Kroz ovu membranu uz pomoć porin-proteina u ćeliju ulaze monosaharidi. Periplazmatični prostor je širine 1-70 nm i popunjen je periplazmom. U periplazmi se nalaze enzimi koji učestvuju u sintezi mureina, hidrolitički enzimi i proteini koji učestvuju u transportu materija u ćeliji. Murein je debljine 2-7 nm i čini 5-10% ukupne mase ćelijskog zida. Najčešće je jednoslojan, a ponekad je dvoslojan. Mureini su povezani tako da se D-alanin polisaharidnog dela jednog mureina direktno veže za diaminopimelinsku kiselinsku polisaharidnu lanca drugog mureina (slika 31 a). Sa spoljnom membranom murein je povezan pomoću Braunovih lipoproteina. Na taj način spoljna membrana i murein čine jedinstvenu gradivnu jedinicu ćelije – ćelijski zid.



Slika 32. Građa ćelijskog zida Gram negativnih bakterija

Arhebakterije (arhea) se po gradi čelijskog zida razlikuju od ostalih prokariota. Gram pozitivne arhebakterije u svom čelijskom zidu mogu imati različite polimere kao što je pseudomurein (slika 33). Ovaj polimer se razlikuje od



Slika 33. Pseudomurein u čelijskom zidu arhea

mureina jer sadrži L-aminokiseline, N-acetiltalosaminuronsku kiselinu umesto N-acetilmuraminske, i β 1,3 umesto β 1,4 glukozidne veze. Neke arhebakterije u zidu sadrže polisaharid hondroitin. Gram negativne arhebakterije imaju čelijski zid građen od proteina ili glikoproteina.

CITOPLAZMINA MEMBRANA

Citoplazmina membrana se nalazi ispod čelijskog zida i obavlja citoplazmu. Veoma je tanka, debljine 5-10 nm i vidi se samo elektronskim mikroskopom. Kod

prokariotskih mikroorganizama membranski sistem je jedna membrana koja povezuje celije. Citoplazminna membrana je barijera koja reguliše transport sredina u celiju. Vrši sinteza sastojaka obavljaju disanje, funkcije i smeštenu specijalne molekule u celiju. Fluidno mozaični model je karakterističan za mikroorganizma u kojem su glikolipidi (molekuli

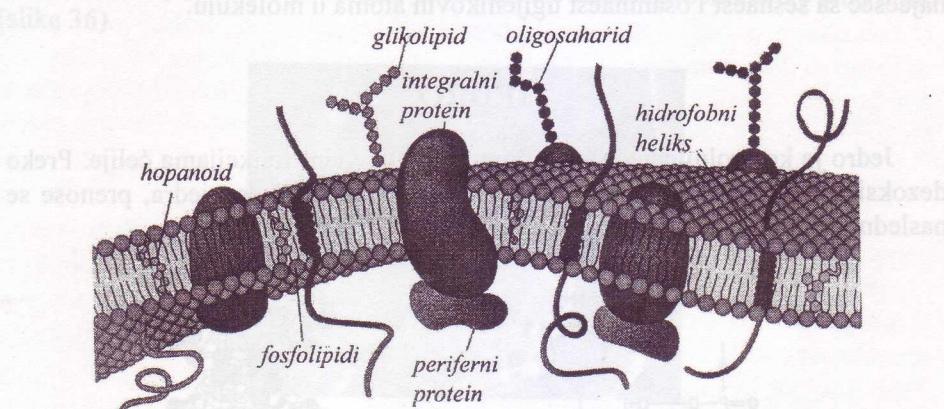


Periferni proteini

Rastvorljivi su u vodi i ne uključujući proteina membrane odstranjuju. Integralni hidrofilni izlaze na površinu.

Lipidi čine celuloznu membranu, bimolekularan i najveći od drugih mikroorganizama. Lipidni sloj je asimetričan i raspodeljen prema površini membrane. Membrani zavisiti od sredine.

prokariotskih mikroorganizama membrana se nastavlja u citoplazmatični membranski sistem koji prožima ćeliju - mezozome, a kod eukariota citoplazmina membrana je povezana s endoplazmatičnim retikulom i drugim organelama u ćeliji. Citoplazmina membrana je polupropustljiva i ima funkciju osmotske barijere koja reguliše razmenu materija s ćelijom. U citoplazminoj membrani se vrši sinteza sastojaka ćelijskog zida i kapsule. Kod prokariota u membrani se obavljaju disanje, fotosinteza, sinteza lipida, sinteza delova ćelijskog zida. Tu su smešteni specijalni receptori za prepoznavanje hemijskih jedinjenja u okolini ćelije. U njoj se nalazi permeaza sistem koji omogućava ulazak specifičnih većih molekula u ćeliju. Membrana je asimetrične građe i danas je prihvaćen tzv. fluidno mozaični model (slika 34). Sastoje se iz lipida i proteina. Kod nekih mikroorganizama u citoplazminoj membrani u manjem procentu su i različiti glikolipidi (molekuli lipida vezani sa ugljenim hidratima).



Slika 34. Građa citoplazmine membrane

Periferni proteini su labavo vezani za membranu i lako se odstranjuju. Rastvorljivi su u vodi i čine 20-30% ukupnih proteina membrane. Oko 70 - 80% proteina membrane su **integralni proteini**. Nisu rastvorljivi u vodi i teško se odstranjuju. Integralni proteini su hidrofobnim krajem uronjeni u lipidni sloj, a hidrofilnim izlaze na površinu membrane.

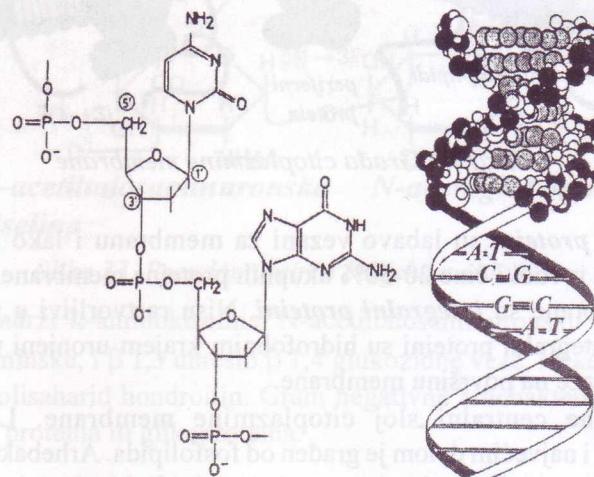
Lipidi čine centralni sloj citoplazmine membrane. Lipidni sloj je bimolekularan i najvećim delom je građen od fosfolipida. Arhebakterije za razliku od drugih mikroorganizama imaju samo jedan sloj lipida. Kao i proteinski sloj, i lipidni sloj je asimetričan. Polarni hidrofilni krajevi fosfolipida okrenuti su prema površini membrane i reaguju s vodom, a nepolarni hidrofobni krajevi su okrenuti prema sredini i reaguju međusobno. Vrsta i količina lipida u citoplazminoj membrani zavisi od vrste mikroorganizama.

Kod prokariotskih mikroorganizama, pored fosfolipida, lipidni sloj grade i pentaciklični molekuli slični sterolu – hopanoidi. Hopanoidi stabilizuju citoplazminu membranu. Kod bakterija iz familije *Enterobacteraceae* najviše ima fosfatidiletanolamina. Gram pozitivne bakterije sadrže aminoestre fosfatidilglicerina i aminokiselina. Kod nekih mikroorganizama, npr. *Clostridium butyricum*, lipidni deo membrane građen je od plazmalogena u kome je glicerin vezan za dugački lanac masne kiseline. Masne kiseline od kojih su građeni lipidi prokariota su sa petnaest i sedamnaest ugljenikovih atoma povezani u račvasti niz.

U citoplazminoj membrani eukariota bimolekulski lipidni sloj osim fosfolipida sadrži stereoide, npr. holesterol. Kod *Saccharomyces cerevisiae* u sastav citoplazmine membrane ulaze fosfatidilholin, fosfatidiletanol, fosfatidilinozit, fosfatidilserin i triglyceridi. Masne kiseline u lipidima citoplazmine membrane eukariota su sa deset do devetnaest ugljenikovih atoma, a najčešće sa šesnaest i osamnaest ugljenikovih atoma u molekulu.

JEDRO

Jedro je kontrolni centar ćelije, ono upravlja svim funkcijama ćelije. Preko dezoksiribonukleinske kiseline (DNK), koja je sastavni deo jedra, prenose se nasledne osobine.



Slika 35. Model grade DNK - modelnički model jole inženir

Molekul DNK se sastoji od dva polinukleotidna lanca koji su uvijeni jedan oko drugog čineći dvojnu spiralu. To su polimeri kojih se sastoje iz 1500 do

5.000.000 mononuklearnih ćelija preko fosforne kiselinske i citozin) baze. Bazajednog lanca za adenozin.

Prečnik DNK je zajedno sa proteinima mikroorganizmi imaju hromozoma zavisni o segmentata – gena. Geni nasleđivanja. U zavisnosti odvojen u posebnu o membrane, razlikuju

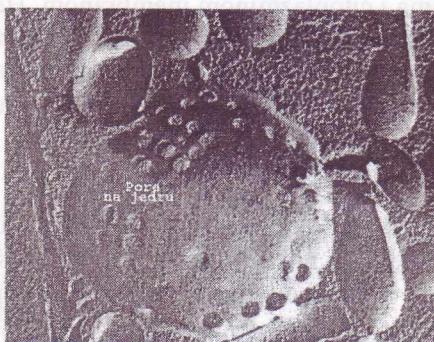
Nukleus (jedro) (slika 36).

Unutrašnjost jedra je sastavljena od hromatina. To su ustvari rasuti vlaknisti materijali. Jedarni materijal je oblikovan u membrane, međusobno spojene. Spoljašnja membrana je pokrivena njega s ribozomima. Molekuli te je na taj način zavisi od vrste mikroorganizma. 10 - 25% površine jedra je pokriveno jedarce (*nukleolus*) čije su sastavni delovi membranom. To je krajnji del jedra, nazvan fibroidnim regionom. Toku mitoze. Posle mitoze se jedro oblikuje.

5.000.000 mononukleotida. Mononukleotidi se sastoje iz dezoksiriboze koja je preko fosforne kiseline vezana za purinske (adenin i guanin) i pirimidinske (timin i citozin) baze. Baze su međusobno povezane vodoničnim mostovima, i to timin jednog lanca za adenin drugog i guanin jednog lanca za citozin drugog (slika 35).

Prečnik DNK je 0,2 nm a svaki zavoj se sastoji iz deset nukleotida. Lanac DNK zajedno sa proteinima tipa histona i protamina gradi hromozom. Prokariotski mikroorganizmi imaju samo jedan hromozom, a eukariotski više od jednog. Broj hromozoma zavisi od vrste mikroorganizama. Hromozom se sastoji od manjih segmenata – gena. Gen u sebi sadrži jedan ili više parova nukleotida i on je osnova nasledivanja. U zavisnosti od toga da li je genetski materijal pomoću membrane odvojen u posebnu organelu ili je samo lociran u određenom delu ćelije, ali bez membrane, razlikuju se pravo jedro - nukleus i nukleoid - hromatinsko telašće.

Nukleus (jedro kod eukariota) je okruglasto telašće prečnika oko 5 do 7 μm (slika 36).



Slika 36. Jedro kod eukariota

Unutrašnjost jedra ispunjena je nukleoplazmom u kojoj su guste niti hromatina. To su ustvari molekuli DNK. U periodu kad jedro miruje hromatin je rasut po celoj nukleoplazmi, a za vreme mitoze hromatin se skuplja u hromozome. Jedarni materijal je obavljen dvojnom membranom, spoljašnjom i unutrašnjom. Membrane su međusobno odvojene perinuklearnim prostorom debljine 15 - 75 nm. Spoljašnja membrana je povezana s endoplazmatičnim retikulumom, a preko njega s ribozomima. Na membranama jedra se nalaze pore kroz koje prolaze molekuli te je na taj način jedro povezano sa citoplazmom. Broj pora na membrani zavisi od vrste mikroorganizama. Prečnik pora je oko 70 nm i one zauzimaju oko 10 - 25% površine jedra. U jedru nekih eukariotskih mikroorganizama nalazi se jedarce (*nukleolus*) čija je uloga sinteza ribozoma. Jedarce nije obavljeno membranom. To je kompleksna organela gušće kozistencije sa granularnim i fibroidnim regionom. Vidljivo je u fazi još nepodeljene ćelije i često nestaje u toku mitoze. Posle mitoze se ponovo javlja. Sinteza ribozoma počinje tako što

DNK jedra diriguje sintezu ribozomalne RNK (rRNK). rRNK se sintetiše u vidu dugih niti, a posle toga dolazi do skraćivanja i formiranja finalnog molekula. Ribozomalna RNK se zatim kombinuje sa ribozomalnim proteinima koji se sintetiše u citoplazminom matriksu i formiraju ribozomalne subjedinice koje se vide u jedarcu. Ribozomalne subjedinice kroz pore na jedarnoj membrani napuštaju jedro i odlaze u citoplazmu.

Nukleoid ("jedro" kod prokariota) je na nižem stepenu organizacije jer ne sadrži jedrovu membranu i nema deobeno vreteno. U nukleoidu je samo jedna dvostruka uvojnica DNK, obično kružnog oblika i sa proteinom (koji se razlikuje od proteina eukariota) gradi jedan hromozom. Samo neke bakterije kao što je npr. *Vibrio cholerae* imaju više od jednog hromozoma. Kružni molekul DNK je velike dužine. Tako u ćeliji *Escherichia coli* koja je dugačka 2-6 µm, dužina DNK je 1400 µm. U toku deobe ćelije ima više nukleoida jer se genetski materijal duplira. U fazi aktivnog rasta ćelije nukleoid je rasut po celoj citoplazmi. Nukleoid je povezan sa mezozomima i citoplazminom membranom. Hemijskom analizom je utvrđeno da od ukupne mase nukleoida 60% čini DNK, 30% RNK i 10% proteini. Nukleoid ima najčešće okruglast ili štapićast izgled.

PLAZMIDI

Plazmidi su mali DNK molekuli najčešće kružnog oblika. Mogu biti prisutni u mnogim bakterijama kao i nekim kvascima i končastim gljivama. Imaju sposobnost autonomne replikacije koja je odvojena od replikacije hromozoma. Plazmidi sadrže nekoliko gena, obično manje od trideset. Iz ćelije se mogu odstraniti procesom koji se zove sečenje. Sečenje može biti spontano ili indukovano nekim inhibitorima koji sprečavaju replikaciju plazmida. Kao inhibitori koriste se akridinski mutagensi, UV i ionizujuće zračenje, tiamin i gajenje ćelije iznad optimalne temperature. Takvi inhibirani plazmidi se lako isperu iz žive bakterijske ćelije. Ovaj postupak se koristi u genetskom inžinjeringu koji podrazumeva prenošenje i ugradnju nekog svojstva iz jedne vrste u drugu. Prema funkciji za koju su odgovorni, postoji više vrsta plazmida. *Konjugativni plazmidi* imaju gene odgovorne za funkcionisanje pila. U toku konjugacije preko pila se mogu prenositi kopije (nasledne osobine) sa jedne bakterije na drugu. Ovi plazmidi sadrže faktor fertiliteta (F faktor). Plazmidi koji sadrže R faktor odgovorni su za rezistentnost bakterija prema antibioticima. *Col plazmidi* sadrže gene za sintezu bakteriocina-kolicina koji uništava druge bakterije. *Virulentni plazmidi* su odgovorni za svojstvo patogenosti ćelije. One koje ih poseduju bolje prouzvode toksine. *Metabolički plazmidi* poseduju gene za razgradnju aromatičnih komponenti, pesticida i šećera. U metabolitičke spadaju plazmidi koji poseduju gene za nodulaciju (*nod*) i za azotofiksaciju (*Fix*) geni.

Citoplazmatična cevčica prečnika 10 nm je uključena u transport m materijala između organelama u ćeliji i između ćelija. Endoplazmatične mrežice su sastavljene od ribozomima pa je hranjivo najveći deo mrežice. Lipidi se transportuju u komponente citoplasme.

Ribozomi su mikroskopom. Po gribonukleinske kisel zadržavaju u ćeliji transportuju iz ćeli različitog aminokise čini oko 60% mase i sedimentacije izraž prokariota i ribozom

Ribozomi eukariotskih mitohondrija su mali, 22 nm, a molekulski sastav je raznolik. Mnogi od ovih ribozoma su vezani za membranu mitohondrije.

Ribozomi pro-
sedimentacije im je 7
S i 50 S. Kod *Escher*
RNK, jednog molek-
se od jednog moleku-

Goldžijev apar-
cevčica koje su na ki

ENDOPLAZMATIČNA MREŽICA (RETIKULUM)

Citoplazmatični matriks eukariota prožet je nepravilnom mrežom razgranatih cevčica prečnika 40-70 nm na kojima se nalaze i različita proširenja. Endoplazmatična mrežica je povezana sa citoplazminom membranom i drugim organelama u ćeliji čime se povećava unutrašnja aktivna površina ćelije. Funkcija endoplazmatične mrežice zavisi od funkcionalnog i fiziološkog stanja ćelije. Kod ćelija koje više proizvode proteine endoplazmina mrežica je prekrivena ribozomima pa je hrapavog izgleda. Kod ćelija koje su bolji proizvođači lipida najveći deo mrežice je gladak. Preko endoplazmine mrežice sintetisani proteini i lipidi se transportuju kroz ćeliju. Na endoplazmatičnoj mrežici sintetišu se i komponente citoplazmine membrane.

RIBOZOMI

Ribozomi su mala okruglasta telašca vidljiva samo elektronskim mikroskopom. Po građi i funkciji su veoma kompleksni. Sastoje se od proteina i ribonukleinske kiseline (RNK). U matriksu ribozoma sintetišu se proteini koji se zadržavaju u ćeliji, a na membrani ribozoma sintetišu se proteini koji se transportuju iz ćelije. Proteini se sastoje od 50 do 150 polipeptidnih lanaca različitog aminokiselinskog sastava i čine oko 40% ukupne mase ribozoma. RNK čini oko 60% mase ribozoma i 60-90% ukupne RNK u ćeliji. Prema koeficijentu sedimentacije izraženom u jedinicama Svedberga (S), razlikuju se ribozomi prokariota i ribozomi eukariota.

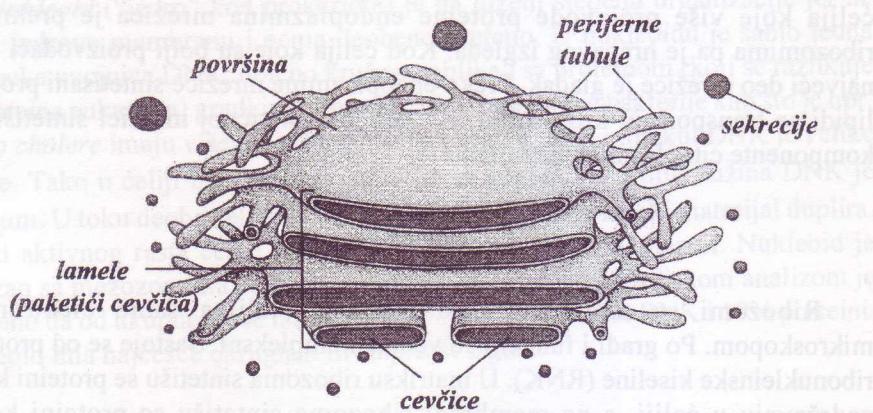
Ribozomi *eukariota* imaju koeficijent sedimentacije 80 S. Prečnik im je oko 22 nm, a molekulska težina oko 4 miliona. Sastoje se od dve podjedinice, 40 S i 60 S. Mnogi od ovih ribozoma nalaze se u citoplazmi kao posebna telašca. Neki su vezani za membrane endoplazmine mrežice, neki za hloroplaste, a neki za mitohondrije.

Ribozomi *prokariota* su manji od ribozoma eukariota. Koeficijent sedimentacije im je 70 S. Prečnik im je 14-20 nm. Sastoje se iz dve podjedinice, 30 S i 50 S. Kod *Escherichia coli*, 50 S podjedinica se sastoji iz jednog molekula 23 S RNK, jednog molekula 5 S RNK i 20 molekula proteina. 30 S podjedinica sastoji se od jednog molekula 16 S RNK i deset molekula proteina.

GOLDŽIJEV APARAT

Goldžijev aparat je krupna organela koja se sastoji od većeg broja glatkih cevčica koje su na krajevima proširene i okružene loptastim mehurićima (tubule

i vezikule, slika 37). Svaka cevčica je debljine 15-20 nm i od druge je udaljena oko 20-30 nm. Cevčice su obično povezane u paketiće. Goldžijev aparat se nalazi u ćeliji većine eukariotskih mikroorganizama, ali kod nekih gljiva i ciliata ova organela je slabije razvijena i sastoji se samo iz jedne cevčice. S druge strane, kod mnogih eukariota Goldžijev aparat sadrži više od 20 paketića sa cevčicama.



Slika 37. Građa Goldžijevog aparata (šematski prikaz)

Osnovna uloga Goldžijevog aparata je nakupljanje materija i priprema za sekreciju iz ćelije. Tako se kod nekih algi i protozoa Goldžijev aparat nalazi u površinskom sloju te se razgrađene materije iz ćelije transportuju kroz vezikule. Pored toga, Goldžijev aparat ima ulogu i u izgradnji citoplazmine membrane, a rast hifa kod gljiva je brži ako vezikule Goldžijevog aparata svoj sadržaj transportuju prema vrhu hife.

U ovoj organeli se vrši i modifikacija proteina kako bi mogli reagovati sa drugim grupama i jedinjenjima nakon čega odlaze na odgovarajuće lokacije u ćeliji.

MITOHONDRije

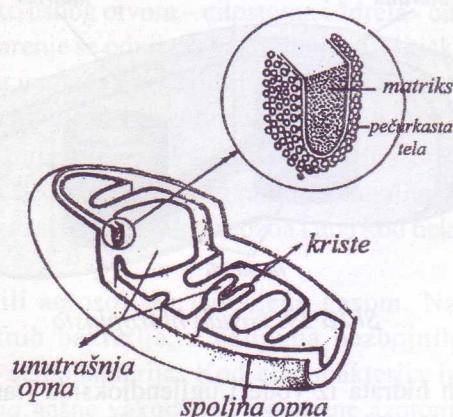
Mitohondrije su organele koje se nalaze u svim eukariotskim ćelijama (slika 38). Broj mitohondrija u ćeliji je obično iznad 1000, a zavisi od vrste mikroorganizama i uslova gajenja. Samo kod nekih mikroorganizama kao što su neki kvasci, jednoćelijske alge i protozoa *Trypanosoma*, u ćeliji se nalazi jedna gigantska mitohondrija koja je preko sistema mrežica povezana sa citoplazmom.

Oblik mitohondrije je različit. Mitohondrije imaju širine 6-8 nm. Na njihovoj površini imaju tankih kratkih drščice. ATP u toku respiracije se proizvodi u matriksu mitohondrija, a matriks je sastavljen od lipida, proteinova i voda. Unutrašnja membrana mitohondrija je sastavljena od dve slojevine lipidnih mrežica. U matriksu mitohondrija se nalaze mnogi enzimi koji učestvuju u redoks reakcijama. Osim tih enzima, u matriksu mitohondrija se nalaze i ribosomi, DNA i RNA.

Osnovna uloga mitohondrija je da u matriksu mitohondrija učestvuje u redoks reakcijama. U matriksu mitohondrija se vrši potpuna oksidacija karbohidratnih, proteinovih i lipidnih mrežica. Membrani mitohondrija se sastoje od dve slojevine lipidnih mrežica. U matriksu mitohondrija se nalaze mnogi enzimi koji učestvuju u redoks reakcijama. Osim tih enzima, u matriksu mitohondrija se nalaze i ribosomi, DNA i RNA.

Plastidi su citoplazmni organele koji sadrže pigmente, kao što je hlorofil, i sintetizuju materiju. Najpoznatiji su plastidi u biljkama, gumenima i nekim životinjama.

Oblik mitohondrije je cilindričan, širina je od 0,3 do 1 μm a dužina i 5-10 μm . Mitohondrije imaju dve opne koje su odvojene intermembranskim prostorom širine 6-8 nm. Na unutrašnjoj opni ka unutrašnjosti mitohondrije nalaze se poprečne pregrade - kriste koje povećavaju površinu za biohemiju aktivnosti. Oblik krista je različit kod različitih mikroorganizama. Gljive imaju laminarne kriste, euglena ima diskolike kriste, a mnoge eukariote imaju tubularne kriste. Na površini unutrašnje membrane nalaze se granule koje su za opnu povezane preko tankih kratkih drščica. Ove granule nazvane su F1 čestice i u njima se sintetiše ATP u toku respiracije. Unutrašnjost mitohondrija je ispunjena mitohondrijalnim matriksom koji se sastoji od proteina, lipida i malog broja ribozoma. Spoljašnja i unutrašnja membrana mitohondrija građene su kao i druge lipoproteinske membrane.



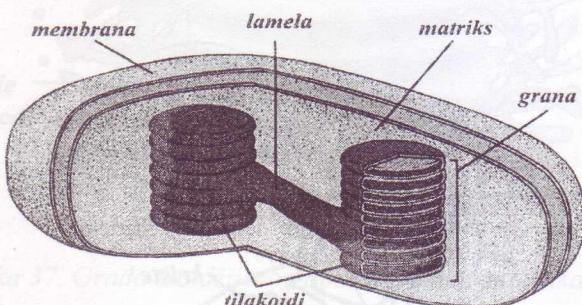
Slika 38. Građa mitohondrije

Osnovna uloga mitohondrija je u odvijanju procesa oksidativne fosforilacije. U matriksu mitohondrija nalaze se svi enzimi Krebsovog ciklusa pod čijim uticajem se vrši potpuna oksidacija pirogroždane kiseline, a na unutrašnjoj membrani nalaze se enzimi lanca disanja. Mitohondrije sadrže sopstvenu DNK što im omogućava samoreprodukciju u toku deobe. Imaju veliku autonomiju u ćeliji tako da svoju funkciju zadržavaju i nakon izdvajanja iz ćelije.

PLASTIDI

Plastidi su citoplazmatične organele kod algi i viših biljaka koje poseduju pigmente kao što je hlorofil i karotinoidi. To su mesta sinteze rezervnih hranjivih materija. Najpoznatiji tip plastida je hloroplast (slika 39).

Hloroplast sadrži hlorofil i koristi svetlosnu energiju za sintezu ugljenih hidrata i kiseonika iz vode i ugljendioksida. Oblik hloroplasta je najčešće ovalan, a može biti i peharast, mrežast, zrakast, zvezdast, spiralan, pločast i cilindričan. Veličina ovalnog hloroplasta je 2-4 μm u širinu i 5-10 μm u dužinu. Neke alge sadrže po jedan ogroman hloroplast koji popunjava veliki deo ćelije. Broj hloroplasta kod algi je 1-20, a kod biljaka do 100 u jednoj ćeliji. Hloroplasti su obavijeni dvojnom membranom, a unutrašnjost je ispunjena matriksom koji je nazvan *stroma*. Matriks (stroma) sadrži DNK, ribozome, masne kapi, granule skroba i kompleks unutrašnjih membrana koje se zovu *tilakoidi*. U matriksu algi može biti više tilakoida. Kod nekih algi nekoliko diskolikih tilakoida su grupisani u tvorevine koje se zovu *grane* (granum - zrnce).



Slika 37. Crno-bijela slika hloroplasta

Slika 38. Građa hloroplasta

Sinteza ugljenih hidrata iz vode i ugljendioksida (tamna faza fotosinteze) odvija se u matriksu. Korišćenje svetlosne energije u proizvodnji ATP, NADPH i kiseonika (svetla faza fotosinteze) lokalizованo je u tilakoidima gde se nalazi *hlorofil a*, *hlorofil b* i komponente transporta elektrona. Hloroplasti mnogih algi sadrže pirenoide u kojima se nalaze proteini, skrob i drugi polisaharidi, i oni učestvuju u sintezi polisaharida. Kod mrko-žutih algi plastidi su mrke ili žute boje (hromoplasti) i nazvani su i feoplasti. Mrka boja potiče od dopunskog pigmenta *fikoksantina*. Kod crvenih algi plastidi su crveni (rodoplasti), a boja potiče od dopunskog pigmenta crvene boje – *fikoeritrina*.

Kod *prokariotskih mikroorganizama* fotosintetski aparat se nalazi u hromatoforima koje su direktno vezane za citoplazminu membranu. Postoje tri grupe fotosintetskih bakterija: purpurne bakterije, zelene bakterije i cianobakterije. Purpurne i zelene bakterije kao izvor elektrona za redukciju NAD i NADP koriste sumpor vodonik, sumpor, vodonik i organske materije. Hlorofil u njihovim ćelijama zove se *bakteriohlorofil a i b*. One u procesu fotosinteze sintetišu ugljene hidrate, ali ne proizvode kiseonik. Sintetišu granule sumpora

koje se kod purpur Cianobakterije pos fikobiliproteine ka fikocianin, smešten ciklusu iz ugljen di

Vakuole su tel eukariotskih mikro sada su otkrivene t vakuole su karakter koja u ćeliju ulazi p podvrgava varenju jedinjenja koja nast se izbacuju napolje

Kontraktivne ravnoteže u ćeliji t nalaze se u ćelijama vodama.

Gasne vakuole anoksigenih fotot halofilnih bakterij *Microcystis* i *Rivularia* vakuolama cianob gasnih vakuola se p

Lizozomi su m protozoa, nekih a lipoproteinskom endoplazmatičnim aparatom. Hidroliti retikulumu transpor materija. Često se varenje usvojenih Goldžijev aparat k

koje se kod purpurnih bakterija talože u ćeliji, a kod zelenih u otkom ćelije. Cianobakterije poseduju hlorofil *a*. Kao i crvene alge, cianobakterije koriste fikobiliproteine kao dopunske pigmente. Fikobilinski pigmenti, prvenstveno fikocianin, smešteni su na zrncima koja se zovu fikobilizomi. U Calvinovom ciklusu iz ugljen dioksida i vode sintetišu glikogen i proizvode kiseonik.

VAKUOLE

Vakuole su telašca koja imaju lipoproteinsku opnu i nalaze se u ćeliji većine eukariotskih mikroorganizama i kod nekih bakterija, ali u starijoj fazi razvoja. Do sada su otkrivene tri vrste vakuola: kontraktivne, digestivne i gasne. *Digestivne* vakuole su karakteristične za protozoe. Formiraju se oko čvrste hranjive čestice koja u ćeliju ulazi preko usnog otvora – citostoma i ždrela - citofarinks, a zatim se podvrgava varenju. Varenje se odvija zahvaljujući hidrolitičkim enzimima. Prosta jedinjenja koja nastaju u toku varenja difunduju u citoplazmu, a nesvareni delovi se izbacuju napolje preko analnog otvora - citopiga. Nakon toga vakuola nestaje.

Kontraktivne ili pulzativne vakuole imaju ulogu održavanja acidobazne ravnoteže u ćeliji tako što izbacuju vodu i razne metabolite iz ćelije. Ove vakuole nalaze se u ćelijama svih slatkovodnih protozoa kao i kod nekih koje žive u slanim vodama.

Gasne vakuole ili aerosoli su ispunjene gasom. Nalaze se u ćelijama anoksiogenih fototrofnih bakterija, u ćelijama bezbojnih nitastih bakterija, halofilnih bakterija i cianobakterija. Kod cianobakterija iz rođova *Anabaena*, *Microcystis* i *Rivularia* gasne vakuole su ispunjene azotom. Zahvaljujući ovim vakuolama cianobakterije lebde u vodi. S povećanjem inteziteta svetlosti broj gasnih vakuola se povećava te se smatra da one štite ćeliju od prevelike insolacije.

LIZOZOMI

Lizozomi su mala sferična telašca veličine 50-500 nm. Nalaze se u citoplazmi protozoa, nekih algi, gljiva, biljaka i životinja. Obavijeni su jednoslojnom lipoproteinskom membranom. Njihovo funkcionisanje je povezano sa endoplazmatičnim retikulumom, digestivnim vakuolama i Goldžijevim aparatom. Hidrolitički enzimi koji se sintetišu na hraptavom endoplazmatičnom retikulumu transportuju se u lizozome gde se vrši intraćelijska digestija hranjivih materija. Često se lizozomi spajaju sa hranjivom vakuolom i tako potpomažu varenje usvojenih čestica. Nesvareni delovi hrane iz lizozoma se transportuju u Goldžijev aparat koji ima sekretornu ulogu.