

Mikrobiální ekologie vody

3. Metabolismus uhlíku



PřFUK, Katedra ekologie
Josef K. Fuksa, VÚV T.G.M.
josef_fuksa@vuv.cz

© JKF 2008

Základní dělení:

ZDROJ UHLÍKU:

- CO₂: **AUTOTROFNÍ**
- C-org.: **HETEROTROFNÍ**

ZDROJ ENERGIE:

- Chem. reakce/oxidace: **CHEMOTROFNÍ**
chemoheterotrofní, chemolithotrofní
- (sluneční) záření: **FOTOTROFNÍ**
fotoheterotrofní, fotolithotrofní

Organický uhlík:

- **Zdroje:** Fotosyntéza, chemosyntéza, umělé/průmyslové látky.
- Stav v přírodě :
Různé (velmi různé) stadiu „dalších procesů po fotosyntéze“.
- Variabilita – podle typů biotopů, podle cyklů (denní, sezónní).
- **Recyklace C_{org.}** :
- Exkrece během fotosyntézy, změny společenstev fytoplanktonu, grazers activity, aktivita virů (lyze)....

Organický uhlík ve vodních ekosystémech:

Ve vodách (toky, nádrže) je prakticky vždy >> 80% C_{org.} jako DOC.

Prokaryota využívají DOC

/ DOC využívají hlavně Prokaryota.

Partikulace C_{org.} (DOC):

LINK or SINK ??
FOOD CHAIN or LOOP

Produkce a přísun C-org.:

Autochtonní – PP – fytoplankton, fytobentos, makrofyta

Alochtonní – produkce mimo systém:

- Vzdušný transport (pyl, prach).
- Opad a přísun z břehů.
- Znečištění – bodové, nebodové.
- Nespecifický C-org., specifické látky.

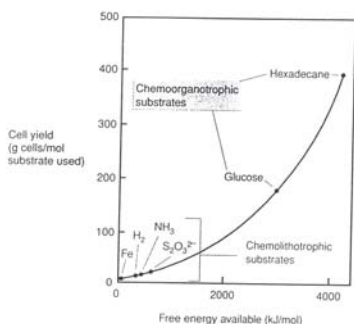
Rozlišení A/A je problém v prostoru a čase (jezera vs. řeky apod.).

Využitelnost zdroje C-org. (substrátu) organismem:

- **Obecné vlastnosti systému** – teplota, záření, toxické vlivy.
- **Disperze a šíření substrátu.**
- **Chemické vlastnosti substrátu:**
 - *Stupeň oxidace (H-COOH, oxalát, CO, CH₄)*
 - *Prostorová struktura (přírodní D-glycidy, L-aminokyseliny).*
 - *Fyzikální stav substrátu, adsorpce, polymery*

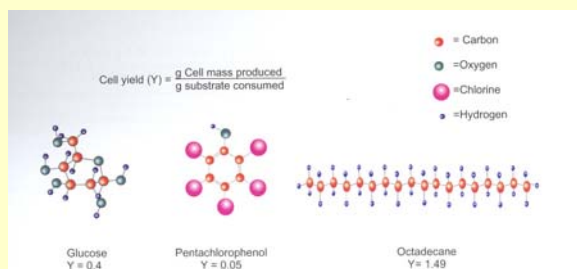
Yield a substráty

POZOR:
Záleží také na dostupnosti substrátu !



Yield a substráty

(obsah a vazba C, konfigurace, ochranné skupiny)



Využitelnost zdroje C-org.:

- **INOKULUM:**
- Disperze a šíření inokula – s prouděním media apod.
- Vlastnosti inokula – směs kmenů, jednotlivé kmeny/kultury.
- Enzymová výbava vs. další faktory:
- Akceptor elektronů, stopové látky....
- Adaptace – viz dále

Zdroje C-org.:

- Organické kyseliny (soli).
- Sacharidy, polysacharidy.
- Lipidy.
- Aminokyseliny, peptidy, bílkoviny.
- Obecně: Polymery, oligomery, monomery.
- Polymery – štěpení mimo buňku, transport oligomerů.

POLYMERY v přírodě:

Celulóza	až 1,8 10 ⁶	Glukóza	β -1- 4
Hemicelulóza (pektin)	40000	Glukóza + kys. methylgalakturonová	
Škrob			
Amylopektin – větvený		Glukóza	α - 1 - 4 α - 1 - 6
Amylóza – lineární		Glukóza	α - 1 - 4
Chitin		N-acetylglucosamin	β -1- 4
Peptidoglykan		NAG-NAM + další	β -1- 4
		(acetylglucosamin + N-acetylmuramová kys.)	
Lignin		Tyrosin + phenylalanin / fenypropen. jednotky	

Štěpení polymerů mimo buňku:

Extracelulární enzymy:

- Reagují se substrátem mimo buňku.
- Většinou hydrolázy – štěpí polymery.
- **Ektoenzym:** přešel cytoplasmatickou membránou „ven“, ale připojen k buňce.
- **Extracelulární enzymy:** v „prostoru“.

Původ EE:

- Produkce živými buňkami (bakterie).
- Poškozené / mrtvé buňky – nejen bakteriální!
- Exkrece - od savců po prvky.
- Svlékáci enzymy.

Extracelulární enzymy:

Pravděpodobnost zásahu:

- Ektoenzym - obecně nízká
- Extracelulární enzym - vyšší – může se „lokalizovat“.

Pravděpodobnost návratu „produktu“:

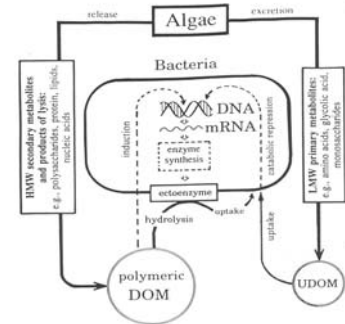
- Ektoenzym - obecně vyšší.
- Extracelulární enzym - může být vysoká v přisedlých systémech !!
- Další kouzla přisedlého růstu.

Extracelulární enzymy:

- Glykolázy.
- Glukosidázy (α , β).
- Acetylglukosaminidázy (chitin, svlékání).
- Aminopeptidázy.
- Fosfatázy – alkalické, kyselé.

Extracelulární enzymy:

- Funkční charakteristika systému, snadno se analyzují.
- Funkce v systému vs. inaktivace.
- Imobilizace huminovými látkami.
- Sorpce na povrchy – výhoda/nevýhoda.
- Inhibice – kompetitivní (afinita k substrátu), nekompetitivní.
- Regulace – katabolická represe/dereprese.



Regulace EEA podle produkce EPP

Regulace a adaptace

- Informace o substrátu: Pasivní (přisedlý růst), chemotaxe.
- Gradient vs. velikost buňky.
- Jak pozná buňka polymer?? Teorie – konstitutivní enzym + regulace.

Adaptace:

- Genotypová: mutace >> růst mutantů.
- Fenotypová:
- změny enzymové aktivity – inhibice/aktivace enzymů.
- změny rychlosti syntézy enzymů – indukce, represe.

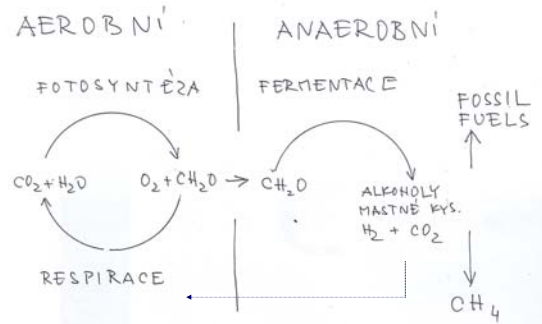
Co určuje vývoj společenstev a environmentální historii:

- Variabilita (+ obecně produktivita) přísunu/dostupnosti zdrojů „potrav“.
- Variabilita druhového složení, četností a síly interakcí, ve společenstvu.
Jak je to u bakterií ???
- Variabilita základních abiotických faktorů.
- Variabilita v čase a prostoru.
- Kontrola: Za nedostatku top-down, jinak bottom-up.

Vztah populace ke koncentraci substrátu:

Vztah k S	OLIGOKARBOFILNÍ	KOPIOTROFNÍ
Původ	AUTOCHTONNÍ	ALLOCHTONNÍ
Růst na mediích	Nukultivovatelné Viable / nonculturable VBNC	Kultivovatelné Viable / culturable
Charakteristiky:		
K	nízká	vysoká
„u-max	nízká	vysoká
V-max	nízká	vysoká
Vyhrává/kontroluje	nízké S K -spec.	vysoké S „r -spec.“

Jak je to s tím uhlíkem??



Heterotrofní metabolismus bakterií:

- Autotrofní je ZATÍM ve vnitrozemských vodách považován za relativně nevýznamný, tedy kromě Cyanobakterií.
- Bakteriální produkce – primární – partikulace TOC (Link or Sink?)
- Nespecifický a specifický C-org. Kometabolismus „xenobiotik“ vyžaduje „nespecifické substráty“ ..



Heterotrofní metabolismus:

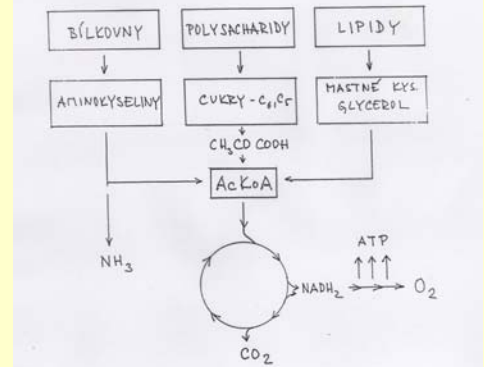
RESPIRACE:

- Respirace aerobní: TEA kyslík jako O_2 .
- Respirace anaerobní: TEA kyslík v molekule anorg. sloučeniny – NO_3 , SO_4 , = respirace nitrátu, sulfátu, ...

FERMENTACE:

- Donor i akceptor e je C-org.

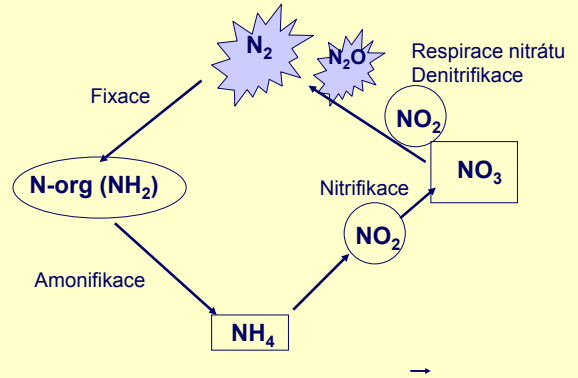
Heterotrofní metabolismus (katabolický):



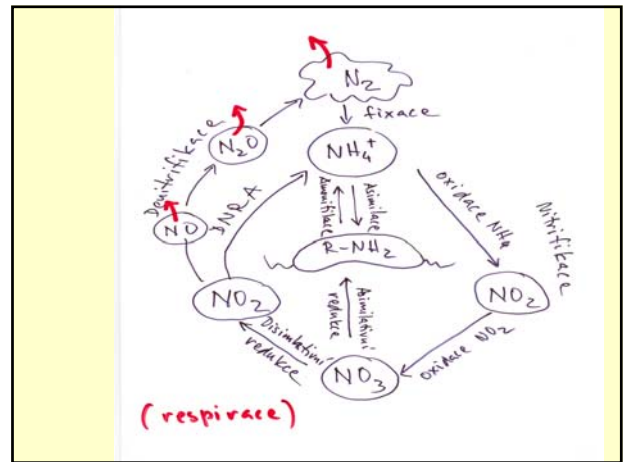
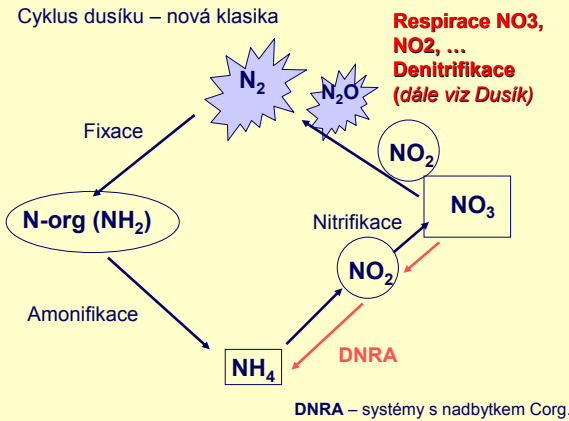
Respirace nitrátu:

- $\text{NO}_3 > \text{NO}_2$ – běžná schopnost
- **DENITRIFIKACE:**
 $\text{NO}_3 > \text{NO}_2 > (\text{NO}, \text{N}_2\text{O}) > \text{N}_2$
- **DNRA** – disimilativní redukce na NH_4
 $\text{NO}_3 > \text{NH}_4$
- Asimilativní redukce NO_3 :
 $\text{NO}_3 > \text{NO}_2 > \text{NO} > (\text{NOH}) > \text{NH}_2\text{OH} > \text{NH}_3$
- Další viz 6. Dusík.

Cyklus dusíku – klasické schéma



Cyklus dusíku – nová klasika



Respirace nitrátu:

- Anoxické prostředí.
- V agregátech (konsorciích) při „pozitivní“ koncentraci O_2 v systému.
- V půdě ztráta/škoda, ve vodě se považuje za pozitivní.
- Snížení přísunu C-org. a odpojení od nivy a hyporheálu – snížení podmínek pro denitrifikaci v řece. **NO_3 paradox.**
- *Thiobacillus denitrificans*: autotrofní, denitrifikující, produkce H_2SO_4 .

Další viz „DUSÍK“.

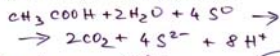
Respirace sulfátu

- Striktně anerobní.
- SRB - Málo kmenů, specialisti:
- *Desulfovibrio*, *Desulfomonas* >> acetát.
- *Desulfotomaculum* > CO_2
- Substráty:
 mastné kys., pyruvát, **acetát**, laktát.

Redukce síry

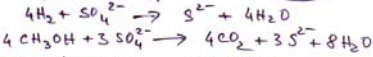
Disimilativní redukce SO_4^{2-}

Respirace S - anaerobní
Desulfotomomas acetooxidans



Sulfát jako TEA:

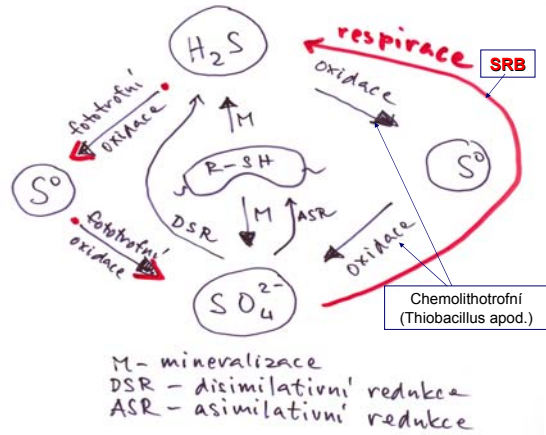
Respirace SO_4^{2-} (SRB)



Substráty SRB:
acetát
laktát
pyruvát
atd.

konzórcia
SRB
fermentující
metanogenní

$CO_2 + CH_4$
kompetice - o substráty
(specialisti)



Pak už jen fermentace

- Základní předpoklad:
- Fermentace jsou energeticky pozitivní jen je-li odčerpáván vodík.



Methanogeneze – při $[H_2] > 1 \mu mol$

Methanogeneze vs. Desulfurikace v akvatických ekosystémech:

Desulfovibrio má vyšší afinitu k H_2 i k acetátu než methanogeni, ale je limitováno TEA, čili SO_4^{2-} .

Kdo vítězí?

Sladké vody – limitace SO_4^{2-} , METANOGENEZE.

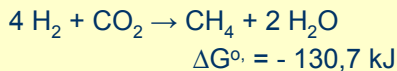
Moře – nadbytek SO_4^{2-} , DESULFURIKACE.

ALE: Methanogeneze z trimethylaminu,

Methan a C1

• Metanogeneze

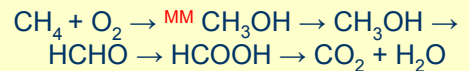
(obligátně anaerobní archaeobacteria):



- TEA : CO_2
- Také heterotrofně – acetát, laktát, formiát.

Methan a C1

Metanotrofie:



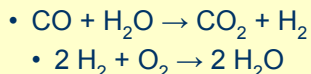
(MM – methane monooxygenase – aerobní kometabolismus TCE)

•

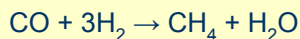
Methan a C1

Metylotrofie (CO a C1 sloučeniny):

- **Aerobně** (*Pseudomonas carboxylflava*):



- **Anaerobě** (*metanogenní b*):



EMISE do atmosféry:

- **Methan:**

81-86% biogenní, 50% mokřady a rýžová pole.

- **CO:**

Abiotická – fotochemická oxidace methanu a C1 a spalování (1 : 1).

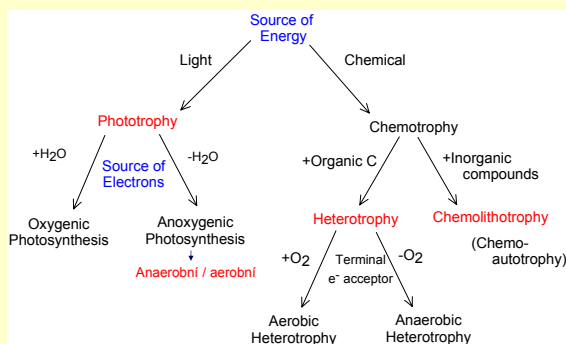
- Destrukce CO: abiotická v atmosféře, biotická v půdě.

- **N₂O** : nitrifikace, denitrifikace. Skleníkový efekt, destrukce ozónu.

Oxidace H₂ (chemoorganotrofové):

Mikrob :	TEA:
<i>Pseudomonas facilis</i>	O₂
<i>Paracoccus denitrificans</i>	NO₃⁻
<i>Desulfovibrio</i>	SO₄
<i>Methanobacterium</i>	CO₂

Autotrofové jsou důležití !



Oxidace anorganických sloučenin – malý zisk energie

	$\Delta G_0'$ (kJ/mol)
$\text{HS} + \text{H}^+ + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O}$	-203
$\text{S}^0 + \frac{1}{2} \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SO}_4^{2-} + 2\text{H}^+$	-589
$\text{NH}_4 + 1 \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_2^- + 2\text{H} + \text{H}_2\text{O}$	-260
$\text{NO}_2^- + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{NO}_3^-$	-76
$\text{H}_2 + \frac{1}{2} \text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$	-238
$\text{Fe}^{2+} + \text{H}^+ + 1/4\text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	-71

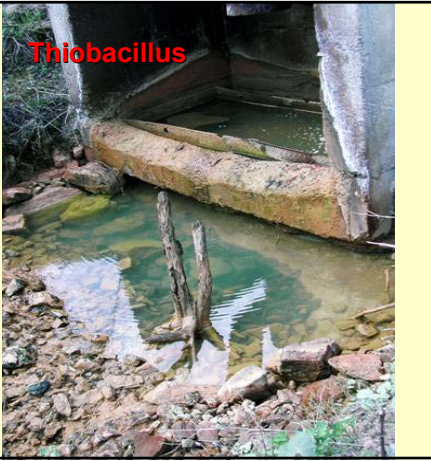
Aerobní oxidace glukózy $-2823 \text{ kJ mol}^{-1}$

Brock text book

Chemolithotrofie

Zdroj E	Zdroj C	
$\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_2$ $\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$	CO ₂	Nitrosomonas Nitrobacter
$\text{S}^{2-}, \text{S}, \text{S}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$	CO ₂	Thiobacillus spp.
$\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$	CO ₂	Th. ferrooxidans Leptothrix, Sphaerotilus, Gallionella
$\text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O}$ $\text{CO} \rightarrow \text{CO}_2$	CO ₂	„Hydrogenomonas”, <Desulfovibrio, Paracoccus>

Thiobacillus



Příště: METODY

