

MO 24 METABOLISMUS ZÁKLADNÍCH ŽIVIN

- 1) Charakteristika metabolických pochodů.
- 2) Metabolismus sacharidů.
- 3) Citrátový (Krebsův) cyklus a dýchací řetězec.
- 4) Metabolismus lipidů.
- 5) Metabolismus bílkovin.

LÁTKOVÝ METABOLISMUS

- **látková přeměna** (intermediární metabolismus) = organizovaný soubor **biochemických reakcí** (a s nimi spojené energetické přeměny) probíhající v **živých soustavách** nebo mezi živými soustavami a jejich životním prostředím
- v organismu probíhají v každém okamžiku v počtu 100 – 1 000
- prakticky **všechny** biochemické reakce jsou **katalyzovány enzymy** = **bílkovinnými katalyzátory**, jež vznikají procesem **proteosyntézy** (MO – 22)

základní úlohy metabolismu:

- zajištění **stavebních složek** a **energie** $\Rightarrow$ 2 stránky metabolismu – **látková** a **energetická**

základní metabolické děje:

dle přeměny látek:

- **anabolické** (asimilace, biosyntézy)
 - skladné $\rightarrow$ **spotřeba energie**
 - $\Rightarrow$ z látek jednodušších (**prekurzorů**) vznikají látky složitější
 - velká část v **cytoplazmě**
 - např. *aminokyseliny $\rightarrow$ protein*
fotosyntéza
- **katabolické** (disimilace)
 - rozkladné $\rightarrow$ **produkce energie** (ukládá se do **ATP**)
 - $\Rightarrow$ z látek složitějších vznikají látky jednodušší
 - velká část v **mitochondriích**
 - např. *dýchání*

dle E:

- | | | |
|-----------------------|--------------------|---------------------------------|
| ▪ endergonické | (přijímají E) | Gibbsova energie $\Delta G > 0$ |
| ▪ exergonické | (spotřebovávají E) | Gibbsova energie $\Delta G < 0$ |

Gibbsova (volná) **energie** charakterizuje **samovolnost** průběhu chemických dějů

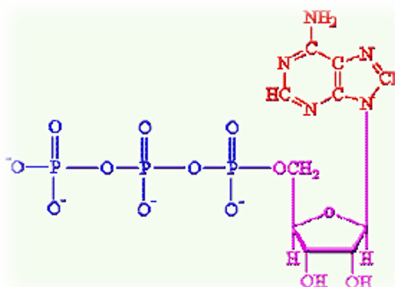
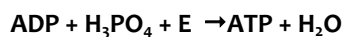
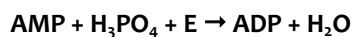
makroergické sloučeniny

- ve vazbách akumulována energie – v případě potřeby se uvolní hydrolýzou
- **př. ATP** – adenosintrifosfát (viz MO 22) obsahující 2 **makroergické** vazby

!!! (vládnout vzorcem)



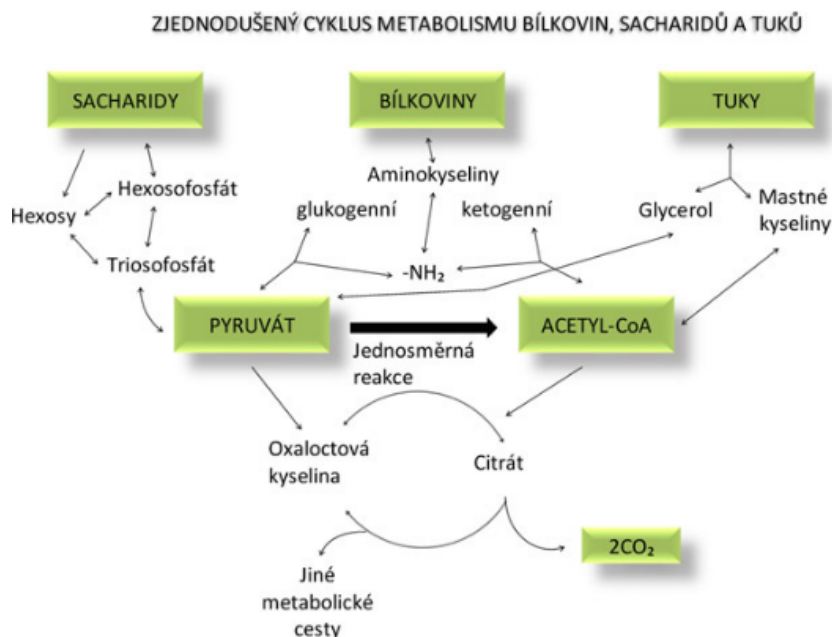
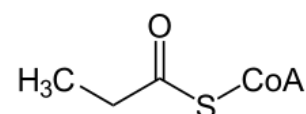
fosforylace = tvorba ATP:



acetylkoenzym A – AcCoA-SH

- **společná sloučenina** metabolismů **všech** živin
- vstupuje do **Krebsova cyklu**
- **CH₃CO-S-CoA**

!!!



- některé metabolické dráhy plní funkci katabolismu i anabolismu = **amfibolické dráhy**
- metabolické přeměny = **řetězové reakce** (produkt jedné reakce je substrátem reakce následující)
 - např. $\text{D-Glc} \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \rightarrow \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{E}$

klasifikace organismů dle trofity (výživy)

- podle zdroje přijímané energie

- ⇒ **fototrofní** = využívají sluneční energii
- ⇒ **chemotrofní** = získávají energii oxidací organických resp. anorganických látek

▪ **podle zdroje stavebního materiálu**

- ⇒ **autotrofní** = syntetizují organické látky z látek anorganických (CO_2 , H_2O , NH_3 , NO_3^- , SO_4^{2-} , ...)
- ⇒ **heterotrofní** = nejsou schopné syntézy organických látek z látek anorganických
- ⇒ **mixotrofní** = fakultativně autotrofní či heterotrofní

▪ **podle donorů elektronů**

- ⇒ **litotrofní** = zdrojem e^- jsou jednoduché anorganické látky (H_2 , H_2O , H_2S , NH_3 , ...)
- ⇒ **organotrofní** = zdrojem e^- jsou organické látky (*glukóza, mastné kyseliny, ...*)

▪ **podle konečných akceptorů elektronů**

- ⇒ **aerobní** = konečným akceptorem e^- je O_2
- ⇒ **anaerobní** = konečným akceptorem e^- je jiná molekula než O_2

Rozdělení organismů dle metabolického hlediska – porovnání

Rozdělení podle způsobu výživy (podle zdroje energie, zdroje uhlíku a podle donorů elektronů)				
typ organismu	zdroj energie	zdroj uhlíku	donory elektronů	příklady
autotrofní fotolitotrof	světlo	CO_2	anorganické sloučeniny	zelené buňky rostlin na světle, modré řasy a sinice, zelené a sirné purpurové bakterie
heterotrofní fotolitotrof	světlo	organické sloučeniny	anorganické sloučeniny	nesírné purpurové bakterie, některé řasy
chemolitotrof	oxidace anorganických látek	CO_2 (autotrofní)	anorganické sloučeniny	vodíkové, sirné, železité, nitrifikační bakterie
chemoorganotrof	oxidace organických látek	organické sloučeniny	organické sloučeniny	živočichové, většina mikrobů, nefotosynt. rostlinné buňky, temná fáze fotosyntézy

energetické potřeby organismů:

- **znak živých organismů** – schopnost příjmu E z okolí a transport energie pro životní potřeby

formy práce, jež musí organismus vykonávat:

- **chemická práce** = syntéza organických látek – děje endergonické
- **mechanická práce** – endergonický pohyb svalového systému, ale i pohyb organel (pulsování vakuol) a buněk (pohyb pomocí bičků)
- **osmotická práce** – mezi kompartmenty oddělenými biomembránami, existují vysoké rozdíly koncentrací (k udržení tohoto stavu potřeba $\uparrow E$); Na-K pumpa

- **světelná energie** – E slouží k vnitrodruhové komunikaci či odpuzení útočníka (světlušky, medúzy, hlubokomořské ryby); bioluminiscence – elektronově excitované stavy produktů, vznikajících za enzym. katalýzy substrátu, přecházejí do stavů základních = vyžáří se fotony ve VID
- **teplo** - všechny metabolické, transportní a mechanické procesy v organismu jsou spojeny s produkcí tepla – ne všechna energie se vždy přemění na práci (ale na teplo)

METABOLISMUS ZÁKLADNÍCH ŽIVIN

METABOLISMUS SACHARIDŮ

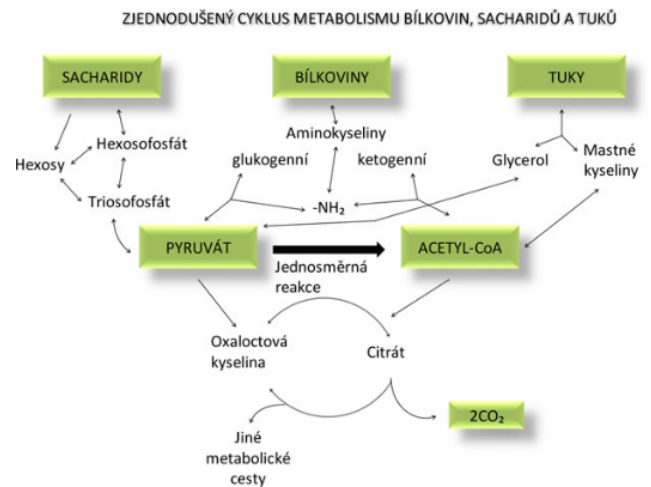
- anabolismus: FOTOSYNTÉZA
katabolismus: BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ

METABOLISMUS PROTEINŮ

- anabolismus: TRANSAMINACE
PROTEOSYNTÉZA
katabolismus: ORNITHINOVÝ CYKLUS

METABOLISMUS LIPIDŮ

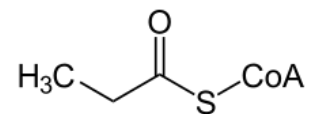
- anabolismus: syntéza triacylglycerolů
katabolismus: β -OXIDACE MASTNÝCH KYSELIN



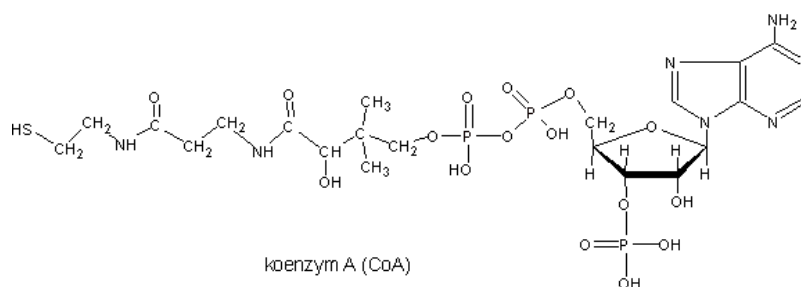
acetylkoenzym A – AcCoA-SH

- **společná sloučenina** metabolismů **všech** živin
- vstupuje do **Krebsova cyklu**
- **$\text{CH}_3\text{CO-S-CoA}$**

!!!



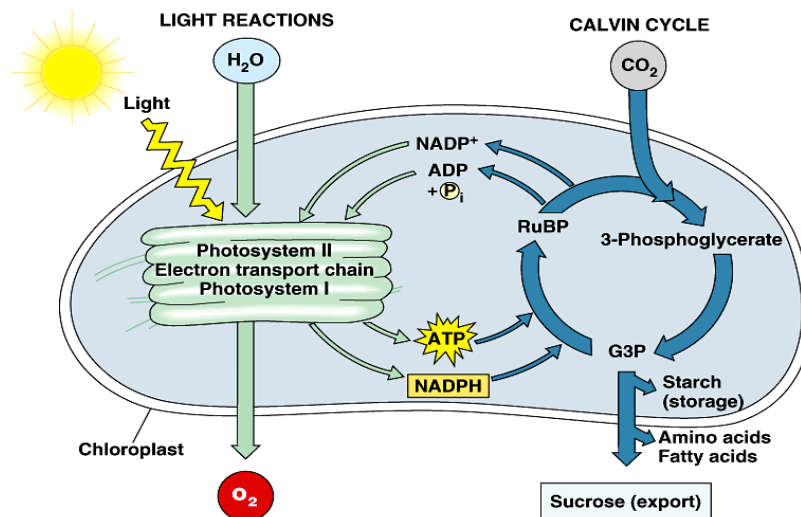
koenzym A



METABLISMUS SACHARIDŮ

anabolismus: FOTOSYNTÉZA

- autotrofové – zelené rostliny(chlorofyl A), sinice (bakteriochlorofyl)
- **světelná energie** se mění na energii **chemickou**
- chemická energie se ukládá do **vazeb organických látek**
- organické látky vznikají z jednoduchých anorganických - vody a oxidu uhličitého
- **fotorespirace:**
 - pochod, při němž rostliny během FS **přijímají O_2** a **uvolňují CO_2** !!!!!!!!!!!!!



fotosyntetické pigmenty:

- zachycují **fotony** z různých částí spektra
- jedině **chlorofyl A transformuje světelnou energii** na **chemickou** !!!!
- ostatní pigmenty fotony usměrňují k chlorofylu A
- uloženy na **membráně tylakoidů**

chlorofyly – zelená barviva

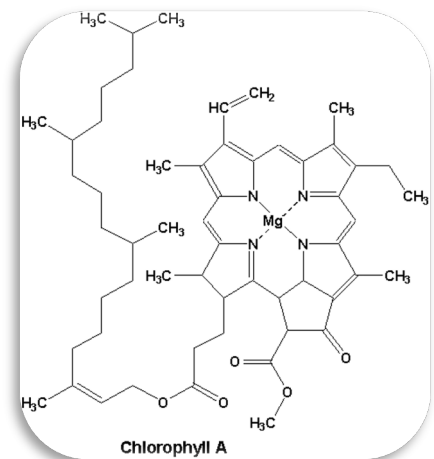
- vyšší rostliny, zelené řasy: chlorofyly A, B
- hnědé řasy: chlorofyly A, C
- červené řasy: chlorofyly A, D
- bakterie: bakteriochlorofyly A, B

karotenoidy – žlutooranžové

- xantofyly - žluté
- karoteny - oranžovočervené

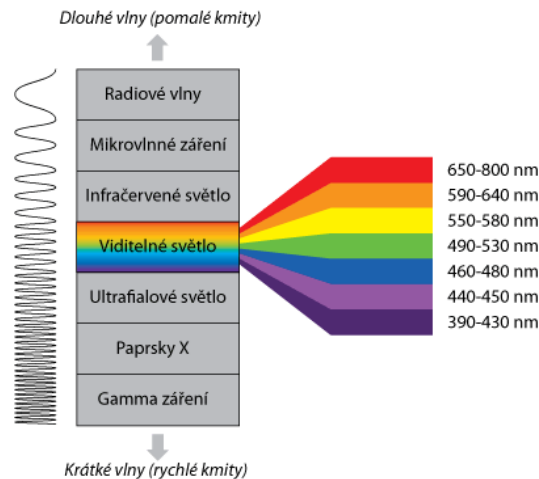
fykobiliny

- fykoerytrin – červenofialový
- fykocyanin – modrozelený

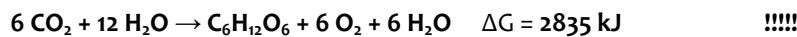


složení slunečního záření (viz obr.):

- 400-740 nm



sumární rovnice fotosyntézy:



fáze fotosyntézy:

primární	(světelná fáze)	- tylakoidy
sekundární	(temnostní fáze)	- cytoplazma

primární procesy

- potřebují **přímé** dodávky **světla**
- probíhají na **tylakoidech** chloroplastů
- produkty:

O₂
ATP
NADPH + H⁺

fotosystém I

- **P700**
- PS I se nachází na částech tylakoidních membrán, které přímo komunikují se stromatem
- obsahuje **chlorofyl A** i **chlorofyl B** v přibližném poměru **3 : 1**
- absorpční maximum při vlnové délce 700 nm

fotosystém II

- **P 680**
- PS II je lokalizován v granálních (přitisknutých) membránách tylakoidů, kde nemá styk se stromatem
- obsahuje molekuly **chlorofylu A** i **chlorofylu B** v přibližném poměru **1 : 1**
- absorbuje při 680 nm

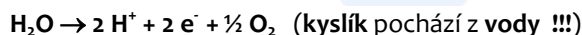
zahrnují:

- 1) **cyklickou fotofosforylaci**
- 2) **necyklickou fotofosforylaci**

tvorba ATP

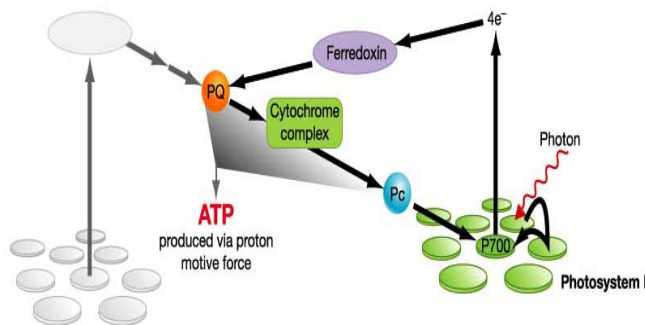
tvorba ATP a koenzymu NADPH + H⁺

3) fotolýza vody



1) cyklická fosforylace

- tvorba **ATP** díky absorpci **fotonu chlorofylem**
- kvantum světla – **FOTON** – uvede **chlorofyl fotosystému I (P700)** do **excitovaného** stavu → vyrazí se **elektrony**
- systém **přenašečů** (např. ferredoxin, **cytochromy**) je **vrátí** na původní místo
- cestou předají **energii na tvorbu ATP** !!!

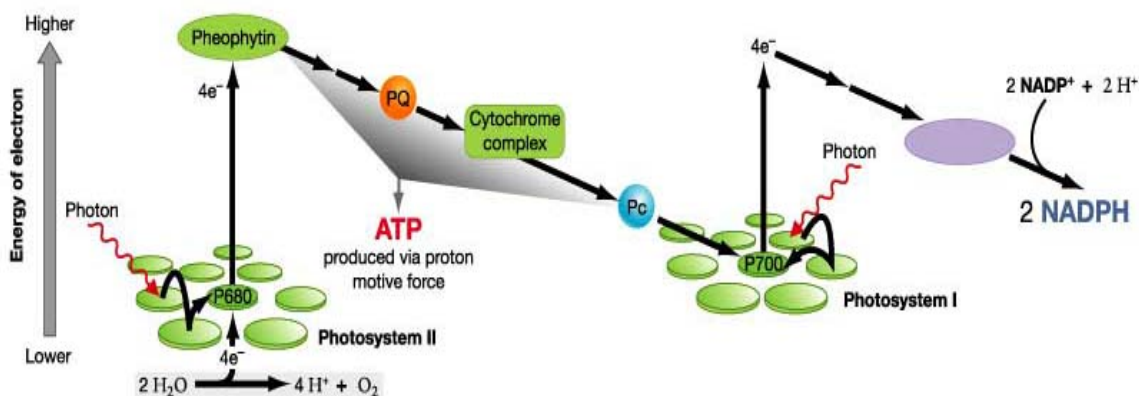


cytochromy

- označení pro **bílkoviny** vázané na membrány obsahující ve své molekule hemové skupiny, které zajišťují **přenos elektronů** tak, že se navázané **ionty železa** střídavě **redukuji** a **oxidují** z Fe^{2+} na Fe^{3+} a zpět

2) necyklická fosforylace

- tvorba **ATP**: $\text{ADP} + \text{P}_i \rightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$
díky absorpci **fotonu chlorofylem**
- tvorba koenzymu **NADPH + H⁺**
- **propojení 2 fotosystémů: PSI a PSII**
- kvantum světla uvede chlorofyl fotosystému I (P700) do excitovaného stavu
- vyrazí se elektrony - **spojují se s vodíkovými ionty**
- ty reagují s koenzymem NADP^+ na **NADPH + H⁺** = **redukční činidlo** pro **sekundární procesy** !!!
- **chybějící elektrony** ve **fotosystému I** se doplní z **fotosystému II (P680)** po absorpci fotonů
- ty cestou předají energii na **tvorbu ATP** !!!
- **chybějící elektrony** ve **fotosystému II**, potřebné pro redukci chlorofylu, se doplní při **fotolýze vody** !!!



3) fotolýza vody

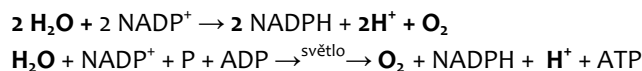


- rozklad vody účinkem světla

- a) je **zdrojem** uvolňovaného **kyslíku při FS** !!!!!!!
- b) poskytuje **vodíkové ionty** - protony
- c) poskytuje **elektrony** pro fotosystém II

- **elektrony** a vodíkové kationty se využijí k redukci: $\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2 \text{e}^- \rightarrow \text{NADPH}$

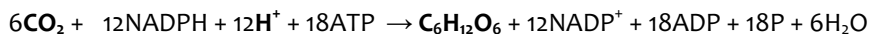
souhrnné rovnice:



sekundární procesy

- nepotřebují přímé dodávky světla
- probíhají **souběžně** s primárními procesy
- **potřebují** ale **produkty primárních procesů** $\Rightarrow \text{NADPH} + \text{H}^+$ a **ATP** !!!

souhrnné rovnice:

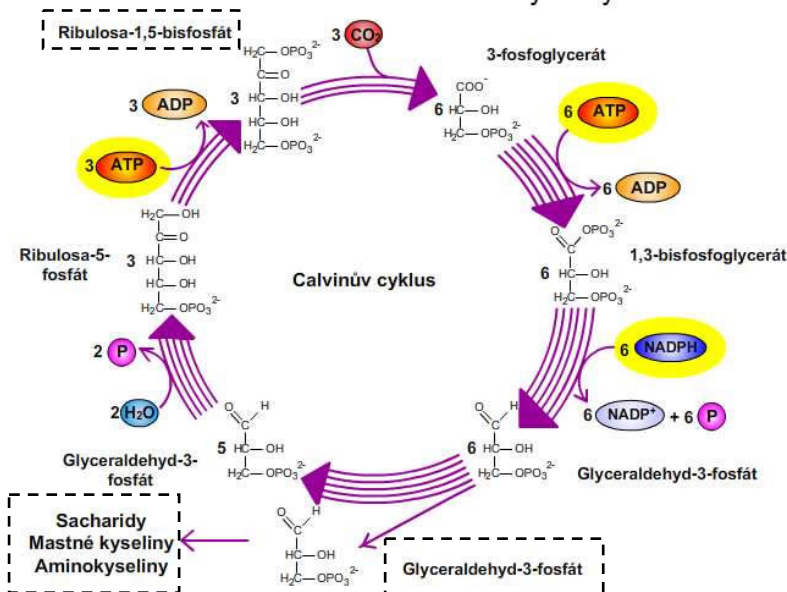


- probíhají ve **stromatu** chloroplastů
- mají cyklický charakter
- známé 3 typy (C_3 -, C_4 -, CAM-rostliny)
- nejznámější je **Calvinův cyklus**

Calvinův cyklus

- metabolická dráha
- fixace CO_2 na substrát **ribulóza-1,5-bisfosfát** !!!!
- redukce navázaného CO_2 za vzniku **hexózy $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$** !!!!
- nazýván **C_3 cyklus** prvním stabilním meziproduktem je tříuhlíkatý **glyceraldehyd-3-fosfát (3-fosfoglycerát)**
- **Rubisco**
 - **ribulózo-1,5-bisfosfát karboxyláza/oxygenáza**
 - nejdůležitějším enzymem Calvinova cyklu umožňující navázání uhlíku z CO_2

Sekundární fáze fotosyntézy



dle zpracování CO_2

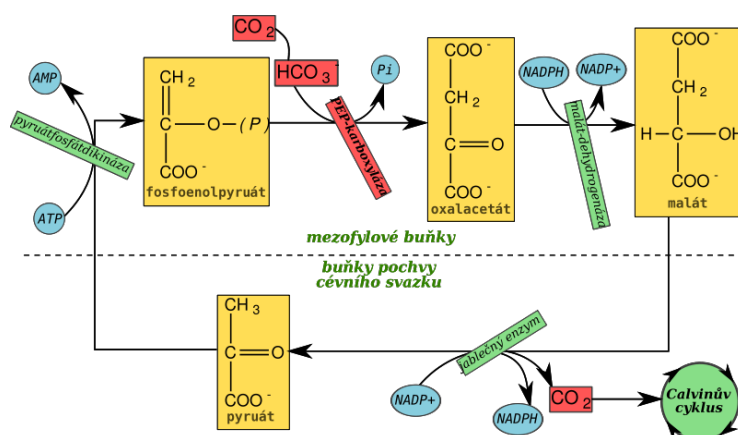
C_3 -rostliny

roślinami:

- sekundární procesy realizují **Calvinovým** cyklem
- většina známých rostlin a řas (řepa, slunečnice, obiloviny)
- rostliny **mírného** pásu
- menší přírůstek biomasy – téměř polovinu produktů fotosyntézy prodýchají
- akceptorem CO_2 je **ribulóza-1,5-bisfosfát**
- prvním stabilním meziproduktem asimilace je **tříuhlíkatý 3-fosfoglycerát** $\Rightarrow \text{C}_3$ -rostliny

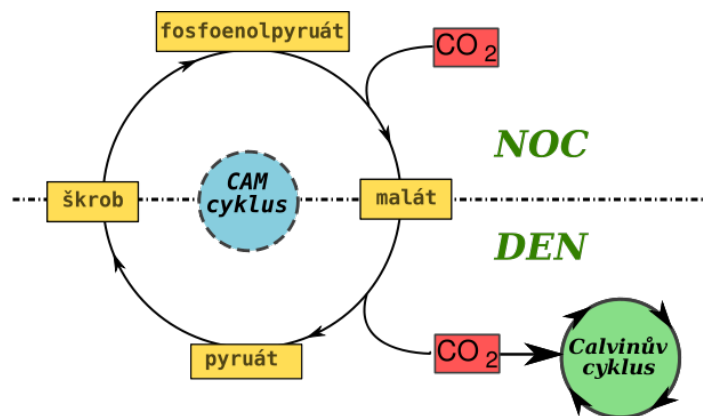
C_4 -rostliny

- **Hatch-Slackův cyklus**
- hlavně rostliny **tropů** a subtropů (**kukuřice !!!!**, ananas, agáve, **cukrová třtina**, proso)
- vyšší nároky na příjem CO_2 , potřebují hodně slunečního záření, jiná stavba listu
- prvotním akceptorem CO_2 je fosfoenolpyruvát
- prvotními produkty jsou **oxalacetát (4C)** a **malát**
- teprve CO_2 z prvotních produktů přenášen na ribulózu-1,5-bisfosfát, pak stejně jako u **Calvinova cyklu**
- dvě prostorově oddělená karboxylace (2 typy chloroplastů)
- větší přírůstek biomasy, protože mají nižší fotorespiraci



CAM-rostliny

- **sukulentní** rostliny (pouštní, tučnolisté)
- musí **šetřit** vodou $\Rightarrow$ průduchy otevírají **v noci** $\Rightarrow$ **přijímají** CO_2 a fixují ho do **malátu**
- malát skladují ve vakuolách
- ve dne z malátu uvolňují CO_2 $\Rightarrow$ vstupuje do Calvinova cyklu
- dvojí časově oddělená karboxylace



faktory ovlivňující průběh fotosyntézy:

vnitřní faktory

- množství a kvalita **chloroplastů**
- množství **chlorofylu**
- **stáří** listů
- **minerální** výživa

vnější faktory

- **světlo** – kvalita (400 – 700 nm); intenzita
- **koncentrace CO₂** – rostliny přizpůsobeny malé koncentraci (0,03%) velkou listovou plochou, zvýšení koncentrace (do 0,4%) ⇒ zvýšení fotosyntézy
- **teplota** – Gaussova křivka, optimum 25 - 30 °C, u C₄-rostlin je vyšší
- **voda** – nutná pro fotolýzu, vliv na otevírání průduchů ⇒ příjem CO₂

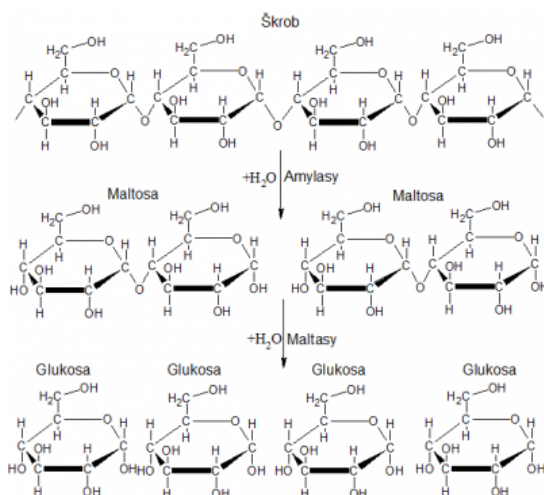
METABLISMUS SACHARIDŮ

katabolismus: **BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ**

- 1g sacharidů = 17 kJ
- přijmeme-li potravou **nadměrné** množství **sacharidů**, část AcCoA-SH (vzniklého z pyruvátu) se **přemění** na **MK**
- z nadbytečné **glukózy** se v játrech tvoří **glykogen** (zás. polysacharid živočichů)

nejprve.....

- trávení **sacharidů** (poly-, oligo-) je založeno na hydrolytickém štěpení **glykosidické** vazby pomocí **amyláz**



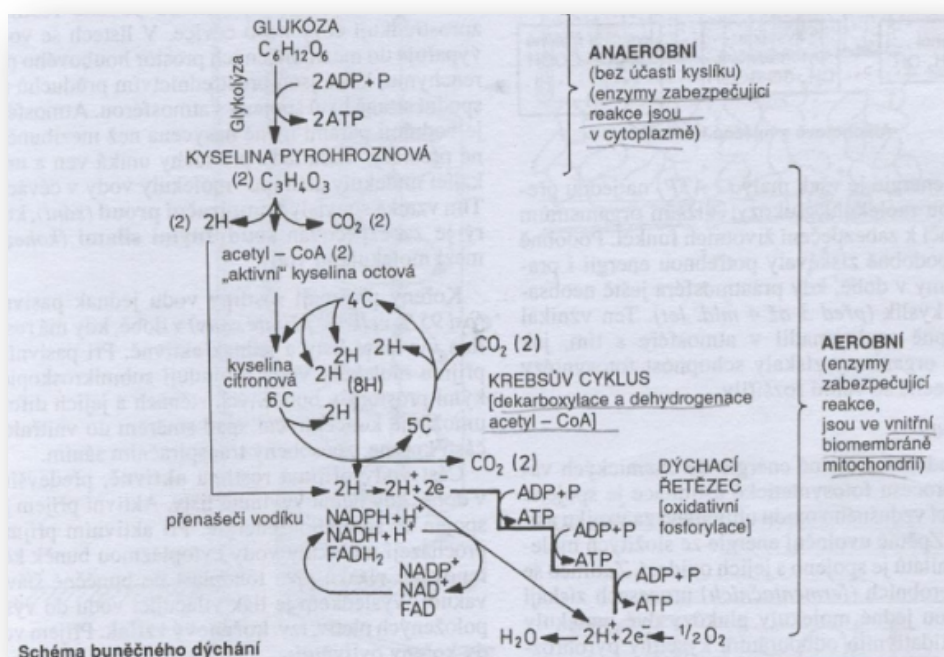
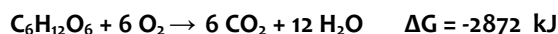
- enzym, který se vyskytuje ve slinách, nejčastěji ve formě **ptyalinu**, štěpí polysacharid škrob na **dextriny** = delší řetězce sacharidů (kratší než škrob)
- enzym **α -amyláza** dále **hydrolyzuje** α -1,4 vazby, čímž vznikají **oligosacharidy** - jako hlavní produkt **maltóza** !!!
- **maltáza** štěpí disacharid **maltózu** na monosacharid **glukózu**
- produktem trávení polysacharidů jsou **monosacharidy**, tedy například **glukóza** !!!!, fruktóza, galaktóza atd.

vstřebávání

- vstřebávání sacharidů je lehké a děje se stěnou **tenkého střeva**
- v játrech dochází k přeměně hexóz na **glukózu**, která pak putuje do **krve**
- v krvi hladinu glukózy (3,4 až 5,6 mmol/l) upravuje **inzulín** (snižuje ji) a glukagon (zvyšuje ji)
- krví transport glukózy do tkání
- při přebytku glukózy je tato přeměna na **glykogen**, nebo **tuk**
- tato změna se provádí přes acetyl CoA
- pro některé tkáně (**mozek**, **sítnice**, kůra nadledvin a další) je glukóza **jediným** zdrojem energie !!!

BUNĚČNÉ DÝCHÁNÍ:

- katabolický, aerobní, exergonický děj
- slouží k **uvolňování energie z živin**
- probíhá v **mitochondriích**
- **sumární rovnice buněčného dýchání = oxidace glukózy = rovnici aerobního odbourávání glukózy !!!!**



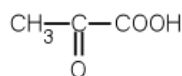
- odbourávání glukózy - proces je **poměrně rychlý**
- štěpením 1 molekuly glukózy se uvolní 38 ATP (2ATP při anaerobní glykolýze (1) a 36 ATP při aerobním štěpení (2, 3, 4))
- do ATP se uloží asi 40%
- glukóza se též může odbourávat v tzv. **pentózofosfátovém cyklu** = neslouží jako zdroj energie, ale poskytuje pentózy pro **tvorbu nukleotidů** a **NADPH + H⁺** (zdroj H pro redukce) – (rostlinné a např. jaterní buňky)

fáze glykolýzy

- 1) **anaerobní glykolýza** (v cytoplasmě) → pyruvát
- 2) **aerobní dekarboxylace pyruvátu** (mitochondrie) → AcCoA-SH
anaerobní štěpení pyruvátu (kvašení) → k. mléčná či ethanol
- 3) **Krebsův cyklus** = citrátový cyklus = cyklus kyseliny citronové → 8H a 2 CO₂ !!!!
- 4) **dýchací řetězec**, kde dojde ke vzniku vody → H₂O !!!!

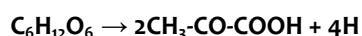
1) anaerobní glykolýza (v cytoplasmě)

- rozklad glukózy bez přístupu kyslíku
- probíhá v **cytoplasmě** buněk
- produktem jsou 2 molekuly **k. pyrohroznové** (k. 2-oxopropanová; sůl se nazývá **pyruvát**)



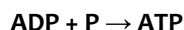
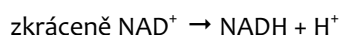
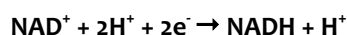
- energetický zisk **2 molekuly ATP**

rovnice:

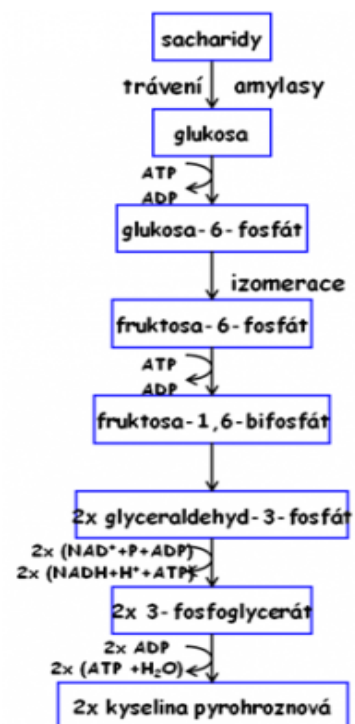


!!!!!!

vzniká kyselina pyrohroznová; pyruvát = sůl k. pyrohroznové

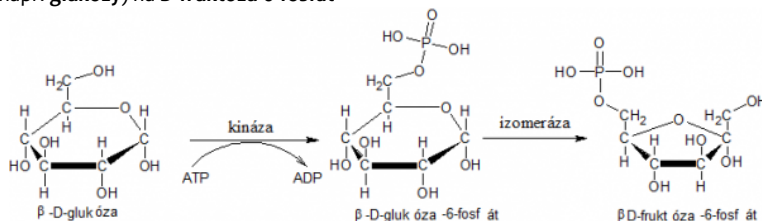


celková bilance: zisk **2 molekul ATP**

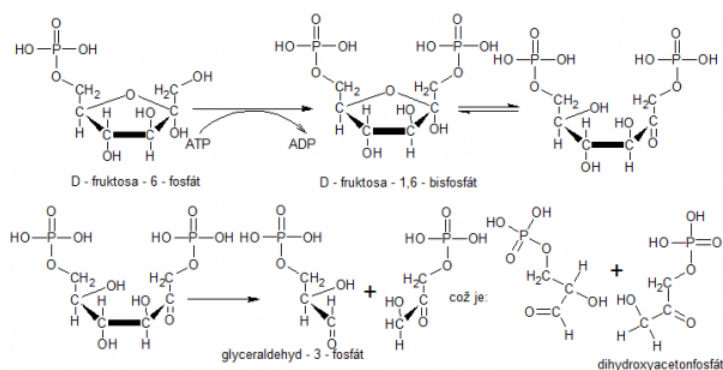


podrobný zápis anaerobní glykolýzy:

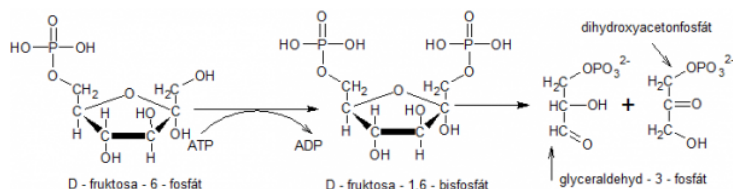
- převodu monosacharidů (např. **glukózy**) na **D-fruktózu-6-fosfát**



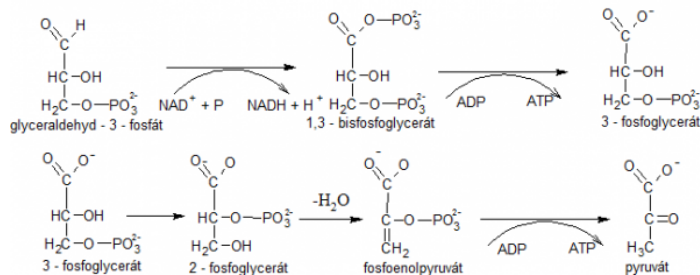
- přeměna **D-fruktózy-6-fosfátu** na 2 molekuly **glyceraldehyd-3-fosfátu** (obrátená aldolová kondenzace)
= štěpením 6C molekuly vznikají dva fosforylované 3C izomerní sacharidy
- konkrétně vzniká **glyceraldehyd-3-fosfát** a **dihydroxyaceton-fosfát**



- zkráceně tato reakce probíhá takto:



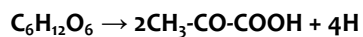
- přeměna **triózy** na kyselinu **pyrohroznovou** (resp. **pyruvát**) = konec a. g. !!!



podrobně energetický zisk:

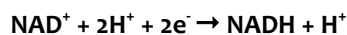
- celkově se při **anaerobní glykolýze** získávají pouze **2 ATP**

anaerobní glykolýza (rovnice):



!!!!!!

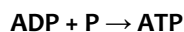
vzniká kyselina pyrohroznová; pyruvát = sůl k. pyrohroznové



(2x: bod 6)

dehydrogenace

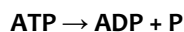
redukce koenzymu



fosforylace – tvorba ATP

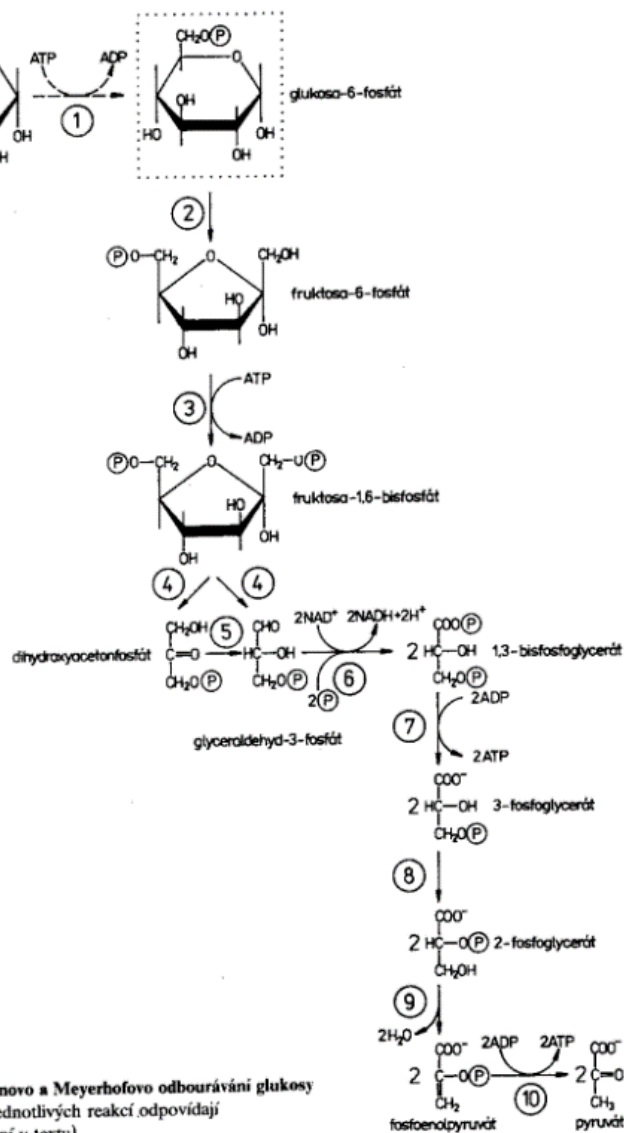
(4x: bod 7 a 10 se uskuteční 2x

(štěpení 2 molekul glyceraldehyd-3-fosfátu))



(2x: bod 1 a 3)

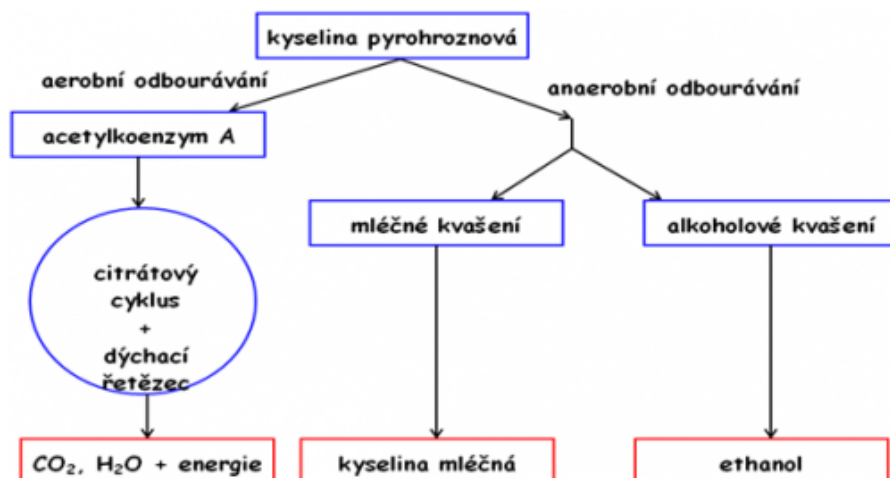
celková bilance: zisk **2 molekul ATP**



Obr. 93 Embdenovo a Meyerhofovo odbourávání glukosy (čísla jednotlivých reakcí odpovídají označení v textu)

2) aerobní dekarboxylace pyruvátu (nebo kvašení: ethanolové a mléčné)

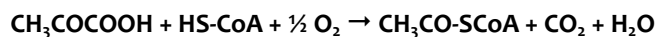
- ✓ aerobní štěpení k. pyrohroznové = pyruvátu
- ✓ anaerobní redukce k. pyrohroznové (fermentace, kvašení)



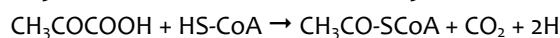
- ✓ aerobní štěpení k. pyrohroznové:

!!!

- v případě, že reakce probíhají v **aerobním** prostředí (vztaženo na aerobní organismy) dochází ke vzniku **acetyl CoA**
- (**acetyl CoA** poté vstupuje nejčastěji do **Krebsova cyklu** = produkty jsou **CO₂, H₂ a energie**)



!!!

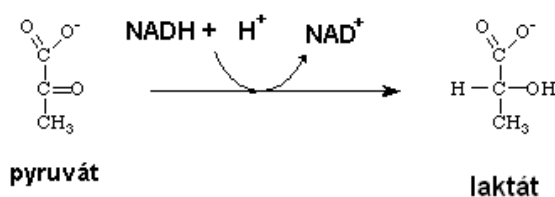


- ✓ anaerobní odbourávání k. pyrohroznové (fermentace, kvašení):

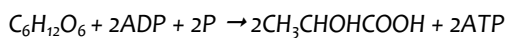
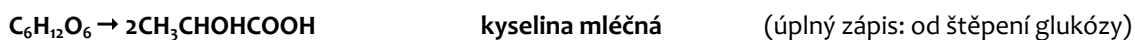
rozlišujeme 2 způsoby anaerobního odbourávání, tedy kvašení:

- 1) **mléčné kvašení**, ke kterému dochází při nadměrné svalové práci za nedostatečného zásobování kyslíkem
 - anaerobní redukce (+H₂) pyruvátu
 - v živoč. organismech tzv. **svalová glykolýza**
 - probíhá také u **bakterií mléčného kvašení**
 - mléčného kvašení se využívá při **konzervacích** (zelí, okurky), kdy kyselé prostředí ničí bakterie způsobující hnilobné procesy

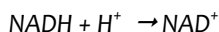
mléčné kvašení = redukce pyruvátu = hydrogenace pyruvátu:



laktát = sůl kyseliny mléčné



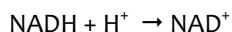
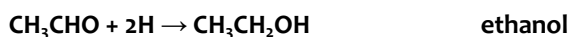
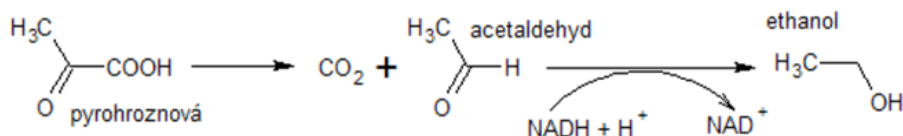
enzym LDH – laktátdehydrogenáza



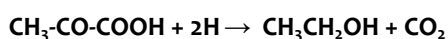
redukční činidlo NADH + H⁺

2) ethanolové kvašení

- **anaerobní** redukce pyruvátu
- toto kvašení způsobují například **kvasinky** (enzym zymáza)

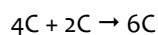
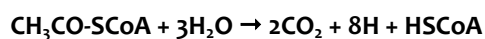
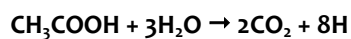


sumárně:



3) citrátový cyklus = Krebsův cyklus = cyklus kyseliny citronové

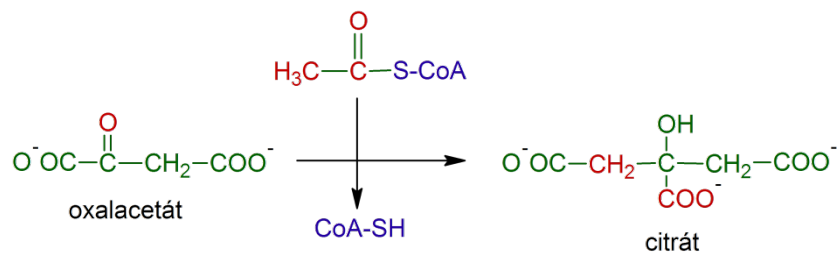
- **2x dekarboxylace** (uvolnění 2CO₂) !!!
- **4x dehydrogenace** (→8H (transport koenzymy do d.ř.)) !!!



- oxalacetát reaguje s acetylkoenzymem A za vzniku **kyseliny citrónové**

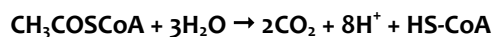


!!!!



citrát = sůl kyseliny citrónové (2-hydroxypropan-1,2,3-trikarboxylová kyselina)

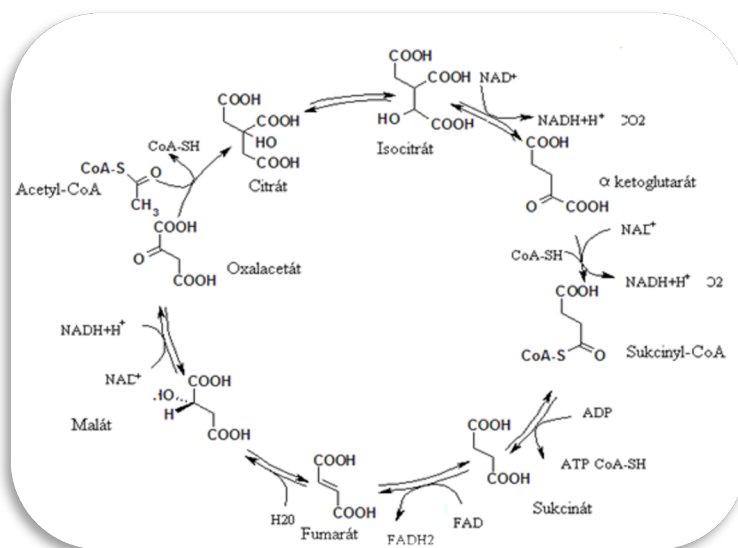
sumární rovnice - jedna **otočka** Krebsova cyklu:



!!!!

8H^+ redukuje koenzymy

balance Krebsova cyklu:

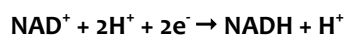


zisk 1 molekuly ATP:

$\text{ADP} \rightarrow \text{ATP}$ (přeměna sukcinyl-CoA $\rightarrow$ sukcinát)

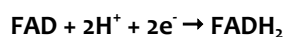
makroergickou vazbu v sukcinyl-CoA **nelze** na ATP převést **přímo**, ale **přes GTP** (guanosindifosfát) !!!

3X:



zisk 3NADH

1X:



zisk 1FADH₂

redukované koenzymy vstupují do dýchacího řetězce = přenos H do koncového dých. řetězce !!!

podrobně reakce Krebsova cyklu:

sukcinát = k. jantarová

$\text{HOOC-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH} \rightarrow \text{HOOC-CH=CH-COOH}$

$\text{FAD} + \text{H}_2 \rightarrow \text{FADH}_2, -2\text{H}$

k. butendiová (transizomer) = fumarát (sůl) = kyselina fumarová

$\text{HOOC-CH=CH-COOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HOOC-CHOH-CH}_2\text{-COOH}$

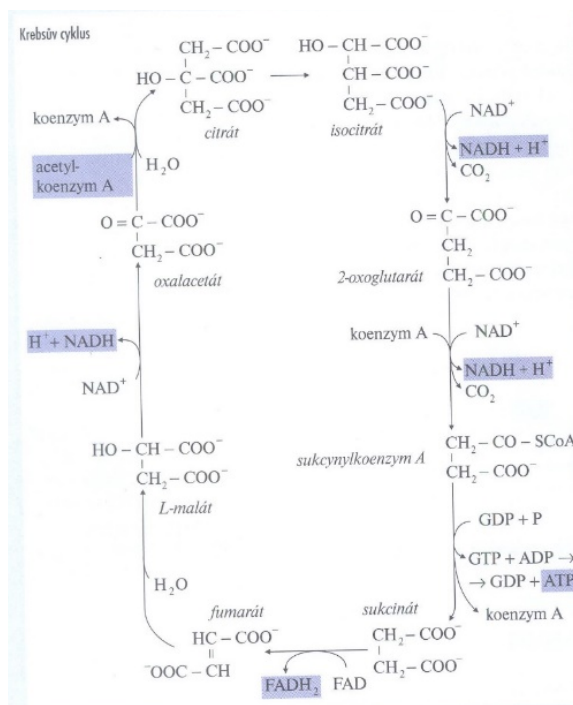
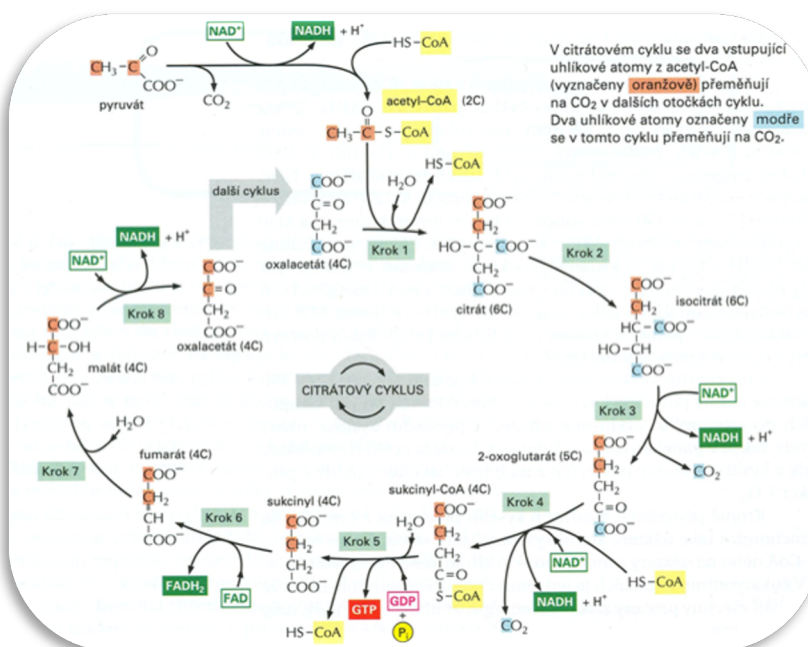
2-hydroxybutandiová = L-malát (sůl) = kyselina jablečná

$\text{HOOC-CHOH-CH}_2\text{-COOH} \rightarrow \text{HOOC-CH}_2\text{-CO-COOH}$

2-oxobutandiová = oxalacetát (sůl) = k. oxaloctová

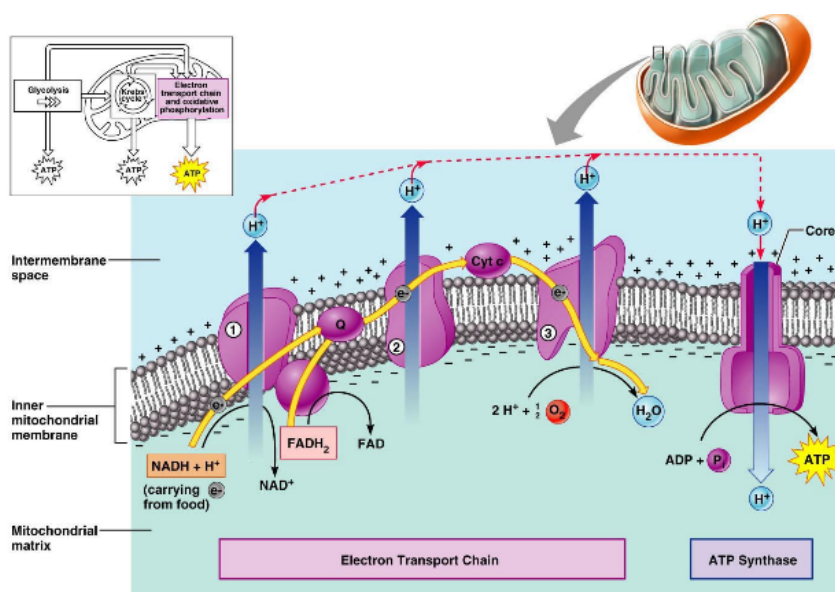
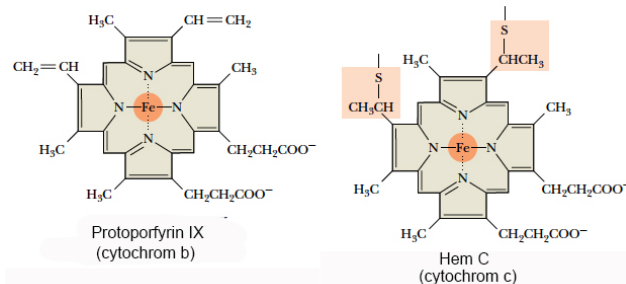
$\text{NAD}^+ + \text{H}_2 \rightarrow \text{NADH} + \text{H}^+, -2\text{H}$

další schémata Krebsova cyklu:

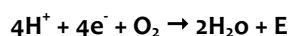


4) dýchací řetězec (vznik vody) = biologická oxidace vodíku

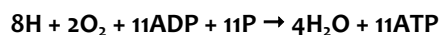
- chinon, cytochromy... $H \rightarrow H^+$ obr. $\Rightarrow$
- probíhá na vnitřní membráně **mitochondrií**
- uspořádán **stupňovitě** („schody“) - komplexy sestavené dle **stoupajícího redoxního potenciálu** (stoupající **afinity k elektronům**) – viz obr. na str. 11 (snad)
- každý **článek d.ř.** je **redukován předchozím** a **redukuje následující** a sám se tak **oxiduje**
- **vodíky** v redukováných formách koenzymů jsou **oxidovány** kyslíkem za vzniku **vody** !!!
- **oxidací redukováných koenzymů** se **uvolňuje** velké množství **energie** ve formě **ATP** = **oxidativní fosforylace**
- pokud by se **E uvolnila naráz**, docházelo by k jejím daleko větším **ztrátám** ve formě **tepla**



rovnice:



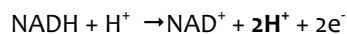
sum. rovnice:



!!!

zisk ATP:

3X:



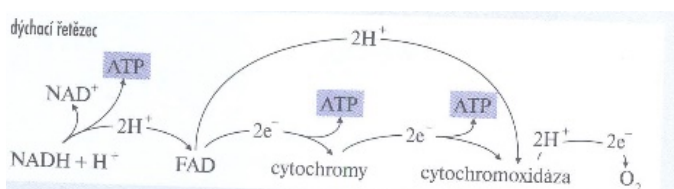
9ATP

regenerace koenzymu v d.ř. – uvolnění velkého množství energie

1X:

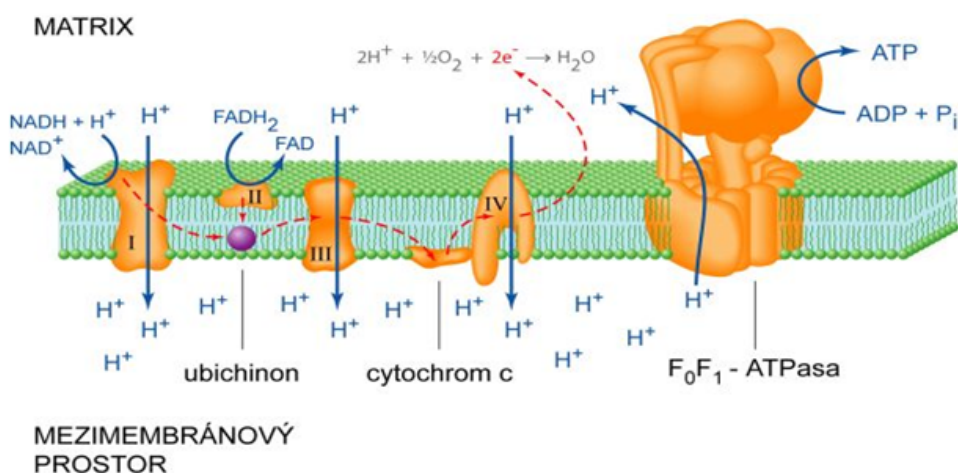


2ATP

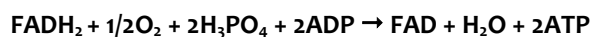
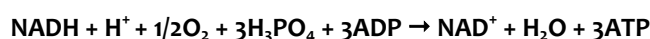
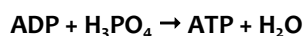


oxidační fosforylace – tvorba ATP

- **ATP-syntháza** obsahuje ve své struktuře protonový kanál
- přes tento kanál se H^+ vrací z mezimembránového prostoru do matrix
- energie tohoto gradientu je použita k **pohonu ATP-syntházy**
- **ATP-syntázu** tvoří tři části:
 - 1) F_0 , která je zapuštěna do **fosfolipidové membrány**
 - 2) F_1 , která naopak „trčí do **matrix**“
 - 3) krček - krček je složen z **rotoru a statoru**, což naznačuje, že se bude ATP-syntáza otáčet
- postupným **otáčením**, ke kterému dochází díky proudu H^+ dochází k **tvorbě energie**
- energie se využije na **tvorbu makroergní vazby**, tedy na navázání fosfátu na ADP → ATP



sumární rovnice:



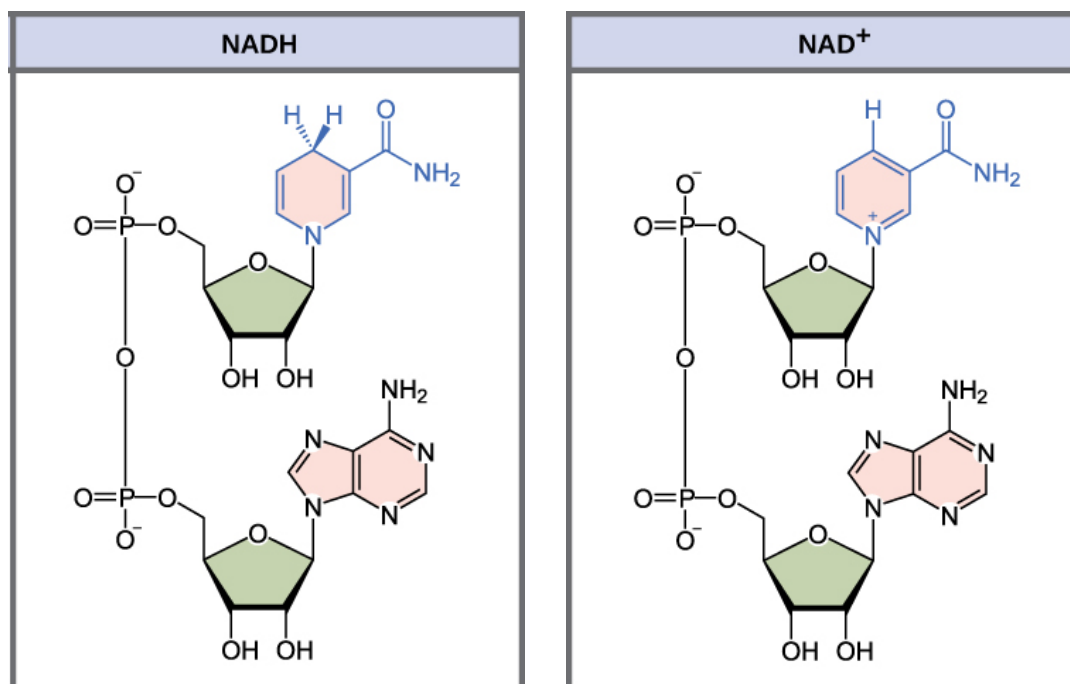
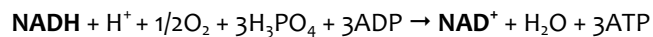
srovnání fotosyntézy a dýchání:

fotosyntéza	dýchání
probíhá jen v buňkách s chloroplasty	probíhá ve všech živých buňkách
probíhá na světle i ve tmě	probíhá na světle i ve tmě
Výchozími látkami jsou CO ₂ a H ₂ O	produktem je CO ₂ a H ₂ O
kyslík se uvolňuje	kyslík se spotřebovává
hromadí se energeticky bohaté zásobní látky a hmotnost rostliny se zvyšuje	hmotnost rostliny se snižuje

doplňk:

struktura NAD^+ a $\text{NADH} + \text{H}^+$:

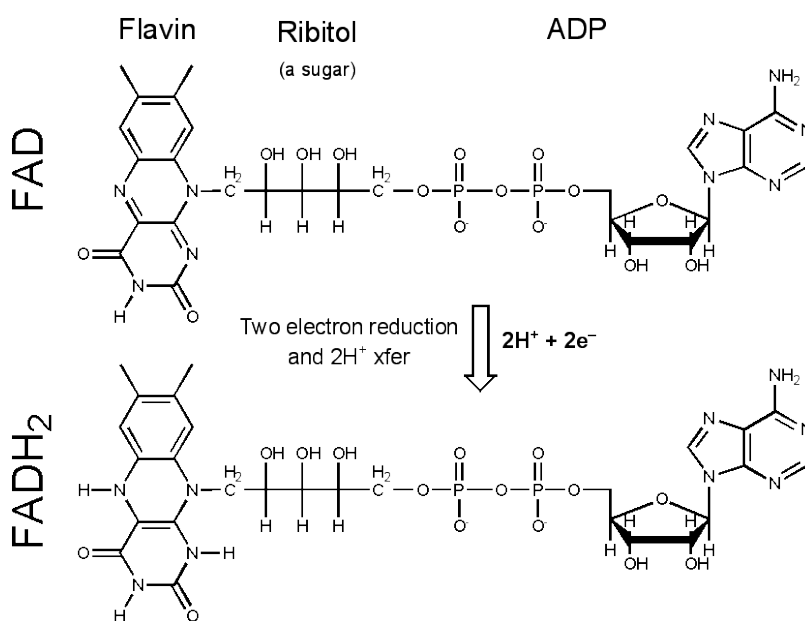
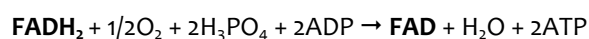
(na předešlé stránce oxidace redukované formy):



pro ukázkou **struktury FAD** opačný proces

(zde redukce oxidované formy):

(na předešlé stránce oxidace redukované formy):



METABOLISMU PROTEINŮ

- na rozdíl od sacharidů a lipidů se **nemohou** ukládat do **zásoby** = stále se syntetizují a odbourávají
- lze je sledovat dle tzv. **dusíkové bilance** = poměr mezi **výdejem** a **příjmem** dusíku organismem (zdravý jedinec má dusíkovou bilanci v rovnováze)

- **pozitivní** (příjem N je vyšší než výdej - růst organismu) **dusíková bilance**
- **negativní** (výdej vyšší než příjem - choroby, stárí) **dusíková bilance**

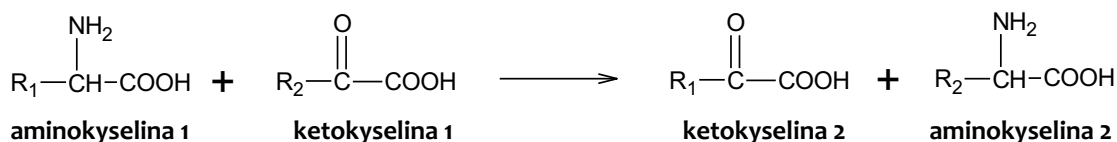
anabolismus: **TRANSAMINACE**
PROTEOSYNTÉZA

katabolismus: **ORNITHINOVÝ CYKLUS**

anabolismus:

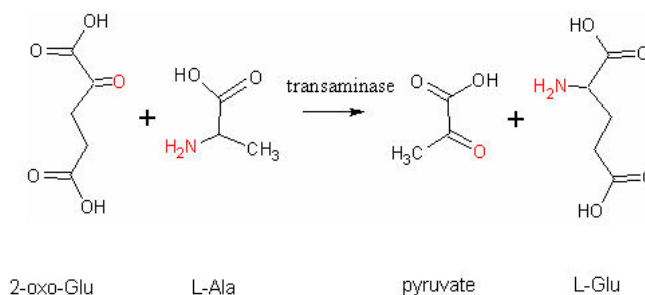
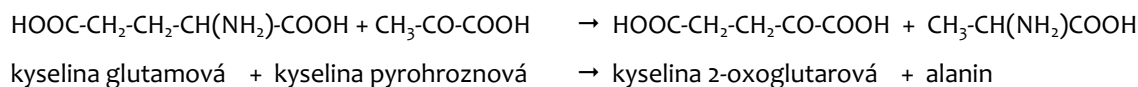
TRANSAMINACE

- viz MO 20
- přenos aminoskupiny z AK na oxokyselinu



př.:

!!!



PROTEOSYNTÉZA (viz MO 20 Aminokyseliny a proteiny)

- **20 proteinogenních** = kódovaných **AK**
 - 8 esenciálních
 - 12 neesenciálních

exprese genetické informace

- proces, kdy dle genet. informace strukturního genu vzniká bílkovina
- centrální dogma molekulární biologie:

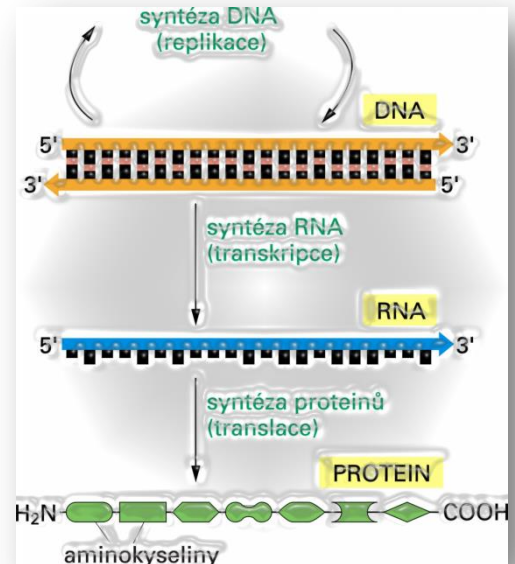


- **replikace** = zdvojení DNA
- **transkripce** = přepis pořadí nukleotidů z DNA do mRNA
- **translace** = překlad informace z pořadí nukleotidů mRNA do pořadí aminokyselin v bílkovinném řetězci

syntéza bílkovin = proteosyntéza

- tvorba bílkovinného řetězce
- viz MO 22 – NK (delší verze)
- *de facto* se skládá z:

transkripce
translace



replikace !!!

- **DNA → DNA**
- **zdvojení DNA** – biosyntéza DNA
- probíhá v **jádře** buňky
- **vznikají 2 identické molekuly DNA** !!!
- enzym *DNA-polymeráza*
- **Okazakiho fragmenty**

transkripce !!!

- **DNA → mRNA**
- **přepis** pořadí nukleotidů z **DNA** do pořadí nukleotidů **v mRNA**
- v **jádře**

fáze transkripce:

- 1) **iniciace**
- 2) **elongace**
- 3) **terminace**

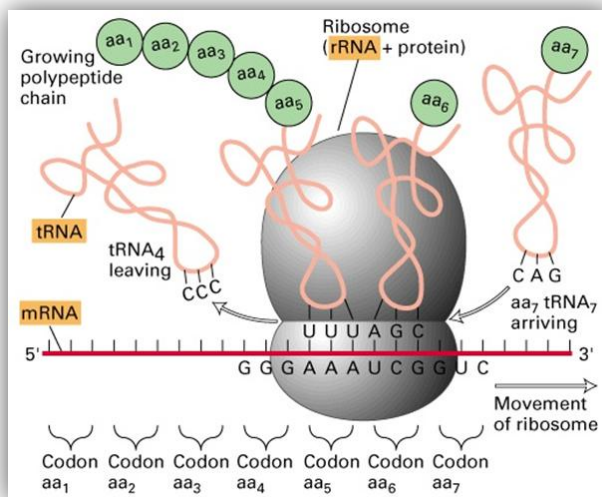
translace !!!

- ✓ **mRNA → protein**
- ✓ překlad informace o pořadí nukleotidů v mRNA do primární struktury bílkovin = pořadí aminokyselin
- ✓ probíhá v cytoplazmě na **ribosomech** (ribozomy volně či na drsném ER)
- ✓ vazba AK:

- ✓ **triplet** = trojice nukleotidů mRNA
- ✓ trojice nukleotidů **mRNA** se nazývá **kodon**, určuje druh aminokyseliny, která se naváže
- ✓ trojice nukleotidů **tRNA** se nazývá **antikodon** – odpovídá kodonu mRNA

pojmy:

- **genetický kód** (tripletový, degenerovaný, univerzální, 4 písmenný)
- **mRNA, tRNA, rRNA**



CV:

1. Doplňte na základě komplementarity báze v molekule **DNA – replikace DNA**

DNA: ACC GTA TTA CGA TAC CCT TAC GGG

DNA:

2. Transkribujte pořadí nukleotidů molekuly **DNA** do **mRNA**

DNA: ACG TTA GTA CTA TTA ACC GCT AAT CGA

mRNA:

3. Která z aminokyselin se naváže na následující triplet nukleotidů mRNA?

a) GCG b) UAC c) AUC d) AAG e) UUA

4. Část jednoho řetězce molekuly inzulinu tvoří aminokyseliny uvedené v tabulce. Doplňte tabulku.

aminokyseliny	tRNA	mRNA	DNA	2. řetězec DNA
leucin				
valin				
cystein				

		Druhý nukleotid				
		U	C	A	G	
První nukleotid	U	UUU } fenyalanin UUC } UUA } leucin UUG }	UCU } UCC } serin UCA } UCG }	UAU } tyrosin UAC } UAA } bezesmyslu UAG }	UGU } cystein UGC } UGA } bezesmyslu UGG }	U C A G
	C	CUU } CUC } leucin CUA } CUG }	CCU } CCC } prolin CCA } CCG }	CAU } CAC } histidin CAA } CAG }	CGU } CGC } arginin CGA } CGG }	U C A G
	A	AUU } AUC } izoleucin AUA } AUG } metionin	ACU } ACC } treonin ACA } ACG }	AAU } AAC } asparagin AAA } AAG }	AGU } AGC } serin AGA } AGG }	U C A G
	G	GUU } GUC } valin GUA } GUG }	GCU } GCC } alanin GCA } GCG }	GAU } GAC } kyselina GAA } asparagová GAG }	GGU } GGC } GGA } GGG }	U C A G

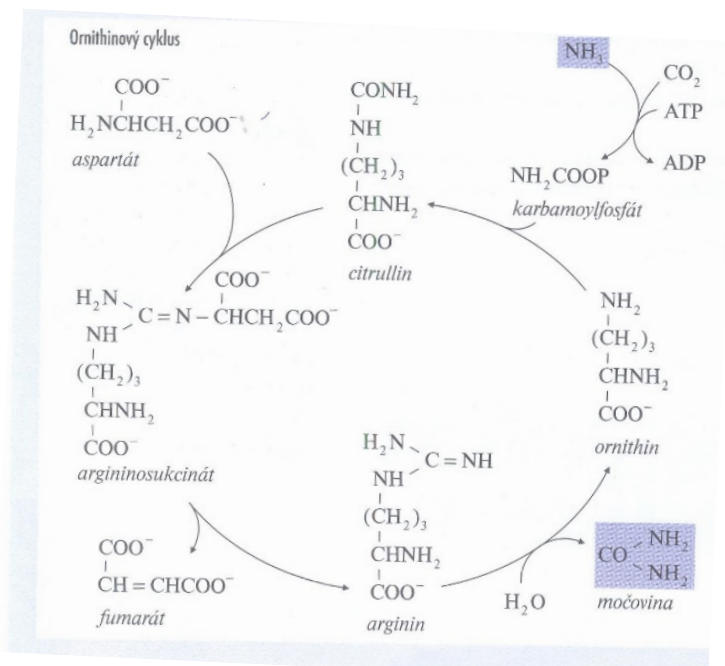
katabolismus:

- **bílkoviny** se ve střevě štěpí (hydrolyticky účinkem *proteáz*) až na **aminokyseliny AA** (využívány k syntéze **nových proteinů** nebo dusíkatých látek (purinů))
- slouží též jako **zdroj E** při **hladovce**

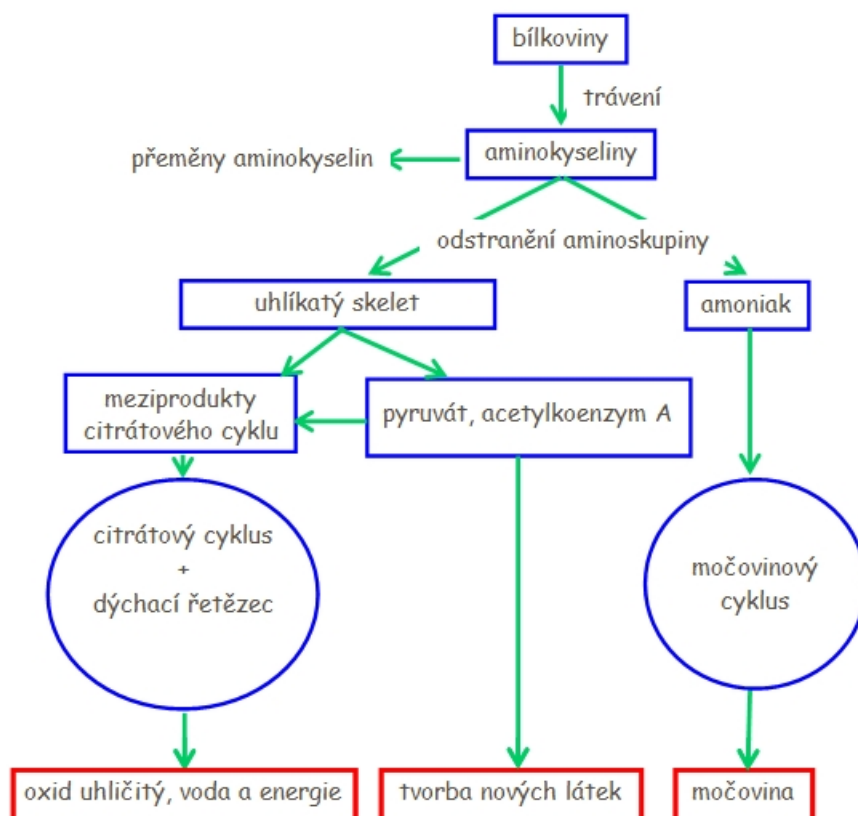
odbourávání AK:

- aminokyseliny odbourávány **deaminací** = od AA se odštěpí aminoskupina ve formě toxického **amoniaku**
- **amoniak** vstupuje do **ornithinového cyklu** (ornithin = AA), kde je přeměněn na **močovinu** (25-35g/denně)
- **močovina** je odpadní produkt metabolismu bílkovin u člověka a ostatních savců vylučovaný močí //ptáci: odp. pr. kys. močová //ryby: NH_4^+

ORNITHINOVÝ CYKLUS



přehled katabolismu bílkovin:



METABOLISMUS LIPIDŮ

anabolismus:

katabolismus: β -OXIDACE MASTNÝCH KYSELIN

anabolismus:

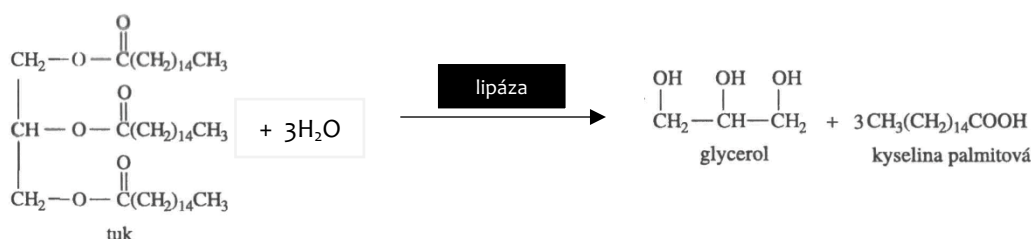
- **triacylglyceroly** jsou syntetizovány z potravy
- organismus umí syntetizovat MK opačným procesem k β -oxidaci (účast jiných enzymů !!!)
- probíhá v **cytoplazmě**, výchozí látkou je **acetylCoA-SH**
- nutný **přísun E** a redukovaných **koenzymů**
- lipidy mohou vznikat ze sacharidů (opačně nelze)
- proces **syntézy** a **rozkladu** MK jsou v buňce **prostorově odděleny**

katabolismus:

- 1g tuku = 38 kJ
- rozklad lipidů **lipázami** = enzymatická hydrolyza **triacylglycerolu** (MO 19) probíhá v trávicí soustavě:

štěpení esterových vazeb (tuky):

1,2,3-tripalmitoylglycerol se **lipázami** štěpí na glycerol a palmitovou kyselinu (MK)

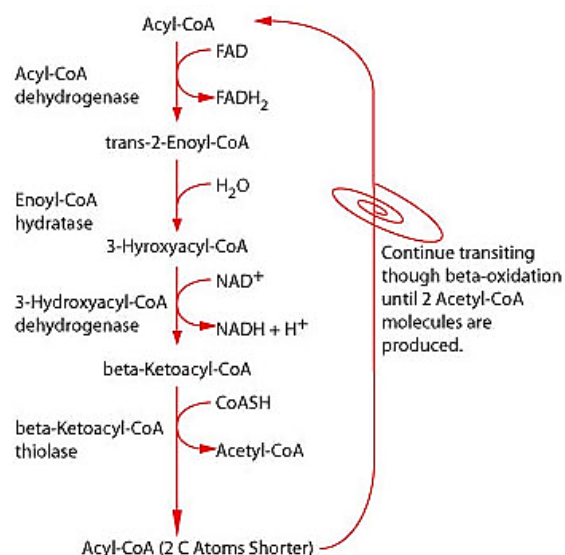
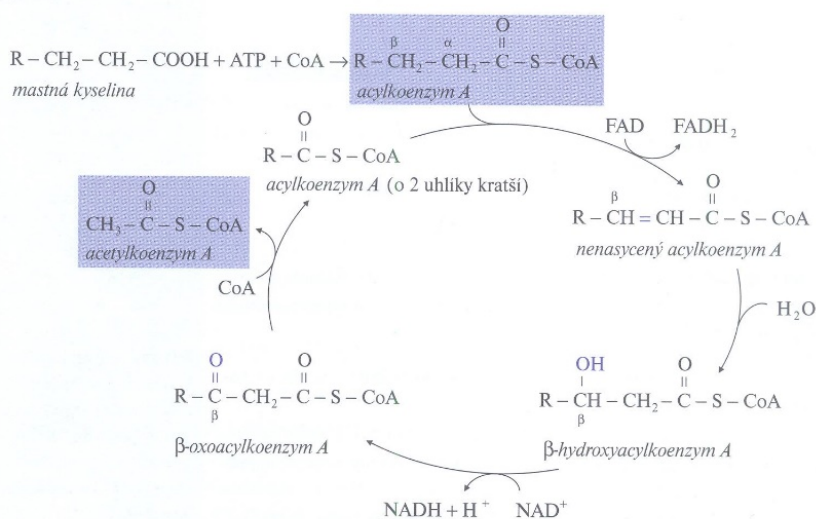


- **glycerol** $\rightarrow$ glycerol-1-fosfát $\rightarrow$ dihydroxyaceton $\rightarrow$ glykolýza
- **mastné kyseliny** se odbourávají procesem **β -oxidace**

β -OXIDACE MASTNÝCH KYSELIN

- tuky se štěpí na glycerol a mastné kyseliny, jež se odbourávají tímto procesem
- probíhá v **mitochondriích**
- proces, při němž dochází k postupné **oxidaci mastných kyselin** (řetězec delší než 8 uhlíků) až na **acetyl-CoA**, který dále postupuje do **citrátového cyklu**

β -oxidace

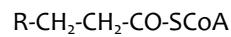


rovnice reakcí **Lynenovy spirály** = 1 otočka β -oxidace:

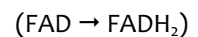
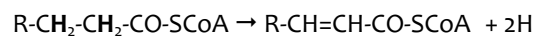
!!! (4 rovnice)

- 1) aktivace koenzymem A (CoA-SH)
- 2) dehydrogenace (-2H)
- 3) hydratace (H_2O)
- 4) dehydrogenace (-2H)

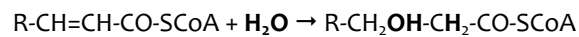
- 1) aktivace koenzymem A (CoA-SH) na acylkoenzym A (spotřeba 1ATP)



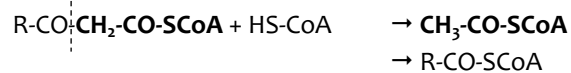
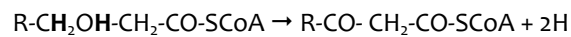
- 2) dehydrogenace (-2H)



- 3) hydratace (H_2O)



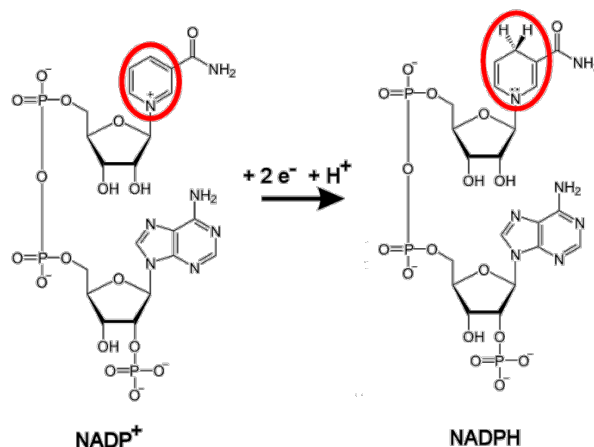
- 4) dehydrogenace (-2H)



acetylkoenzym A
acylkoenzym A o 2C kratší
(vstup do další L.s.)

- úplným odbouráním 1 molekuly **kyseliny palmitové** se uvolní **131 ATP**
- úplným odbouráním 1 molekuly **kyseliny stearové** se uvolní **147 ATP** (vydatnější, ale pomalejší zdroj E v porovnání se sacharidy)

dodatky:



propojení metabolismů lipidů, sacharidů a proteinů:

[illegible]