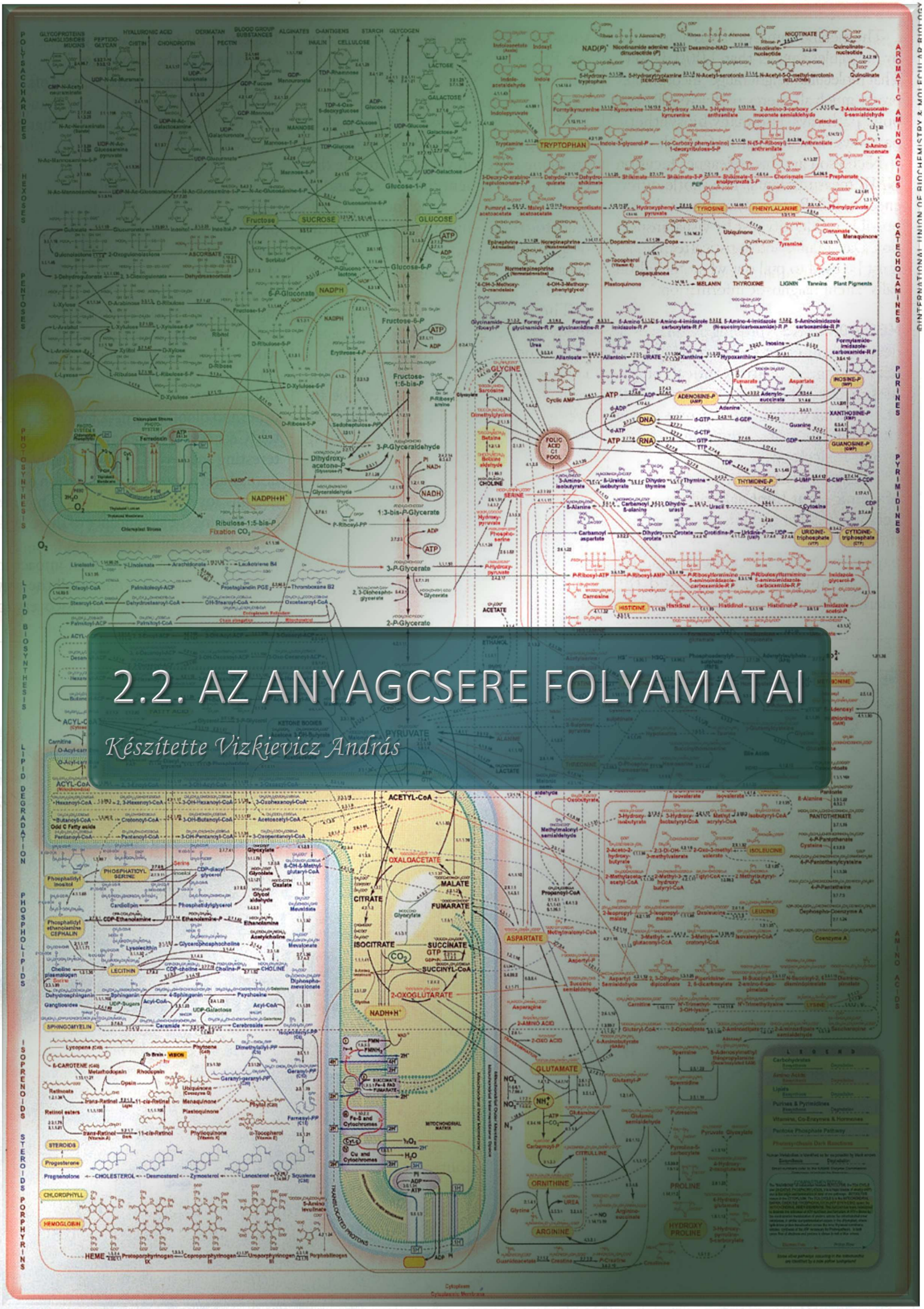


2.2. AZ ANYAGCSERE FOLYAMATAI

Készítette Vizkievicz András

Emelt szintű vizsgakövetelmények 2024

2.2. Az anyagcsere folyamatai

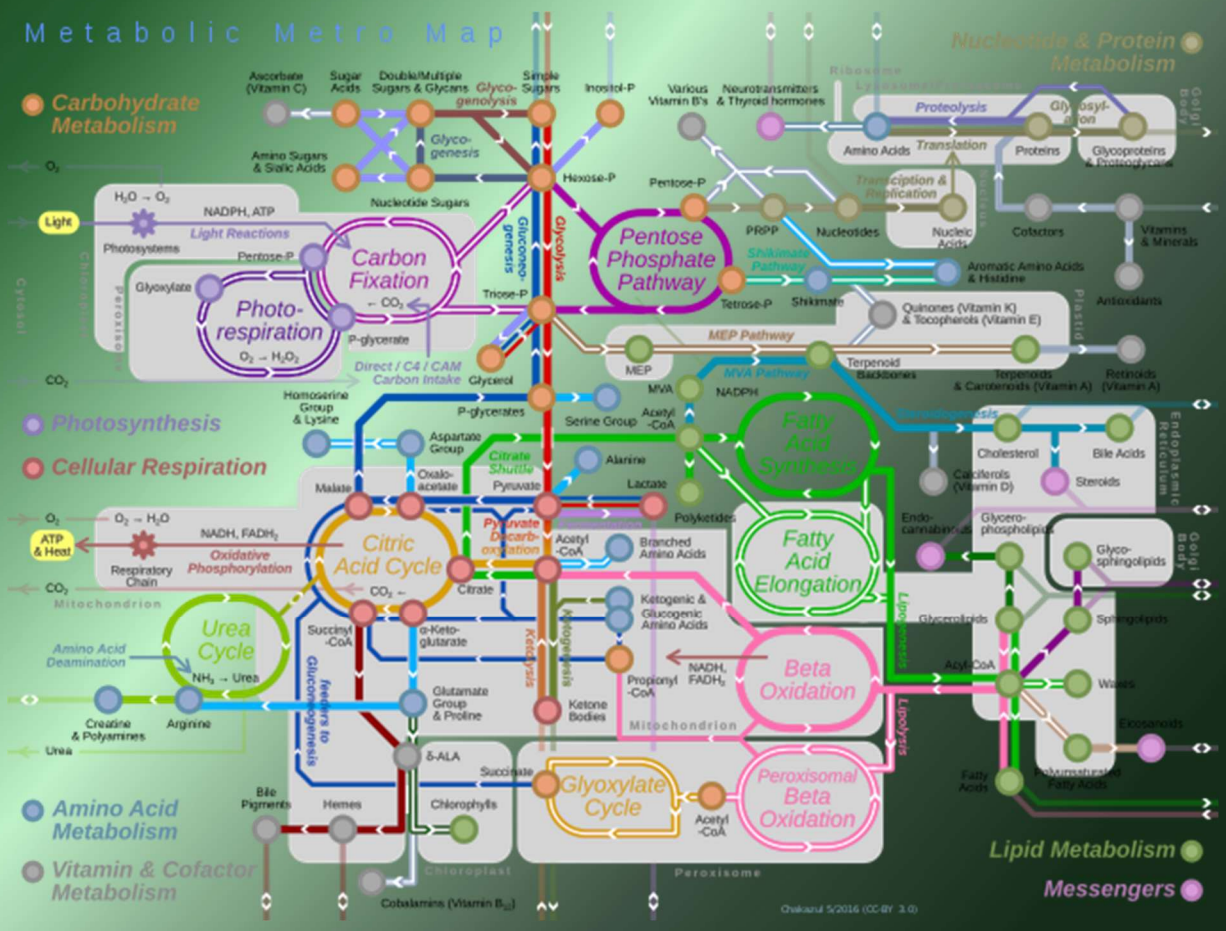
2.2.1. Felépítés és lebontás kapcsolata

Kulcsfogalmak

- Anyagcsere, lebontó folyamat, felépítő folyamat, fototróf, kemotróf, autotróf, heterotróf.

Gondolkodási művelet

- Hasonlítsa és kapcsolja össze az élőlények felépítő és lebontó folyamatait. Hasonlítsa össze az élőlényeket energiaforrás szempontjából (fototrófok és kemotrófok) és C-forrás szempontjából (autotrófok és heterotrófok).
- Tudja, hogy minden átépítés energiaveszteséggel jár.
- Értelmezze a hidrolízis és a kondenzáció fogalmát a makromolekula-alapegységek összekapcsolódása és szétbomlása folyamatában.
- Igazolja példákkal, hogy a sejt anyagcsere-folyamatai a környezettel folytonos kölcsönhatásban mennek végbe.



Az anyagcsere folyamatai

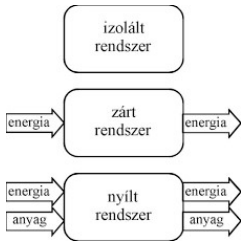
Készítette Vizkievicz András

A fejezet a követelményrendszer 2.2. pontja alapján készült.

2.2.1. Felépítés és lebontás kapcsolata

A **biológiai rendszerek** **anyagi rendszerek**. **Az anyagi rendszereket általában anyag- és energiaáramlás jellemzi és működésük fenntartásához sokszor energiára van szükség**. A Föld globális rendszerének működéséhez a meghatározó külső energiaforrás a Nap sugárzó energiája.

Az anyagi rendszerek csoportosíthatók aszerint, hogy az **adott rendszer és környezete között van-e anyag- és energiaforgalom**. Eszerint



- **Az izolált rendszerek** sem anyag-, sem energiaforgalomban nem állnak a környezetükkel.
- **Zárt anyagi rendszer** esetén energiaforgalom lehetséges, de anyagáramlás nincs a rendszer és környezete között.
- **Nyílt anyagi rendszer** olyan rendszer, amely a **környezetével anyag- és energiaforgalmat bonyolít le**. **Ilyenek az élő rendszerek**.

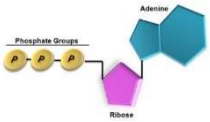
Az élő rendszerek működése szempontjából az anyag- és energiaáramlás mellett elengedhetetlen az **információáramlás**. A háromféle folyamat **összekapcsolódik**, egymástól szét nem választható, az energia és az információ anyagok formájában áramlik.

Az **élő rendszerek, mint nyílt anyagi rendszerek** a környezetükből anyagot és energiát vesznek fel, ill. adnak le.

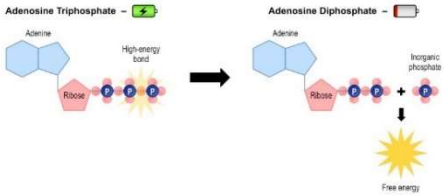
Az élő rendszerek energiaforgalma

A **sejtek** – és általában az **élő rendszerek** – **működésükhöz**, életfolyamataik fenntartásához folyamatosan **energiát igényelnek.**

Az élő szervezetekben a legjelentősebb a kémiai energia. A **kémiai energia** **kémiai kötések hasadásához szükséges, illetve kialakulásukkor felszabaduló energiamennyiség**.

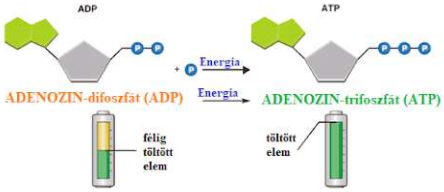


A **biológiai energia** a **kémiai energia egy speciális fajtája**, amely a sejtekben **nagy energiájú kémiai kötésekkel** **kapcsolatos**. A nagy energiájú kötések **energiát tároló vegyületekben** találhatók meg. Ilyen minden élő szervezetben megtalálható energiatároló és -szállító vegyület az **ATP**.



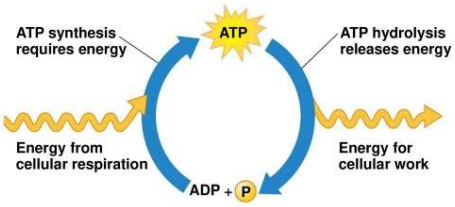
- Az élő szervezetekben **minden energiaigényes folyamat** – mozgás, anyagszállítás, -felvétel, -leadás, nagy molekulájú szerves vegyületek előállítása - **közvetlen energiaforrása** az **ATP nagy energiájú kötésének bomlásakor felszabaduló energia**.

  ATP = ADP + P



- Másfelől pedig pl. a szerves vegyületek lebontása során **felszabaduló energiát**, vagy a fotoszintézis során megkötött fényenergiát **a sejtek ATP előállításával képesek eltárolni.**

A **sejtek ATP-készlete állandó**, energiaigényes folyamatokban energiát szolgáltatva bomlik, energiatermelő folyamatokban pedig a felszabaduló energiát megkötve regenerálódik.



Az **élőlények** a **környezetüktől elkülönülő, de azzal kölcsönhatást folytató rendszerek**.
Az **élő rendszerek** az elkülönülés okán **környezetükkel** állandó **egyensúlytalanságot tartanak fenn**, hiszen

- **egyrészt belső környezetük tényezőinek értékei** – kémhatás, ionkoncentrációk, hőmérséklet stb. – jelentősen **eltérnek a környezetben tapasztalható értékektől,**
- **másrészt**, mint már korábban volt róla szó **anyagi összetételben – elemek előfordulási gyakorisága, szerves vegyületek –** is jelentős különbség figyelhető meg.
- **Továbbá** egy érdekes **különbség a rendezetlenségben nyilvánul meg**, melynek mértékét az **entrópiával** fejezzük ki. Általában elmondható, hogy az élettelen természetben minden folyamat a rendezetlenség mértékének növekedése irányába hat, aminek oka az energiaminimumra való törekvés, ami egy általános elv az univerzumban. Az **élő rendszerek rendezettsége és így energiatartalma jóval nagyobb, mint az élettelen környezeté**.

Ez az egyensúlytalanság az élő állapot egyik legalapvetőbb jellemvonása. Ahhoz, hogy az **élő rendszer folyamatosan fenn tudja tartani az egyensúlytalanságot, energiára van szükség**, hiszen minden életjelenség végső soron munkavégzés. Az élet megszűnésével ez az egyensúlytalanság, a rendezettség is megszűnik, átadja helyét az élettelen világban fennálló egyensúlynak, rendezetlenségnek.

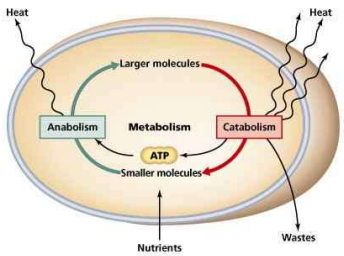
Sokszor olvashatjuk, hogy az **élőlények egyensúlyban vannak a környezetükkel**, ami ebben az esetben azt jelenti, hogy **a természetben az élőlények hosszútávon stabilan együtt tudnak létezni környezetükkel.**

Az intermedier anyagcsere

Az élő sejtekben zajló **biokémiai folyamatok összességét anyagcserének** nevezzük. Az **anyagcsere** során az élőlények a környezetből anyagokat és energiát vesznek fel, ill. adnak le.

Az élőlények a **felvett anyagokat átalakítják:**

- **beépítik, ill. felépítő folyamataikban használják fel,** vagy
- **energianyerés céljából lebontják,** majd
- a felesleges, ill. a fel nem használható anyagokat eltávolítják.



A felvétel és a leadás közötti **átalakító folyamatok összességét intermedier** - köztes - **anyagcserének** nevezzük, melynek köszönhetően az élőlények a szüntelen változó környezetben **fenntartják egyediségüket, viszonylagos állandóságukat, rendezettségüket**, működésük rugalmas változásával.

Az élőlényeket az **anyagcseréjükhöz szükséges**

- **szénforrás,** ill.
- az **energiaszerzés** formája **szerint** lehet csoportosítani.

Szénforrás szerint

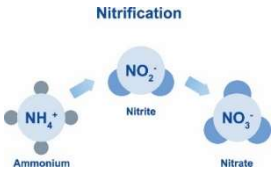
1. Autotrófok: azok az élőlények melyek a **testük felépítéséhez szükséges anyagokat** az **élettelen környezetből veszik fel**. A felvett anyagok mindig **szervetlen anyagok:**

- **CO_2,**
- **H_2O,**
- **NH_3, NO_3^- stb.**

Tehát a szerves vegyületeik C-tartalma közvetlen a CO_2-ból származik (autosz = önmaga, trófosz = táplálkozó, gör.). Az **autotrófok** a szerves vegyületeik előállításához szükséges **energiaforrás típusa** szerint **lehetnek**:

a) fototrófok: ahol az **energiaforrás a Nap fényenergiája**. A folyamat a **fotoszintézis**, melynek során az élőlények **szén-dioxidból** és **vízből** a **Nap energiájának segítségével** saját testük felépítéséhez szükséges **szerves anyagokat állítanak elő**. A folyamat **melléktermék az oxigén**.
Ilyenek a fotoszintetizáló **baktériumok**, **algák**, ill. a **zöld növények**.

b) Kemoszintetizálók (autotróf kemotrófok): a szerves vegyületek felépítéséhez **szükséges energia valamilyen szervetlen anyag oxidációjából származik, a folyamat a kemoszintézis. Erre kizárólag baktériumok képesek.**



- A talajban élő aerob **nitrifikáló baktériumok ammónia** - NH_3 – **oxidálásából** szabadítanak fel energiát, a folyamat végterméke **nitrition** - NO_2^-, ill. **nitrátion** - NO_3^-

2. Heterotrófok: testük felépítéséhez **szükséges anyagokat** az **élő környezetből veszik fel szerves anyagok** formájában, s ennek

- **egy részének lebontásával nyernek energiát**, ezért **kemotrófok** is,
- **más részét átalakítják saját testük anyagaivá**.

Ilyenek **az állatok, gombák, heterotróf egysejtűek, heterotróf baktériumok.**

Energiaforrás szerint

Csoportosíthatjuk az élőlényeket aszerint is, hogy a testük felépítéséhez szükséges anyagok - szerves anyagok - előállításához **honnan nyerik az energiát**.

1. Fototrófok, lásd fent.

A fototróf élőlények **csak autotrófok lehetnek**: **baktériumok, egysejtű algák és növények.**

2. Kemotrófok

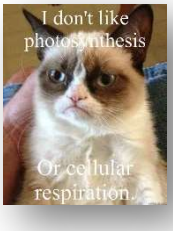
A szerves anyagaik előállításához különböző forrásból származó **kémiai energiát használnak fel. Anyagokat bontanak le, oxidálnak, ezzel nyernek energiát.**
Attól függően, hogy milyen anyagok átalakításával nyernek energiát, a kemotróf élőlények lehetnek:

a) **autotrófok**, ha az energia **szervetlen anyagok oxidálásából** származik (nitrifikálók). Ekkor a folyamat a **kemoszintézis.**

b) **Heterotrófok**, ha az energia **szerves anyagok lebomlásából** származik, mint pl. a **gombáknál**, ill. az **állatoknál.**

Az intermedier anyagcserét, **irányát tekintve,** két fő folyamatrendszerre oszthatjuk:

- **asszimiláció** vagy **felépítő folyamatok** (**anabolikus** folyamatok), melyek többnyire **redukáló jellegűek** (redukciónak nevezzük a hidrogén felvételével, ill. oxigén leadásával járó reakciókat),
- **disszimiláció** vagy **lebontó folyamatok** (**katabolikus** folyamatok), melyek sokszor **oxidáló típusúak** (oxidációnak nevezzük a hidrogén leadásával, ill. az oxigén felvételével járó reakciókat).



Az asszimiláció

Az asszimiláció lényege, hogy a szervezetek **egyszerű felépítésű, kis méretű molekulákból – szerves vagy szervetlen - bonyolult, nagy méretű szerves vegyületeket állítanak elő.**

1. Ha a **kiindulási vegyület szervetlen**, akkor **autotróf asszimilációról** beszélünk.

   a) **Fototróf** asszimiláció növényekben, egyes baktériumokban (**fotoszintézis**).
   b) **Kemotróf** asszimiláció kemotróf baktériumokban (**kemoszintézis**).

2. Ha a **kiindulási vegyület szerves**, akkor **heterotróf asszimilációról** beszélünk (állatokban, gombákban, heterotróf baktériumokban). (A növények is képesek saját szerves anyagaik átalakítására, de ettől még autotrófok).

A felépítő folyamatok során, végső soron a képződött monomerekből **kondenzációval** makromolekulák jöhetnek létre, mint pl. glükózból keményítő vagy cellulóz, aminosavakból fehérjék, nukleotidokból pedig nukleinsavak.

A disszimiláció

A disszimiláció lényege, hogy az élőlények **bonyolult, nagy méretű, szerves vegyületeiket kis méretű, egyszerű molekulákká bontják.**

a) Amennyiben a lebontás **oxigén jelenlétében** zajlik, **biológiai oxidációról** beszélünk.
b) Abban az esetben, ha a lebontás **oxigén hiányában** történik, **erjedésről** beszélünk.

A **lebontás célja**:

- egyrészt az **energianyerés – ATP-szintézis** - a különböző életfolyamatokhoz, pl. mozgás, felépítő folyamatok, aktív transzport,
- másrészt az **anyagátalakítás**, mivel a **lebomlás köztes termékei kiindulásként szolgálnak különböző szerves vegyületek szintéziséhez**. Az anyagátalakító folyamatok ugyanakkor **jelentős energiaveszteséggel járnak,** mivel pl. a glükóz biológiai oxidációjának hatásfoka csupán 40%, azaz a glukóz energiatartalmának 40%-a épül be ATP-be, **a többi hővé alakul**. Továbbá a felépítő folyamatok energiaigényét az ATP bomlásakor felszabaduló energia fedezi, aminek során a keletkező energia jelentős része veszteségként szintén hő formájában távozik.

A lebontó folyamatok első lépése többnyire a makromolekulák hidrolízise monomerekké, amely lejátszódhat mind a **tápcsatorna üregében**, mind a **sejtek citoplazmájában**:

- **a keményítő és a glikogén glükózzá,**
- **a fehérjék aminosavakra,**
- **a nukleinsavak nukleotidokra bomlanak.**

Emelt szintű vizsgakövetelmények 2024

2.2. Az anyagcsere folyamatai

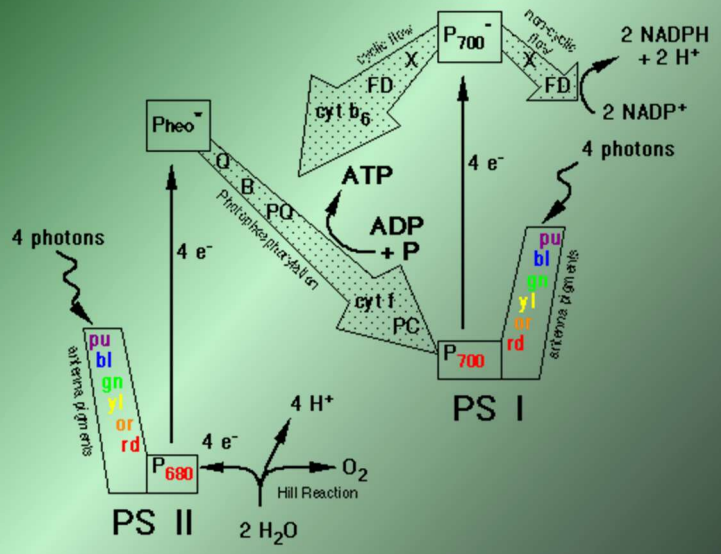
2.2.2. Felépítő folyamatok

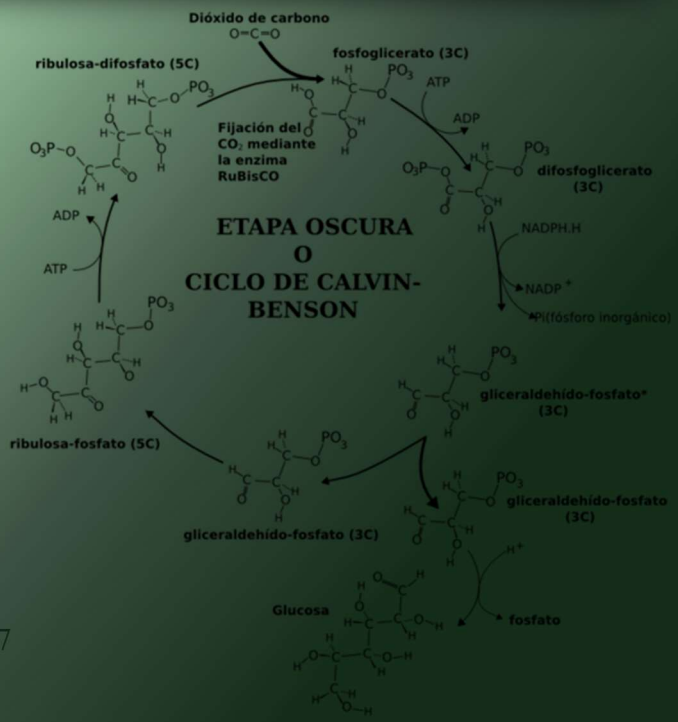
Kulcsfogalmak

- Fotoszintézis, fényszakasz, sötét szakasz, redukció,
- karotinoid, klorofill.

Gondolkodási művelet

- Ismertesse a folyamatok lezajlásának helyét, valamint a fény- és sötét szakasz be- és kilépő anyagait.
- Ismertesse és magyarázza a fotoszintézis egyszerűsített (nettó) egyenletét.
- Magyarázza a növények, a fotoszintézis alapvető szükségességét a földi életben, a szárazföldi élet kialakulásában.
- *Végezzen el vizsgálatot/kísérletet egy vízinövény fotoszintézisével összefüggésben, magyarázza a tapasztalatokat.*
- Magyarázza a fotoszintetikus színanyagok (karotinoidok, klorofillok) szerepét a felépítésükkel összefüggésben.
- Magyarázza a fotoszintézis bruttó egyenletét.
- Elemezze a fotoszintézis fény- és sötét szakaszának fő történéseit: a víz fényenergia segítségével bomlik, molekuláris oxigén, H^+, e^-, ATP keletkezik (fényszakasz); a szén-dioxid redukálódik a H^+, e- és az ATP segítségével, glükóz, majd más vegyületek keletkeznek (sötét szakasz).
- *Tervezzen és értelmezzen kísérletet a fotoszintézist befolyásoló tényezők fotoszintézisre gyakorolt hatásának és a fotoszintézis végtermékeinek bemutatására.*





2.2.2. Felépítő folyamatok

A fotoszintézis

Lényege

Azon folyamatok összessége, amelynek során a **fényenergia kémiai energiává alakul át, azaz fényenergia segítségével nagy energiájú vegyületek - ATP, NADPH – jönnek létre.** Az így **átalakított energia felhasználásával szerves anyag – glükóz - előállítása** történik.

Jelentősége

- Az egész élővilág energiaigényes folyamataihoz az energiát végső soron a fotoszintézis során átalakított fényenergia szolgáltatja, vagyis a **földi élet végső energiaforrása a Nap sugárzó energiája.** A **bioszféra összes szerves anyaga** – a jelentéktelen bakteriális kemoszintézist leszámítva – a **fotoszintézisben keletkezik** a táplálékklánc **termelői szintjén**, ez halad végig a táplálékláncon és építi fel az élőlények testét, ill. ennek a szerves anyagnak a bontása szolgál minden energiaigényes folyamat energiaforrásaként.
- A **Föld légkörének teljes oxigéntartalma fotoszintetikus eredetű**.

A fotoszintézis előfordulása

Fotoszintézisre mind **prokarióta**, mind **eukarióta** szervezetek képesek, így **baktériumok (pl. kékbaktériumok), egysejtű algák, növények.**

A fotoszintézis általános egyenlete

$$6H_2O + 6CO_2 \rightarrow C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

A CO_2 redukciója továbbá nemcsak glükózt, ill. keményítőt ad, hanem **minden más molekula szénváza végső soron a fotoszintézisben megkötődött szén-dioxidból származik.**

A fotoszintézis folyamatát **két fő szakasz**ra bonthatjuk:

1. **Fényszakasz** - csak fény jelenlétében játszódik le.
   Ebben a szakaszban történik a CO_2 redukciójához szükséges **fényenergia elnyelése, átalakítása kémiai energiává, az ATP- és a NADPH-molekulák szintézise.**
2. **Sötét szakasz** – közvetlenül **nem szükséges hozzá fény**, azonban lejátszódása előfeltételezi a fényszakasz működését. Itt történik a **CO_2 megkötése és redukálása, a glükóz előállítása** az előző folyamatban átalakított fényenergia – ATP és NADPH - segítségével.

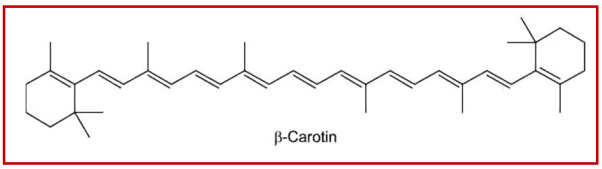
A fényszakasz - a fényenergia megkötése és átalakítása kémiai energiává

A fényszakaszban

- a fényenergia felhasználásával a **vízbontás** történik, melynek során a víz hidrogénre és oxigénre bomlik (a folyamat melléktermék az oxigén),
- a vízből nyert hidrogén elektronja egy elektrontranszportláncban szállítódik, majd a szintén vízből származó proton felhasználásával **NADP redukálására**, vagyis NADPH előállítására használódik fel.
- A nagy energiájú elektronok áramlásakor felszabaduló energia **ATP szintézisére** fordítódik.

A **fényenergia megkötését** speciális elektronszerkezetű színes molekulák, az ún. **fotoszintetikus pigmentek** végzik: ilyenek

- a **klorofillok,**
- **karotinok és**
- **xantofillok.**

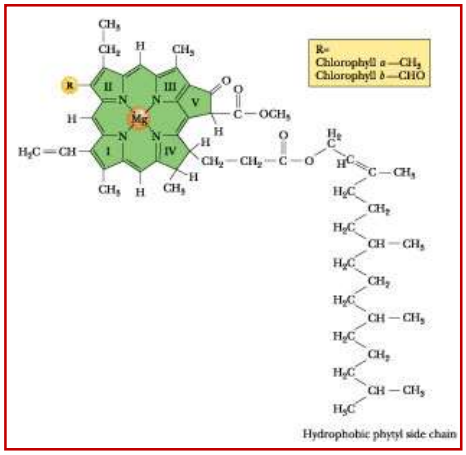


A **karotinoidok** nem csupán a fényenergia megkötését végzik, hanem **védik a klorofillokat az oxigén jelenlétében bekövetkező károsodástól, fotooxidációtól**, ami túlzottan erős fényben jöhet létre.
Ezekben a molekulákban egyaránt megtalálható a **delokalizált konjugált kettőskötés-rendszer**, amely **felelős a fényenergia megkötéséért**.

A klorofillok

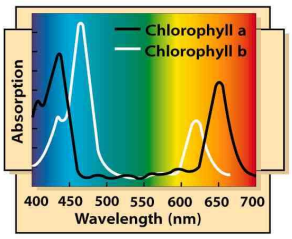
A magasabb rendű növények kétféle klorofillt tartalmaznak:

- **kékeszöld kl-a-t és**
- **sárgászöld kl-b-t.**

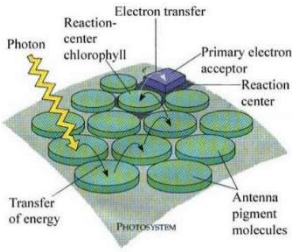


Mindkettő Mg-porfirin-komplex. A gyűrű közepén egy **Mg^{2+} ion** található.

A földfelszínt elérő napsugárzás zöme a **4OO-8OO nm** hullámhosszúságú tartományba esik. A fényenergia megkötése úgy történik, hogy a fényt elnyelő pigment **delokalizált elektronrendszere gerjesztődik**, azaz az **elektronok magasabb energiájú pályára kerülnek**. Megfelelően nagy mennyiségű energia elnyelésekor egy **elektron leszakadhat** a molekuláról.



A különböző fényelnyelő pigmentek elnyelési maximumai eltérőek, de összességükben tulajdonképpen az egész látható fény spektrumát átfedik.
Minden pigmentre egyformán jellemző a fényelnyelő képesség, de közülük **csak néhány képes arra, hogy leadjon elektront.** Az elektronleadás csak az ún. **reakciócentrumokban** megy végbe.
A többi pigment esetén a gerjesztési energia átadódik a szomszédos molekulának, ezek a pigmentek mintegy az **antenna** szerepét töltik be. Az elektronjaik gerjesztődnek, majd visszatérnek alapállapotba és a felvett energiát a **reakciócentrumban** levő, egy **fehérjéhez kapcsolt speciális klorofill-a** molekulának sugározzák, ahol az **lead egy elektront.**



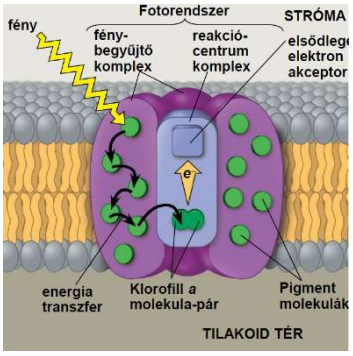
Pigmentrendszerek - fotorendszerek

A különféle típusú pigmentek az együttműködés érdekében ún. **pigmentrendszerekbe** tömörülnek. A pigmentrendszerek - **fotorendszerek** - közepén található a **reakciócentrum**. A reakciócentrum körül helyezkednek el az antennapigmentek.

A pigmentösszetételük szerint **kétféle fotorendszert** különböztetünk meg:
Az **I. Pigmentrendszer** tartalmaz:

- 200 molekula kl.-a-t,
- 50 molekula kl.-b-t,
- 50-200 molekula karotint.

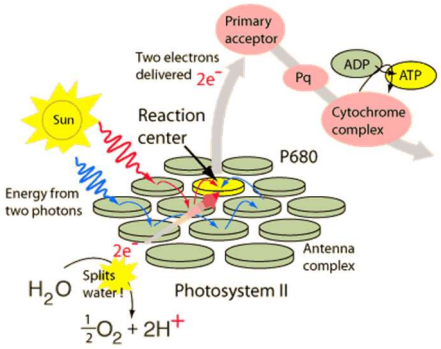
Összetételénél fogva ez a fotorendszer a **hosszabb hullámhosszú tartományban abszorbeál**.
A reakciócentrumban a **P 700** jelzésű speciális kl.-fehérje komplex található, amely a 700 nm-es tartományban nyel el.



A **II. Pigmentrendszer** tartalmaz:

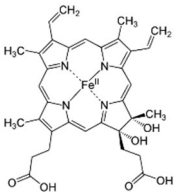
- 200 molekula kl.-a-t,
- 200 molekula kl.-b-t,
- 50-200 molekula xantofillt.

Összetételénél fogva ez a fotorendszer a rövidebb hullámhosszú tartományban abszorbeál.
A reakciócentrumban a P 680 jelzésű speciális kl.-fehérje komplex található, amely a 680 nm-es tartományban nyel el.



Az elektronszállító rendszer

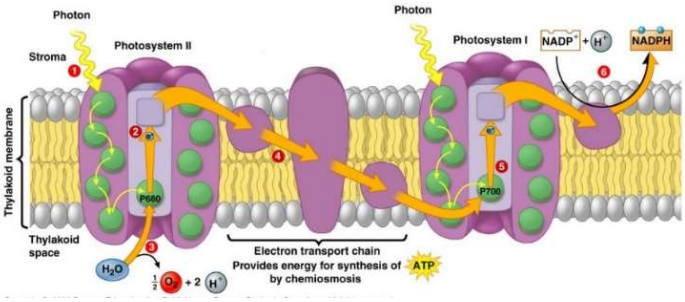
A fotorendszerekbe begyűjtött fényenergia segítségével a leadott **elektronok egy elektronszállító rendszerbe kerülnek.**



Az elektronszállító rendszert többek között ún. **citokrómok** építik fel. A citokrómok olyan **összetett fehérjék**, amelyek **nem fehérje része Fe-porfirin komplex.**
A citokróm-molekulák szorosan egymás mellett elhelyezkedve adják át egymásnak az elektronokat. A transzportlánc egy tagja az előtte elhelyezkedő molekulától felveszi az elektront, a porfirinváz közepén levő **Fe^{3+}-ion Fe^{2+}-ionná redukálódik**, majd továbbadva a következő tagnak visszaoxidálódik Fe^{3+}-ionná.

Az elektronszállító rendszerben az **áramló elektronok végső soron a vízből származnak.** A víz bontása a rendszer elején folyik:

$$H_2O = 2H + 1/2\ O_2$$
$$2H = 2H^+ + 2e^-$$

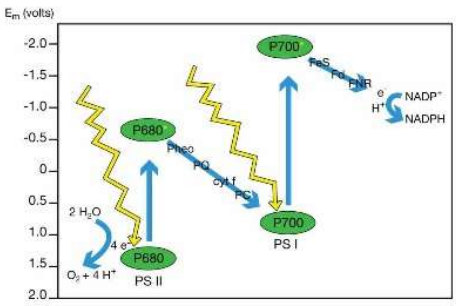


A keletkező elektronok bekerülnek az elektronszállító rendszerbe. Mivel a **víz bontása** kapcsolatban van a 2. fotorendszerrel és **fényenergia szükséges hozzá**, ezért a folyamatot **fotolízisnek** nevezzük. **A folyamat melléktermék az oxigén.**
Az elektronszállító rendszer végén az **elektronok és a H^+-ok a $NADP^+$-ra kerülnek,** amit **NADPH**-vá redukálnak.

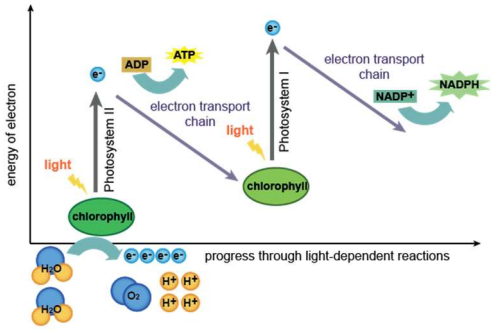
$$NADP^+ + 2H = NADPH + H^+$$

A víz rendkívül stabil vegyület, ezért bontása, ill. a belőle származó elektronokkal a **$NADP^+$ redukciója nagy energiát igényel.**
Tehát a fényszakaszban a víz felől a II.-es, majd I.- es fotorendszer közvetítésével folyamatos elektronáramlás zajlik a $NADP^+$ felé a fényenergia segítségével.

Ezt jól mutatja az egyes anyagok redoxpotenciál-értéke. Általános szabály, hogy a pozitív redoxpotenciálú anyag képes csak oxidálni a negatívabbat, azaz az elektront csak a nagyobb redoxpotenciálú anyag képes átvenni a kisebb redoxpotenciálú anyagtól energiafelszabadulás közben. Jelen esetben ez pont fordítva van, az elektronnak a pozitívabb hely felől – víz – kellene eljutni a negatívabb hely – NADPH – felé, ezért a folyamat lejátszódásához energia kell. Ez az energia a napfényből származik, aminek megkötését, átalakítását a fotorendszerek végzik.



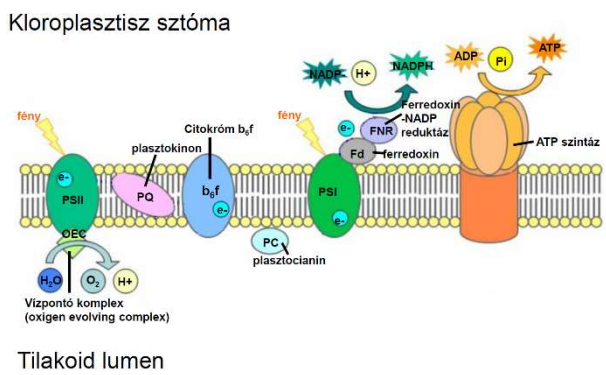
A **Z-sémának** nevezett folyamat jól tükrözi a reakciósorozat energiaviszonyait.
Látható, hogy a két fotorendszer között – ahol az elektronok a pozitívabb redoxpotenciálú hely felé haladnak - az elektron áramlása energiafelszabadulással jár, amely **ATP szintézisére fordítódik**.

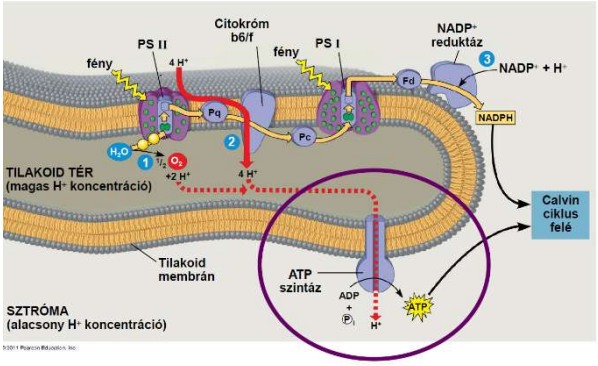


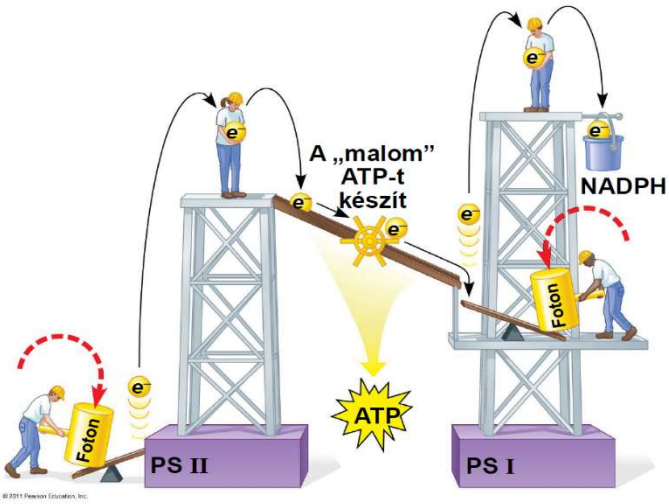
A fényszakasz működésének eredményeként a fényenergia megkötődik és nagy energiájú vegyületekben tárolódik, NADPH-ban és ATP-ban.

Összefoglalva

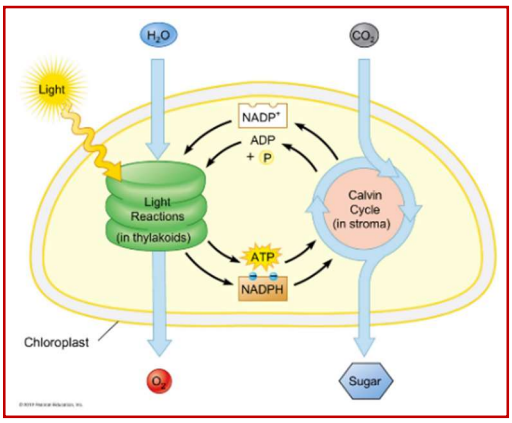
- A fényszakaszban történik a glükóz előállításához szükséges **fényenergia megkötése**.
- A fényenergia megkötését különféle **pigmentek** végzik, az elnyelt energiát elektronok leadására fordítják.
- Az elektronok pótlása végső sorban a **vízbontásból** történik, mely folyamat melléktermére az oxigén.
- A vízből származó hidrogének végső soron $NADP^+$-re kerülnek.
- A NADP redukciója energiaigényes, ezért az elektronok egy elektronszállító rendszeren – melybe beiktatva helyezkedik el a két fotorendszer, biztosítva az energiaigényt – keresztül jutnak el az elektronfelvevő molekuláig, a NADP-ig.
- Az elektronok áramlása során energia szabadul fel, amely **ATP** formájában konzerválódik.
- **A fényszakasz működésének eredményeként a fényenergia megkötődik és nagy energiájú vegyületekben tárolódik, NADPH-ban és ATP-ban.**







A fotoszintézis sötét szakasza (Calvin-ciklus, redukciós ciklus, C3-as út)



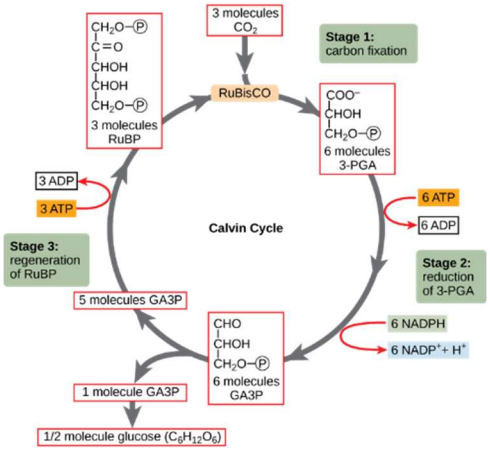
A fotoszintézis sötét szakasza a

- **CO_2 megkötését,**
- **redukálását,**
- **a glükóz bioszintézisét** jelenti.

A fotoszintézis fényszakaszában történik a fényenergia megkötése, ill. konzerválása ATP és redukált NADPH formájában.

A szénhidrátok szintézise a CO_2 redukciója útján ezen energia felhasználásával történik.

- A CO_2 megkötését egy öt szénatomos keton, az ún. **ribulóz-1,5-difoszfát** (**RuDP**) végzi.
- CO_2 felvételével egy átmeneti hat szénatomos vegyületet alkot, amely víz belépéssel rögtön két **glicerinsav-3-foszfátra (GS-3P)** esik szét.
- A GS-3-P a fényszakaszban keletkezett ATP-vel **glicerinsav-1,3-difoszfáttá (GS-DP)** alakul.
- A GS-DP szintén a fényszakaszban keletkezett NADPH-val **glicerinaldehid-3-foszfáttá** (GA-3-P) **redukálódik**.



A **glicerin-aldehid 3-P** molekulák sorsa kétféle:

- egy részéből bonyolult cikluson keresztül újra képződik a RuDP (**regeneráció**),
- másik részéből **glükóz**, ill. **keményítő lesz,** a glikolizis lépéseinek megfordításához hasonló reakciósorozattal:
- F-1,6-diP, → F-6-P, → G-6-P, → Glükóz.

Az elkészült glükóz kiindulási vegyülete lesz a növényi szervezetet felépítő többi vegyületnek, pl. keményítőnek, lipideknek, fehérjéknek, nukleinsavaknak.

A CO_2-fixáció eme útját felfedezőjéről – Malvin Calvin – **Calvin-ciklusnak** (C3-as út) nevezzük (1961 Nobel-díj). Fő folyamatai:

- **karboxiláció – a CO_2 megkötése,**
- **redukció – a CO_2 redukciója,**
- regeneráció – a RuDP újraképződése.

Glükoneogenezis, a glükóz szintézise heterotróf szervezetekben

Az autotróf asszimiláció során az élőlények a szőlőcukrot **szervetlen anyagokból** – szén-dioxidból és vízből – állítják elő a Nap fényenergiájának segítségével. Ugyanakkor az állati szervezetek is képesek glükóz előállítására, azonban a heterotróf szervezetekben a folyamatok kiindulási anyagai különféle **szerves anyagok**, leginkább nem szénhidrát előanyagok, mint pl.

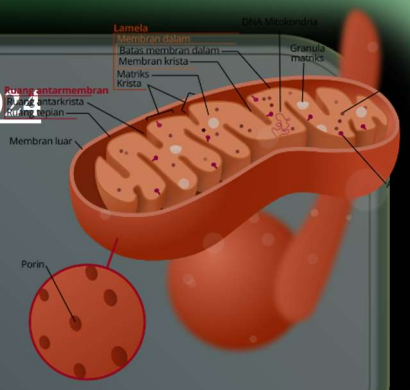
- a fehérjék egyes aminosavai,
- az izmok által termelt tejsav (Cori-kör) stb.

A glükoneogenezis elsősorban a májban zajlik, jelentősebb **éhezéskor**, kisebb mértékben a vesében is. Fő meghatározója a májban a **glukagon és a kortizol** hormonok. A glükoneogenezis akkor erősödik föl az állatokban, amikor az éhezés során a májban a glikogén raktárak kimerülnek. Ha az éhezés nagyon sokáig (emberben mintegy két héten át) tart, a glükoneogenezis kimerítheti a (izom)fehérje raktárakat, ami súlyos leromlást eredményezhet.

Emelt szintű vizsgakövetelmények 2024

2.2. Az anyagcsere folyamatai

2.2.3. Lebontó folyamatok

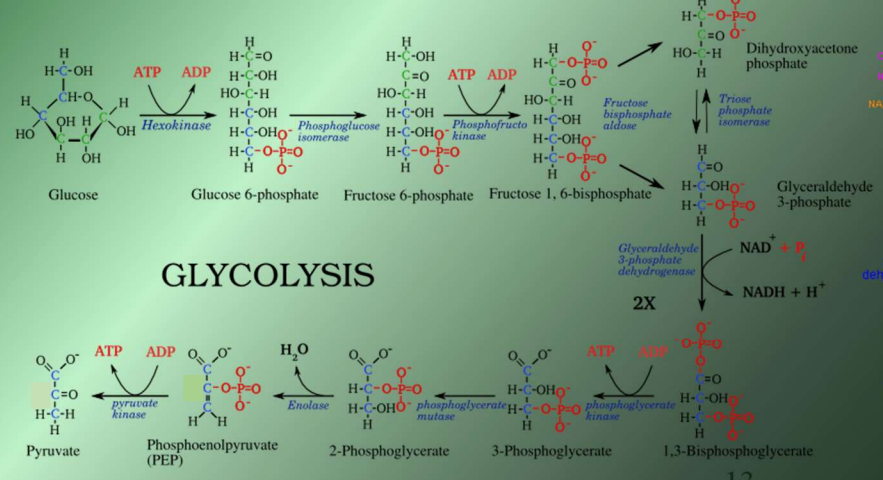


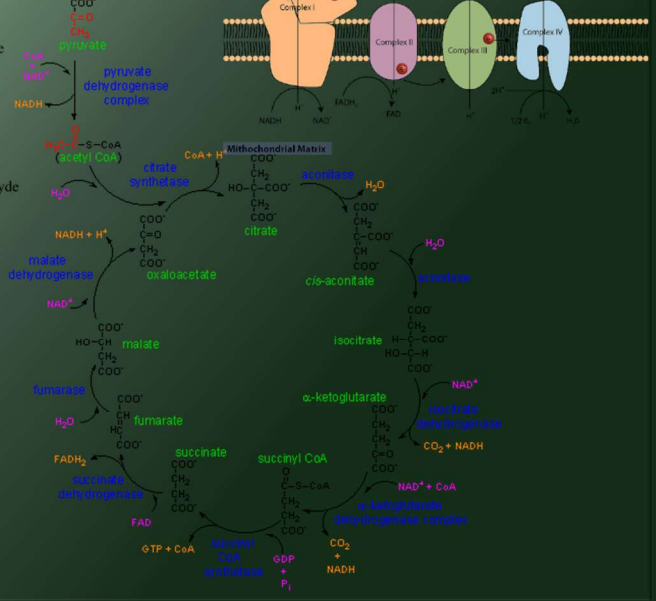
Kulcsfogalmak

- Biológiai oxidáció, erjedés, aerob, anaerob, meszes víz
- glikolízis, citrátkör, nitrogénanyagcsere, citokrómok, terminális oxidáció.

Gondolkodási művelet

- Hasonlítsa össze a biológiai oxidációt és az (alkoholos és tejsavas) erjedést (biológiai funkció, sejten belüli helyszín, energiamérleg, kiindulási vegyületek, végtermékek).
- Elemezze a biológiai oxidációban kiindulási vegyületként szereplő molekulák alakulását: a szénvázából szén-dioxid keletkezik, a hidrogén molekuláris oxigénnel egyesül, víz és ATP keletkezik. Ismerje a folyamatok helyét a sejtben.
- *Mutassa ki az alkoholos erjedés, illetve a biológiai oxidáció során keletkezett gázt meszes vízzel, magyarázza a tapasztalatokat.*
- Fogalmazza meg a glikolízis lényegét, be- és kilépő anyagait, a piroszőlősav továbbalakulásának alternatíváit (oxidáció vagy redukció).
- Elemezze a citrátkör lényegi folyamatait: a hidrogén szállítómolekulákhoz kötődését, a szén-dioxid keletkezését, a folyamat helyét. Fogalmazza meg a terminális oxidáció lényegét: a hidrogén (H^+, e^-) molekuláris oxigénnel egyesül, víz és ATP keletkezik.
- Elemezze ábra alapján a biológiai oxidációban kiindulási vegyületként szereplő tápanyagmolekulák alakulását: közös jellemzőjük, hogy lebontásuk során acetil-KoA képződik, az aminosavak lebomlásakor és átalakításakor a N ammónia, illetve karbamid formájában kiválasztásra kerül.
- *Elemezzen az erjedéssel és a biológiai oxidációval kapcsolatos kísérleteket, esettanulmányokat, tervezzen a folyamatokkal kapcsolatos kísérleteket.*





2.2.3. A lebontó folyamatok, a disszimiláció

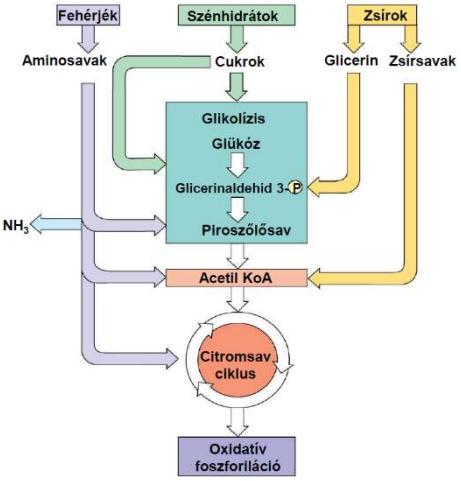
A disszimiláció lényege, hogy az élőlények a **bonyolult, nagy méretű, redukált szerves vegyületeiket kis méretű, egyszerű molekulákká bontják.**

A lebontó – katabolikus - folyamatok mindig valamilyen **nagy méretű, redukált szerves** vegyületekből indulnak ki. Ezek leggyakrabban **tartalék tápanyagok** - lipidek, poliszacharidok -, **makromolekulák**. A **folyamatok során kisebb, alacsonyabb energiatartalmú vegyületek keletkeznek**.

A disszimiláció az autotróf, ill. a heterotróf élőlényekben lényegében azonos módon zajlik.

A **disszimiláció célja**:

- egyrészt az **energianyerés – ATP-szintézis** - a különböző életfolyamatokhoz, pl. mozgás, asszimiláció, aktív transzport stb.,
- másrészt az **anyagátalakítás**, mivel a **katabolizmus köztes termékei kiindulásként szolgálnak különböző szerves vegyületek szintéziséhez**.



A katabolikus reakcióutak **konvergensek**, azaz **összetartók**. A legkülönfélébb anyagokból kiindulva lényegében **azonos reakcióutakra terelődve bomlanak le** a vegyületek, pl. biológiai oxidációban kiindulási vegyületként szereplő tápanyagmolekulák bomlásának közös jellemzője, hogy lebontásuk során acetil-KoA képződik. Ebből következik, hogy bármilyen anyag teljes oxidatív lebomlása végső soron **szén-dioxidot** és **vizet** eredményez (a N-tartalmú rész NH_3-vá alakul).
A lebontó folyamatok első lépése a makromolekulák lebomlása monomerekké, amely lejátszódhat mind a **bélcsatorna üregében**, mind a **sejtek citoplazmájában**:

- **a keményítő és a glikogén glükózzá,**
- **a zsírok** (nem makromolekulák) **glicerinre és zsírsavakra,**
- **a fehérjék aminosavakra,**
- **a nukleinsavak nukleotidokra bomlanak.**

A lebontás eme **első szakasza** a táplálékkal felvett anyagok esetén az emésztés során a **bélcsatorna üregében játszódik le. A folyamat kémiailag hidrolízis!**

A monomerek a vérkeringés útján jutnak el a **sejtekhez, amelyek azokat felvéve a citoplazmájukban, ill. a mitokondriumukban folytatják további bontásukat.**

A szénhidrátok lebomlása

Központi jelentőségű anyagcsere-folyamat:

- **mert a szénhidrátok a növényekben elsődleges, állatokban másodlagos tartalék tápanyagok,**
- **legfontosabb energiaszolgáltatók,**
- **a reakcióút köztes termékei - intermedierjei - több bioszintetikus útnak részei.**

A glükózlebomlás 2 útja:

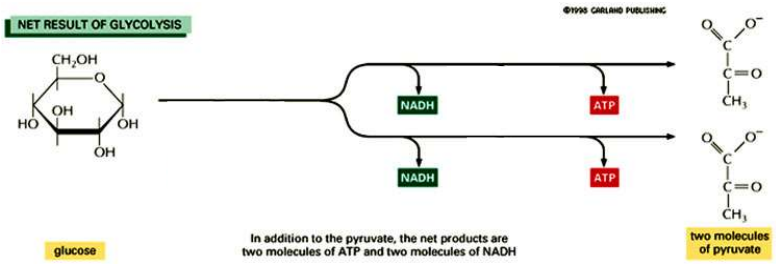
- **a biológiai oxidáció,**
- **és az erjedés.**

A biológiai oxidáció

Ha a glükóz lebomlása **oxigén jelenlétében** folyik, **aerob** körülmények között, biológiai oxidációról beszélünk. A glükóz lebomlásának **leghatékonyabb módja**, melynek **terméke a szén-dioxid és a víz.**

Három fő szakaszra osztható:

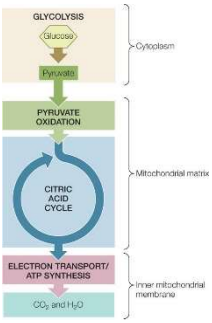
- **a glikolízis,**
- **a citrátkör,**
- **a terminális oxidáció.**



A glikolízis

Glikolízisnek nevezzük a **glükóztól a piroszőlősavig** vezető reakciósorozatot.

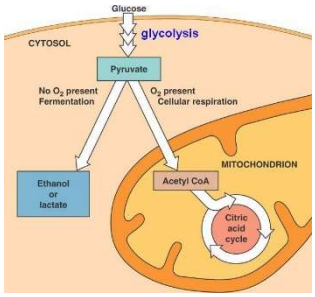
- **A glükózlebomlás első szakasza.**
- **Nem kell hozzá oxigén, ezért**
- **az erjedési folyamatok részét is képezi.**
- **A sejtek citoplazmájában játszódik le.**



A glikolízis eredményeképpen a **glükózból molekulánként** keletkezik:

- **2 molekula piroszőlősav,**
- **nettó 2 molekula ATP,**
- **2 molekula NADH + H^+ (H-leadás miatt oxigén nélküli oxidáció történik!).**

A glikolízis nettó energianyeresége 2 ATP glükózmolekulánként.



A **piroszőlősavnál** (piruvát) **a reakcióutak szétágaznak**.

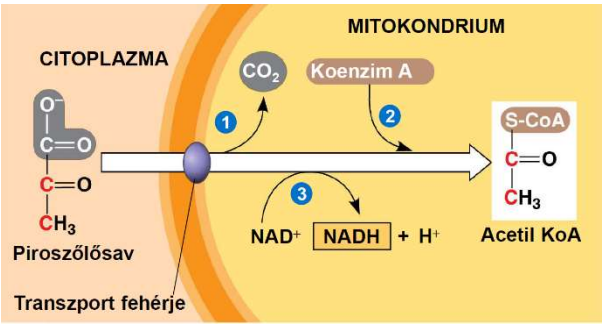
- Amennyiben a lebomlás **anaerob körülmények** között zajlik, a piruvát az **erjedés** folyamatában alakul tovább (lásd később).
- Azonban, ha a disszimiláció **oxigén mellett** folyik, a reakcióút a **citromsavciklusba** vezet.

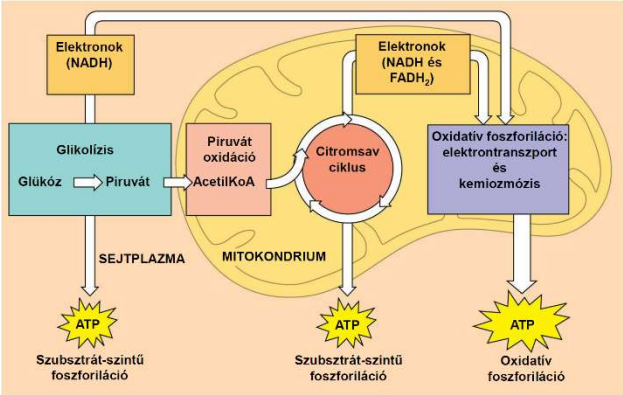
Aerob körülmények **között a piroszőlősav CO_2 és H vesztése mellet acetilcsoporttá alakul.**

Az acetilcsoport szállítómolekulához, **KoA**-hoz kapcsolódik, amely elszállítja a citrátkörbe.

Piroszőlősav + KoA = acetil-KoA + CO_2 + NADH + H^+

A piroszőlősav aerob bomlása és a további reakciók **eukariótákban** már a **mitokondriumban**, **prokariótákban a citoplazmában** játszódnak le.

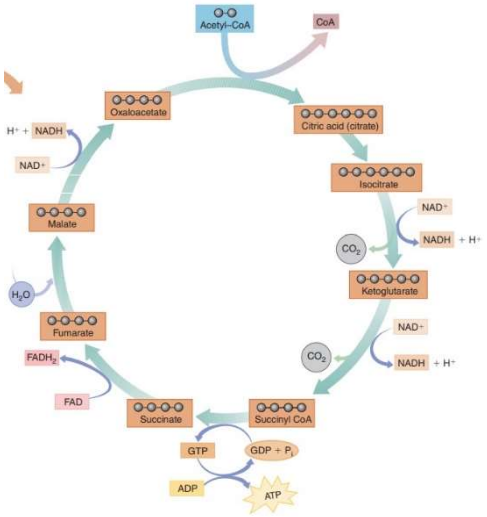




A citrátkör, citromsavciklus, Szent-Györgyi-Krebs-ciklus

A citrátkör lényege, hogy az acetilcsoport C-atomjai szén-dioxiddá alakulnak. A keletkezett szén-dioxid a légzés útján távozik szervezetből.

Az oxidáció során felszabaduló hidrogének H-szállító koenzimekhez (NAD^+) kapcsolódnak.



A ciklus során több lépésben távoznak a szén-dioxid-molekulák, ill. a H-atomok.

A folyamat **energianyeresége minimális**, mindössze **egyetlen GTP** keletkezik acetilcsoportonként, melynek bomlása **ATP** képződését teszi lehetővé.

A **citrátkör** az **anyagcsere** egyik **legfontosabb anyagelosztója**. **A folyamat köztestermékei különböző bioszintézisek kiindulási vegyületei.**

Az eddigi folyamatok során a **glükóz C-atomjai szén-dioxiddá alakultak**:

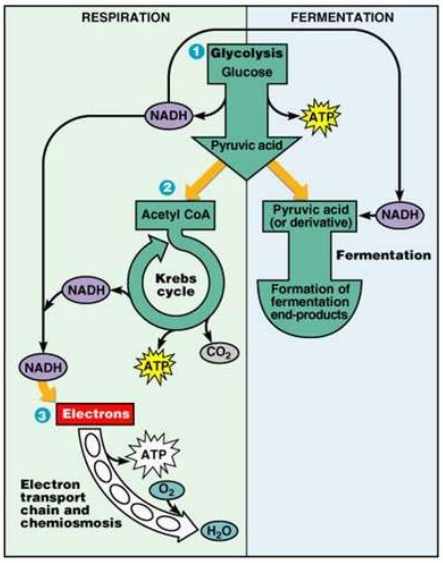
- piruvát ⟶ acetilcsoport átalakuláskor (2 CO_2),
- a citrátciklus során (4 CO_2).

A glükóz hidrogénjei H-szállító koenzimekhez kapcsolódtak, **NADH**-kat képezve, amelyek **nagy energiatartalmú vegyületek**, mivel erősen **redukáltak**. **Energiatartalmuk felszabadítása végső oxidációjukkal történik, amely a terminális oxidáció folyamatában valósul meg.**

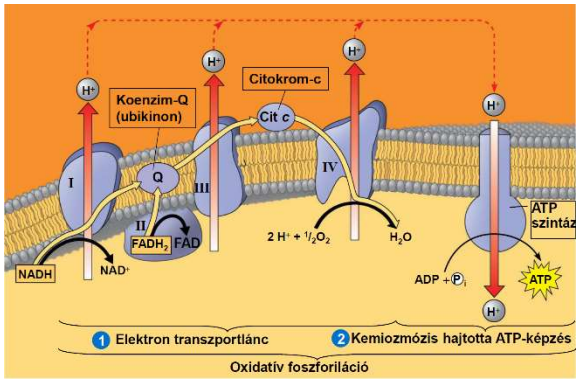
A terminális oxidáció

A terminális oxidáció lényege, hogy a **NADH-ról származó hidrogének elektronjai** - a fotoszintézis fényszakaszához hasonlóan - egy **elektrontranszportláncba kerülnek,** ahol az **elektronok áramlása energiafelszabadulással jár,** amely **ATP szintézisére** fordítódik. Az elektronok szállításában vastartalmú összetett fehérjék, ún. **citokrómok** vesznek részt.

Az elektrontranszportlánc utolsó tagja **oxigént köt meg**, így **az elektronok végső soron az oxigénre kerülnek.** Az így keletkezett **oxidion** az oldatban található protonokkal **vízzé egyesül**.



Tehát a NADH szubsztrátoktól átvett protonjai és elektronjai – hidrogénjei - egy bonyolult elektron-transzportláncon keresztül jutnak el a **végső elektronfelfogó molekulához, az oxigénhez.**

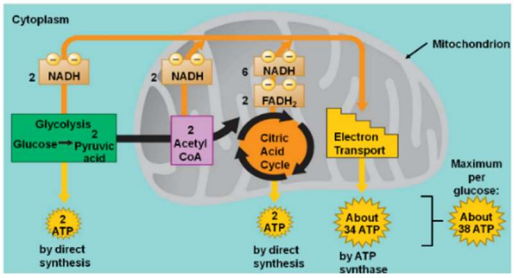


A teljes folyamatsort, a glükóztól a szén-dioxid és a víz keletkezéséig, **sejtlégzésnek, biológiai oxidációnak** nevezzük.

A biológiai oxidáció során felszabaduló **energia közel 95 %-a a terminális oxidáció során szabadul fel, ami 34 mol ATP-t jelent 1 mol glükóz esetén.**

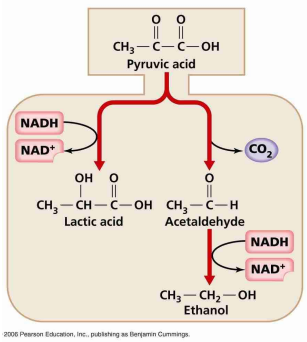
Ezen kívül a glikolízisben 2, a citrátciklusban is 2 ATP (GTP) jön létre glükózonként.

Összesen 38 ATP keletkezik glükózonként, ami átszámítva **grammonként 17,2 kJ energiát** jelent. **A glükóz biológiai oxidációjának hatásfoka 40%, azaz a glükóz energiatartalmának csupán 40%-a épül be ATP-be, a többi hővé alakul.**



Az erjedés

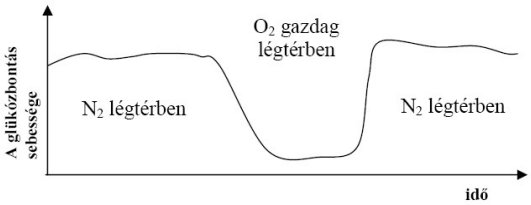
A **glükóz anaerob körülmények mellett történő bontását erjedésnek vagy fermentációnak nevezzük.** Az erjedésnek elsősorban **mikroorganizmusokban** – pl. **élesztőgombákban** - van jelentősége, de magasabb rendűeknél – **állatok vázizmaiban** - is előfordul anaerob körülmények között.



Az erjedés végterméke igen változatos lehet - tejsav, alkohol, vajsav, aceton, stb. A **végtermékek redukált állapotú szerves vegyületek, amelyek még magas energiatartalmúak.** A fermentáció során **oxidáció nem történik**, az energiafelszabadulás a molekulák átrendeződéséből származik. Az erjedés során csekély mennyiségű energia - **glükózonként csupán 2 ATP** - szabadul fel.

Az erjedési folyamatok a **sejtek citoplazmájában** zajlanak.

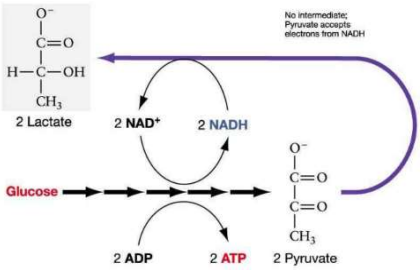
A glükóz lebontásának a sebessége – mértéke - attól függ, hogy van e jelen oxigén vagy nincs. Ezt nevezzük **Pasteur-effektusnak.** A **fakultatív anaerobok**, mint pl. **élesztő,** aerob körülmények között oxidatív módon, anaerob közegben erjedéssel bontják a glükózt.



A **biológiai oxidáció** energiafelszabadítása **19x hatékonyabb** a fermentációnál, ezért anaerob körülmények között a mikroorganizmusok glükózfelhasználása sokkal nagyobb mértékű.

Legjelentősebb a **tejsavas** és az **alkoholos erjedés.**

A tejsavas erjedés



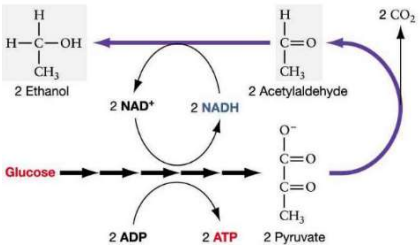
Anaerob körülmények között a glikolízisben keletkezett NADH-molekulák oxigén hiányában nem tudják a H-jüket a terminális oxidációban leadni, emiatt mennyiségük megnő a citoplazmában.

A felhalmozódó NADH-val ugyanakkor a glikolízisben keletkezett piroszőlősav pedig tejsavvá alakul. A folyamatnak köszönhetően a NAD^+-molekulák újra képződnek, aminek köszönhetően a glikolízis zavartalanul végbemehet.

Tejsavas erjedés zajlik:

- **pl. a tejsavbaktériumokban**, melynek során a tejben található **laktózt tejsavvá** alakítják. A savas kémhatás - a tej savanyodása - a tej fehérjéjét, a kazeint kicsapja, aminek következtében a tej kocsonyásodik (aludttej).
- Az állati szervezetekben és az emberben a **vázizomszövetben** romló oxigénellátottság esetén. A **tartós izomösszehúzódás csökkenti az izmok oxigénellátottságát,** az **oxigénhiány** miatt az izmok működésükhöz az energiát **tejsavas erjedéssel** biztosítják. Az izmokban felhalmozódó tejsav - savas kémhatása folytán - fájdalmasan ingerli az idegvégződéseket. Ez az **izomláz ma már vitatott tejsavelmélete**.
  Idővel a **vérkeringés** a **májba szállítja a tejsavat**, amelyből **újra glükóz képződik** kortizol hormon hatására (glükoneogenezis).
  Újabban egyre inkább elfogadott, hogy az izomláz kialakulásában inkább annak van jelentősége, hogy az erőkifejtés során elszenvedett **mikrosérülések** okozta **gyulladás** fájdalomérzetet eredményez (**sérüléselmélet**).

Az alkoholos erjedés

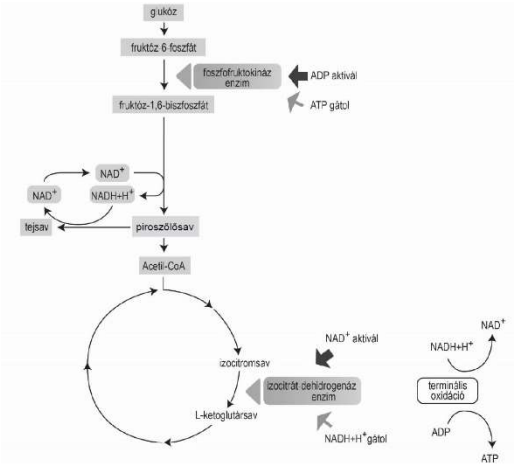


Különféle heterotróf **mikroorganizmusokban**, baktériumokban, ill. **élesztőgombákban** zajlik, továbbá növények **magvaiban a csírázás kezdeti szakaszában.**

A folyamat során a piroszőlősavból **szén-dioxid kiválása mellett,** NADH redukciójával **etil-alkohol** keletkezik. **Alkoholos erjedés zajlik a bor keletkezésénél** és a **tészta kelésénél** egyaránt.

Anyagcsereutak és szabályozásuk (hasznos emelt szintű feladat)

A glükóz biológiai oxidációja több ponton szabályozott folyamat, melynek üteme a szervezet pillanatnyi energiaigényéhez alkalmazkodik. A glikolízis legfontosabb szabályozó pontja a foszfofruktokináz nevű enzim által katalizált reakció. Az enzimet az ADP aktiválja, az ATP és a citromsav pedig gátolja. A csökkenő ATP és a növekvő ADP szint azt jelzi, hogy a szervezet energiafelhasználása nő, ezért a glikolízis ütemét fokozni kell.



A mellékelt ábra egy erőltetett ütemben futó sportoló szervezetében lejátszódó változásokat követi nyomon. A citrátkör lassulásához, illetve leállításához vezető eseménysor ok-okozati lépései a következők egy intenzív mozgást végző izomrost esetében.

1. A keringési rendszer nem tud elegendő oxigént szállítani ahhoz, hogy az izomrost megnövekedett igényét kielégítse.
2. Oxigén hiányában a terminális oxidáció elektronszállító rendszerének egyes tagjai telítődnek elektronnal, mivel nincs végső elektronfelvevő.
3. A citrátkörben keletkezett NADH + H^+ nem tudja a szállított elektronjait az elektronszállító láncnak leadni és nem tud NAD^+ formába kerülni.
4. A NADH + H^+ felhalmozódik a sejtben.
5. A felhalmozódó NADH gátolja az izocitrát-dehidrogenáz enzimet, ami az egész citrátkör legfontosabb szabályozó pontja és így az egész citrátkör leáll.

Intenzív izommunka során a tejsavas erjedés beindulását a következőképpen magyarázhatjuk.

A glükóz oxidációja a NAD^+ koenzim segítségével játszódik le, miközben a NAD^+ redukálódik. A NADH + H^+ oxigén nélkül nem tudja az elektronját és hidrogénjét a terminális oxidációban leadni. A folyamatos glikolízis fenntartásához viszont oxigén hiányában is NAD^+-ra van szükség. Ez oxigén hiányában úgy keletkezik, hogy a NADH + H^+ a piroszőlősavat redukálja, miközben az izomsejtekben tejsav keletkezik.

Aminosavak lebomlása

Az állati szervezetben az aminosavak szerepe több irányú:

- a **fehérjéket** **építik fel,**
- **ritkán energiaszolgáltatók,**
    - **glükózzá alakulnak,**
    - **citrátkörbe lépve lebomlanak,**
- **koenzimek, hormonok, porfirinek előanyagai** lehetnek**.**

A szervezet aminosavkészlete viszonylag állandó. A heterotróf szervezetek alapvetően 2 forrásból jutnak aminosavakhoz:

1. **táplálékkal felvett fehérjékből,**
2. **saját maguk által előállított aminosavakból.**

Az **aminosavak egy részét a szervezet nem, vagy csak elégtelen mennyiségben képes előállítani**, ezeket **esszenciális aminosavaknak** nevezzük, melyeket a **táplálékkal kell felvenni**. Emberben 9 ilyen aminosav ismert, mint pl. a **fenilalanin**, lizin, metionin, valin stb. Általában az állati eredetű táplálék tartalmazza megfelelő mennyiségben és arányban az esszenciális aminosavakat.

1. A táplálékkal felvett fehérjék a tápcsatornában - a gyomorban és a vékonybélben - emésztődnek meg. A **hidrolízist** különféle **emésztőenzimek** végzik - **pepszin, tripszin** -, melynek eredményeképpen a fehérjék **aminosavakra** esnek szét. Az aminosavak felszívódva a vérbe kerülnek, amely a szövetekhez szállítja azokat.

A szövetekben

- az aminosavak általában **fehérjeszintézisben vesznek részt**,
- ritkán **lebomolva energiát szolgáltatnak**.

2. A lebomlásra kerülő aminosavak másik forrása a szervezet saját fehérjéinek bomlása.

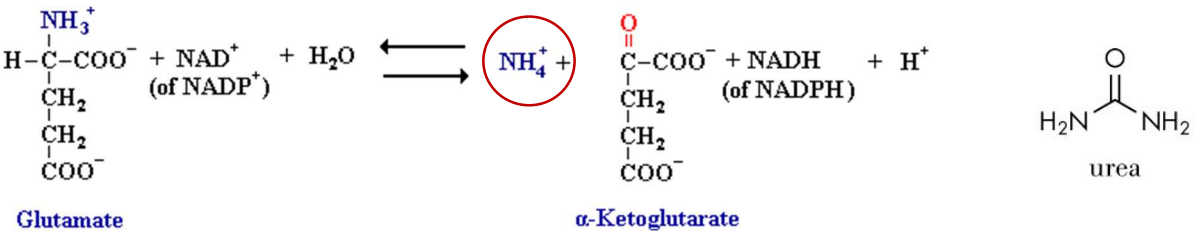
Az aminosavak bomlása

Általában a **N-tartalmú rész lehasadásával** veszi kezdetét.

1. Az aminocsoport leválasztása

Az NH_2-csoport eltávolítása **történhet dezaminálással.**

A **dezaminálás** során a N-tartalmú részlet **ammónia** **formájában lehasad**. A **májban** zajló dezaminálással **lehasított aminocsoport NH_4^+, karbamid (urea) alakjában a vizelettel kiürül.**

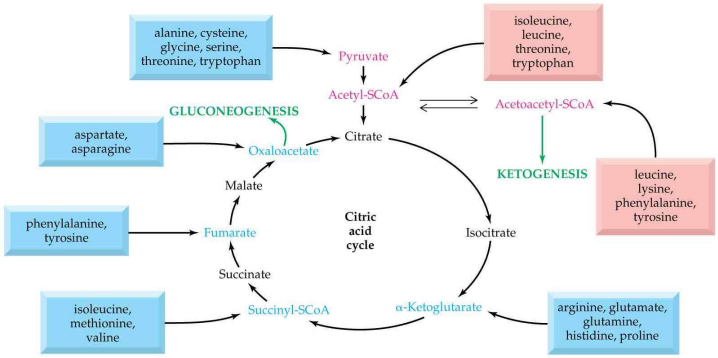


2. Az aminosavak N-mentes szénláncának a sorsa

Az aminosav típusától függően különböző lehet:

- **a citrátciklus köztes termékeivé alakulva a citrátkörben bomlik le,**
- **keletkezhet piroszőlősav,**
- **képződhet acetil-KoA,**

Az aminosav-disszimiláció ezen útvonalai lehetőséget biztosítanak arra, hogy a lebomló **aminosavak szükség esetén átalakuljanak szénhidrátokká (glukoneogenezis) vagy zsírokká.**



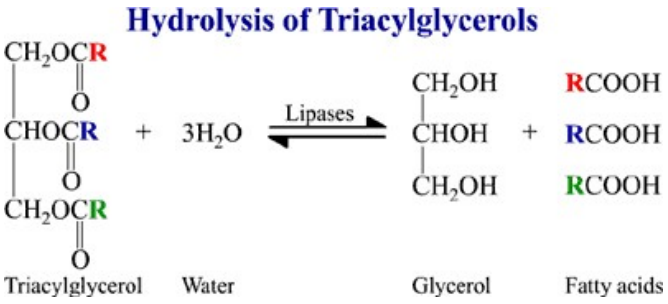
A neutrális zsírok lebomlása

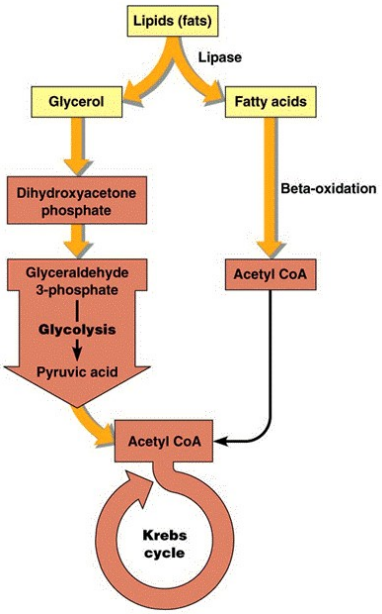
Az állati szervezetekben a **tartaléktápanyag** szerepét elsősorban a neutrális zsírok töltik be. Ennek két oka van:

- **a zsír vízmentes körülmények között tárolható (**1g glikogén 2g vizet köt meg).
- **Oxidációjukkor kétszer annyi energia szabadul fel, mint a glikogén oxidációjakor.**

A táplálékkal a szervezetbe jutott zsírok, vízben oldhatatlanok lévén nagyobb cseppeket képeznek. A tápcsatornában az **epe segíti elő**, hogy a cseppek **emulgeálódjanak,** és a zsírbontó enzimek számára nagyobb felületen hozzáférhetőkké váljanak.

- A lebontás első lépése **a zsírok hidrolízise lipázok útján.** A hidrolízis eredményeképpen **a zsírok glicerinre és zsírsavakra bomlanak.**
- A keletkező **glicerin** a **glikolízisbe** lép.
- A **zsírsavak** hosszú molekulái **acetilcsoportokra** esnek szét.
- **Az acetilcsoportok a citrátkörbe bomlanak tovább, a NADH- molekulák H-atomjai a terminális oxidációba kerülnek**.





Gyakorló emelt szintű érettségi feladatok

Lebontás

A szerves nagy molekulák (pl. neutrális zsírok, fehérjék, keményítő, nukleinsavak) lebontásának több közös jellemzője van.

1. Melyik állítás igaz valamennyi, felsorolt nagy molekula emésztésére? 1 pont
   A) Fő folyamata a kondenzáció.
   B) Részben a hasnyálmirigyben zajlik.
   C) A vékonybélben fejeződik be.
   D) Végtermékei a vese nefronjain át a vizeletbe kerülnek.
   E) A folyamatban részt vesz a sejtek lebontó sejtalkotója, a lizoszóma is.

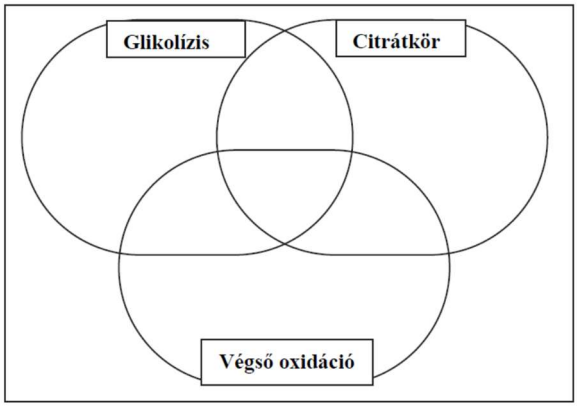
2. Az egyes tápanyagok építőkövekig történő lebontása alapvetően a felhasadó kötéstípusok miatt tér el egymástól. Mely nagy molekula emésztése során hasadnak el észterkötések? (2 pont)
   A) zsírok B) szteroidok C) fehérjék D) keményítő E) nukleinsavak

Abban az esetben, ha a molekula heteroatomot is tartalmaz, annak sorsa sajátosan alakul. Vagy raktározza azt a szervezet vagy kiválasztja.

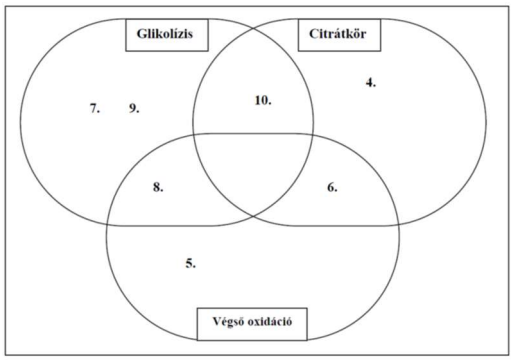
3. Mely bomlástermék részeként távozhat a szervezetből az aminosavakban levő nitrogén? Nevezzen meg egy vegyületet! …….

A nagy molekulák szénlánca az azokat lebontó sejtekben – a megfelelő köztestermékeken keresztül – végül a szénhidrátok lebontási folyamatába torkollik. Ennek három alapvető lépése a glikolízis, a citrátkör (citromsav-ciklus) és a végső (terminális) oxidáció. A három folyamat összehasonlításához írja a következő állítások sorszámát a megfelelő helyre.
(Egy szám csak egy helyre kerülhet.)

4. A lipidek lebontásakor keletkező két szénatomos köztes termék közvetlenül ebben a folyamatban alakul tovább.
5. Folyamatában redukált hidrogénszállító koenzimek hasznosulnak.
6. Eukarióta sejtekben a mitokondriumokban megy végbe.
7. A sejtplazmában zajlik.
8. ATP-felszabadulással járó folyamat.
9. Egy lehetséges leágazása az alkoholos erjedés folyamata.
10. A folyamatban a lebontandó szénlánc oxidációja zajlik.



Megoldás



1. C
2. A, E
3. karbamid / húgysav

Erjedés és biológiai oxidáció

Írja az állítások utáni négyzetbe azon folyamatok betűjelét, amelyekre az állítás érvényes!

A) tejsavas erjedés
B) etanolos erjedés
C) biológiai oxidáció
D) mindhárom
E) egyik sem

1. A glükóz aerob lebontási folyamata.
2. Az emberi szervezetben csak fokozott izommunka esetén zajlik jelentős mértékben.
3. Folyamata során éppen annyi $NADH+H^+$ oxidálódik, mint amennyi NAD^+ előtte redukálódott a folyamatban.
4. A sör elkészítésében is szerepet játszó folyamat.
5. Végtermékei – az ATP kivételével – kizárólag szervetlen anyagok.
6. Felépítő folyamat.
7. Folyamata során 1 mol szőlőcukorból kiindulva szén-dioxidból 2 mol keletkezik.
8. Egyes gombák jellegzetes anaerob lebontási folyamata.
9. Az élőlény számára fölhasználható energiát biztosít.
10. Csak oxigén jelenlétében megy végbe.

Megoldás

1. C
2. A
3. D
4. B
5. C
6. E
7. B
8. B
9. D
10. C

Az energianyerés útjai

Az alábbi táblázat abból a szempontból csoportosítja a számokkal (1-7.) jelzett élőlényeket, hogy energianyerésük során honnan hová kerül a hidrogénatom (a proton és az elektron). Írja a számokat a táblázatban szereplő megfelelő betűk mellé! Egy betű mellé több szám is kerülhet. Egy betű „kakukktojás": emellé nem kerül szám.

Energiaforrás (hidrogén/elektron leadó molekula)	Végső hidrogén (elektron) felvevő molekula (ion)		
	O_2	más szervetlen anyag	szerves molekula
szervetlen	A:	B:	C:
szerves	D:	E:	F:

1. A csírázó *búza*szemekben a keményítő szénatomjai a citrát ciklusban szén-dioxid molekulákba, míg az ezt követő folyamatban a hidrogénatomok vízmolekulákba kerülnek.

2. A *Nitrosomonas* baktérium az ammóniát energiaforrásként hasznosítja: molekuláris oxigén jelenlétében nitrit-ionokká alakítja.

3. Egy *Thiobacillus* baktériumfaj az elemi kén szulfáttá (SO4 2-) oxidálásból nyeri az energiát. Elektronfelvevő molekulaként a nitrát-iont használja, amit elemi nitrogénné redukál.

4. A *Lactobacillusok* a glükózt tejsavvá alakítják levegőtől elzárt közegben.

5. A *Pseudomonas oxaliticus* baktériumfaj a hangyasavat (HCOOH) elemi oxigénnel szén-dioxiddá és vízzé oxidálja.

6. A fenyők fehérkorhadását okozó *Trametes pini* gomba főként a lignint (a sejtfalat alkotó egyik poliszaharidot) bontja le oxigéngazdag közegben.

7. Egy *Desulfovibrio* baktériumfaj a tejsavat szén-dioxiddá oxidálja. Elektronfelvevője a szulfát-ion (SO4 2-), amit kén-hidrogénné (H2S) redukál.

8. Melyik, betűvel jelzett típusba sorolhatók a nagy megterhelés során tejsavas erjedéssel energiát nyerő emberi izomrostok anyagcseréje!

9. A felsorolt (1-7. számjelzésű) fajok közül leírt anyagcseréje alapján tekinthető-e valamelyik faj nitrogéngyűjtő (fixáló) baktériumnak? Ha igen, melyik? Indokolja állítását!
……

10. A felsorolt (1-7. számjelzésű) fajok közül leírt anyagcseréje alapján tekinthető-e valamelyik faj denitrifikáló baktériumnak? Indokolja állítását!
……

11. Vannak-e a felsorolt (1-7. számjelzésű) fajok között olyanok, amelyek leírt anyagcseréjük alapján mitokondriumaiban hasznosítják ATP-szintézisre a felszabaduló energiát? Ha igen, melyek? Indokolja állítását!
……

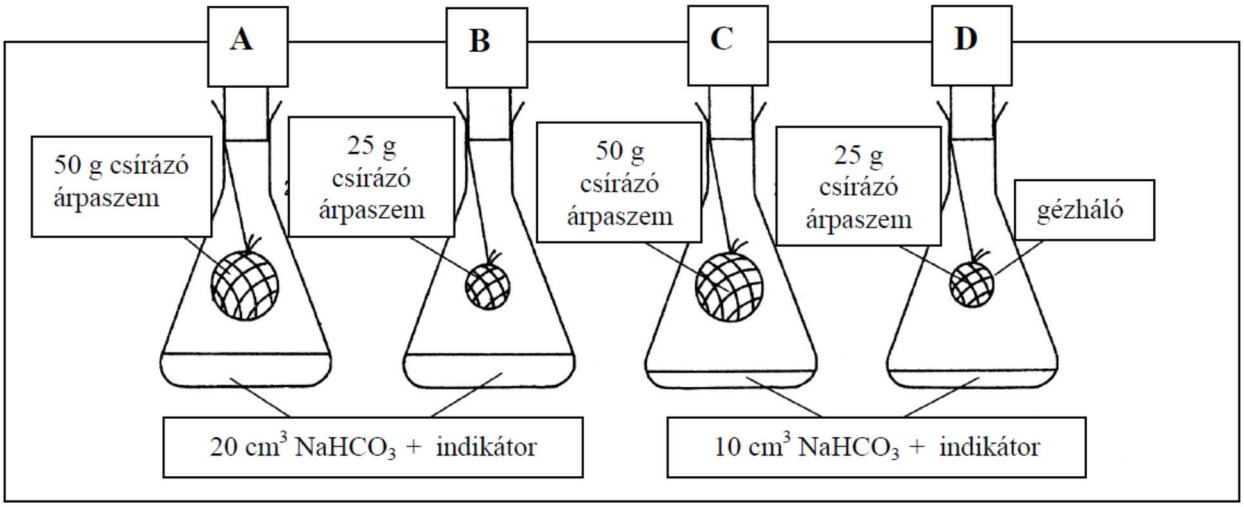
Megoldás

Energiaforrás (hidrogénleadó molekula)	Hidrogén (elektron) felvevő molekula (ion)		
	O_2	szervetlen anyag	szerves molekula
szervetlen	A: 2.	B: 3.	C: -
szerves	D: 1. 5. 6.	E: 7.	F: 4.

8. F
9. Nem, mert a nitrogéngyűjtők kiindulási anyaga a légköri nitrogén (N2) (és ilyen nincs a felsoroltak között).
10. Igen, a *Thiobacillus* faj (3.) ilyen, mert a nitrát-ionokból elemi nitrogéngázt állít elő.
11. A búza és a Trametes gomba (1. és 6.). Ezek eukarióták (és aerobok), (a baktériumokban nincs mitokondrium).

Vizsgálatok csírázó magvakkal

Kutatók csírázó magvak anyagcsere-folyamatait fény kizárása mellett vizsgálták. A leírás és a rajzok figyelmes tanulmányozása után válaszolja meg a kérdéseket!



Árpaszemeket két napig Petri-csészében csíráztattak, majd egy részüket az ábrán látható módon nedves gézbe csomagolva felfüggesztették egy dugóval lezárt lombikban. A lombikba töltött lúgos folyadék olyan indikátort tartalmazott, mely savasodás hatására pirosból sárga színre vált. Négy kísérleti berendezést készítettek a rajzon föltüntetett anyagmennyiségekkel szobahőmérsékleten.

1. A sejten belüli lebontó folyamat mely szakaszában és melyik sejtalkotóban szabadul fel annak a gáznak a nagy része, mely a lombik alján lévő oldatba kerül? (2 pont)
……., …….

2. A sejten belüli lebontó folyamat mely szakaszában és melyik sejtalkotóban szabadul fel a csírázáshoz szükséges ATP nagy része? (2 pont)
……..……., ……..

3. Melyik betűjelű kísérletben figyelhető meg először az indikátor színváltozása?

A megfelelő betűjellel válaszoljon! Indokolja válaszát! (2 pont)
…… mert ……..
…….

Az egyik kutató a fenti kísérletet több lépésben kiegészítette. Először megmérte a magvak tömegét még szárazon a csíráztatás előtt, majd másodszor négy nap múlva, a lombikba helyezés után is. Ezután a magvakat kiszárította, és ebben az állapotban harmadszor is megmérte tömegüket.

4. Mit tapasztalhatott a kutató az első és a harmadik mérés adatait összevetve, és milyen helyes következtetésre juthatott?

A) Az árpaszemek tömege csökkent, mert a fotoszintézis során a szerves anyag-tartalom egy része oxidálódott.
B) Az árpaszemek tömege a hőhatás következtében nőtt, mert a keményítő, a cellulóz és a fehérjék hidrátburka tönkrement.
C) Az árpaszemek tömege nem változott, mert a lebontó és a felépítő folyamatok egyensúlyban voltak.
D) Az árpaszemek tömege nőtt, mert a csíranövények elkezdtek fejlődni.
E) Az árpaszemek tömege változott, mert a lebontó folyamatokban a szerves anyag-tartalom egy része oxidálódott.

Egy másik vizsgálat során a kutató a Petri-csészében csíráztatott árpaszemekből nyert kaparékra a 8. napon Lugol-oldatot (kálium-jodidos I2 oldatot) cseppentett. A próba negatív volt, azaz nem észlelt színváltozást.

5. Mely állítások igazak a 8. napon vizsgált árpaszemekre? (2 pont)

A) Az amiláz az összes keményítőt oxidálta.
B) A sejtek tartaléktápanyagukat légzéshez, sejtfalépítéshez és fehérjeszintézishez használták föl.
C) Az aktivált amiláz elbontotta a jódot.
D) Az embrió élénk fehérjeszintéziséhez szükséges ATP-t a fotoszintézis biztosította.
E) Az aktivált enzimek az összes keményítőt hidrolizálták.

Megoldás

1. a citromsav-ciklusban / biológiai oxidációban – a mitokondriumban
elfogadható: erjedés során – a sejtplazmában
2. A terminális oxidációban / biológiai oxidációban – a mitokondriumban
elfogadható: erjedés során – a sejtplazmában
3. C ; ebben található több csírázó árpaszem / itt termelődik több CO2 *és* kisebb mennyiségben van jelen a lúg.
4. E
5. B, E

Lebontó folyamatok vizsgálata

Laboratóriumban a következő két kísérletet végezzük el:

I. kísérlet: egy vízszintesen tartott kémcsőbe 6-8 szem csírázó borsószemet helyezünk. A kémcsövet egy kifúrt dugóval bedugjuk, amelynek furatába egy egyenes üvegcsövet illesztünk. Az üvegcső végébe néhány cseppnyi nátrium-hidroxid (NaOH) oldatot teszünk, amelyet fenolftaleinnel festünk meg. (A vízszintesen tartott csőből a folyadék a víz felületi feszültsége miatt nem folyik ki.) Figyeljük a változást. (A fenolftalein indikátor savas és semleges közegben színtelen, lúgos közegben bíbor színű.)

II. kísérlet: egy függőlegesen tartott kémcsőbe (1. kémcső) 5 cm3 glükóz-oldatot öntünk. Ebbe egy darabka élesztőt rakunk, majd a kémcsövet 37 ºC-os vízfürdőbe helyezzük. A kémcsövet egy kifúrt dugóval bedugjuk, amelynek furatába egy „U”-alakban meghajlított üvegcsövet illesztünk. Az üvegcső másik végét egy telített meszes vizet tartalmazó kémcsőbe (2. kémcső) merítjük. Figyeljük a változást.

Hasonlítsa össze a két kísérletet, töltse ki a táblázat számokkal jelölt hiányzó rovatait!

Szempont	I. kísérlet	II. kísérlet
A kísérletben vizsgált lebontó biokémiai folyamat neve	**1.**	**2.**
A folyamat során keletkezett gázhalmazállapotú anyag neve	**3.**	**4.**
A kísérletben tapasztalt látható változás	Színváltozás a csőbe helyezett folyadékcseppben: **5.**	Változás a 2. kémcsőben: **6.**

7. Írja fel az ***I.*** kísérletben vizsgált biokémiai folyamat összesített (bruttó) egyenletét szőlőcukorból kiindulva!

..... + ... = ... + ...

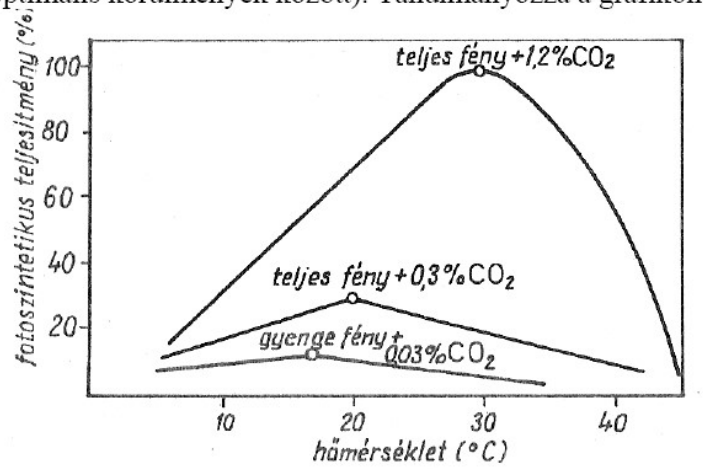
8. Változik-e, s ha igen, hogyan az ***I.*** kísérletben a csőbe helyezett folyadékcsepp helyzete? Magyarázza meg a választ! (2 pont)
.....

Megoldás

1. biológiai oxidáció/sejtlégzés
2. erjedés/ alkoholos erjedés
3. szén-dioxid
4. szén-dioxid
5. elszíntelenedik/ elhalványodik az oldat
6. zavarosodás/ csapadékképződés (fehér színű)
7. $C_6H_{12}O_6 + 6\ O_2 = 6\ CO_2 + 6\ H_2O$
8. Igen, a csepp a kémcső felé mozdul, mert a keletkezett szén-dioxidot megköti a NaOH-oldat, így a kémcsőben csökken a nyomás.

II. A fotoszintézis hatékonysága 10 pont

Az alábbi grafikon a burgonyanövény fotoszintézisének intenzitását ábrázolja a fényerősség, a hőmérséklet és a CO_2-koncentráció függvényében. (100% az intenzitás a minden szempontból optimális körülmények között). Tanulmányozza a grafikont és oldja meg a feladatokat!



1. Milyen anyag mennyiségével mérhették a fotoszintetikus teljesítményt? *A helyes válaszok betűjelét írja a négyzetekbe!* (1 pont)

A) A keletkező oxigén mennyiségével
B) A keletkező CO_2 mennyiségével
C) A keletkező szőlőcukor mennyiségével
D) A keletkező víz mennyiségével
E) A keletkező szervetlen anyagok mennyiségével

A grafikon alapján döntse el, hogy igazak (I), vagy hamisak (H) az alábbi állítások! *A megfelelő betűjelet írja a második oszlopba!* (2 pont)

2. A hőmérséklet a teljes vizsgált tartományban növeli a fotoszintézis intenzitását.	
3. Azonos megvilágítás esetén a CO_2 koncentrációja és a hőmérséklet is befolyásolja a fotoszintézis intenzitását.	

4. Olvassa le a grafikonról, hogy milyen körülmények között, melyik mért értéken a legintenzívebb a fotoszintézis! *Írja be a táblázatba!* (2 pont)

Fényerősség	**teljes**
CO_2- koncentráció (%)	
Hőmérséklet (°C)	

5. Mennyi a fotoszintézis %-os teljesítménye teljes fény és 0,3%-os CO_2 –koncentráció esetén 20 °C-on? …….. (1 pont)

6. Mennyi a fotoszintézis %-os teljesítménye teljes fény és 1,2%-os CO_2 –koncentráció esetén 20 °C-on? …….. (1 pont)

7. Az ábra alapján *gyenge fényben* hogyan befolyásolja a %-os fotoszintetikus teljesítményt a hőmérséklet? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!* (1 pont)

A) Növeli.
B) Csökkenti.
C) Kb. 17 ºC-ig növeli, majd csökkenti.
D) Kb. 17 ºC-ig csökkenti, majd növeli.
E) Ez az ábra alapján nem dönthető el.

8. Az ábra alapján *gyenge fényben* hogyan befolyásolja a %-os fotoszintetikus teljesítményt a CO_2 -koncentráció? *A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!* (1pont)

A) Növeli.
B) Csökkenti.
C) Kb. 17 ºC-ig növeli, majd csökkenti
D) Kb. 17 ºC-ig csökkenti, majd növeli.
E) Ez az ábra alapján nem dönthető el.

Foglalja össze és általánosítsa eddigi megfigyeléseit! A mondatot melyik befejezése helyes? A helyes válasz betűjelét írja a négyzetbe!

9. Ha a többi környezeti tényező értéke optimális (vagy ahhoz közli érték), akkor mindig az a tényező korlátozza egy életműködés hatékonyságát, amely … (1 pont)

A) A legalacsonyabb értékű.
B) A legmagasabb értékű.
C) A lehető legkedvezőbb.
D) Az optimálistól leginkább eltér.
E) Nem a természetes élőhelyen mérhető érték.

Megoldás

II. **A fotoszintézis hatékonysága** **10 pont**

A feladat a részletes követelmény 2.2.2. fejezetén alapul.
A grafikon forrása: Dr. Haraszti Ede: Zsebkönyv a növények életéről Natura, Budapest, 1977. 178. o.

1. A C *A helyes betűpárért*: 1 pont
2. H 1 pont
3. I 1 pont
4.

CO_2- koncentráció:	1,2 %	1 pont
Hőmérséklet:	28-30 °C	1 pont

5. Kb. 30% 1 pont
6. Kb. 60-70 % közötti érték 1 pont
7. C 1 pont
8. E 1 pont
9. D 1 pont

II. Két folyamat 9 pont

Hasonlítsa össze a szőlőcukor biológiai oxidációját és a glikogén emésztését az emberi szervezetben! A helyes válasz betűjelét írja az üres négyszögekbe!

A. A szőlőcukor biológiai oxidációjára jellemző
B. A glikogén emésztésére jellemző
C. Mindkettőre jellemző
D. Egyikre sem igaz

1.	Hidrolízis.	
2.	Előfeltétele az epe szétoszlató (emulziót stabilizáló) hatása.	
3.	Kémiai reakciókból áll.	
4.	Sejten belüli folyamat.	
5.	Egyes lépései a mitokondriumon belül mennek végbe.	
6.	A folyamat során fölszabaduló energia egy részét ATP formájában tárolja a szervezet.	
7.	A hasnyál enzimjei gyorsítják.	
8.	A folyamat egyes lépéseiben a NAD^+ molekulák továbbítják a hidrogénatomokat.	
9.	Autotróf élőlényekben is lezajlik.	

Megoldás

II. Két folyamat 9 pont

A feladat a követelményrendszer 2.2.21; 4.4.2; 2.1.6; 2.2.3; 2.1.4 pontjai alapján készült. Minden helyes válasz 1 pont.

1. B
2. D
3. C
4. A
5. A
6. A
7. B
8. A / D
9. A

I. Erjedés és biológiai oxidáció 10 pont

Írja az állítások utáni négyzetbe azon folyamatok betűjelét, amelyekre az állítás érvényes!

A) tejsavas erjedés
B) etanolos erjedés
C) biológiai oxidáció
D) mindhárom
E) egyik sem

1.	A glükóz aerob lebontási folyamata.	
2.	Az emberi szervezetben csak fokozott izommunka esetén zajlik jelentős mértékben.	
3.	Folyamata során éppen annyi $NADH+H^+$ oxidálódik, mint amennyi NAD^+ előtte redukálódott a folyamatban.	
4.	A sör elkészítésében is szerepet játszó folyamat.	
5.	Végtermékei – az ATP kivételével – kizárólag szervetlen anyagok.	
6.	Felépítő folyamat.	
7.	Folyamata során 1 mol szőlőcukorból kiindulva szén-dioxidból 2 mol keletkezik.	
8.	Egyes gombák jellegzetes anaerob lebontási folyamata.	
9.	Az élőlény számára fölhasználható energiát biztosít.	
10.	Csak oxigén jelenlétében megy végbe.	

Megoldás

I. Erjedés és biológiai oxidáció 10 pont

A feladat a részletes követelmények 2.2.1.; 2.2.2.; 2.2.3. pontjai alapján készült.

1. C
2. A
3. D
4. B
5. C
6. E
7. B
8. B
9. D
10. C

Minden helyesen beírt betű 1 pont.

VIII. Anyagcsereutak és szabályozásuk 11 pont

A glükóz biológiai oxidációja több ponton szabályozott folyamat, melynek üteme a szervezet pillanatnyi energiaigényéhez alkalmazkodik.
A glikolízis legfontosabb szabályozó pontja a foszfofruktokináz nevű enzim által katalizált reakció. Az enzimet az ADP *aktiválja*, az ATP és a citromsav pedig *gátolja*.

A szöveg és az ábra alapján egészítse ki az alábbi hiányos mondatot, amely megfogalmazza az aktiválás biológiai funkcióját! (2 pont)

A csökkenő ATP és a növekvő ADP szint azt jelzi, hogy a szervezet energiafelhasználása (1.) ……, ezért a glikolízis ütemét (2.) …… kell.

A feladat egy erőltetett ütemben futó sportoló szervezetében lejátszódó változásokat követi nyomon. A mellékelt ábra a szabályozásban szerepet játszó enzimre, az izocitrát-dehidrogenázra ható tényezőket mutatja.

3. Az ábra és ismeretei alapján állítsa logikai sorrendbe a citrátkör lassulásához, illetve leállításához vezető eseménysor ok-okozati lépéseit egy intenzív mozgást végző izomrost esetében! Írja az események betűjelét a helyes sorrendben az alábbi folyamatábra négyzeteibe!

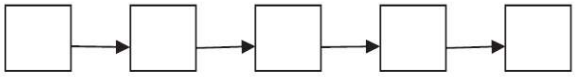
   A) A felhalmozódó NADH gátolja az izocitrát-dehidrogenáz enzimet, ami az egész citrátkör legfontosabb szabályozó pontja és így az egész citrátkör leáll.

   B) A keringési rendszer nem tud elegendő oxigént szállítani ahhoz, hogy az izomrost megnövekedett igényét kielégítse.

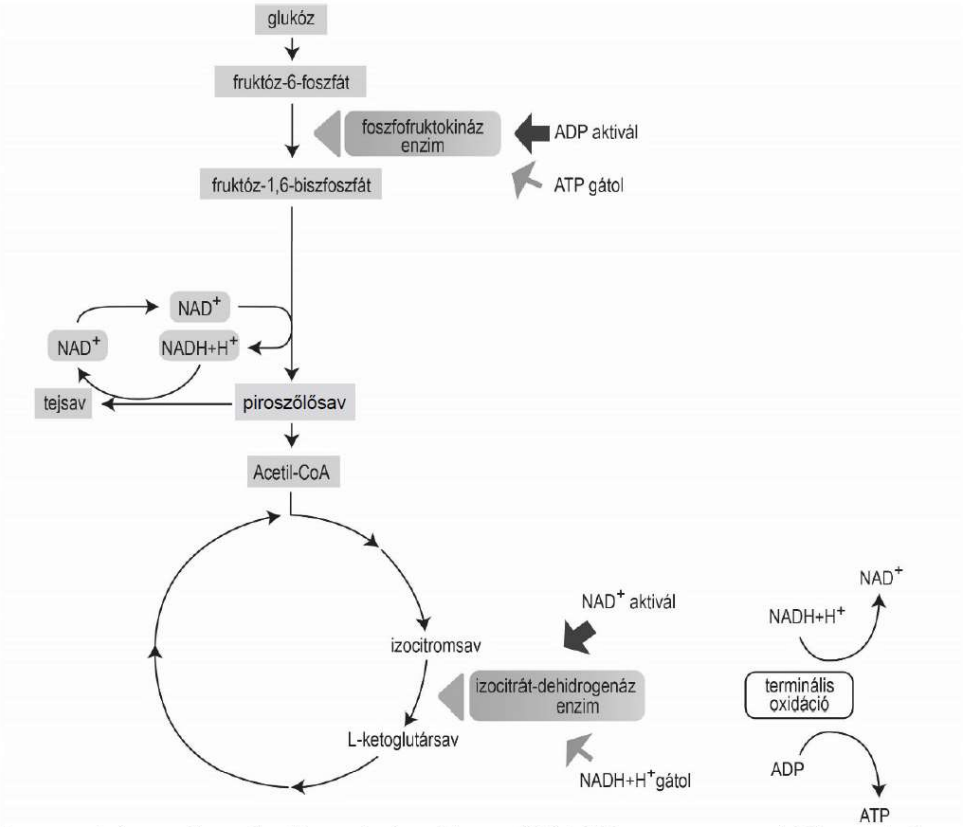
   C) A $NADH+H^+$ felhalmozódik a sejtben.

   D) Oxigén hiányában a terminális oxidáció elektronszállító rendszerének egyes tagjai telítődnek elektronnal, mivel nincs végső elektronfelvevő.

   E) A citrátkörben keletkezett $NADH+H^+$ nem tudja a szállított elektronjait az elektronszállító láncnak leadni és nem tud NAD^+ formába kerülni.



A glikolízis révén oxigén nélkül, anaerob körülmények között is lehetővé válik - ha lényegesen kisebb mértékben is - az ATP szintézis, amit erjedésnek nevezünk. Az anyagcsereút valamilyen melléktermék keletkezése mellett válik folyamatossá, amiről az erjedés a nevét is kapja.



Ismeretei és az ábra alapján egészítse ki az alábbi hiányos szöveget! Nem minden szót kell felhasználnia.

oxidációja,	**redukciója,**	**redukálódik,**	**oxidálódik,**
terminális oxidációban,	**citrát körben,**	**glikolízisben,**	**NAD^+**
$NADH+H^+$,	**tejsav,**	**piroszőlősav,**	**ecetsav**

A glükóz …….. (4) a NAD^+ koenzim segítségével játszódik le, miközben a NAD^+ ……..……... (5). A $NADH+H^+$ oxigén nélkül nem tudja az elektronját és hidrogénjét a ……. (6) leadni. A folyamatos glikolízis fenntartásához viszont oxigén hiányában is ……. (7)-ra van szükség. Ez oxigén hiányában úgy keletkezik, hogy a $NADH+H^+$ a/az ……. (8) -at redukálja, miközben az izomsejtekben tejsav keletkezik.

9. Mi történik az izomsejtben felhalmozódó tejsavval? Válassza ki az alábbiak közül a helyes állításokat és betűjelüket írja az üres négyzetekbe! (2 pont)

   A) A tejsav mérgező melléktermék, amit a vese választ ki.
   B) Az izomsejtekből a tejsav a vérkeringésen keresztül a májba kerül, ahol glükóz szintetizálódik belőle.
   C) A tejsav zsír formájában raktározódik.
   D) A tejsavat a májsejtek az epébe választják ki.
   E) A tejsavból szintetizált glükóz glikogén formájában raktározódhat.

Megoldás

VIII. Anyagcsereutak és szabályozásuk 11 pont

A feladat a részletes követelményrendszer 2.2.3. és 3.3.3. pontjai alapján készült.
Forrás: Sadava, D. at al (2014): Life: The Science of Biology. W.H. Freeman&Co, Gordonsville, USA. p.181-182

1.	nagy / fokozott / jelentős	1 pont
2.	növelni / fokozni	1 pont
3.	B – D – E – C – A Csak a teljes, helyes sorra adható pont.	1 pont
4.	oxidációja	1 pont
5.	redukálódik	1 pont
6.	terminális oxidációban	1 pont
7.	NAD^+ (A NAD is elfogadható.)	1 pont
8.	piroszőlősav	1 pont
9.	B, E	1+1 = 2 pont
10.	élesztő (gomba) / sütő- vagy sörélesztő	1 pont

VIII. Anyagcserefolyamat-határozó 12 pont

A következő határozókulcsban egy eukarióta sejt különböző anyagcsere-folyamatai szerepelnek. Azonosítsa az egyes folyamatokat, a növényhatározás során megismertek szerint! Megoldásként a római számmal jelölt folyamatok nevét írja be a következő oldalon a megfelelő helyre! A következő folyamatok közül választhat (nem szerepel mindegyik folyamat a határozókulcsban!):

GLIKOLÍZIS,
CITROMSAV-CIKLUS,
A FOTOSZINTÉZIS FÉNYSZAKASZA,
DNS-ÁTÍRÁS (TRANSZKRIPCIÓ),
GLÜKÓZ VISSZASZÍVÁSA

A FOTOSZINTÉZIS SÖTÉTSZAKASZA,
VÉGSŐ (TERMINÁLIS) OXIDÁCIÓ,
DNS-MEGKETTŐZŐDÉS (REPLIKÁCIÓ),
FEHÉRJE-SZINTÉZIS (TRANSZLÁCIÓ),

1.

a. ATP-szintézissel járó folyamat. ..... 2.

b. ATP-szintézissel *nem* járó folyamat. ..... 4.

2.

a. A sejtplazmában végbemenő folyamat. ..... *I. folyamat*

b. Prokarióta eredetű sejtalkotóban végbemenő folyamat. ..... 3.

3.

a. A folyamatban elsődlegesen szervetlen molekuláról származik az elektron. *II. folyamat*

b. A folyamat végső elektronfelvevője szervetlen molekula. ..... *III. folyamat*

4.

a. Sok hasonló egységből álló (biopolimer) molekula felépülésének folyamata. ..... 5.

b. A folyamatban nem keletkezik polimer molekula. ..... 7.

5.

a. A folyamatban észterek keletkeznek. ..... 6.

b. A folyamatban nitrogéntartalmú kötések alakulnak ki. ..... *IV. folyamat*

6.

a. A folyamat szabja meg, hogy egy gén hatása mikor és hol nyilvánul meg. ..... *V. folyamat*

b. A folyamat eredményeként a sejt DNS-tartalma megduplázódik ..... *VI. folyamat*

7.

a. A folyamat redukció: oxidált szénvegyületből redukáltabb keletkezik. ..... *VII. folyamat*

b. A folyamat oxidáció: szerves savak elektronleadása zajlik. ..... *VIII. folyamat*

Megoldás

1. Nevezze meg az azonosított anyagcsere-folyamatokat! (8 pont)

I. folyamat: .....

II. folyamat: .....

III. folyamat: .....

IV. folyamat: .....

V. folyamat: .....

VI. folyamat: .....

VII. folyamat: .....

VIII. folyamat: .....

2. Az alábbi folyamatok közül melyek mennek végbe membránhoz kötött enzimrendszerek révén? (2 pont)

A) Végső (terminális) oxidáció.
B) Citromsavciklus.
C) A fotoszintézis sötétszakasza.
D) DNS-átírása RNS-re.
E) A fotoszintézis fényszakasza.

Az anyagcserefolyamatok közül némelyek az emberi szervezet egyes sejtjeiben is végbemennek, míg mások nem.

3. Melyek azok az anyagcserefolyamatok, amelyek az oszlopos alapszövet sejtjeiben végbemennek, de a májsejtekben nem? (2 pont)

A) Glikolízis.
B) Terminális (végső) oxidáció.
C) A fotoszintézis sötétszakasza.
D) A fotoszintézis fényszakasza.
E) DNS-átírás RNS-re.

Megoldás

1. *Minden helyesen azonosított folyamat 1-1 pontot ér, összesen* 8 pont
   I. folyamat: glikolízis
   II. folyamat: a fotoszintézis fényszakasza
   III. folyamat: végső (terminális) oxidáció
   IV. folyamat: fehérjeszintézis (transzláció)
   V. folyamat: RNS-átírás (transzkripció)
   VI. folyamat: DNS-szintézis (replikáció)
   VII. folyamat: a fotoszintézis sötétszakasza
   VIII. folyamat: citromsavciklus

2. A és E 1+1 = 2 pont
3. C és D 1+1 = 2 pont