

EKOLOGIE MIKROORGANISMŮ

6

Interakce mezi mikroorganismy

Symbióza

- **symbióza** (sym - „spolu“ a bios - „život“) - jakékoli úzké soužití/vztah dvou a více organismů...
- 1877 - pojem symbióza -botanik Albert Bernhard Frank označení koexistence různých organismů
- 1879 de Bary v roce "soužití nestejnomených organismů"
- termín symbióza se často používá pouze ve smyslu oboustranně výhodného soužití, ačkoliv ve skutečnosti zahrnuje veškeré modely soužití
- zahrnuty jak mutualistické, tak parazitické vztahy, včetně přechodů mezi těmito dvěma krajními možnostmi
- symbióza, nebo také **symbiotická interakce** či **asociace** je velice častá
- evoluční význam - endosymbiotické teorie (vznik eukaryotické b.symbiózou dvou odlišných prokaryotických buněk)
- funkce symbiózy jsou rozličné, někdy si symbionti vyměňují organické a anorganické látky, jindy si například poskytují ochranu či jiné služby

Na mezidruhové úrovni je známo množství asociací mezi autotrofními řasami či vyššími rostlinami s houbami a jinými heterotrofními organismy, či například lišejníky (z houbové a řasové či sinicové složky)



Sl. No.		Interaction	Species A	Species B
<i>Positive Interaction</i>	1	Mutualism	+	+
	2	Commensalism	+	0
	3	Proto-cooperation	+	+
<i>Positive Interaction</i>	4	Ammensalism	0	-
	5	Parasitism	+	-
	6	Predation	+	-
	7	Cannibalism	+	-
	8	Competitions	-	-

Interakce mezi mikrobi

- pozitivní nebo negativní interakce
- „neutralismus“ je vzácný a možná i nemožný
- podle Alleeho principu (1949 - popisuje vztah mezi hustotou populace a jejím růstem) se v jedné populaci se mohou vyskytovat pozitivní i negativní interakce v závislosti na hustotě populace
- pozitivní interakce zvyšuje rychlost růstu populace
- negativní interakce má opačný efekt
- pozitivní interakce převládá při nízké hustotě populace
- negativní při vysoké hustotě populace
- výsledkem je optimální hustota populace s maximální růstovou rychlostí

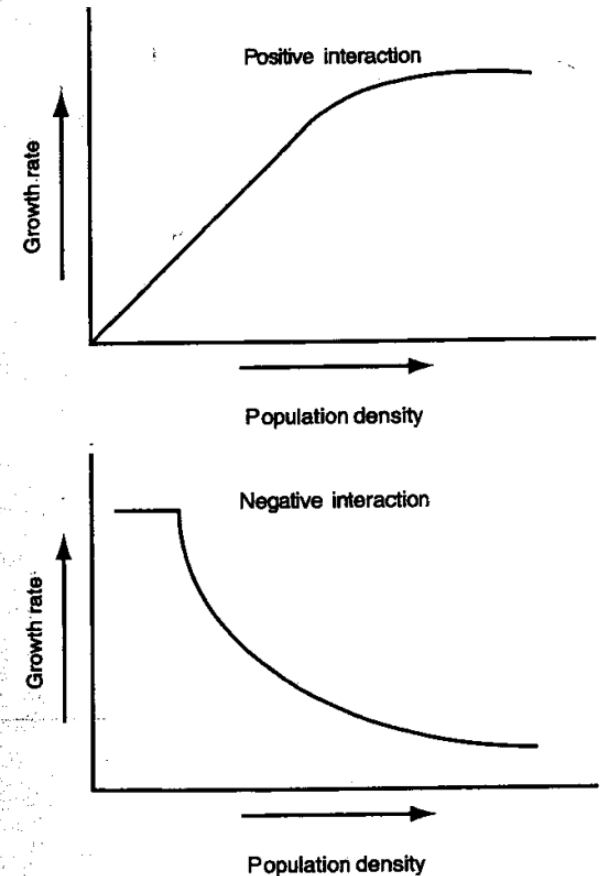


Figure 3.1
Effects of independent positive and negative interactions on growth rate within a single population with increasing population density.

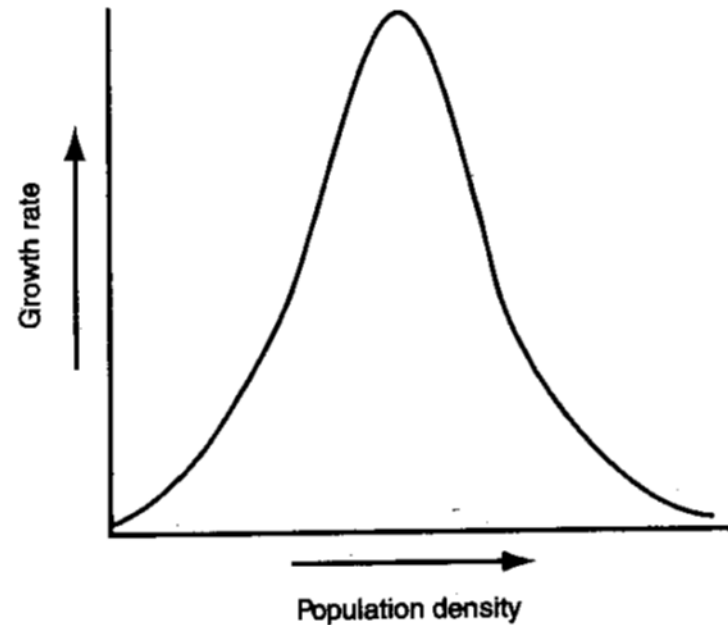


Figure 3.2
Combined effect of positive and negative interactions within a single population. The growth rate indicates an optimal population density. At low population densities, positive interactions predominate; at high population densities, negative interactions are dominant.

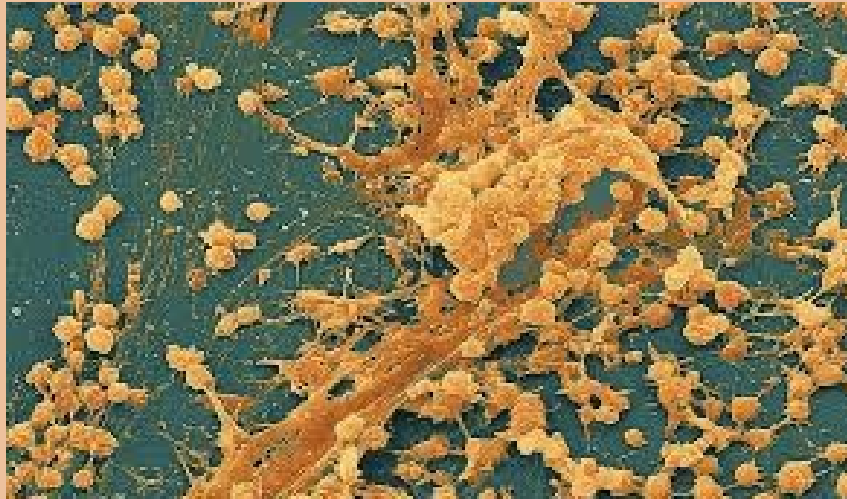
- pozitivní interakce - lepší využití zdrojů a obsazení prostředí, které by jinak nemohlo být osídlené
- „mutualismus“ (symbióza) vytváří nový konkurenčně výhodnější organismus, schopný obsadit místo, které by žádný se zúčastněných organismů nebyl schopen obsadit sám o sobě
- kombinace fyzikálních a metabolických schopností zesilující růst a/nebo přežití, utlumení stresu
- negativní interakce - seberegulační mechanismus omezující hustotu populací
- neg. interakce jsou užitečné pro zúčastněné druhy - brání „přeplnění“ a destrukci prostředí a následnému vymření zúčastněných druhů

Pozitivní interakce

- založeny na spolupráci a na hustotě
- význam spolupráce - prodloužená lag fáze či případně kompletní absencí růstu při použití příliš malého inokula (u náročných organismů)
- minimální infekční dávka některých patogenních mikroorganismů (*Coxiella* - Q horečka, *Salmonella*)
- semipermeabilní buněčná stěna – únik nízkomolekulárních meziproduktů metabolismu nezbytných pro biosyntézu a růst
- ve větší populaci zvýšená koncentrace těchto látek zabrání dalšímu úniku a umožní jejich zpětnou absorpci
- dostatečně velké inokulum - změni zpočátku nepříznivé podmínky prostředí (redox potenciál), pomůže i sterilní filtrát obohacovací kultury
- růst bakterií v koloniích – i pohyblivé rostou v koloniích (někdy pohyb či rotace kolonií – účinnější využití zdrojů)



- hl. význam pro využití nerozpustného substrátu (celulóza, lignin)
- extracelulární enzymy zpřístupní takový substrát pro všechny členy společenstva
- nízká hustota společenstva – vyředění/ztráta uvolněného substrátu
- uvolňování esenciálních prvků z hornin (org. kyseliny)
- ochrana proti nepříznivým faktorům prostředí běžně za laboratorních podmínek má určitá koncentrace metabolického inhibitoru menší vliv na hustší suspenzi než na zředěnou
- biofilm o řád odolnější antimikrobiálnímu činiteli - UV záření, snížení bodu mrznutí prostředí



Př. hlenka *Dictyostelium* – půdní amoeba

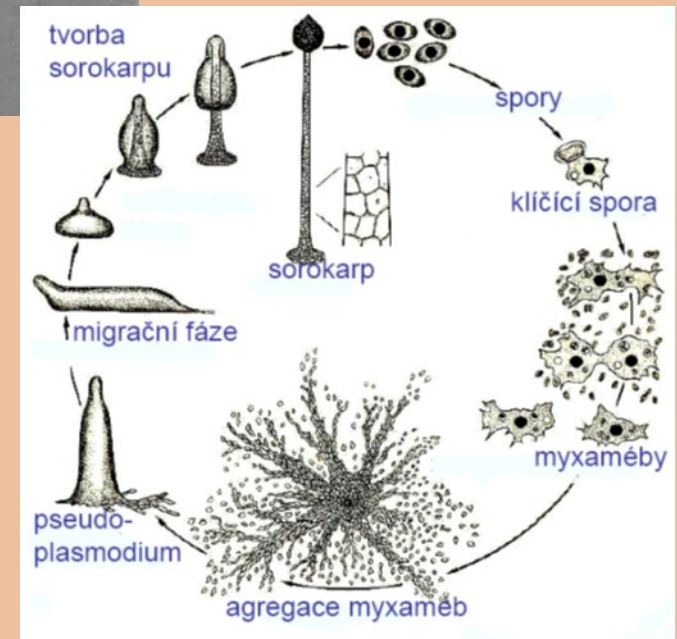
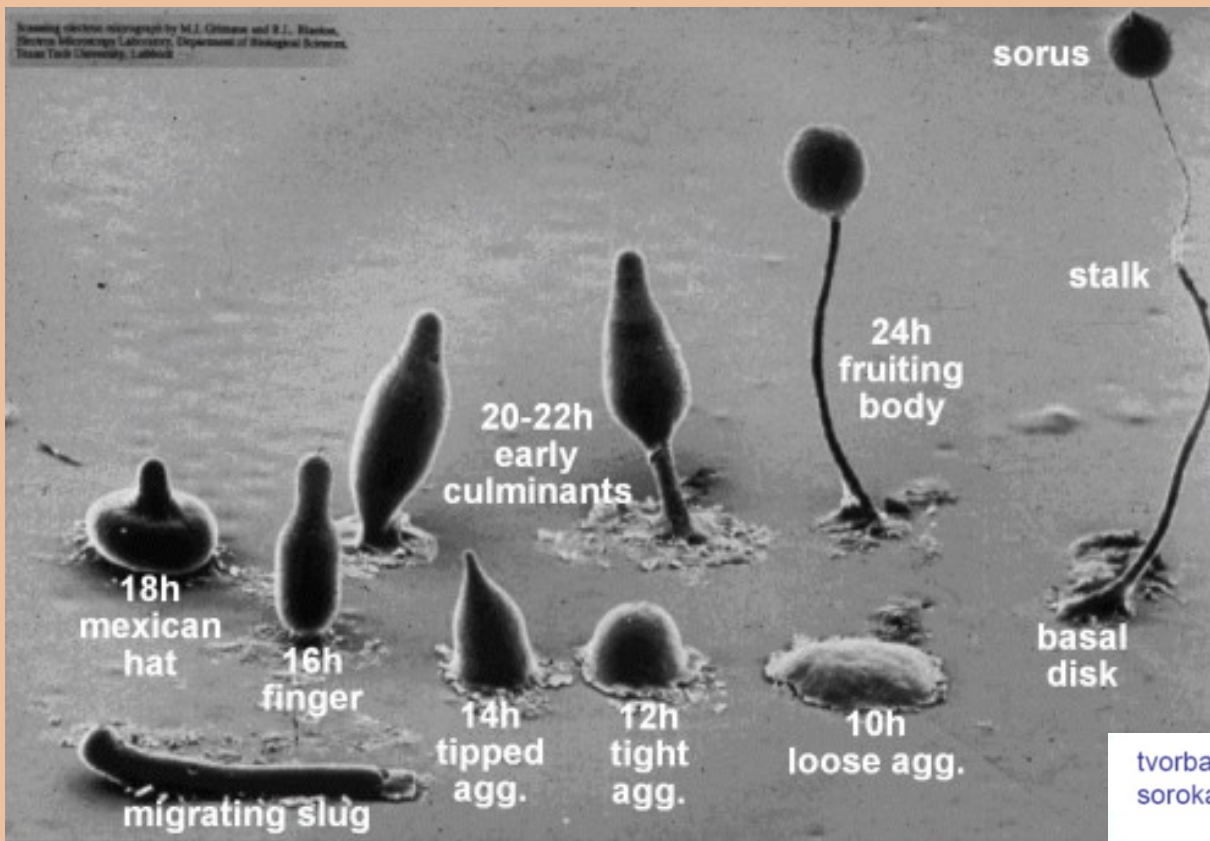
- po vyčerpání zdrojů potravy se amoeboidní buňky shlukují do centrálního organismu (sorocarp)
- signálem je tvorba cyklického AMP (adenosin monofosfát)
- uvolnění spor a jejich disperze
- některé se dostanou do prostředí s dostatkem potravy
- vyklíčí a povedou amoebovitý život

Při nižší populační hustotě může pomoci agregace:

- recipientní buňky *Dictyostelium* produkují feromon
- indukuje buňky obsahující donorový plasmid
- produkce aglutininů a vytváření agregátů s

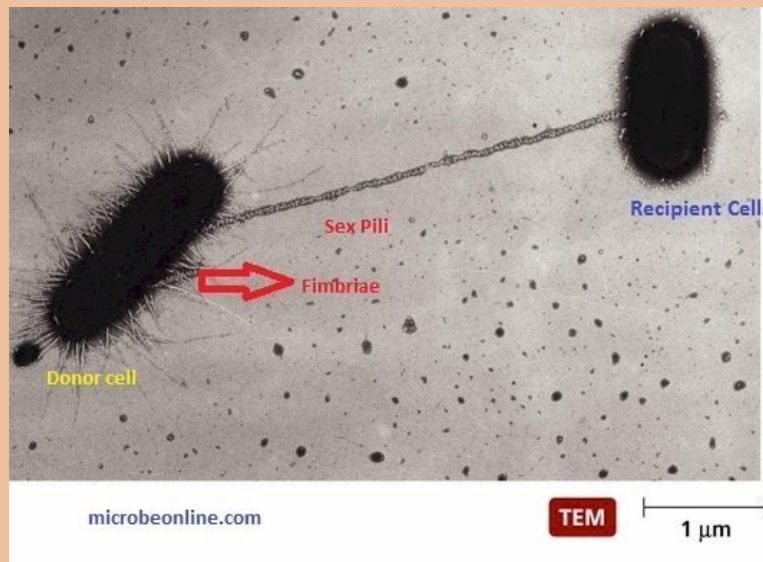
recipientními buňkami za účelem výměny genů





Pozitivní interakce

- výměna genetické informace v populaci
- rezistence antibiotikům, těžkým kovům; schopnost využití neobvyklé organické substráty
- mutace v 1 organismu může být přenesena do ostatních
- genetická výměna také zabrání přílišné specializaci v populaci
- mnoho způsobů genetické výměny (transformace, transdukce, konjugace, sexuální tvorba spor)
- i když jde o výměnu informace mezi 2 buňkami, je potřebná vysoká populační hustota
- konjugace až od 10^5 /ml



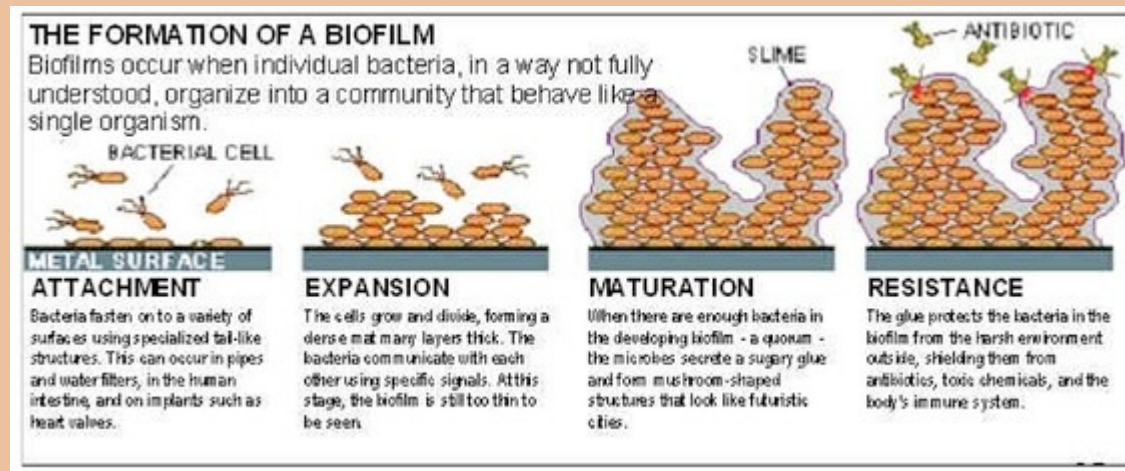
Rozvinutá bakteriální společenstva

- uplatňuje se víc interakcí zároveň
- pozitivní interakce mezi autochtonními druhy pravděpodobnější než v novém společenstvu
- allochtoni se setkají s odporem autochtonní populace – negativní interakce
- akumulace kys. mléčné a jiných mastných kyselin zastaví aktivitu laktobacilů, ethanol - kvasinky
- akumulace mastných kyselin zastaví degradaci uhlovodíků

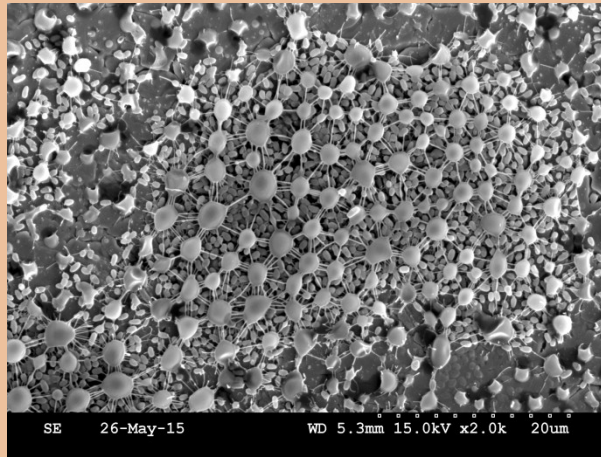


Biofilmy - kolonizace povrchů

- přisedání k povrchu - změna fenotypu (důsledek morfologické změny, změny v expresi genů)
- škála pozitivních a negativních interakcí
- populace v konstantním pohybu – sukcese populací
- reverzibilní přichycení buněk k povrchu částí povrchu buňky či bičíky za neustálého otáčení/pohybu buněk
- speciální systémy bičků k přichycení k různým povrchům – vibria mají laterální bičíky k přichycení a disperzi ve vysoce viskózních prostředích a polární bičíky aktivní v méně viskózních prostředích
- ireverzibilní přichycení



- specifické interakce mezi buňkami, které umožňují mikrobiálním populacím koexistovat v prostředích, kde by individuální populace existovat nemohly - kooperace mezi populacemi
- fyziologická spolupráce - hlavní faktor ve formování struktury a založení prostorových vztahů - přichycení mikrobiální komunity k povrchu
- vytváření chemicky vhodných mikroprostředí
- prostorové uspořádání syntropických partnerů
- společenství je schopné metabolické aktivity nad rámec aktivit vykonávaných jednotlivými populacemi
- odstraněna represe různých genů (adhezí k povrchu, podmínkami na povrchu, růstem v biofilmu)
- matrice biofilmu (polysacharidy s uronovými kyselinami) je kondenzovaná kolem mikrokolonií buněk produkujících tyto látky



- mikrobiální populace v biofilmu umožňuje udržet metabolická spolupráce
- živiny poskytovány sousedními buňkami a difuzí
- produkty jsou stejným způsobem odstraňovány
- antagonismy jsou zmírňovány difúzními bariérami
- primární kolonizátoři mohou fyzikálně zabránit kolonizaci dalšími organismy
- biofilm vytváří a zachovává podmínky, které umožňují růst specifických populací, které by jinak nepřežily
- chemické podmínky (pH, gradient O_2) umožňují přežití náročných organismů s jedinečnými metabolickými schopnostmi
- obligátní anaerobní organismy (bakterie a archea) mohou růst spolu s obligátně aerobními org.
- asociace řas s bakteriemi – řasy jsou zde místem přichycení i zdrojem živin pro heterotrofní bakterie, které využívají extracelulární produkty řas

Neutralismus

- žádná interakce mezi dvěma populacemi
- mezi populacemi s extrémně odlišnými metabolickými schopnostmi
- u populací vzdálených
- při nízké hustotě populace (jedna populace „necítí“ druhou)
- v oligotrofních mořských a jezerních populacích s malou hustotou
- v půdě a sedimentech (populace se nachází na oddělených mikrohabitátech – částice půdy, sediment)
- fyzická separace ale stále ještě neznamená „neutralismus“ (infekce kořenů zahubí rostlinu a s ní populaci na listech rostliny)
- podmínky prostředí neumožňuje aktivní růst populací (led)
- obě populace se nachází mimo své přirozené prostředí (ve vzduchu – zde žádná populace přirozeně neroste)
- odpočinková stádia mikroorganismů (utlumený metabolismus, komplexní obaly, produkce melaninu u houbových spor - i zde existují mikroorganismy produkující enzymy schopné degradovat odpočinková stádia jiných organismů)



Komensalismus

- jedna populace získává, druhá je neovlivněna
- populace žije z odpadních metabolických produktů druhé
- obvykle nejde o obligátní vztah, hostitelská populace může být nahrazena jinou
- neovlivněná populace přizpůsobuje prostředí jiné populaci (fakultativní anaerob spotřebuje kyslík a vytvoří prostředí pro obligátního anaeroba)
- častá je produkce růstových faktorů (vitamíny, AK), *Flavobacterium brevis* vylučuje cystein, který využívá *Legionella pneumophila* ve vodním prostředí
- přeměna nerozpustných substrátů v rozpustné a rozpustných v plynné sloučeniny – (metan produkovaný v sedimentech využit metan-oxidujícími populacemi ve vodním sloupci nad nimi, *Desulfovibrio* vytvoří acetát a vodík ze sulfátů a laktátu - a ty jsou využity *Methanobacterium* pro redukci CO₂ na metan)
- produkce kyselin uvolní substrát pro jiný organismus
- houby rozloží celulózu na glukózu a ta využita jinými mikroorganismy
- odstranění nebo neutralizaci toxické látky (odstranění H₂S, těžkých kovů)
- organismus sám o sobě poskytuje vhodné prostředí pro druhý – někdy až synergismus – řasa neroste bez bakterie)
- časté v půdním prostředí

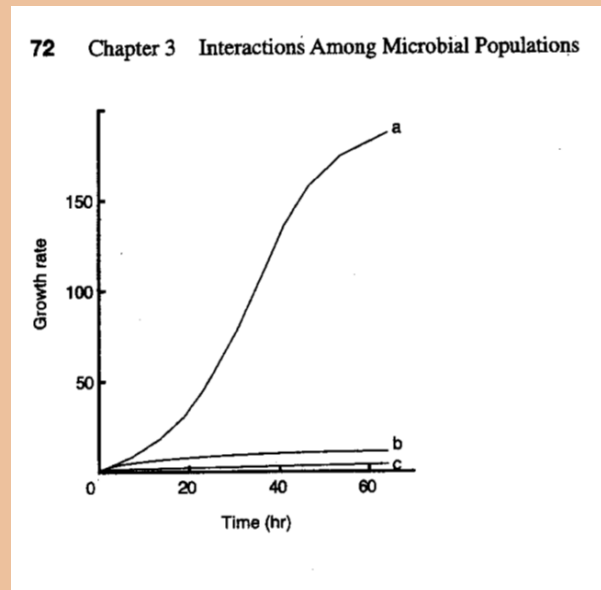
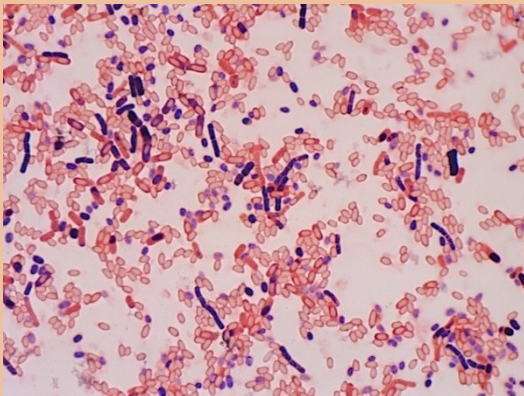
Synergismus (mutualismus)

- obě populace těží ze vztahu
- vztah není obligátní
- obě populace přežijí samostatně, spolu získávají další výhody (doplnění metabolické dráhy)
- často založené na schopnosti jedné populace zásobovat populaci druhou nějakým růstovým faktorem

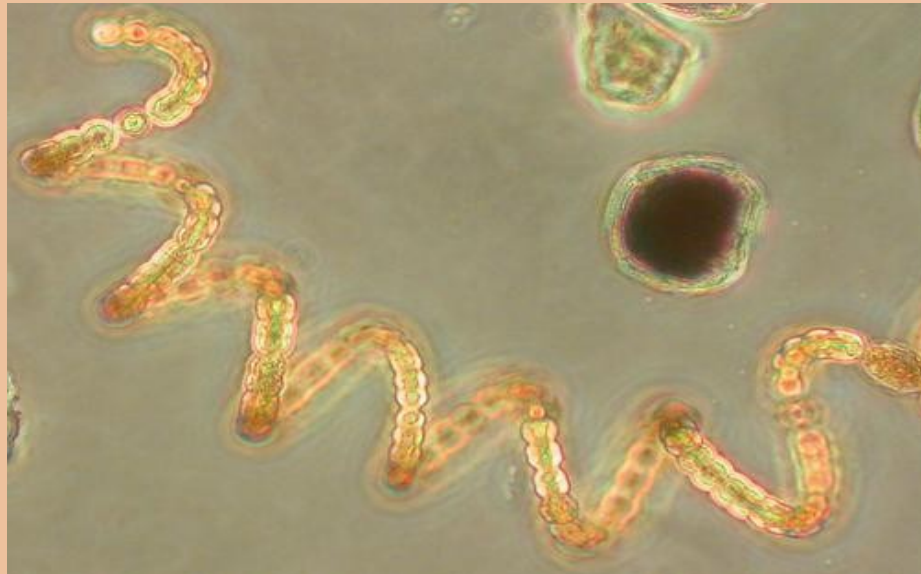
- v minimálním médiu *Lactobacillus arabinosus* a *Enterococcus faecalis* porostou jen dohromady (*E. faecalis* vyžaduje kyselinu listovou, kterou produkuje *Lactobacillus* a ten zase potřebuje fenylalanin, který produkuje *Enterococcus*)

Př. růst *E. faecalis* a *L. arabinosus* v médiu bez kyseliny listové a fenylalaninu:

- a) Kombinovaná kultura
- b) *E. faecalis* sám
- c) *L. arabinosus* sám



- *Spirillum* za přítomnosti elementární síry a formátu produkuje sirovodík a CO₂
- *Chlorobium* za přítomnosti světla fixuje CO₂ a oxiduje sirovodík a produkuje organické látky
- dohromady se doplňují
- jde také o detoxikace sirovodíku (zabil by *Spirillum*)
- podobné příklady mezi bakteriemi v cyklu dusíku
- heterotrofní pseudomonády jsou chemotaxí přitahovány k organickým exkretům heterocytů *Anabaena spiroides*, které oxidují
- vytvoří husté agregáty kolem heterocytu a stimulují nitrogenázovou aktivitu (snížením tenze kyslíku)

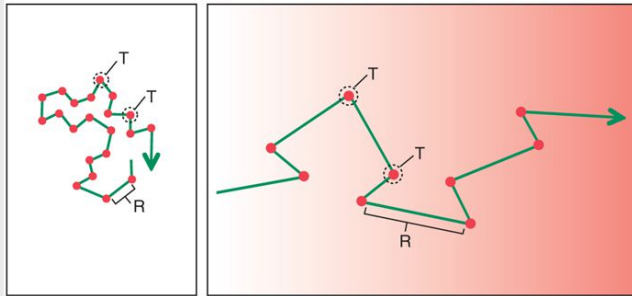
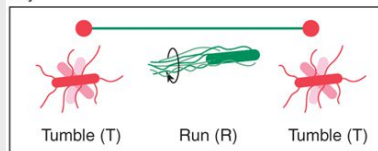


Chemotaxe důležitá i pro asociaci řas a bakterií ve vodním prostředí

- řasy (podobně jako sinice) produkují organické sloučeniny, které přitahují bakterie
- některé bakterie pak produkují vitamíny využívané řasami
- vztah může být i specifický
- řasa využívá světlo a produkuje org. l. a kyslík, které jsou využívány aerobními heterotrofními bakteriemi
- bakterie zásobují řasu oxidem uhličitým a někdy růstovými látkami (a zlepšují růst řasy odstraněním kyslíku)

Chemotaxis in bacteria

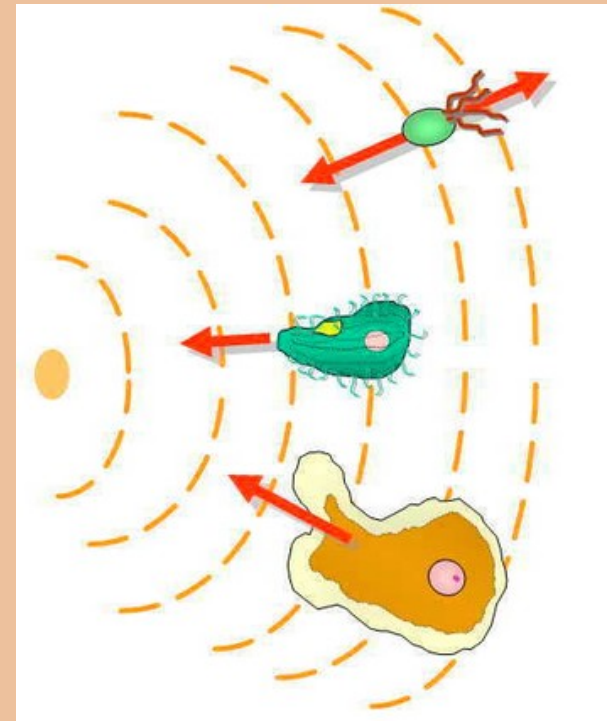
Copyright © The McGraw-Hill Companies, Inc. Permission required for reproduction or display.
Key



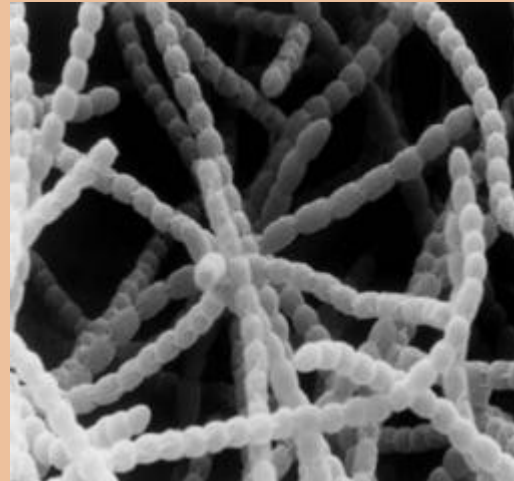
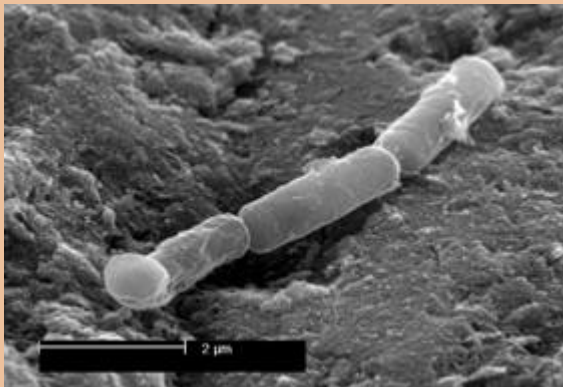
(a) No attractant or repellent

(b) Gradient of attractant concentration

48



- někdy **schopnost jedné populace urychlit růst jiné populace**
- některé druhy *Pseudomonas* rostou na orcinolu, ale vykazují vyšší afinitu k tomuto substrátu a rychlejší růst za přítomnosti jiných bakterií
- tyto nerostou na orcinolu, ale využívají jiné organické látky produkované *Pseudomonas*
- populace schopné produkovat enzymy, které by odděleně neprodukovaly - příbuzné rody *Pseudomonas* rostou-li dohromady produkují enzym lecithinazu - štěpí lecitin
- podobně produkce celuláz u jiných bakterií
- degradace zemědělských pesticidů (*Arthrobacter* a *Streptomyces* dohromady degradují organofosfát diazinon, společná degradace organofosfátu parathion *Pseudomonas stutzeri* a *P. aeruginosa*)

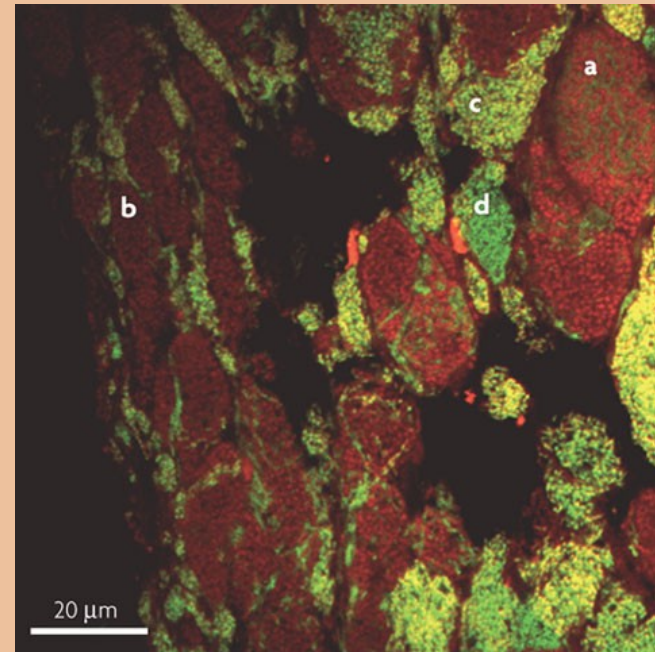


- **organismus detoxikuje metabolity produkované při degradaci herbicidu jiným organismem, který však sám o sobě neumí degradovat**
- *Penicillium piscarium* degraduje herbicid propanil na kyselinu propionovou a 3,4 dichloranilin
- k. propionová je dále využita jako zdroj C a energie, ale *Penicillium* neumí degradovat toxický dichloranilin
- ten je degradován houbou *Geotrichum candidum*, která neumí degradovat původní herbicid
- za nepřítomnosti herbicidu obě houby spolu soutěží o stejné substráty



- **synergický vztah metanogenů s jinými bakteriálními populacemi**
- bakterie (*Syntrophomonas*) oxiduje organické kyseliny na acetáty a H₂ (CO₂)
- acetát a H₂ (toxický pro bakterii) je využit archea k produkci metanu

- 1941 izolován *Methanobacterium omelianski*
- po 26 letech (Bryant, 1967) se zjistilo, že jde o směsnou kulturu *M. bryantii* a „S“ organismu, později identifikovaného spolu s dalšími syntropickými fermentátory jako rod *Syntrophomonas* a *Syntrophobacterium*



Nature Reviews | Microbiology

Syntrophic communities of bacteria and archaea in a sludge granule

Syntrophické vztahy usnadňovány agregací bakterií (ve vločkách a pod):

- například spolupráce tři organismů

př. *Desulfovibrio vulgaris*

- ethanol konvertuje na acetát
- zároveň bikarbonát na formát (HCOO^-)

Methanobacterium formicicum využije formát, produkuje metan

Methanosarcina barkeri

- acetát na metan a CO_2

- anaerobní trávení syrovátky - laktát a ethanol přeměněn na metan

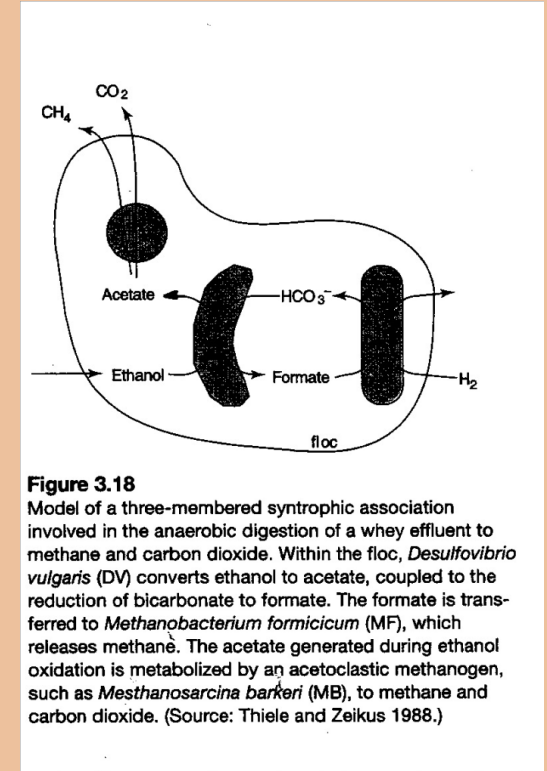
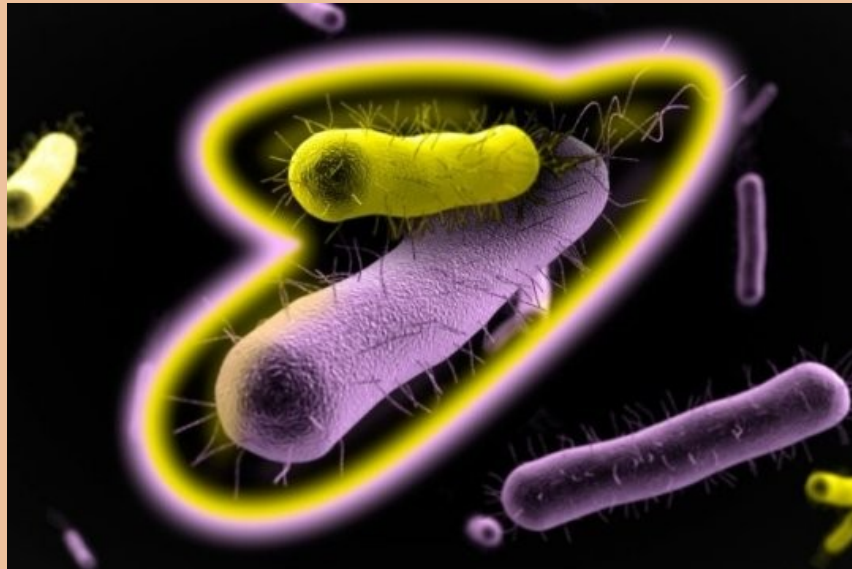


Figure 3.18

Model of a three-membered syntrophic association involved in the anaerobic digestion of a whey effluent to methane and carbon dioxide. Within the floc, *Desulfovibrio vulgaris* (DV) converts ethanol to acetate, coupled to the reduction of bicarbonate to formate. The formate is transferred to *Methanobacterium formicicum* (MF), which releases methane. The acetate generated during ethanol oxidation is metabolized by an acetoclastic methanogen, such as *Methanosarcina barkeri* (MB), to methane and carbon dioxide. (Source: Thiele and Zeikus 1988.)

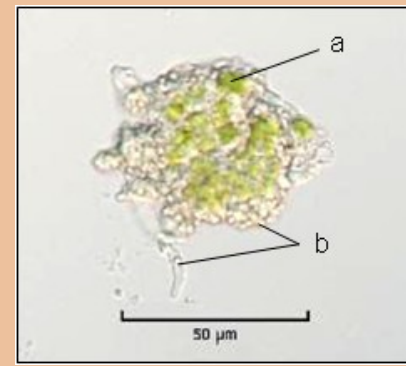
Mutualismus (symbióza)

- jde o obligatní vztah mezi dvěma populacemi, kde obě mají z něj prospěch
- specifický vztah – **jeden organismus nemůže být nahrazen jiným**
- vyžaduje **těsný kontakt** obou populací a umožňuje jim přežít v prostředí, kde by jedna bez druhé nemohla žít (mutualismus x symbióza - volnější) – jinde přežijí
- obě populace pak vystupují jako jeden organismus



Př. Lišejníky

- primární producent (fykobiont) a konzument (mykobiont)
- fykobiont poutá sluneční energii a produkuje org. látky
- mykobiont využívá org. látky a poskytuje ochranu a transport minerálních živin (případně růstové faktory)
- fykobiont jsou sinice (*Chlorophycophyta*, *Nostoc*, *Xanthophycophyta*), zelené řasy (*Trebouxia*)
- mykobiont – ascomycetes, basidiomycetes, zygomycetes
- spolu vytváří primitivní tkáň
- existuje určitá specificita partnerů, ale i záměny, dokonce lišejníky s více phycobionty nebo mycobionty
- množí se „sporami“ - buňky řasy obalené myceliem



- **kontrolovaný parasitismus u lišejníků** - řasa si vyvinula určitou rezistenci k parazitní houbě

(rovnováha mezi buňkami řasy zničenými houbou a produkcí nových buněk řasy)

- rezistence k extrémům – sucho a teplo

- někdy fixace dusíku - v tundře lišejník *Peltigera* obsahuje sinici *Nostoc*- fixace N₂

(koruny stromů – vymývání dešti)

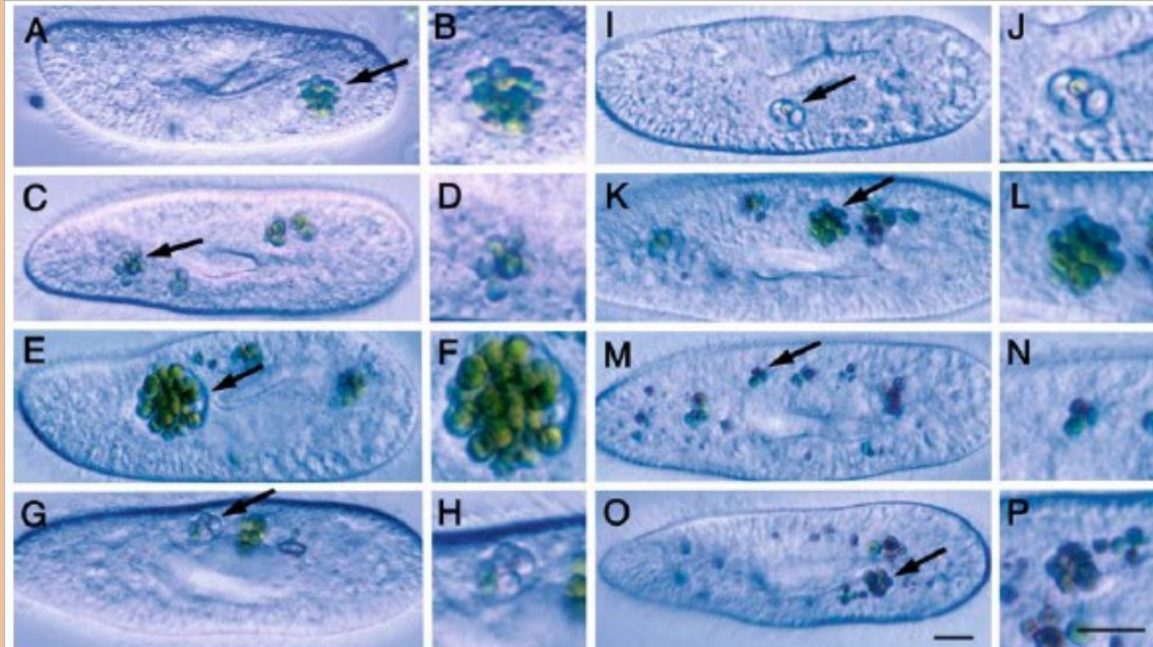
- lišejníky citlivé k průmyslovým exhalacím – SO₂ snižuje fotosyntézu fykobionta a houba jej přeroste,

zahubí a sama pak také zahyne , tzv. indikátorové druhy znečištění ŽP



Endosymbionti prvoků

- *Paramecium* může v cytoplasmě hostit více buněk (50-100) *Chlorella*
- řasa poskytuje organický uhlík a kyslík
- prvok jí poskytuje ochranu, pohyb, CO₂ a možná růstové faktory
- prvok se může dostat i do anaerobního prostředí, kde je však světlo
- ve stresové situaci (např. bez světla) může prvok strávit řasu



Vztahy mezi mikroby – příklady mutualismus

- někteří bičíkatí prvoci obývající bachor přežvýkavců mají endosymbiotické metanogeny (*Methanobacterium*, *Methanocorpusculum*, *Methanoplanus*) – liší se od volně žijících metanogenů
- endosymbionti zřejmě mohou využívat molekulární vodík produkovaný hostitelem – zdá se, že je zde morfologická interakce mezi hostitelem a endosymbiontem umožňující výměnu látek

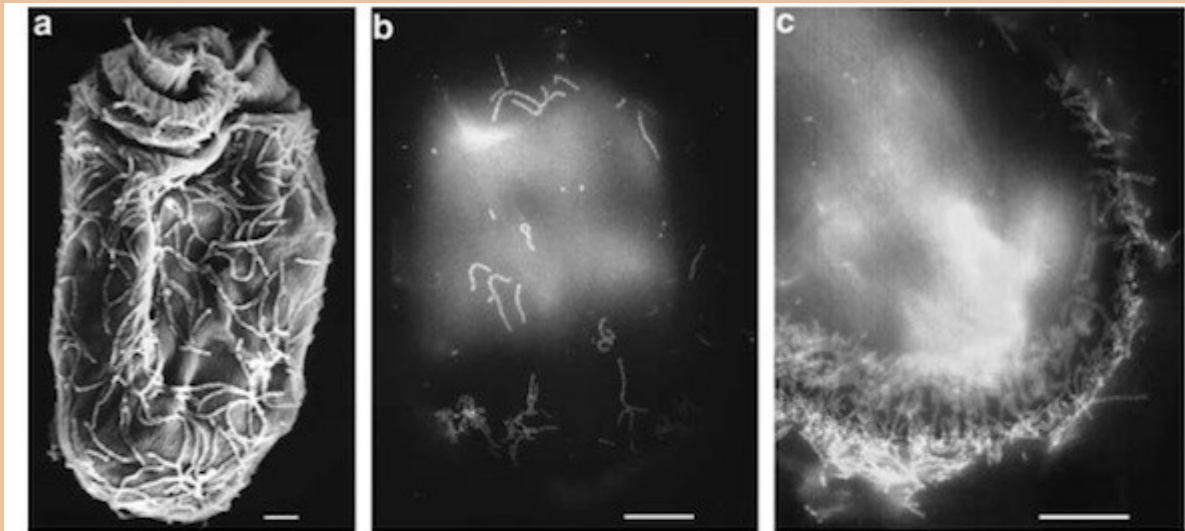
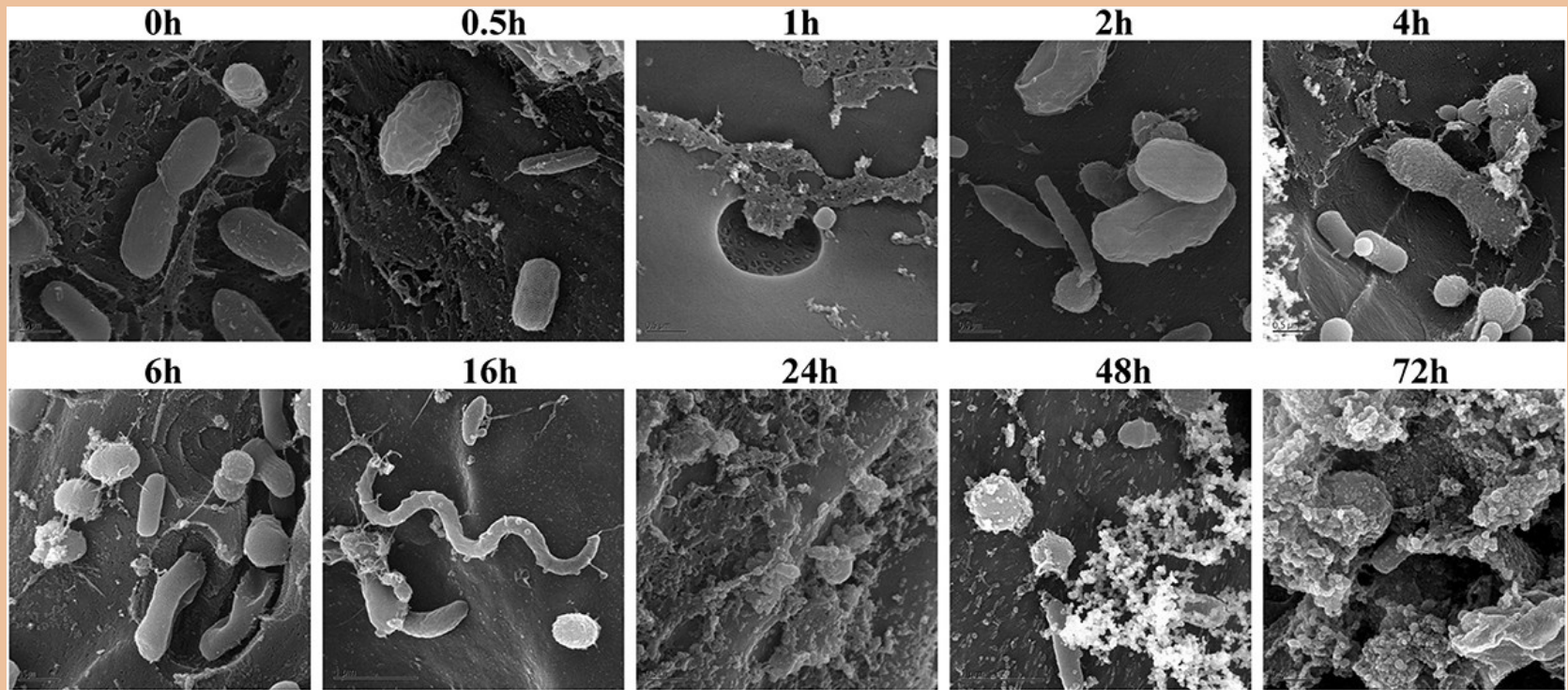


Fig. 15.1 (a) Rumen ciliate with attached chains of methanogenic bacteria; scanning electron microscopy (SEM). Bar: 10 μm . (Courtesy of Eugene B. Small, Maryland, USA). (b) and (c) Methanogenic bacteria showing autofluorescence under UV irradiation attached to a rumen ciliate cell from a well-fed sheep (b, few methanogens) and from a hungry sheep under unfavorable conditions (c, numerous methanogens), Bars (b) and (c): 20 μm . (Courtesy of Claudius K. Stumm, Nijmegen, Netherlands)



Principal coordinates analysis comparing the temporal dynamics of switchgrass-associated microbiota indicated that the community associated with the air-dried switchgrass sample (0 h) was distinct from the microbiomes of all rumen-incubated samples. After 30 min of rumen incubation the switchgrass-associated microbiota exhibited clearly noticeable changes: for example, members of the *Archaea*, which were essentially absent in the non-incubated microbiome, were detected in all rumen-incubated samples.

Mutualismus - endosymbionti prvoků

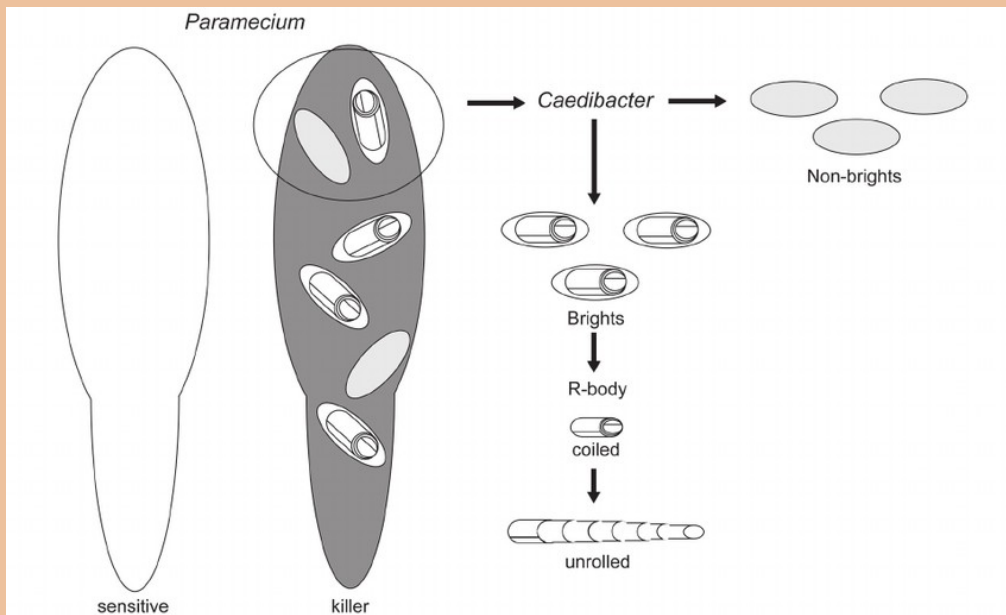
Paramecium aurelia (trepka) a *Caedibacter* (symbiont)

- dříve znám jako kappa částice
- *P. aurelia* se vyskytuje ve 2 formách: killers (má endosymbionta) a sensitives (bez)
- povaha toxické substance kmene „zabijáka“ a mechanismus, kterým přítomnost endosymbionta zajišťuje imunitu, není plně vysvětlena
- *Caedibacter* symbionti (zodpovědní za zabijácký fenotyp) mají světlolomné body – tzv. R tělíka (geny pro toto tělísko jsou na plasmidu v *Caedibacter*)
- R tělísko se nezdá být toxinem, ale R tělísko i toxin asi kódovány stejnou oblastí na plasmidu a přítomnost R tělíka asi nezbytná pro schopnost zabít citlivé buňky
- kmeny *Caedibacter* jsou plně nutričně závislé na hostitelském prvoku
- **přítomnost *Caedibacter* symbiontů dává zabijáckým prvokům výhodu v kompetici s citlivými kmeny prvoků**

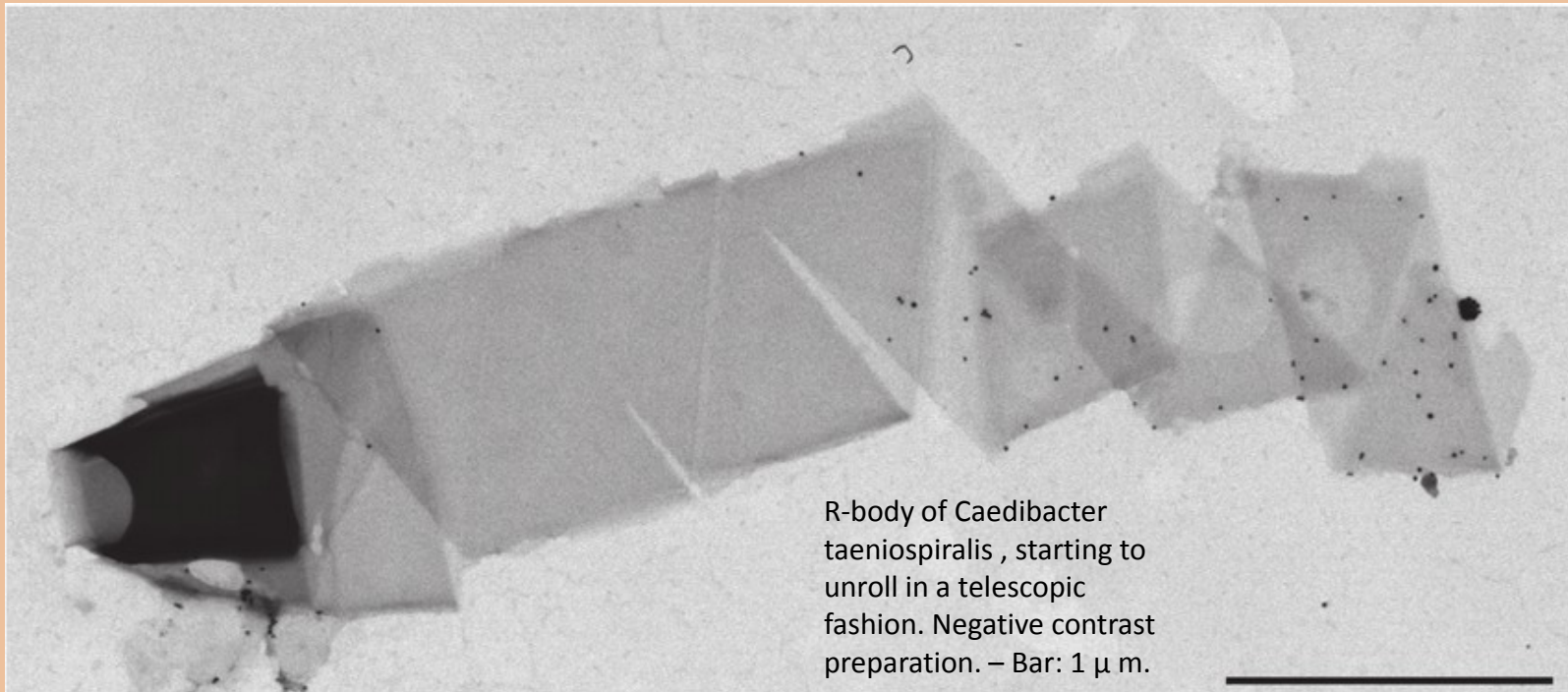


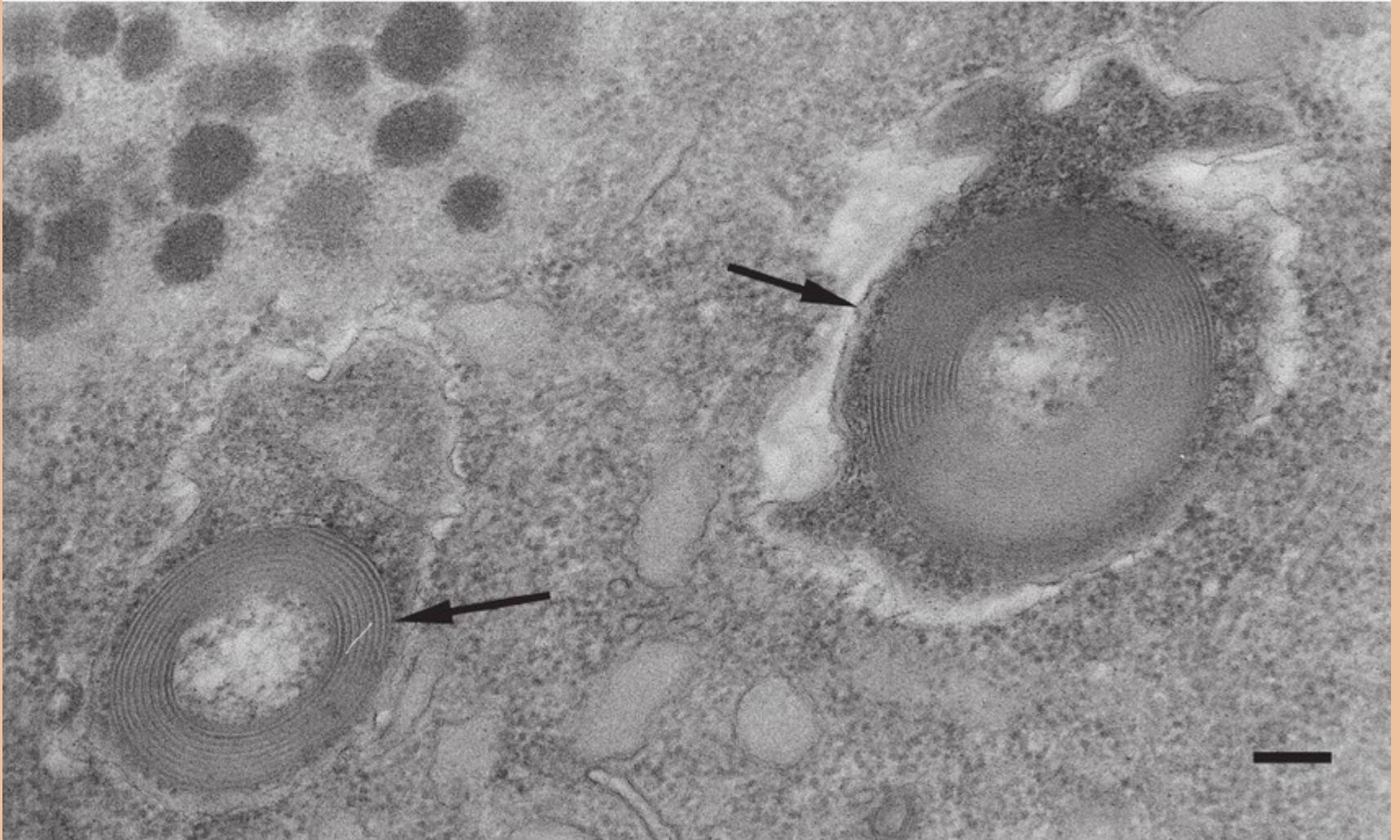
<https://www.youtube.com/watch?v=sn3MTYNe8mM>

<https://www.youtube.com/watch?v=w-1VvpHcKms>



Sensitive and killer paramecia differ only in the presence of endosymbiotic *Caedibacter*. Every *Caedibacter* population within a host cell presents two morphological different forms: reproductive non-brights and brights, which lost the capability to divide after the production of an R-body (refractil body). It is constituted of a coiled proteinaceous ribbon which can unroll in a telescopic fashion.





Ultrathin section of two *Caedibacter taeniospiralis* cells in the cytoplasm of *Paramecium tetraurelia* , both harbor a coiled R-body in transverse section (arrows). – Bar: 100 nm.

Value addition: **What causes some Paramecia to be lethal to its own population??**

Heading text: Causative agents of Killer trait of Paramecium

Body text:

The occurrence of Killer trait in Paramecium was discovered by Tracy M. Sonneborn in 1938. He reported that when two races of Paramecium were mixed, sometimes, one race survives while other dies out. The two races were designated as Killer and sensitive respectively. Further studies on the Killer trait, Sonneborn identified that the genetic determinants of the Killer trait were situated within the cytoplasm and called them as plasmagenes. He termed the plasmagenes as 'Kappa particles' according to the taxonomic rules of his time.

Austin (1948) showed that killings needs no direct contact between the killer and sensitive cells, and that killing of sensitive Paramecium results from exposure to toxic particles released from killers.

The Kappa particles were later identified as gram-negative bacteria and put under the genus *Caedibacter* according to the binomial nomenclature of Bacteriological code. The genus includes five species: *Caedibacter taeniospiralis*, *Caedibacter varicaedens*, *Caedibacter pseudomutans*, and *Caedibacter paraconjugatus*, and *Caedibacter caryophilus*. The particularity of the genus *Caedibacter* is the presence of the killer trait attribute, R-body (refractile body), a proteinaceous ribbon-like structure within their cell.

Paramecia containing kappa endosymbionts in their cytoplasm are referred to as the killer strain. They produce toxic substance, paramycin and release it in the environment causing the death of other kappa free Paramecia strains (sensitives). Eventually with further studies about Kappa particles (or kappa endosymbionts), it was found that a dominant gene (K) in nucleus is necessary for Kappa to exist, multiply and produce Paramycin. They are transmitted directly by cytoplasmic genes (plasmagenes) from cytoplasm of parent cell to the daughter cells, and not by nuclear genes (Figure below). This provides a good example of cytoplasmic inheritance.

Figure: Cytoplasmic inheritance of Kappa particles

Image weblink : http://bio3400.nicerweb.com/Locked/media/ch09/Paramecium_kappa.html

Other endosymbionts of Paramecium

Supposedly originated from kappa by mutation. They are nonkiller, they do not have R' bodies and do not produce any toxic substances. Pi endosymbionts:

Mu endosymbionts: These are mate-killers discovered by Siegel in 1950. The mu free mates get killed after conjugation with mu containing mates.

Lambda endosymbionts: Is one of the largest endosymbionts measuring 0.7 by 5 micrometers. These are straight rod-shaped, rapid-lysis killers causing death to the sensitive individuals within 30 minutes after exposure and are highly specific with regard to the sensitives which they kill.

Sigma endosymbionts: Is a long, broad, curved or spiral rod endosymbionts achieving the largest size of up to 15 micrometers. They are similar to lambda symbionts in many ways: causing rapid-lysis killing, range of sensitives it affects, its large size, and being heavily flagellated.

Gamma endosymbionts: These endosymbionts are small, about 0.7 micrometers long. They are very strong killers causing vacuolization of the sensitives.

Tau endosymbionts: The Paramecia containing tau are identified as effective paralysis killer by Stevenson.

Delta endosymbionts: These endosymbionts, like tau are reported to be paralysis killers to sensitives. There are reports that the toxicity of delta could be due to other endosymbionts associated with them in low concentration. Deltas are sparsely flagellated and are most widely distributed endosymbionts.

Nu: Paramecia carrying nu endosymbionts do not kill their mates nor other strains of Paramecia placed into culture with them.

Alpha: Occurs in the macronucleus (*P. aurelia*) in great numbers and rarely in the cytoplasm. They occur as long spirals about 5 micrometers long, or as short, curved forms. The long, spiral forms are highly infective to a few alpha-free strains of *P. aurelia*. During autogamy and conjugation, the alpha symbionts find their way out from the old fragments of macronucleus (as the macronucleus disintegrates) and into the newly developing macronucleus.

Omega: A micronuclear endosymbiont of *P. caudatum*. These are very similar in appearance to the alpha endosymbionts.

Source: Schrollhammer, M. (2010). The killer trait of Paramecium and its causative agents. *Palaeodiversity* 3, Supplement: 79-88;

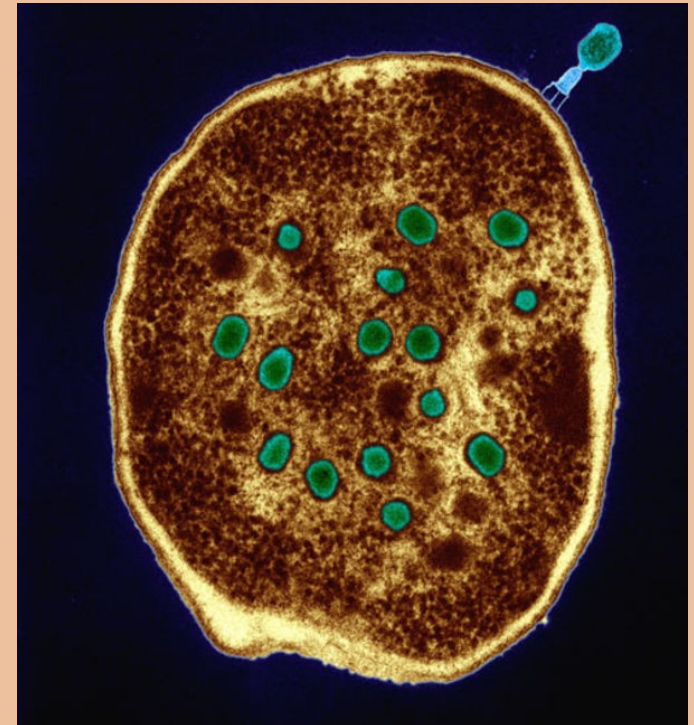
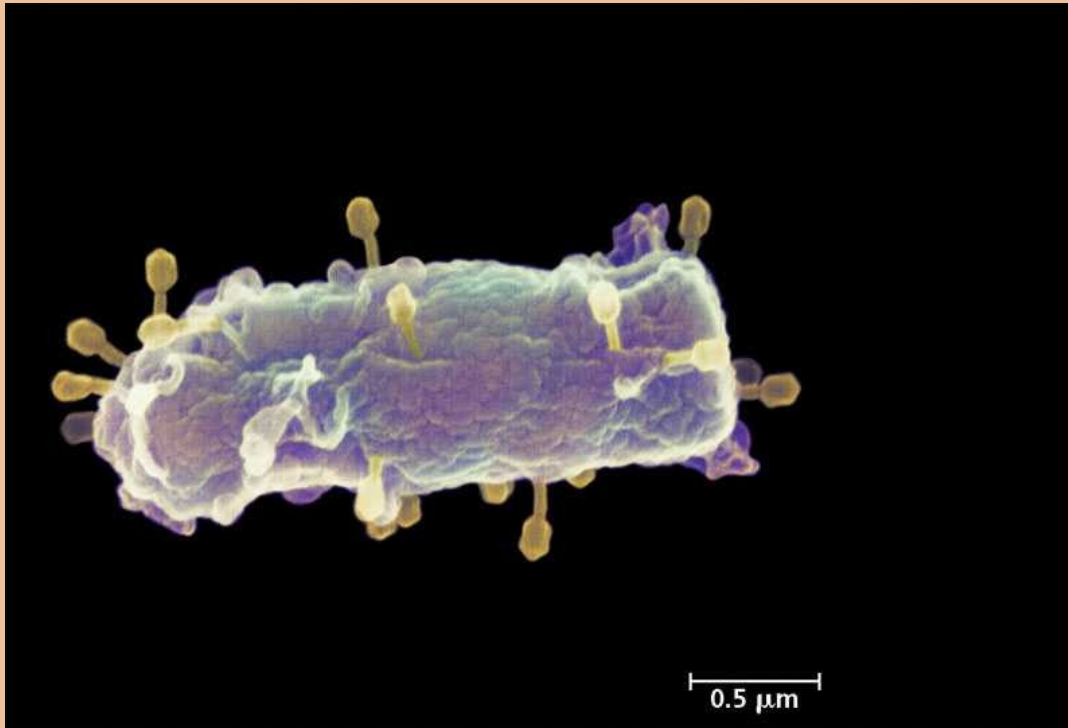
Preer Jr., J.R., Preer, L.B. and Jurand, A. (1974). Kappa and Other Endosymbionts in *Paramecium aurelia*. *Bacteriological Reviews*, 38(2): 113-163.

Mutualismus – fág vs. bakterie

- lyzogenie – stav, kdy virus, který napadl buňku či bakterii, se integroval do jejího vlastního genomu jako provirus, jeho replikace někdy způsobí rozpad buňky

<https://www.youtube.com/watch?v=sLkZ9FPHJGM>

- bakterie zajistí dlouhodobé přežití fága
- fágová DNA přidává novou genetickou informaci a schopnost bakteriální populaci (bakterie někdy virulentnější nebo produkují nové enzymy)
- možnost přenosu bakteriální DNA transdukací



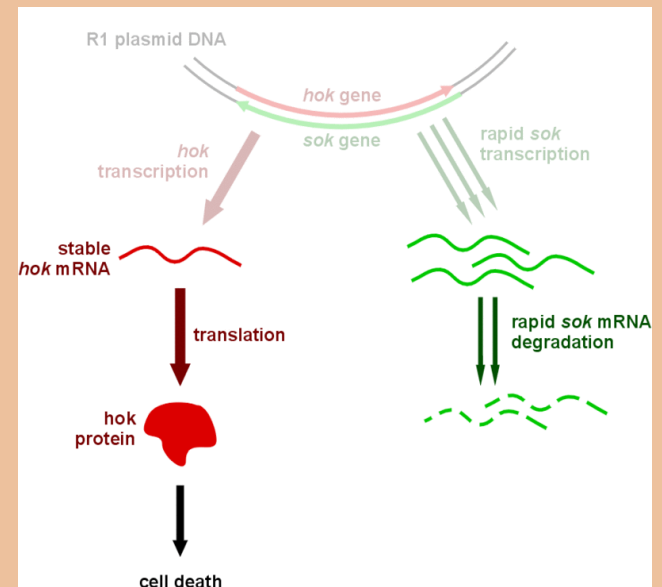
Negativní interakce

Kompetice

- členové jedné populace využívají stejné živiny i prostředí
- zvýšená hustota populace zvyšuje soutěžení o dostupné zdroje (živina, predátor-kořist, parazit-hostitel)
- ale také akumulace toxických látek - některé uvolňované intermediáty toxické ve vyšší konc.
- LMW mastné kyseliny, H₂S, etanol
- negativní zpětná vazba (zastavení růstu populace i za přítomnosti vhodného substrátu)
- akumulace kys. mléčné a jiných mastných kyselin zastaví aktivitu laktobacilů
- ethanol - kvasinky
- akumulace mastných kyselin zastaví degradaci uhlovodíků

Zajímavým genetickým příkladem pro negativní interakce jsou geny kódující peptidy nebo proteiny s letální funkcí *E. coli* – na jednom plazmidu spolu:

- **hok** (host-killing) gen – produkt (peptid) poškozuje membránové proteiny – **smrt buňky**
- **sok** (suppression of killing) gen – kóduje antisense mRNA **blokuje expresi hok genu** (produkt labilnější než hok)
- buňka ztratí plazmid – sok degradován, hok je stabilnější = smrt buňky
- plazmid – i další důležité geny – rezistence ...
- obrana proti ztrátě plazmidu důl. z dlouhodobého hlediska
- krátkodobě limituje hustotu populace (část usmrcena)



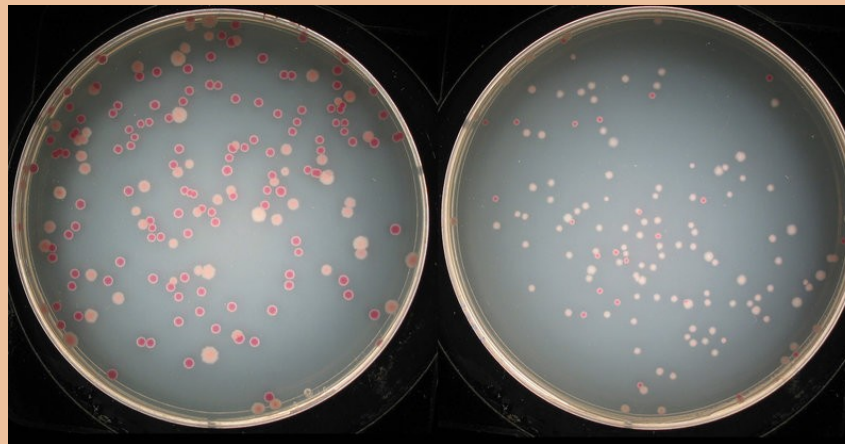
Existují i další mechanismy pro udržení plasmidů:

- . plasmid má geny pro restriktázy a geny pro metylaci (ochrana vlastní DNA před rozpoznáním restrikčními enzymy, které mají za úkol štěpit cizorodou bakteriofágovou nemethylovanou DNA)
- .opět restrikční enzym je stabilnější než DNA metylázy



Kompetice

- negativní vztah - dvě populace se nepřátelsky ovlivňují
- dosahují nižší hustoty populace nebo růstové rychlosti
- obě populace používají stejné zdroje (prostor nebo limitující prvek)
- princip kompetičního vyloučení – dvě populace nebudou sdílet jeden prostor, protože jedna vyhraje soutěž a eliminuje druhou populaci - *Paramecium caudatum* a *P. aurelia* porostou dobře zvlášť
- dohromady ale *P. aurelia* potlačí *P. caudatum* - žádný útok nebo toxiny; *P. aurelia* roste rychleji a potlačí *P. caudatum* (sní mu potravu)
- dvě populace přežijí pouze pokud budou používat jiné zdroje v jiném čase
- směsná kultura *Paramecium caudatum* a *P. bursaria* může dosáhnout rovnováhy i když používají stejné živiny, ale využívají jiný prostor v kultivační nádobě - tím se minimalizuje kompetice a zabrání se extinkci jednoho z druhů (viz paradox of plankton)



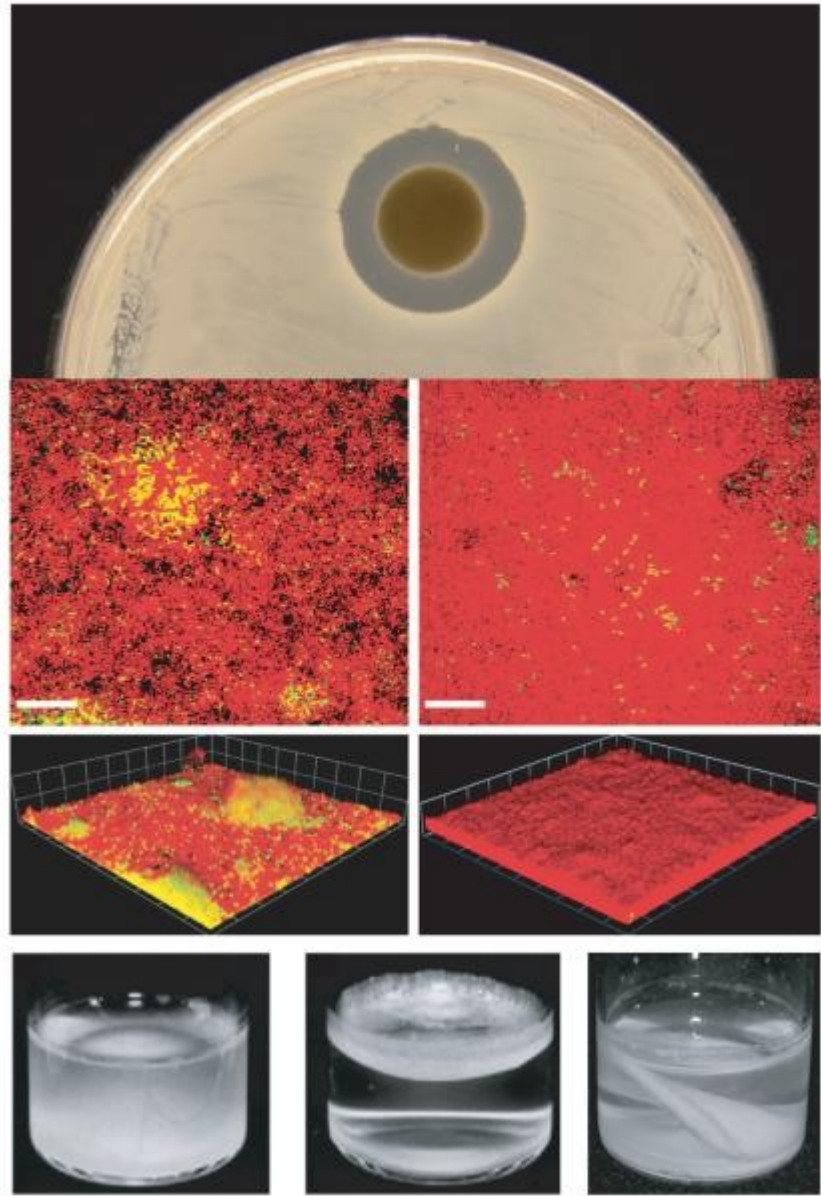
The plate on the left contains about equal numbers of colonies of two different bacteria. After the bacteria compete and evolve, the lighter ones have taken the lead in the plate on the right

Examples of interference competition between bacterial species

Top panel: Many bacterial species produce antimicrobial toxins which facilitate interference competition with other species; pictured is a zone of inhibition in a lawn of *Bacillus subtilis* surrounding a paper disk soaked with culture supernatant from *Burkholderia thailandensis*, an antimicrobial producer (picture courtesy B. Duerkop).

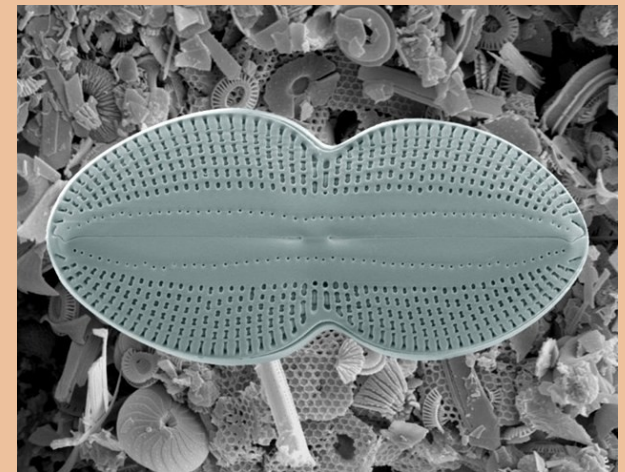
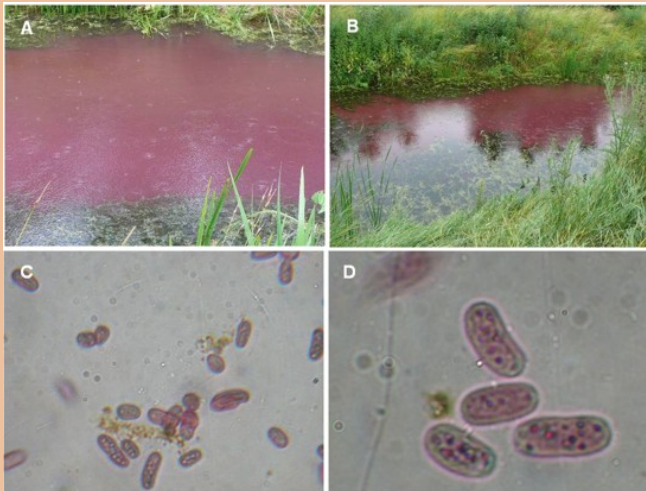
Middle panel: In biofilm cocultures, *Pseudomonas aeruginosa* (red cells) blankets the surface of *Agrobacterium tumefaciens* (green cells- overlay of the two cells is yellow). Biomass of *A. tumefaciens* decreases in the biofilms over time (left panel represents 24 h growth, right is 164 h), in a mechanism at least partly dependent on quorum sensing by *P. aeruginosa* (See box 2).

Bottom panel: Overproduction of EPS by mutant strains of *Pseudomonas fluorescens* (middle, compared to the parent at left) enables these organisms to position themselves in the favorable environment of the air-liquid interface of liquid cultures, where oxygen is more plentiful. However, EPS production is a phenotype vulnerable to social cheating. If sufficient cheaters that fail to produce EPS accumulate in the floating mat, it will collapse (right). Left and middle panels reproduced with modification from 29, right panel courtesy P. Rainey.



Kompetice

- purpurové sirné bakterie
- efekt střídání délky osvětlení
- *Chromatium vinosum* při stálém světle a přítomnosti sulfidu eliminuje *C. weissei*
- při přerušovaném osvětlení porostou obě
- 2 rozsivky přežijí vedle sebe jen tehdy, když každá bude mít jiný limitující faktor (fosfát a silikát), pokud ne – kompetitivní vyloučení
- záleží také na koncentraci substrátu (vysoká koncentrace substrátu – *E.coli* vytlačí *Spirillum* - nízká koncentrace – *E. coli* je potlačena)
- stres může změnit výsledek kompetice – vyhraje odolnější (jde spíš o situaci, kdy jde o přežití v době zastaveného růstu)



Amenzalizmus

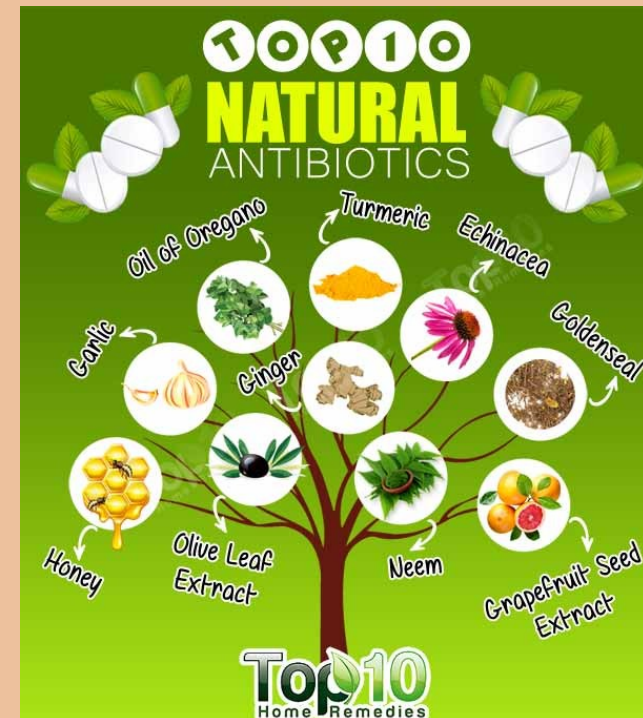
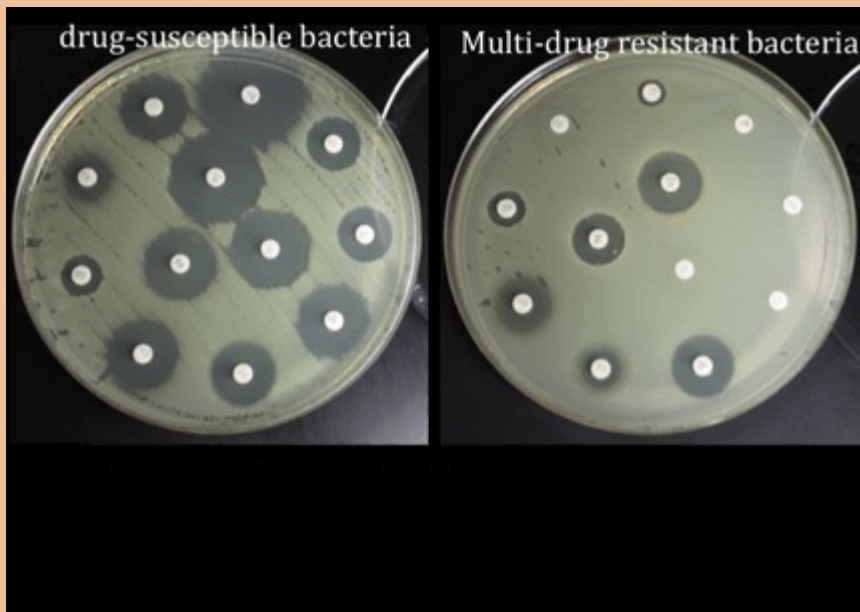
- vztah, v němž jeden ze symbiontů (inhibitor) svými metabolity brzdí růst a rozmnožování druhého symbionta (amenzála)
- získává prostor, potravní zdroje apod. (např. akát omezuje jiné dřeviny – alelopatie)
- komplexní amenzalizmu - virucidní (virucidální) faktory v mořské vodě
- fungistatické faktory v půdě
- jde asi o amenzalizmus, ale přesná chemická povaha není známa
- štětičkovec (*Penicillium*) a bakterie



Amenzalizmus – příklady

Produkce antibiotik

- role v přirozeném prostředí stále nejasná
- podmínky podporující tvorbu antibiotik nejsou časté v přirozeném prostředí (potřebují přebytek substrátu)
- ve vodním prostředí rychle vyředěna
- v půdním prostředí sorbována na jílové minerály
- producenti antibiotik nejsou dominantní v akvatických habitatech, rezistentních kmenů v půdě není mnoho i když tu jsou producenti
- význam ve speciálních „mikroprostředích“ - zvýšená koncentrace živin (allochtonní mikroorganismy na organické hmotě v půdě mohou produkovat antibiotika a získat tak výhodu)



Bakteriociny

- podobné antibiotikům, ale účinné jen na velmi příbuzné druhy
- destabilizují membránu (naruší její funkce)
- možná důležitější než antibiotika – vítězí nad pravděpodobnými kompetitory
- bakteriociny detekovány i u G⁺ - laktobakterie – nisin – uvažovalo se o jeho použití k prodloužení trvanlivosti některých mléčných výrobků

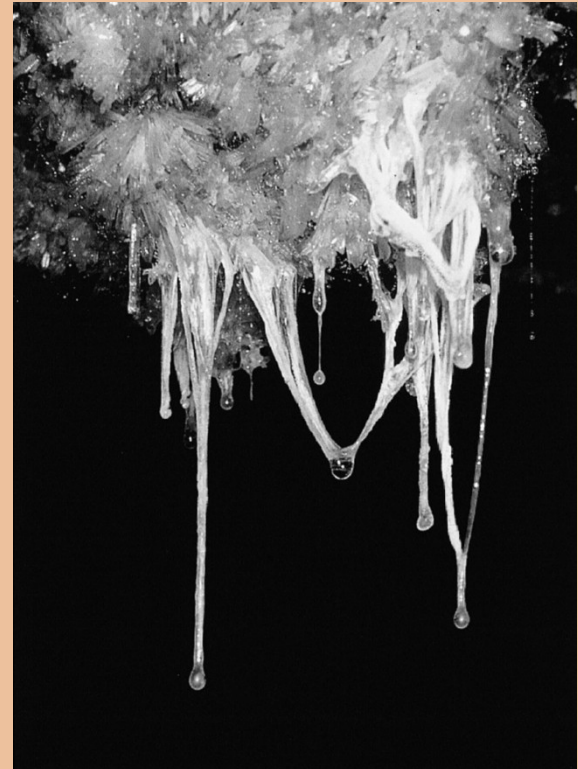
Koliciny

- produkované mikroorganismy čeledi *Enterobacteriaceae*
- genetická informace o produkci kolicinů je nesena Col plasmidy
- antibiotický účinek



Amenzalismus

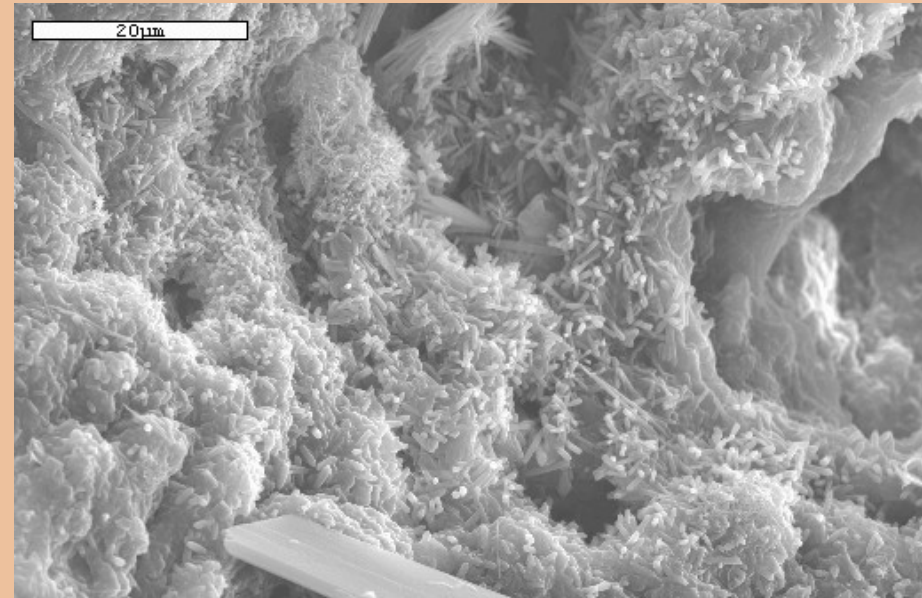
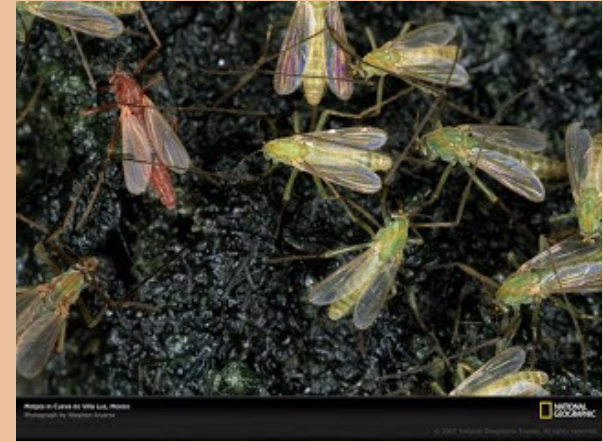
- jeden organismus brání jiným populacím přežít v tomto prostředí
- produkce kyseliny mléčné nebo nízkomolekulárních mastných kyselin
- *E. coli* neporoste v bachoru pravděpodobně díky přítomnosti těkavých mastných kyselin (anaerobové)
- mastné kyseliny produkované mikroby na povrchu kůže zabrání kolonizaci jinými mikroby (kvasinky)
- kyseliny ve vagíně brání rozvoji patogenů (*C. albicans*)
- kyseliny produkované *Thiobacillus thiooxidans* zabrání růstu jiných bakterií v důlních vodách
- podobně produkce nebo spotřeba kyslíku, amoniaku
- produkce ethanolu kvasinkami



Snottite

Snottites are colonies of single-celled extremophilic bacteria. They hang from the walls and ceilings of caves and are similar to small stalactites, but have the consistency of "snot", a slang word for mucus.

The bacteria derive their energy from chemosynthesis of volcanic sulfur compounds including H_2S and warm-water solution dripping down from above, producing sulfuric acid. Because of this, their waste products are highly acidic (approaching $pH=0$).



Novozélandský ježek

- na kůži houbu *Trichophyton mentagrophytes* produkující penicilín
- *Staphylococcus* žijící ve stejném prostředí je rezistentní na penicilín
- produkce penicilínu umožní *Trichophyton* vstoupit do amensalistického vztahu s nerezistentními populacemi, které by chtěly kolonizovat stejné prostředí – tedy kůži ježka
- rezistentní stafylokokus zde poroste – koevoluce koexistujících mikrobiálních populací

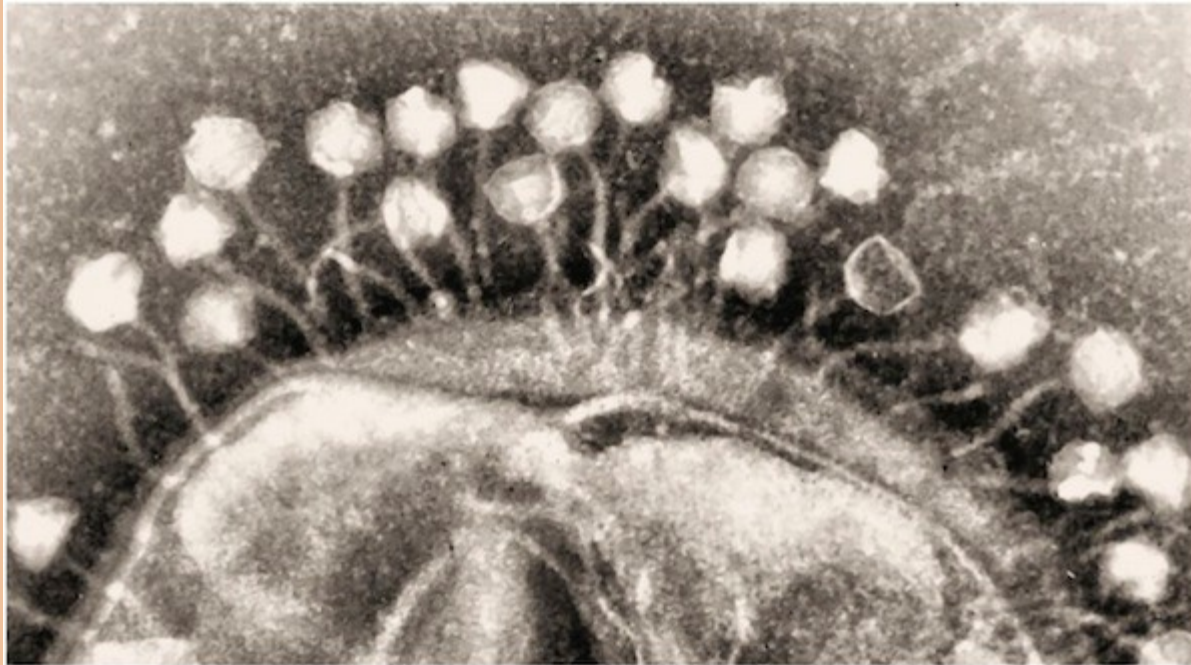
Trichophyton



Computer illustration of *Trichophyton mentagrophytes*, the cause of athlete's foot (*tinea pedis*) and scalp ringworm (*tinea capitis*). Both of these contagious skin infections are spread by the fungus's spores (red). *T. mentagrophytes*

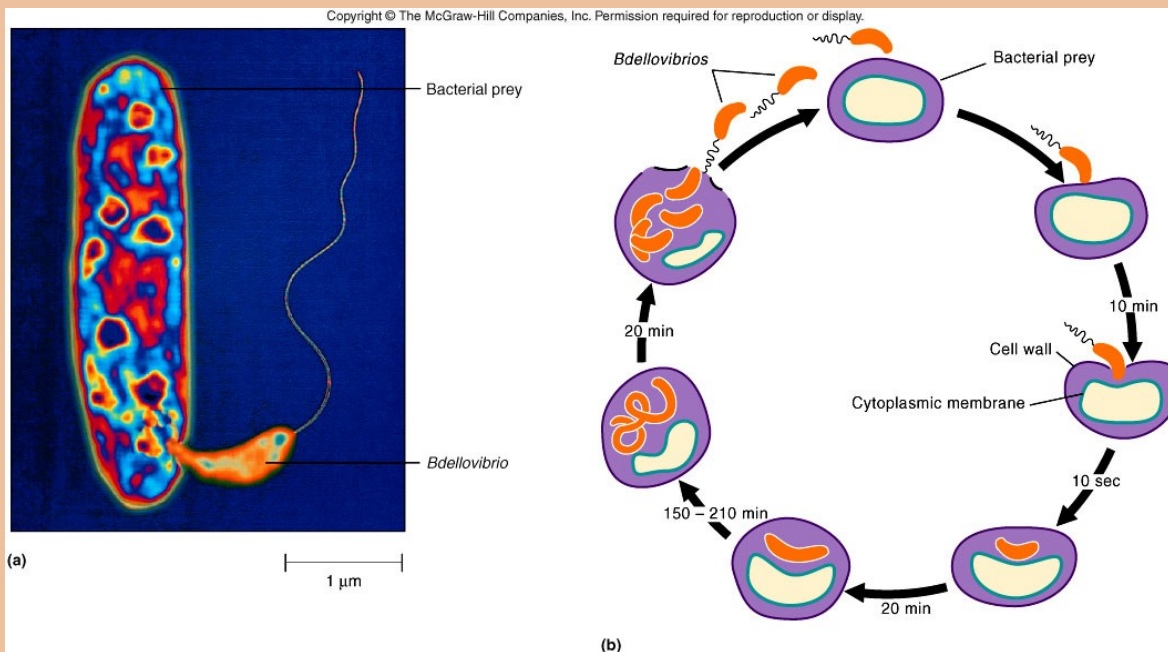
Parazitismus - příklady

- parazit získává živiny z hostitele, který je tím poškozován
- ektoparasitismus – vně hostitele
- endoparasitismus – vnikají do hostitele
- vztah hostitel-parazit obvykle specifický
- viry jsou obligátní intracelulární parazité s vysokou hostitelskou specificitou; mohou zcela eliminovat populaci hostitele.
- bakteriofágy – životní cyklus (za 20 minut po infekci lyze b.) (vs. mutualismus)
- modifikace prostředí – vazba bakterií a/nebo fágů na jílové částice – ochrana bakterií před fágy



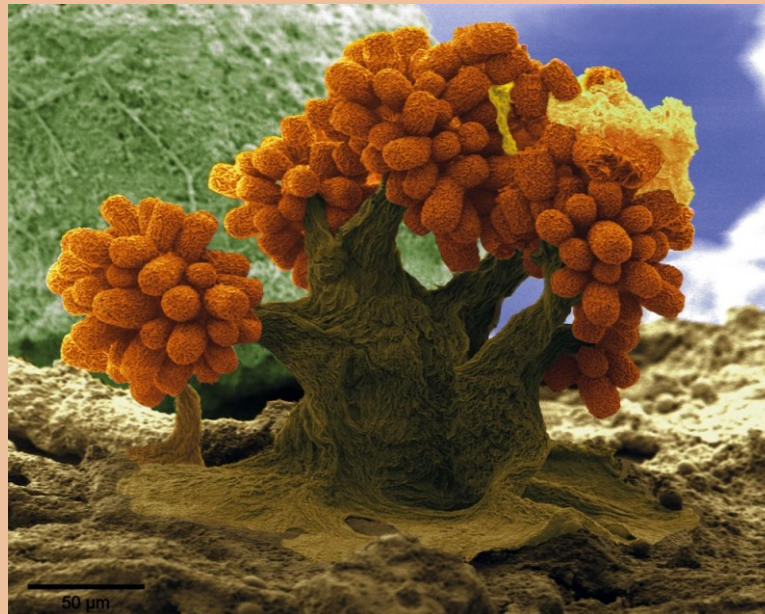
Parazitické *Bdellovibrio*

- je vysoce pohyblivé (100 buněčných délek za vteřinu, *E. coli* jen 10 délek), **napadá jiné G- bakterie**
- setkání asi náhodné (žádná chemotaxe) - jen malé procento skončí permanentním spojením
- *Bdellovibrio* zůstává v perioplazmatickém prostoru, modifikuje buněčné obaly hostitele, ty pak drží buněčný obsah pro parazita – trvá cca 1 hod
- *Bdellovibrio* ztratí bičíky a vyroste ve vlákna, ale nedělí se
- buněčný obsah hostitele je využit *bdellovibriem* až do vyčerpání
- dojde k dělení filamentů parazita na jednotlivé buňky, které opět získají bičíky
- výnos buněk: 4 v *E. coli*, 20 ve *Spirillum serpens*
- *Bdellovibrio* - obligátní parazit, má ale celý set katabolických, anabolických a energii generujících genů/enzymů
- v laboratoři zcela zlikvidují populaci *E. coli*, v přirozených podmínkách nikoliv (ochrana jílem)



Parazitismus – př.

- některé bakterie mohou způsobit lyzi i bez přímého kontaktu, exoenzymy
 - myxobakterie lyzují G+ i G- půdní bakterie i vzdálené od jejich buněk a využijí materiál uvolněný lyzí
 - populace *Cytophaga* (G-) - lyze citlivých řas
 - produkce bakter. chitináz – degradace buněčné stěny hub
 - odolnost bakt. populace vůči lyzi může být specifická
 - produkce spor, cyst – odolnější ataku, ochrana populace před eradikací parazitem
-
- na prvocích parazitují mnohé houby, bakterie a i jiní prvoci
 - např. *Legionella pneumophila* parazituje na prvocích – pomáhají jejich přežití i rozšíření



Hyperparasitismus

- *Bdellovibrio* parazitující na jiných bakteriích může mít temperovaného fága
- houby parazitující na řasách mohou mít bakteriální nebo virové parazity

Užitečnost parazitismu

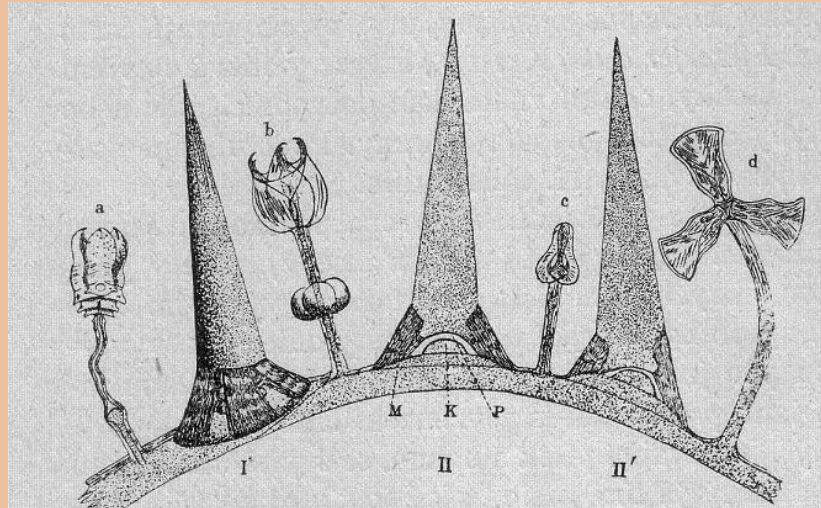
- kontrola populace – parazitu se daří jen na husté populaci – snížením její hustoty umožní obnovu zdrojů v životním prostředí, které jsou využívány hostitelem
- snížením hustoty hostitele se sníží i populace parazita, obě ale přežijí
- jde o několikanásobnou zpětnou vazbu bránící zániku všech zúčastněných populací



Rosolovka průsvitná parazituje na pevníku krvavějícím

Predátorství – př.

- predátor, pohltní a stráví jiný organismus, kořist (někdy splývá s parazitismem – *Bdellovibrio*...).
- predátor je větší než kořist
- cyklické fluktuace v populacích predátora i kořisti – experimentálně pro 2 populace neprokázáno - predátor napřed zlikvidoval kořist a pak sám vyhladověl...
- faktory - saturační kinetika a možný úkryt kořisti
- predátor zničí pár jedinců, ale populace kořisti může těžit z urychleného cyklu živin, udržuje se dynamický růst
- diverzita skutečného životního prostředí – kořist nachází úkryty – soužití a oscilace populací
- význam montmorilonitu (jíl) a fyzikálních struktur v půdě
- někteří predátoři z řad prvoků 1000-10000x větší než bakterie, které konzumují (filtrací)
- ta se zastaví, když je v prostředí jen 10^5 - 10^6 bakterií a filtrace je energeticky nevýhodná
- bakteriální populace regeneruje
- bakteriální spory rezistentnější predaci
- někteří prvoci mají dvě formy – s a bez ostnů – obrana proti větším prvokům



DĚKUJI ZA POZORNOST

