



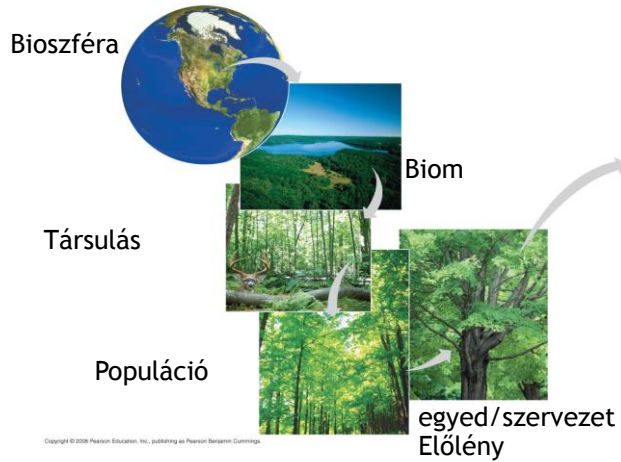
1. előadás

Metabolizmus

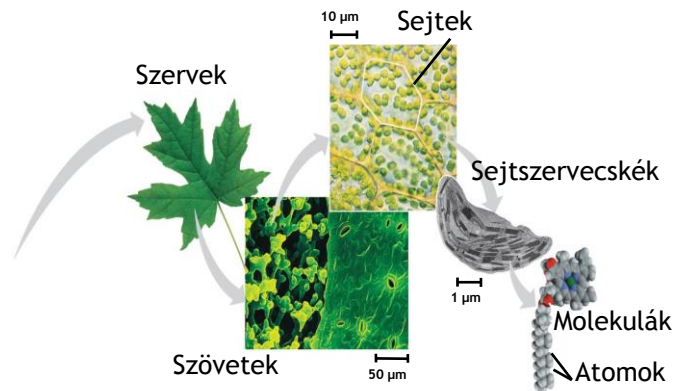
Bevezető

- **Biológia:** az élet tudománya, élőlények eredetének, testfelépítésének, működésének és a környezettel való kapcsolatának megismerésével foglalkozik.
- Mi az „élet”, mi az „élő”?
- Az élet az élő rendszerek létezési módja. Élő az a rendszer, ami az abszolút életkritériumokat kielégíti.
- Az egyed (=élő szervezet) térben környezetétől egyértelműen elhatárolható élő rendszer.
- Az élő rendszerek hierarchikus szerveződést mutatnak.
- A legkisebb élő rendszer a sejt (egysejtű élőlény).

Egyed feletti szerveződési szintek



Egyed alatti szerveződési szintek



Állati szövetek: Hámszövet, Kötő és támasztószövet, Izomszövet, Idegszövet
Növényi szövet(rendszer)ek: Osztódó szövet, Alapszövet, Bőrszövet, Szállítószövet

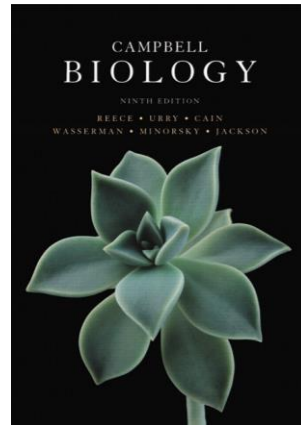
Tematika

Biokémia: lebontó és felépítő folyamatok (szerves kémiai és sejttani ismeretekre épülve)

Növénytan: növény szerkezettan és növényélettan

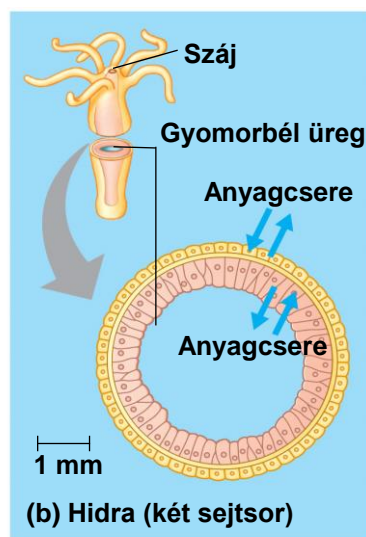
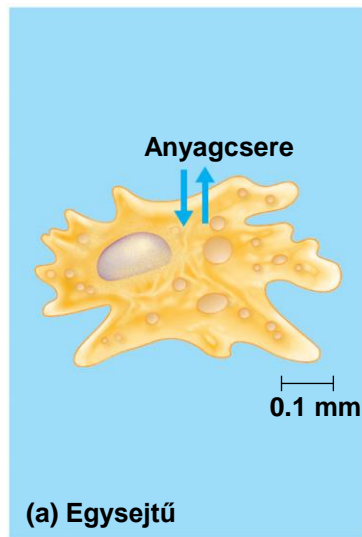
Állattan: anatómia/fiziológia

A kettő - forma és funkció - szorosan összefüggnek egymással.



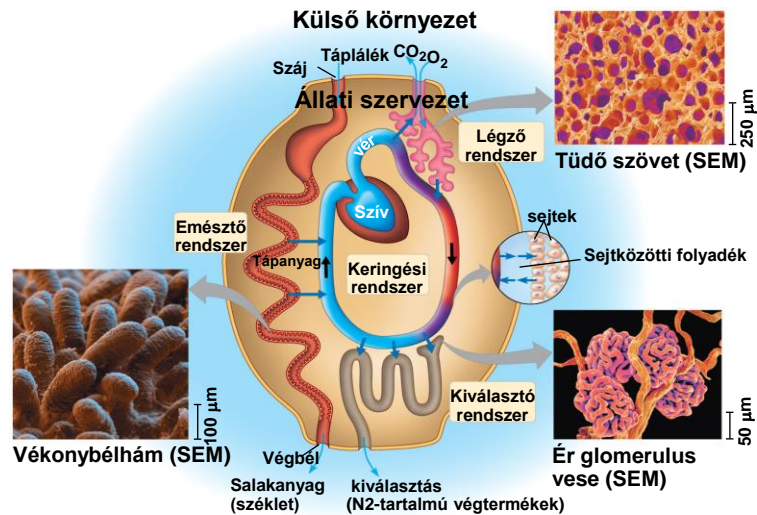
Campbell Biology
9. kiadás
ISBN-10: 0321558235
ISBN-13: 9780321558237
©2011 • Benjamin Cummings

Belső környezet és homeosztázis



© 2011 Pearson Education, Inc.

Anyagcsere és testforma



A termodinamika

- A metabolizmus keretében zajló anyag- és energiaáramlás a termodinamika törvényeit követi.
- **A termodinamika** a fizika energiaátalakulásokkal foglalkozó tudományterülete.
- Termodinamikai rendszerek:
 - elszigetelt rendszerek
 - zárt rendszerek
 - nyílt rendszerek

Az **elszigetelt rendszerek** és környezetük között anyag- és energiaforgalom nem zajlik. Kb. mint a termoszban lévő meleg tea.

A **zárt rendszerek** környezetükkel anyagforgalmat nem bonyolítanak le (energiaforgalom lehetséges). Kb. mint az zárt üvegben lévő meleg tea (hűl).

A **nyílt rendszerek** környezetükkel anyag és energiaforgalmat bonyolíthatnak le. Kb. mint a pohárban lévő meleg tea (párolog és hűl)..

Az energia megjelenési formái

Az energia a változás/változtatás képessége.

Az energia különböző formái:

- **Kinetikus energia = mozgási energia**
- **Termikus energia:** hőmozgással kapcsolatos kinetikus energia, **hőenergia**
- **Potenciális energia = helyzeti energia** (az anyag térbeli helyzetéből vagy szerkezetéből adódó)
- **Kémiai energia:** kémiai reakciók során felszabaduló potenciális energia.

Az energiaformák átalakulhatnak egymásba - a termodinamika 1. törvénye szerint.

Az univerzum energiatartalma állandó. A rendszer és környezete energiájának összege állandó.

Zárt rendszer energiája növelhető, ha munkát végzünk rajta, vagy hőt közlünk vele.

Szabadenergia

Fordítva: a zárt rendszer hőt adhat le a környezetének és munkát végezhet rajta miközben belső energiája csökken.

Az első főtételből azt gondolhatnánk, az energia-átalakulási folyamatok bármilyen irányban folynak. Ez azonban nincs így →

A termodinamika 2. törvénye: zárt rendszer és környezete entrópiája nem csökkenhet. $\Delta S_{\text{rendszer}} + \Delta S_{\text{környezete}} \geq 0$

Az egyensúly (egyensúly) elérésekor a rendszer maximálisan stabil állapotba kerül. Ilyenkor S max.

A szabadenergia a belsőenergia munkavégzésre hasznosítható része (a többi hő formájában elvész).

Csak azok a folyamatok zajlanak le spontán, ahol ΔG negatív.

$$\Delta G = \Delta E - T\Delta S \quad (T \text{ áll.}) \quad (\text{a térfogat is állandó})$$

A metabolizmus a termodinamika szemszögéből

Az élő rendszerek sem szeghetik meg a termodinamika törvényeit.

A sejtek felépítő folyamatai során a keletkező struktúrák rendezettebbek, mint a kiindulási anyagok.

Az élő rendszerek nyílt rendszerek.

Az entrópia a szervezet növekedése során csökken, de a környezete (végső soron az univerzum) entrópiája nő.

A sejtek anyagcsereje didaktikailag (= oktatástan) két részre osztható:

Lebontó anyagcsere (katabolizmus)

Felépítő anyagcsere (anabolizmus, bioszintézis)

A két alapvető anyagcsereirány kiegészíti egymást.
(Nem egymás ellen dolgoznak!)

Lebontó anyagcsere

Tápanyagokból indul ki

A tápanyagok többnyire **redukált, szerves anyagok**.

A lebontás során egyre kisebb és oxidáltabb anyagokká alakulnak. A lebontó folyamat **oxidáció** (= elektronelvonás). Az oxidáció többnyire **hidrogénleadással** jár (H = proton+elektron).

- A sejtekben a e^- (és a H^+) fogadó molekulája a **NAD⁺**.

Energiafelszabadító reakciósor

Az energia egy része **ATP**-ben raktározódik. A másik része hővé alakul, és elvész.

Bioszintetikus folyamatok

Egyszerű szerves vegyületekből - ill. autotrófok esetében CO_2 -ból - indul ki. Az egyszerű szerves vegyületek többnyire a lebontó anyagcsere köztitermékei.

Redukciós folyamat, egyre bonyolultabb vegyületek képződnek. A szükséges elektronokat (többnyire protonnal együtt, azaz H formájában) a **NADPH** szolgáltatja.

Energiafelhasználó folyamat. Az energia **ATP**-ből származik.

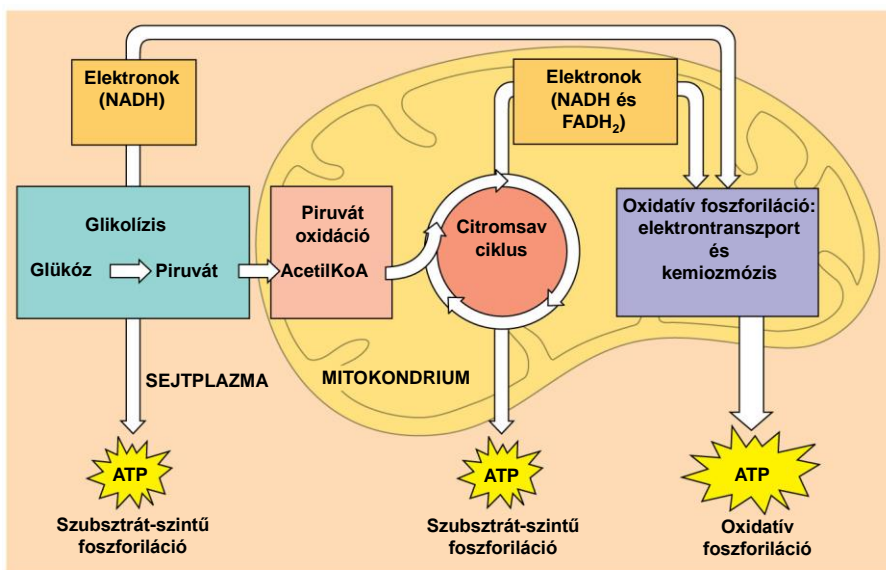
- Az ATP az anyagcsere „fizetőeszköze”
- Az ATP a lebontó folyamatokban vagy a fényenergia hasznosításával képződik.
- Az ATP összeköti a lebontó és felépítő folyamatokat.

A bioszintézis mértéke nem haladhatja meg a lebontást (heterotrófokban).

Ellenőrző kérdések:

- 1. Az élő szervezetek hierarchikus felépítése
Szövetek, szervek, szervezet*
- 2. A termodinamika 1. és 2. főtétele*
- 3. A metabolizmus termodinamikai szempontjai*
- 4. A lebontó folyamatok jellemzői*
- 5. A felépítő folyamatok jellemzői*

A szénhidrátlebontás áttekintése



© 2011 Pearson Education, Inc.

Glikolízis

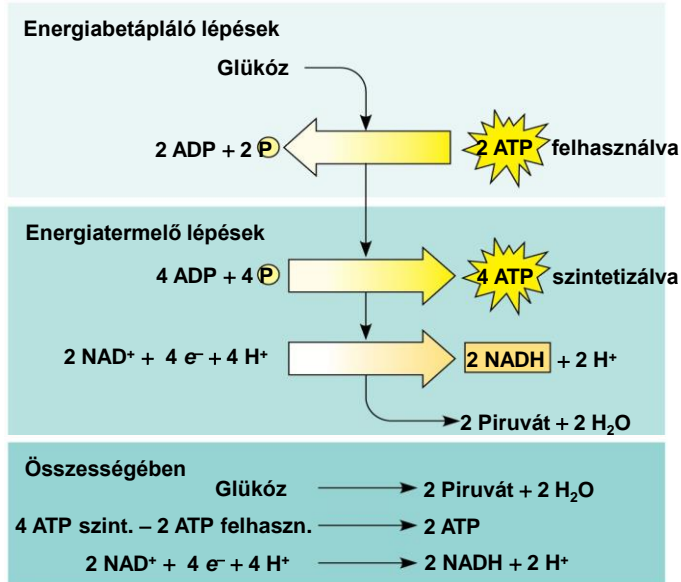
A **glikolízis** a szénhidrátok katabolizmusának kezdő lépése, melynek során egy molekula glükóz két molekula piroszőlősavvá (piruvát) oxidálódik 2 ATP és 2 NADH képződése mellett.

Minden élőlény képes kivitelezni és minden sejt meg tudja csinálni.

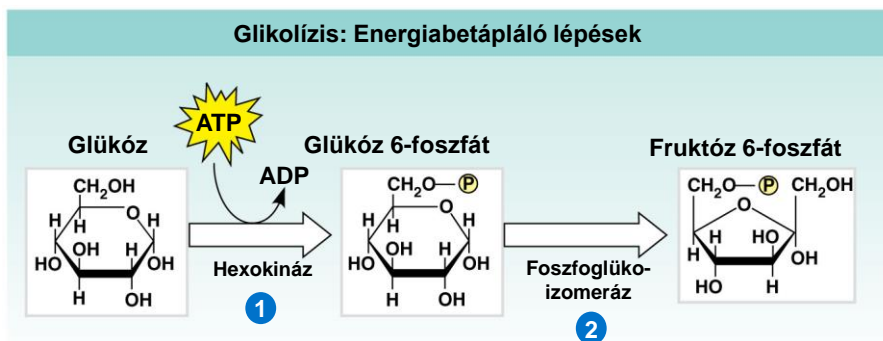
A folyamat három alapvető célt szolgál:

1. Makroerg molekulák (**ATP, NADH**) termelése
2. **Piroszőlősav** termelése a citromsavciklus számára
3. Hat- és háromszénatomos **köztitermékek** termelése más anyagcsere-folyamatok (pl. aminosavsintézis) céljaira.

A glikolízis áttekintése

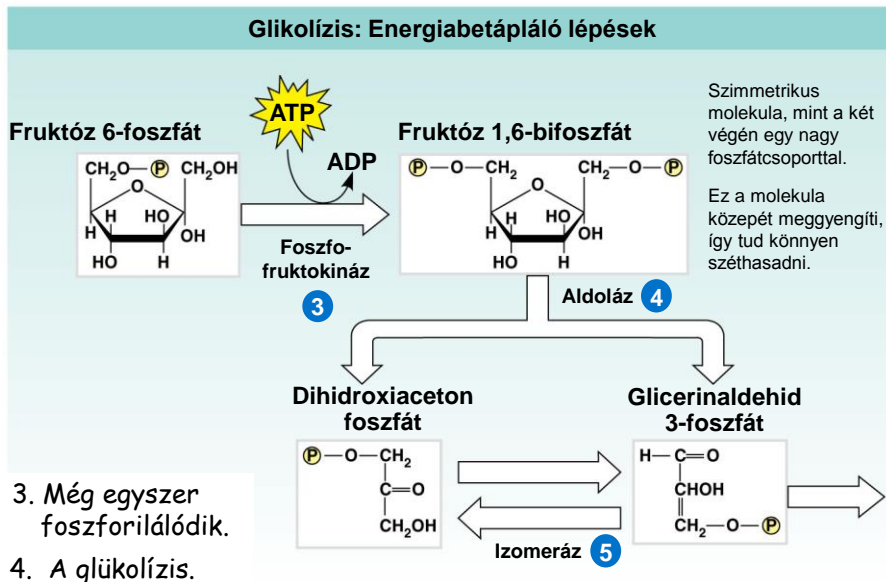


A glikolízis lépései 1.

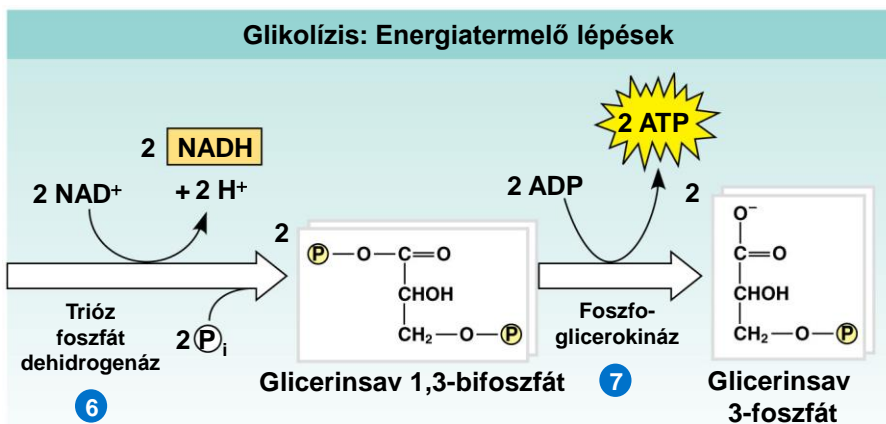


1. ATP-vel foszforilálódik.
2. Izomerilálódik, fruktóz-P-tá alakul át.

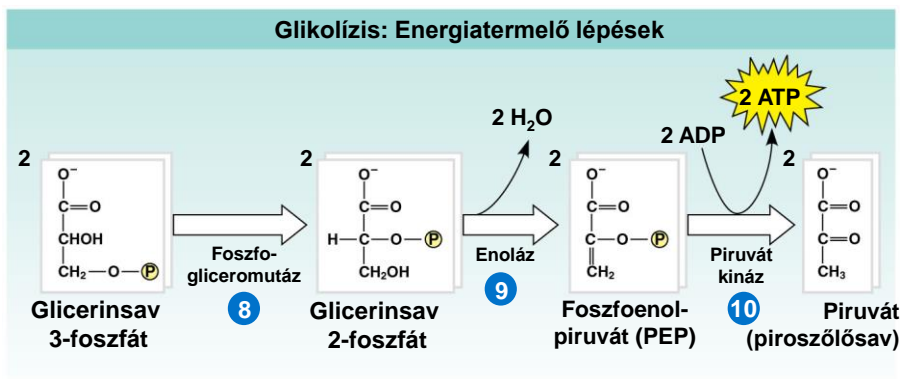
A glikolízis lépései 2.



A glikolízis lépései 3.



A glikolízis lépései 4.



8. Izomerizáció (A foszfátcsoport középre kerül. Így a következő lépés könnyebben megy.)
9. Vízelvonás.
10. Energianyerés. Második ATP szintézis.

Az erjedés

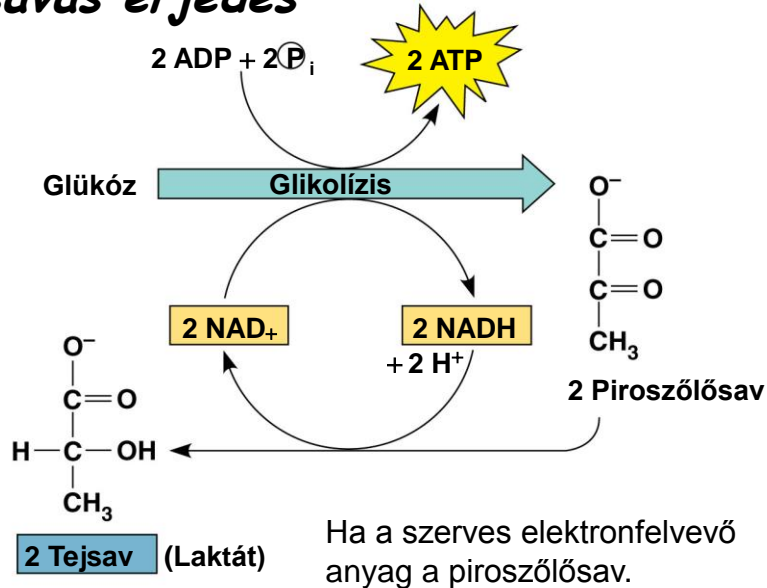
Mi legyen a NADH-val? Ha az összes NAD^+ -ot elhasználjuk a folyamat leál. Az élő szervezetek többféle módon oldják meg.

Egyik mód az erjedés.

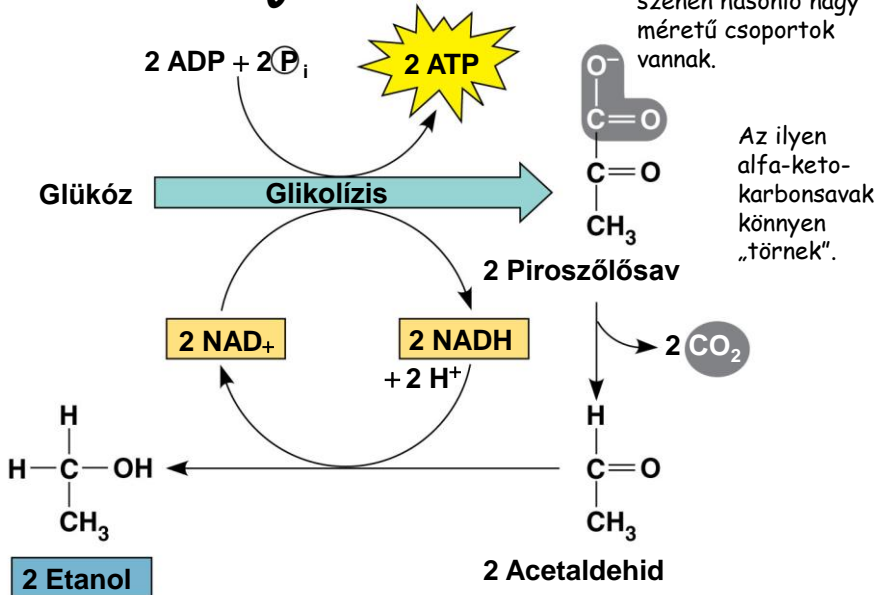
- tejsavas erjedés
- alkoholos erjedés
- vajsavas erjedés
- metanogén erjedés

Mindig a végtermék alapján nevezzük el.

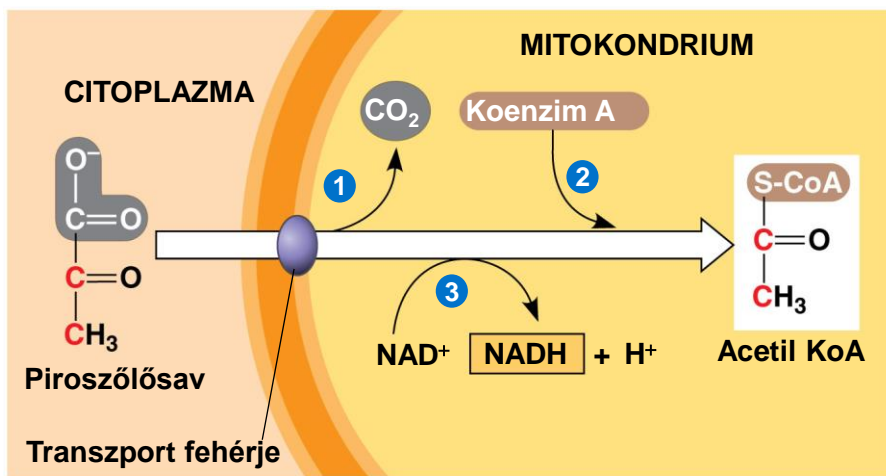
Tejsavas erjedés



Alkoholos erjedés



A piroszőlősav oxidációja

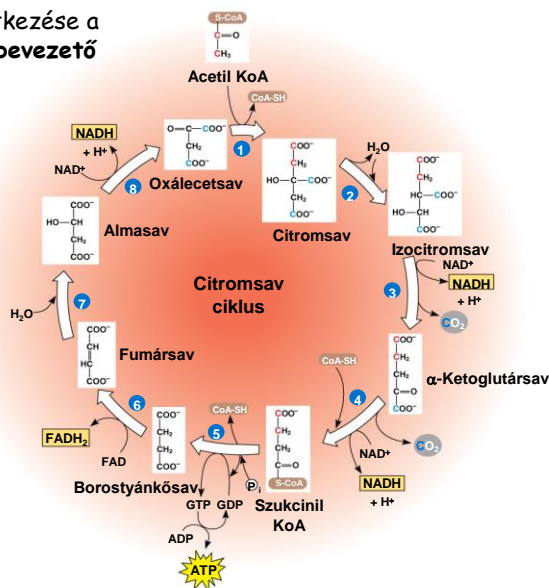


© 2011 Pearson Education, Inc.

A folyamatot a **piruvát dehidrogenáz** enzim komplex végzi. A komplex három enzimből áll, ezek prosztetikus csoportjai ismert vitaminok. (**tiamin, riboflavin**)

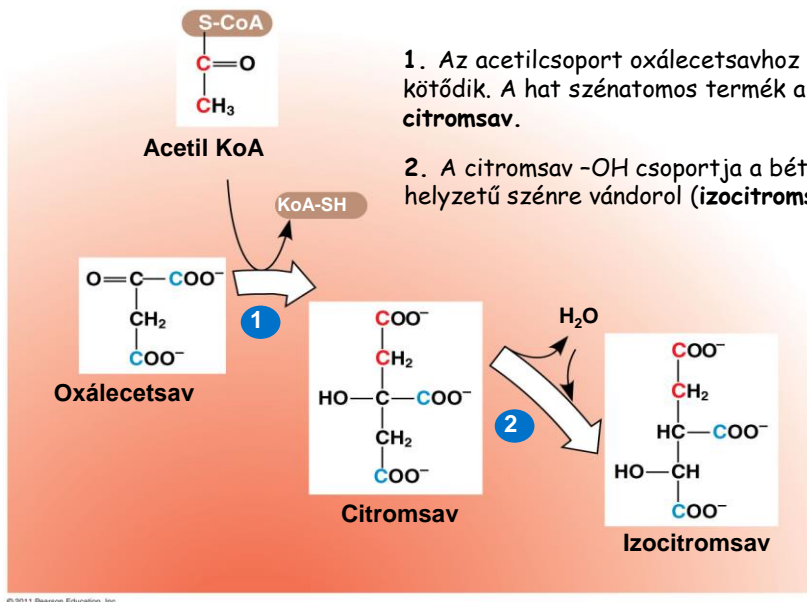
A citromsav ciklus áttekintése

Acetil-KoA keletkezése a citromsavciklus bevezető lépése.



© 2011 Pearson Education, Inc.

Citromsav ciklus 1.



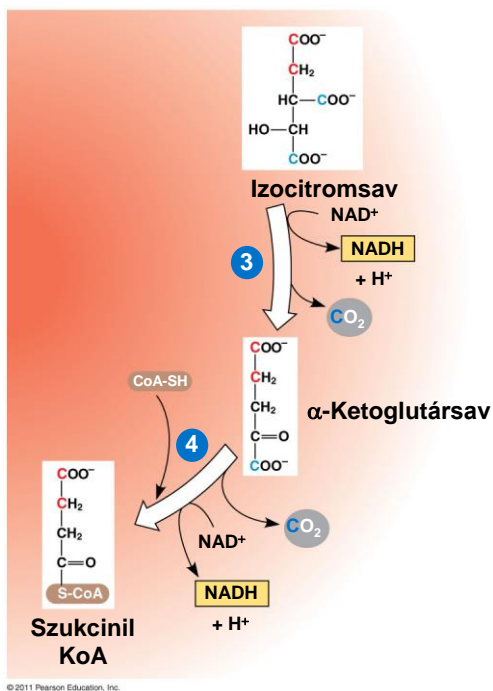
Citromsav ciklus 2.

3. Az -OH csoport $=O$ csoporttá **oxidálódik** (NADH képződik megint!).

Oxálborotjánkósav keletkezik, amiről azonnal leszakad a CO_2 . A végtermék **alfa-ketoglutársav**.

(A piroszőlősavhoz hasonló szerkezet és reakció).

4. **Dekarboxiláció és oxidáció** (Újabb NADH képződik!) Az oxidáció során felszabaduló energia CoA-kötésben konzerválódik.

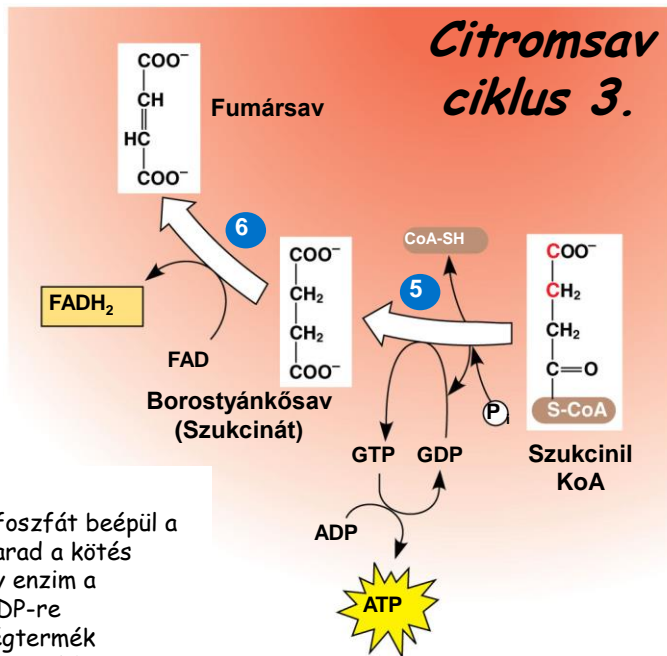


6. A borotyánkősav **fumársavvá** oxidálódik, FADH_2 képződik.

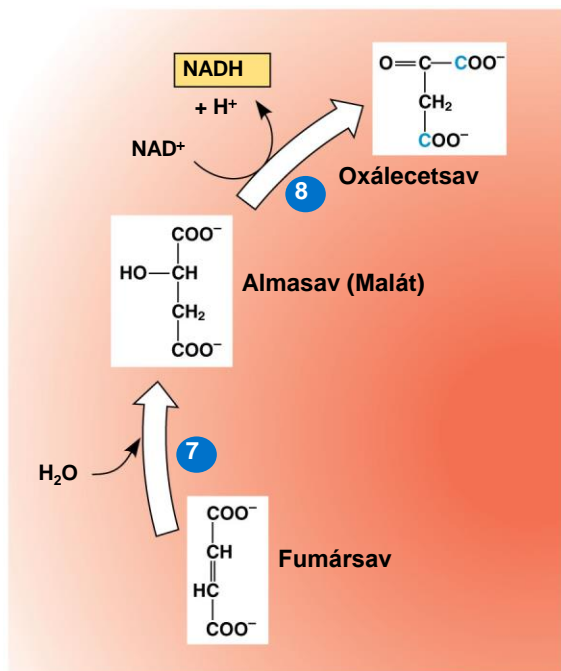
Az enzim membránkötött (szokatlan módon), tulajdonképpen az elektrontranszportlánc része is egyben.

5. GTP szintézis.

Először szervesetlen foszfát beépül a KoA helyére (megmarad a kötés energiája), majd egy enzim a foszfátcsoportot GDP-re transzportálja. A végtermék **borotyánkősav** (szukcinát).



Citromsav ciklus 4.

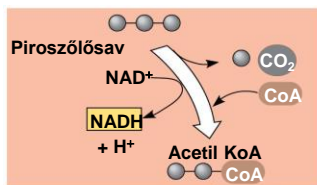


7. A fumársav **almasavvá** hidratálódik.

8. Az almasav oxidációjával visszkapjuk az **oxálecetsavat**.

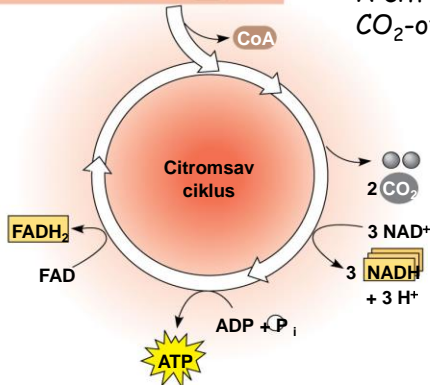
(Megint egy NADH!)

A citromsav ciklusból kilépő molekulák



Az egész citrát ciklusnak az a lényege, hogy a belépő acetilcsoport két szene CO₂ formájában távozni fog.

A citrát ciklus hozza létre azt a CO₂-ot, amit ki fogunk lélegezni.



Szentgyörgyi Albert
Nobel díj 1937

© 2011 Pearson Education, Inc.

Ellenőrző kérdések:

1. A glükolízis

1. Helye a sejtben
2. Definíciója
3. Lépései: a metabolitok neve, ill, hogy melyik lépésben keletkezik NADH/ATP.
4. Milyen célokat szolgál a szervezetben?

2. Az erjedés formái

3. A piroszőlősav lehetséges sorsa

4. A citromsavciklus

1. Helye a sejtben
2. Főbb lépései: a metabolitok neve, ill, hogy melyik lépésben keletkezik NADH/FADH₂. Mikor szabadul fel CO₂.



2. előadás

Metabolizmus

Légzés

A glukóz szénét immár maximális fokig eloxidáltuk. Viszont ezáltal még több H halmozódott fel NADH (FADH₂) formájában.

Mi legyen vele?

Reagáltassuk szervesetlen redukálószerrel!

= LÉGZÉS

- Az eukariótákra aerob légzés jellemző.
- Egyes baktériumok képesek anaerob légzésre.

Egyes baktériumok képesek aerob és anaerob légzésre is. És vannak obligát anaerobok (aerob közegben elpusztulnak) is.

Denitrifikáció: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2$

metanogén ősbaktériumok: $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4$

Peroxiszómák

Legegyszerűbb, a H-t közvetlenül reagáltatjuk az oxigénnel.

A folyamat a **peroxiszómában** folyik.

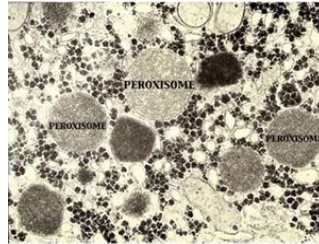
Peroxiszómák főleg a **májban**.

Kb. 1000 db peroxiszóma /májsejt

Két, csak rá jellemző enzim az

oxidáz $RH_2 + O_2 \rightarrow R + H_2O_2$
és a

kataláz $2H_2O_2 \rightarrow 2H_2O + O_2$

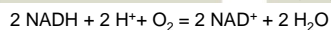
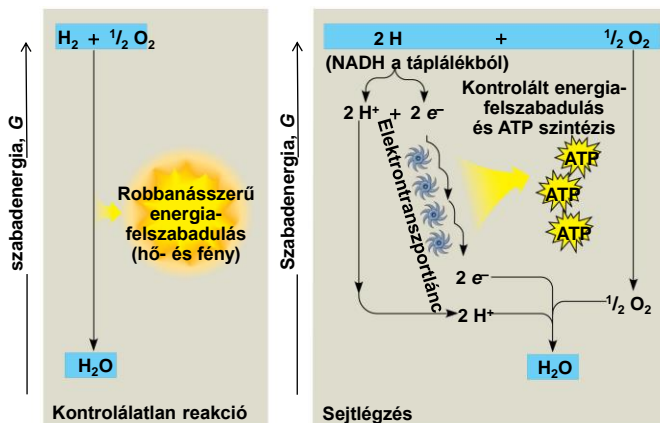


A **hidrogén-peroxid** rendkívül reaktív, mérgező vegyület, gyorsan el kell bontani.

ATP nem keletkezik, a felszabaduló nagy mennyiségű energia **hő formájában elvész**.

Terminális oxidáció 1.

- Az evolúció során egy más megoldás jött létre a **mitokondriumban**.
- A NADH és az oxigén nem közvetlenül reagál egymással, hanem egy **elektron szállító rendszer (légzési lánc)** tagjain keresztül.



- Ezáltal energia részletekben „szabadul fel”.
- Ez nagy mennyiségű ATP szintézisét teszi lehetővé.

Az oxidatív foszforiláció

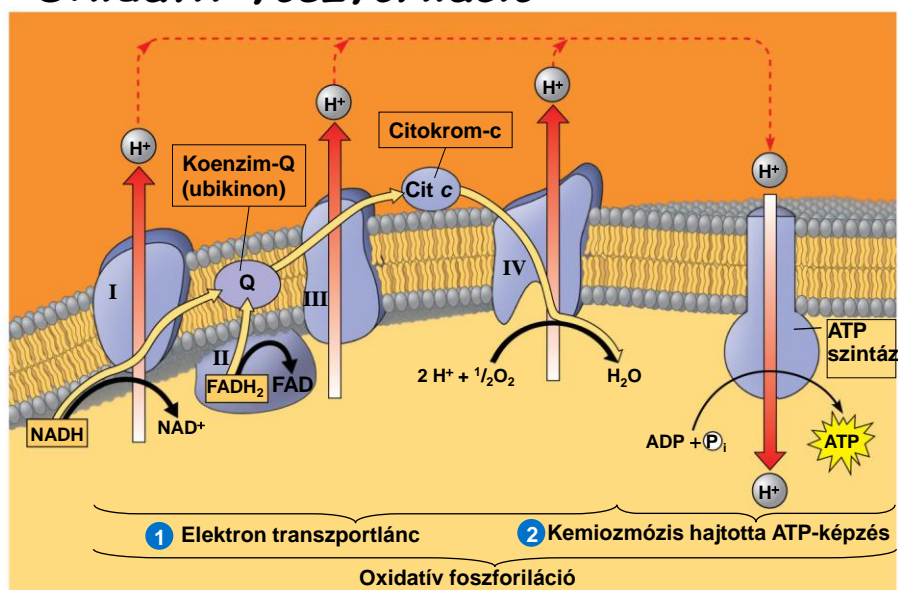
Az elektronszállító rendszer úgy működik, hogy **redukciós/oxidációs reakciókkal csatoltan H^+ -k pumpálódnak** a mátrix felől a mitokondrium külső és belső membránja közé.

Egy **pH- és feszültség-gradiens** alakul ki a belső membrán két oldala között.

Az ATP akkor képződik, amikor a H^+ ionok az **ATP-szintetáz enzimén keresztül visszaáramlanak** a mátrixba.

A **légségi lánc** által létrehozott elektrokémiai potenciál hajtja az enzimet. Az energia **elektrokémiai potenciál** formájában „raktározódik”

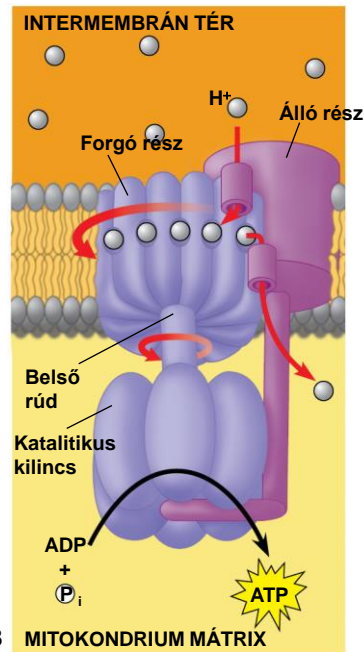
Oxidatív foszforiláció



Elektrontranszportlánc = légségi lánc

ATP szintáz

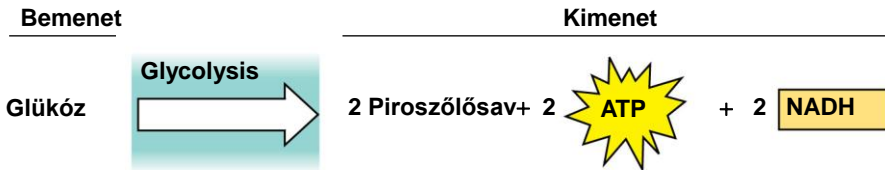
Amikor a protonok visszaáramlanak a mátrixba, energia szabadul fel. Ez az energia ATP szintézisére hasznosul.



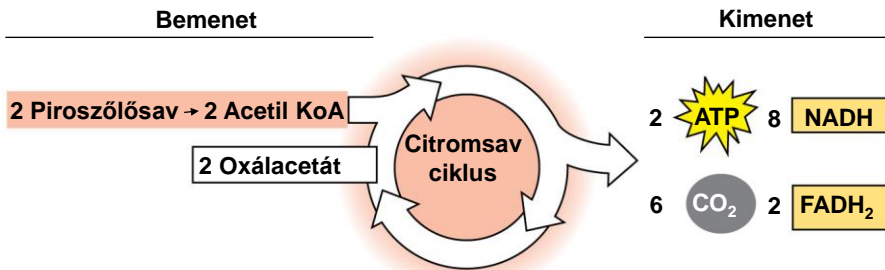
Peter Mitchell
Nobel díj, 1978

© 2011 Pearson Education, Inc.

A glükóz bontásának energiamérlege



© 2011 Pearson Education, Inc.



© 2011 Pearson Education, Inc.

$$4\text{ATP} + 10\text{NADH} + 2\text{FADH}_2 = 38\text{ATP}$$

(1NADH=3ATP, 1FADH₂=2ATP)

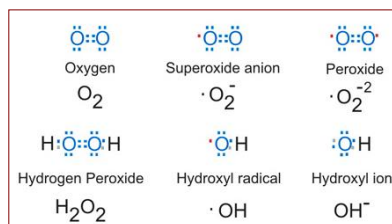
A terminális oxidáció energiamérlege

- $\text{NADH} + \text{H}^+ + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{NAD}^+ + \text{H}_2\text{O}$ $\Delta G^0 = -220 \text{ kJ}$
- $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP}$ $\Delta G^0 = + 30,8 \text{ kJ}$
- Az oxidatív foszforilációban 3 ATP keletkezik:
 $+ 92,4 \text{ kJ}$
- Az energia 41%-a konzerválódik ATP-be, a többi hővé alakul.
- A mitokondrium sokkal ügyesebben használja fel a hidrogént, kevesebb hő képződik.

Reaktív oxigéngyökök

Előfordul, hogy az oxigén nem 4 db elektront vesz fel, hanem kevesebbet.

Ezek a reaktív oxigéngyökök rendkívül veszélyesek (pl. tönkreteszik a mitokondriális DNS-t)



A reaktív oxigéngyökök elleni védekezés:

Szuperoxid-diszmutáz (SOD) a mitokondriumokban.

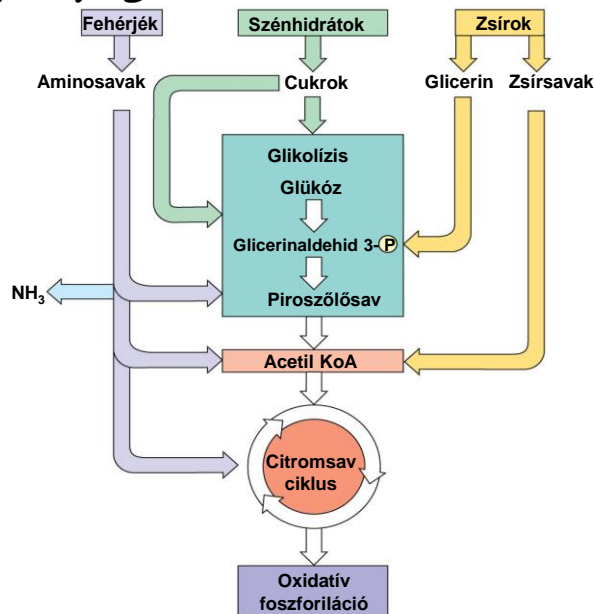
Gyökfogó vegyületek - **antioxidánsok**.

A biológiai oxidáció tehát nagy mennyiségű ATP-vel lát el minket, de „megfizetjük az árát”.

Ellenőrző kérdések:

1. A légzés definíciója
2. Milyen típusai vannak a légzésnek?
3. Milyen folyamatok történnek a peroxiszómákban?
4. Hasonlítsa össze a peroxiszómában ill. mitokondriumban zajló oxidációt!
5. A légzési lánc tagjai.
6. Az oxidatív foszforiláció lényege (mi a szintézis hajtóereje és hogyan jön létre).
7. Mik a légzés „árnyoldalai”? Hogyan próbálja a szervezet ezeket kivédeni?

A tápanyagok katabolizmusa



© 2011 Pearson Education, Inc.

A zsírok bontása - lipázok

A trigliceridek nem jutnak át a sejtmembránon, túl nagyok, ezért az észterkötéseket fel kell bontani - hidrolízis.

Lipázok.

Pankreász lipáz: az emésztés és felszívás során.

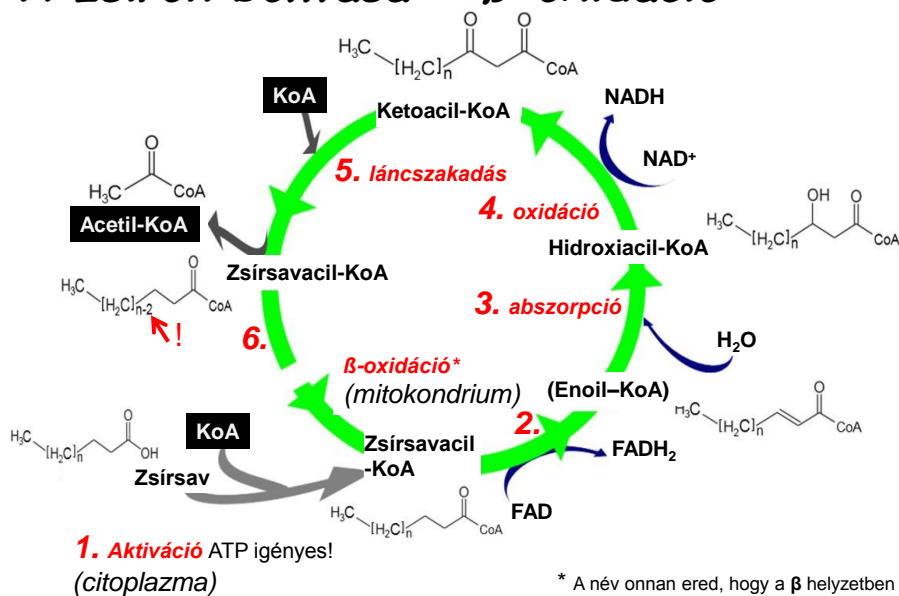
Lipoprotein lipázok: a vérből a zsírokat felhasználni képes szövetekbe (zsírszövet, szív- és vázizom) való bejutás során

Hormon-szenzitív lipáz: a zsírszövetben raktározott zsírok mobilizálásakor.

A keletkező **glicerín** glicerín-3 foszfáttá alakul, ami a glikolízis köztes terméke...

És a zsírsavlánc?

A zsírok bontása - β -oxidáció



A zsírsavak bontása - energiamérleg

Miért a mitokondriumban? Mert oxidatív közeg kell.

Mitokondriális transzport karnitin segítségével.

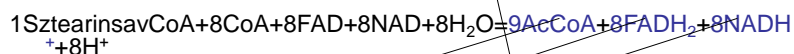
A fogyasztó anyagok is karnitint tartalmaznak, mert elősegíti a zsírok lebontását.

A β -oxidáció során nagy mennyiségű NADH keletkezik. (Az acetil-CoA további bontásával még több NADH és ATP.)

Aktiváció:



B-oxidáció:



(Egy AcCoA-ból 12ATP lesz)

$$\text{Azaz 1 sztearinsavból } 9 \cdot 12 + 8 \cdot 2 + 8 \cdot 3 - 2 = \mathbf{146 \text{ATP}}$$

A zsírok a legfőbb ATP forrás!

Az aminosav-anyagcsere

A táplálékkal felvett aminosavak sorsa:

- 1. fehérjeszintézis** (alapvetően ez a cél)
- 2. lebontás és raktározás cukor és zsír formájában** (pozitív energiamérleg esetén)
- 3. lebontás, elégetés, energiatermelés** (csak éhezés esetén)

A lebontás lépései:

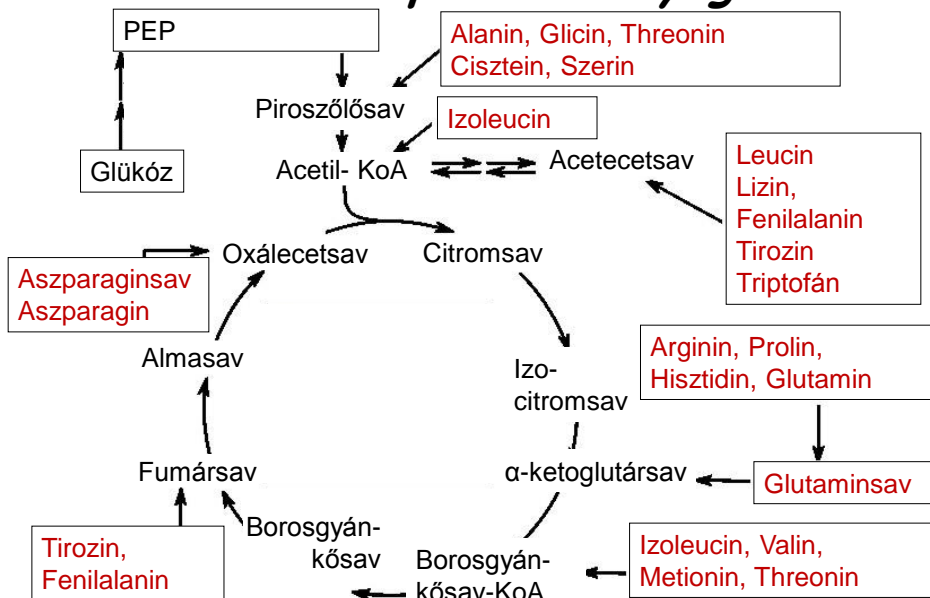
1. Az aminocsoport leválasztása

transzaminálás (másik as.-nak átadja)

oxidatív dezaminálás (ketonsav képződik)

2. A szénlánc átalakítása a cukor ill. zsírbontás vmilyen köztes termékévé.

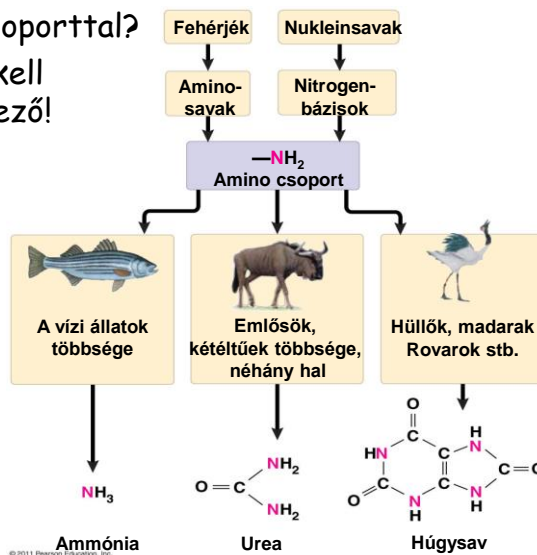
Aminosavak belépése az anyagcserébe



Nitrogén-ürítés

Mi legyen az aminos-csoporttal?

Re-szintézis, vagy el kell távolítani, mert mérgező!



Karbamid, ammónia, húgysav

1. Ammónia

- diffúzióval, így a hígításhoz és gradienshez nagy mennyiségű víz kell (halak, vízi gerinctelenek)

2. Karbamid (urea)

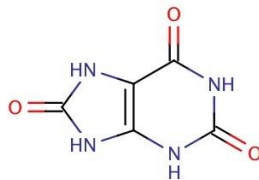
- Kevésbé mérgező, szintéziséhez ATP kell

3. Húgysav

- Kevesebb víz kell a kiválasztásához. Víziányos körülmények mellett (madár guano: húgysav és guanin)

A nukelotidok lebontása

1. A pirimidinbázisok bontása során glükogén és ketogén aminosavak keletkeznek.
2. A purinbázisok bontásának végterméke **húgysav**.



A nukleotidok lebontása alapvetően nem cél...

Ha a purinbázisok lebontása nincs egyensúlyban a kiválasztással/újrahasznosítással), akkor a rosszul oldódó húgysav kikristályosodhat (ízületi folyadékban, vesében).

Az ízületi folyadékban kiváló húgysav gyulladást okoz. Ez a **köszvény**.

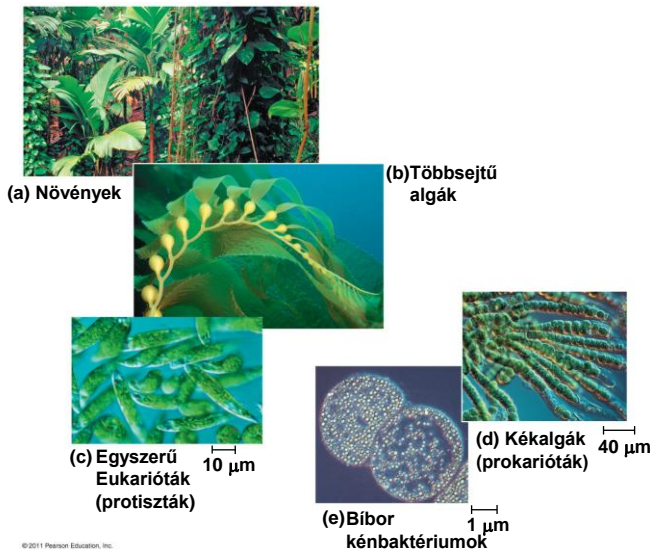
Ellenőrző kérdések:

- 1. A lipázok funkciója és típusai*
- 2. A zsírsavoxidáció lépései?*
- 3. A táplálékkal felvett aminosavak sorsa.*
- 4. A nitrogénanyagcsere lehetséges végtermékei*

Bioszintézis

- Egyszerűből → bonyolult.
 - Mi kell hozzá?
- 1. Szénforrás**
 - szervetlen vegyületek - autotrófok.
 - szerves vegyületek - heterotrófok
 - 2. Energia**
 - fényenergia - fototrófok (fotoszintetizálók)
 - kémiai energia - kemotrófok
 - kemolitotróf
 - kemoorganotróf
 - 3. Redukálószer (elektron és hidrogénforrás)**
 - szerves vegyületek - heterotrófok
 - víz - oxogénikus fotoszintetizálók
 - más - anoxogénikus (foto)szintetizálók

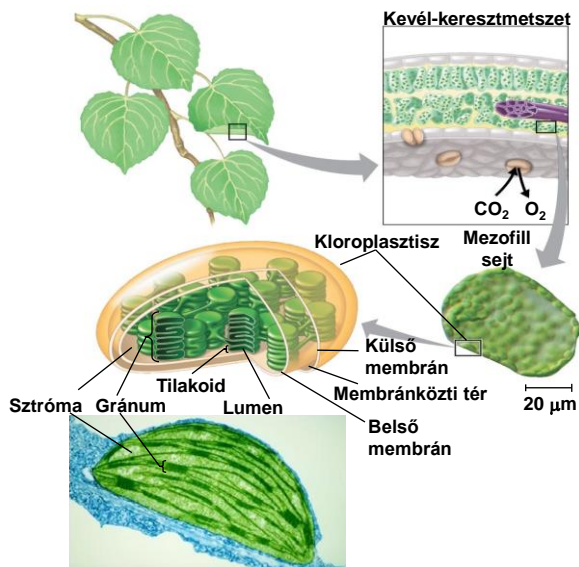
A fotoszintézis evolúciója



A fotoszintézis jelentősége

- Az **előállított szerves anyag** az alapja az autotróf és a rájuk utalt heterotróf szervezetek közötti anyagcserének.
- A **fotoszintézis során „melléktermékként” keletkezett oxigén** lehetővé tette az oxidatív légkör kialakulását, az ózonsztréteg létrejöttét.
- Ezáltal az élővilág új területeket népesíthetett be, élettere a **szárazföldre** is kiterjedt. Az ózon ugyanis védelmet biztosított az élőlényekre káros UV sugárzással szemben.
- A fosszilis energiaforrások (kőolaj, földgáz) sokmillió éve elhalt élőlények maradványaiból keletkeztek. Ilyen értelemben „napenergia-raktárak”.

A fotoszintézis helye a növényekben



A kloroplasztisz szerkezete

Kettős borítómembrán határolja

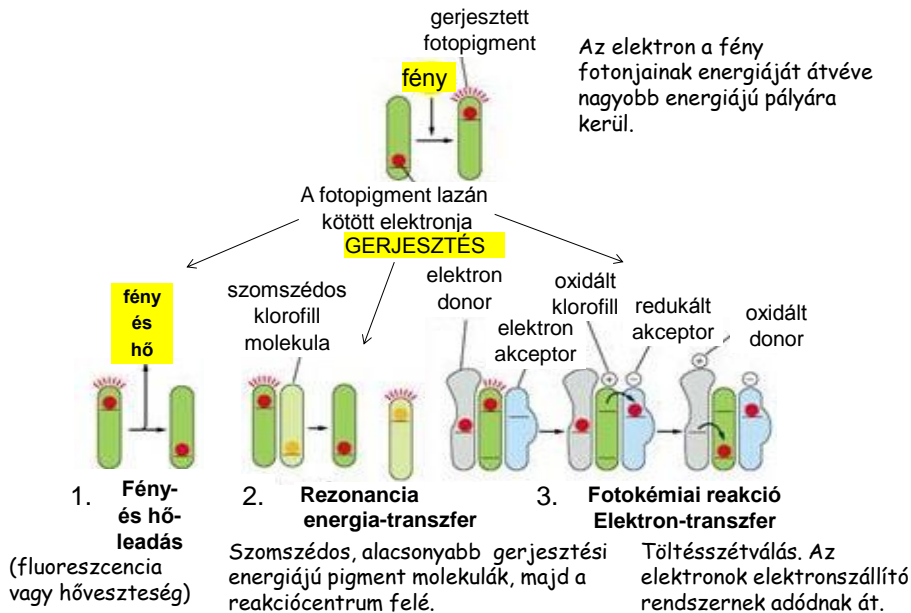
- Folyékony közege a **sztróma**
- Belső membránrendszere **tilakoidokból** áll
 - A külső felületükkel egymáshoz ragadt tilakoidok oszlopszerű képletei a **granumok**.
 - (az őket) összekötő tilakoid **lamellák**
- A tilakoidok belső üregrendszere a **lumen**

A **belső membrán** a bekebelezett prokarióta sejt membránja, a **külső** eukarióta eredetű.

A **sztróma** a prokarióta citoplazmájának felel meg, a Calvin ciklus enzimeit, keményítőt, DNS-t és riboszómákat tartalmaz.

A tilakoidok membránjában helyezkednek el a fényt megkötő fotopigmentek, az elektrontranszportlánc és az ATP szintáz.

A fényenergia megkötése



A fotokémiai rendszerek

A fotopigmentek fotokémiai rendszerekben helyezkednek el.

Két funkcionálisan eltérő rész:

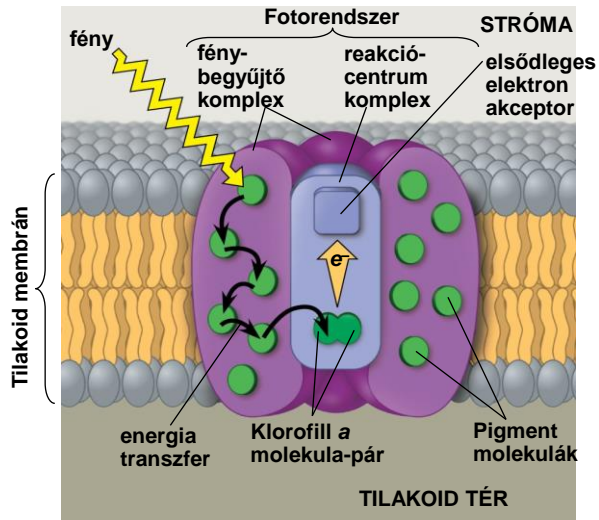
1. Antenna komplex

- A rezonancia elektrontranszfere a molekulák közti távolságtól és pozíciójuktól is függ. A fehérjékben a pigmentek optimálisan pozícionáltak.
- javítják a fényabszorpció hatásfokát (a reakciócentrum önmagában kevesebb fény megkötésére lenne képes).

2. Reakciócentrum

- A reakciócentrum egy irreverzibilis elektron csapda, ami a gerjesztett elektront gyorsan átadja egy olyan molekulának, ahol az sokkal stabilabb környezetben lesz.

A fotokémiai rendszerek szerkezete



A fotopigmentek

1. Klorofill a

- Ősi és univerzális (prokarióta cianobaktériumokban csak ez van)
- kék ill. vörös abszorpciós maximum 430 ill. 660 nm
- a fénybegyűjtés mellett fotokémiai reakcióra is képes.
- A PSI és a PSII reakciócentrumában
- A többiek a spektrumtartomány jobb lefedését szolgálják.
- Egyéb klorofillek
 - Az eukariótákban klorofill-b
 - Barna- és kovamoszatokban klorofill-c
 - Vörös moszatokban klorofill-d

A fotopigmentek

3. Karotinoidok

- a kék tartományban (400-500 nm körül) nyelnek el.

4. Fikobilnek

- vörösalgák és cianobaktériumok segédpigmentjei.

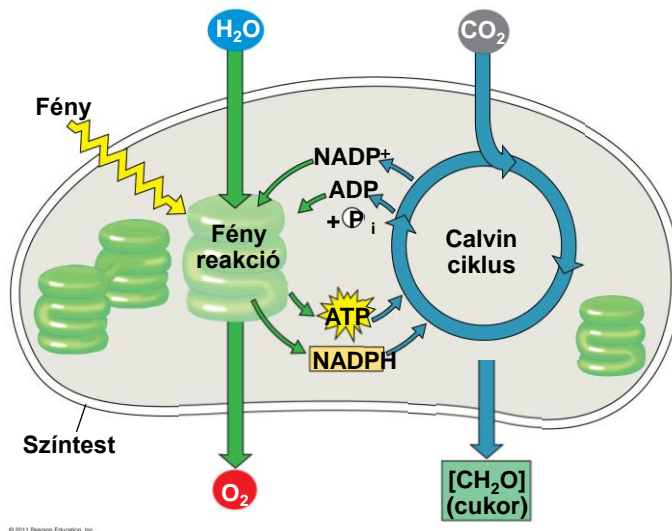
5. Bakterioklorofillek

- a nem oxigéntermelő baktériumokban
- abszorpciója az infravörös tartományban (900-1000 nm)
- víz alatti fényviszonyokhoz való alkalmazkodás

Ellenőrző kérdések:

- 1. A fotoszintézis főbb evolúciós állomásai*
- 2. A fotoszintézis evolúciós jelentősége*
- 3. A kloroplasztiszok szerkezete*
- 4. Fotopigmentek és jellemzőik*
- 5. A fotopigment által elnyelt fényenergia lehetséges sorsa*
- 6. A fotokémiai rendszerek főbb részei*

Fotoszintézis két fő szakasza



A fényszakaszban lejátszódó folyamatok

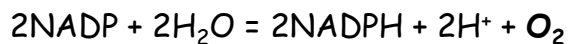
Fényelnyelés (abszorpció)

Vízbontás (fotolízis)

Elektrontranszport

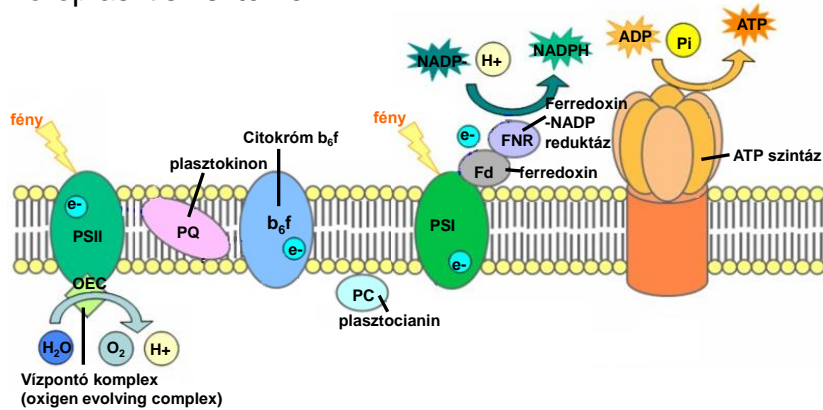
- végső elektronakceptor a NADP⁺

ATP szintézis



A fotoszinetikus apparátus

Kloroplasztisz sztóma



Tilakoid lumen

A fotoszintetikus apparátus

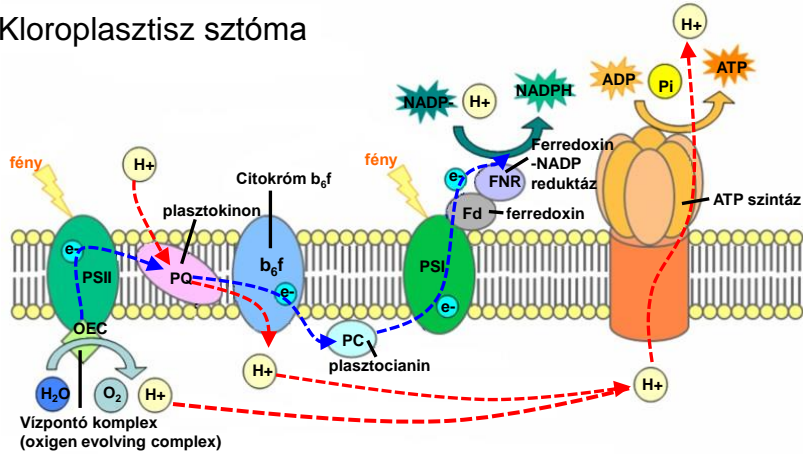
1. Kettes fotokémiai rendszer PS II (photosystem II)
 - fénybegyűjtő-komplex (Light harvesting complex - LHC)
 - reakciócentrum-komplex
2. Vízbontó komplex Oxigen evolving complex - OEC: Bizonyos szempontból a PSII része
3. Citocróm b6/F komplex
4. Egyes fotokémiai rendszer PS I (photosystem I)
5. Ferredoxin - NADP reductáz (FNR) Bizonyos szempontból a PSI része
6. ATP-szintetáz

membránkötött komponensek: PSII, (+ vízbontó alegység); Citokróm b6/f komplex; PSI (+ ferredoxin-NADP+ reductáz)

mobilis komponensek: Plasztokinon (membránban), Plasztocianin (lumenben), Ferredoxin (sztómában)

A fotoszinetikus apparátus

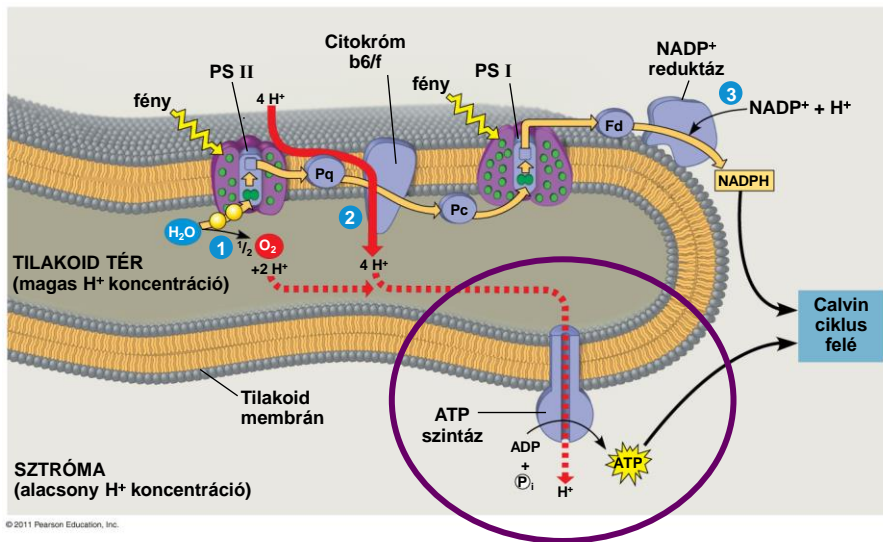
Kloroplasztisz sztóma



Tilakoid lumen

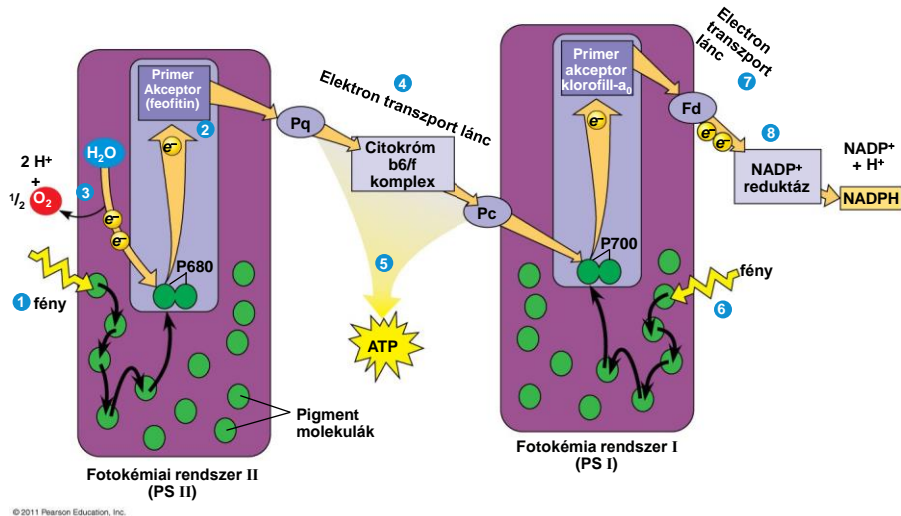
(A citokróm b6/f redukciója során a H ionok a sztómából érkeznek, oxidációjakor a lumen felé távoznak.)

A fotoszinetikus foszforiláció



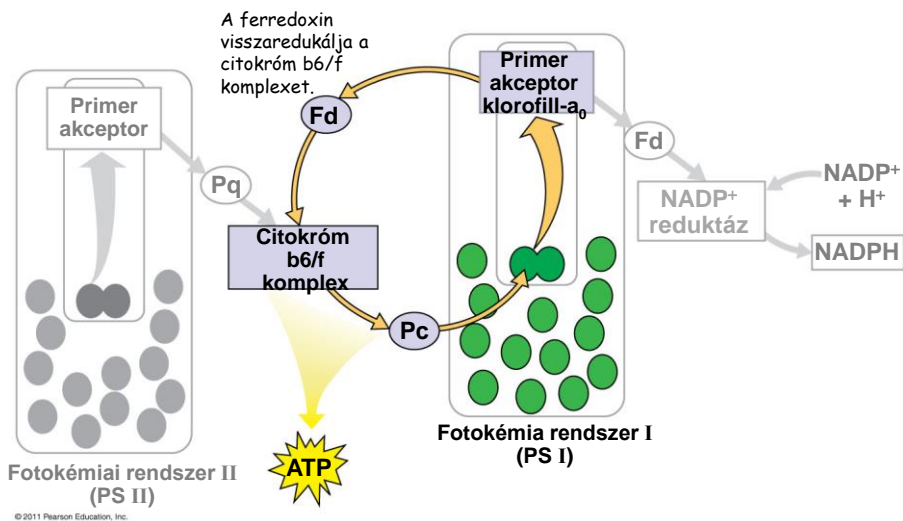
© 2011 Pearson Education, Inc.

A fényszakasz részletes vizsgálata

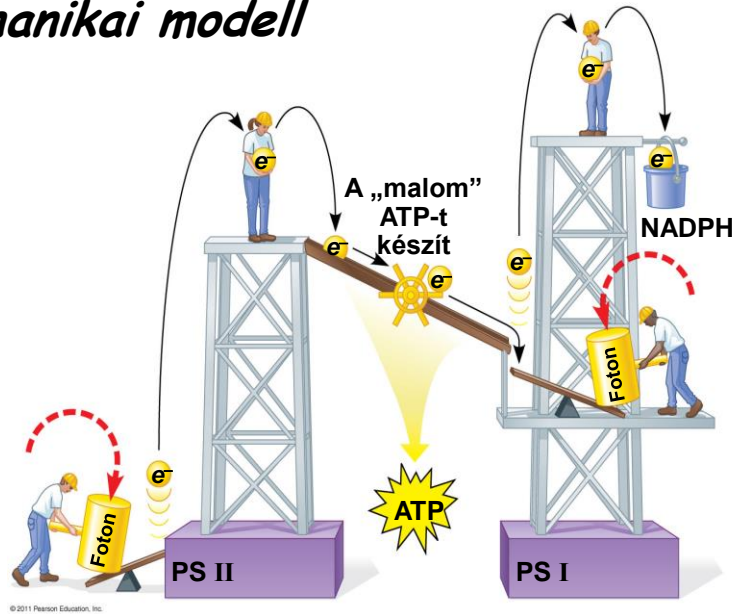


A PSI ciklikus működése

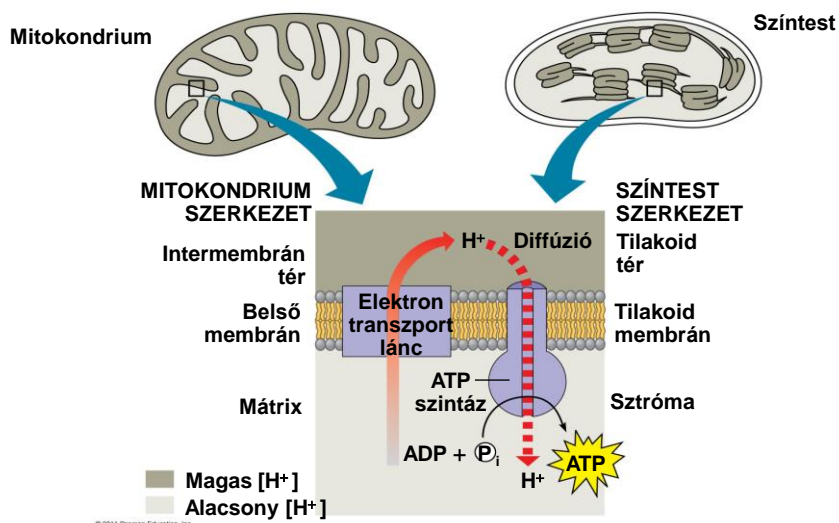
Célja tisztán az ATP szintézis. (A fénysoaktól is véd.)



Mechanikai modell



A mitokondriális és fotoszintetikus kemiozmózis összevetése



A mitokondriális és fotoszintetikus kemiozmózis összevetése

1. Fotoszintézisnél a hajtóerő a fény energiája
Oxidatív foszforilációnál az oxidálódó szénatomokról származó nagy energiájú elektronok hajtják.
2. A színtestekben a belső térből (sztróma) a tilakoidok belesejébe pumpálódnak a H^+ -ok.
A mitokondriumban a H^+ -ok a belső térből (mátrix) a külső és belső membrán közé pumpálódnak.
3. Az ATP mindkét esetben a belső térben szintetizálódik.

Ellenőrző kérdések:

1. *A fotoszintézis két fő szakasza és ezek szerepe*
2. *A fényszakasz legfontosabb történései*
3. *A fotoszintetikus apparátus felépítése: a résztvevő molekulák neve, elhelyezkedése*
4. *A PSII felépítése és működése (vízbontás!)*
5. *A PSI lineáris és ciklikus működésének összehasonlítása.*
6. *Az fotoszintetikus és oxidatív ATP szintézis összehasonlítása*

Metabolizmus



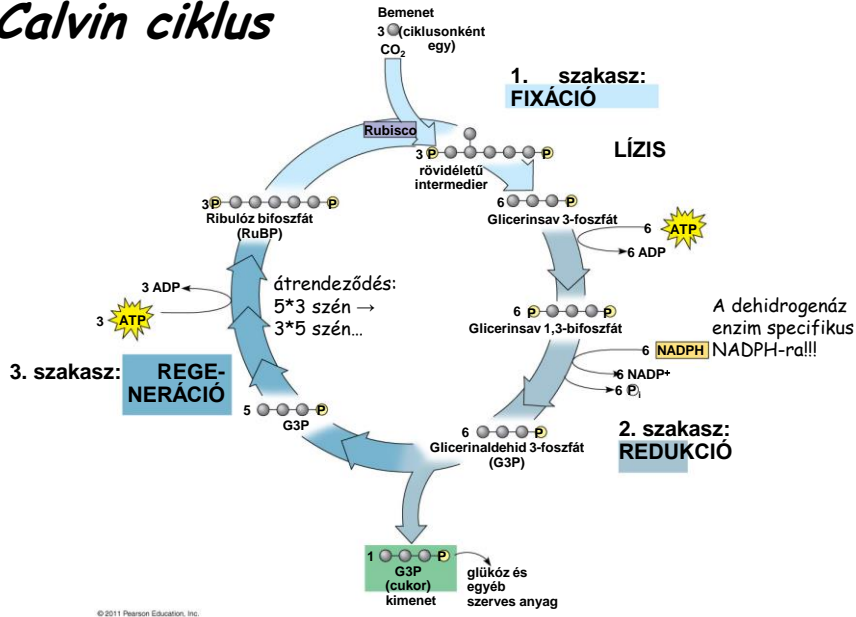
A Calvin ciklus

A fotoszintézis sötét-szakasza

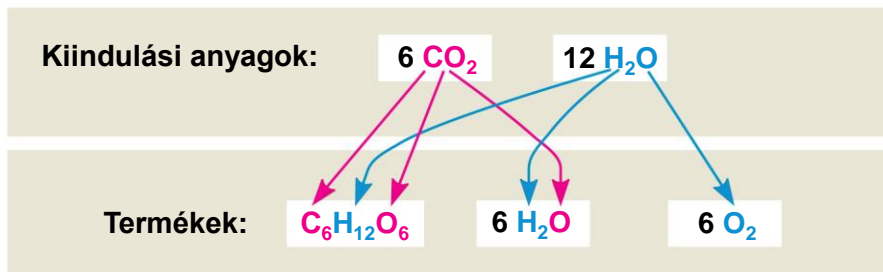
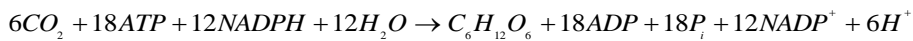
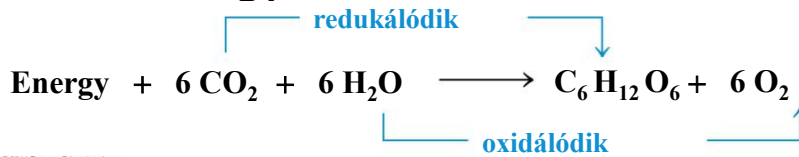
A reakció helye: a kloroplasztisz sztrómája felé néző tilakoid membrán felszíne.

- 1. FIXÁCIÓ: a széndioxid megkötése**
- 2. REDUKCIÓ: széndioxid redukciója szénhidráttá a fényszakaszról származó ATP és NADPH segítségével**
- 3. REGENERÁCIÓ: A széndioxidot megkötő molekula „visszanyerése” Ezek a reakciók már nem függenek közvetlenül a fénytől**

Calvin ciklus



A fixáció egyenlete



Fotorespiráció

A RuBisCo nem nagy affinitással köti a CO_2 -t és nem is szelektív.

Adott esetben O_2 -t is képes „fixálni”.

Normál körülmények között a széndioxid kötés sebessége kb. 4-szer akkora mint az oxigéné.

Ez az arány azonban az oxigénkötés javára tolódik el, ha

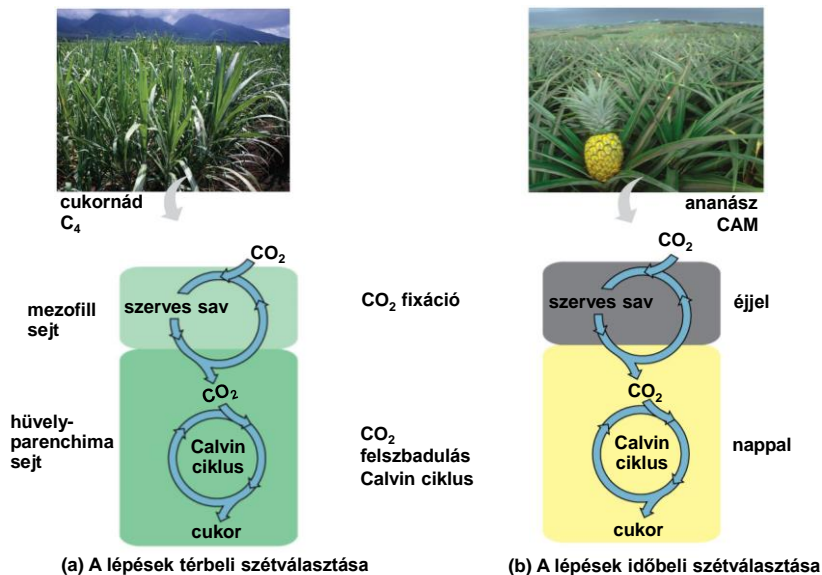
- a CO_2/O_2 arány romlik
- a hőmérséklet emelkedésével

A keletkező glikolsav-2-foszfát több lépésen keresztül - peroxiszómákba és mitokondriumokba kerülve - glicinné alakul, CO_2 kibocsátás közben.

O_2 fogy, CO_2 keletkezik → légzés

A fénylégzés veszteséges folyamat, mert nem jár ATP szintézissel, és akár 50% -ra is csökkenhet miatta a fixáció mértéke.

A C_4 és a CAM fotoszintézis



Ellenőrző kérdések:

- 1. A Calvin ciklus főbb lépései (nem csak a neve!)*
- 2. A fotorespiráció definíciója. Miért alakul ki? Mitől függ a mértéke?*
- 3. A C4-es növények jellemzői, anatómiája és fixációja.*
- 4. A CAM növények jellemzői és fixációja.*

Pentóz-foszfát ciklus

Az állatokban is **NADPH** szükséges a felépítő folyamatokhoz.

- A szintetizáló enzimek szelektívek!
- ez teszi lehetővé, hogy a NADH-ból mindenképpen ATP keletkezzen (a terminális oxidáció során).
- A felépítő és lebontó folyamatok különválasztása.

Hol keletkezik NADPH? (A citromsavciklusban nem!)

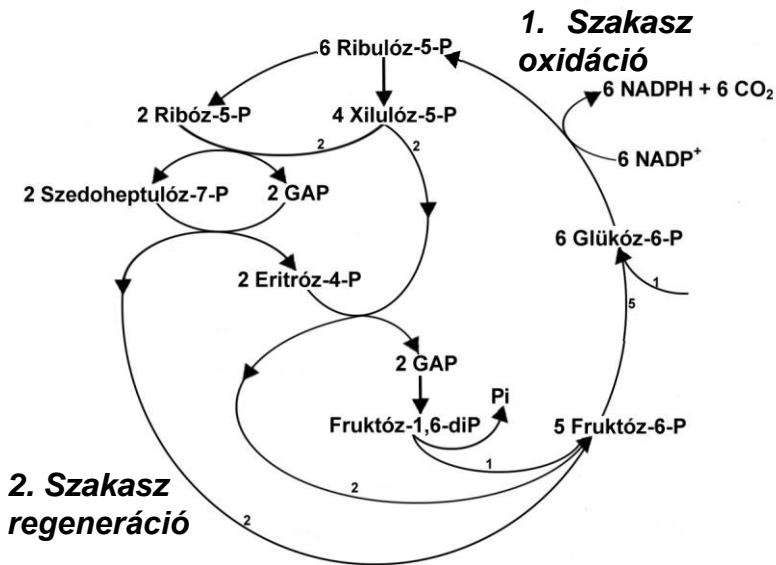
A válasz a **pentóz-foszfát ciklus**.

A citoplazmában zajlik.

A ciklus két szakaszra bontható:

- Oxidatív fázis
- Regenerációs fázis

Pentóz-foszfát ciklus



Pentóz-foszfát ciklus

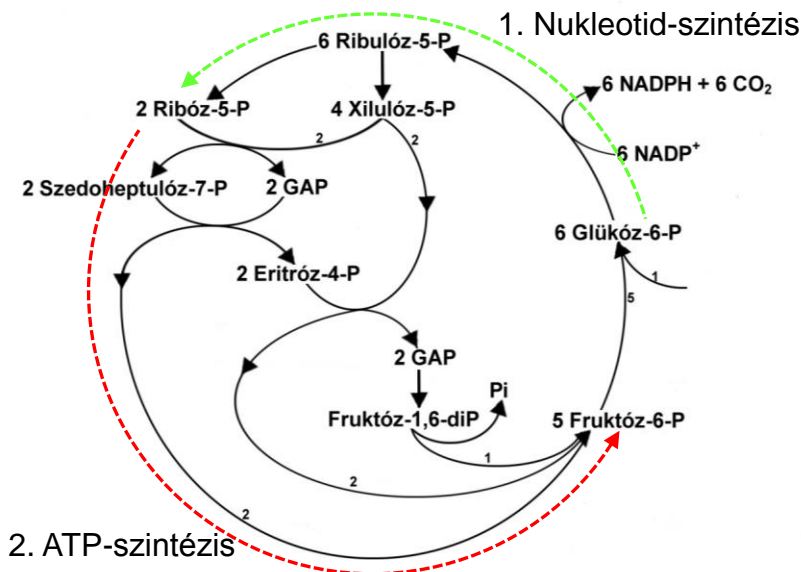
A visszatápláló lépések során visszkapjuk a glükóz-6-foszfát **egy részét**.

- 1db glükóz-6-P-ből 1db ribulóz-5-P és 1db CO₂ képződik. tehát 6 ciklus alatt
- 6db glükóz-6-P-ből 6db ribulóz-5-P és 6db CO₂ képződik. a regenerációs lépéseket figyelembe véve
- 6db glükóz-6-P-ből 5db glükóz-6-P és 6db CO₂ képződik.
- Olyan, mintha 1db glükóz-6-P teljesen eloxidálódott volna...

„a glükóz direkt oxidációja”

(„direkt”, azaz egyetlen lépésben).

A „félciklusok” szerepe



Calvin- vs. Pentóz-foszfát ciklus

1. Calvin ciklus a kloroplasztiszok sztómájában, Pentóz-foszfát ciklus a citoplazmában zajlik.
2. Felületesen szemlélve egymás megfordításának tűnnek. (De nem az!)
 - Calvin ciklusban CO₂ és NADPH felhasználódik, a pentóz-foszfát ciklusban keletkezik.
3. Mindkét ciklus záró lépése regeneráció.
4. A folyamat célja:
 - Calvin ciklusban szénhidrát szintézis
 - Pentóz foszfát ciklusban más felépítő folyamatokhoz szükséges NADPH szintézis

A glükoneogenezis kiindulási anyagai

- Minden olyan anyagból, ami a **glikolízis köztes termékévé** alakítható lehet glükózt előállítani.
 1. glicerin → gliceraldehid-foszfát (GAP) (lipidek)
 2. pentózok → GAP, fruktóz-6-foszfát (nukleotidok)
 3. aminosavak → piroszlósav (fehérjék)
- Sőt a **citromsavciklus tagjaiból** is lehet glükózt előállítani, mert azok oxálecetsavvá alakulhatnak, ami a glükoneogenezis köztes terméke.
 4. aminosavak → citromsavciklus tagjai

Aminosav-szintézis

Az a táplálék, aminek az aminosav összetétele megfelel a miénknek, a **teljes értékű táplálék**. Ez ritkán teljesül.

Az aminosavak egy része előállítható ketosavakból **transzaminálással**.

1. A szervezet nem képes a szintézisre:
leucin, isoleucin, valin, triptofán, threonin, lizin, hisztidin, metionin
2. A szervezet esszenciális aminosavakból állítja elő:
cisztein, tirozin
Ezek csak akkor esszenciálisak, ha a kiindulási (esszenciális) aminosav mennyisége korlátozott.
3. A szervezet képes szintetizálni, de a *de novo* szintézis nem tud lépést tartani a szükséglettel:
arginin (A karbamidszintézishez használdik el.)

Zsírsavszintézis

Zsírszintézisre minden sejt képes, de leginkább a **máj és a zsírszövet** sejtjeiben zajlik.

Nem a lebontófolyamat megfordítása!

1. A szintézishez **NADPH** kell, míg a lebontásnál **NADH** képződött.
2. Lokalizáció: a lebontás a mitokondriumban, a **szintézis a citoplazmában, az ER felületén.**
3. Mások az enzimek: a lebontásban több enzim vesz részt, a szintézist egyetlen hatalmas polipeptidlánc végzi: a **zsírsav-szintáz.**

Zsírsavszintézis főbb pontjai

A zsírsavlánc **két szénatomos egységekből** épül fel, az egységek **acetyl-KoA** molekulákból származnak.

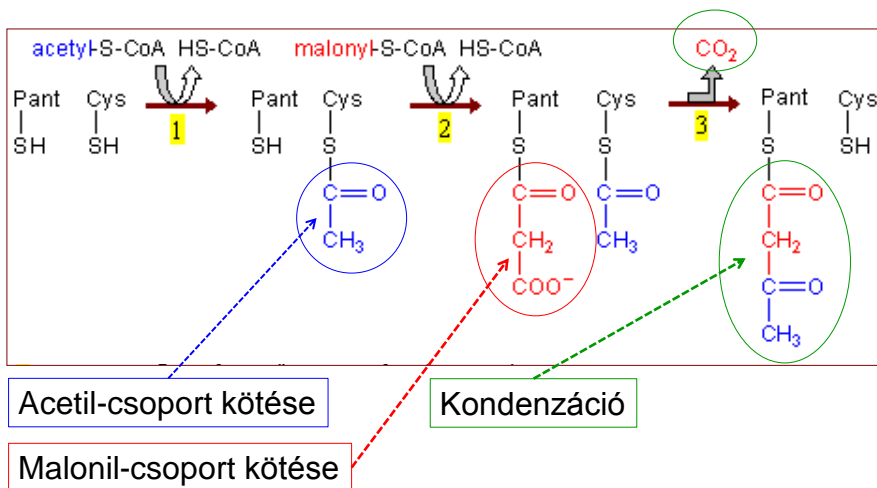
1. Aktiváció:

- A **CO₂ átmeneti beépülése**, ehhez **ATP**-ben tárolt energiát használ. **Malonil-KoA** keletkezik.
- Az enzim kofaktora a **biotin.**

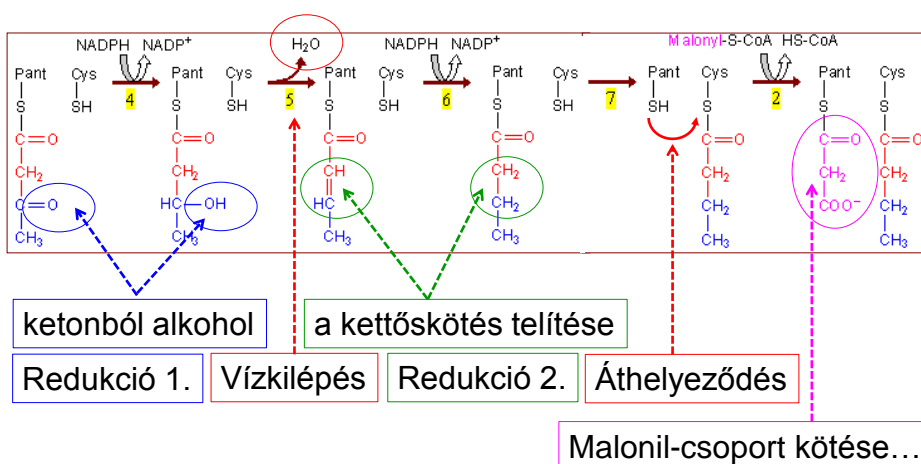
2. Lánchosszabbítás

- Az újabb egység hozzáadása során a **malonil-KoA dekarboxilálódik.**

A láncnövekedés lépései 1.



A láncnövekedés lépései 2.



Zsírsavszintézis főbb pontjai 2.

A lánc 16 egységnyi hosszúságig növekszik. Ez a **palmitinsav**.

3. Utólagos módosítások (ha szükséges)

- Lánchosszabítás
- **Kettős kötés** (egy!) létrehozása oxidációval
- **cukorlánc hozzákötése (glikolipidek) stb.**

Többszörösen kettős kötést tartalmazó molekulákat nem az emberi szervezet nem tud szintetizálni.

Ezek az esszenciális zsírsavak.

PI linolsav, linolénsav

Nukleotidok bioszintézise

1. A ribózt a **pentóz-foszfát ciklus** termeli glukózból.
2. A dezoxiribonukleotidok utólag képződnek, redukcióval (**B₁₂ vitamin** szükséges).

• A bázisok beépülése történhet:

1. A lebontás során keletkező **szabad bázisok újrahasonosításával**.
2. De novo szintézissel. A **de novo szintézis** során a bázisok nitrogéntartalma aminosavakból származik.

(Hevessy György kémiai Nobel-díj 1943)

Ellenőrző kérdések:

- 1. A pentóz foszfát ciklus definíciója és főbb lépései*
- 2. A pentóz foszfát ciklus szerepe (a félciklusok szerepe is)*
- 3. A Calvin ciklus és a Pentóz-foszfát ciklus összehasonlítása*
- 4. A glükoneogenezis célja, és kulcsenzimjei*
- 5. Az esszenciális aminosavak típusai*
- 6. Glükogén és ketogén aminosavak (mit jelenet a kifejezés)*
- 7. A zsírsavsintézis főbb lépései*
- 8. A zsírsavsintézis és lebontás összehasonlítása*
- 9. A nukleotidok bioszintézise*