



Fiziologija mikroorganizama

- Pitanja:
- Šta je metabolizam?
- Šta je anabolizam?
- Šta je katabolizam?
- Koje hranjive materije koriste mikroorganizmi kao izvore energije?
- Koje hranjive materije koristi najveći broj mikroorganizama?
- Kako mikroorganizmi razlažu celulozu?
- Kako mikroorganizmi razlažu skrob?
- Koja su tri načina razlaganja glukoze u prvoj fazi i objasni ih? Koji je od njih zastupljen kod većine mikroorganizama?
- Koja je druga faza razlaganja glukoze?
- Kako nastaju aerobne fermentacije?
- Koje su aerobne fermentacije najzastupljenije?
- Kako nastaju anaerobne fermentacije?
- Koje su anaerobne fermentacije najzastupljenije?
- Objasni aerobno disanje (ciklus trikarbonskih kiselina)
- Koje su najznačajnije bakterije mlečne kiseline i gdje su našle primjenu?
- Kako mikroorganizmi vrše razgradnju proteina?
- Kako mikroorganizmi vrše razgradnju masti?
- Kako mikroorganizmi dobijaju energiju iz neorganskih jedinjenja?
- Šta je fotosinteza?
- Gdje se nalazi hlorofil kod prokariota, a gdje kod eukariota?
- Iz čega se sastoje masti?
- Iz čega se sastoje proteini?
- Iz čega se sastoje ugljeni hidrati?
- Kako mikroorganizmi sintetišu ugljene hidrate?
- Kako mikroorganizmi sintetišu masti?
- Kako mikroorganizmi sintetišu bjelančevine?

- Fiziologija mikroorganizama izučava biohemijske aktivnosti mikroorganizama, pri čemu se obezbjeđuju glavne funkcije: rastenje i razmnožavanje.
- Razmjenom materija sa spoljašnjom sredinom mikroorganizmi doprinose kruženju azota, ugljenika, sumpora, fosfora i drugih materija, a time i održanju biološke ravnoteže u prirodi.

- Pod **metabolizmom** mikroorganizama, kao i drugih organizama, podrazumijeva se skup svih biohemijskih reakcija koje se odvijaju u ćeliji.
- **Katabolizam**
- **Anabolizam**

- **Katabolizam**- dio metabolizma u kojem se vrši razgradnja hranjivih materija-ugljenih hidrata, masti i bjelančevina, na račun reakcija **oksidacije**, pri čemu se izdvaja **energija**.

Anabolizam - dio metabolizma u kojem se vrši sinteza kompleksnih jedinjenja iz prostijih uz utrošak energije.

- Sastav ćelije mikroorganizama:
- Voda: 75-90%
- Suva materija: 10-25%
- Voda se u ćeliji uglavnom nalazi u slobodnom obliku.
- Voda omogućava odvijanje svih metaboličkih procesa u ćeliji, a ako dođe do izdvajanja vode iz ćelije, mikroorganizam prelazi u stanje anabioze ili u gine.

- Suvu materiju čine:
- organska jedinjenja (80-90%)
- i neorganska jedinjenja
- Od organskih jedinjenja najviše ima proteinskih materija:
- nukleoproteina,
- polipeptida
- i aminokiselina

- Hemijski sastav hranjivih materija je sličan hemijskom sastavu ćelije mikroorganizama.
- Međutim, mikroorganizmi mogu da sintetišu i supstance kojih nema u hrani.

Vrste i izvori hranjivih materija za mikroorganizme:

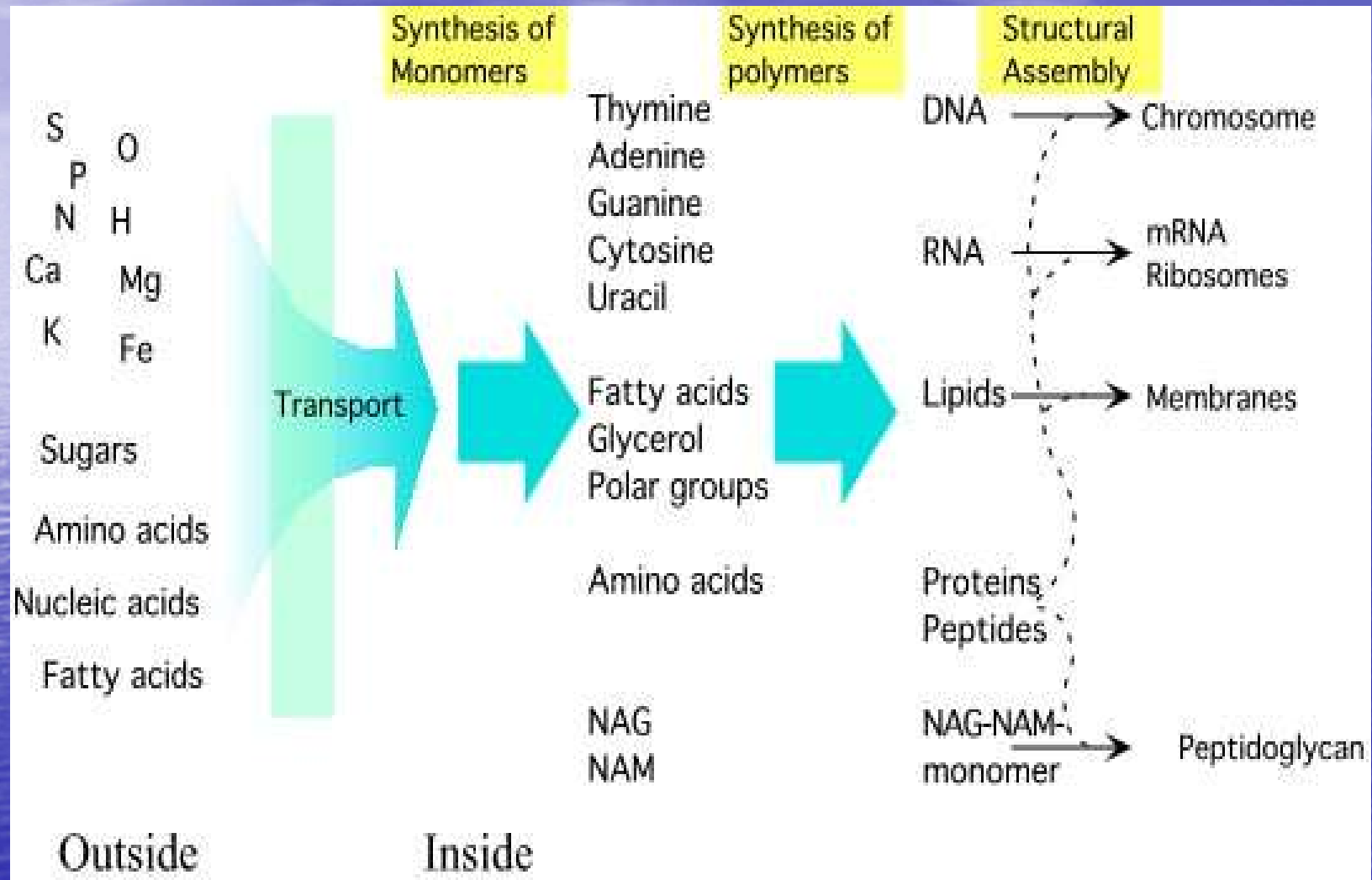
Mikroorganizmi mogu, zavisno od njihovih osobina i potreba, da usvajaju organske i neorganske materije.

U sastav tih materija ulaze makro i mikroelementi.

● **Makroelementi** se usvajaju u većim količinama i koriste se za izgradnju organskih jedinjenja u ćeliji. Ovdje spadaju:

- Ugljenik (C)
- Azot (N)
- Fosfor (P)
- Sumpor (S)
- Vodonik (H)
- Kiseonik (O),
- Kalijum (K)
- Magnezijum (Mg),
- Kalcijum (Ca)
- Gvožđe (Fe)

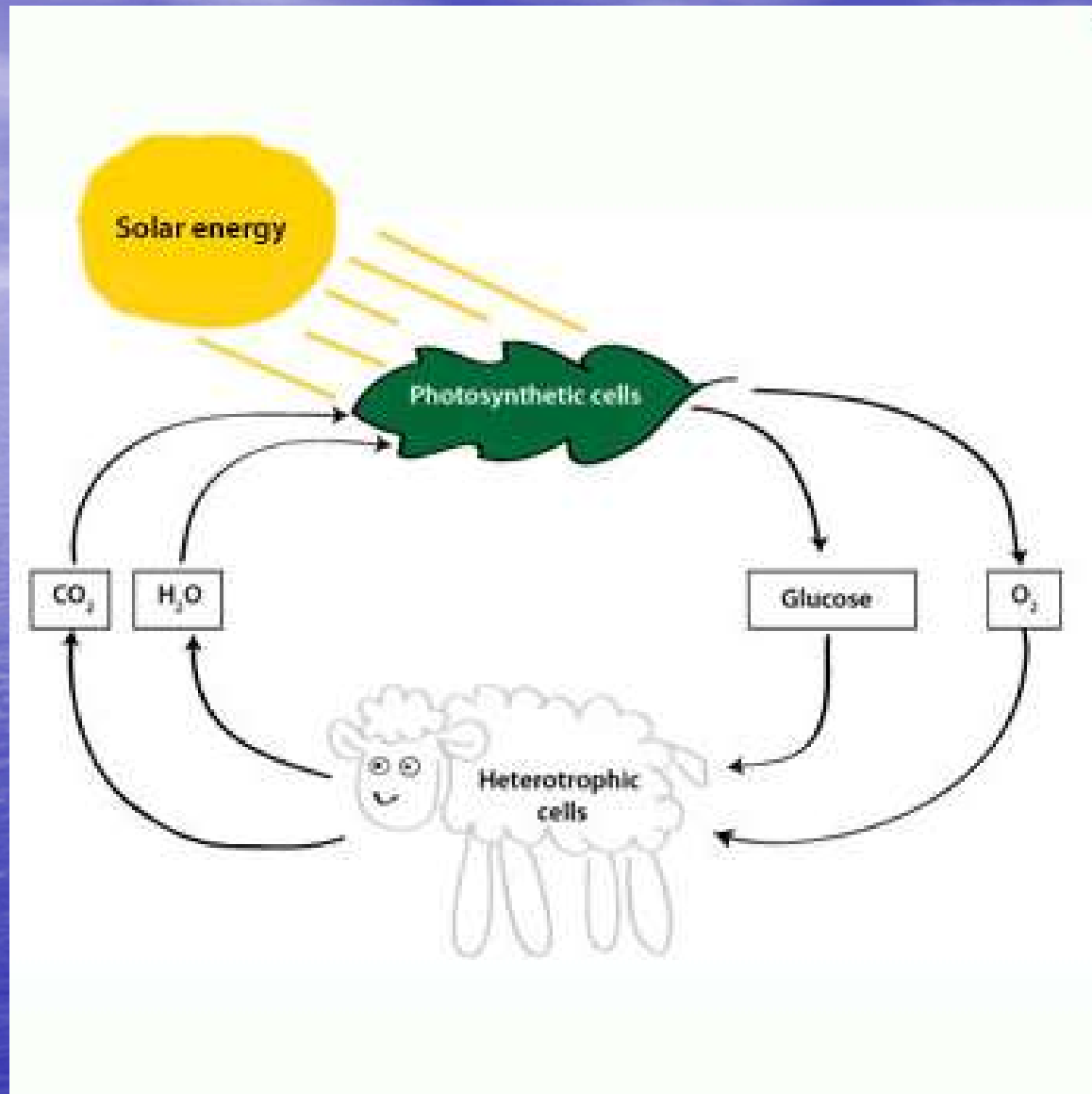
- Usvajanje makroelemenata



- *Izvori ugljenika:*

- Ugljenik je jedan od najvažnijih makroelemenata u ishrani mikroorganizama.

- Čini oko 50% suve materije ćelije.



- **Izvori azota:**

- Azot se u prirodi nalazi:

- U organskom obliku i

- U neorganskom obliku

- Organski oblici azota su:

- proteini

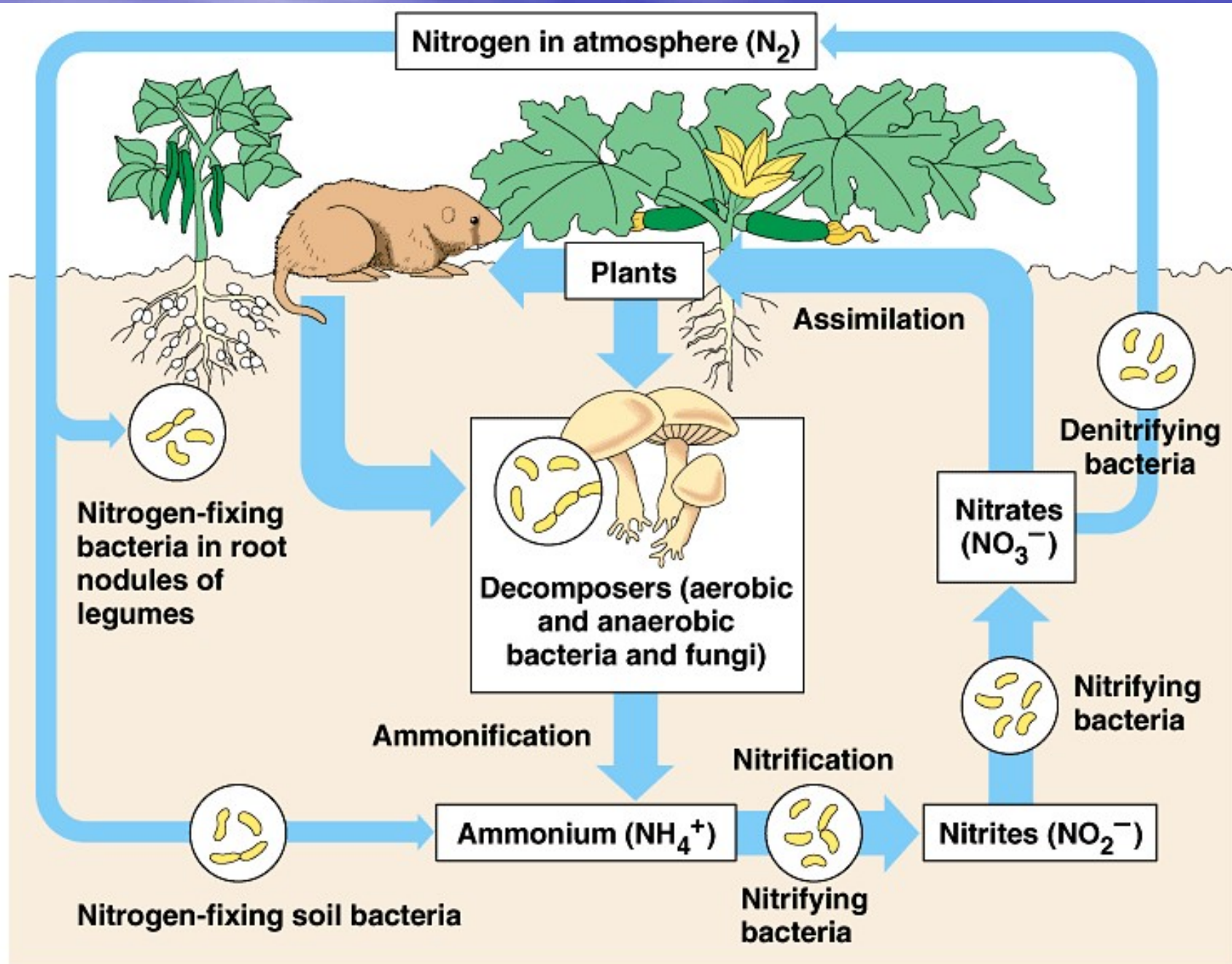
- aminokiseline

- nukleinske kiseline

- Mikroorganizmi koji koriste organske oblike azota zovu se ***aminoheterotrofi.***

- Amonijačni oblik azota koriste nitrifikatori za dobijanje energije i neki drugi mikroorganizmi za biosintezu aminokiselina.
- Nitratne, nitritne i gasovite oblike azota koriste denitrifikatori kao akceptore elektrona.
- Pored toga, mnogi mikroorganizmi usvajaju nitrate i koriste ih u biosintezi.
- Elementarni azot koristi posebna grupa mikroorganizama-azotofiksatori i prevode ga u amonijačni oblik koji se i naknadno uključuje u biosintezu proteina kod biljaka.

- Aminoautotrofni i aminoheterotrofni mikroorganizmi omogućavaju kruženje azota u prirodi.



- **Izvori sumpora i fosfora:**
- U prirodi se nalaze u organskom i neorganskom obliku
- **Organski oblici sumpora** su proteini koji sadrže aminokiseline sa sumporom:
- Cistin
- Cistein
- Metionin
- **Neorganski oblici sumpora** u zemljištu su:
- Vodonik sulfid
- Elementarni sumpor
- Sulfati -soli sumporne kiseline

- Mikroorganizmi mogu da koriste i organske i neorganske izvore sumpora.
- Organska jedinjenja sumpora se transformišu do sumpor vodonika
- Sumpor vodonik je izvor energije samo za neke grupe mikroorganizama. Oni ga oksidišu do elementarnog sumpora, a elementarni sumpor oksidišu do sulfata.
- Sulfati se usvajaju od strane biljaka i mikroroganizama koji ih koriste za biosinteze u ćeliji.

- Organski oblici fosfora su:

- Nukleoproteidi

- ATP

- Neorganski oblici fosfora su solii fosforne kiseline- fosfati.

- U anaerobnim sredinama ga ima u gasovitom obliku-fosfitu.

- Mikroroganizmi fosfor koriste i iz organskih i iz neorganskih jedinjenja.

- Organski fosfor fosfomineralizatori transformišu do fosfata. Fosfati se usvajaju od strane biljaka, životinja ili mikroorganizama i uključuju u metabolizam ćelije.
- Dio fosfata se može vezati za kalcijum u zemljištu pri čemu prelazi u nepristupačne trikalcijum fosfate, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.
- Neki mikroorganizmi koriste kalcijum iz ovih jedinjenja i na taj način oslobađaju fosfor (fosfomobilizatori)

- Kalijum pomaže procese sporulacije, regulator je usvajanja hranjivih materija.
- Kalcijum vrši aktivaciju enzima, reguliše pH ćelije, ubrzava rast micelija kod gljiva.
- Magnezijum je konstitutivni element u hlorofilu, stimuliše sintezu nukleoproteina.
- Molibden stimuliše procese azotofiksacije i nitrifikacije.
- Cink učestvuje u sintezi antibiotika i pigmenata.
- Bakar utiče na pigmentaciju spora, služi kao aktivator enzima i pomaže sintezu limunske kiseline u toku respiracije *Aspergillus niger*.

- **Izvori ostalih elemenata:**
- Ostali makro i mikroelementi se uglavnom nalaze u neorganskom obliku kao soli različitih neorganskih kiselina.
- Iz tih jedinjenja ih usvajaju i mikroorganizmi
- Ovi elementi ulaze u sastav enzima i ćelijskog zida i stimulišu razne procese u ćeliji.
- Tako gvožđe ulazi u sastav citohroma i katalizira oksido-redukzione reakcije

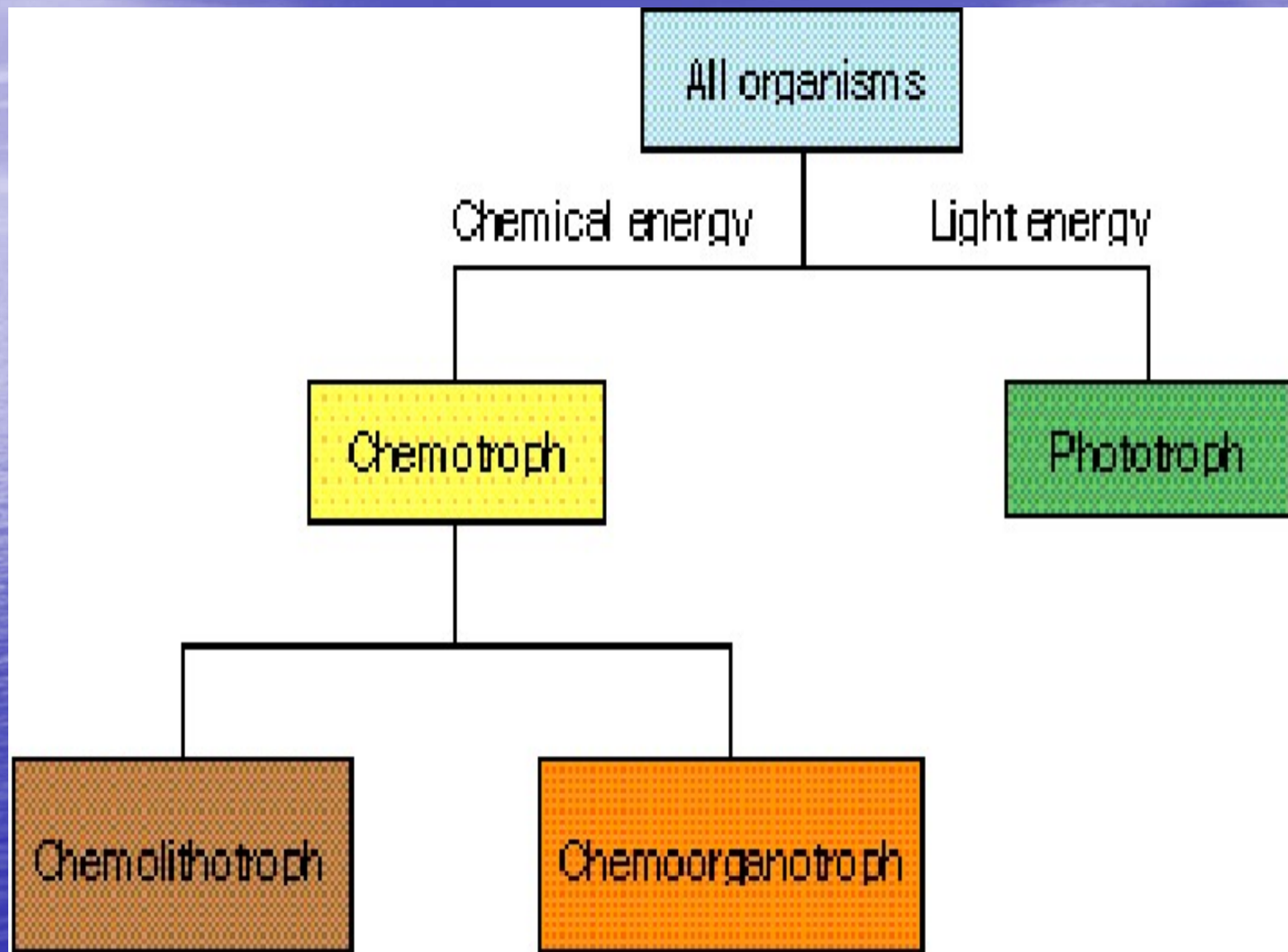
- Mikroorganizmi u ishrani
- koriste neorganska i
- organska jedinjenja ugljenika, pa se na osnovu toga dijele na:
 - Autotrofe
 - Heterotrofe
 - Miksotrofe

- **Autotrofni mikroorganizmi:**
- Ugljenik usvajaju ***iz CO₂ ili karbonata*** i iz njih izgrađuju organska jedinjenja
- Za sintezu organskih jedinjenja autotrofni mikroorganizmi troše:
- Svjetlosnu energiju (***fototrofi***), ili
- Hemijsku energiju (***hemotrofi***)

- Fototrofni mikroorganizmi koriste energiju sunčeve svjetlosti.
- Sinteza organske materije iz CO₂ i vode korišćenjem svjetlosti zove se **fotosinteza.**
- U ovu grupu mikroorganizama spadaju:
 - Cianobakteije
 - Zelene i
 - Purpurne sumporne bakterije

- Hemotrofni mikroorganizmi energiju za sintezu organske materije iz CO_2 dobijaju oksidacijom neorganskih i organskih jedinjenja.
- Hemolitotrofni
- Hemoorganotrofni

- Izvori energije za mikroorganizme



- **Hemolitotrofni mikroorganizmi** - oksidiraju neorganska jedinjenja (nitrifikatori, koji energiju dobijaju oksidacijom amonijaka, sumporne bakterije koje energiju dobijaju oksidacijom elementarnog sumpora i sumporovodonika, vodonične bakterije koje energiju dobijaju oksidacijom vodonika i gvožđevite bakterije koje oksidiraju fero (Fe^{2+}) u feri (Fe^{3+}) gvožđe.
- **Hemoorganotrofni mikroorganizmi** - radi dobijanja energije vrše oksidaciju organskih jedinjenja (veliki broj mikroorganizama koji žive u zemljištu)

- ***Heterotrofni mikroorganizmi***- ugljenik usvajaju iz organskih jedinjenja- ugljenih hidrata, proteina i masti.
- Veoma su značajni jer vrše mineralizaciju organskih jedinjenja do biljnih asimilativa, pa tako omogućavaju kruženje materije.
- Heterotrofni mikroorganizmi koji ugljenik koriste iz mrtve organske materije zovu se saprofiti
- Oni koji koriste ugljenik iz živog organizma zovu se paraziti.

- Miksotrofni mikroorganizmi -mogu da koriste i organske i neorganske izvore ugljenika.
- Ako se nađu u sredini sa više organske materije i bez prisustva sunčeve svjetlosti, ovi mikroorganizmi prelaze na heterotrofan način ishrane.
- Isto tako, ako se nađu u sredini sa dovoljno svjetlosti, prelaze na autotrofan način ishrane.
- U ovu grupu mikroorganizama spadaju:
- Zelene flagelate, sumporne i gvožđevite bakterije, propionske bakterije idr.

- Aminoheterotrofi razlažu složena organska jedinjenja do aminokiselina i amonijaka, koji se koristi za biosintezu proteina ili se uključuje u dalje mikrobiološke transformacije.
- Neorganski oblici azota su:
- Nitriti
- Nitrati
- Azotsuboksid
- Azotmonoksid
- Elementarni azot
- Mikroroganzimi koji koriste neorganske izvore azota su *aminoautotrofi*.

- Razmjena materija sa okolinom

- Ćelijska membrana mikroorganizama je **selektivno propustljiva** što ćeliji omogućava da kontroliše razmjenu materija i tako štiti stalnost sastava unutrašnje sredine.
- Postoje dva osnovna načina kojima ćelija obavlja razmjenu materija sa okolnom sredinom:
- transport malih molekula kroz membranu
- citoza - unošenje i izbacivanje krupnih molekula u čemu sama membrana aktivno učestvuje, što se može uočiti pod mikroskopom; procesi se nazivaju endocitoza i egzocitoza.

- **Transport malih molekula kroz membranu**

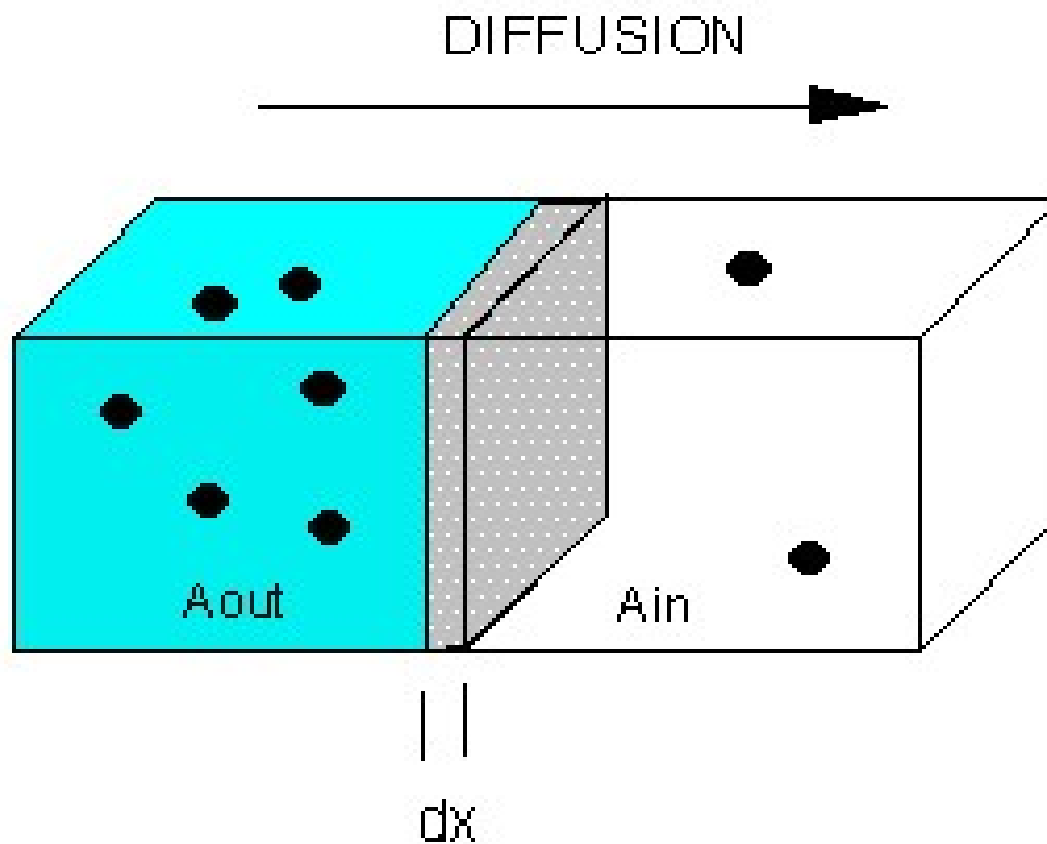
- Mali rastvoreni molekuli u ćeliji mikroorganizama prolaze kroz citoplazminu membranu na dva načina:
 - pasivno (pasivni transport)
 - aktivno (aktivni transport)

- **Pasivan transport**

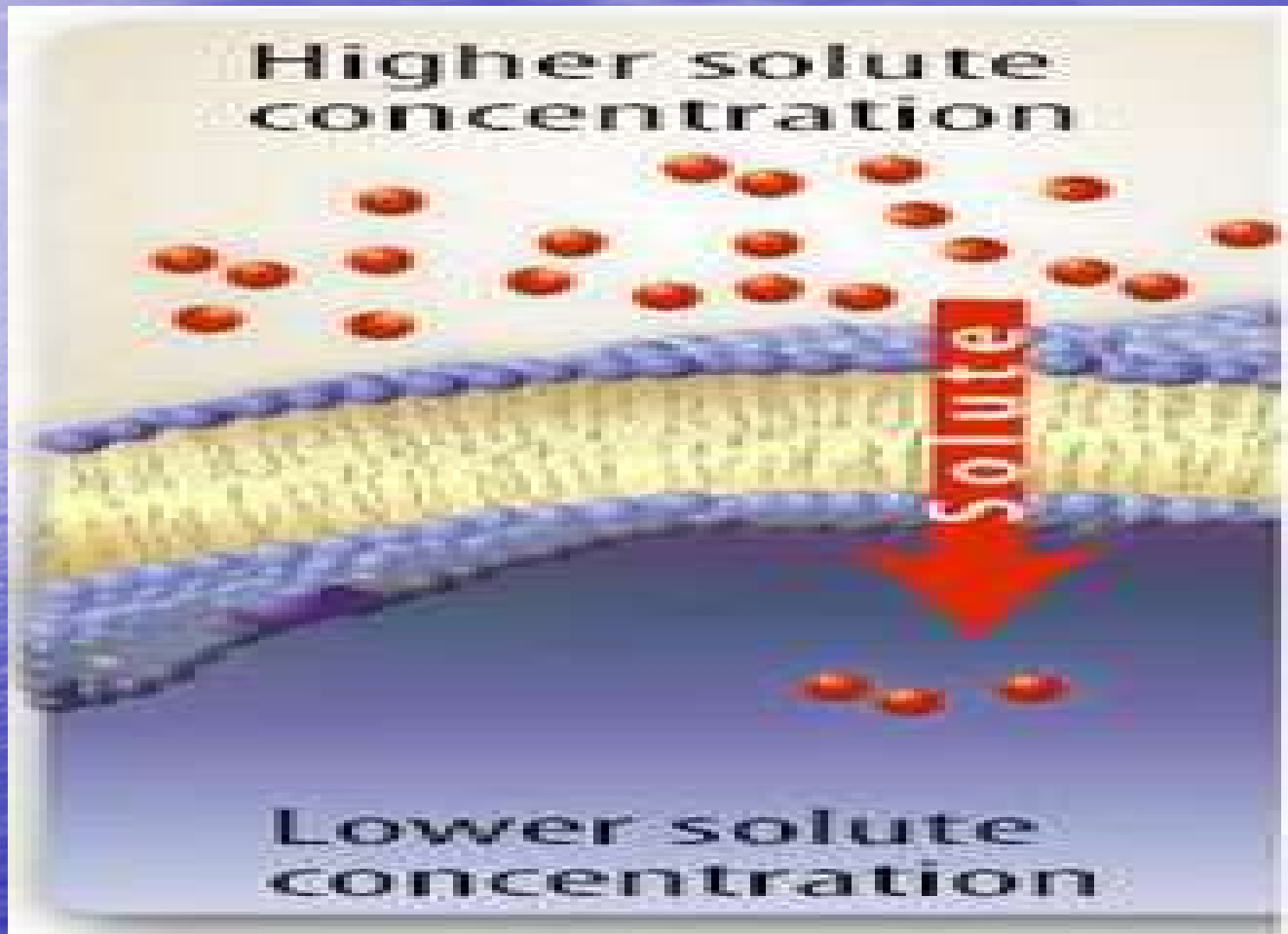
- Pri pasivnom transportu rastvorene hranjive materije se kreću kroz membranu zahvaljujući **razlici u koncentraciji** sa jedne i druge strane membrane, pri čemu se ne troši energija.
- Oblici pasivnog transporta su:
 - **Pasivna difuzija**
 - **Osmoza i**
 - **Olakšana difuzija.**

- Pasivna difuzija se odvija kroz citoplazminu membranu sve dok se koncentracije supstanci ne izjednače.
- Pasivnom difuzijom u ćeliju se unose kiseonik i ugljendioksid.

- Pasivna difuzija

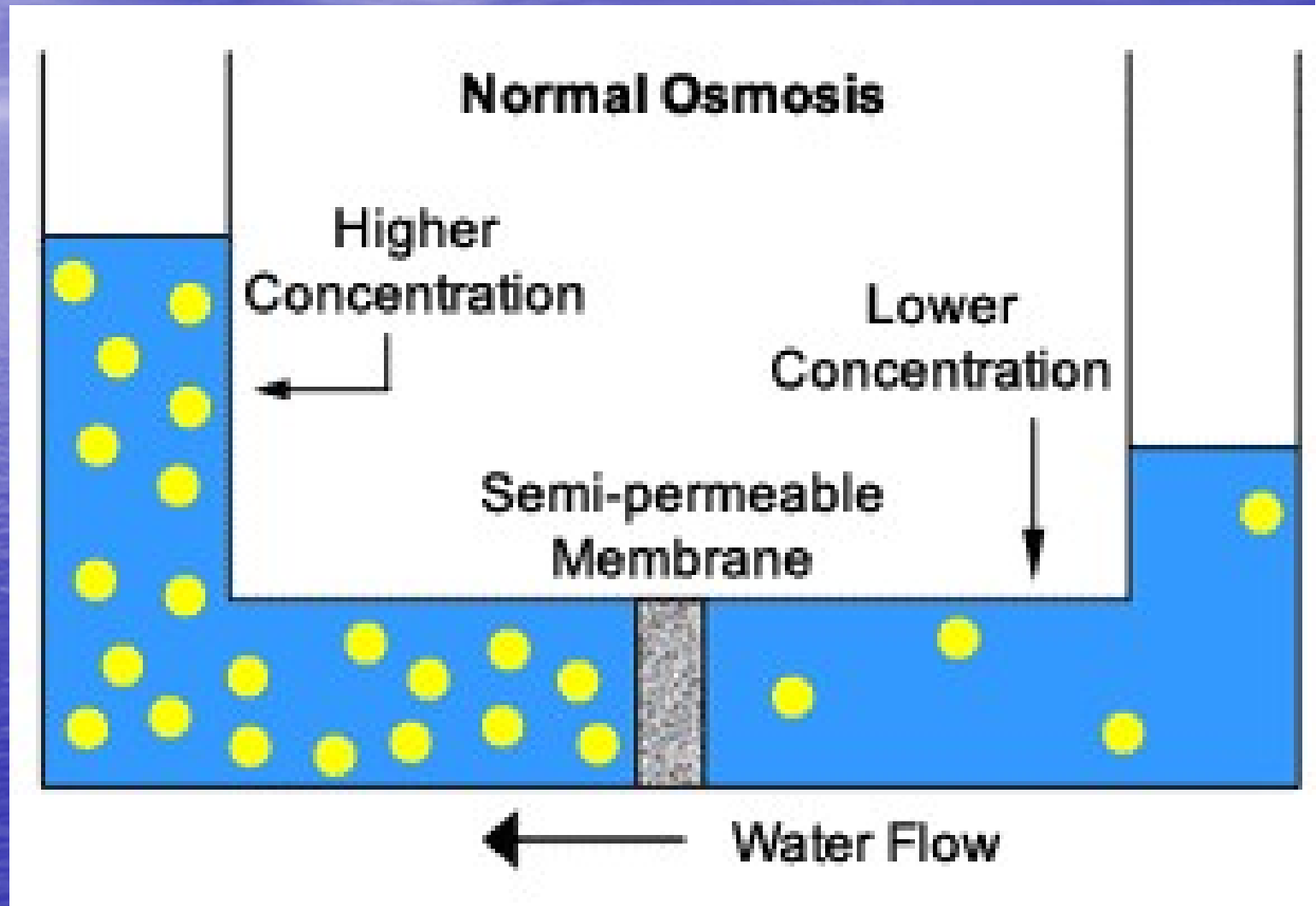


- Pasivna difuzija



- Paralelno sa procesom difuzije odvija se i proces osmoze.
- Osmoza je vrsta pasivnog transporta koji podrazumijeva transport vode.
- Voda u ćeliju ulazi ako je koncentracija supstanci u ćeliji veća nego u spoljnoj sredini
- Plazmoptiza je pojava bubrenja ćelije u hipotoničnim rastvorima
- Plazmoliza je pojava isušivanja ćelije u hipertoničnim rastvorima

- Osmoza

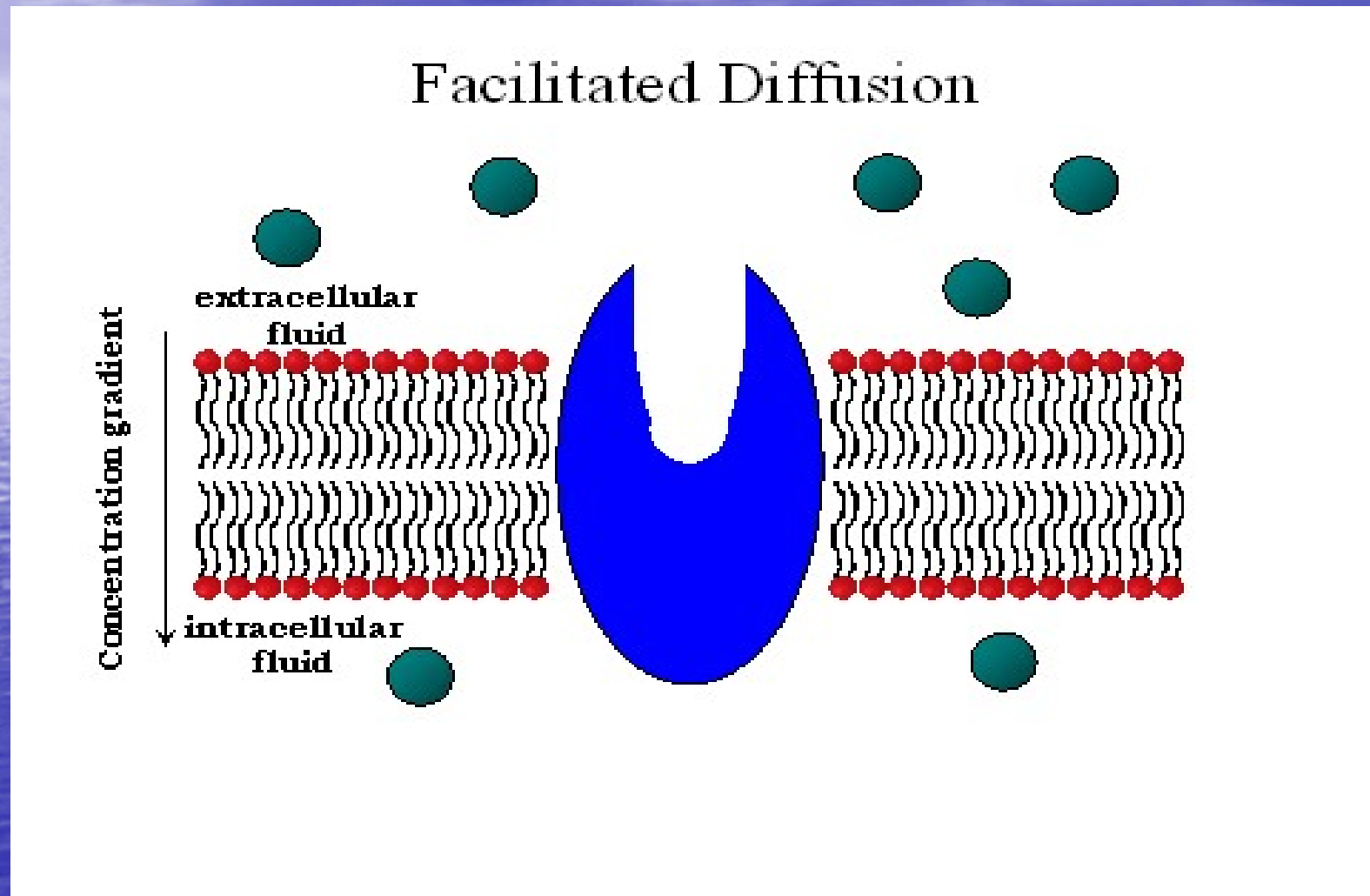


– Olakšana difuzija

- Olakšana difuzija je specifičan oblik difuzije koji se odvija uz pomoć permeaza (proteinskih nosača), bez utroška energije.
- Permeaze se vezuju sa jedinjenjima na površini citoplazmine membrane obrazujući kompleks koji difunduje kroz membranu na unutrašnju stranu membrane.
- Nakon toga permeaza slobodno difunduje na spoljnu stranu citoplazmine membrane i ponovo vezuje novi molekul određenog jedinjenja.

- Olakšana difuzija ne zahtijeva utrošak energije, s obzirom da je koncentracija hranjivih materija veća u spoljnoj sredini.
- Olakšanom difuzijom ćelija se takođe oslobađa različitih produkata metabolizma.

- Olakšana difuzija

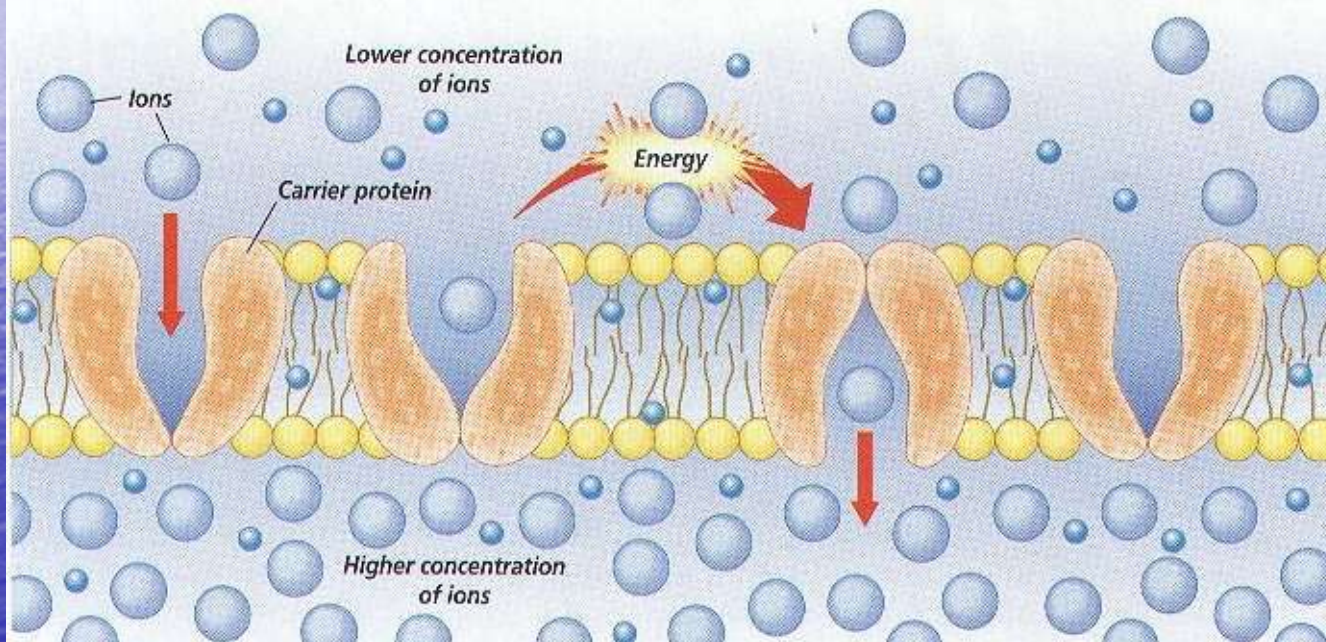


- Za brzo odvijanje metabolizma potrebna je velika količina energije. Ovu količinu energije mikroorganizmi mogu dobiti samo bržim usvajanjem hranjivih materija iz spoljne sredine.
- Brzo usvajanje hranjivih materija vrši se putem aktivnog transporta, koji omogućuje ćeliji da akumulira veću koncentraciju hranjivih materija nego što je ona van ćelije.

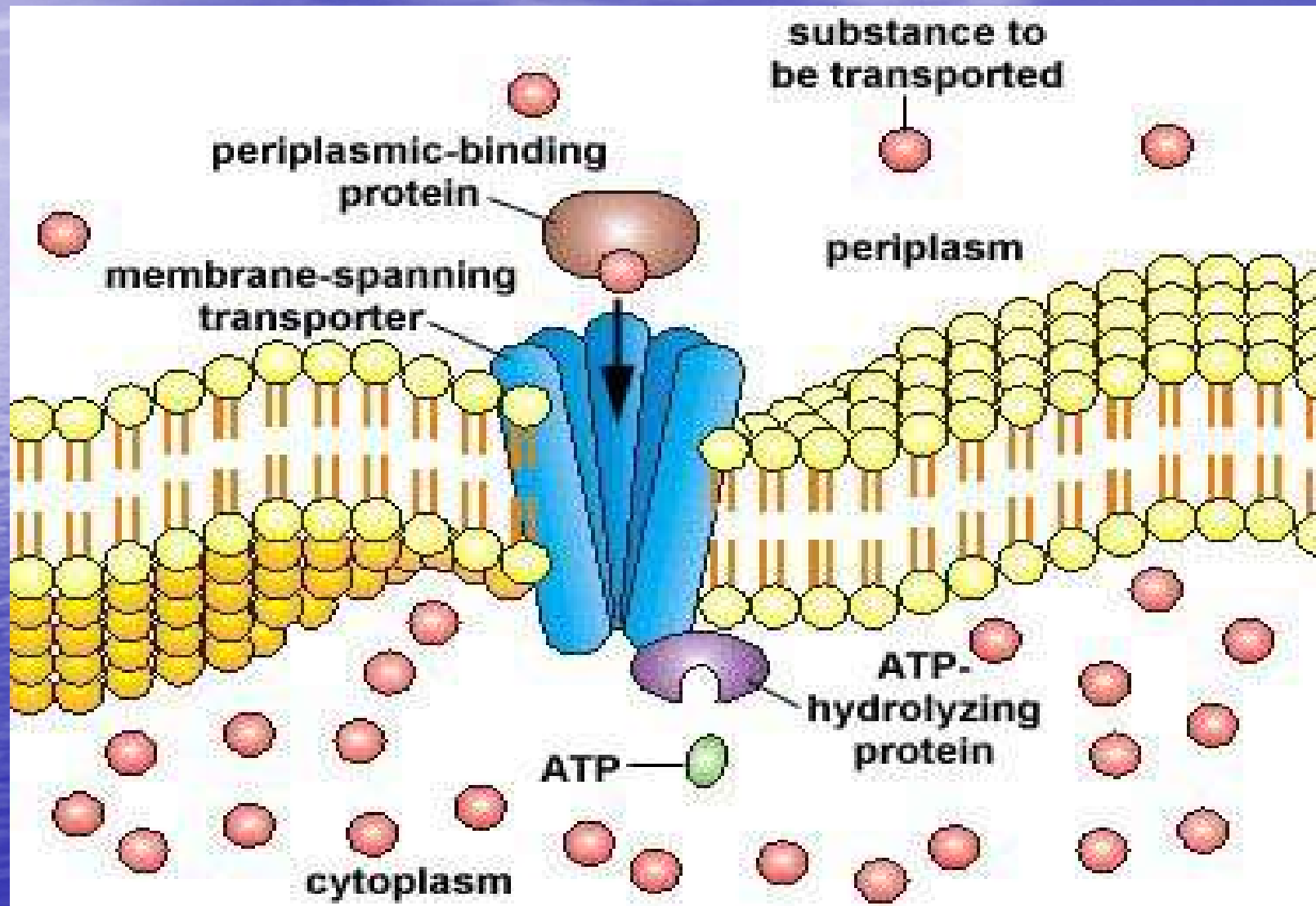
- Aktivni transport:
- Aktivni transport predstavlja prenošenje hranjivih materija u pravcu veće koncentracije uz pomoć proteina nosača i uz utrošak energije.

Aktivni transport

Carrier proteins are used in active transport to pick up ions or molecules from near the cell membrane, carry them across the membrane, and release them on the other side. Active transport requires energy.



- Aktivni transport



- 2. Prenos grupa- podrazumijeva hemijsku promjenu supstance prilikom prolaza kroz citoplazminu membranu.
- Proces prenosa se vrši tako što se supstanca predhodno fosforiliše (najčešće pomoću fosfoenol pirogroždane kiseline), zatim se veže za proteinske prenosioce i uz pomoć specifičnih enzima se prenosi u ćeliju.
- U ćeliji se vrši njeno odvajanje od prenosioaca i defosforilacija.
- Oslobođeni fosfor se koristi za procese u ćeliji, a hranjiva supstanca se uključuje u metaboličke procese.

- Na ovaj način većina prokariotskih mikroorganizama usvaja glukozu, fruktozu, manitol, celobiozu, N-acetilglukozamin idr.

- Makromolekuli kao što su proteini, polisaharidi, polinukleotidi ili cijele ćelije (npr. bakterije) ne mogu prolaziti kroz membranu ni jednim od navedenih tipova transporta.
- Unošenje i izlučivanje velikih molekula obavlja se aktivnim učešćem membrane, pri čemu ona obrazuje vezikule. Ti procesi se nazivaju endocitoza i egzocitoza.
- Proces unošenja makromolekula naziva se endocitoza, dok se izbacivanje specifičnih proizvoda ćelije ili nekih drugih materija van ćelije naziva egzocitoza.

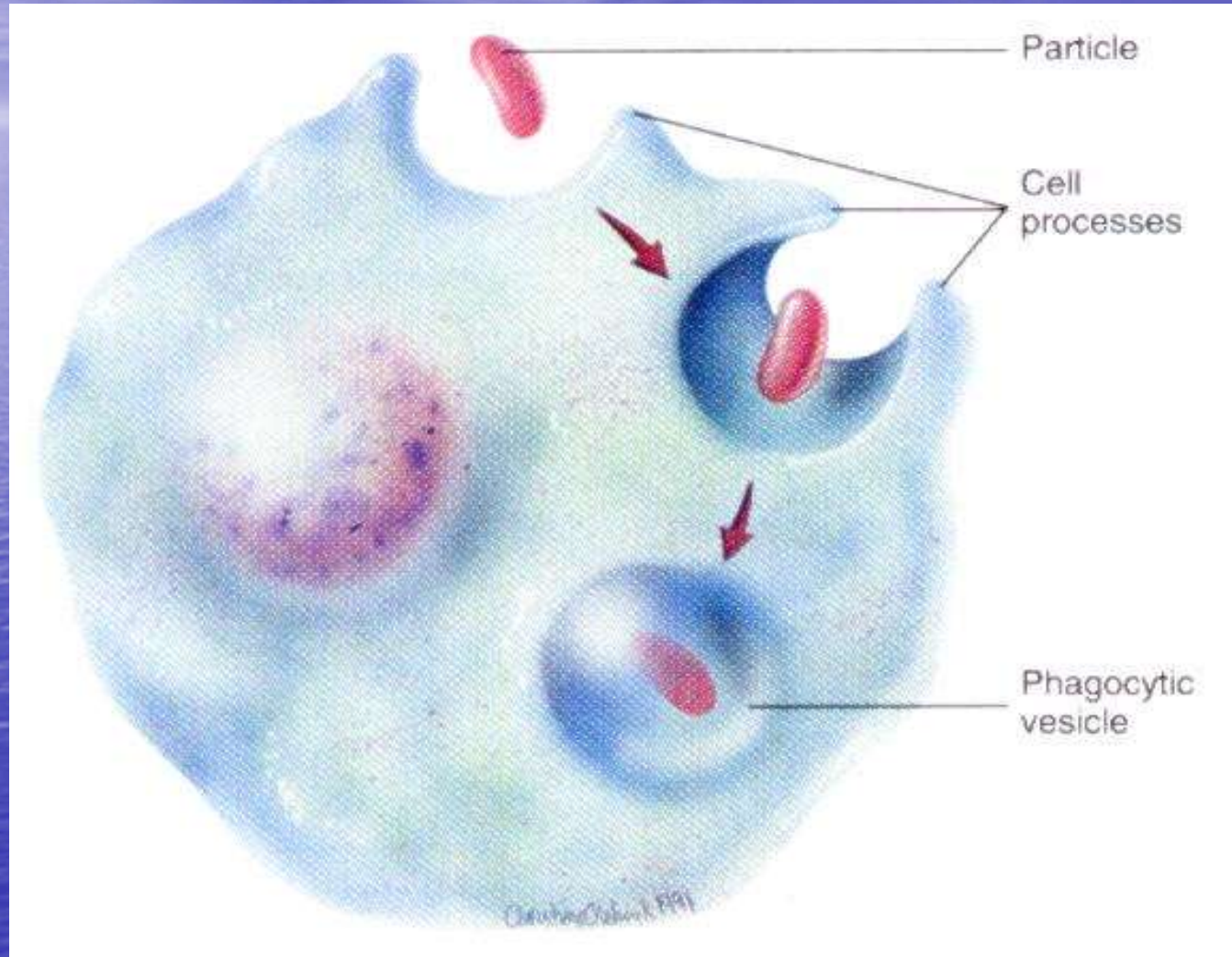
- **Endocitoza**

- Pri endocitozi dolazi stvaranja udubljenja na membrani, u koje ulazi materija koja treba da se unese u ćeliju. Udubljenje se sve više spušta u unutrašnjost ćelije, a zatim se ivice membrane spoje i oko unijete materije se obrazuje vezikula
- Endocitoza obuhvata dva procesa:
- **fagocitozu** - unošenje krupnih čestica (grč. phagein = jesti) i
- **pinocitozu** - unošenje vode i manjih rastvorenih molekula (grč. pino = piti).

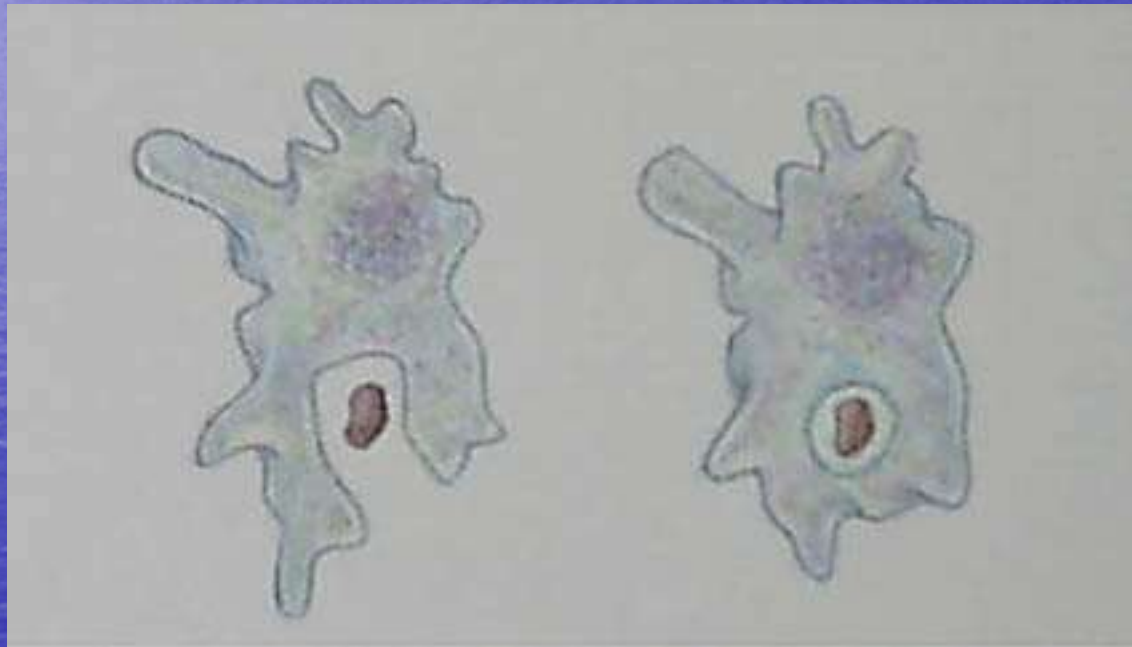
- Fagocitoza je zastupljena kod protozoa koje kroz primitivni usni otvor (citostom) uvlače čvrstu hranjivu česticu i u ćeliji oko nje formiraju hranjivu vakuolu. Nakon što se usvojena čestica svari, nepotrebni i neprerađeni sastojci se izbacuju iz ćelije kroz analni otvor-citopig.

- Pinocitozom ćelije najčešće uzimaju vodu i druge manje molekule rastvorene u vodi.
- Dok skoro sve vrste ćelija unose tečnosti i rastvorene molekule pinocitozom, fagocitozu mogu da vrše samo posebne ćelije-fagociti.

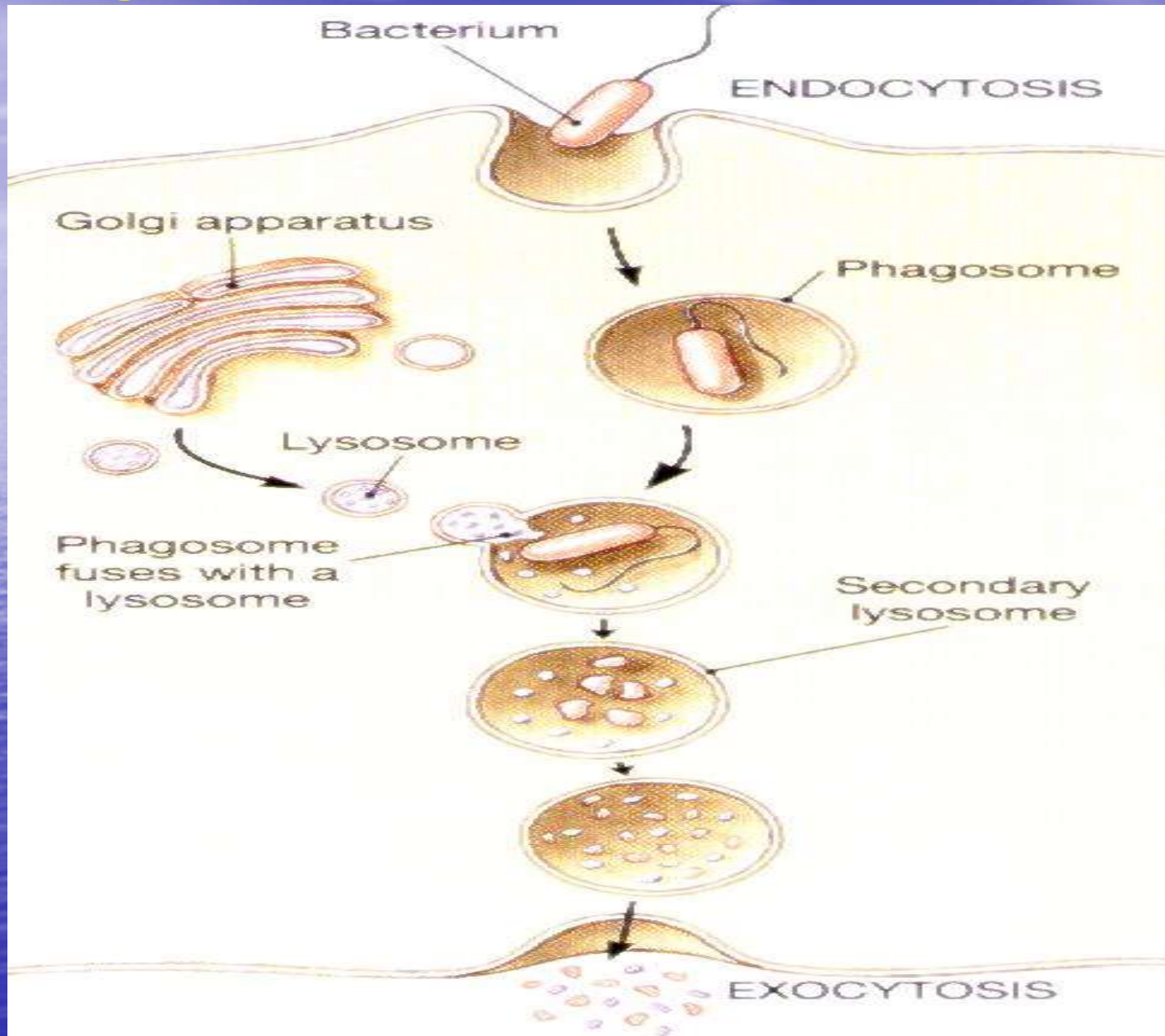
- Fagocitoza



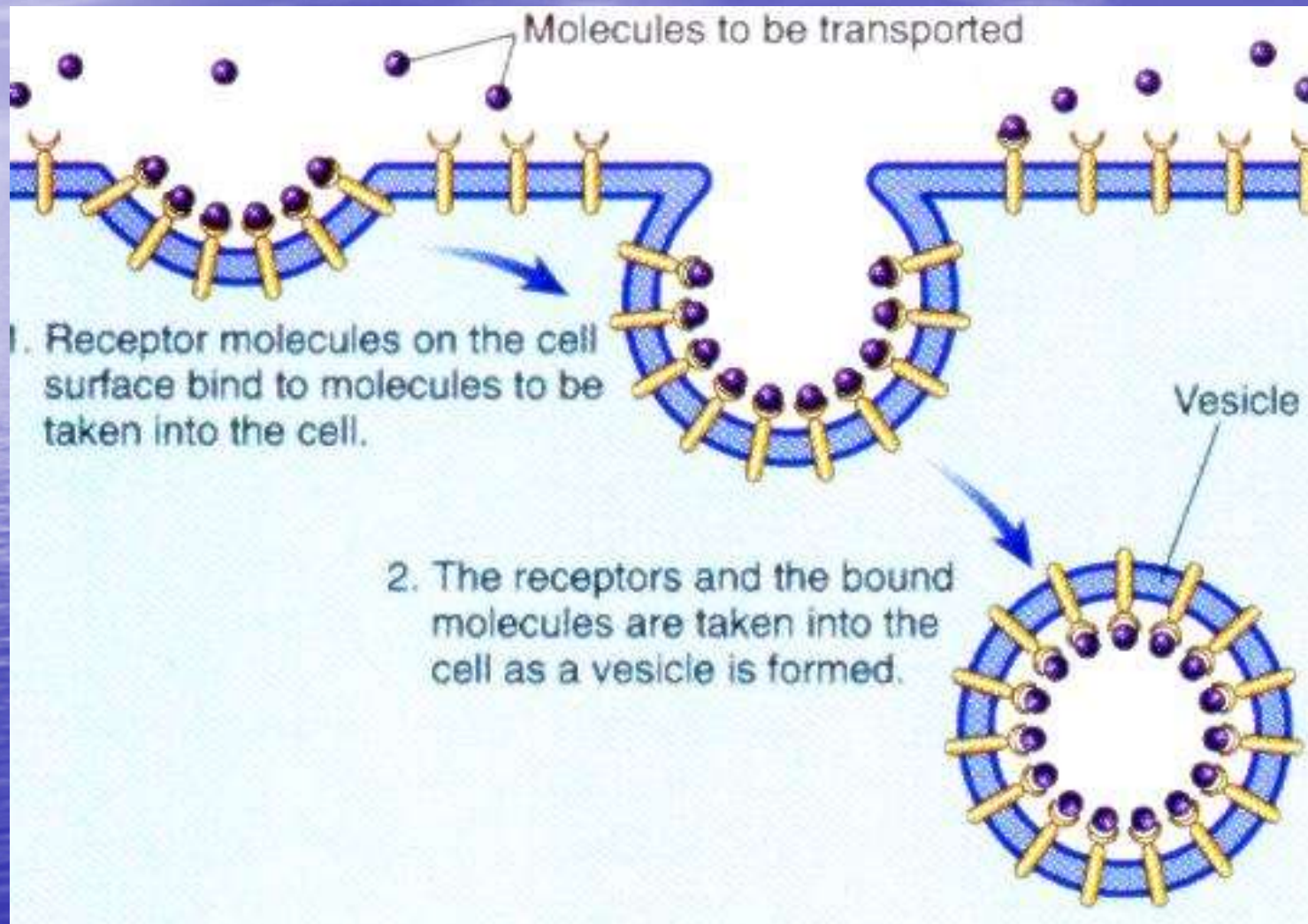
Ishrana amebe



- Fagocitoza



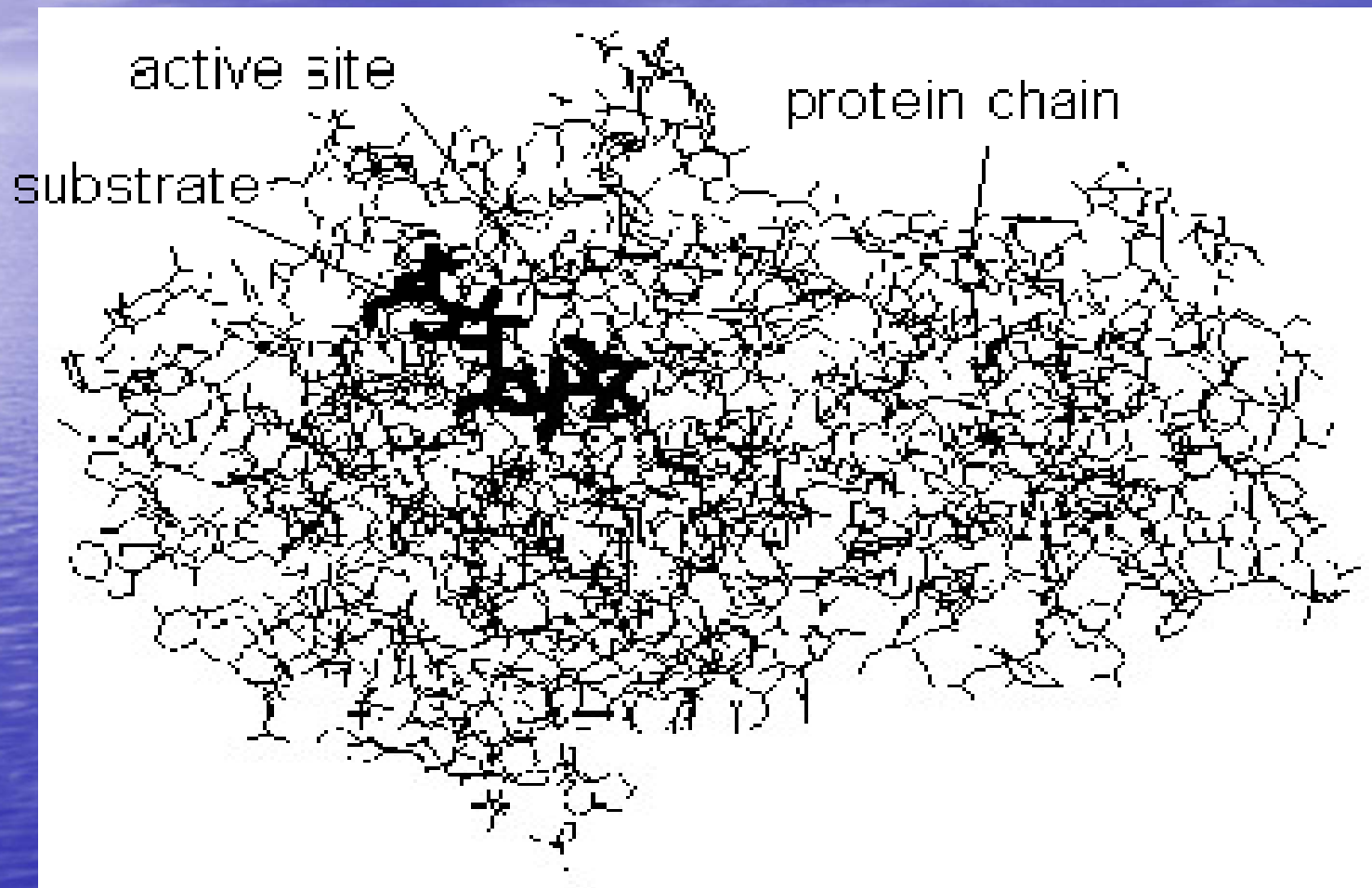
- Pinocitoza



- ENZIMI MIKROORGANIZAMA
- Enzimi su biološki katalizatori hemijskih reakcija
- Mijenjaju brzinu biohemijskih reakcija
- Po strukturi su proteini
- Djeluju u malim količinama
- Iz reakcije izlaze nepromijenjeni
- Visoko su specifični

- Neki enzimi se sastoje od jednog makromolekula proteina.
- Kod drugih, aktivnost je uslovljena postojanjem drugih manjih organskih molekula, uz molekule proteina, koji se zovu koenzimi.
- Ukoliko su ovi mali molekuli jače vezani za proteinski dio enzima, zovu se prostetične grupe.
- Oni su po svojoj strukturi veoma različiti: nukleotidi, vitamini, metali.

- Građa enzima

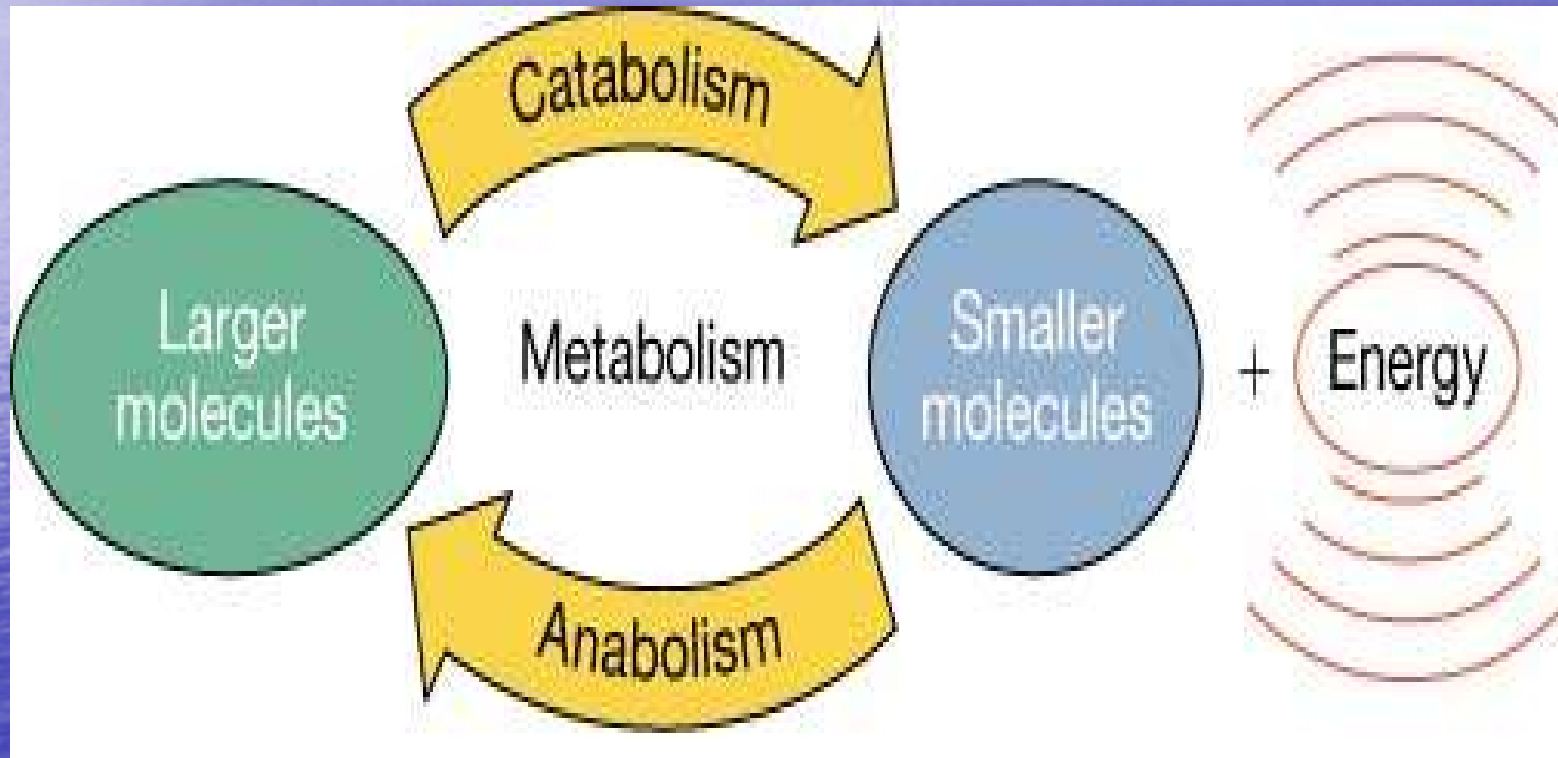


- Koenzim određuje tip reakcije koja se katalizuje, dok proteinski dio uslovljava specifičnost prema supstratu.
- Tako je NAD koenzim koji primajući i otpuštajući protone i elektrone učestvuje u oksidacijama.
- Zavisno od proteinskog dijela on može da učestvuje u oksidaciji različitih supstrata. Znači da isti koenzim može da bude sastavni dio više enzima.

- Enzim reaguje sa supstratom, dajući aktivirani supstrat-enzim kompleks.
- Poslije razlaganja kompleksa, enzim se regeneriše i sposoban je ponovo za reakciju.

- Prema reakcijama koje katališu enzimi se mogu podijeliti u šest grupa i to:
- 1. Oksidoreduktaze-katalizuju reakcije oksidacije i redukcije
- 2. Transferaze-regulišu prenošenje pojedinih grupa
- Lijaze- katalizuju kidanje različitih hemijskih veza bez prisustva vode.
- Hidrolaze- katalizuju reakcije hidrolize
- Ligaze (sintetaze)-katalizuju sintezu organskih jedinjenja.

- Anabolizam i katabolizam



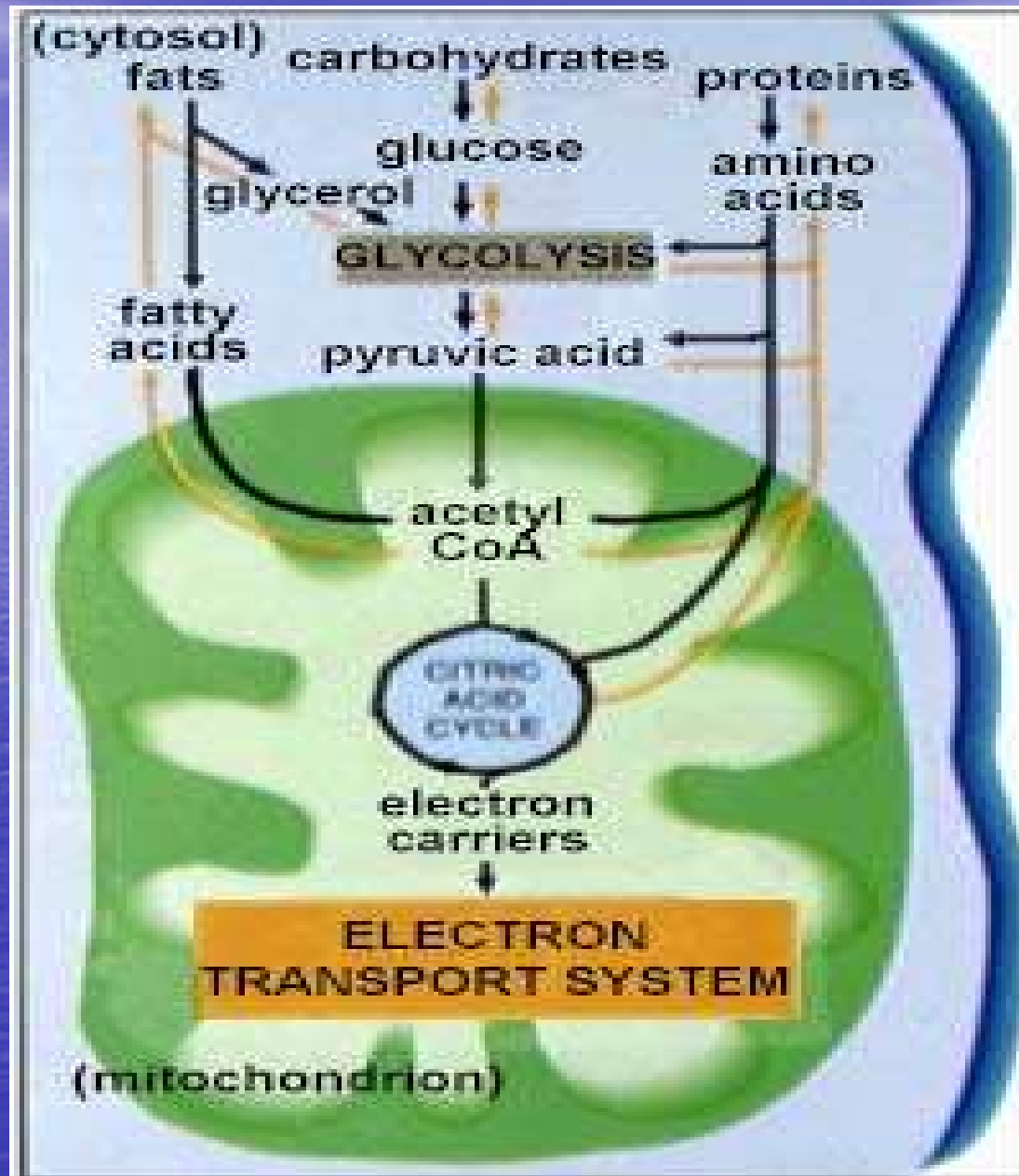
KATABOLIZAM

- **Katabolizam**- dio metabolizma u kojem se vrši razgradnja hranjivih materija-ugljenih hidrata, masti i bjelančevina, na račun reakcija **oksidacije**, pri čemu se izdvaja **energija**.

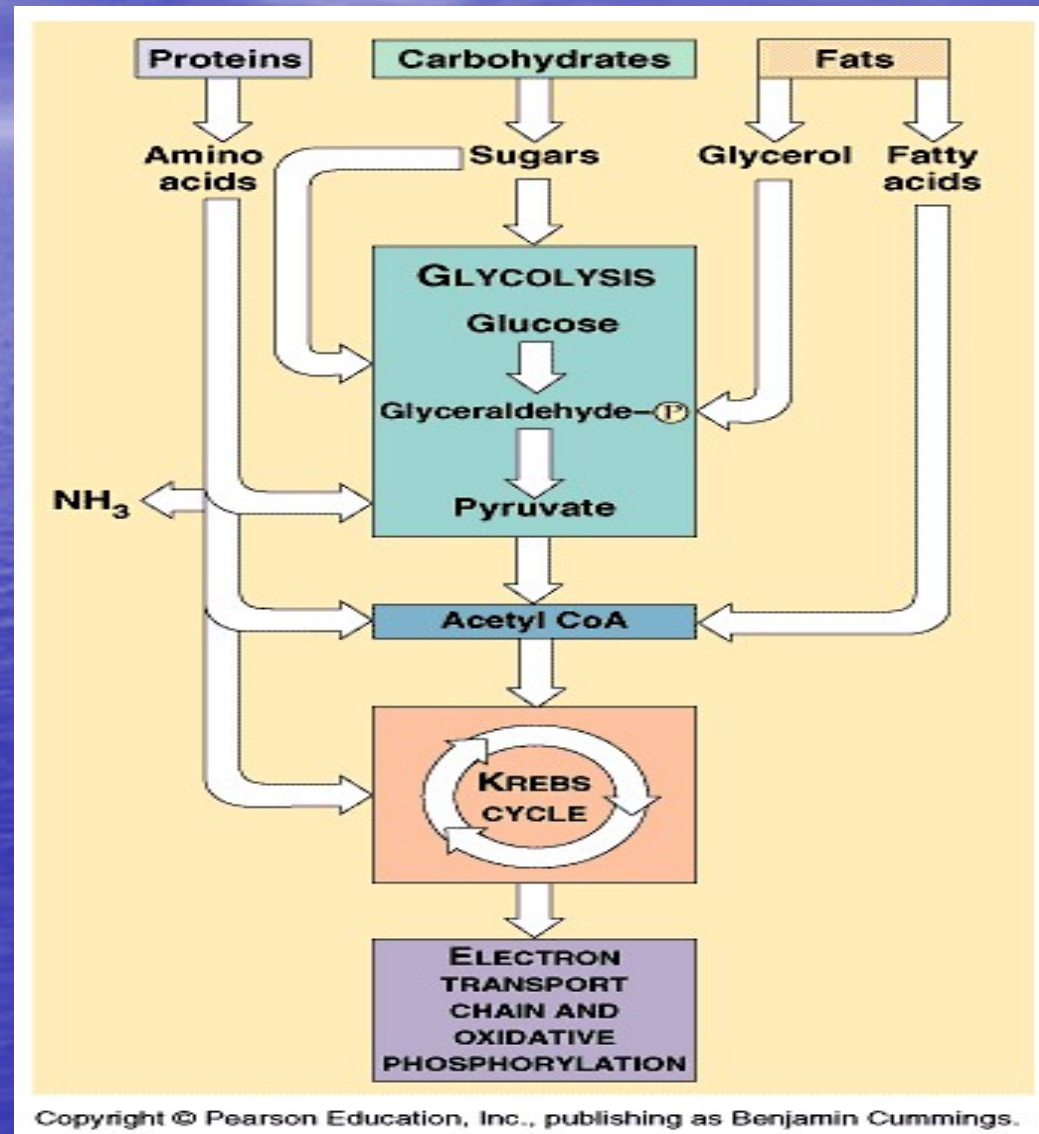
• **KATABOLIZAM**

- Mikroorganizmi energiju dobijaju na tri načina:
- Oksidacijom organskih jedinjenja (hemoorganotrofi)
- Oksidacijom neorganskih jedinjenja (hemolitotrofi)
- U procesu fotosinteze (fototrofi)

- Katabolizam



- Katabolizam



- Materije koje mikroorganizmi oksidišu i koriste kao izvor energije su donori elektrona i vodonika.
- Ako se koriste i kao izvori hranjivih elemenata, to su ujedno i supstrati.
- Elektroni se prenose na akceptore koji kod mikroroganzama mogu biti različiti.

- Anaerobna fermentacija:
- Oslobođeni elektroni se prenose na jedinjenja tipa ketona (npr. pirogroždana kiselina) ili aldehida (npr. acetaldehid).

- Disanje (respiracija):
- Ako se oksidacija substrata odvija uz prisustvo egzogenog akceptora elektrona.

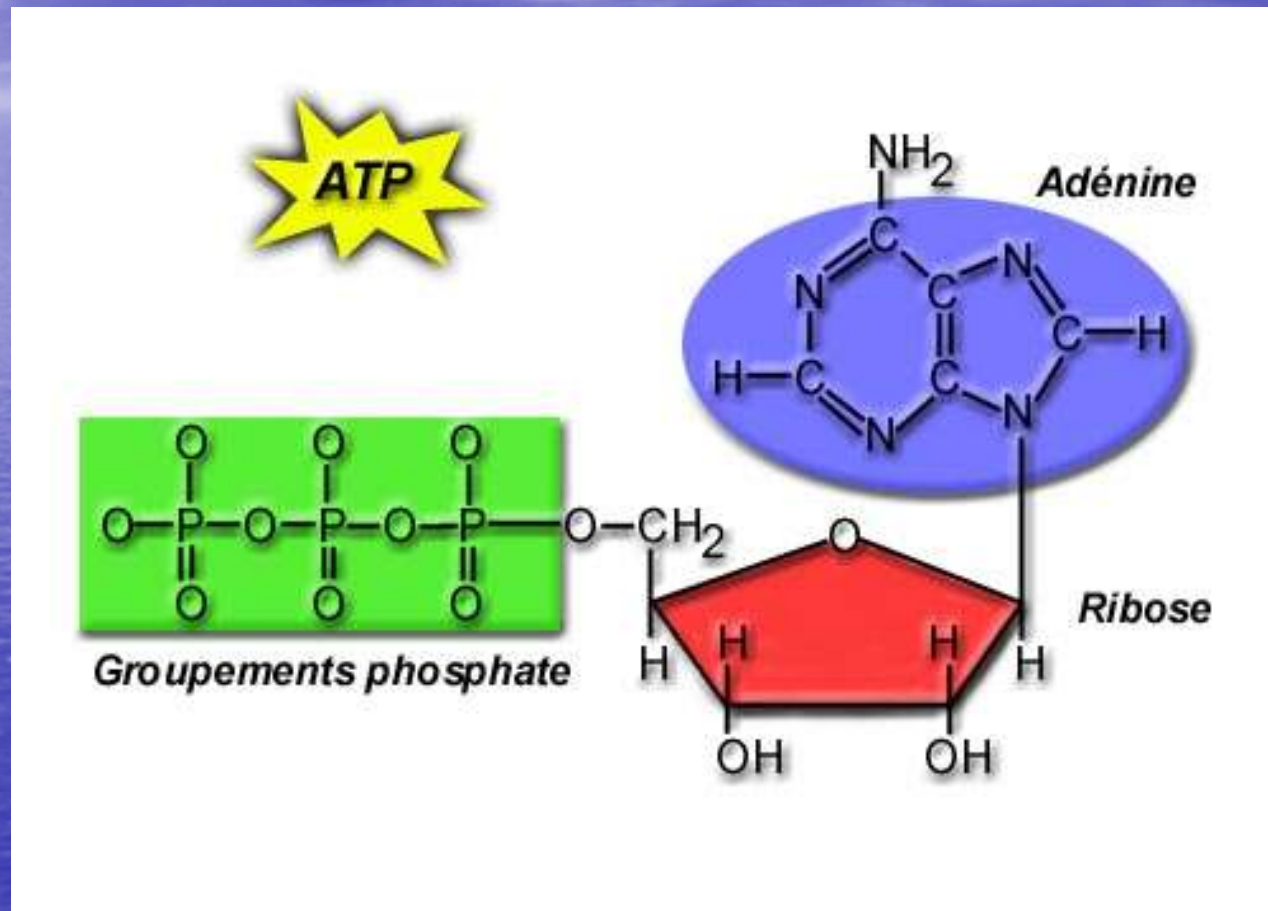
- U aerobnim disanjima (respiracijama) akceptor elektrona je kiseonik koji u ćeliju ulazi iz spoljne sredine.
- Elektroni se od donora do akceptora prenose preko enzima lanca disanja, a kao rezultat oksido-redukcionih reakcija oslobađa se energija vezana za ATP.

- Aerobne respiracije odvijaju se u tri etape:
- U prvoj etapi se veliki molekuli hidrolizuju na gradivne jedinice, pri čemu se ne oslobađa velika količina energije. (npr. Razgradnja celuloze do glukoze)
- U drugoj etapi gradivne jedinice se uz učesće CoA, NAD, FAD, razgrađuju na prostije molekule, kao što su pirogroždana kiselina i kiseline iz Krebsovog ciklusa. U ovoj fazi oslobodi se i dio energije u vidu ATP pošto se dio elektrona prenosi na akceptor.

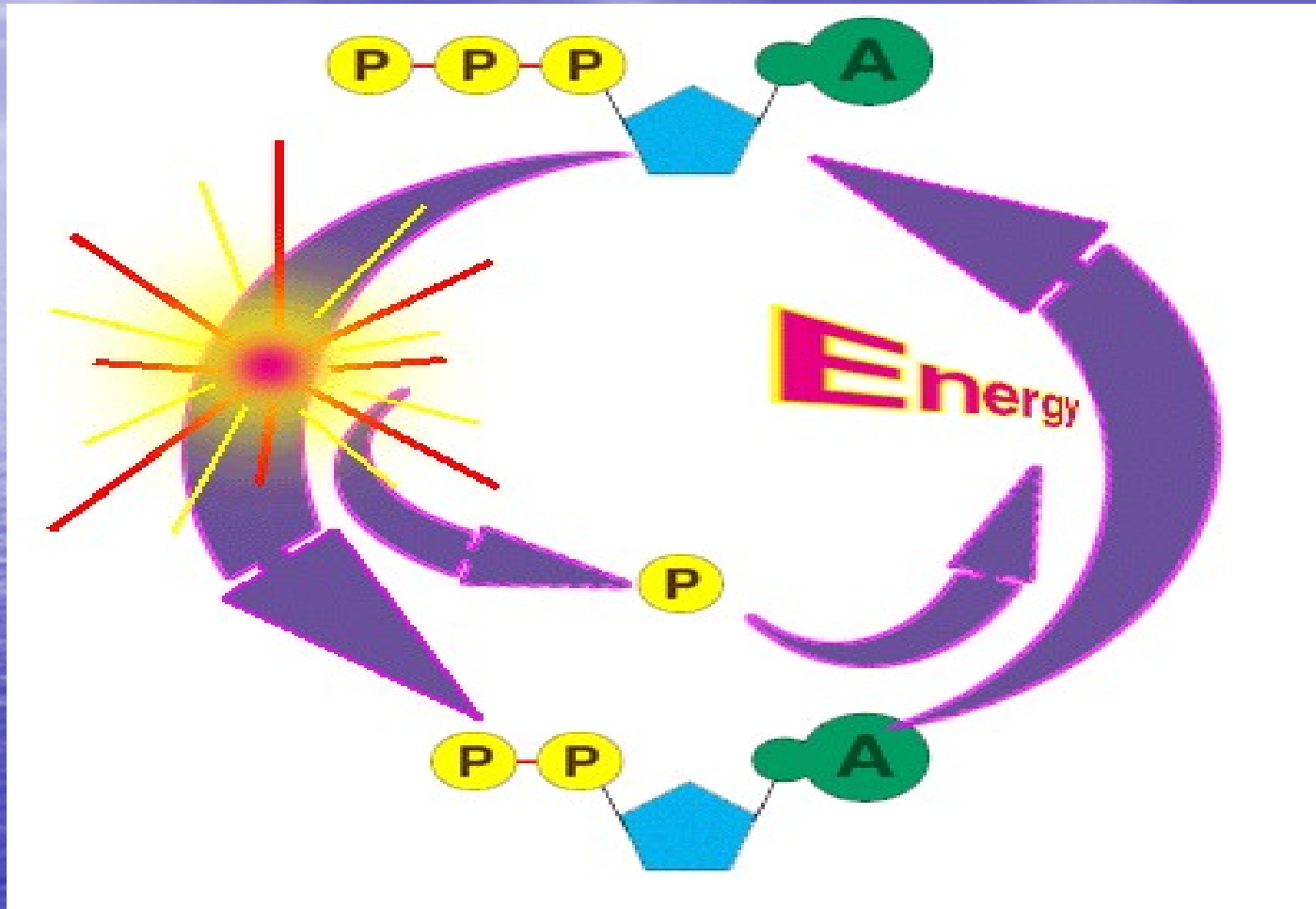
- U trećoj etapi, kod mikroorganizama koji vrše potpunu biološku oksidaciju, substrat se oksiduje do CO₂ uz izdvajanje NADH i FADH₂ i oslobađanje velike količine energije koju ćelija koristi u anabolizmu.

- U anaerobnim disanjima (respiracijama) akceptori elektrona su oksidisana neorganska jedinjenja (NO_3^- , SO_2^- , Fe_3^+ , CO_2 , SeO_4). Količina energije u ovim respiracijama je manja i zavisi od vrste mikroorganizama.
- Energija koja se oslobađa u toku katabolizma akumulira se u visoko energetska jedinjenja: ATP, CoA, GTP, UDP idr.

- ATP



- ATP



- ATP (adenozin trifosfat) je makromolekul koji u ćeliji predstavlja izvor energije. Energija je uskladištena u visoko energetske veze između drugog i trećeg fosfata. Oslobođena energija se koristi za biosinteze i druge potrebe ćelije, a resinteza ATP odvija se zahvaljujući aerobnim i anaerobnim respiracijama i fermentacijama.

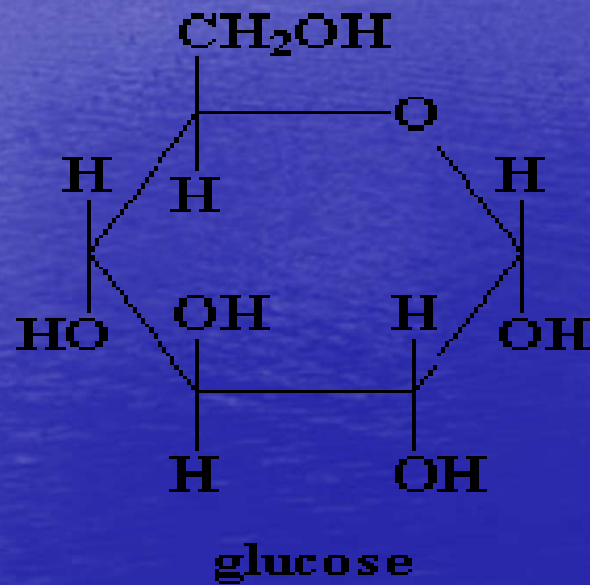
- CoA (koenzim A) je jedinjenje koje uvodi ugljenik iz pirogroždane kiseline u Krebsov ciklus pri čemu prelazi u acetil-CoA.
- GTP (guanozin trifosfat) je koenzim fosfoenolpiruvat karboksilaze-kinaze. To je makroenergetsko jedinjenje kod koga je energija akumulirana kao i kod ATP između drugog i trećeg fosfata.
- UDP (uridin difosfat) je makroenergetsko jedinjenje koje katalizuje biosinteze polisaharida iz glukoze. Energija je vezana između dva fosfata.

- Razlaganje ugljenih hidrata:
- Najveći broj mikroorganizama kao substrat koriste ugljene hidrate-polisaharide i monosaharide.
- Polisaharidi (celuloza, skrob, glikogen idr) su građeni od velikog broja molekula monosaharida.
- Ovi krupni molekuli ne mogu da uđu u ćeliju mikroorganizama.
- Zato mikroorganizmi u spoljnu sredinu izdvajaju enzime koji omogućuju razgradnju složenih jedinjenja na njihove gradivne jedinice.

Najčešća gradivna jedinica polisaharida je glukoza.

Glukoza se putem prenosa grupa unosi kroz citoplazminu membranu u ćeliju gdje se podvrgava procesima razgradnje čiji je krajnji rezultat dobijanje energije i jedinjenja koje ćelija koristi u biosintezama.

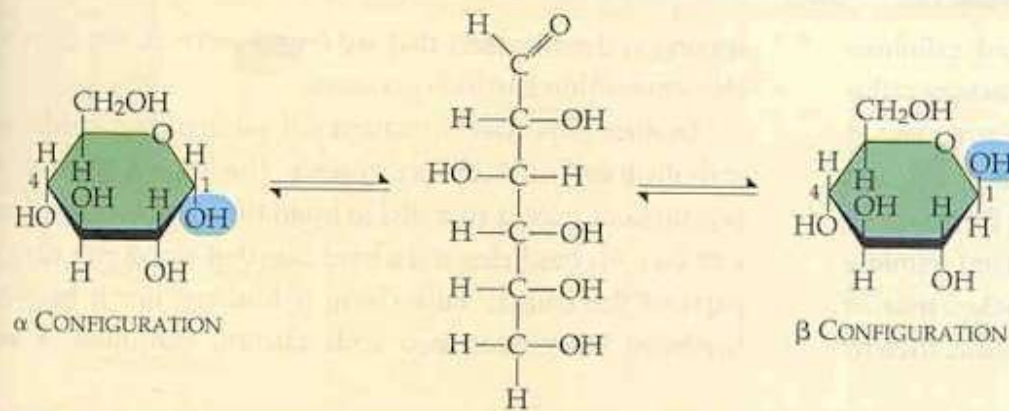
- Glukoza



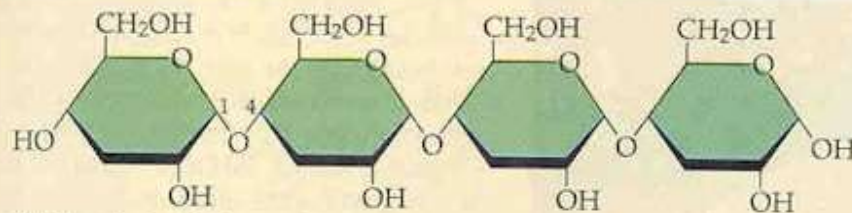
- Mikrobiološko razlaganje celuloze:
- Celuloza je polisaharid koji se sastoji od molekula glukoze koji su međusobno vezani u dugačke lance β -1-4 glukozydnim vezama
- Pošto su molekuli celuloze veliki, oni ne mogu da se usvoje u ćeliju mikroorganizama.
- Zato mikroroganizmi u spoljnu sredinu izdvajaju egzoenzime-celulaze.

- Za potpunu razgradnju celuloze do glukoze neophodna su tri enzima:
- To su:
- Endoglukonaza-koja hidrolizuje unutrašnje glukozidne veze celuloznih lanaca.
- Egzoglukonaza koja odvaja po dva molekula glukoze (celobiozu) sa krajeva celuloznog lanca, i
- β -glukozidaza koja hidrolizuje celobiozu do glukoze.

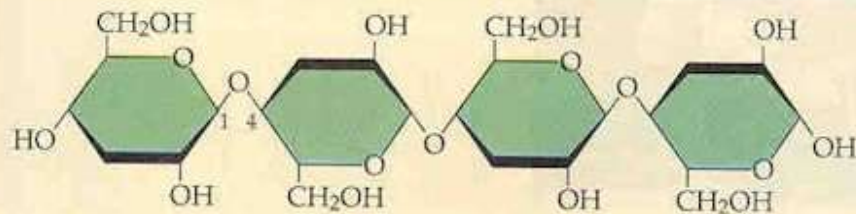
• Struktura skroba i celuloze



(a) α and β glucose ring structures



(b) Starch: 1-4 linkage of α glucose



(c) Cellulose: 1-4 linkage of β glucose

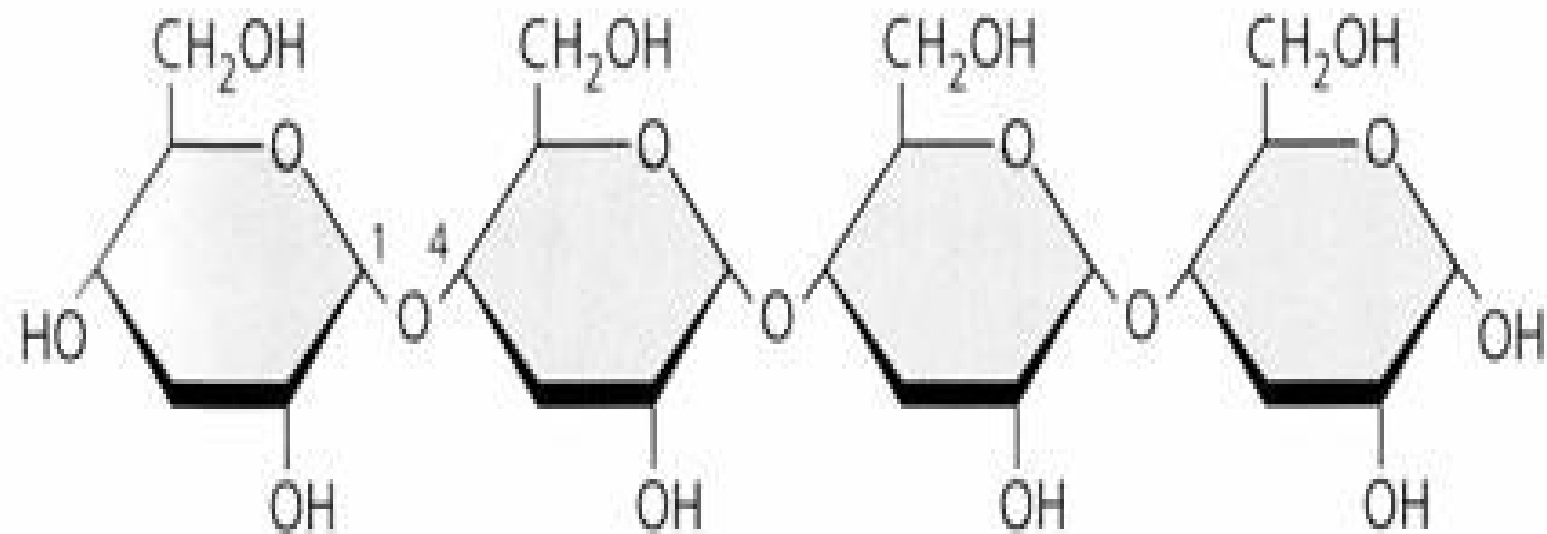
FIGURE 5.7 • Starch and cellulose structures compared. (a) Glucose forms two interconvertible ring structures, designated α and β . These two forms differ in the placement of the hydroxyl group attached to the number 1 carbon. (b) The α ring form is the monomer for starch. (c) Cellulose consists of glucose monomers in the β configuration. The angles of the bonds that link the rings make every other glucose monomer "upside down."

- Glukoza se zatim usvaja u ćeliju gdje se vrši njena dalja transformacija.
- Mikroorganizmi koji razlažu celulozu su brojni i pripadaju gljivama, bakterijama i protozoama.
- U zemljištu najzastupljenije celulolitičke gljive su iz rodova:
- *Aspergillus*, *Alternaria*, *Trichoderma* idr.

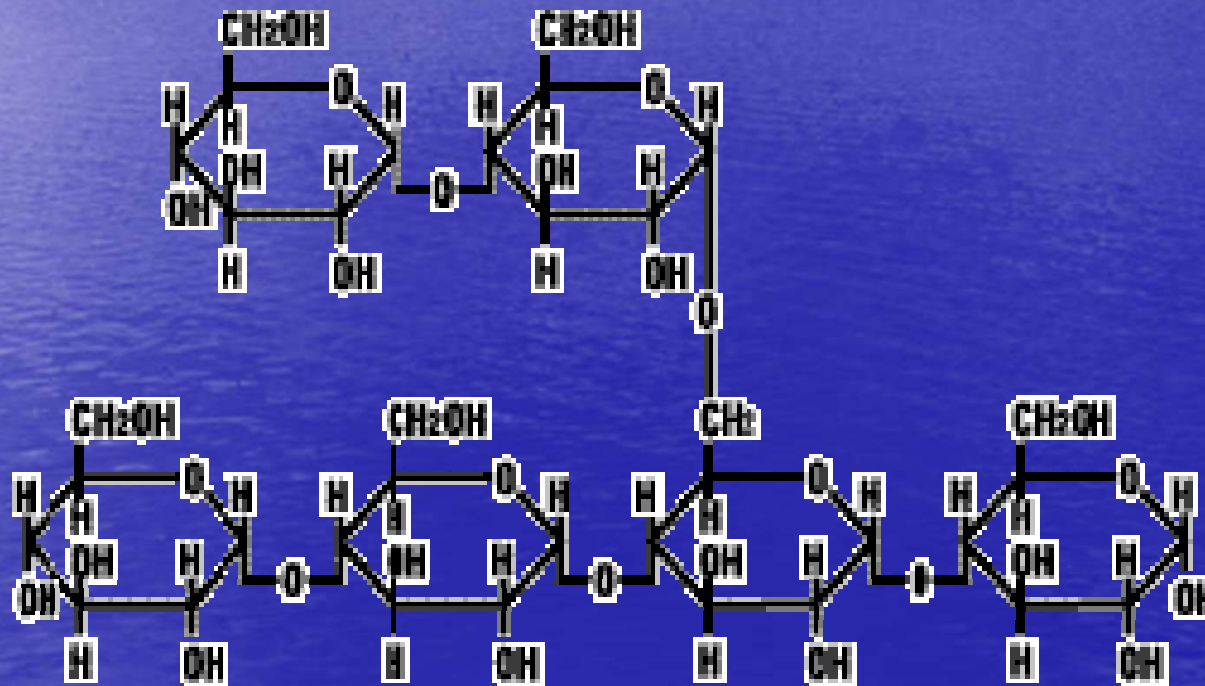
- Celulolitičke bakterije koje celulozu razgrađuju u zemljištu su vrste iz rodova *Cytophaga*, *Sporocytophaga*, *Cellvibrio*, *Clostridium* i dr.

- Mikrobiološko razlaganje skroba:
- Skrob je biljni polisaharid koji iz biljaka dospijeva u zemljište i hranu.
- Sastoji se od amiloze i amilopektina.
- Amiloza je izgrađena iz nerazgranatih lanaca molekula glukoze povezanih α -1-4 veza,žma.
- Amilopektin ima razgranate lance građene od molekula glukoze povezanih međusobno α 1-4 i α -1,6 glukozidnim vezama.

Skrob-amiloza



- Skrob-amilopektin

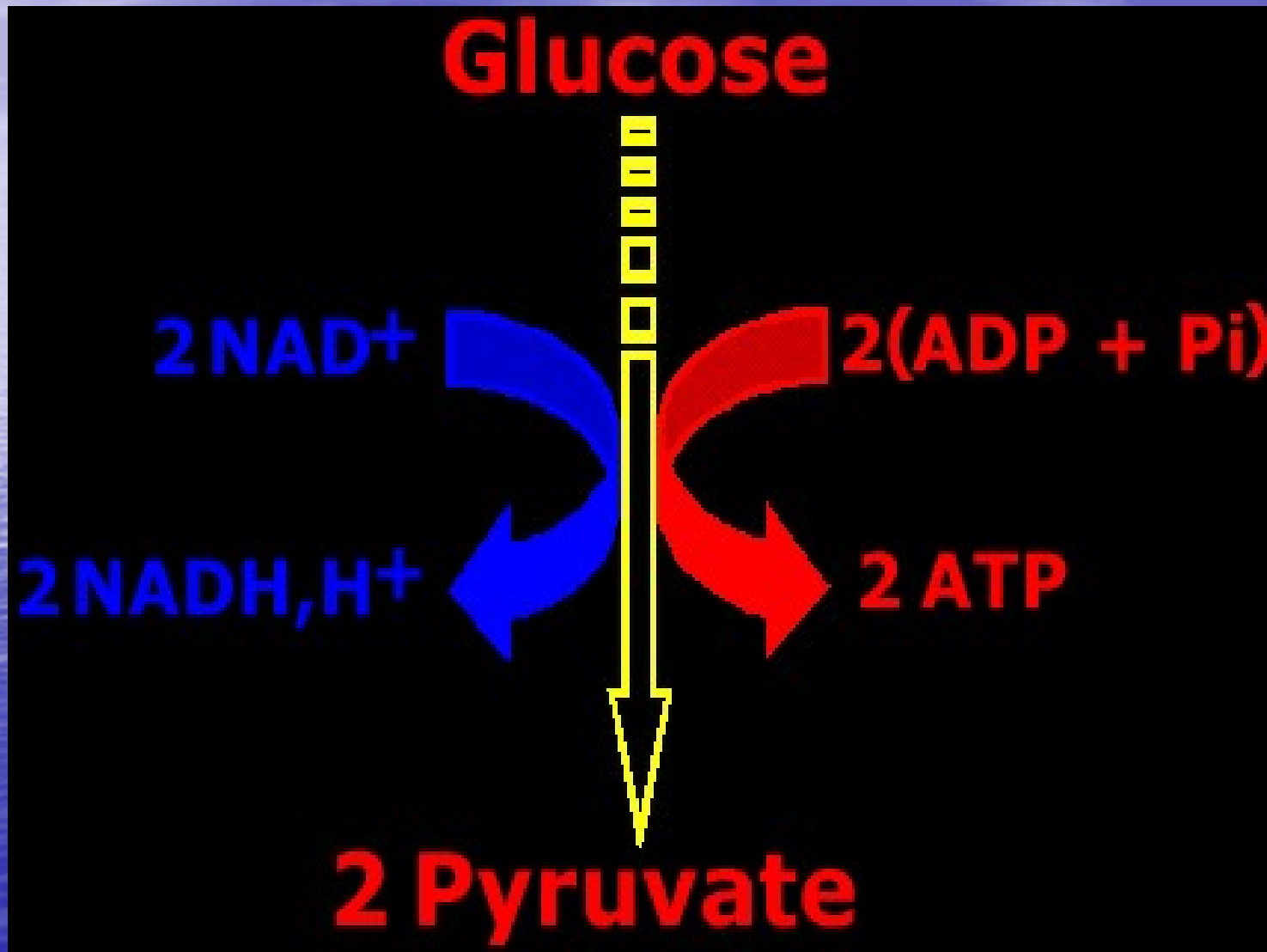


- Skrob, kao i celuloza, ne može da se usvoji u ćeliju mikrororganizama već se njegova razgradnja vrši van ćelije pomoću enzima amilaza.
- Kao proizvod razgradnje nastaje maltoza, veliki broj molekula glukoze, oligomeri sa 6-7 molekula glukoze.

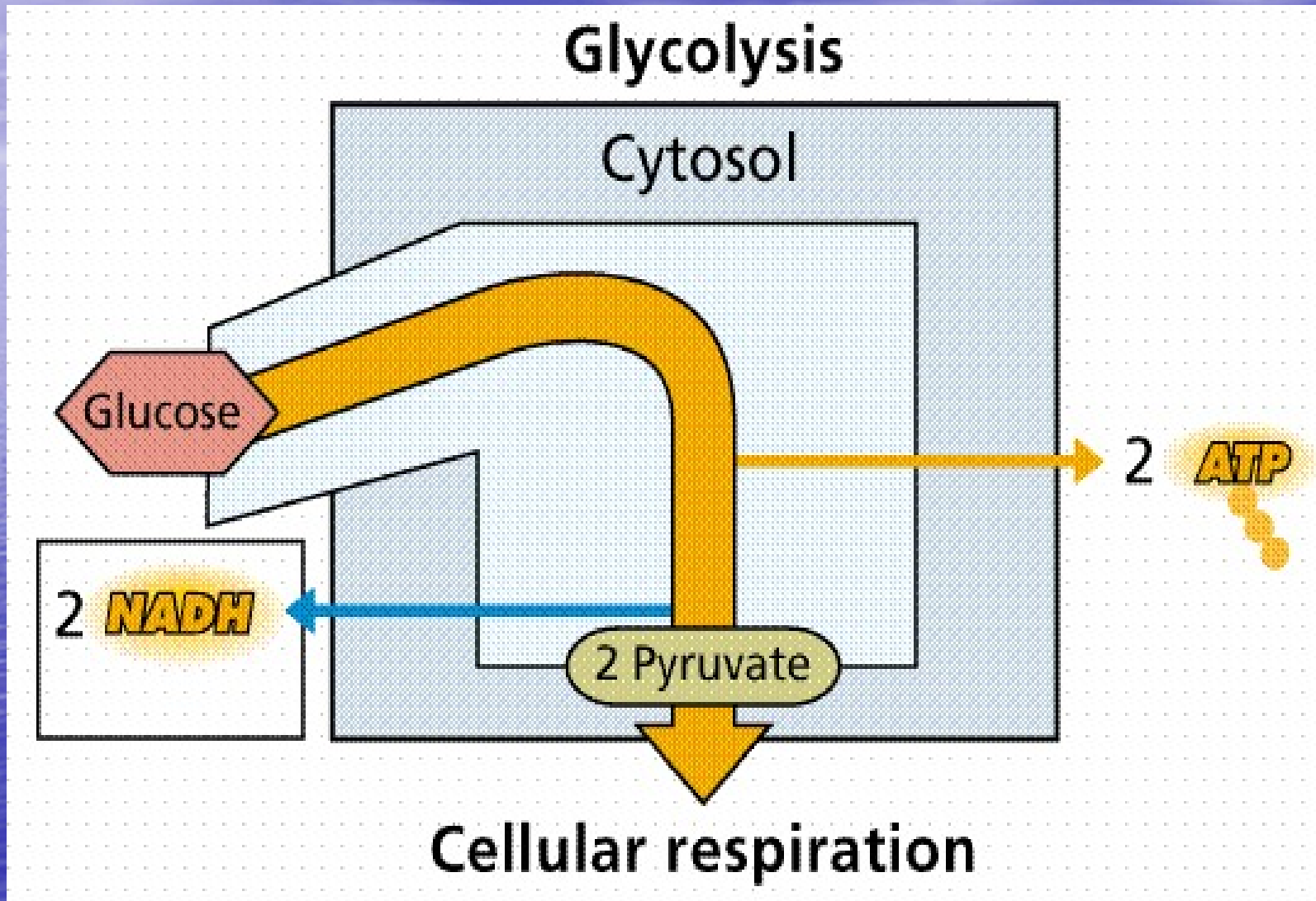
- Mikroorganizmi koji razlažu skrob u zemljištu su gljive iz roda *Aspergillus* i bakterija iz rodova *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces* i *Clostridium*.
- U organima za varenje kod životinja skrob razlažu bakterije iz rodova *Bacteroides*, *Streptococcus* i *Succinomonas*.

- *Mikrobiološko razlaganje glukoze:*
- Razlaganje glukoze odvija se u dvije faze:
- **Prva faza** obuhvata transformacije glukoze do pirogroždane kiseline,
- **A u drugoj fazi** se pirogroždana kiselina uključuje u ciklus trikarbonskih kiselina (Krebsov ciklus) ili u procese aerobnih i anaerobnih fermentacija ili biosinteze.

- Glikoliza



- Glikoliza



- Prva faza: razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline

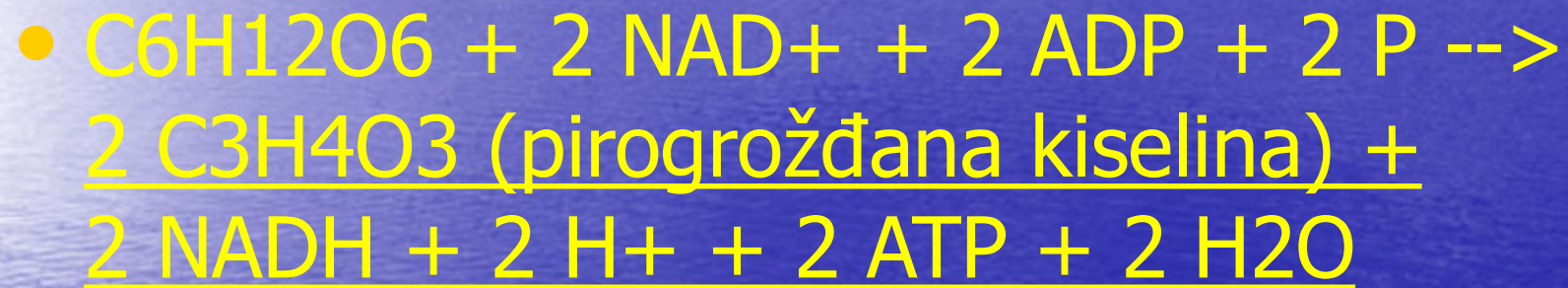
- Mikroorganizmi glukozu razlažu na tri načina: To su:
- Embden Mayerhof Parnas-ov put (EMP)
- Pentoza-fosfatni put (PF)
- Entner Doudorof (ED) put
- U sva tri puta polazno jedinjenje je glukoza koja se prvo fosforiliše pomoću ATP i prelazi u glukoza-6-fosfat.
- Ovo je aktivna forma glukoze koja se zatim uključuje u jedan od puteva razlaganja.
-

- Embden Mayerhof Parnas-ov put (EMP)
- Ovaj način razlaganja glukoze zastupljen je kod većine mikroorganizama i predstavlja prvu fazu u procesu disanja.
- Proces protiče preko većeg broja prelaznih proizvoda da bi se na kraju dobila:
- Pirogroždana kiselina
- NADH₂
- ATP

- Pentoza-fosfatni put razgradnje glukoze:
- Pentoza fosfatni put počinje oksidacijom 3 molekula glukoza-6 fosfata do 3 molekula 6 fosfoglukonske kiseline, 6 fosfoglukonska kiselina se oksidiše i dekarboksiliše pri čemu nastaju 3 molekula ribuloza 5 fosfata, 3 NADPH i 3CO₂.
- Od ribuloza 5 fosfata nastaju pentoza fosfati (riboza 5 fosfat, ksiloza-5 fosfat, ksiluloza 5 fosfat), eritroza 4 fosfat, gliceraldehid 3 fosfat, fruktoza 6 fosfat, pirogroždana kiselina itd.

- Entner Doudoroff (ED) put
- Razgradnju po ovom putu vrše bakterije iz rodova *Pseudomonas*, *Rhizobium*, *Azotobacter*, *Agrobacterium* i mali broj gram pozitivnih bakterija kao što je *Enterococcus faecalis*.
- Kao krajnji bilans ED puta iz jednog molekula glukoze nastaju 2 molekula pirogroždane kiseline, jedan ATP, jedan NADPH i jedan NADH.

- Glikoliza:



- Druga faza: katabolizam pirogroždane kiseline:

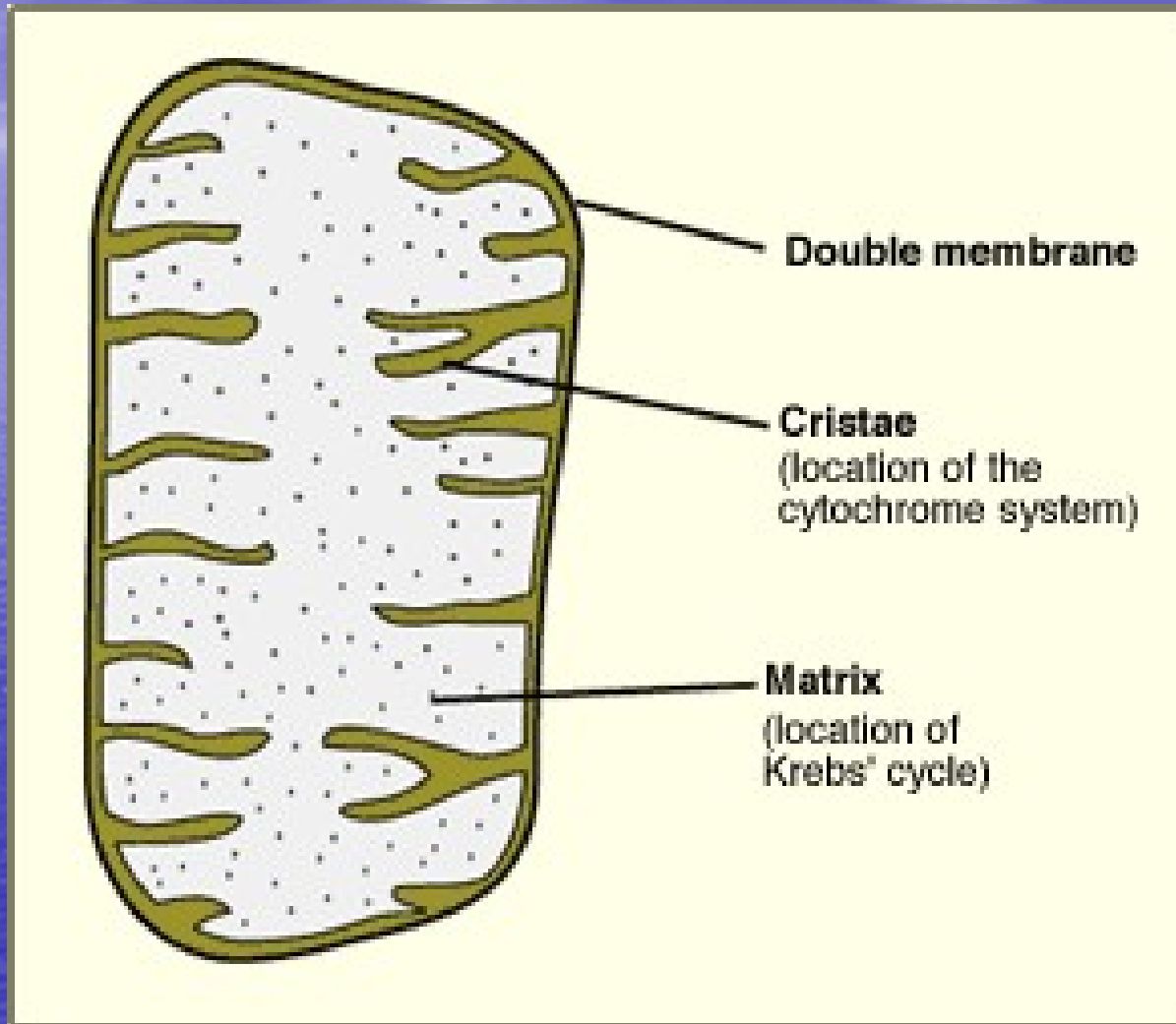
- Pirogroždana kiselina koja je nastala razlaganjem glukoze uključuje se:
- u procese respiracije (u prisustvu kiseonika kao akceptora elektrona) ili
- u anaerobne fermentacije (ako je akceptor elektrona organska materija)

- Aerobno disanje (respiracija):
- Mikroorganizmi, za razliku od drugih živih bića posjeduju više mogućnosti aerobnih disanja.
- Ako se oksidacija pirogroždane kiseline izvrši do kraja tj do CO₂ i vodonika, takav tip disanja zove se potpuna biološka oksidacija (Krebsov ciklus ili ciklus trikarbonskih kiselina)

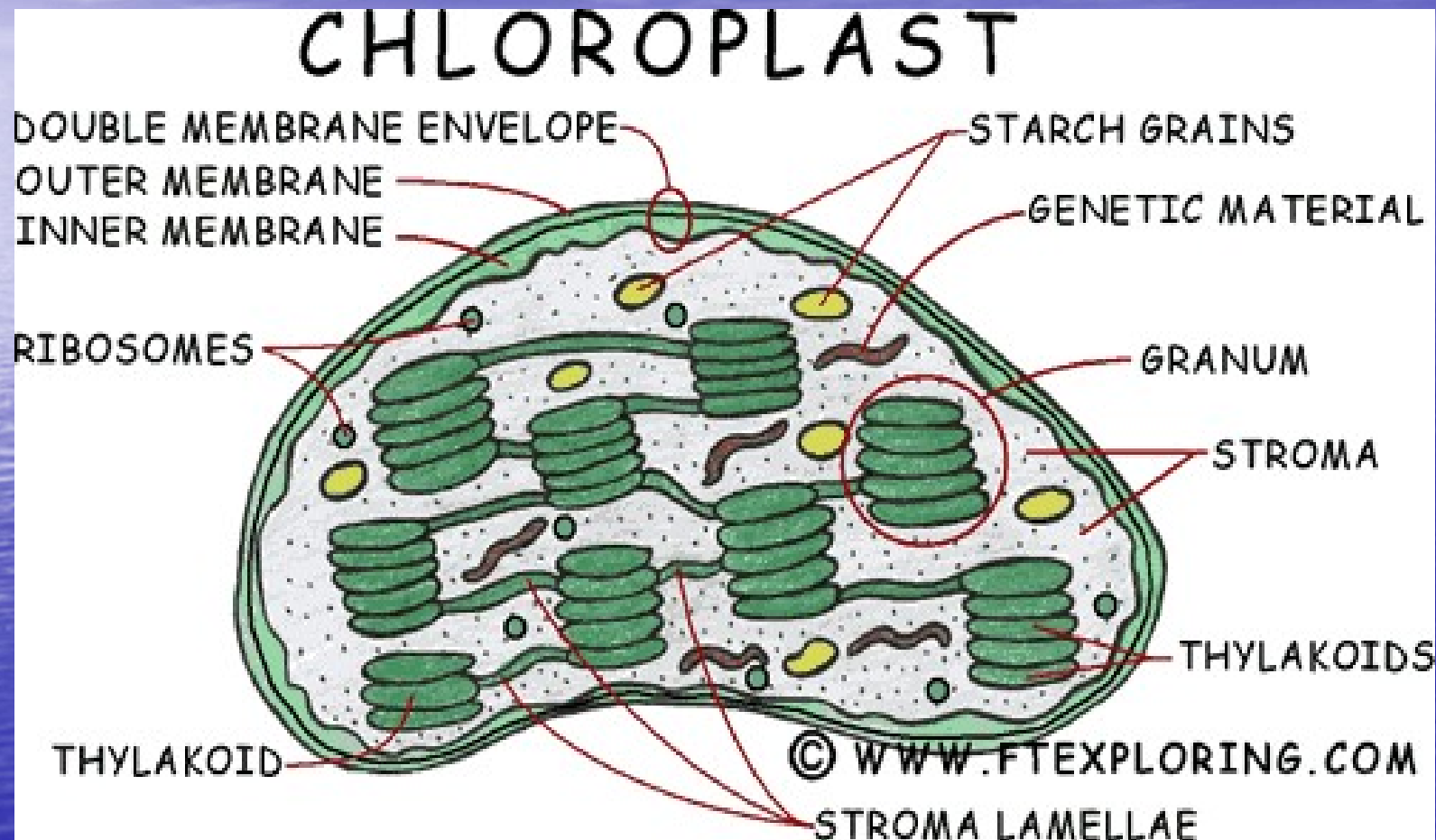
- Ako se oksidacija završi na nekim organskim kiselinama (limunska, sirćetna, fumarna, ćilibarna), takva disanja se zovu aerobne fermentacije.

- *Ciklus trikarbonskih kiselina (Krebsov ciklus)*
- Većina aerobnih mikroorganizama energiju dobija u ciklusu trikarbonskih kiselina u kome se pirogroždana kiselina potpuno oksidiše do CO₂ i vodonika koji se u lancu disanja veže za kiseonik i daje vodu.

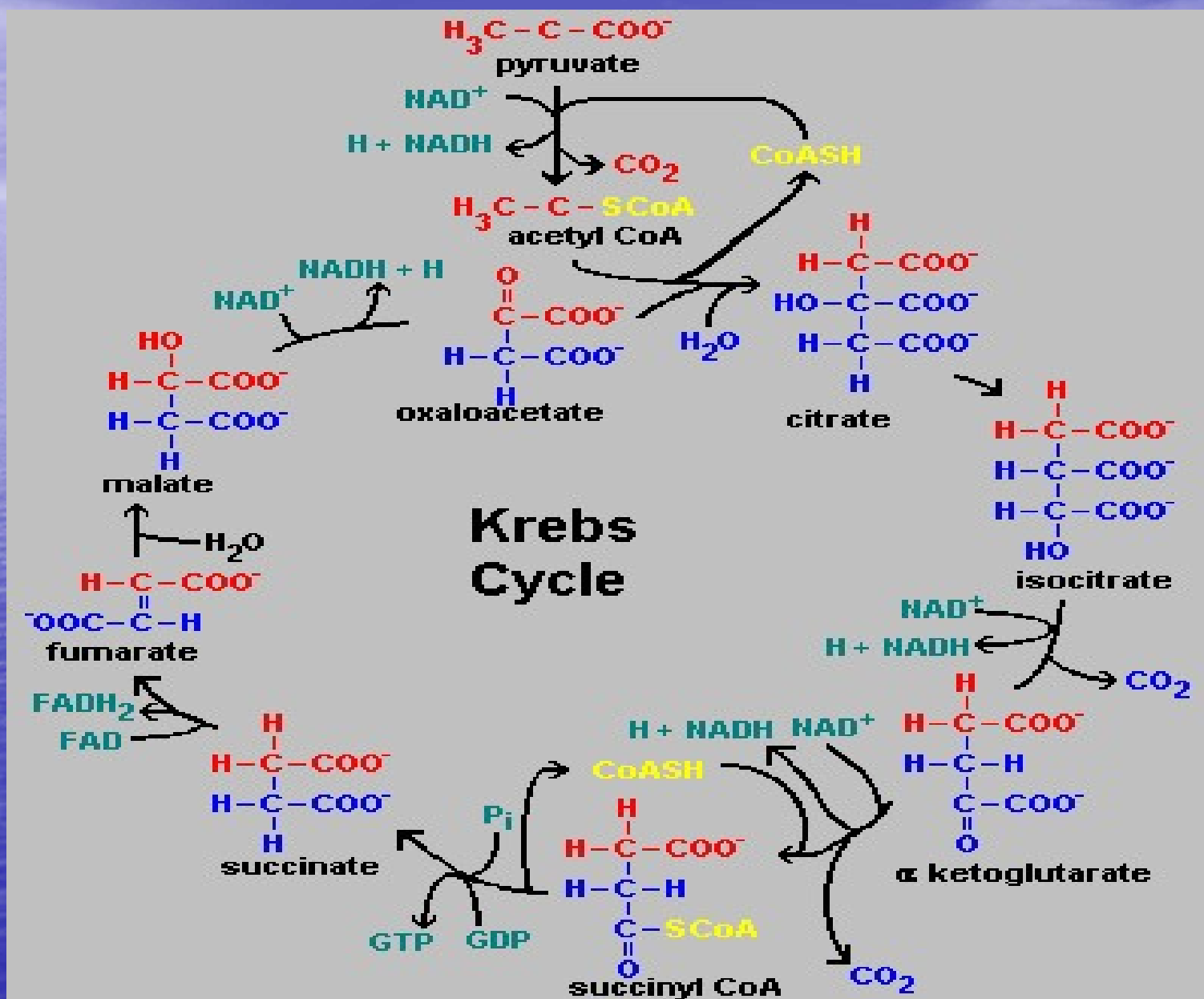
- Mitohodrija



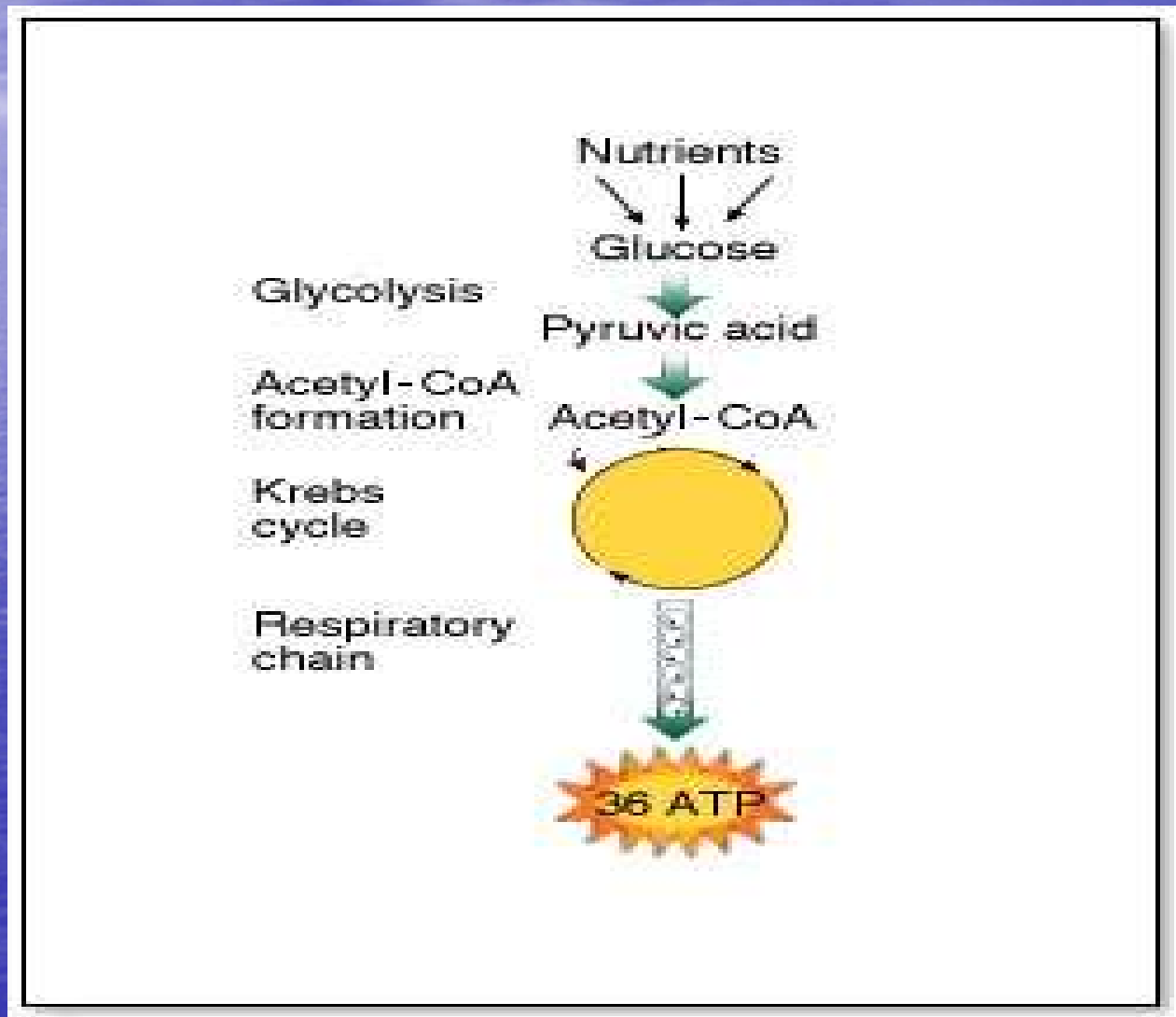
- Chloroplast



- Aerobno disanje (Krebsov cilkus)



- Energija u Krebsovom ciklusu



- Aerobne fermentacije
- Neki mikroorganizmi vrše nepotpunu oksidaciju glukoze tako da se kao krajnji proizvod dobijaju neke organske kiseline i različit broj molekula CO₂, NADH i FADH₂.
- Ovakve respiracije nazvane su aerobne fermentacije.
- Najčešće se javljaju:
- Sirćetna,
- Limunsko-oksalna
- Fumarno-ćilibarna fermentacija

- Aerobne fermentacije
- Sirćetna fermentacija

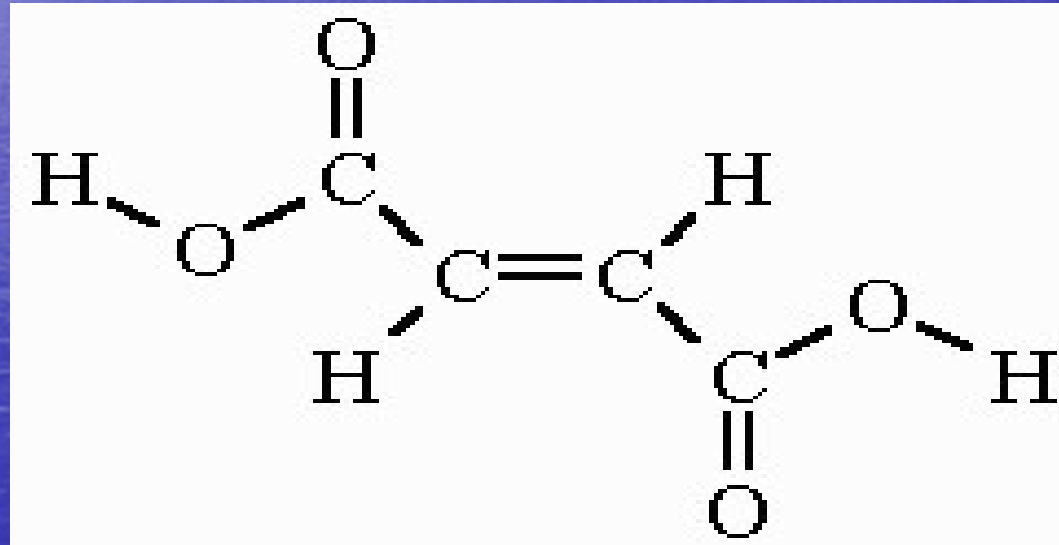


- U ovoj fermentaciji kao krajnji proizvod dobija se sirćetna kiselina.
- Razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline teče po EMP putu.
- Pirogroždana kiselina se zatim dekarboksiliše do acetaldehida,
- a oksidacijom acetaldehida nastaje sirćetna kiselina.
- Pored glukoze, supstrat može biti i etil alkohol koji se oksidiše do acetaldehida, a ovaj dalje do sirćetne kiseline.

- Mikroorganizmi koji imaju ovaj tip respiracije su bakterije:
- *Acetobacter aceti*
- *Acetobacter xylinum*
- *Acetobacter suboxydans*
- *Acetobacter acidophylum*
- Sirćetnu kiselinu mogu oksidisati potpuno do CO₂ i H₂O.
- Bakterije sirćetne fermentacije se koriste za dobijanje sirćetne kiseline iz vina.

- Fumarno-ćilibarna fermentacija:
- Kao krajnji proizvod respiracije gljiva iz rodova *Mucor*, *Rhizopus*, *Circinella*, iz glukoze nastaju *fumarna*, *ćilibarna* i *jabučna kiselina*.
- Transformacija glukoze vrši se po EMP putu do pirogroždane kiseline koja se uključuje u ciklus trikarbonskih kiselina

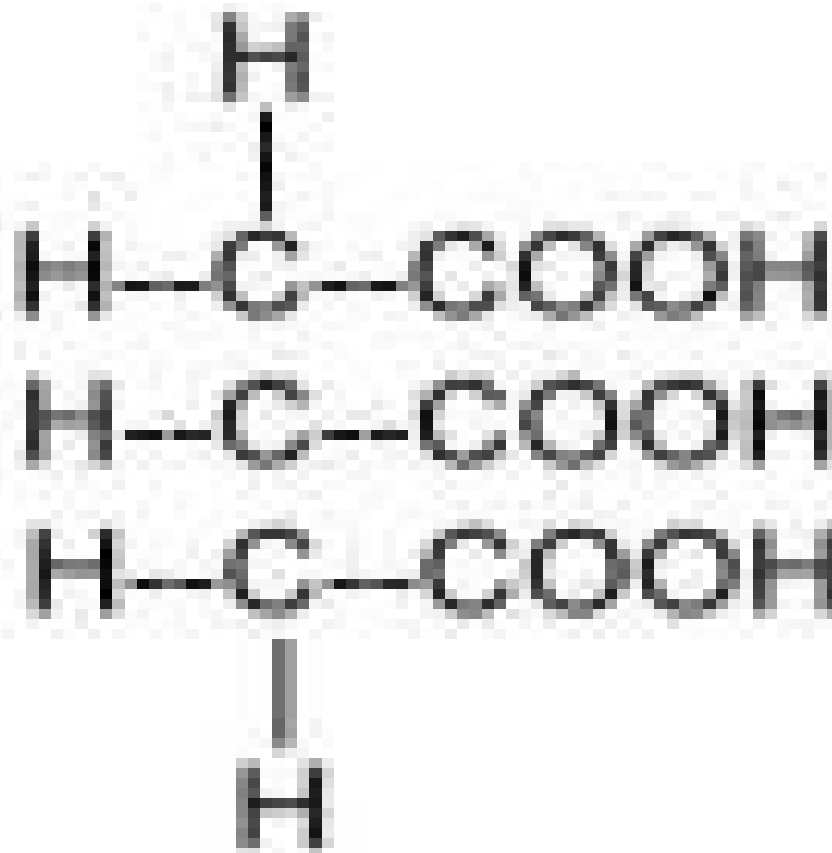
- *Fumarna kiselina*



- Limunska fermentacija:
- U procesu respiracije nekih gljiva, među kojima je najpoznatija *Aspergillus niger*, iz glukoze nastaje limunska kiselina.
- Zahvaljujući ovakvom tipu fermentacije, *Aspergillus niger* se koristi u industriji za proizvodnju limunske kiseline.
- Pirogroždana kiselina se oksidiše uz pomoć NAD⁺, dekarboksiliše (izdvaja se CO₂) i sjedinjuje sa coA, pri čemu nastaje acetil-CoA.

- Pirogroždana kiselina se oksidise uz pomoć NAD⁺, dekarboksiliše (izdvaja se CO₂) i sjedinjuje sa CoA, pri čemu nastaje acetil-CoA.
- Međusobnom reakcijom acetil-CoA i oksalsirćetne kiseline nastaje limunska kiselina.

- Limunska kiselina



- Ostale aerobne fermentacije:
- Gljive, u zavisnosti od vrste, mogu u toku respiracije proizvesti i različite druge kiseline.
- Tako neke vrste iz roda *Aspergillus* iz glukoze stvaraju itakonsku kiselinu, a neke vrste iz rodova *Aspergillus* i *Penicillium* stvaraju glukonsku kiselinu.
- Svi ovi mikroroganizmi koji imaju nepotpunu aerobnu fermentaciju značajni su za transformacije monosaharida u zemljištu.

- Proizvode njihove respiracije koriste drugi mikroroganizmi, pri čemu se vrši sinteza nove organske materije čijom mineralizacijom nastaju biljni asimilativi.
- Pored toga, mnogi od ovih mikroorganizama koriste se u industriji za dobijanje raznih kiselina-proizvoda njihovog metabolizma.

- Lanac disanja i oksidativna fosforilacija:
- Vodonik koji se u toku razlaganja glukoze, ciklusa trikarbonskih kiselina i aerobnih fermentacija vezao za NAD+ i FAD+ prenosi se na lanac disanja koji predstavlja niz enzima koji prenose vodonik i elektrone od substrata na akceptor.
- Kod aerobnih disanja krajnji akceptor vodonika i elektrona je kiseonik, a kao rezultat oksidacije nastaje voda i energija koja se akumulira u ATP.
- Enzimi koji čine lanac disanja kod mikroroganzama su flavoproteini (FMN), hinoni i citohromi.

- Kod eukariotskih mikroorganizama lanac disanja je smješten u mitohondrijama, a kod prokariotskih u citoplazminoj membrani.
- Kiseonik, nakon što primi elektron, prelazi u anjon i reaguje sa protonom vodonika pri čemu nastaje voda.
- Prilikom prenošenja vodonika i elektrona oslobađa se energija.
- Oslobođena energija se akumulira u ATP, a proces se zove oksidativna fosforilacija.
- Potpunom oksidacijom glukoze do CO₂ i H₂O oslobodi se 38 ATP.

- Mikroorganizmi sa kraćim lancem disanja dobijaju manje energije, što je obično slučaj sa bakterijama i gljivama koji respiraciju vrše po aerobnim fermentacijama.

- Anaerobno disanje:
- Mnoge bakterije imaju lanac disanja u kome akceptor vodonika nije kiseonik nego su to oksidisana neorganska jedinjenja-nitrati (NO_3^-), CO_2 , sulfati (SO_4^{2-}).
- Ovaj proces nazvan je anaerobna respiracija .
- Količina energije koja se dobije u ovim respiracijama je manja od energije dobijene u aerobnim disanjima, ali je veća u odnosu na anaerobne fermentacije.

- Proces u kome se nitrati i nitriti koriste kao akceptori elektrona u zavisnosti od krajnjeg proizvoda zove se asimilaciona ili disimilaciona redukcija nitrata.
- Bakterije iz rodova *Aerobacter*, *Escherichia* i *Bacillus* nitrate redukuju preko hidroksilamina do amonijaka.
- Nastali amonijak se koristi kao asimilativ u ishrani biljaka i mikroorganizama i to je asimilaciona redukcija nitrata.

- Neke vrste iz rodova *Pseudomonas*, *Paracoccus* i *Bacillus* nitrate redukuju u dvije faze.
- U prvoj fazi nitrat primaju elektrone i prelaze u nitrite,
- a u drugoj nitrit primaju elektrone i redukuju se preko azot monoksida i azotsuboksida do elementarnog azota koji se gubi iz zemljišta:
- (NO₃---NO₂---NO---N₂O----N₂----energija)
- Ovakva redukcija nitrata se zove disimilaciona ili prava denitrifikacija.

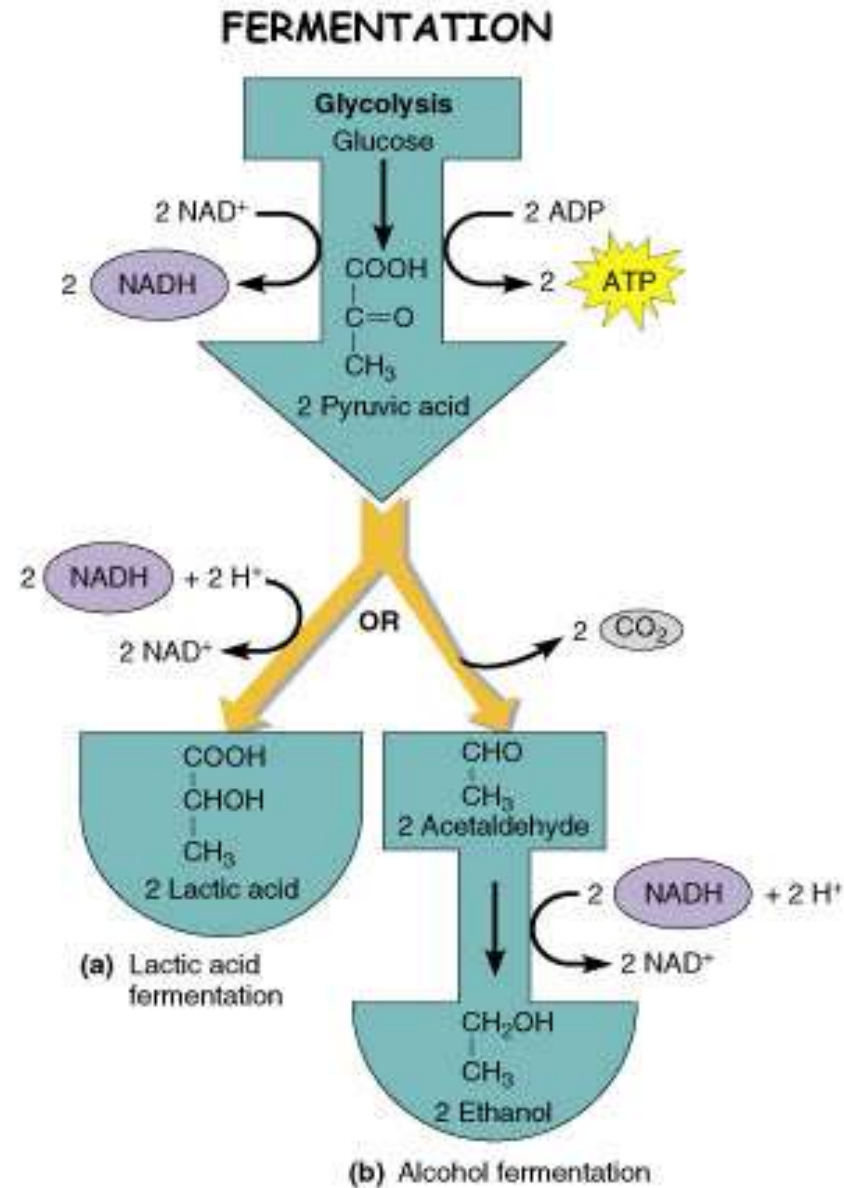
- Mikroorganizmi koji CO₂ koriste kao akceptor vodonika i elektrona i pri tome stvaraju metan zovu se metanogene bakterije.
- Ovdje spadaju vrste iz rodova *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanomicrobium* i *Methanosarcina*.
- U odnosu na kiseonik su pravi anaerobi.
- Žive u rumenu i unutrašnjim organima životinja gdje su toliko aktivne da govedo dnevno izbaci 200 do 400l metana.

- Metanogene bakterije se primjenjuju u proizvodnji metana iz otpadnih voda na farmama. Ovaj metan se zajedno sa drugim gasovima koristi za zagrijavanje i osvjetljenje.
- Bakterije koje koriste sulfate i elementarni sumpor kao krajnji akceptor elektrona su iz roda *Desulfovibrio* i *Desulfomicrobium*.
- Oni sulfate i sumpor redukuju do sumporvodonika.
- Žive u morskim i slatkovodnim sedimentima, naftnim poljima, močvarama, dubljim slojevima zemljišta i u unutrašnjim organima životinja.

- Anaerobne fermentacije:
- Anaerobne fermentacije su dio katabolizma u kome mikroorganizmi dobijaju energiju i u uslovima bez prisustva slobodnog kiseonika.
- Energija koju dobiju ovi mikroorganizmi je ona koja se oslobodi u toku supstratne fosforilacije i ona iznosi 2ATP.
- Kao i kod aerobnih, prva faza anaerobnih fermentacija je razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline. Vodonik koji se pri tom izdvojio i vezao za NADH+ prenosi se na neko organsko jedinjenje tipa aldehida ili ketona, što predstavlja drugu fazu anaerobnih fermentacija.

- Prema krajnjim proizvodima koji nastaju u većim količinama , anaerobne fermentacije su dobile imena.
- Najpoznatije su:
- Alkoholna
- Mlečna
- Buterna
- Propionska
- Mješovita fermentacija

- Anaerobne fermentacije



- Alkoholna fermentacija
- Kod većine mikroorganizama, prva faza alkoholne fermentacije do pirogroždane kiseline odvija se po EMP putu razlaganja glukoze.
- U drugoj fazi vrši se dekarboksilacija pirogroždane kiseline pri čemu nastaje acetaldehid i CO₂.
- Acetaldehid predstavlja krajnji akceptor vodonika koji se izdvojio u EMP putu i vezao za NAD⁺.

- Alkoholna fermentacija

(B) FERMENTATION LEADING TO EXCRETION OF ALCOHOL AND CO₂

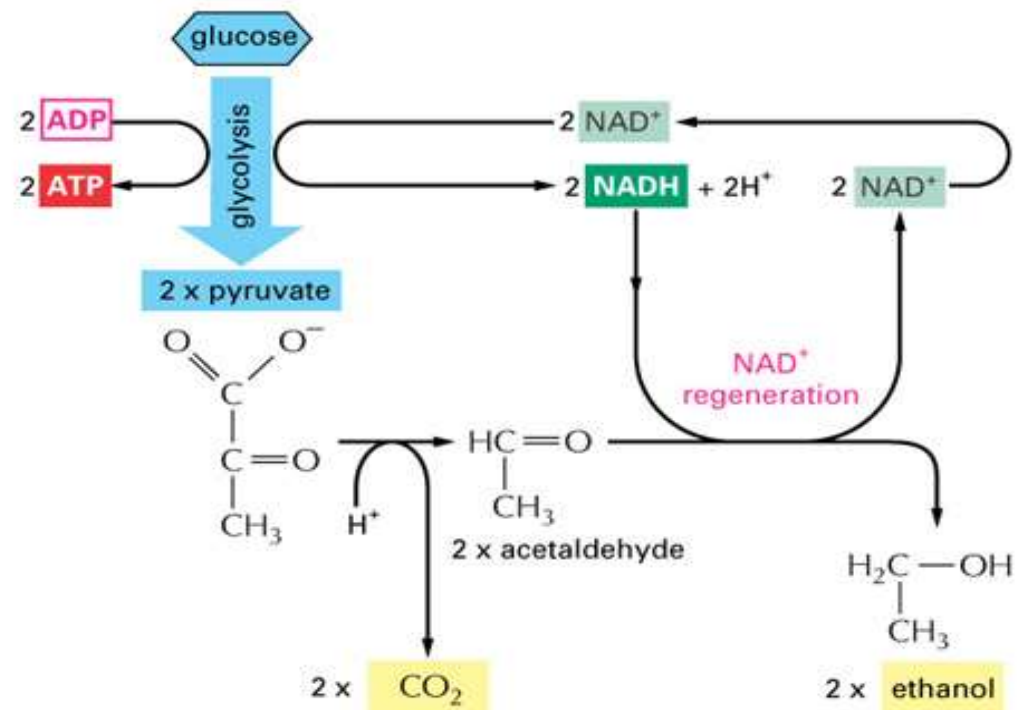
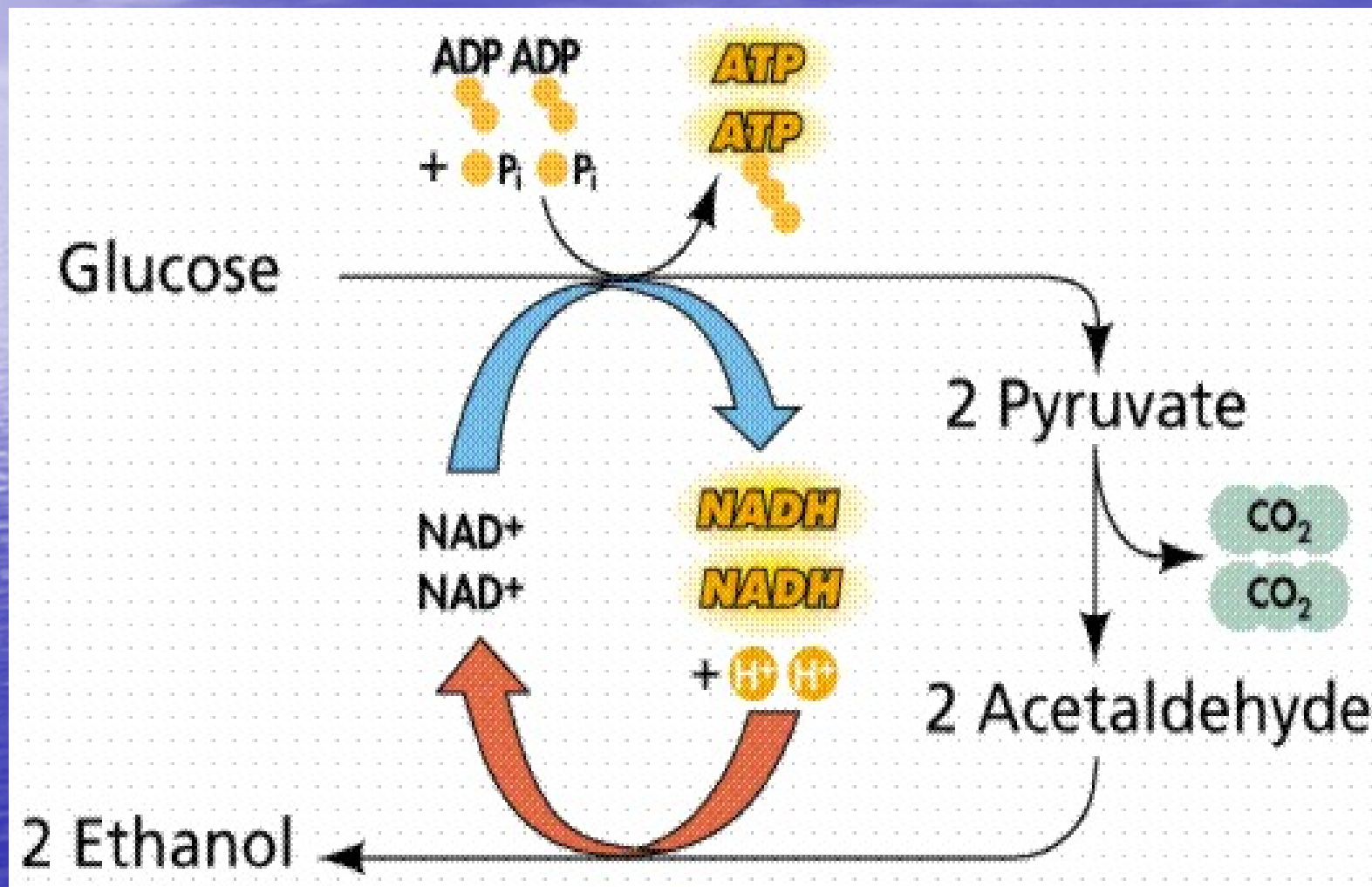
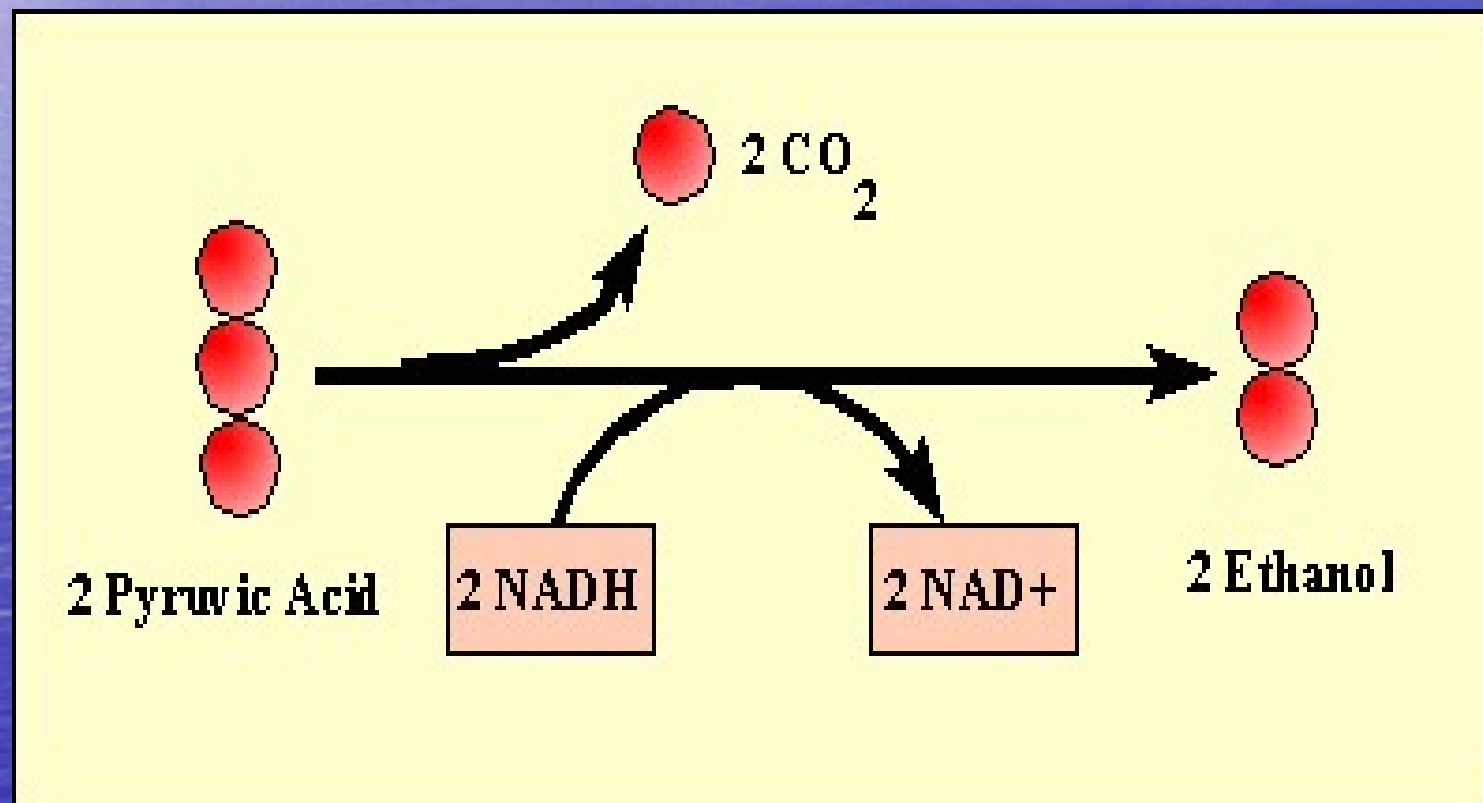


Figure 13-4 part 2 of 2 Essential Cell Biology, 2/e. (© 2004 Garland Science)

- Alkoholna fermentacija



- Alkoholna fermentacija



- Primanjem ovog vodonika (redukcijom) acetaldehid prelazi u etil alkohol.
- Mikroroganzmi koji energiju dobijaju po tipu alkoholne fermentacije su kvasci, neke končaste gljive i bakterije.
- Najaktivniji proizvođači etil alkohola su kvasci iz rodova *Sacharomyces*, *Schizosacharomyces*, *Torula*, i dr.
- U aerobnim uslovima kvasci prelaze na aerobnu respiraciju, usled čega se smanjuje ili se potpuno obustavlja proizvodnja etil alkohola.

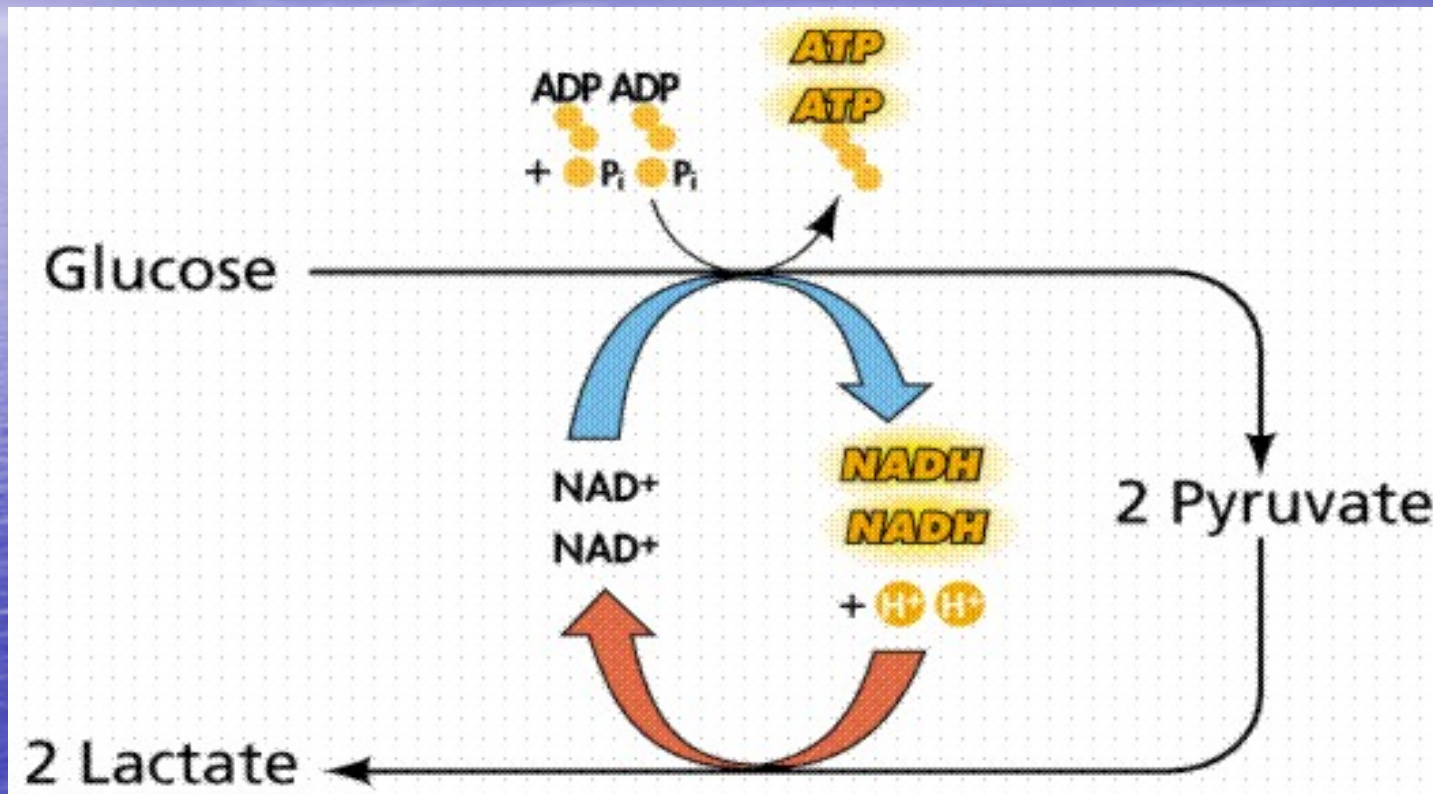
- Sposobnost kvasaca da svoj metabolizam mogu obavljati i u aerobnim i u anaerobnim uslovima otkrio je Paster, pa se po njemu ova pojava zove Pasterov efekat.
- Zahvaljujući tome što u toku svog katabolizma glukozu transformišu u etil alkohol, kvasci su našli široku primjenu.
- U proizvodnji vina koriste se kvasci *Sacharomyces cerevisiae*, Sacharomyces paradoxus, Schizosacharomyces pombe idr.

- U proizvodnji piva koristi se *Sacharomyces calshbergensis*
- U proizvodnji kefira *Torula kefir*
- U proizvodnji kumisa *Torula lactis*
- Osim za dobijanje etil alkohola kao glavnog proizvoda razlaganja glukoze, kvasci se koriste i zbog sposobnosti izdvajanja CO₂ kao sporednog proizvoda.
- Tako se *Sacharomyces cerevisiae* koristi u pekarstvu jer CO₂ stvara rupice u tijestu, a alkohol u toku pečenja ispari.

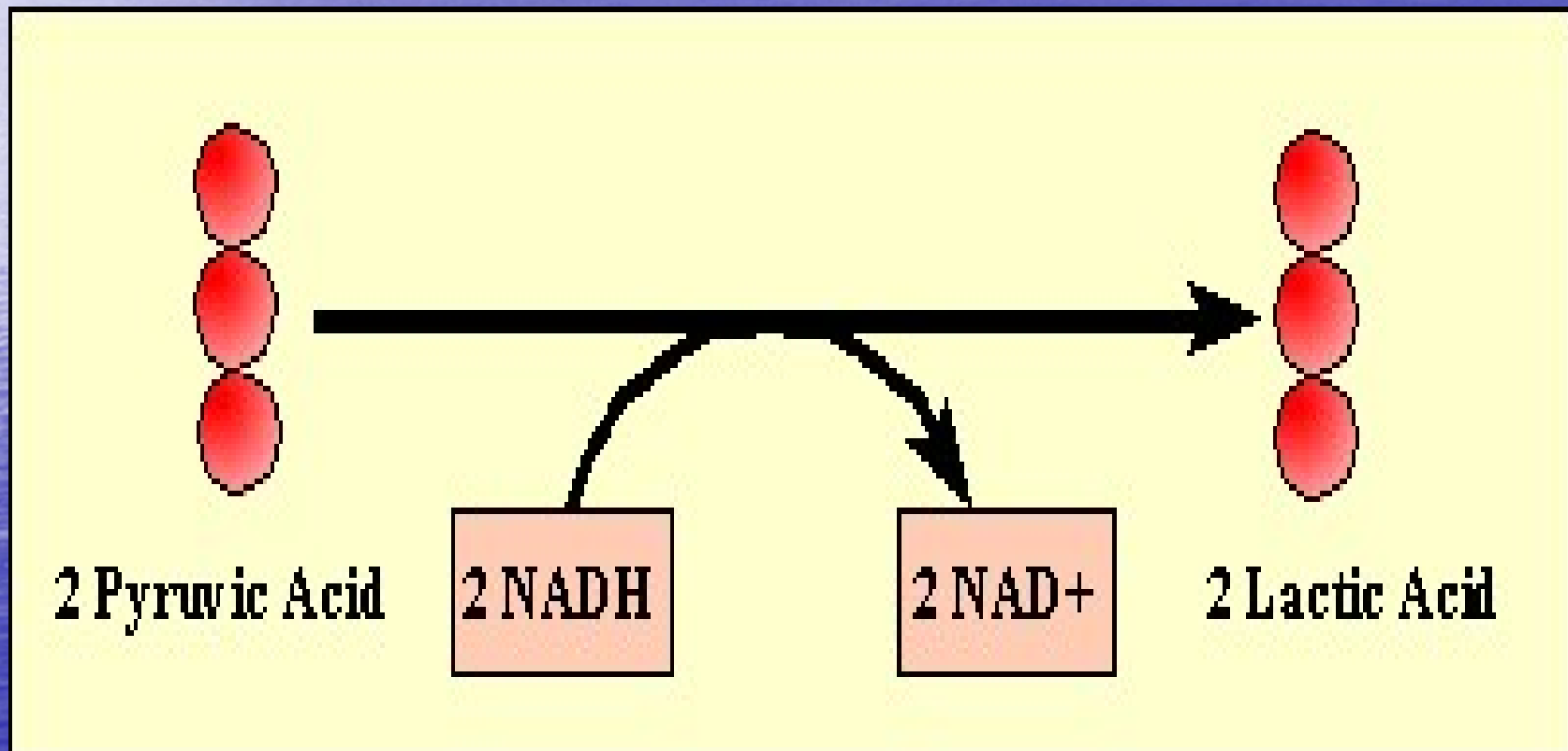
- Bakterije koje vrše alkoholnu fermentaciju su *Zymomonas mobilis* i *Leuconostoc mesenteroides*.
- *Zymomonas mobilis* fermentiše sok od agave i koristi se tza proizvodnju tekile.
- Od končastih gljiva alkoholnu fermentaciju mogu da vrše *Mucor*, *Rhisopus* i *Aspergillus*. One su slabiji proizođači alkohola, ali su brojne u zemljištu gdje su za alkoholnu fermentaciju značajnije od kvasaca.

- Mlečno kiselinska fermentacija:
- Glavni proizvod razlaganja glukoze po tipu mlečno kiselinske fermentacije je **mlečna kiselina**. Razlaganje glukoze do pirogroždane kiseline odvija se po EMP putu.
- Homofermentativni tip mlečne fermentacije-
fermentacija u kojoj se iz glukoze dobije **samo mlečna kiselina**.
- Pirogroždana kiselina se redukuje pomoću
NADH₂ i prelazi u mlečnu kiselinu.

Mlečno-kisela fermentacija



- Mlečno-kisela fermentacija



- Glukožu po ovom tipu mlečne fermentacije razlažu kokoidne i štapićaste mlečne bakterije.
- Najznačajniji predstavnici kokoidnih bakterija su:
 - *Streptococcus lactis*
 - *Streptococcus cremoris*
 - *Streptococcus diacetillactis*
 - *Streptococcus thermophilus*
 - *Pediococcus cerevisiae*

- Najpoznatije štapićaste mlečne bakterije su:

- *Lactobacillus lactis*

- *Lactobacillus bulgaricum*

- *Lactobacillus casei*

- *Lactobacillus acidophilus*

- *Lactobacillus plantarum*

- Mikroorganizmi koji glukozu razlažu po ovom tipu, primjenjuju se u mljekarstvu za proizvodnju kiselih mlečnih napitaka, maslaca i sira.

- U heterofermentativnom tipu mlečne fermentacije glukoza se razlaže po pentoza-fosfatnom putu.
- U ovoj fermentaciji pored mlečne kiseline
- nastaju još i etil alkohol, sirćetna kiselina i ugljendioksid
- Najznačajnije bakterije heterofermentativne mlečne fermentacije su:
 - *Leuconostoc mesenteroides*
 - *Leuconostoc dextranicum*
 - *Lactobacillus brevis*
 - *Bifidobacterium bifidum*

- Ovi mikroorganizmi su značajni u proizvodnji silaže i ukišeljavanju povrća pošto se nalaze na nadzemnim djelovima biljaka.
- Žive u zemljištu gdje takođe koriste glukozu kao izvor energije.

- Propionska fermentacija:
- Propionska fermentacija je put za dobijanje energije za bakterije iz roda
- *Propionibacterium*
- *Bifidobacterium*
- Razgradnja glukoze do pirogroždane kiseline odvija se po EMP putu.
- **Pirogroždana kiselina** preko oksalsirćetne i ćilibarne uz ućešće metil-malonil CoA prelazi u **propionsku kiselinu.**

- Bakterija propionske fermentacije *Propionibacterium shermani* koristi se u proizvodnji trajnih sireva.
- Ova bakterija koristi mlečnu kiselinu, polihidroksilne alkohole i ugljene hidrate koji nastaju u toku metabolizma mlečnih bakterija i prevodi ih u propionsku kiselinu, sirćetnu kiselinu i CO₂. Nastale kiseline daju karakterističan ukus i miris, a CO₂ stvara rupice.

- Buterna fermentacija
- Razgradnja glukoze do pirogroždane kiseline odvija se po EMP putu, a pirogroždana kiselina se uz pomoć velikog broja mikrobioloških enzima transformiše u buternu kiselinu i CO₂
- Razgradnju šećera po tipu buterne fermentacije vrše bakterije iz roda *Clostridium*.

- Među njima je veliki broj saprofita kao što su:
- *Clostridium butyricum*
- *Clostridium felsineum*
- *Clostridium pasteurianum.*
- Sve ove vrste su značajne za zemljište jer u dubljim slojevima omogućuju transformaciju organske materije i stvaranje biljnih asimilativa
- Neke vrste buternih bakterija su štetne, jer pored buterne kiseline proizvode i različite toksine i izazivaju oboljenja ljudi i životinja.

- Najpoznatije patogene vrste buternih bakterija su:
- *Clostridium botulinum*, koji stvara veoma jak egzotoksin i uzrokuje opasno oboljenje - botulizam
- *Clostridium tetani*, koji uzrokuje tetanus
- *Clostridium perfringens*, koji proizvodi pet različitih egzotoksina.
- Ako se *Clostridium perfringens* nađe u stočnoj hrani, mlijeku, mesu ili na ljusci jaja, može lako dospjeti i u organe za varenje ljudi i životinja. Oslobođeni egzotoksini uzrokuju maligni edem kod krupnih životinja, enterotoksemiju kod jagnjadi, a kod ljudi povraćanje, bolove u stomaku isl.

- *Clostridium acetobutylicum* u toku katabolizma proizvodi i butil alkohol, etil alkohol, izopropil alkohol i aceton; (aceton butilna fermentacija)
- Mješovita fermentacija
- Mikroorganizmi iz rodova *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* i *Erwinia* glukozu transformišu u niz različitih proizvoda, kao što su sirćetna, mlečna, ćilibarna i mravlja kiselina, etil alkohol, ugljendioksid i vodonik.

- Mješovita fermentacija
- Mikroorganizmi iz rodova *Escherichia*, *Salmonella*, *Shigella*, *Proteus*, *Enterobacter*, *Serratia* i *Erwinia* glukozu transformišu u niz različitih proizvoda, kao što su *sirćetna*, *mlečna*, *ćilibarna* i *mravlja kiselina*, *etil alkohol*, *ugljendioksid* i *vodonik*.
- Ovi mikroorganizmi nisu striktni anaerobi, često kontaminiraju *stočnu hranu*, *meso*, *mlijeko* i *vodu*.
- Pored proizvoda fermentacije glukoze, oni proizvode i različite *endo* i *egzotoksine* i uzrokuju oboljenja organa za varenje.

- Neke organske kiseline proizvedene putem fermentacije

Table 15-11 Some Organic Acids Produced by Fermentation

Product	Culture	Substrate (Yield %)	Process
Acetic acid	<i>Acetobacter</i> spp.	Ethanol (98%-99%)	Continuous aerated process using an alcoholic solution containing (%); glucose, 0.9; ammonium phosphate, 0.4; magnesium sulfate, 0.1; potassium citrate, 0.1; pantothenic acid, 0.0005. Extraction by filtration.
Citric acid	<i>Aspergillus niger</i>	Glucose (90%)	Medium containing molasses, ammonium nitrate, magnesium sulfate, and potassium phosphate. Acid is added to achieve a low pH, and some of the metals in the medium are complexed with ferricyanide, removing them from solution; alternatively, metals are removed using cation exchange resins.
Lactic acid	<i>Lactobacillus delbrueckii</i>	Milk whey, molasses, pure sugars (90%)	10%-15% glucose, 5-6 days, 50° C in corrosion-resistant fermentor; pH 5.5-6.0 buffered with CaCO ₃ ; no aeration, growth factors provided by malt. Extraction by precipitation after heating to 80° C and the addition of chalk (calcium lactate is formed); extraction with solvents; esterification with methanol followed by distillation.
Fumaric acid	<i>Rhizopus</i> spp.	Glucose (60%)	3 days at 30° C with aeration; pH 5-6 maintained by the addition of NaOH. Extraction by acidification of media and crystallization.
Gluconic acid	<i>Aspergillus niger</i>	Glucose and cornsteep liquor (90%)	36 hours at 30° C with aeration; pH 6.5. Extraction by filtration and purification using cation exchange column.

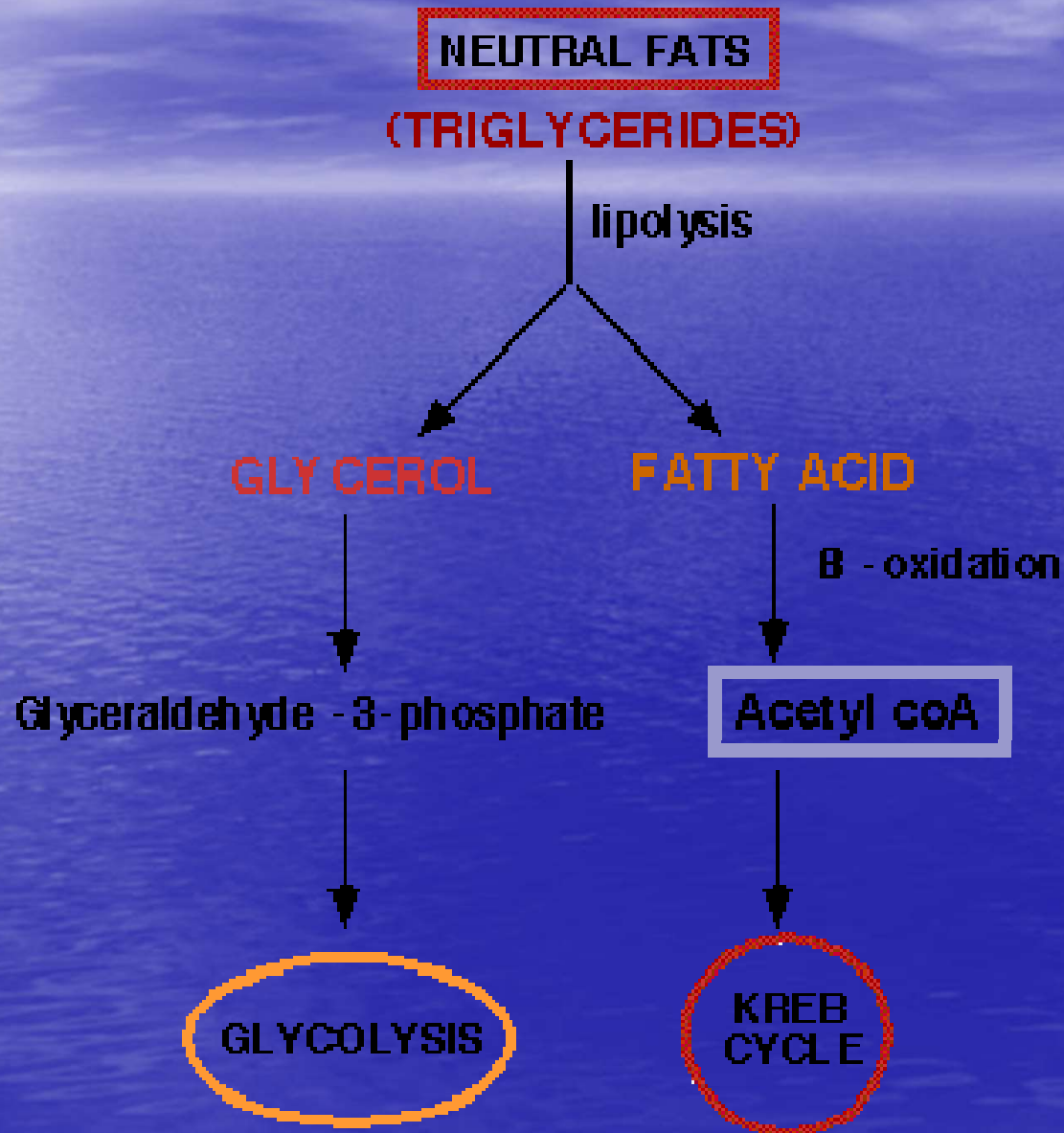
- Razgradnja proteina:
- Neki mikroroganzimi koriste proteine kao izvor energije i ugljenika.
- Pošto su proteini složene građe i ne mogu da se usvoje u ćeliju, mikroroganzimi izdvajaju u spoljnu sredinu enzime proteaze pomoću kojih razgrađuju proteine do aminokiselina.
- Aminokiseline zatim putem aktivnog transporta ulaze u ćeliju i uključuju se u katabolizam

- Prvo se vrši dezaminacija aminokiseline, a zatim transaminacijom amino grupa prelazi na neku alfa keto kiselinu.
- Ostatak aminokiseline se obično transformiše u pirogroždanu kiselinu, a ova se uključuje u ciklus trikarbonskih kiselina ili aerobnih fermentacija pri čemu se oslobađa energija.
- Nastala pirogroždana kiselina se može uključiti i u biosinteze gradivnih jedinica preko acetil-CoA.

- Mikroorganizmi koji energiju dobijaju iz proteina i aminokiselina su neke patogene bakterije i gljive, ali i veći broj mikroorganizama koji žive u zemljištu.

- Razgradnja masti (lipida):
- Lipidi su estri glicerola i viših masnih kiselina.
- U odsustvu pogodnijih substrata neki mikroorganizmi iz ćelije izdvajaju egzoćelijske lipaze pomoću kojih se vrši hidroliza lipida na:
 - Glicerol
 - Masne kiseline
- Nakon toga se ovi produkti usvajaju u ćeliju gdje se vrši njihova dalja razgradnja.

- Razgradnja masti



- Glicerol se fosforiliše i transformiše po EMP putu do pirogroždane kiseline.
- Masne kiseline se aktiviraju povezivanjem sa CoA.
- Dalja razgradnja se odvija po tipu β oksidacije sve do acetil-CoA.
- Acetil-CoA se zatim uključuje u ciklus trikarbonskih kiselina ili u druge metaboličke procese u ćeliji.
- Masne kiseline su bogat izvor energije pošto imaju dugačke lance sa velikim brojem C atoma.

- Mikroorganizmi koji lipide koriste kao izvor energije žive u zemljištu, na prehrambenim proizvodima i u organima za varenje.
- Najpoznatije bakterijske vrste pripadaju rodovima:
 - *Mycobacterium*
 - *Streptococcus*
 - *Staphylococcus*
- Lipolitske gljive iz rodova:
 - *Penicillium*,
 - *Aspergillus*

- Neorganske materije-izvor energije
- Mali broj mikroorganizama energiju dobija iz neorganskih jedinjenja.
- Ovi mikroorganizmi se zovu hemolitotrofi.
- Zastupljeni su u velikom broju u zemljištu i vodama i značajna su karika u kruženju elemenata.
- Kao izvor energije ovi mikroorganizmi u zavisnosti od vrste mogu da koriste :
- Amonijum jon, sumporvodonik, vodonik, elementarni sumpor i dvovalentni jon gvožđa.

- Oksidacijom amonijum jona prvo nastaju nitriti, a daljom oksidacijom nitrita nastaju nitrati.
- Ovaj proces se zove nitrifikacija.
- Značajan je za zemljište i vodene sredine, jer se tako obezbjeđuju nitrati-najpogodniji oblik azota za ishranu biljaka.
- Mikroroganizmi koji energiju dobijaju oksidacijom amonijum jona do nitrita su bakterije iz roda *Nitrosomonas*, dok vrste iz roda *Nitrobacter* energiju dobijaju oksidacijom nitrita do nitrata.

- U svim ovim oksidacijama elektroni se preko lanca disanja prenose na kiseonik pri čemu nastaje voda i oslobađa se energija koja se konvertuje u ATP. Količina energije je različita, što zavisi od dužine lanca disanja, ali je daleko manja od količine energije koja se oslobodi u potpunoj oksidaciji glukoze.

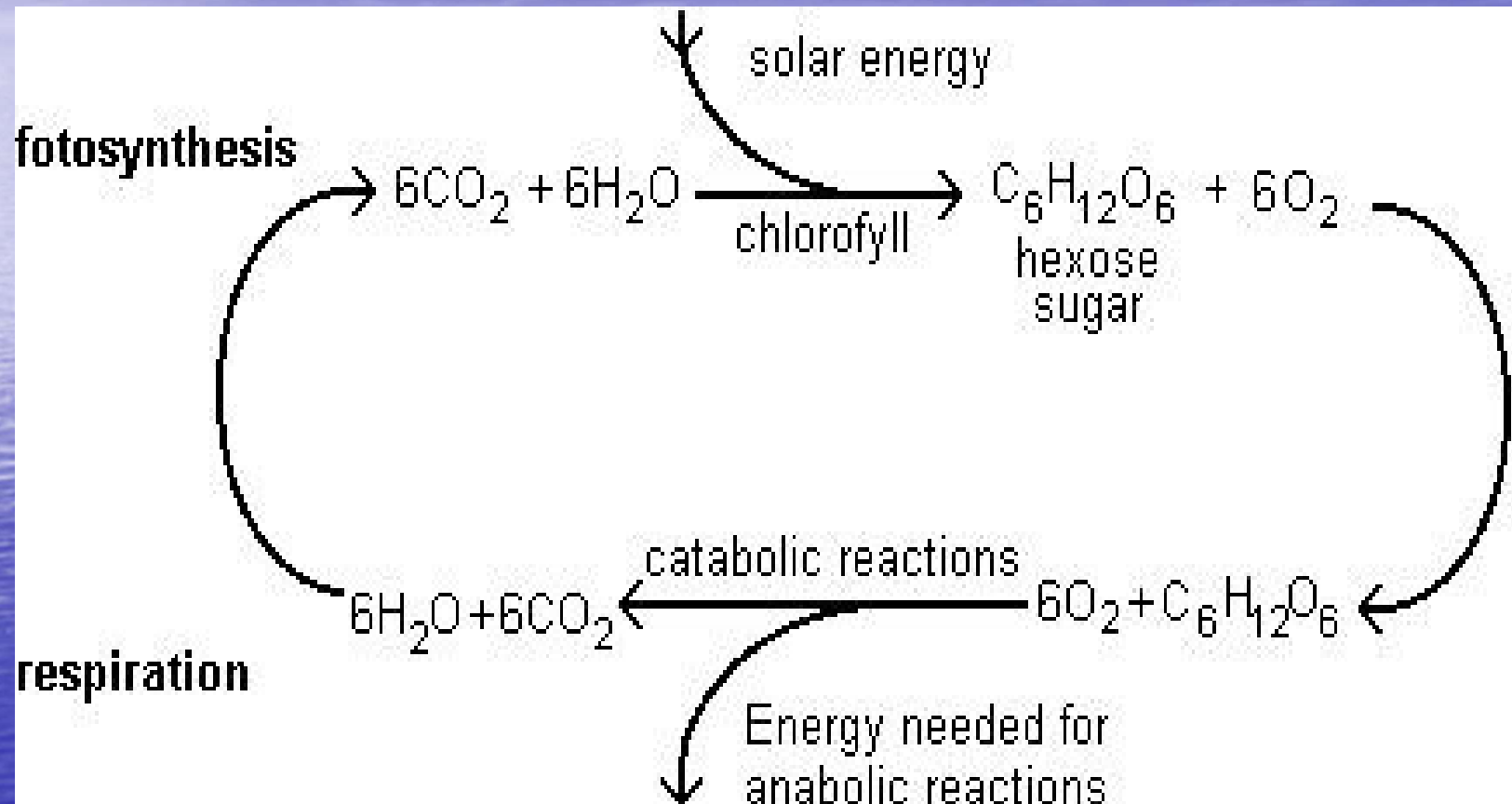
- Dobijanje energije u procesu fotosinteze:
- Fotosinteza je proces u kome se svjetlosna energija transformiše u hemijsku koja se dalje koristi za procese biosinteze.
- Količina energije koju mikroorganizmi dobiju u procesu fotosinteze zavisi od dužine lanca disanja i funkcionisanja pigmentnih sistema.
- Svi mikroorganizmi koji vrše proces fotosinteze posjeduju zeleni pigment hlorofil, a neki imaju i dopunske, različito obojenje pigmente.

- Kod eukariotskih mikrororganizama hlorofil i dopunski pigmenti su smješteni u posebne organele-hloroplaste, a kod prokariotskih mikrororganizama pigmenti se nalaze u tvorevinama koje se zovu hromatofore.
- Alge i cianobakterije sadrže hlorofil a i hlorofil b. Oni se razlikuju po sposobnosti apsorpcije svjetlosti različitih talasnih dužina.

- Pored hlorofila, alge i cianobakterije posjeduju i dopunske pigmente koji se razlikuju od hlorofila po sposobnosti apsorpcije svjetlosti drugih talasnih dužina. Apsorbovanu svjetlost predaju na hlorofil i tako fotosintezu čine efikasnijom.
- Najčešći dopunski pigmenti su:
 - Karotinoidi (žute boje)
 - Fikoeritrin (crvene boje)
 - Fikocijanin(plave boje)

- Zelene i purpurne bakterije u svojim ćelijama sadrže bakteriohlorofil *a* i bakteriohlorofil *b*.
- Kada kvant svjetlosti padne na hlorofil, on se apsorbira, izbaci elektron iz hlorofila i hlorofil postaje pozitivno naelektrisan.
- Elektron se prenosi na hinon, pa na lanac citohroma i ponovo se vraća na naelektrisan hlorofil, pri čemu ga vraćaju u prvobitno, nepobuđeno stanje.
- Prilikom prenosa elektrona kroz lanac disanja, oslobađa se energija koja se konvertuje u ATP.

- Fotosinteza



- Fotosinteza:



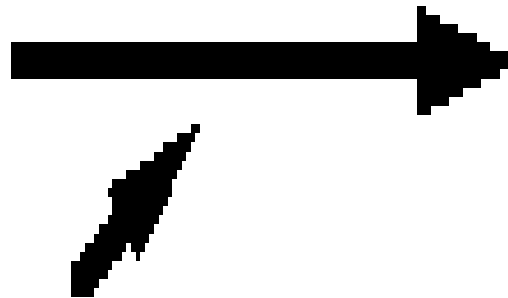
- Aerobno disanje:



- Fotosinteza

Photosynthetic Anabolism

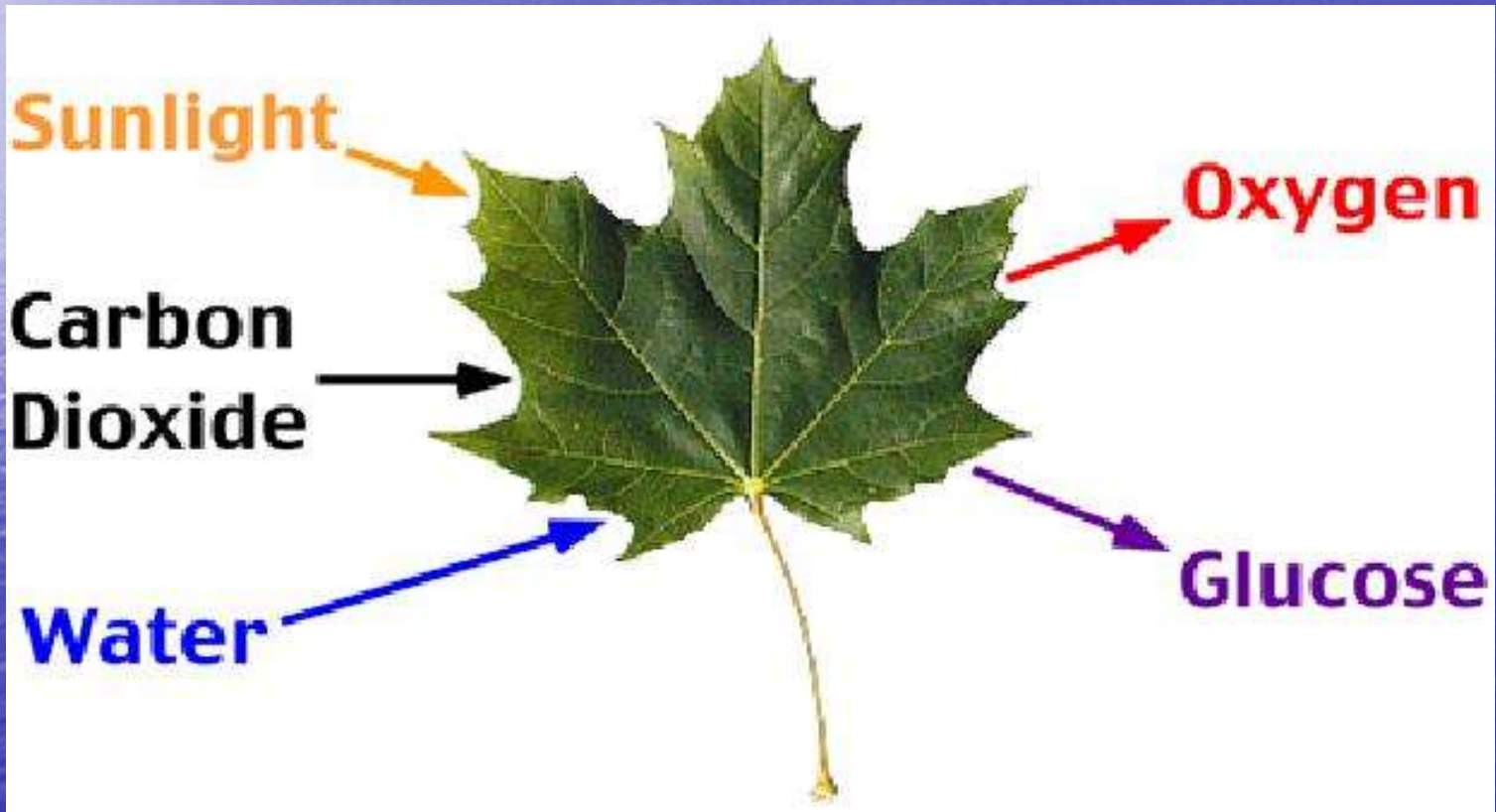
Carbon Dioxide
and Water



Complex Organic
Molecules

Light Energy

- Fotosinteza



ANABOLIZAM

- Energija koja se oslobodi u katabolizmu najvećim dijelom se koristi u biosintezama (anabolizmu).
- Katabolizam i anabolizam se odvijaju istovremeno tako da se energija iz katabolizma odmah usmjeri i iskoristi u anabolizmu.
- Biosinteza makromolekula zavisi od genetske predispozicije ćelije, od količine i prisustva prekursora i energije.

- Najveći broj polaznih jedinjenja za biosinteze dobija se iz intermedijarnih proizvoda Krebsovog ciklusa.
- To su:
- Pirogroždana kiselina
- α keto glutarna kiselina
- Fumarna kiselina
- Sukcinil-CoA
- Acetil-CoA

- Biosinteza ugljenih hidrata:
- Ugljeni hidrati su u ćelijama mikroorganizama zastupljeni u vidu polisaharida i monosaharida
- U toku biosinteze prvo se vrši biosinteza monosaharida, a zatim polisaharida.
- Mikroroganizmi mogu sintetisati monosaharide iz:
 - ugljendioksida
 - iz organskih jedinjenja

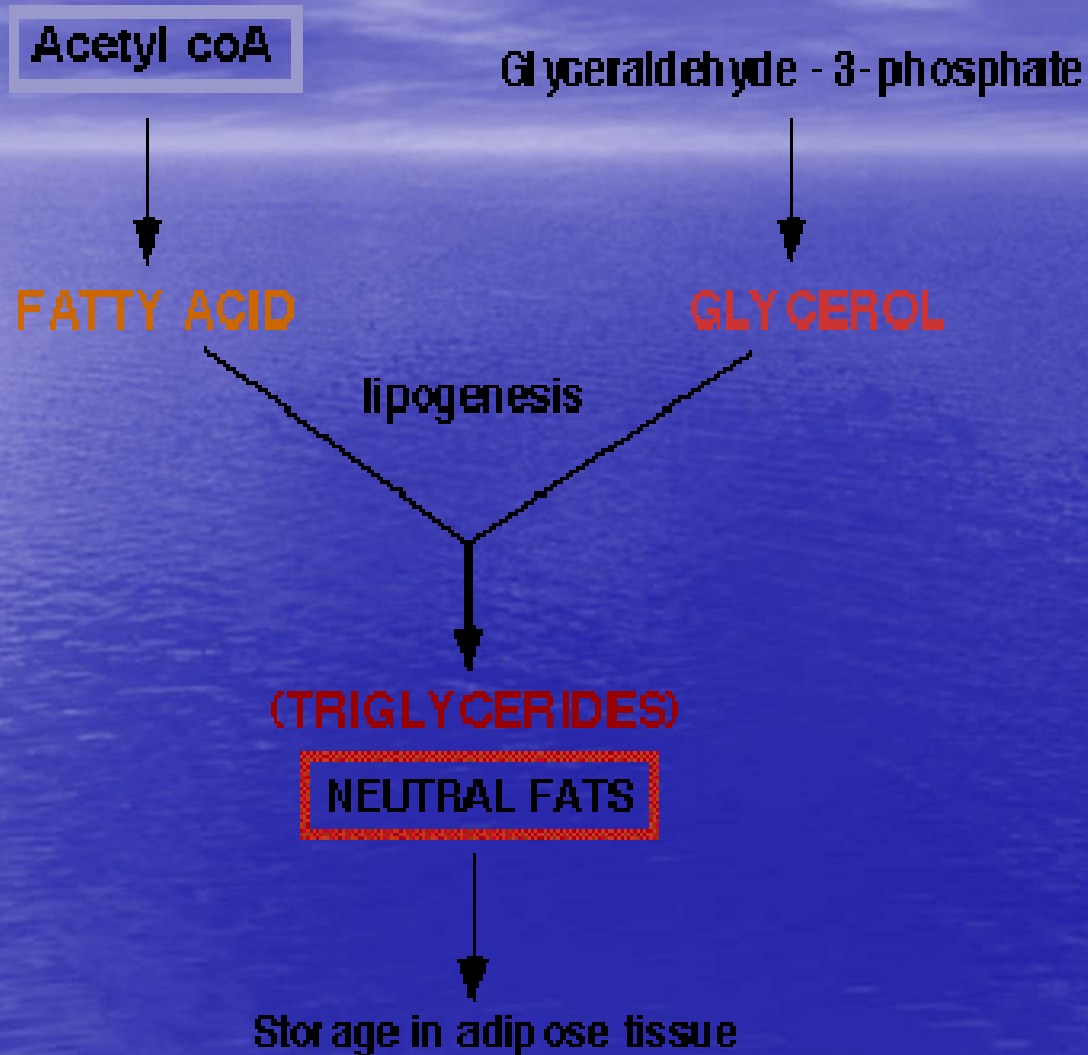
- Biosinteza monosaharida iz CO₂:
- Ugljendioksid kao izvor ugljenika mogu koristiti samo autotrofi.
- Redukcija CO₂ zahtijeva puno energije.
- Neki autotrofi energiju dobijaju u procesu fotosinteze(fototrofi),
- a neki oksidacijom neorganskih supstanci

- Biosinteza monosaharida iz organskih supstanci
- Heterotrofni mikroorganizmi sintetizuju šećere iz redukovanih organskih molekula.
- Sinteza glukoze iz nešećera zove se glukoneogeneza.
- Pojedini šećeri nakon biosinteze se vežu za nukleozid difosfat među kojima je najpoznatiji uridin difosfat (UDP). Povezivanjem glukoze za UDP nastaje aktivno jedinjenje iz koga nastaju drugi šećeri, npr. UDP-glukoza ili UDP-glukuronska kiselina.
- Biosinteza pentoza, eritroza, trioza vrši se u pentozofosfatnom putu. Ovi šećeri se mogu dalje uključivati u biosinteze drugih jedinjenja.

- Biosinteza polisaharida:
- U biosintezi polisaharida ključnu ulogu igraju UDP-šećeri.
- Prilikom biosinteze celuloze, glikogena i skroba kod bakterija i algi, UDP glukoza sukcesivno prenosi glukozu i veže je za kraj lanca.
- Tako prvo nastaje disaharid na koga se postepeno vežu molekuli glukoze pri čemu se mogu formirati lanci polisaharida različite dužine.
- Nukleozid difosfati učestvuju i u sintezi kompleksnih molekula kao što je murein u ćelijskom zidu bakterija.

- Biosinteza masti:
- Molekul masti je građen od glicerola(glicerina) i viših masnih kiselina
- Biosinteza glicerina se vrši iz 3 fosfo gliceraldehida koji je međuproizvod razlaganja glukoze. On se zatim redukuje pri čemu nastaje glicerol fosfat od koga defosforilacijom nastaje glicerol.
- Neposredni predhodnik sinteze masnih kiselina je acetyl-CoA.
- Sinteza masnih kiselina sa dugim lancima:
- Prvo se vrši kondenzacija acetyl CoA i preko acetyl acetylne i beta hidroksi buterne kiseline nastaje buterna kiselina, a zatim se lanac produžava sa po dva C atoma povezivanjem sa acetyl CoA.

- Biointeza masti



- Masne kiseline sa kratkim lancima:
- Prvo dolazi do karboksilacije acetil CoA pri čemu nastaje malonil CoA.
- Malonil CoA se jedini sa još jednim acetil CoA uz oslobađanje jednog CoA i nastaje karboksi- acetoacetil CoA.
- Ovaj se dekarboksiliše i redukuje i prelazi u butiril CoA na koga se veže malonil CoA i tako se lanac produžava.
- Biosinteza masnih kiselina kod prokariota se vrši u citoplazmi po malonil CoA putu.
- Na kraju, *nakon završene biosinteze glicerina i masnih kiselina dolazi do njihove esterifikacije u molekule masti.*

- Biosinteza aminokiselina:
- Veliki broj mikroorganizama usvaja gotove aminokiseline iz spoljne sredine i u ćeliji se vrši njihova dalja transformacija i povezivanje u proteine.
- Međutim, mikroorganizmi su sposobni da sintetizuju i svih 20 aminokiselina za razliku od viših organizama koji u dovoljnoj količini mogu da sintetišu samo fakultativne aminokiseline, a esencijalne ne sintetišu ili ih sintetišu u nedovoljnoj količini.

- Polazna jedinjenja za biosintezu aminokiselina kod mikroorganizama su amino grupa, organske kiseline iz Krebsovog ciklusa (alfa keto glutarna kiselina, pirogroždana kiselina, fumarna kiselina), kao i pentoze i eritroze iz pentoza-fosfatnog puta razlaganja glukoze i energija iz ATP.
- Amino grupa se u ćeliji mikroorganizama formira u procesu asimilacione redukcije nitrata ili u procesu azotofiksacije.
- Biosinteza aminokiselina se odvija u procesima aminacije i transaminacije.

- Alfa keto glutarna kiselina aminacijom daje glutaminsku kiselinu.
- Aminacijom pirogroždane kiseline nastaje alanin, a aminacijom fumarne kiseline nastaje asparaginska kiselina.
- Glutaminska i asparaginska kiselina su polazna jedinjenja iz kojih se sintetišu druge aminokiseline.
- Eritroza fosfati su polazna jedinjenja za biosintezu tirozina i fenil alanina, a pentoza fosfati za biosintezu histidina.

- *Biosinteza proteina:*
- Proteini su organska jedinjenja koja se sastoje iz aminokiselina međusobno povezanih peptidnim vezama.
- Tako povezane aminokiseline čine polipeptidni lanac.

- Transport i povezivanje aminokiselina odvija se u četiri faze:
- Aktivacija aminokiseline (vezivanje aminokiseline za transportnu RNK)
- Inicijacija (formiranje početnog, inicijalnog kompleksa)
- Elongacija (polimerizacija aminokiselina)
- Terminacija (završetak sinteze polipeptidnog lanca)