# ZÁKLADNÍ METABOLICKÉ TYPY

## (doplňky, poznámky, zajímavosti a komentáře)

## + "VELKÉ CYKLY PRVKŮ"

### ÚVODNÍ SLOVO

Z dějin studia metabolismu je patrné, že se biochemici v počátku soustředili na dva organismy: bakterii *Escherichia coli* a samozřejmě, z přirozeného antropocentrismu, na druh *Homo sapiens*; samozřejmě je od začátku zajímaly i zelené buňky rostlin a jejich zázračná fotosyntéza. Teprve později začali studovat i další metabolické typy (viz další slide). Přitom je v poslední době stále zřejmější, že pro biosféru platí pravidlo "Co není termodynamicky zakázáno, určitě je někde k nalezení!" a ostatní, zejména bakteriální druhy jsou tedy mimořádně zajímavé jak z hlediska obecného poznání světa (základního výzkumu), tak i z hlediska praktického využití (biotechnologie atd.).

Cílem této prezentace je umožnit studentům nahlédnout to těchto často zdánlivě podivných metabolických krkolomností, zopakovat si při tom základy metabolismu jako takového a uvědomit si téměř strašidelnou propojenost chemických dějů v biosféře. Úkol na začátek: pečlivě si zopakujte základní rozdělení organismů podle trofiky (učebnice odst. 7.1, str. 223).

Ještě jedna poznámka: Mluvíme-li o metabolických typech, máme obvykle na mysli celé organismy. Jenže v rámci jednoho organismu mohou buňky fungovat s odlišnou „trofikou". Například u vyšších rostlin jsou fotolithotrofní zelené buňky listů, ostatní jsou aerobně chemoorganotrofní. Podobně červené krvinky savců využívají (anaerobní) fermentativní typ metabolismu, zatímco organismy jako takové jsou aerobní chemoorganotrofové.

Na závěr prezentace jsou zařazeny tzv. velké cykly prvků, na nichž je toto propojení velmi dobře patrné.

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

| Typ metabolismu | Zdroj C | Hlavní způsob výroby NADPH | Zdroj H ($e^-$) | Konečný akcept. H ($e^-$) | Hlavní způsob výroby ATP | Příklady organismů |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FOTOLITHO-TROFY** | $CO_2$ | oxygenní fotosynthesa | $H_2O$ | $CO_2$ | | vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie |
| (autotrofní) | | anoxygenní fotosynthesa | $H_2S$, $H_2$, S | | membránová fosforylace ve světlé fázi | sirné purpurové a zelené bakterie |
| **FOTOORGANO-TROFY** | organ. | anoxygenní fotosynthesa | organické látky | různé organické | fotosynthesy | bezsirné purpurové bakterie |
| (heterotrofní) | látky | viz chemoorganotrofy | (mastné kys., sukcinát) | látky | membránová fosforylace (bakteriorhodopsin) | *Halobacterium halobium* |
| **CHEMOLITHO-TROFY** | $CO_2$ | redukce $NADP^+$ za užití ATP | $Fe^{2+}$, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $S^{2-}$, S, $H_2$, $CH_4$ | $O_2$ (aerobní) | | železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie |
| (autotrofní) | (fixace v Calvin. cyklu) | redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly | $H_2$ | $CO_2$, S, $Fe^{3+}$ (anaerobní) | membránová fosforylace | methanogenní b., desulfurisační b. |
| **CHEMOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF | organické látky ("živiny") | $O_2$ (aerobní) | aerobní membránová fosforylace | živočichové, plísně, octové bakterie .. |
| | | | | jiné extracelulární akceptory ($NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_2$, fumarát) (anaerobní) | anaerobní membránová fosforylace | denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie |
| | | | | meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující) | substrátová fosforylace (pouze) | laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia |

VŠCHT PRAHA
Uzamčený host (1)

Mírně přepracovaná Tab. 7.1 (učebnice str. 224). Cílem prezentace je pomoci studentům naučit se v této zásadní tabulce orientovat. Tabulka se bude proto před každou velkou kapitolou vždy znovu objevovat a diskutovaná oblast bude barevně vyznačena.

# FOTOLITHOTROFY

## (klíčové slovo: fotosyntéza)

***světlá fáze***

$h\nu \rightarrow PMF \rightarrow$ ATP-synthasa

$$ADP + P_i \longrightarrow ATP + H_2O$$

$h\nu \rightarrow$ PS I $\rightarrow$ ? PS II

$$NAD(P)^+ + H_2D \longrightarrow NAD(P)H + H^+ + D$$

D = kyslík: oxygenní (PS I + PS II; šlo by to s jedním PS?)

= jiný donor elektronů ($H_2S$, $H_2$ ..): anoxygenní (1 PS)

Světlá fáze fotosyntézy je celkem pečlivě vysvětlena v odst. 8.4.2 a 8.4.3 (učebnice str. 259 – 264).
Pojem anoxygenní fotosyntéza (učebnice str. 263) vysvětluje použití značky D v dolní části slidu.

Pozn.: Lithos je řecky kámen; lithotrofy získávají vodík (redukční činidlo) z anorganických látek a umějí si syntetizovat organické látky z $CO_2$. (v tomto smyslu jsou pojmy lithotrofní a autotrofní téměř identické).

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

## *temná fáze*

***sumárně*:**

$CO_2 + 2\ (NAD(P)H + H^+) + nATP \rightarrow (HCOH) + 2\ NAD(P)^+ + nADP + nP_i$

***tři fáze*** *(schematicky = bez ATP):*

- fixace: $C_5$ + $CO_2$ → $2\ C_3$

ribulosa-1,5-bisfosfát — 3-fosfoglycerát

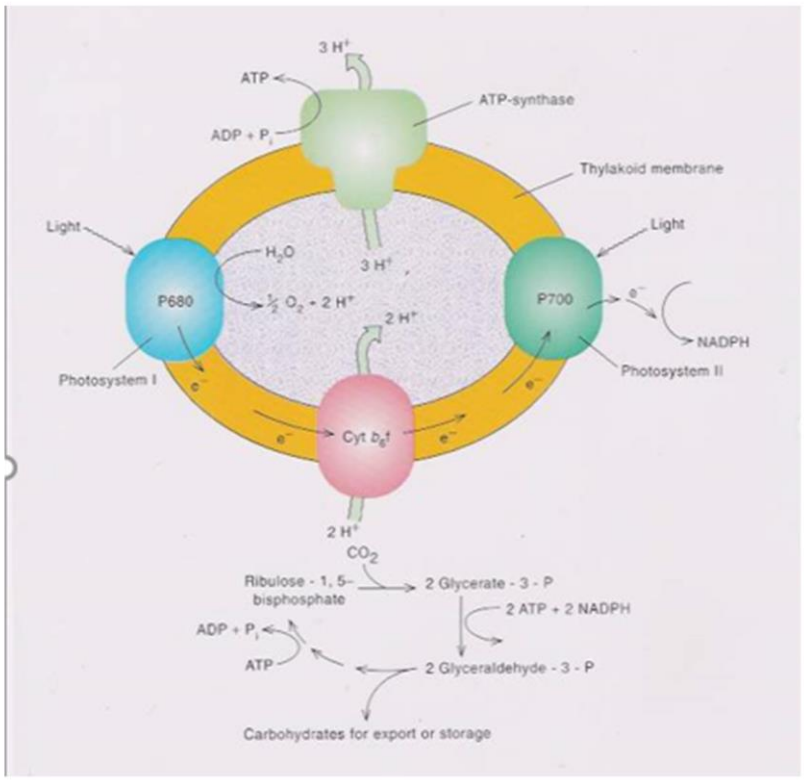
- synthesa $C_6$ (analogie glukogenese): $2\ C_3 + 2\ (NAD(P)H + H^+) \rightarrow C_6$

- regenerace akceptoru: $5\ C_3 \rightarrow 3\ C_5$ (Calvinův cyklus)

Temná fáze fotosyntézy podrobně popsána v odst. 10.10 (učebnice str. 315, následující dva slidy jsou pouze opakovací).

HCOH: Tento podivný útvar, za starých časů zvaný „monosová jednotka", je sumární rozdíl mezi triosou a tetrosou, mezi pentosou a hexosou atd.; jinými slovy: je to strukturní forma zabudovaného uhlíku v sacharidech

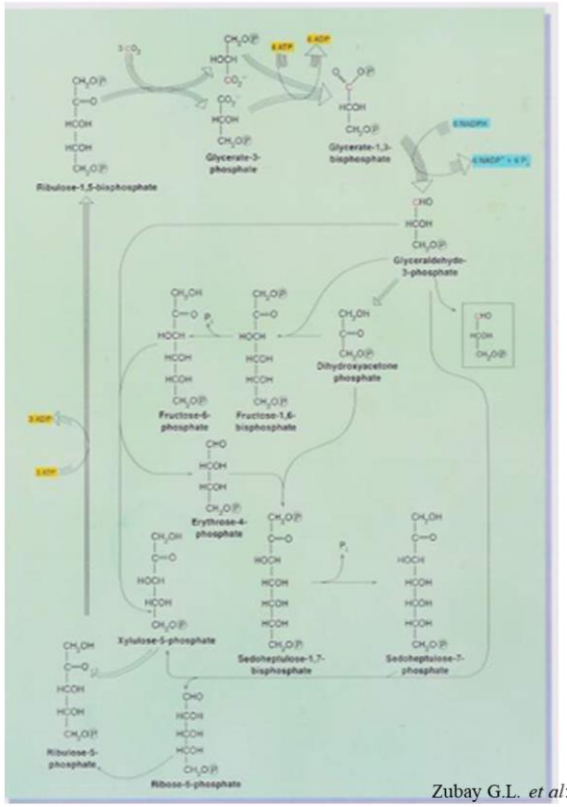
VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)




Zubay G.L. *et al*: Principles of Biochemistry, 1995

VŠCHT PRAHA
Nepřenositelný text (1)

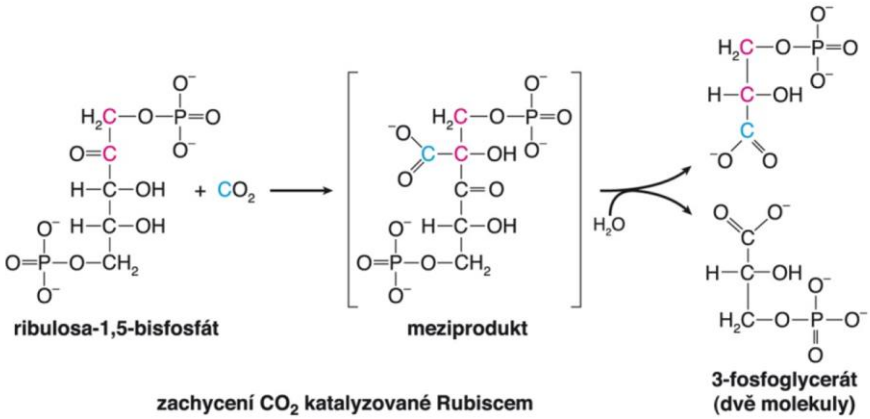
Schematické zobrazení světlé a temné fáze oxygenní fotosyntézy. Promyslete podrobně; bez pochopení tohoto schématu jsou další úvahy beznadějné.

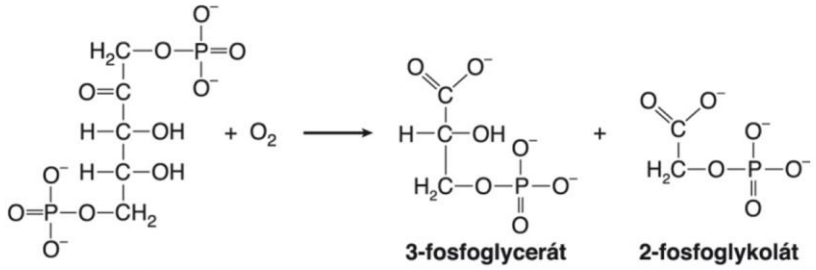


Zubay G.L. *et al*: Principles of Biochemistry, 1995

VŠCHT PRAHA
Nepřihlášený host (1)

Podrobné (pomocí vzorců) zobrazení Calvinova cyklu (zjednodušeně obr. 10.13, str. 316 učebnice). Tajná informace: U zkoušky je třeba umět pomocí vzorců nakreslit pouze horní část obr., tedy přeměnu ribuslosa-1,5-bisfosfátu na glyceraldehyd-3-fosfát; sluší se také porozumět přeměně ribulosy-5-fosfátu a ribulosu-1,5-bisfosfát a uvědomit si, jaký vliv na energetiku celého procesu dvojí hydrolytické odštěpení fosfátu.



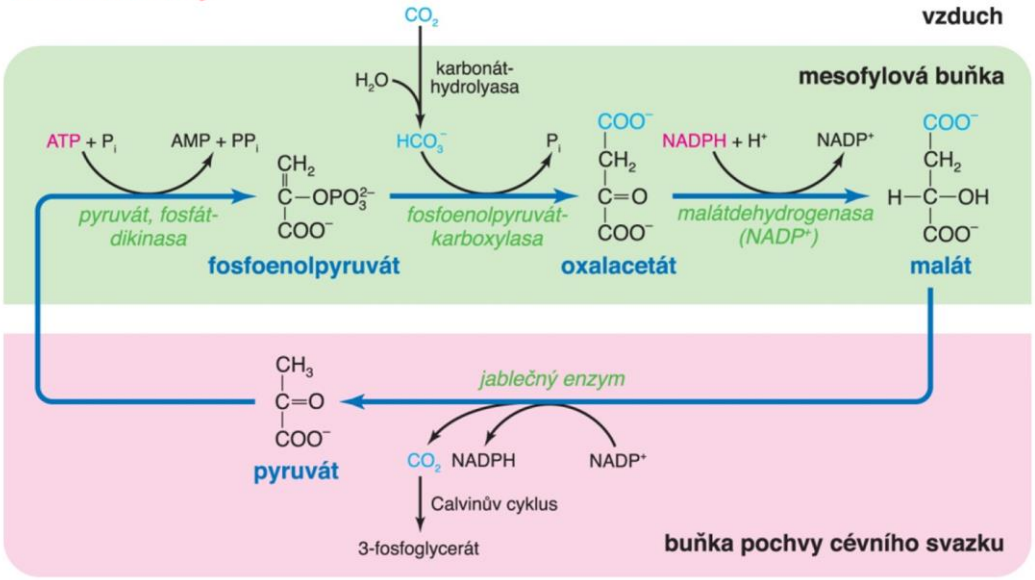




fotorespirace

VŠCHT PRAHA
Nepřiřazená položka (1)

Srovnání karboxylace a „fotorespirace“ (učebnice str. 315 a 317): obě reakce katalyzovány RuBisCem; „nekalá" soutěž $CO_2$ a $O_2$ o vazebné místo na enzymu ($O_2$ je ve vzduchu 500x víc); fotorespirací se ztrácí 20 – 40 %  dříve „pracně“ fixovaného $CO_2$. Jak tomuto z hlediska uhlíkové bilance rostliny nežádoucímu jevu zabránit? Viz další slide.

## C4-rostliny (oddělení v prostoru)




## CAM-rostliny (oddělení v čase)

přes den (dost ATP a NADPH): výroba škrobu z malátu (uložen ve vakuolách)
přes noc: štěpení škrobu na fosfoenolpyruvát a syntéza malátu (fixace $CO_2$)

Textový popis viz učebnice str. 318 a 319.

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# Vsuvka: Sekundární metabolismus

**Definice:** *Primární metabolismus*: děje nezbytné pro zajištění energie a syntézu základních složek; u všech organismů více-méně stejný.

*Sekundární metabolismus*: syntéza produktů, nemajících základní význam v ekonomice organismu; významný zejména u rostlin a mikroorganismů

**Příklady sekundárních matabolitů**:

alkaloidy (dusíkaté látky rostlin): zásobárna dusíku pro nepříznivá období
ochrana rostlin (silné a specifické účinky na živočišné organismy)
využití v medicíně, ale také jedy a návykové látky

barviva: anthokyaniny, karotenoidy, pyrrolová barviva (hem, cholesterol)

chinoidní látky: ubichinon, plastochinon, vitamin K

lignin: polymer (methoxyfenylpropanové jednotky), v jehličnanech až 50 % hmotnosti dřeva

kaučuk, antibiotika a tisíce dalších

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

| Typ metabolismu | Zdroj C | Hlavní způsob výroby NADPH | Zdroj H ($e^-$) | Konečný akcept. H ($e^-$) | Hlavní způsob výroby ATP | Příklady organismů |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FOTOLITHO-TROFY** | $CO_2$ | oxygenní fotosynthesa | $H_2O$ | $CO_2$ | | vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie |
| (autotrofní) | | anoxygenní fotosynthesa | $H_2S$, $H_2$, S | | membránová fosforylace ve světlé fázi | sirné purpurové a zelené bakterie |
| **FOTOORGANO-TROFY** | organ. | anoxygenní fotosynthesa | $H_2$ organické látky | různé organické | fotosynthesy | bezsirné purpurové bakterie |
| (heterotrofní) | látky | viz chemoorganotrofy | (mastné kys., sukcinát) | látky | membránová fosforylace (bakteriorhodopsin) | *Halobacterium halobium* |
| **CHEMOLITHO-TROFY** | $CO_2$ | redukce $NADP^+$ za užití ATP | $Fe^{2+}$, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $S^{2-}$, S, $H_2$, $CH_4$ | $O_2$ (aerobní) | | železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie |
| (autotrofní) | (fixace v Calvin. cyklu) | redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly | $H_2$ | $CO_2$, S, $Fe^{3+}$ (anaerobní) | membránová fosforylace | methanogenní b., desulfurisační b. |
| **CHEMOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF | organické látky ("živiny") | $O_2$ (aerobní) | aerobní membránová fosforylace | živočichové, plísně, octové bakterie .. |
| | | | | jiné extracelulární akceptory ($NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_2$, fumarát) (anaerobní) | anaerobní membránová fosforylace | denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie |
| | | | | meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující) | substrátová fosforylace (pouze) | laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia |

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# Fotolithotrofní mikroorganismy

U prokaryot: světlá fáze v cytoplasmové membráně, temná v cytosolu (kde taky jinde?)
bakteriochlorofyl (mírně odlišný od chlorofylu zelených rostlin, schopnost absorpce: 450 - 550 nm a v blízké IČ - 870 nm)

**anoxygenní fotosyntéza**: příklad: sirné bakterie (stačí jeden fotosystém):

při dostatku $H_2S$: $CO_2 + 2\ H_2S \rightarrow <HCOH> + 2\ S + H_2O$ (S se ukládá jako zásobní do vakuol)

při nedostatku $H_2S$: $2\ CO_2 + H_2S + 2\ H_2O \rightarrow 2 <HCOH> + H_2SO_4$ (chemická frajeřina: z jednoho atomu síry zisk 8-mi elektronů)
nebo ze zásob S: $3\ CO_2 + 2\ S + 5\ H_2O \rightarrow 3 <HCOH> + 2\ H_2SO_4$

u některých bakterií: redukce $NADP^+$ „zpětným tokem" $e^-$ ETC (slide č. 13)

# Fotoorganotrofy

synthesa ATP ve světlé fázi (jako všichni fototrofové); žijí tam, kde je dost organických látek (např. ve vrstvě vody pod hladinou moří, kam klesají látky z odumřelého planktonu), tak proč by se namáhali s jejich syntézou?

„bezchlorofylová fotosyntéza": u archeí, v membráně mají **bakteriorhodopsin** (aktivní transport $H^+$, čímž vytvářejí proton-motivní sílu – zdrojem energie světlo, viz předcházející prezentace o aktivním transportu), syntéza ATP pomocí ATP-synthasy; organotrofy:
nepotřebují redukční činidlo (NADPH nebo NADH pro redukco $CO_2$)
u extremních halofilů (vysoké pH a $[Na^+]$): bakteriorhodopsin pumpuje z buňky místo $H^+$ $Na^+$; místo protonmotivní síly „sodnomotivní síla"

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

| Typ metabolismu | Zdroj C | Hlavní způsob výroby NADPH | Zdroj H ($e^-$) | Konečný akcept. H ($e^-$) | Hlavní způsob výroby ATP | Příklady organismů |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FOTOLITHO-TROFY** (autotrofní) | $CO_2$ | oxygenní fotosynthesa | $H_2O$ | $CO_2$ | membránová fosforylace ve světlé fázi | vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie |
| | | anoxygenní fotosynthesa | $H_2S$, $H_2$, S | | | sirné purpurové a zelené bakterie |
| **FOTOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | anoxygenní fotosynthesa | $H_2$ organické látky (mastné kys., sukcinát) | různé organické látky | fotosynthesy | bezsirné purpurové bakterie |
| | | viz chemoorganotrofy | | | membránová fosforylace (bakteriorhodopsin) | *Halobacterium halobium* |
| **CHEMOLITHO-TROFY** (autotrofní) | $CO_2$ (fixace v Calvin. cyklu) | redukce $NADP^+$ za užití ATP | $Fe^{2+}$, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $S^{2-}$, S, $H_2$, $CH_4$ | $O_2$ (aerobní) | membránová fosforylace | železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie |
| | | redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly | $H_2$ | $CO_2$, S, $Fe^{3+}$ (anaerobní) | | methanogenní b., desulfurisační b. |
| **CHEMOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF | organické látky ("živiny") | $O_2$ (aerobní) | aerobní membránová fosforylace | živočichové, plísně, octové bakterie .. |
| | | | | jiné extracelulární akceptory ($NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_2$, fumarát) (anaerobní) | anaerobní membránová fosforylace | denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie |
| | | | | meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující) | substrátová fosforylace (pouze) | laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia |

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# CHEMOLITHOTROFY

## Aerobní

| Bakterie | Donor $e^-$ | Produkt | $\Delta G^{o'}$ (kJ/mol) | Poznámka |
|---|---|---|---|---|
| oxidující $H_2$ | $H_2$ | $H_2O$ | -237 | |
| bezbarvé sírné | $H_2S$<br>$S$, $S_2O_3^{2-}$ | (S zásoba)<br>$H_2SO_4$ | <br>-795 | biometalurgie, koroze trubek |
| nitrifikační | $NH_4^+$<br>$NO_2^-$ | $NO_2^-$<br>$NO_3^-$ | -271<br>-77 | koloběh N v přírodě |
| železité | $Fe^{2+}$ | $Fe^{3+}$ | -44 | ucpávání trubek, vznik železitých hornin |
| methanotrofní | $CH_4$ | $CO_2$ | | oxidují pouze jednouhl. látky |

**Parádní chemická finta:** Pomocí kyslíku tyto organismy oxidují nějaké redukční činidlo (zde „donor elektronů“), čímž získají jak energii (exergonická reakce, viz **$\Delta G^{o'}$**) pro aktivní transport protonů (vznik PMF) a následnou membránovou fosforylaci, tak i elektrony pro redukci $NAD(P)^+$ za vzniku NAD(P)H, potřebného pro redukci $CO_2$ a syntézu organických látek.
Musejí samozřejmě žít tam, kde redukční činidlo i $O_2$ jsou k disposici; na druhé straně, v takovýchto nikách není velká konkurence ostatních organismů.

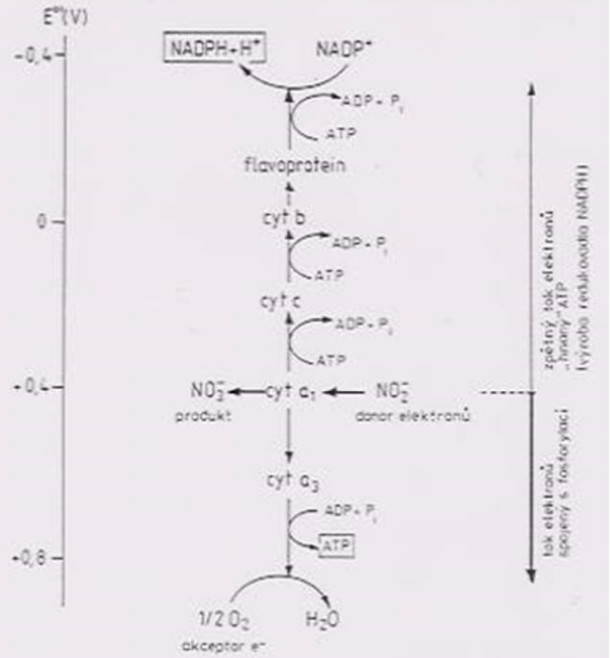
VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

## Synthesa NADPH:

## opačný tok elektronů ETC

## (elektron-transportním

## řetězcem) hnaný ATP




Respirační řetězec a opačný tok elektronů „hnaných" ATP u *Nitrobacter*

Vodrážka Zd.: Biochemie, 1993

**Jedna z fint, jak získat NADPH:**
Dusitanové ionty se oxidují na dusičnanové. Část elektronů putuje po spádu redoxního potenciálu (na obr. dolů), aby posléze zredukovaly kyslík; energie tohoto transportu je využita k aktivnímu transportu $H^+$, vzniku PMF a následné membránové fosforylaci; vzniká tak ATP.

Jiné elektrony postupují z hlediska redoxního potenciálu opačným směrem (zde nahoru). Přes přenašeče elektronů (zde cytochromy c a b a flavoprotein) dospějí až k $NADP^+$, který zredukují na NADPH. Tento tok elektronů je endergonický; k jeho „pohonu" se využívá ATP, vzniklé při výše popsané membránové fosforylaci. *Kdo tohle vymyslel, musel fyzikální chemii dost umět!!*

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

## Anaerobní

donorem $e^-$ (redukčním činidlem) je vždy plynný $H_2$ => žijí v konsorciích s bakteriemi produkujícími $H_2$ (viz slide 21)

produkce NADPH: redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly (viz předchozí slide)

| **Bakterie** | **Akceptor $e^-$** | **Produkt** | **Poznámky** |
|---|---|---|---|
| methanogenní | $CO_2$ | $CH_4$ | mohou též redukovat $CH_3COO^-$ a $HCOO^-$<br>anaerobní čištění odpadních vod |
| bezbarvé sirné | $SO_4^{2-}$ | $H_2S$, S | |
| železité | $Fe^{3+}$ | $Fe^{2+}$ | |

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

| Typ metabolismu | Zdroj C | Hlavní způsob výroby NADPH | Zdroj H ($e^-$) | Konečný akcept. H ($e^-$) | Hlavní způsob výroby ATP | Příklady organismů |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **FOTOLITHO-TROFY** (autotrofní) | $CO_2$ | oxygenní fotosynthesa | $H_2O$ | $CO_2$ | membránová fosforylace ve světlé fázi | vyšší zelené rostliny, sinice, prochlorobakterie |
| | | anoxygenní fotosynthesa | $H_2S$, $H_2$, S | | | sirné purpurové a zelené bakterie |
| **FOTOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | anoxygenní fotosynthesa | $H_2$ organické látky (mastné kys., sukcinát) | různé organické látky | fotosynthesy | bezsirné purpurové bakterie |
| | | viz chemoorganotrofy | | | membránová fosforylace (bakteriorhodopsin) | *Halobacterium halobium* |
| **CHEMOLITHO-TROFY** (autotrofní) | $CO_2$ (fixace v Calvin. cyklu) | redukce $NADP^+$ za užití ATP | $Fe^{2+}$, $NH_4^+$, $NO_2^-$, $S^{2-}$, S, $H_2$, $CH_4$ | $O_2$ (aerobní) | membránová fosforylace | železité, nitrifikační a bezbarvé sirné bakterie |
| | | redukce $NADP^+$ na úkor proton-motivní síly | $H_2$ | $CO_2$, S, $Fe^{3+}$ (anaerobní) | | methanogenní b., desulfurisační b. |
| **CHEMOORGANO-TROFY** (heterotrofní) | organ. látky | pentosový cyklus + "pomocné" reakce: isocitrátdehydrog. malátdehydrog. (jablečný enzym) glutamátdehydrog. + redukce $NADP^+$ pomocí NADH na úkor PMF | organické látky ("živiny") | $O_2$ (aerobní) | aerobní membránová fosforylace | živočichové, plísně, octové bakterie .. |
| | | | | jiné extracelulární akceptory ($NO_3^-$, $SO_4^{2-}$, $CO_2$, fumarát) (anaerobní) | anaerobní membránová fosforylace | denitrifikační, desulfurizační, acetogenní a sukcinogení bakterie |
| | | | | meziprodukty metabolismu (pyruvát, acetaldehyd,...) (fermentující) | substrátová fosforylace (pouze) | laktobacily, kvasinky, škrkavky, klostridia |

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# CHEMOORGANOTROFY

**Aerobní:** prototyp: savčí buňky, také aerobní kvasinky, plísně apod. (učebnice odst. 7.3, str. 228 – zcela povinné!)

v nadbytku živin někdy nedospějí až k $CO_2$ a $H_2O$ (tzv. „nepravé fermentace“, využíváno v biotechnologiích, základní živina: glukosa)

např.: výroba kys. citronové a fumarové (povinná úvaha: naznačte metabolickou dráhu glc → citrát, vzpomeňte si na pyruvát-malátový cyklus)

výroba kys. glukonové (odhadněte metabolickou dráhu!)

octové kvašení: $CH_3CH_2OH + O_2 \rightarrow CH_3COOH + H_2O$ (výroba octa, nepřítel všech vinařů)

**Anaerobní respirující**: jiný extracelulární akceptor H ($e^-$) než $O_2$: (anaerobní respirace, učebnice odst. 8.3, str. 255)

| | |
|---|---|
| $NO_3^- \rightarrow NO_2^- \rightarrow N_2O \rightarrow N_2 \rightarrow NO_3^-$ | denitrifikační bakterie |
| $SO_4^{2-} \rightarrow S \rightarrow H_2S$ | desulfurizační bakterie |
| $CO_2$ ($HCO_3^-$) $\rightarrow CH_3COO^-$ | acetogenní bakterie |
| fumarát → sukcinát | sukcinogenní bakterie |

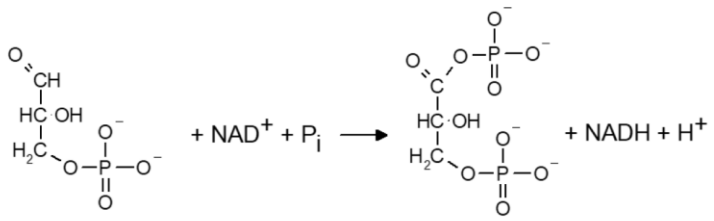
**Fermentující** (v biochemickém pojetí)**:** anaerobní chemoorganotrofové, kteří:

- nepřijímají oxidační (ani redukční) činidla z vnějšího prostředí (probíhají zde samozřejmě vzájemné oxidačně-redukční reakce meziproduktů metabolismu)
- neprovozují membránovou fosforylaci (nemají ETC) → ATP vzniká pouze substrátovou fosforylací

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

**Problém fermetujících buněk: jak reoxidovat NADH vzniklý v glykolyse**

**Jinými slovy: jak regenerovat regenerace $NAD^+$ pro reakci (bez ní by glykolysa neběžela):**




**Možnosti této regenerace (zajímavé příklady):**

mléčná (laktátová) fementace (závěr tzv. anaerobní glykolsy, učebnice obr. 10.5 str.299):

$$CH_3\text{-}CO\text{-}COO^- + NADH + H^+ \xrightarrow{\text{laktátdehydrogenasa}} \mathbf{CH_3\text{-}CHOH\text{-}COO^-} + NAD^+$$

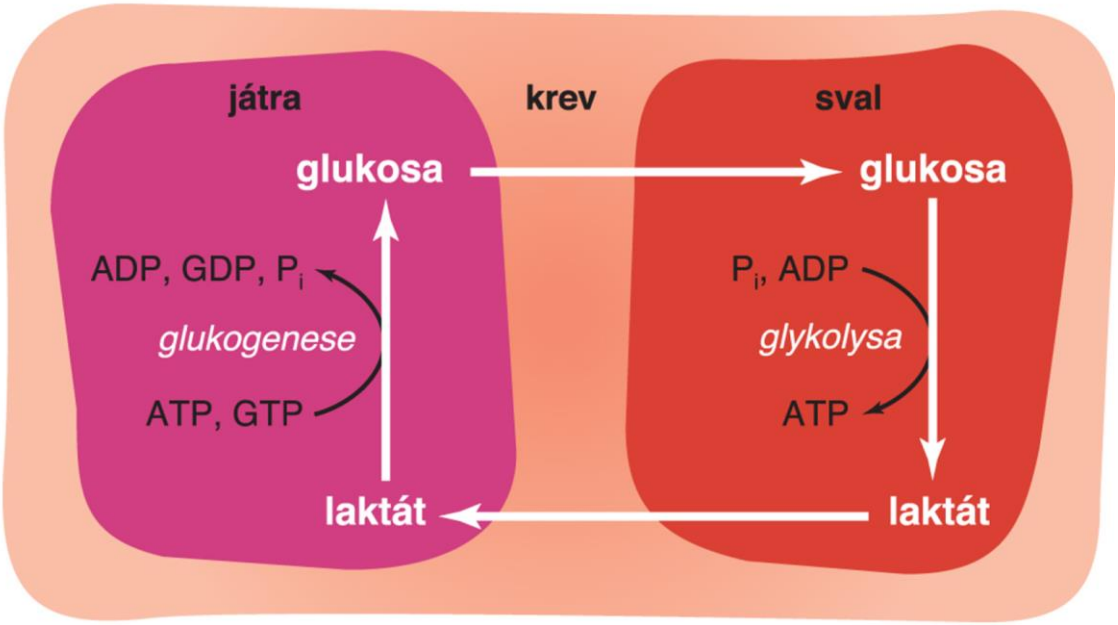
mléčné bakterie (laktobacily) – specialisté, laktátová fermentace je jejich hlavní katabolická dráha, výroba kyselého zelí apod.

některé buňky aerobních chemoorganotrofů (využívají Coriho cyklus):

- svalové buňky při nedostatku $O_2$
- červené krvinky („pseudobuňky“ bez mitochondrie, vsuvka 6/10, str. 192)

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# CORIHO CYKLUS




Viz učebnice str. 305, totéž platí samozřejmě pro červené krvinky
Rozvažte, jak je tato šaráda (dráha od glukosy ke glukose) z energetického hlediska celkově výhodná (či nevýhodná); energetické nároky membránového transportu pro tuto chvíli zanedbejte!

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

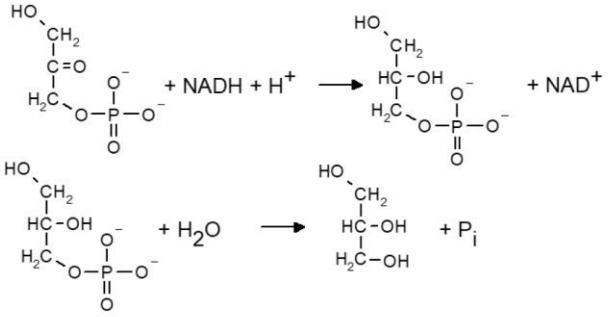
**ethanolová fermentace** (alkoholové kvašení, nejstarší a nejvýznamnější biotechnologie (světově 75 % zisku tohoto průmyslového odvětví, učebnice obr. 10.5 str.299):

$CH_3\text{-}CO\text{-}COO^- + H^+ \rightarrow CH_3\text{-}CHO + CO_2$ (pyruvátdekarboxylasa)

$CH_3\text{-}CHO + NADH + H^+ \rightarrow \mathbf{CH_3\text{-}CH_2OH} + NAD^+$ (alkoholdehydrogenasa)

za anaerobních podmínek zajišťují vinné (též pivní) kvasinky *Saccharomyces cerevisiae,* za aerobních podmínek tyto kvasinky glukosu plně zoxidují (jsou fakultativně anaerobní)

**glycerolová fermentace**:




**Neubergův typ nefysiologické fermentace** (kvasinka *S. cerevisiae*)

V prostředí přítomen disiřičitan sodný ($Na_2S_2O_5$), který reaguje s acetaldehydem a zabrání jeho dehydrogenaci (viz výše)

klasická metoda výroby glycerolu (dnes synthesou a jako odpad při zpracování triacylglycerolů)

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

**fermentace vycházející z acetyl-CoA**

$CH_3$-CO-$COO^-$ + HSCoA → **$CH_3$-CO-SCoA** + $CO_2$ + $H_2$

uvolňování vodíku - viz anaerobní chemolithotrofy (slide 15), většina střevních bakterií

dále dvě možnosti:

**A:** $CH_3$-CO-SCoA + NADH + $H^+$ + $H_2O$ → $CH_3$-CHO + HSCoA + $NAD^+$

$CH_3$-CHO + NADH + $H^+$ → $CH_3$-$CH_2OH$ + $NAD^+$

Jedna molekula acetyl-CoA umožní oxidaci dvou molekul NADH → jeden acetyl-CoA lze použít na substrátovou fosforylaci (acetylCoA-ligasa, srov. sukcinylCoA-ligasovou reakci z citrátového cyklu):

acetyl-SCoA + ADP + $P_i$ → $CH_3$-$COO^-$ + HSCoA + ATP

**B:** kondensace 2 acetyl-SCoA → acetoacetyl-SCoA (jen naznačeno)

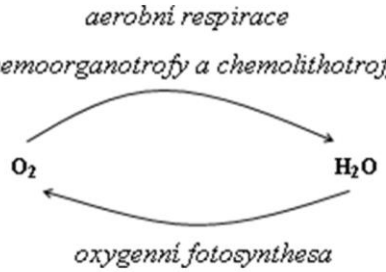
poté redukce za vzniku různých produktů: kys. máselné, 1-butanolu, acetonu, 2-propanolu apod.

výroba organických rozpouštědel, zejména v 1. pol. 20.století (dnes hlavně petrochemicky)

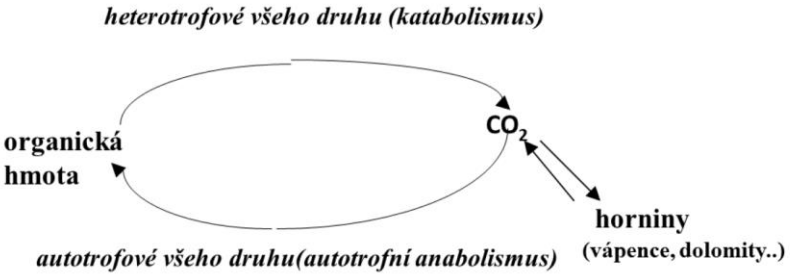
VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# KOLOBĚH PRVKŮ V PŘÍRODĚ

**kyslík**



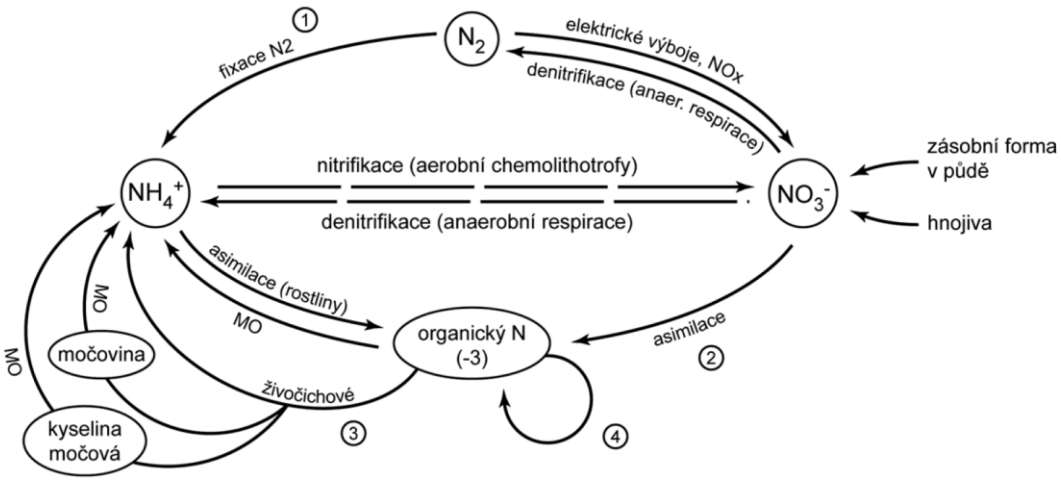

**uhlík**




Bez komentáře: Tomu rozumí každé malé dítě!!!

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# dusík

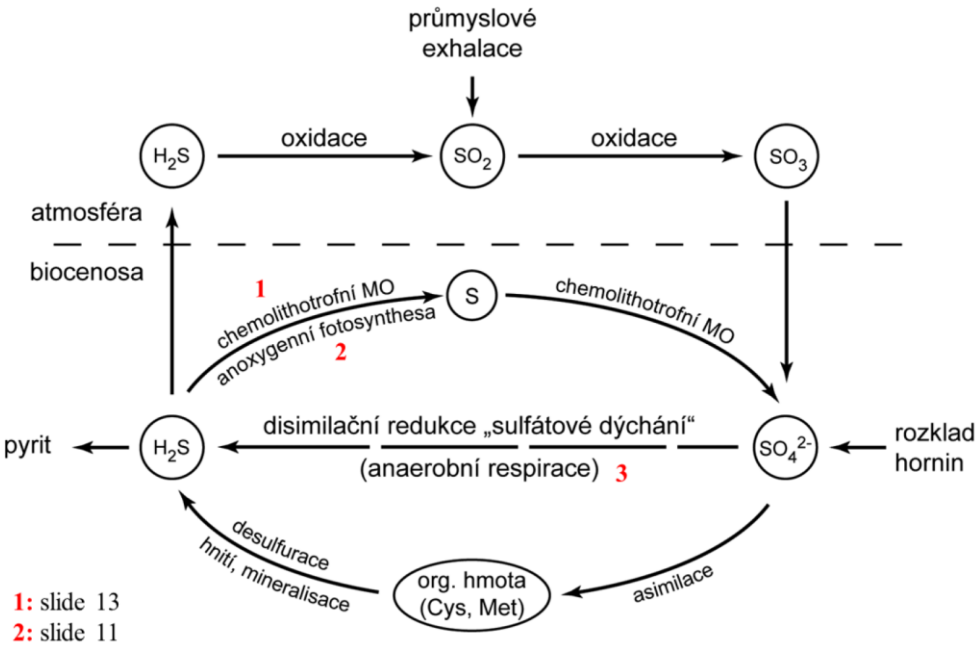



Viz obr. 12.1 (učebnice str. 342)

nitrifikace: slide 13, denitrifikace: slide 17

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)

# síra




**1:** slide 13
**2:** slide 11
**3:** slide 17

VŠCHT PRAHA
Nepihlášený host (1)