

KERTÉSZETI NÖVÉNYEK ÉLETTANA

Dr. Monostori Tamás főiskolai tanár
Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet



A NÖVÉNYEK LÉGZÉSE, A LÉGZÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

2. olvasólecke

Olvasási idő: 45 perc

Jelen tananyag a Szegedi Tudományegyetemen
készült az Európai Unió támogatásával.
Projekt azonosító: EFOP-3.4.3-16-2016-00014



SZÉCHENYI 2020

Európai Unió
Európai Szociális
Alap



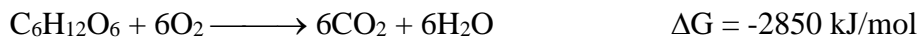
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

A LÉGZÉS

A légzés azon **aerob lebontó folyamatok** összessége, melyek során **a szerves anyagok egyszerűbb vegyületekké oxidálódnak**. A lebontott szubsztrátok kémiai energiája felszabadul, és a szervezet energiaigényes folyamataiban (pl. bioszintézisek) hasznosul. A szubsztrátok lebontásának köztes termékei (intermedierek) a felépítő folyamatokban újra felhasználódhatnak.

A nem fotoszintetizáló növényi szövetek szénforrás- és energiaigényét a fotoszintézis során termelt szacharóz biztosítja, ami hancstranszport útján jut el a felhasználás helyszínére. Éjszaka, megvilágítás hiányában a fotoszintézisre képes szövetek is a nappal termelt szerves vegyületek elbontásából fedezik energiaszükségletüket.

A légzés összegképlete:



A légzés alapreakciói:

1. **A szubsztrát oxidációja dehidrogenálással**: a folyamat során **redukált** piridin (NADPH₂, NADH₂) és flavin (FADH₂) **nukleotidok**, valamint CO₂ keletkeznek. A szubsztrát kémiai kötéseiben lévő energia felszabadul és **ATP** keletkezik (szubsztrát szintű ATP-szintézis).
2. **Végoxidáció**: a folyamat során a redukált nukleotidok hidrogénje molekuláris oxigénnel egyesül, **víz** keletkezik. Az oxidáció során felszabaduló felszabaduló energia **ATP**-ben raktározódik (oxidatív foszforilálás).

A **szubsztrát dehidrogenálás**ának alternatív útjai:

- glikolízis + citrátkör
- oxidatív pentóz-foszfát ciklus

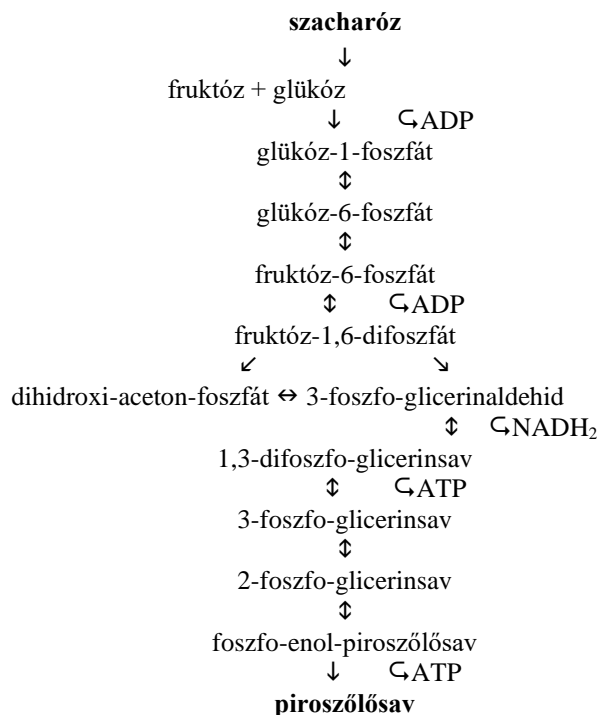
A **végoxidáció** alternatív útjai:

- mitokondriális elektrontranszport + oxidatív foszforilálás
- exomitokondriális oxidáció

A légzés helyszíne a sejtekben a citoszol és a mitokondrium.

A glikolízis

A glikolízis reakcióláncaiban a szacharóz **piroszőlősav** vá oxidálódik.



A glikolízis folyamata

Egy szacharóz molekula glikolízisben történő elbontásából négy piroszőlősav molekula képződik. A folyamat kezdetén a szubsztrát aktiválásához nukleozid-trifoszfátok energiájára van szükség, ugyanakkor a trióz-foszfátok oxidálása során energia szabadul fel (**szubsztrát szintű ATP-szintézis**) és **NADH₂** keletkezik. A glikolízis folyamatában meghatározó lépés a hexóz-foszfátok trióz-foszfátokra bomlása.

A glikolízis helyszíne a **citoszol**.

Az oxidatív pentóz-foszfát ciklus

A glikolízisben a glükóz-6-foszfát elágazási pont a szénhidrátok lebontásának alternatív útja, a pentóz-foszfát-ciklus felé, melyben a hexóz-foszfátok trióz-foszfátokra történő bomlás nélkül dehidrogenálódnak (direkt oxidáció). A folyamat során redukált piridin-nukleotid (**NADPH₂**) képződik és **CO₂** szabadul fel.

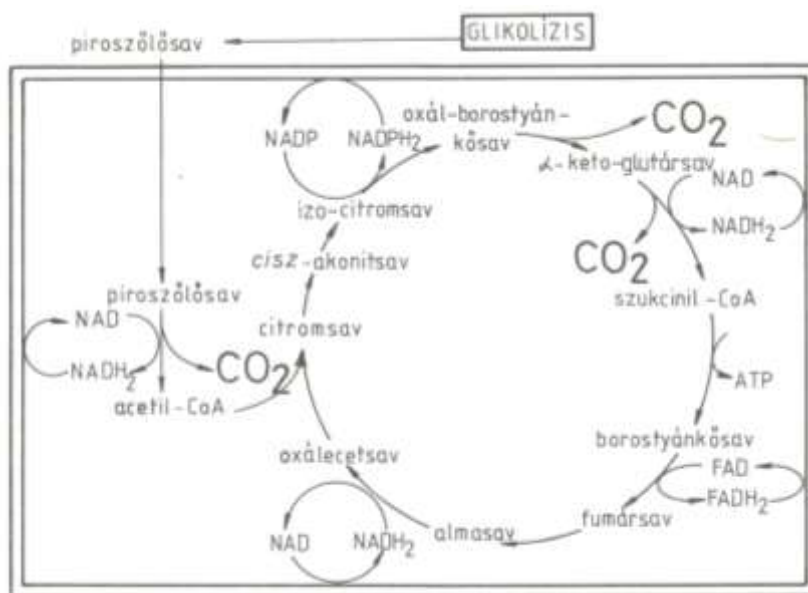
A szubsztrát-lebontás alternatív útjainak megoszlása a növényi szövetekben:

- glikolízis: fiatal szövetek
- pentóz-foszfát-ciklus: idősebb, illetve fertőzött, beteg szövetek

A citromsav-ciklus (Krebs-ciklus)

A glikolízisben keletkezett piroszölősav a mitokondrium alapállományába (mátrix) transzlokálódik, és ott oxidatív módon dekarboxilálódik:

- **acetyl-CoA** (aktivált ecetsav) keletkezik,
- egy piridin-nukleotid redukálódik ($\text{NAD} \rightarrow \text{NADH}_2$),
- **CO_2** szabadul fel.



A citromsavciklus folyamata

Pethő (2002)

A citromsav-ciklusban az acetyl-CoA és oxál-ecetsav reakciójából citromsav keletkezik, az oxál-ecetsav újraképződik, miközben 2 CO_2 szabadul fel, illetve redukált nukleotidok (3 NADH_2 , 1 FADH_2) keletkeznek.

A glikolízisből származó piroszölősav oxidatív lebontásának eredménye összesen:

- **3 CO_2** ,
- **5 redukált nukleotid.**

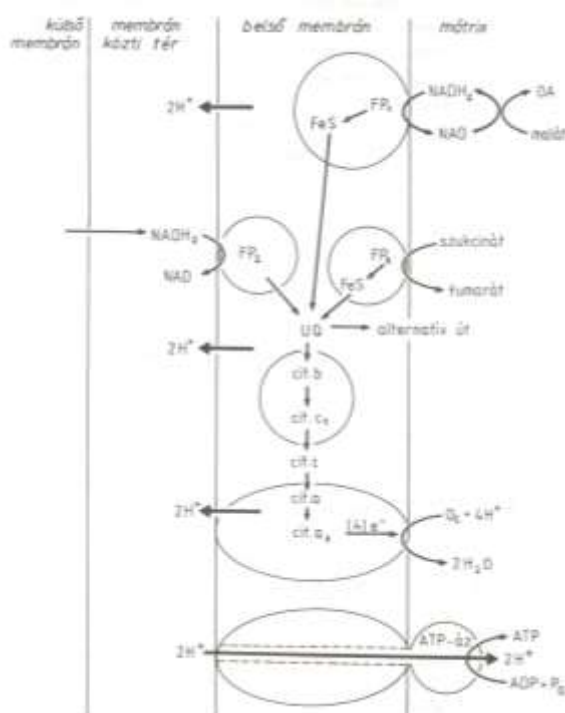
A redukált nukleotidok a mitokondrium belső hátyarendszerének elektronszállító láncán keresztül, illetve egyéb oxidoredukciós rendszerekben oxidálódnak.

A mitokondriális elektrontranszport és az oxidatív foszforiláció

A citoszolból származó, illetve a citrátkörben keletkező redukált nukleotidok a mitokondrium belső hátyájában lokalizált elektronszállító fehérje-komplexekhez kapcsolódva oxidálódnak (**végoxidáció**). Leadott elektronjuk végighalad az elektronszállító láncán, miközben a membrán közti térben protonok halmozódnak fel, a membrán két felszíne között potenciálkülönbség

alakul ki. A protongradiens kiegyenlítése egy különálló, integráns fehérje-komplexben történik. Az ehhez kapcsolódó perifériális részben, a protonszállítással párhuzamosan, **ATP** szintetizálódik (**oxidatív foszforilálás**).

Az elektronszállító láncon végighaladó elektronok a végső elektron-akceptorra (**O₂**) kerülnek, a mátrix protonjainak felhasználásával **víz** keletkezik:



A mitokondriális elektrontranszport és az oxidatív foszforilálás (Pethő, 2002)

A víz keletkezése, az elektron oxigénre történő továbbítása különböző utakon mehet végbe:

- citokróm-oxidáz → citokróm út
- alternatív-oxidáz → alternatív út (cianid-rezisztens légzés)

A végoxidáció hatékonysága:

- **citokróm út**: 1 NADH₂ oxidációja → 3 ATP termelése
- **alternatív út**: 1 NADH₂ oxidációja → 0 vagy 1 ATP termelése

Az alternatív úton történő végoxidáció, tehát energiapazarló folyamat.

A LÉGZÉST BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A légzésintenzitást külső és belső tényezők befolyásolhatják. A külső tényezők (pl. hő, fény, víz, ásványi anyagok mennyisége) nem csak a természetes/szabadföldi viszonyok között, hanem a tárolóhelyiségekben is befolyásolják, ill. módosítják a légzés intenzitását.

Az alternatív úton folyó légzés hatásai

Tápelemekben szegény talajokon - az ATP-ciklus energiát fogyasztó oldalának elégtelen működése miatt – bekapcsolódik az alternatív úton folyó légzés, ezzel is hozzájárulva a **szerves-anyag-termelés alacsonyabb színvonalához**.

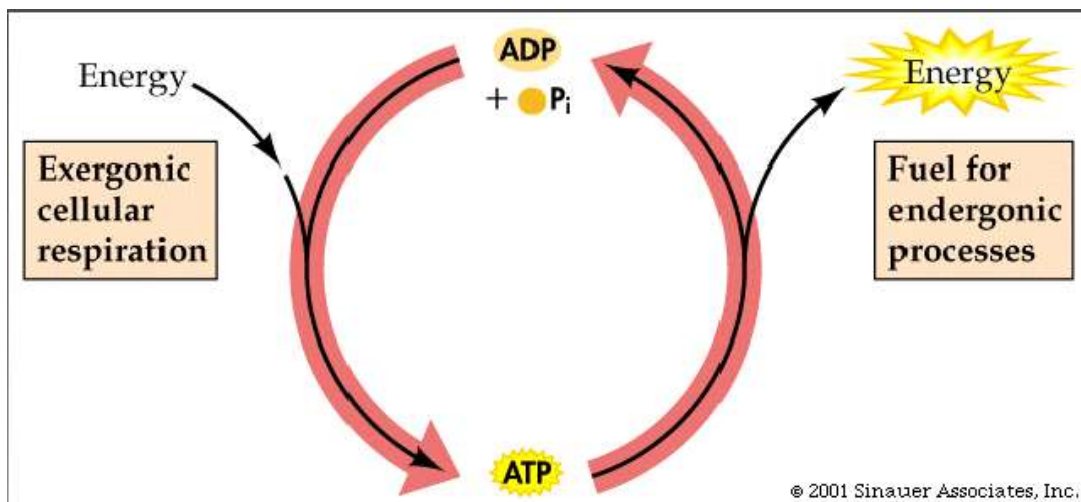
Alacsony termőképességű fajtákban az alternatív-oxidáz magas kapacitása is hozzájárul a szubsztrátok kevésbé hatékony hasznosításához.

Az ATP-ciklus hatása a légzés intenzitására

A légzés belső szabályozásában alapvető önszabályozó mechanizmus, az **ATP-ciklus** (adenilát szabályozó rendszer) működésének szempontjai:

- a mitokondriális elektrontranszport során felszabaduló energia raktározásának feltétele a foszfát-akceptor (ADP) és az anorganikus foszfát (P_i) jelenléte
- a megfelelő mennyiségű ADP regenerálása csak megfelelő intenzitású ATP-felhasználással (pl. energiaigényes felépítő folyamatok) biztosítható

Az energiafelhasználás fokozódása magával vonja a légzés intenzitásának növekedését. Nem megfelelő szintű energiafogyasztás esetén a légzés intenzitása is csökken.



Az ATP-ciklus

A hőmérséklet hatása a légzés intenzitására

Növényeknél a légzés alsó hőmérsékleti határa $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ -nál alacsonyabb, csak a szövetek fagyás általi károsodásával szűnik meg. A **hőmérséklet emelkedésével a légzés sebessége fokozódik**, minden $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ emelkedés a légzés sebességét kb. megkétszerezi. A felső határ $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ felett van, ahol a protoplazma légzési intenzitása gyorsan csökken, majd megszűnik.

A légzés nagy mértékben ronthatja a tárolt termények beltartalmi értékeit és küllemét (piacosságát). A hűtés, a légzés intenzitásának csökkentése, tehát az optimális tárolási hőmérséklet meghatározása kulcsfontosságú! Például, a sárgarépa, hagyma és cékla légzése emelkedő ($2-8\text{ }^{\circ}\text{C}$) tároló hőmérsékleten fokozódott, optimális hőmérsékletnek az $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ bizonyult, ahol a légzés még minimális volt, de a terményt az alacsony hőmérséklet nem károsította (Rubin, 1975).

Az O_2 és CO_2 koncentráció hatása a légzés intenzitására

A CO_2 koncentráció növekedése és az O_2 koncentráció csökkenése bizonyos mértékig csökkenti a légzés intenzitását. A gyakorlatban alkalmazott gázkoncentrációknál ($2-21\%$ oxigén és $0-11\%$ szén-dioxid) lineáris összefüggés van a légzés intenzitása és a két gáz ellentétes koncentrációja között. Magyarországon az alma és a körte tárolásánál a légtérben 3% szén-dioxidot és 3% oxigént, továbbá $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ tárolási hőmérsékletet találtak optimálisnak. Némely gyümölcsnél (pl. almafélék, banán stb.) a tárolás során a légzés fokozódik (**klimakterikus légzésnövekedés**). Normál levegőn való tárolásnál a légzésintenzitás fajtánként nagyon különböző. Minél nagyobb mértékben sikerül csökkenteni a légzésintenzitást a klimakterium kialakulásának gátján ékűl, annál hosszabb ideig lehetséges a raktározás.

Gyümölcsökben (pl. alma) a felületi rétegek több oxigént és kevesebb szén-dioxidot tartalmaznak, mint a mélyebb rétegek - az oxigén kívülről befelé, a szén-dioxid belülről kifelé diffundál.

Elégtelen levegőztetés melletti tárolás esetén, a gyümölcsökben alkohol halmozódhat fel, az anaerob légzés (erjedés) következményeként.

A napi savritmus

Egyes növények sejtjeiben, szöveiteiben a **savtartalom reggeltől estig csökken, estétől reggelig pedig növekszik**. Ez a napi savritmus elsősorban az almasavtartalom változására vezethető vissza. A savtartalom ingadozásában nappali és éjjeli ritmust mutató gyümölcs és zöldségfélék az erős párolgás ellen védekeznek, gázcseréjük korlátozott, sztómáik zártak. A légzés so-

rán keletkezett CO₂ így nem tud kilépni a sztómákon, hanem ismét megkötődik, és felhalmozódásával növeli a növény savtartalmát.

Klimakterikus légzés

A légzés intenzitása a gyümölcsök növekedésének első szakaszában a legnagyobb, ez később a kezdeti érték 20%-ára csökkenhet. Egyes növények termésénél az érés előrehaladtával a légzés intenzitása erősen fokozódik (**klimakterikus légzésnövekedés**), majd ismét csökken. Ez a ciklus nem minden termésnél tapasztalható:

- **klimakterikus gyümölcsök**: pl. alma, sárgabarack, őszibarack, körte, szilva, narancs, paradicsom
- **nem klimakterikus gyümölcsök**: pl. cseresznye, füge, szőlő, dinnye, ananász, földieper, uborka
- **klimakterikus légzést mutató zöldségfélék**: pl. brokkoli, fejes saláta, zöldborsó, spárga, csemegekukorica, paradicsom
- **nem klimakterikus légzési típusú zöldségfélék** (a légzés intenzitása leszedés után közel azonos mértékű marad, csak lassan csökken, alig változik): pl. hagymafélék, burgonya

A tárolás végének környékén a gyümölcsök légzése gyengébb, mint a zöldségféléké, ami a nyugalmi állapot befejeződésével, a fejlődés aktív állapotába történő átmenettel van összefüggésben.

A gyümölcs érése során a klimakterikus légzésben megkülönböztetünk maximumot és minimumot. A minimum idején célszerű elkezdni az alma betárolását hűtőkamrába.

A levelekben az elhalás előtt átmenetileg erősen emelkedő gázcsere formájában jelentkezik a **klimakterikus légzés**. A maximum elérése után a CO₂ kiválasztása gyorsan csökken, az elszárgult levelekben már minimális.

A tárolás alatti hűtés és a légzés összefüggéseiről és egyéb, a légzéssel kapcsolatos gyakorlati összefüggésekről **ITT** szerezhetnek (73-78. oldal) további információkat (regisztráció szükséges!): <https://www.szaktars.hu/szaktudas/view/kert-esszel-novenyi-eletjelensegek-a-kertben/>

Nekrotikus (seb) légzés

A **sebzett növényi szövetek oxigénfelvétele** általában **fokozódik**. A felvett extra oxigén egy része a sejtszerkezet roncsolódására és a roncsolódott szövetekben végbemenő alternatív

végoxidációs folyamatokra vezethető vissza (pl. polifenolok eloxidálása). Az azonnal bekövetkező légzésemelkedésen kívül a sérült növényi szövetekben több órával a sebzés után fokozatosan kialakuló légzésemelkedés is jellemző (pl. szeletelt raktározó szövetek – burgonya, alma stb.).

Parazitogén légzés

A **légzésintenzitás a kórokozók által megtámadott szövetekben** is általában jelentősen **megnövekszik**. A légzésnövekedés ebben az esetben is több tényezővel magyarázható: gomba- és baktériumos betegségek esetében az extra oxigénfelvétel jelentős része a kórokozók oxigénfelvételére vezethető vissza, illetve a gazdasejt aktív védekező reakcióihoz az energiát a légzés során termelődött kémiai energia biztosítja. A légzésemelkedés vírusbetegségek esetében is tapasztalható.

Ellenőrző kérdések

Sorolja fel és jellemezze a légzés alapreakcióit!

Melyek a főbb különbségek a szubsztrátok glikolízis, illetve pentóz-foszfát ciklus során történő lebontása között?

Hogyan kapcsolódik a citromsav-ciklus az oxidatív foszforiláláshoz?

Milyen utakon mehet végbe a végoxidáció?

Melyek az ATP-ciklus működésének szempontjai?

Hogyan hat a hőmérséklet a légzés intenzitására?

Hogyan hat a szén-dioxid és oxigén koncentrációja a légzés intenzitására?

Mi a klimakterikus légzés gyakorlati jelentősége?

Mi a nekrotikus légzés gyakorlati jelentősége?

Mi a parazitogén légzés gyakorlati jelentősége?

Források

Pethő M. (2002): Mezőgazdasági növények élettana. Akadémiai Kiadó, Budapest
<https://mersz.hu/mod/keres/Mez%C5%91gazdas%C3%A1gi+n%C3%B6v%C3%A9nyek+%C3%A9lettana/sorrend/2/> (regisztráció szükséges!)

Szalai J. (2001): Növényi életjelenségek a kertben. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest
<https://www.szaktars.hu/szaktudas/view/kert-essel-novenyi-életjelensegek-a-kertben/>

Ajánlott irodalom

Ördög V., Molnár Z. (2011): Növényélettan

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_01_Novenyelettan/adatok.html

Bratek Z. és mtsai (2013): A növényi anyagcsere élettana

https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0073_novenyi_anyagcsere/adatok.html