

6/ Respirace

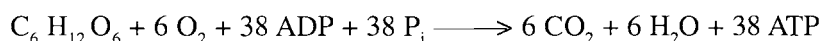
Respirace neboli dýchání je mnohastupňový oxidoredukční proces, kterým organismy pomocí kyslíku přijímaného z prostředí oxidují energeticky bohaté organické sloučeniny na oxid uhličitý a vodu a získávají:

1. metabolickou energii v podobě ATP,
2. redukční potenciál v podobě redukovaných koenzymů dehydrogenas,
3. meziprodukty sloužící jako výchozí materiál pro různé buněčné syntézy,
4. tepelnou energii.

Oxid uhličitý, případně i vodu, do prostředí vydávají. Výchozími organickými sloučeninami, tj. respiračními substráty, jsou produkty fotosyntézy: sacharidy (glukosa, sacharosa, škrob, fruktany a další) nebo látky od nich odvozené, především tuky a zásobní bílkoviny.

Respirace je jedním ze základních životních procesů rostlin – probíhá **ve všech** jejích **orgánech**, jak **ve tmě**, tak **na světle**. Ve fotosynteticky aktivních pletivech je část potřebné metabolické energie a stavebních metabolitů poskytována přímo fotosyntézou. ATP produkovaný fotofosforylací je ale využíván jen v chloroplastech, do cytoplasmy se netransportuje. (Viz dále: Vztahy mezi respirací a fotosyntézou.) V heterotrofních orgánech, jakými jsou kořeny, ale také listy za tmy, jsou tyto potřeby zajišťovány jen respirací.

ATP – hlavní produkt respirace – vzniká **oxidační fosforylací v mitochondriích** a v menším množství **i substrátovou fosforylací v glykolysy** a v **Krebsově cyklu**. Při úplné oxidaci monosacharidu glukosy (aerobní respiraci včetně glykolysy) se tvoří maximálně 38 molekul ATP podle sumární rovnice:



Měření rychlosti respirace

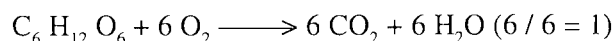
Běžně se používají **gazometrické metody** spočívající ve stanovení rychlosti výdeje oxidu uhličitého nebo spotřeby kyslíku. Starší metoda Warburgova je založena na manometrickém stanovení spotřebovaného kyslíku v uzavřené nádobce obsahující živý dýchající materiál a napojené na manometr. Uvolňovaný oxid uhličitý je pohlcován ve zvláštní části nádoby např. do koncentrovaného louhu, čímž vzniká podtlak, který se na stupnici manometru odečítá. Pomocí Warburgova přístroje lze takto měřit respiraci velkého počtu vzorků současně. Dnes se častěji používají **infračervené analyzátory CO₂** a **kyslíkové elektrody**, podobně jako při měření rychlosti fotosyntézy.

Respirační kvocient

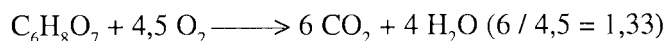
Poměr mezi počtem molů oxidu uhličitého uvolněného a kyslíku spotřebovaného při respiraci je vyjadřován respiračním kvocientem (RQ).

$$\text{RQ} = \frac{\text{mol CO}_2}{\text{mol O}_2}$$

RQ je nepřímým ukazatelem typu respiračního substrátu a charakteru respiračního procesu. Při **úplné disimilaci sacharidů** RQ = 1,00, neboť:



Při **úplné disimilaci org. kyselin** (např. citrátu) RQ = 1,33, neboť:



Při **úplné disimilaci tuků** RQ = 0,71

Při **částečné disimilaci sacharidů** (anaerobní glykolyse) RQ = ∞

RQ většiny pletiv se pohybuje kolem jedné (0,97–1,17).

Etapy respirace

Respirační proces můžeme zhruba rozčlenit do 5 etap, kterými jsou:

- A – glykolysa a pentosový cyklus
- B – dekarboxylace pyruvátu a vznik acetylkoenzymu A
- C – cyklus trikarboxylových kyselin neboli Krebsův cyklus
- D – přenos elektronů (a protonů) dýchacím řetězcem od redukovaných koenzymů ke kyslíku
- E – oxidační fosforylace

Glykolysa a pentosový cyklus probíhají v cytoplasmě, procesy B, C, D, E v mitochondriích.

6.1 Glykolysa a pentosový cyklus

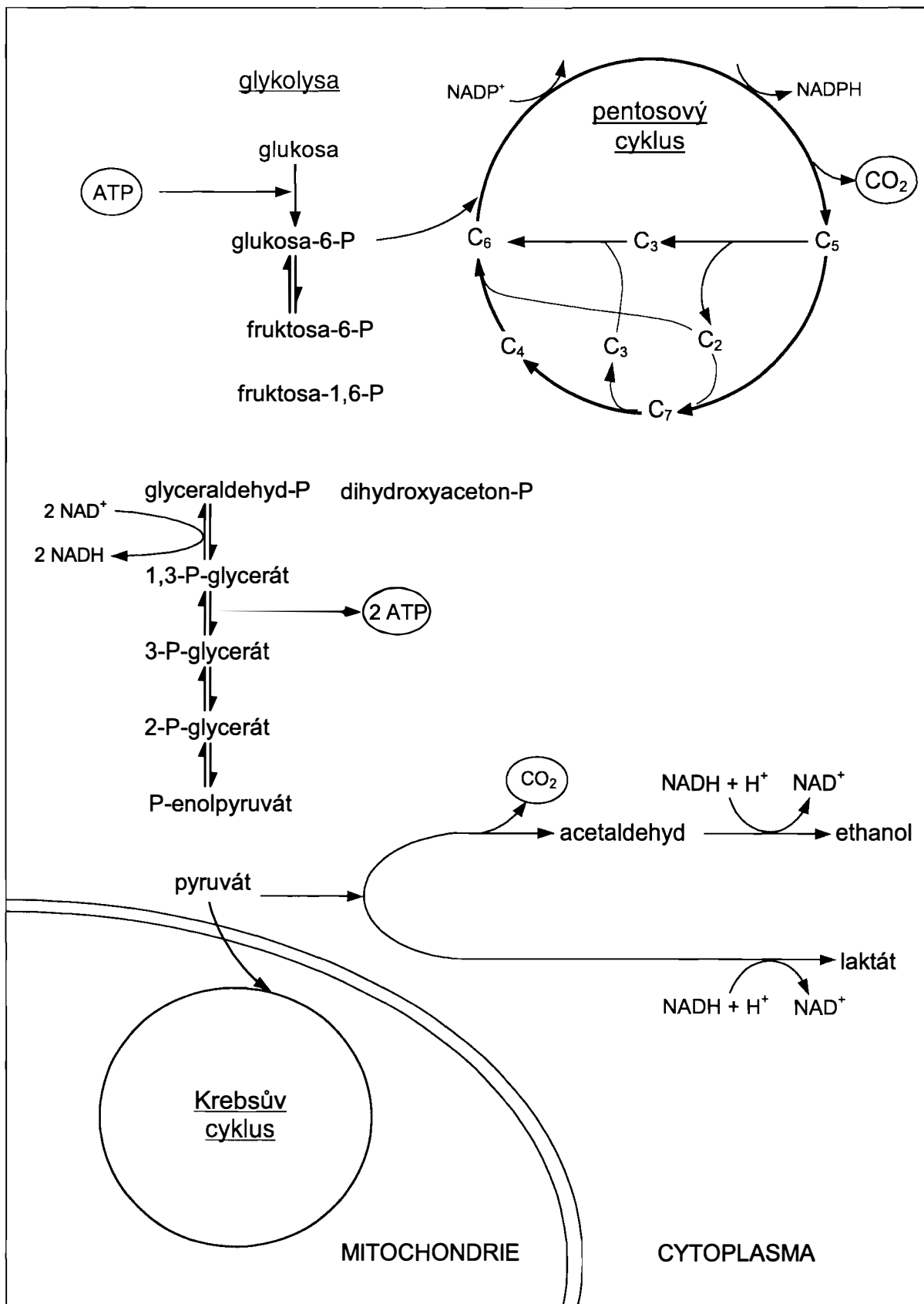
První etapou respiračního metabolismu je glykolysa a pentosový cyklus, které jsou alternativními cestami disimilace glukosy. Tento substrát (glukosa) může v rostlinách vznikat z různých látek, např. ze sacharosy, škrobu nebo tuků (**obr. 56, 57**).

Glykolysa

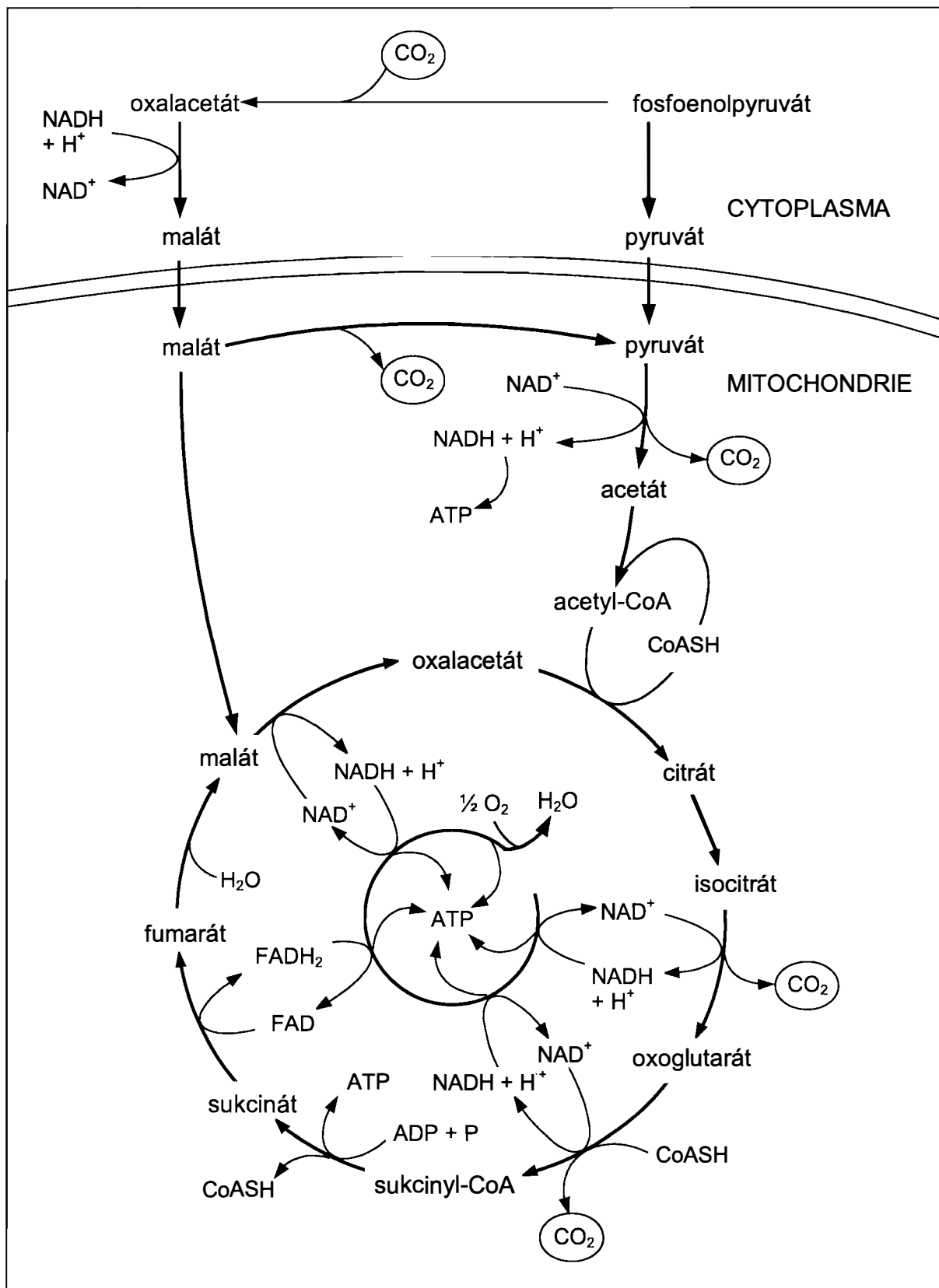
V glykolyse se glukosa fosforyluje a přes řadu meziproductů se přeměňuje ve **fosfoenolpyruvát (PEP)** a dále v **malát** nebo **pyruvát** (**obr. 56, 57**). Na rozdíl od živočišných buněk, kde se prakticky všechen PEP přeměňuje v pyruvát, je v rostlinných buňkách **hlavním konečným produktem glykolysy** obvykle **malát**, který je základním substrátem mitochondrií (**obr. 57**). Oxidace jedné molekuly glukosy v glykolyse vede k tvorbě dvou molekul malátu (2 tříuhlíkaté molekuly PEP se karboxylují na čtyřuhlíkaté molekuly oxalacetátu, který se redukuje na malát, stejně jako při fotosyntéze rostlin C_4). Výtěžek ATP je v tomto případě nulový. Když je konečným produktem glykolysy pyruvát, pak jejím čistým výtěžkem jsou dvě molekuly ATP. V jedné glykolytické reakci se produkuje $NADH+H^+$. V případě, že konečným produktem glykolysy je malát, $NADH+H^+$ se spotřebovává při redukci oxalacetátu katalyzované malátdehydrogenasou. Hlavní funkcí glykolysy je rozklad (disimilace) sacharidů, vedoucí k produkci ATP, ale **důležitá je i tvorba glykolytických meziproductů**, které se mohou stát výchozí metabolickou surovinou různých buněčných syntéz. Např. glyceraldehydfosfát může být přeměněn na glycerofosfát a ten na glycerol, který je nezbytný pro syntézu tuků. Aminací pyruvátu vzniká alanin (**tab. 3**).

Anaerobní glykolysa

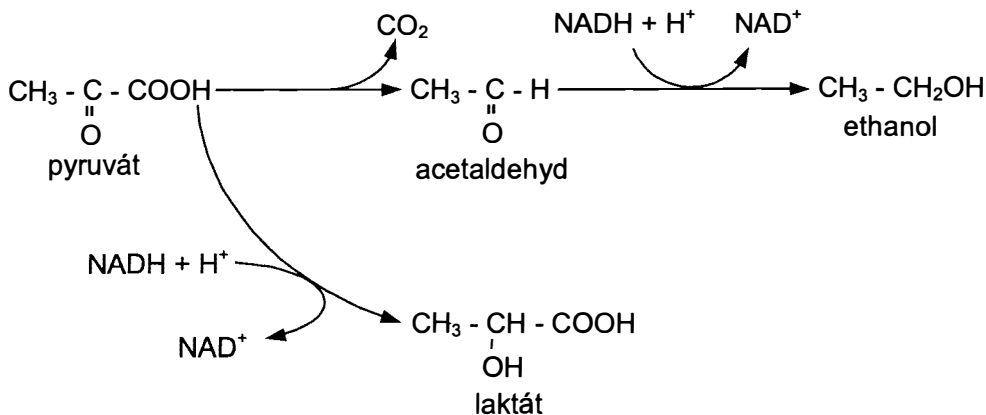
Glykolysa může probíhat jen tehdy, když se vznikající $NADH+H^+$ regeneruje na NAD^+ . Při dostatku kyslíku k této regeneraci dochází v dýchacím řetězci, ve kterém je vodík přenášen z redukovaných koenzymů na kyslík za vzniku vody. Při nedostatku kyslíku se akceptorem tohoto vodíku stává kyselina pyrohroznová, jejíž redukcí vznikají sloučeniny, které se již dále nemetabolizují, a proto se v buňce hromadí. Ve vyšších rostlinách jsou těmito sloučeninami **ethanol** nebo **laktát** (**obr. 58, tab. 3**). Taková glykolysa se označuje jako anaerobní (u mikroorganismů jako fermentace či kvašení). Krebsův cyklus na ni nenavazuje.



Obr. 56. schéma glykolysy a pentosového cyklu.



Obr. 57. Schéma Krebsova cyklu.



Obr. 58. Metabolismus pyruvátu v anaerobní glykolyse.

Pentosový cyklus

Pentosový (**přesněji oxidační pentosafosfátový**) cyklus je do značné míry obráceným Calvinovým cyklem, probíhajícím v cytoplasmě. Začíná přímou oxidací glukosa-6-fosfátu a jeho meziprodukty jsou různé fosforylované cukry, z nichž zvláště pentosafosfáty jsou využívány k různým buněčným syntézám (tab. 3). Produkován je také NADPH, který se uplatňuje v syntetických reakcích nebo slouží k oxidační fosforylaci. ATP se v pentosovém cyklu substrátovou fosforylací netvoří.

Transport malátu a pyruvátu do mitochondrií

Konečné produkty aerobní glykolysy – malát a pyruvát – jsou z cytoplasmy importovány do mitochondrií, kde jsou oxidovány. Část malátu je zde nejprve přeměněna v pyruvát (obr. 57).

Dekarboxylace pyruvátu a tvorba acetyl-CoA

Pyruvát je v mitochondriích oxidativně dekarboxylován za vzniku acetyl-CoA. Takto aktivovaná kyselina octová vstupuje do Krebsova cyklu nebo slouží k syntéze mastných kyselin a dalších sloučenin (obr. 57, tab. 3).

6.2 Krebsův cyklus

Malát je v matrix mitochondrií zčásti oxidován jablečným enzymem za vzniku pyruvátu a CO_2 , a zčásti je oxidován malátdehydrogenasou Krebsova cyklu za vzniku oxalacetátu. Pyruvát (importovaný z cytoplasmy i ten, který vznikl v mitochondrii) jakož i oxalacetát jsou v cyklu dále zpracovány (obr. 57). Redukované koenzymy NADH a FADH_2 předávají elektrony do dýchacího řetězce. Dva meziprodukty Krebsova cyklu se mohou stát výchozími surovinami pro syntézu některých aminokyselin. Jsou to oxoglutarát (α -ketoglutarát) a oxalacetát (tab. 3, obr. 36).

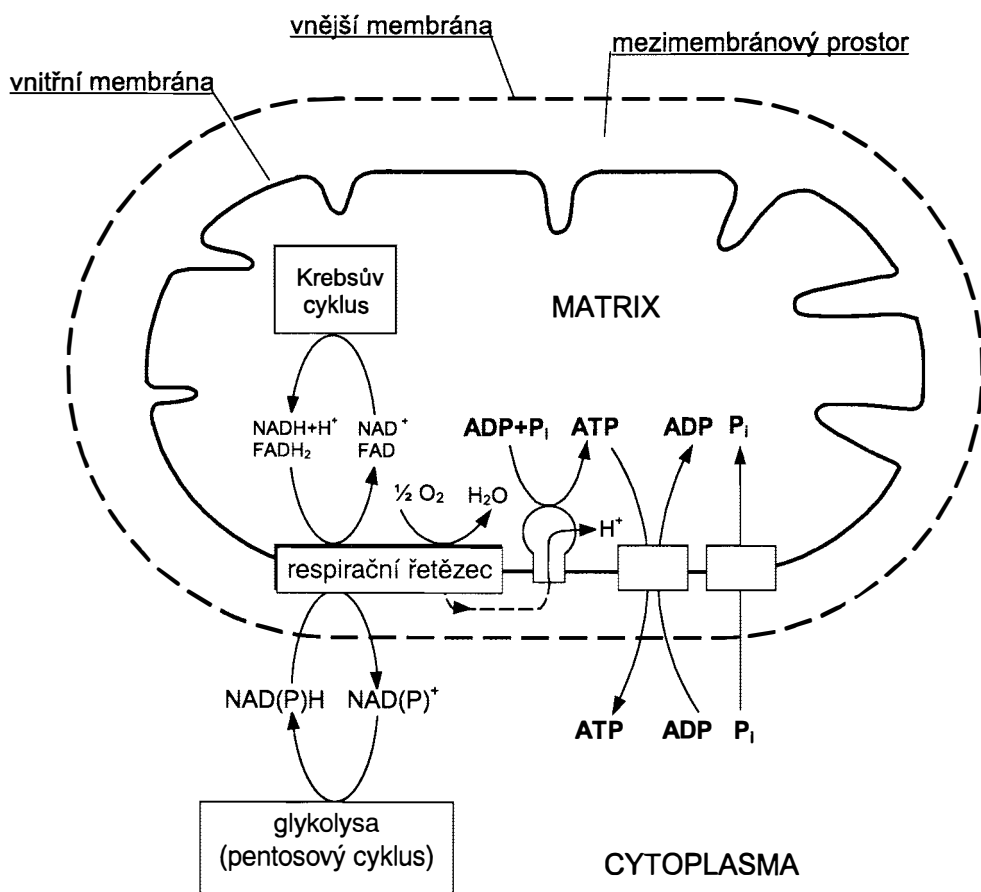
6.3 Respirační řetězec

Elektrony redukovaných koenzymů se v mitochondriích transportují ke kyslíku tak zvaným respiračním řetězcem (obr. 60). Při transportu elektronů respiračním řetězcem se vylučují protony z vnitřní membrány do mezimembránového prostoru mitochondrií. Tím vzniká transmembránový gradient protonů, který je zdrojem energie, která slouží k syntéze ATP (obr. 59, 60).

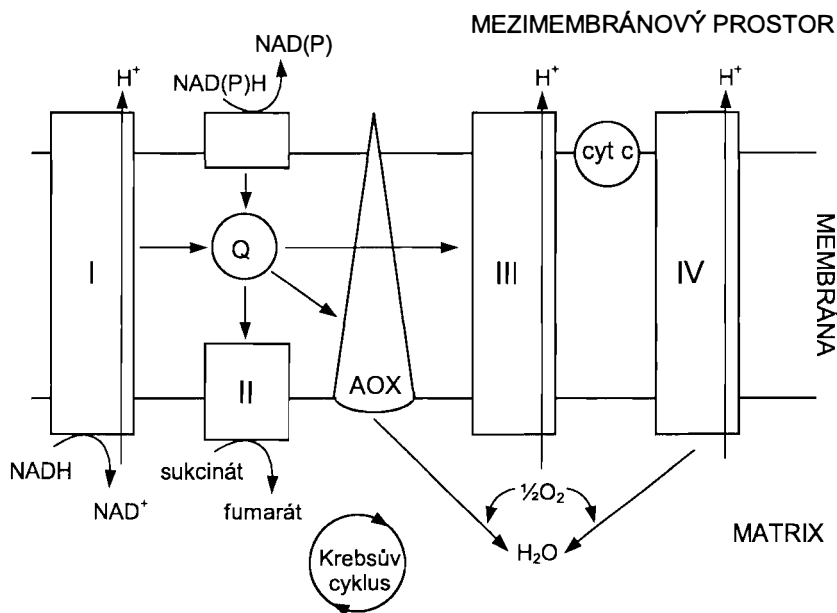
V mitochondriích existují **4 hlavní komplexy polypeptidů a dalších složek** spojené s přenosem elektronů v dýchacím řetězci a ATPsyntasa, která je svou strukturou a funkcí blízka ATPsyntase chlo-

roplastové (obr. 46). Všechny se nacházejí na vnitřní mitochondriální membráně. Kromě toho tam jsou molekuly, které se účastní přenosu elektronů: **ubichinon** (koenzym Q) a **cytochrom c**. Ve vnitřní membráně rostlinných mitochondrií je také přítomná **alternativní kyanid-resistentní oxidasa (AOX)**.

Komplex I je hlavním „vstupní branou“ elektronů z NADH, produkovaného v Krebsově cyklu, do dýchacího řetězce. Současně je prvním místem dýchacího řetězce, ve kterém jsou vylučovány protony z matrix přes vnitřní membránu do mezimembránového prostoru. Z komplexu I se elektrony transportují na přenašeč koenzym Q. K němu se elektrony sbíhají i ze dvou dalších míst membrány: z komplexu II a z místa na vnější straně membrány, ve kterém dochází k enzymatické oxidaci NADH (produkovaného glykolysou) a NADPH (produkovaného pentosovým cyklem). **Komplex II** je spřažen se sukcinátdehydrogenasou – jediným enzymem Krebsova cyklu, který je vázán na membránu. Sukcinátdehydrogenasa produkuje redukovanou formu flavinadenindinukleotidu (FADH_2), který předává elektrony komplexu II. **Komplex III** přenáší elektrony z koenzymu Q na cytochrom c a je druhým místem vylučování protonů do vnějšího prostoru. **Komplex IV** je terminální oxidasa cytochromové cesty: přijímá elektrony z cytochromu c a předává je na konečný akceptor – kyslík. Současně je třetím místem vylučování protonů z vnitřní mitochondriální membrány do vnějšího prostoru. Zpětný pohyb protonů komplexem ATPsyntasy je spojen s tvorbou ATP označovanou jako **oxidační fosforylace** (viz dále).



Obr. 59. Schéma mitochondrie a procesů spojených se syntézou ATP, které v ní probíhají.



Obr. 60. Schéma respiračního řetězce ve vnitřní mitochondriální membráně.

6.3.1 Respirace rezistentní ke kyanidu

Mitochondriální respirace mnoha pletiv vyšších rostlin není zcela bržděna inhibitory cytochromové cesty, např. KCN. Příčinou toho je existence **alternativní cesty přenosu elektronů**, která je rezistentní vůči kyanidu. Je tvořena jediným enzymem – **alternativní oxidasou (AOX)**, lokalizovanou ve vnitřní mitochondriální membráně (obr. 60). Alternativní cesta se odpojuje od cytochromové cesty na úrovni koenzymu Q, který je složkou obou cest. Přenos elektronů z koenzymu Q na kyslík touto alternativní cestou není spojen s vylučováním protonů z matrix do vnějšího (mezimembránového) prostoru. Z toho důvodu přenos elektronů ke kyslíku alternativní cestou poskytuje maximálně jen 1/2 množství ATP, které je produkováno na cytochromové cestě. (Toto množství ATP odpovídá protonům, které jsou vylučovány komplexem I). **Fyziologický význam** této alternativní respirační cesty není dosud zcela jasný, přestože je v rostlinách poměrně značně rozšířena a odpovídá v průměru 20 až 30 % celkového dýchání. Je známo, že se uplatňuje jako **producent tepla** v květním toulci některých druhů čeledi *Araceae* (tyto rostliny kvetou zjara, když je zima a teplota v toulci se může díky kyanid rezistentní respiraci zvýšit nad okolní teplotu až o 10 °C). Dýchání rezistentní ke kyanidu se také podílí na vzestupu rychlosti dýchání při dozrávání některých (tzv. klimakterických) plodů (viz Vývoj plodů). Předpokládá se, že hlavní význam této respirační cesty tkví v tom, že funguje jako **ventil přebytečné respirační energie**, který umožňuje udržovat v chodu aerobní glykolysu, pentosový cyklus a Krebsův cyklus, které produkují řadu pro rostliny důležitých intermediátů (viz tab. 3).

6.4 Tvorba ATP: substrátová a oxidační fosforylace

Při respiraci je chemická energie substrátů převáděna do molekul ATP dvěma zcela rozdílnými způsoby: substrátovou a oxidační fosforylací. Substrátová fosforylace, probíhající v glykolysu a v Krebsově cyklu, produkuje mnohem méně ATP než oxidační fosforylace.

Substrátová fosforylace

Její princip spočívá v tom, že enzymatická hydrolýza 1,3-fosfoglycerátu, fosfoenolpyruvátu a sukcinyl-CoA je exergonickou reakcí, při které se uvolňuje takové množství energie, které umožňuje endergonickou fosforylací ADP za vzniku ATP.

Oxidační fosforylace

Při transportu elektronů dýchacím řetězcem, od substrátů (NADH, NADPH, FADH₂) ke kyslíku, jsou vylučovány protony do prostoru mezi vnitřní a vnější mitochondriální membránou. To vede ke vzniku transmembránového koncentračního gradientu protonů – protonmotorické síly, která pohání syntézu ATP (fosforylací ADP) prostřednictvím ATPsyntasy (viz také Fotofosforylace).

Export ATP z mitochondrií

Molekuly ATP jsou z matrix mitochondrií exportovány do cytosolu, zatímco do mitochondrií je naopak přiváděn ADP a P_i. Tyto transporty se uskutečňují prostřednictvím antiportových přenašečů lokalizovaných ve vnitřní mitochondriální membráně.

6.5 Faktory ovlivňující rychlost respirace

A – Vnitřní faktory

Vnitřní faktory, které nejvíce ovlivňují rychlost respirace, jsou **hladiny ATP, ADP, NAD(P) a množství primárního substrátu**. Např. vysoký poměr ATP/ADP inhibuje některé glykolytické enzymy a přenos elektronů v dýchacím řetězci a tím celou respiraci.

Primární respirační substráty, produkované fotosyntézou (např. sacharidy), se mohou stát limitujícím faktorem respirace v podmínkách, za kterých je rychlost respirace vysoká, ale fotosyntéza slabá nebo nulová. Takovými podmínkami může být relativně vysoká teplota při nízké ozářenosti nebo za tmy.

B – Vnější faktory

Kyslík

Rostliny nemají speciální molekuly vážící kyslík (jako je hemoglobin u vyšších živočichů) ani speciální transportní dráhy pro rozvod molekul obohacených kyslíkem. Rozvod kyslíku v rostlinách částečně zajišťují:

1. Mezibuněčné prostory (interceluláry), které jsou zvláště silně vyvinuté ve speciálním pletivu – aerenchymu.
2. Usměrněné toky vodných roztoků v xylemu a floemu.

I buňky **kompaktních orgánů** bez výrazných mezibuněčných prostorů, např. **plody, bulvy a hlízy**, mohou být dostatečně zásobeny kyslíkem difundujícím z vnějšího prostředí. Při vyšší teplotě v nich však může nastat disproporce mezi dostupností kyslíku a jeho potřebou, neboť se stoupající teplotou vzrůstá rychlost respirace mnohem více než rychlost difuze a navíc se snižuje rozpustnost kyslíku ve vodě. Při teplotě nad 25 °C se proto v některých kompaktních orgánech projevuje nedostatek kyslíku: lze v nich prokázat ethanol jako produkt anaerobní glykolisy.

Podzemní orgány mohou trpět nedostatkem kyslíku při slehnutí půdy nebo při jejím zaplavení vodou. Kořeny rostlin rostoucích v zaplavené půdě jsou vystaveny **hypoxii** (snížené koncentraci O₂) nebo **anoxii** (úplné nepřítomnosti O₂). V půdě nasycené vodou je vzduch, obvykle přítomný v půdních pórech, zcela nahrazen vodou. difuze plynů ve vodě je asi 10 000 krát pomalejší než ve vzduchu. Mimo to, koncentrace kyslíku ve vodě je nižší než ve vzduchu. (Při 25 °C je v jednom litru vody rozpuštěno asi 0,5 mmolu O₂, zatímco 1 litr vzduchu obsahuje asi 10 mmolu O₂.) Při snížené koncentraci kyslíku v půdě klesá rychlost respirace a produkce ATP v kořenech. V těchto podmínkách je silně potlačena celková syntéza RNA a bílkovin, ale indukuje se genová exprese anaerobních bílkovin včetně alkoholdehydrogenasy (ADH).

Při nedostatku kyslíku získávají rostlinná pletiva energii anaerobní glykolysou, která produkuje **ethanol** a někdy **laktát** (obr. 56, 58), který se často tvoří bezprostředně poté, co jsou rostlinné buňky vystaveny nedostatku kyslíku. Hromadění laktátu vede k poklesu pH cytosolu, což vyvolává inhibici laktátdehydrogenasy a aktivaci pyruvátdehydrogenasy. Když se hromadění laktátu nezastaví, okyselování cytosolu může vyvolat buněčnou smrt. Hromadění ethanolu obvykle k poškození rostlin nevede. Škodlivý účinek anoxie je spíše důsledkem **nízké produkce ATP** než tvorby ethanolu a laktátu. Energetická účinnost anaerobní glykolysy je ve srovnání s aerobní respirací malá: 2 molekuly ATP na molekulu glukosy ve srovnání s 36 molekulami ATP na molekulu glukosy při respiraci. Za těchto podmínek je značně zeslaben nebo zcela zastaven příjem minerálních iontů kořeny. Tím je zeslaben i příjem vody kořeny, což může vést až k usychání nadzemních částí rostliny.

Teplota

Závislost rychlosti respirace na teplotě je velmi zřetelná. Teplotní minimum je při 0 °C, optimum leží v rozmezí 30–40 °C.

Světlo

Respirace může být ovlivněna světlem nepřímo, prostřednictvím fotosyntézy (viz dále).

6.6 Srovnání respirace s fotosyntézou

Podobnost a rozdílnost obou procesů

Oba procesy se v mnohém zásadně liší, ale v mnohém se shodují, např. v principu tvorby ATP oxidační fosforylací a fotosforylací.

Ontogeneze respiračního a fotosyntetického aparátu

Ontogenetický vývoj fotosyntetického aparátu je delší než vývoj aparátu respiračního. Ve velmi mladých, málo vyvinutých listech fotosyntéza ještě fungovat nemůže, zatímco respirace (nebo alespoň anaerobní respirace) tam již fungovat musí. Vývoj respiračního, zejména glykolytického, aparátu je jednodušší.

Rychlost respirace ve srovnání s rychlostí fotosyntézy

Rychlosti obou procesů můžeme porovnávat na úrovni výměny plynů (spotřeby CO₂ a výdeje O₂ při fotosyntéze a výdeje CO₂ a spotřeby O₂ při respiraci) nebo na úrovni produkce ATP. Za optimálních světelných a dalších fyziologických podmínek bývá fotosyntéza 2–10 krát intenzivnějším procesem než respirace. Rychlost fotosyntézy klesá se zmenšující se ozářeností až na nulu, zatímco rychlost respirace (v tomtéž fotoautotrofním pletivu) se spíše zvyšuje, často o 25–100 %. Ozářenost, při které jsou oba procesy v rovnováze, se označuje jako kompenzační ozářenost (viz Fotosyntéza).

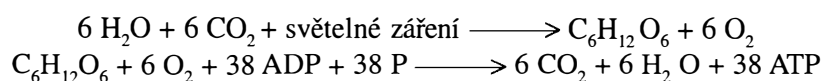
Vliv fotosyntézy na respiraci fotoautotrofního pletiva

Rychlost respirace fotoautotrofního pletiva je na světle (kdy probíhá fotosyntéza) snížena asi o 20–50 %, neboť část metabolické energie a stavebních metabolitů získává buňka přímo z fotosyntetického procesu (ATP z chloroplastů ale exportován není).

6.7 Vodík: zdroj slunečního záření a přenašeč absorbované zářivé energie při fotosyntéze a respiraci

Ze všech 105 známých prvků se vodík nejvíc podílí na přeměnách a přenosech energie v živých systémech. Vodík je také zdrojem této energie. Procesy, ve kterých se vodík takto uplatňuje, navazující jeden na druhý, můžeme zjednodušeně popsat v těchto bodech:

- Slučování těžkých izotopů vodíku – deuteria a tricia – uvnitř slunce vede ke vzniku helia a k uvolnění protonů a zářivé energie.
 - Součástí sluneční zářivé energie je fotosynteticky účinné záření (PAR).
 - Světelné záření absorbované chlorofylem v chloroplastech štěpí molekuly vody na vodík a kyslík. Vodíkové elektrony a protony přejímají část absorbované zářivé energie.
 - Vodíkové protony a elektrony jsou přenášeny na koenzym NADP. Tok elektronů a protonů je spojen se syntézou ATP.
 - Vodíkové protony, elektrony a energie ATP jsou uloženy do fotosyntátů.
 - Při respiraci jsou protony a elektrony přenášeny z fotosyntátů na NAD(P) a FAD. Odtud jsou přenášeny na kyslík za vzniku vody. Tok elektronů a protonů je opět spojen se syntézou ATP.
- Vidíme, že při fotosyntéze jsou elektrony a protony přenášeny z vody přes NADP do fotosyntátů (především sacharidů) a při respiraci směrem opačným: z fotosyntátů (a od nich odvozených látek) opět přes adenylátové koenzymy ke kyslíku za vzniku vody.



Vztah, kterým sumárně vyjadřujeme respirační procesy, je proto do značné míry reciprokým vyjádřením fotosyntézy. Jen do značné míry z toho důvodu, že účinnost přeměny chemické energie fotosyntátů v energii ATP není stoprocentní. (Stoprocentní není ani účinnost přeměny světelné energie absorbované chlorofylem v chemickou energii fotosyntátů).

6.8 Fyziologický význam respirace

Respirace poskytuje energii, redukční ekvivalenty a stavební metabolity pro různé životní procesy, mezi něž patří především:

- Udržování buněk a pletiv při životě.** K tomu je zapotřebí ATP, který zajišťuje metabolický obrat (turnover) bílkovin a gradienty iontů na membránách. Ostatní procesy, např. proudění cytoplasmy a metabolický obrat ostatních buněčných složek, spotřebovávají energie méně.
- Růst.** Ten spotřebovává ATP, NAD(P)H+H⁺ a respirační meziprodukty (viz tab. 3), nezbytné pro různé biosyntézy.
- Transport látek.** Příjem minerálních živin kořeny a aktivní transport organických látek floemem vyžadují ATP.
- Redukce (asimilace) nitrátu.** Při ní se spotřebovává NAD(P)H+H⁺.
- Redukce (asimilace) sulfátu, pokud probíhá v kořenech.** Při ní se spotřebovává ATP a NAD(P)H+H⁺.

Tab. 3. Meziprodukty respiračního metabolismu a od nich odvozené sloučeniny

GLYKOLYSA		
hexosafosfáty	————>	celulosa, hemicelulosa
triosafosfáty	————>	glycerol ———> lipidy aminokyseliny (serin, cystein)
fosfoenolpyruvát	————>	fenolické aminokyseliny (fenylalanin, tyrosin, ryptofan) a další fenolické látky (trísloviny, lignin, flavonoidy) indoly

pyruvát	————>	alanin ethanol (produkt anaerobní glykolysy) laktát (produkt anaerobní glykolysy) acetyl-CoA —> mastné kyseliny —> lipidy steroidy, isoprenoidy, některé fytohormony
oxalacetát	————>	kyselina asparagová a další aminokyseliny pyrimidiny —> nukleové kyseliny alkaloidy

PENTOSOVÝ CYKLUS	————>	nukleotidy a nukleové kyseliny fenolické sloučeniny (včetně fenolických aminokyselin) indoly
-------------------------	-------	--

KREBSŮV CYKLUS		
oxalacetát	————>	Stejně jako v případě oxalacetátu syntetizovaného glykolysou v cytoplasmě
α - ketoglutarát	————>	kyselina glutamová a další aminokyseliny
sukcinyl-CoA	————>	pyrolové sloučeniny (porfyrinový kruh chlorofylu, cytochromy, fytochrom)
