

Základy půdoznalství a mikrobiologie

přednáška 7

**Ing. Jaroslav Záhora, CSc.
ústav 221**

Mikrobiologie

věda, která se zabývá studiem vlastností a činností mikroorganismů

Mikroorganismy – převážně jednobuněčné, viditelné pouze mikroskopicky (heterogenní skupina)

(viry), bakterie a sinice, řasy, houby a prvoci

Mikrobiologie se vzhledem k naznačené různorodosti dále člení

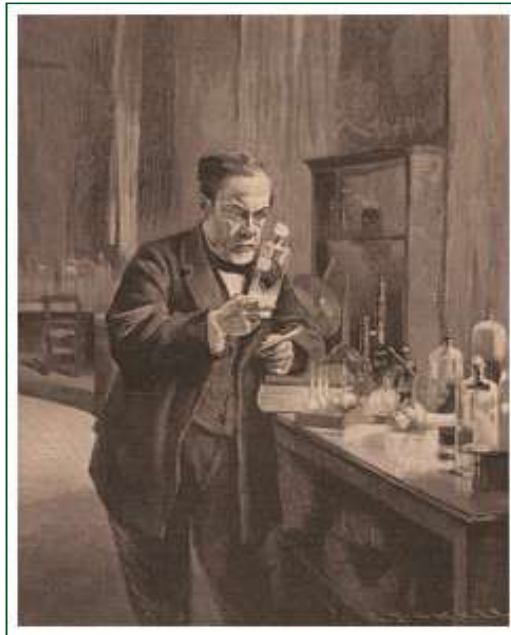
- na:
- virologii,
 - bakteriologii,
 - protozoologii,
 - algologii
 - mykologii

Na našich univerzitách je protozoologie součástí zoologie a algologie a mykologie se přednáší v rámci systému vyšších rostlin. Nižší houby (kvasinky a plísňe jsou předmětem studia mikrobiologie.

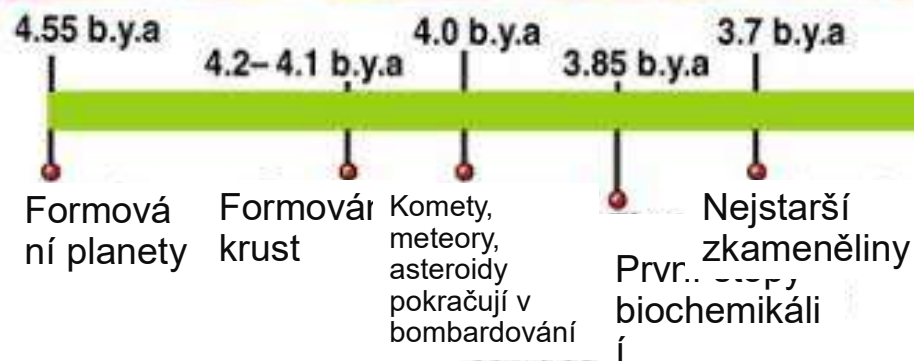
Mikrobiologie

Velmi malé rozměry mikrobů od několika setin μm do několika desetin mm daly mikrobiologii název (mikros – malý, bios – život, logos – věda).
Název navrhl **Pasteur**.

Ten je také považován za zakladatele mikrobiologie



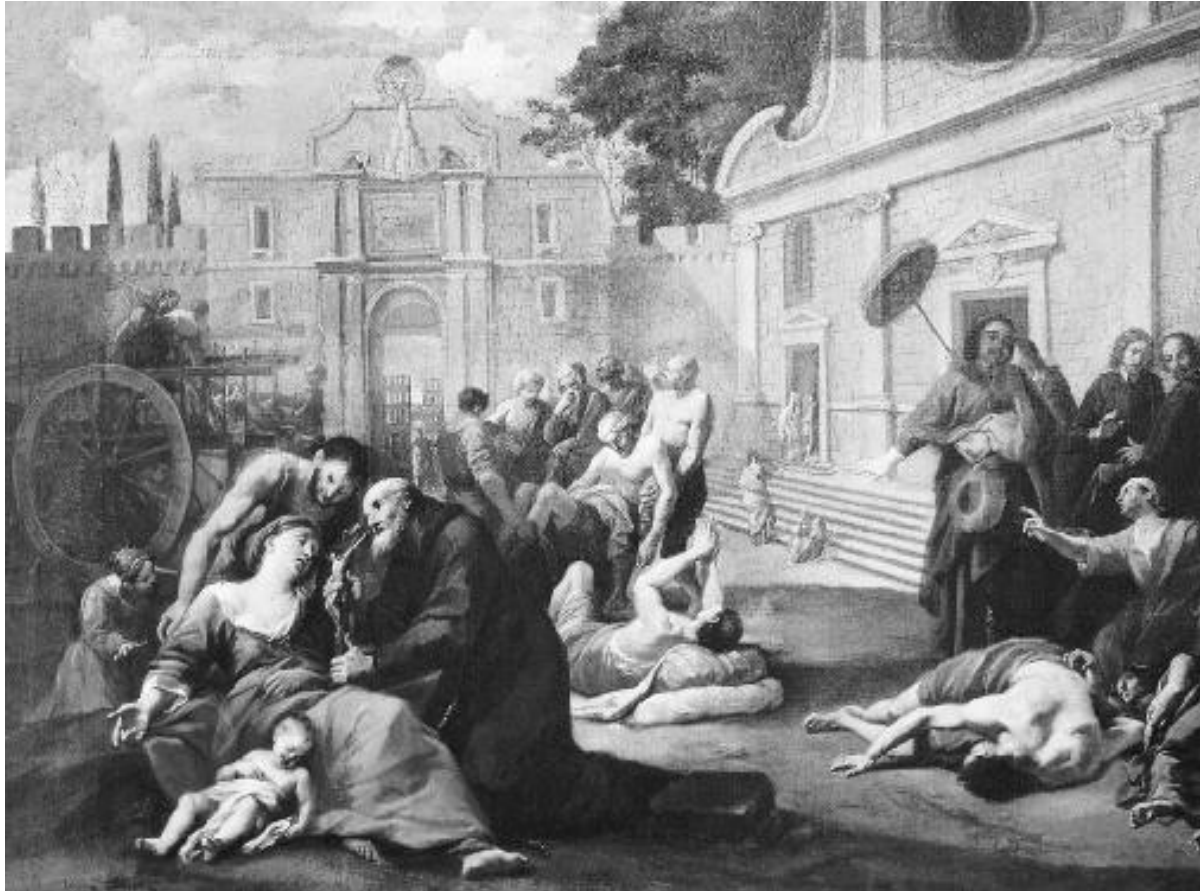
Milníky v historickém vývoji planety Země.



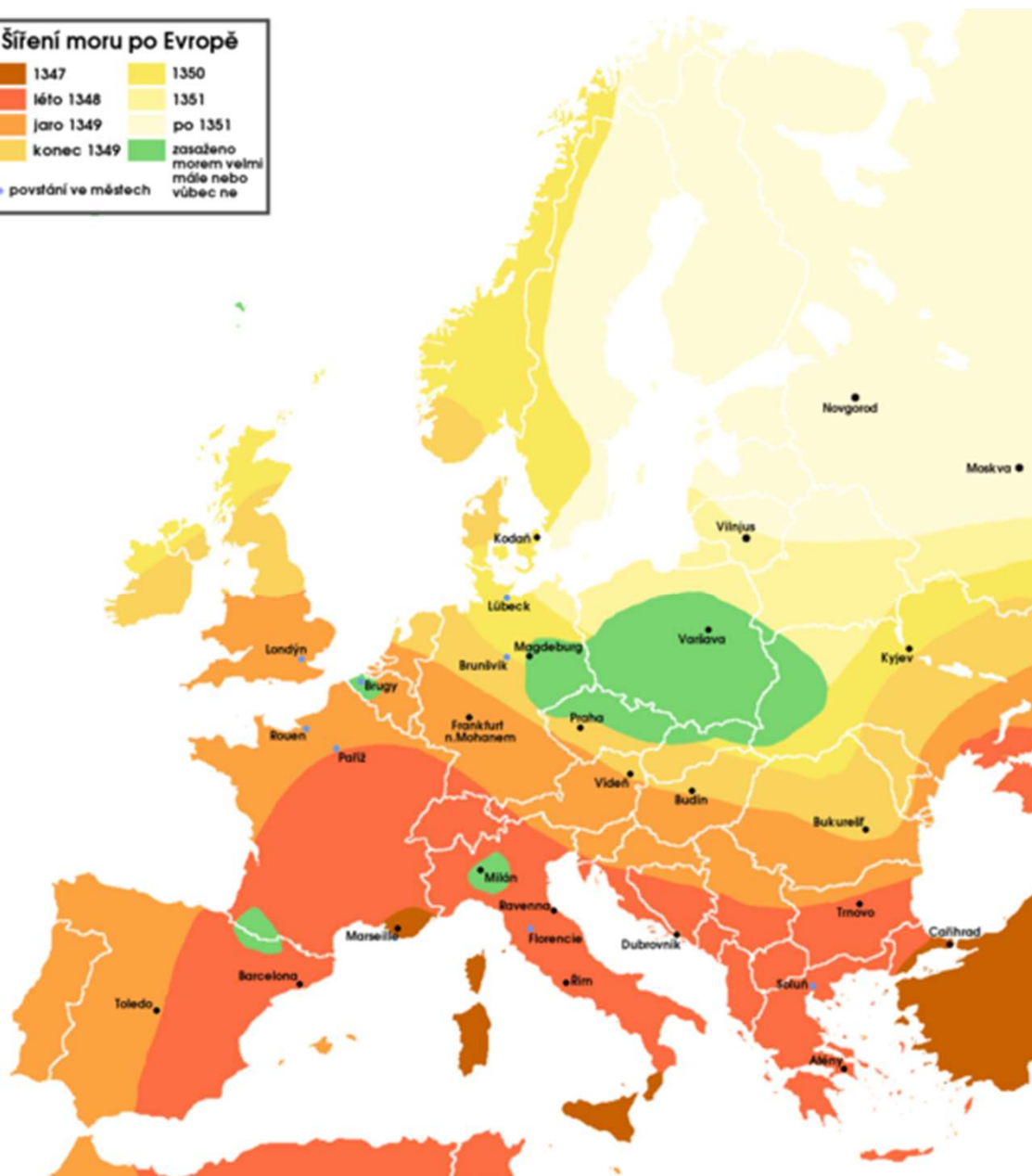
Předkové bakterií představovali první formy života na Zemi.

Důvody zájmu o mikroorganismy

(prvotním je dopad mikroorganismů na lidstvo)



Obraz pochází z 19. století a znázorňuje utrpení obětí moru. Černá smrt, která vypukla v roce 1340 byla nejhorší epidemií moru v historii a zdecimovala evropskou populaci.



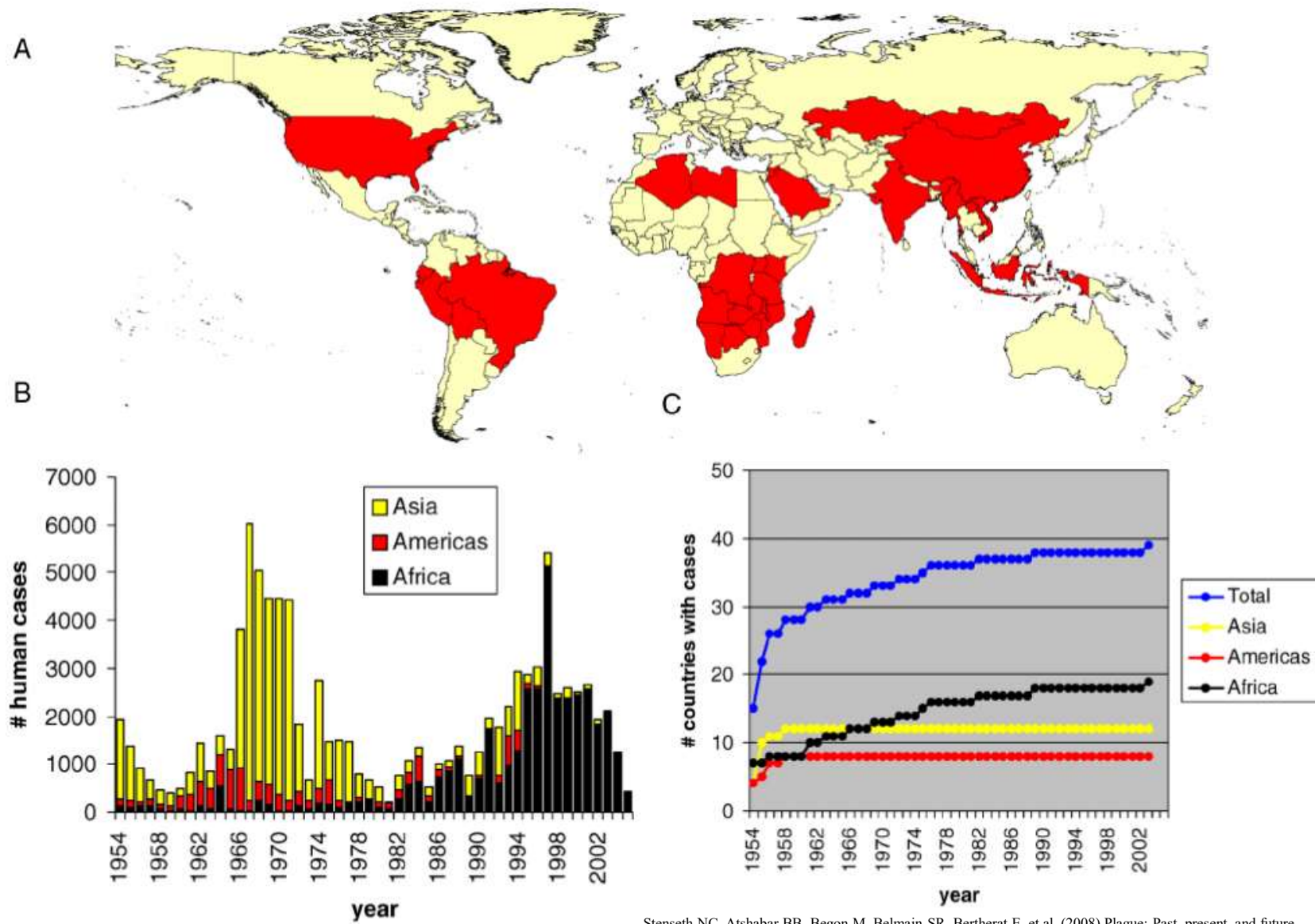
Onemocnění způsobuje gramnegativní tyčinkovitá bakterie *Yersinia pestis*. Onemocnění má tři formy:

(1) Dýmějový mor

(bubonická forma) je na člověka přenášena blechami, které se infikovaly na nakaženém hlodavci (hlavně na kryse, která však příznaky netrpí). Po kousnutí infikovanou blechou dochází ke zhnědnutí kousance, poté se objeví boule v oblasti mizných uzlin.

(2) Septický mor

(3) Plicní mor (Forma pneumonická) se přenáší kapénkovou infekcí z člověka na člověka a je mnohem nebezpečnější. Působí velice rychle a neléčena má velice vysokou smrtnost (až přes 90 %).



doi:10.1371/journal.pmed.0050003.g001

Stenseth NC, Atshabar BB, Begon M, Belmain SR, Bertherat E, et al. (2008) Plague: Past, present, and future. PLoS Med 5(1): e3. doi:10.1371/journal.pmed.0050003

Důvody zájmu o mikroorganismy

(dopad mikroorganismů na lidstvo)

- mikrobiologie jako věda má své počátky spojeny se snahou porozumět příčinám nejrůznějších infekčních onemocnění
- třebaže v současnosti jsou mnohé patogenní mikroorganismy pod kontrolou,
- Pro nemocné AIDS (acquired immune deficiency syndrome),
- pro pacienty s rakovinným onemocněním, jejichž imunitní systém je devastován následkem léčby
- nebo pro onemocnění patogeny s mnohonásobnou lékovou rezistencí **mikroorganismy stále neivážnější**

ce
ledvinovéonemocnění
said) sebevraždy
abití, vraždy

Důvody zájmu o mikroorganismy

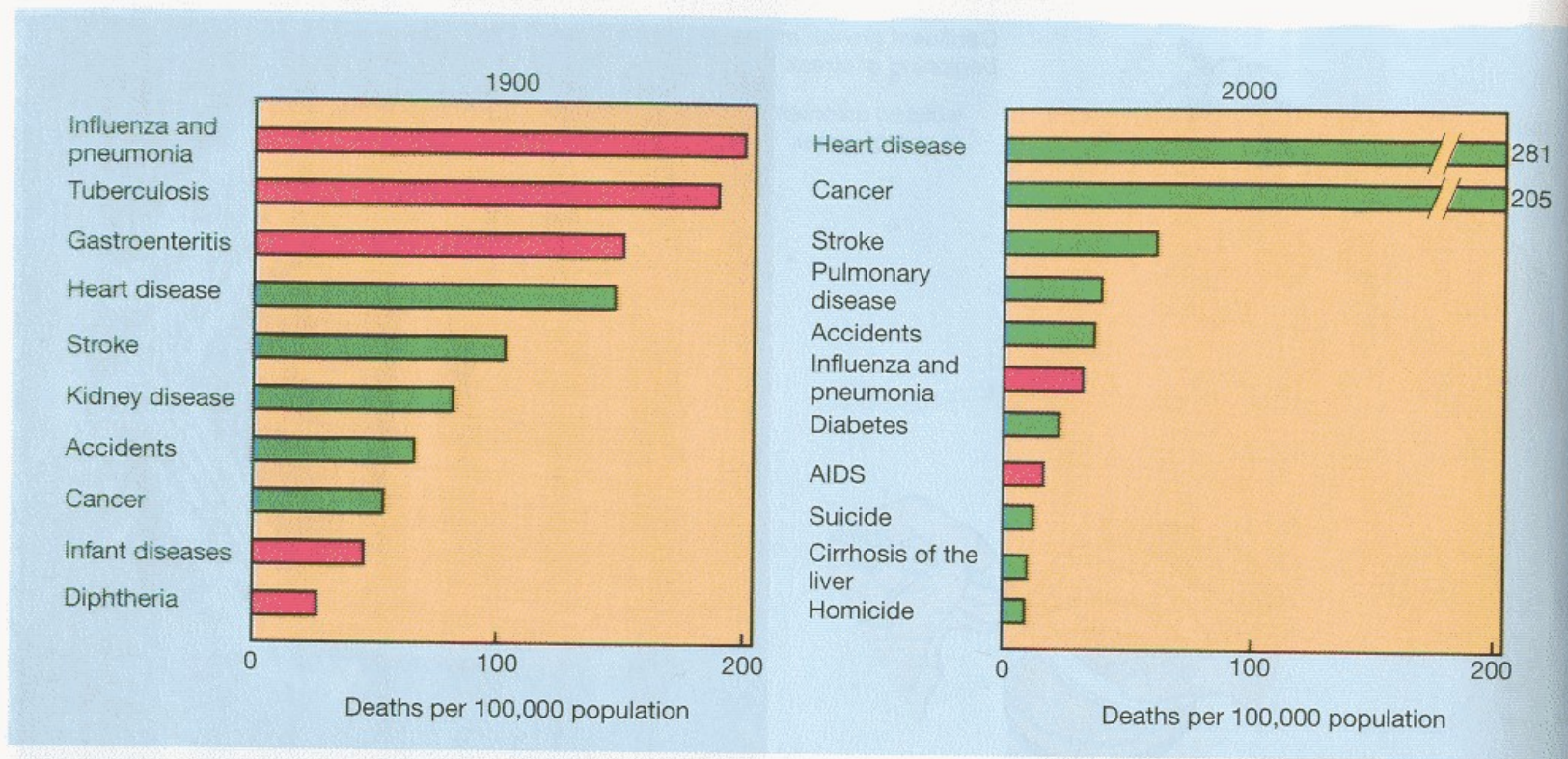


FIGURE 1.15 Death rates for the 10 leading causes of death in the United States: 1900 and 2000. Infectious diseases were the leading causes of death in 1900, whereas today they are much less important. Microbial diseases are shown in red, nonmicrobial diseases in green. Data from the United States National Center for Health Statistics.

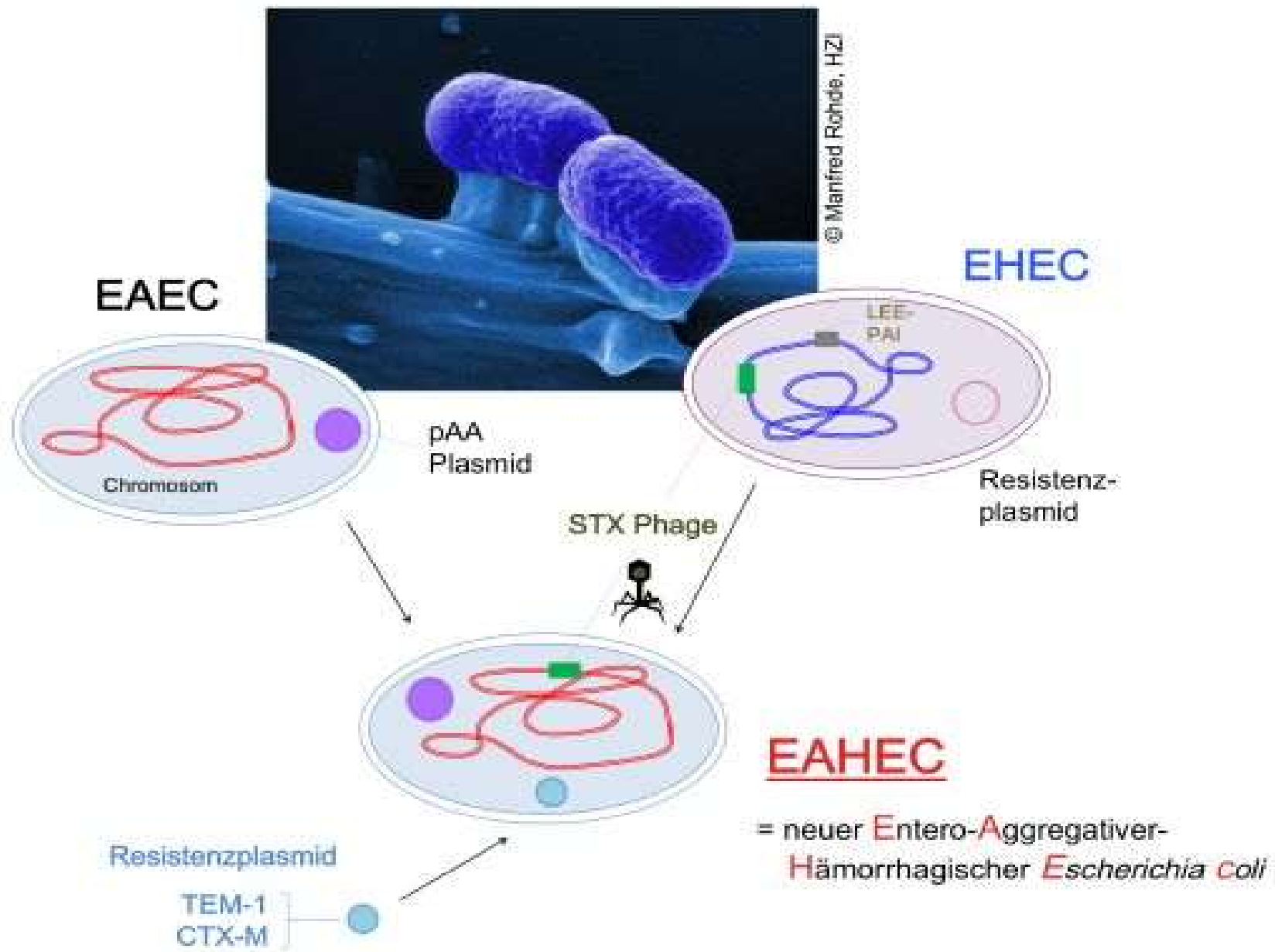
- mikrobiální onemocnění představuje stále hlavní příčinu úmrtí v mnoha rozvojových zemích
- jedná se o onemocnění, která se v rozvinutých zemích daří držet díky pokroku v medicíně pod kontrolou (malárie, tuberkulóza, cholera, spavá nemoc, úporná průjemová onemocnění ...)
- **Mikroorganismy jsou tedy stále vážnou hrozbou pro existenci lidstva**
- Např. mikrobiální onemocnění způsobené kmenem enteroagregativní hemoragické *Escherichia coli*, (běžná *E. coli* je ale prospěšná střevní bakterie)

Enteroagregativní hemoragická *Escherichia coli* (EAHEC)

Mikrobiologové z dolnosaského Helmholtzova centra pro výzkum infekcí (HZI) dekovali genom původce onemocnění EAHEC. Vědci z Univerzity v Göttingen dekovali genetickou informaci bakterie *Escherichia coli* (E. coli O104:H4), která byla příčinou závažných krvácivých průjmů. Zkoumané vzorky pocházely od dvou pacientů z Hamburku. „Výsledky prokázaly, že izoláty od postižených pacientů nevykazovaly jenom EHEC patogeny, ale naopak spíše zárodky označované EAEC (enteroagregativní *Escherichia coli*), které se vyznačují tím, že se zvláště pevně přichytí na epitelové buňky, vytvářejí buněčné agregáty a zahajují svůj normální, patogenní program.“

Enteroagregativní hemoragická *Escherichia coli*

Zkoumaný genetický materiál z Hamburku je identický s jedním kmenem EAEC z více než 96 procent. Zárodky EAEC svůj patogenní potenciál výrazně zvýšily tím, že z jiných kmenů *E.coli* např. EHEC pomocí bakteriálních virů (fágů) převzaly speciální gen a zabudovaly ho do vlastního chromozómu. Tento gen tvoří shiga- toxin, který pochází původně z bakteriální úplavice. Jedná se o specifický jed, který může vyvolat hemoragicko-uremický syndrom (HUS), tj. rozklad krve a další následky jako např. selhání ledvin. Tato kombinace zvyšuje nebezpečnost nového zárodku: jeho buňky mohou vytvářet ve střevním traktu díky fixaci a agregaci masivní infekční ložisko a buněčná biomasa produkuje velmi účinný shiga-toxin. Kromě toho chrání tento nový druh zárodku před širokým spektrem antibiotik rezistenční plazmid.



Invazivní meningokoková onemocnění (IMO)

(původce *Neisseria meningitidis*, v ČR přibližně 100 onemocnění ročně, celková úmrtnost kolem 10% - ve věkové skupině 15 – 19 let úmrtnost 25% (Data SZÚ Praha)).

K polovině úmrtí dochází do 24 hodin od vzniku prvních klinických příznaků, část nemocných umírá už před přijetím do nemocnice, většinou se jedná o pacienty s meningokokovou sepsí se septickým šokem.

IMO postihují především mladší věkové kategorie, maximum výskytu je ve věkové skupině 0-4 roky (prevalence séroskupiny B) a 15-19 let (prevalence séroskupiny C). **Výskyt IMO je častý v uzavřených a** vzniklých kolektivech (vojáci, studenti, lidé na diskotéce).



Způsob přenosu IMO

Jedná se o kapénkovou nákazu, která se přenáší vzdušnou cestou prostřednictvím kapének slin (při kašli či kýchání). Mezi další způsoby přenosu nákazy patří přímý kontakt s nakaženou osobou, např. líbání.

Neisseria meningitidis je bakterie, která se přirozeně vyskytuje v nose a v krku asi u 5 -10 % populace. Tito jedinci jsou **nosiči bakterie** a zatím není známo, proč se u některých vyvine akutní onemocnění a u jiných nikoliv. Významnou roli zde pravděpodobně hraje **zdravotní stav jedince**. Před propuknutím nemoci prodělalo velké množství postižených osob katar horních cest dýchacích, byli vystaveni fyzické zátěži či se zúčastnili různých kolektivních aktivit.



V RÁMCI IMO JE MOŽNO ROZLIŠIT 3 KLINICKÉ FORMY:

meningokokovou sepsi (čtvrtina onemocnění, úmrtnost 25%),

meningokokovou sepsi s meningitidou (smíšená forma, polovina onemocnění, úmrtnost 5%)

meningokokovou meningitidu (čtvrtina onemocnění, úmrtnost do 2%)

*Časná stádia invazivního meningokokového onemocnění se dají diagnostikovat obtížně, protože se podobají nachlazení. Inkubační doba je velmi krátká. Mezi **nejčastější příznaky meningokokového onemocnění se řadí** : celková nevolnost, vysoká teplota, zvracení, zimnice, bolest hlavy, bolest v krku, bolest svalů a kloubů. Po těchto příznacích může následovat náhlý nástup ospalosti, zmatenosti, ztuhlosti krku, vyrážka, poruchy vědomí, křeče. Protože se bakterie šíří do ostatních částí těla pomocí krevního oběhu, mohou být zánětem postiženy i další orgány, např. oči, srdce, plíce, játra, ledviny.*

Možnosti prevence

Proti invazivnímu meningokokovému onemocnění sérologické skupiny B nebyla zatím vyvinuta univerzálně použitelná vakcína.

Onemocnění sérologickou skupinou C je možno předcházet očkováním, které v organizmu vyvolá tvorbu protilátek. Ty pak chrání jedince při styku s bakteriemi před rozvojem onemocnění.

*Pro očkování proti invazivnímu meningokokovému onemocnění sérologické skupiny C byla vyvinuta nová generace očkovacích látek. Jsou známy jako **konjugované vakcíny** a jedná se o očkovací látky účinnější než byla předchozí generace polysacharidových vakcín.*

Očkovat se mohou děti od 2 měsíců věku, adolescenti i dospělí. Konjugovaná vakcína zaručí dlouholetou ochranu proti invazivnímu meningokokovému onemocnění sérologické skupiny C.

Klinické studie u starších dětí a dospělých ukázaly, že jedna dávka konjugované vakcíny vyvolá tvorbu protilátek u dětí a dospělých.



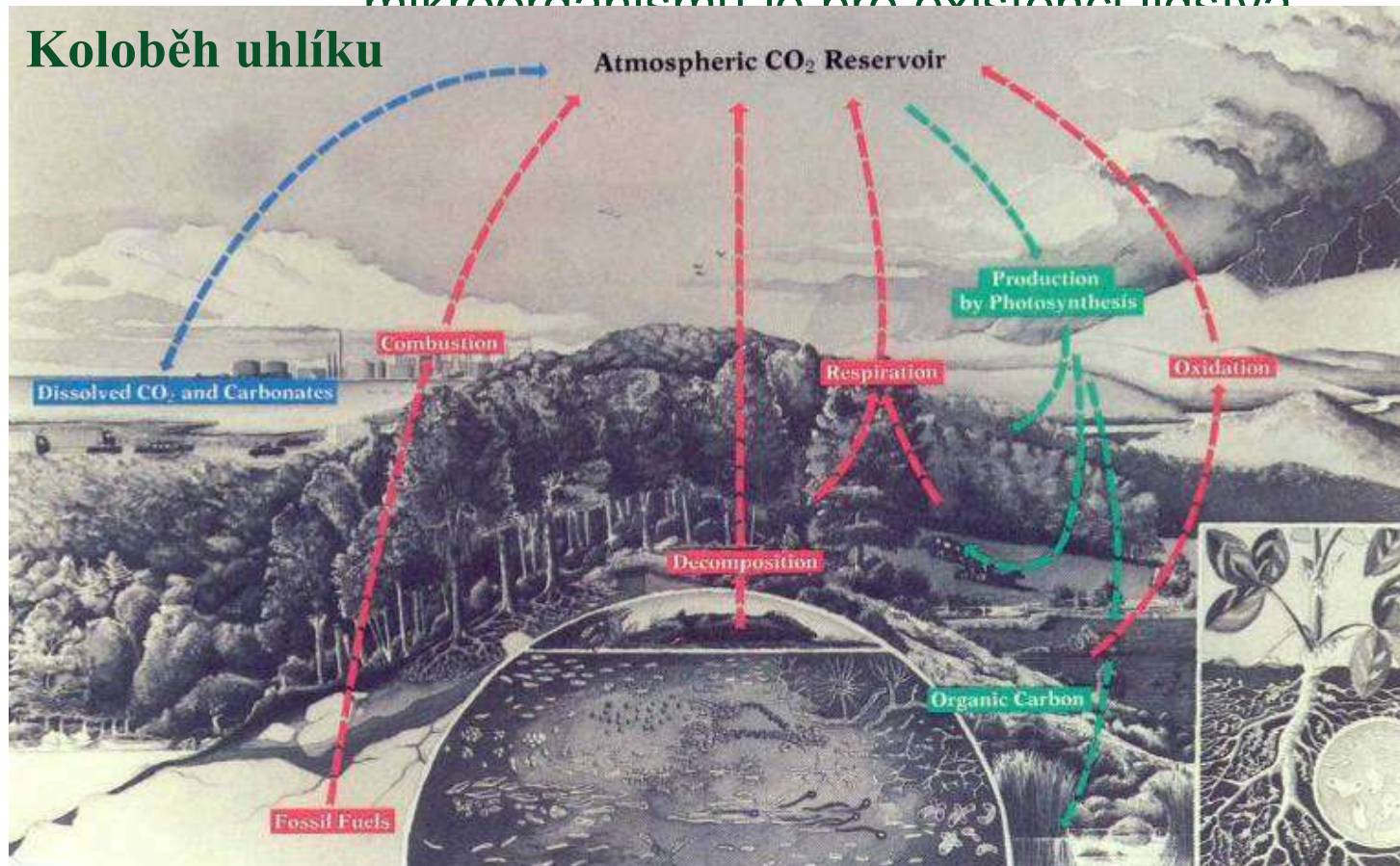
Protilátek u dětí a dospělých je pouze jedna dávka konjugované vakcíny vyvolá tvorbu protilátek u dětí a dospělých.

Na druhé straně je nutno zdůraznit, že většina mikroorganismů není pro člověka nebezpečná

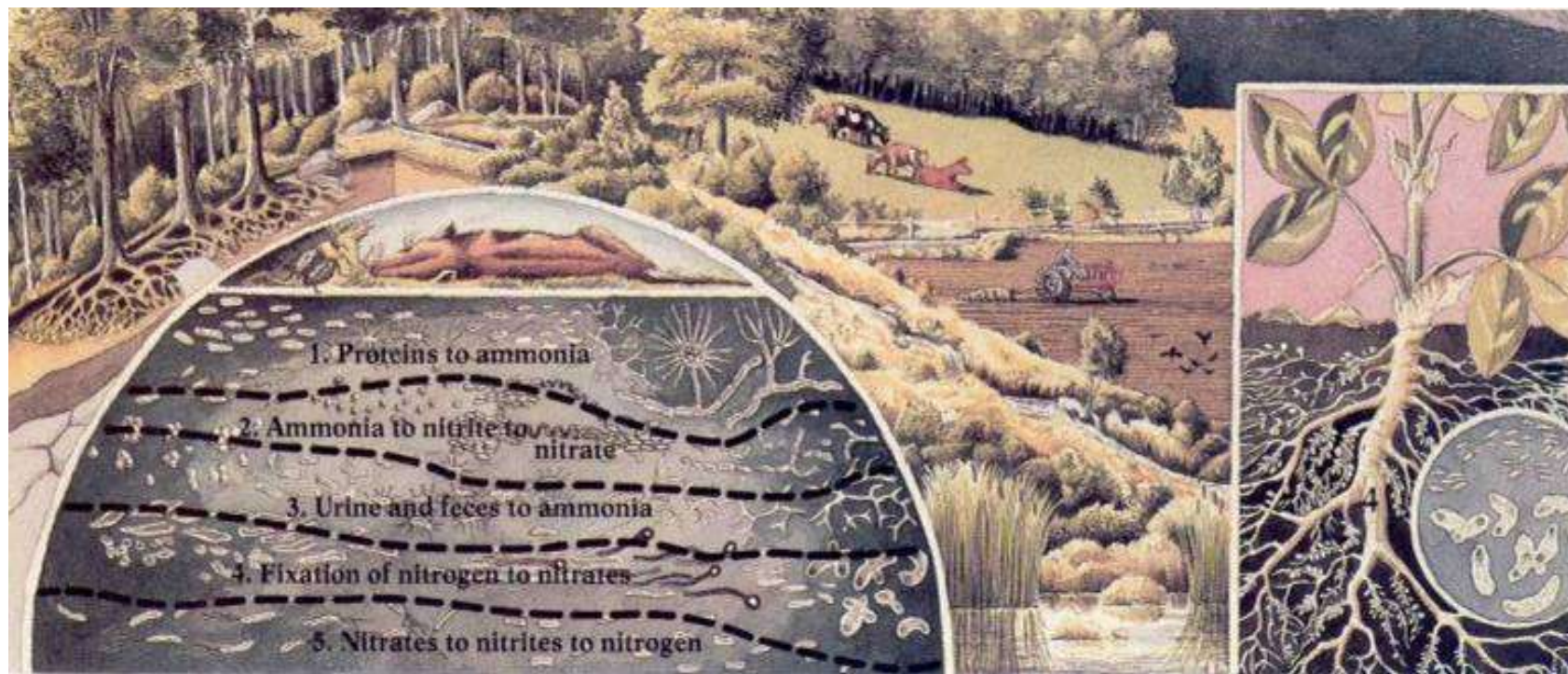
...

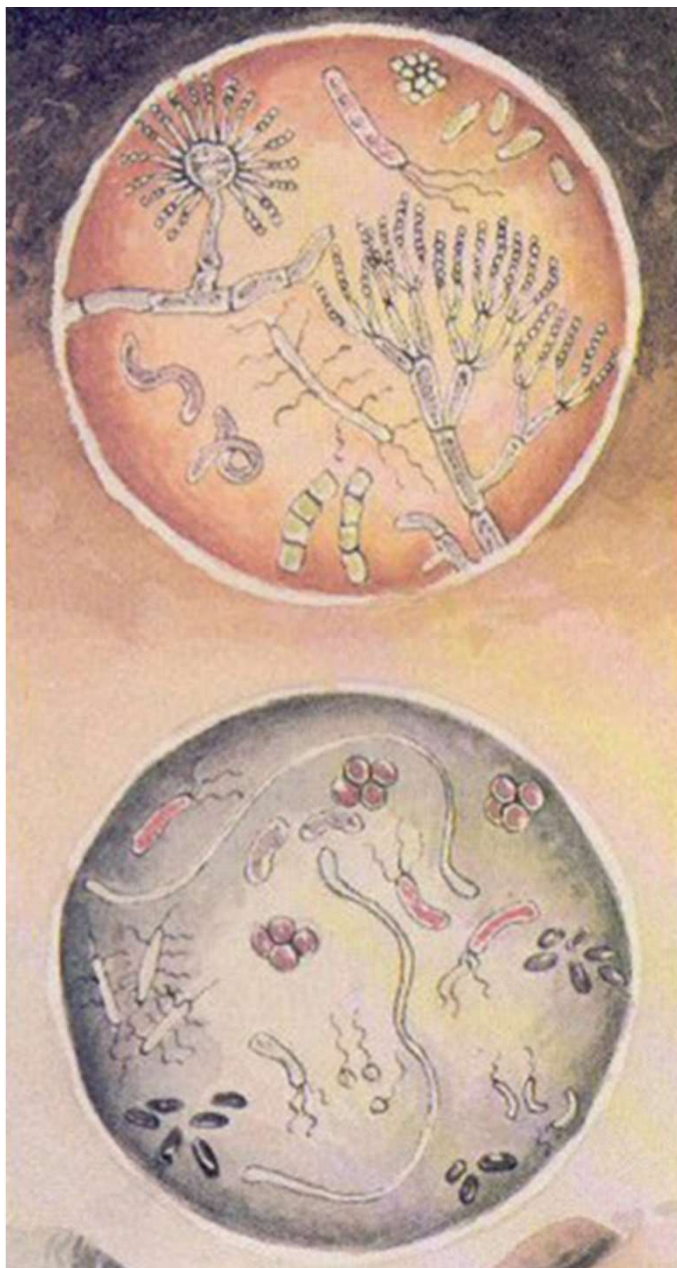
Ve skutečnosti je tomu právě naopak - většina mikroorganismů je pro existenci lidstva

Koloběh uhlíku



Koloběh dusíku





Koloběh síry

Houby a bakterie účastnící se cyklu síry:
aerobní nahoře,
anaerobní dole.

Mikroorganismy a zemědělství

- Naš celý zemědělský systém je v mnoha důležitých ohledech přímo závislý na aktivitě mikroorganismů
- Leguminózy (nodulující bakterie)
- Bakterie v zažívacím traktu přežvýkavců
- Klíčová role mikroorganismů v uzavírání koloběhů živin
- Kromě prospěšného vlivu, je nutno počítat i s ekonomickými dopady mikrobiálních onemocnění rostlin a živočichů

Mikroorganismy a potraviny

- Mikroorganismy mají významný vliv na potravinářský průmysl
- Jakmile jednou sklídí člověk úrodu, nastává okamžitý a přirozený tlak mikroorganismů
- Průmysl konzervářský, mrazírenský, sušení potravin ...
- Ne všechny mikroorganismy mají škodlivý vliv, některé jsou dokonce záměrně vnášeny do potravin – využití při výrobě sýrů, jogurtů, zelí ...
- Alkoholové kvašení při výrobě piva, vína, ...

Mikroorganismy, energie a prostředí

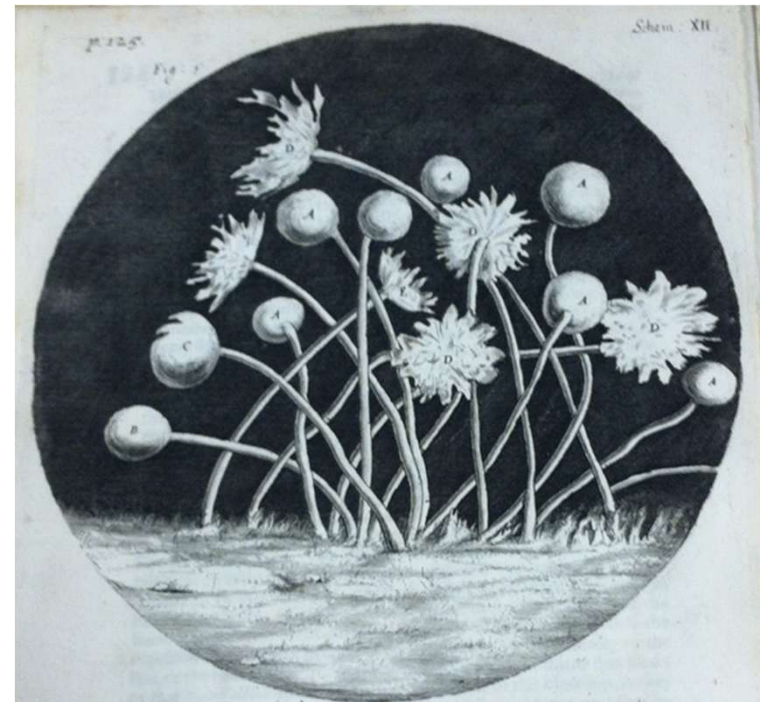
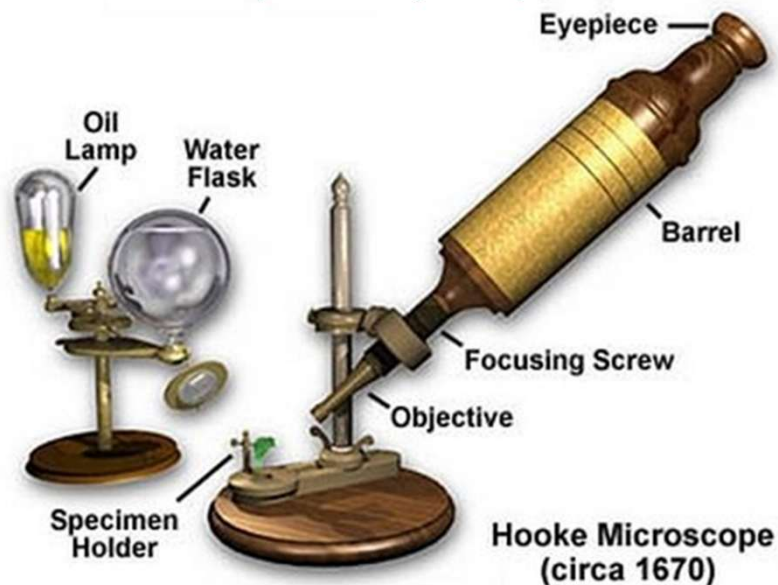
- Rozvinuté země jsou na energii závislé a také zde hrají mikroorganismy majoritní úlohu
- Většina přírodního plynu je produktem aktivit metanogenních bakterií
- V budoucnosti by mikroorganismy mohly napomoci s alternativními zdroje energie –
- fototrofní mikroorganismy mohou využívat světelnou energii na produkci biomasy –
- nejrůznější organické látky (i odpadní) mohou být přeměněny rozkladnou činností mikroorganismů na biopalivo (metan, etanol)
- Mikroorganismy mohou být dále využity při bioremediaci

Mikroorganismy a budoucnost

- **Biotechnologie** využívá mikroorganismy v široké škále průmyslových procesů (obvykle s využitím geneticky modifikovaného mikroorganismu schopného syntetizovat určité produkty vysoké komerční hodnoty)
- Biotechnologie je těsně provázaná s genetickým inženýrstvím (disciplína zabývající se záměrnými manipulacemi s geny a jejich produkty)
- S využitím technik genetického inženýrství je dnes možno „stvořit“ syntetický (umělý) gen a cíleně jej vložit do mikroorganismů
- Příkladem by mohl být lidský inzulin, hormon, jenž se u nemocných cukrovkou vyskytuje v abnormálně nízkých množstvích Může být produkován uměle genem pro jeho tvorbu, vneseným do mikroorganismu

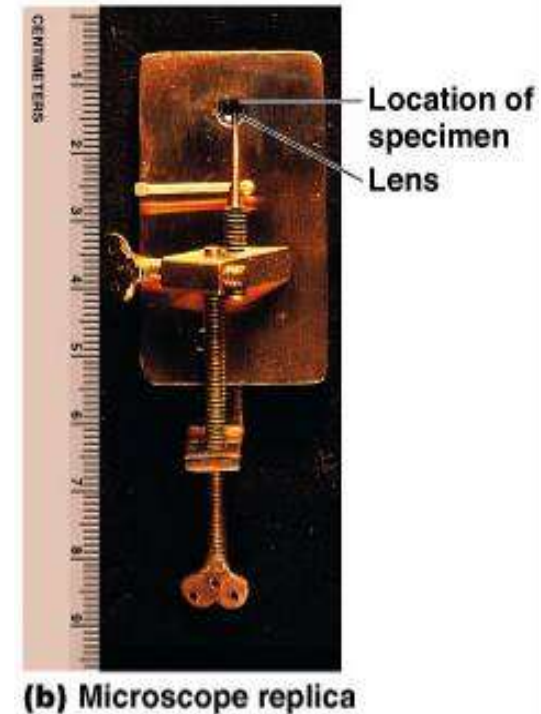
Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Robert Hooke (1664)** jako první díky pokroku v mikroskopické technice (první kondenzor) pozoruje fruktifikační kulovité orgány „modrých plísní“ rostoucích na kůži (eukaryota)



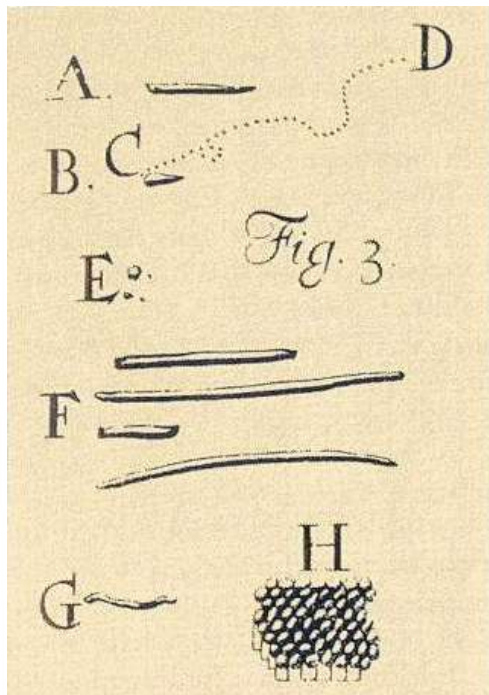
Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- První, kdo pozoruje skutečné mikroorganismy (bakterie), je holandský amatérský konstruktér mikroskopů – **Antony van Leeuwenhoek**,
- Sám si sestrojil mikroskop, vybrousil a osadil čočky, které zvětšovaly nejprve 160 x a později 275x a měly rozlišovací schopnost 1,4 μm , pozoroval prokaryotické buňky a svá pozorování popisuje v dopisech Royal Society of London
- Ta je v roce 1684 publikuje jako „Tajemství přírody odkryté A. v. Leeuwenhoeckem“
- Tato „stvoření“ zde byla označena jako „wee animalcules“ doslova „maličký



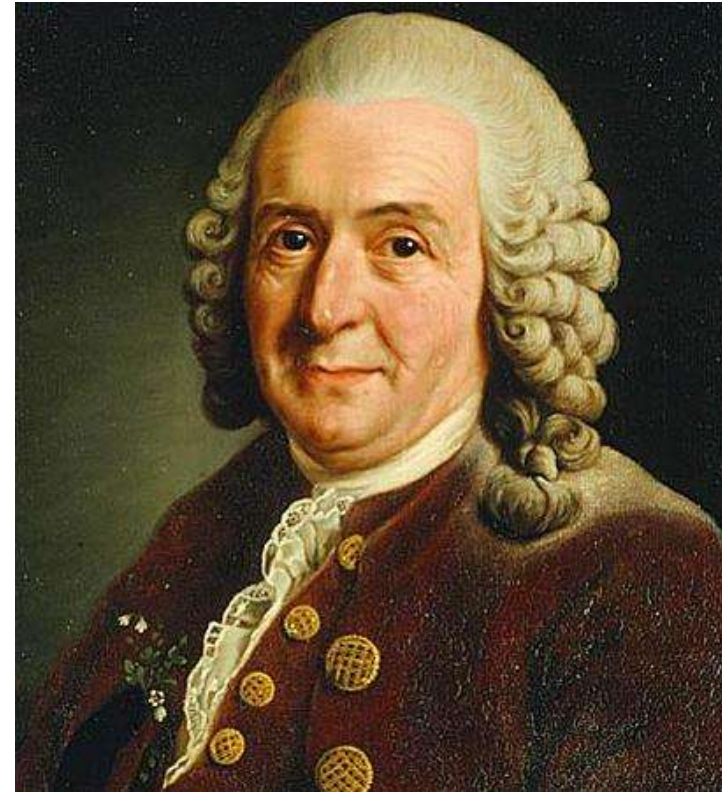
(b) Microscope replica

- i přes časový „most“ je možno rozeznat základní morfologické typy bakterií: tyčinkovité, kulovité a shluky koků
- Mikrofotografie krevního séra pořízená z Leeuwenhoekova mikroskopu

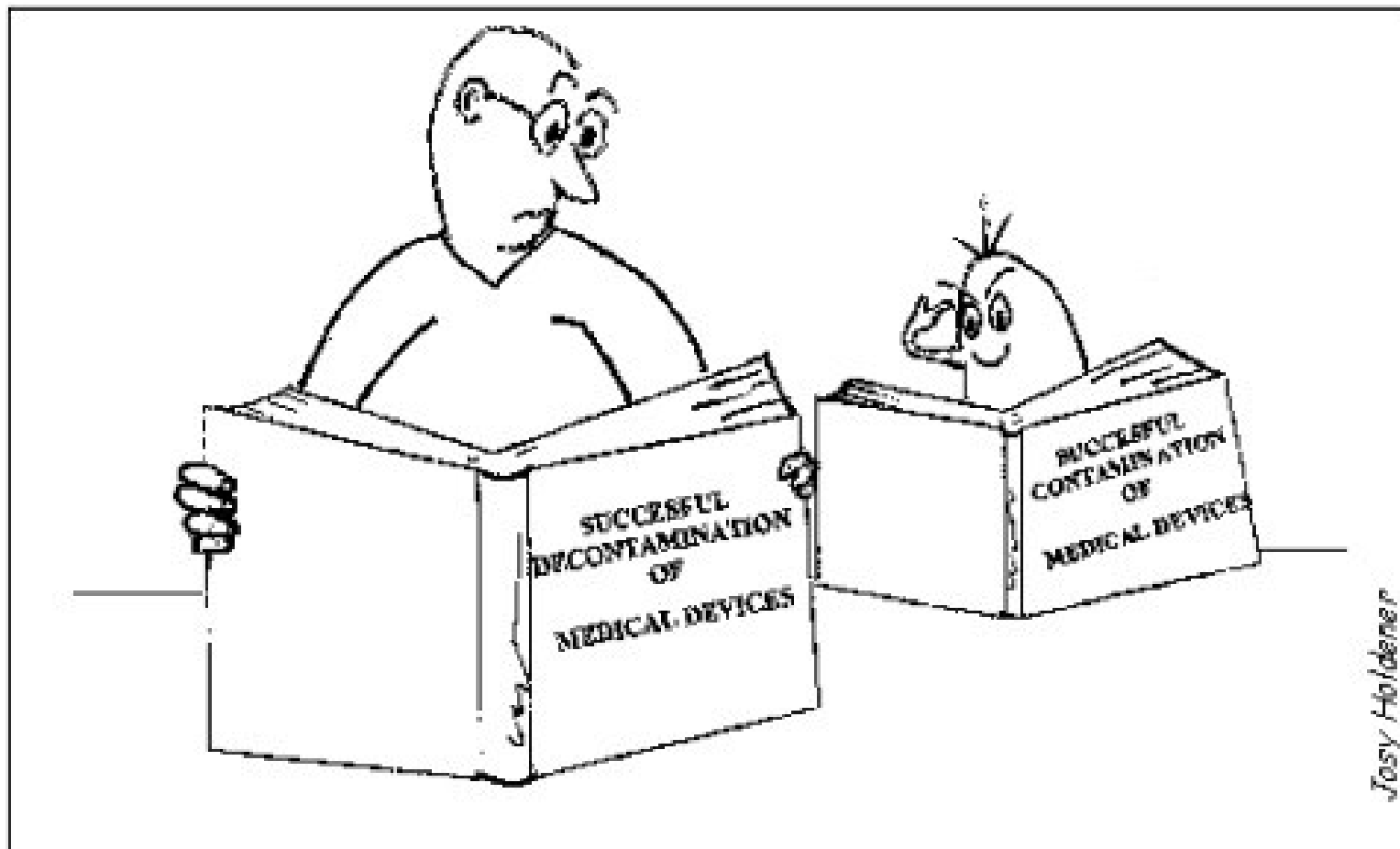


Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Na dlouhou dobu téměř 200 let je pokrok v oblasti mikrobiologie blokován nejen technickým pokrokem v oblasti mikroskopické techniky, ale také určitými základními technikami nutnými pro hlubší studium mikroorganismů...
- **Linné (1707 – 1778)** zpracoval systematiku vyšších rostlin a živočichů,
- **mikroby zařadil do jednoho velkého rodu ... „chaos“**



- Skokem do druhé poloviny 19. století se ocitáme v čase Luise Pasteura a Roberta Kocha, kteří svými výzkumy položily základní kameny mikrobiologie - nově se rozvíjejícího oboru...
- **Pasteur** a propad „spontánního generování“
- Základní myšlenka „spontánního generování“ byla velmi jednoduchá: pokud např. vystavíme jídlo po určitou dobu působení vnějších vlivů, kazí se a pokud jej prohlédneme pod mikroskopem, je v něm možno pozorovat množství mikroorganismů.



*„ It is the microbes that will have the last word“...
Louis Pasteur*

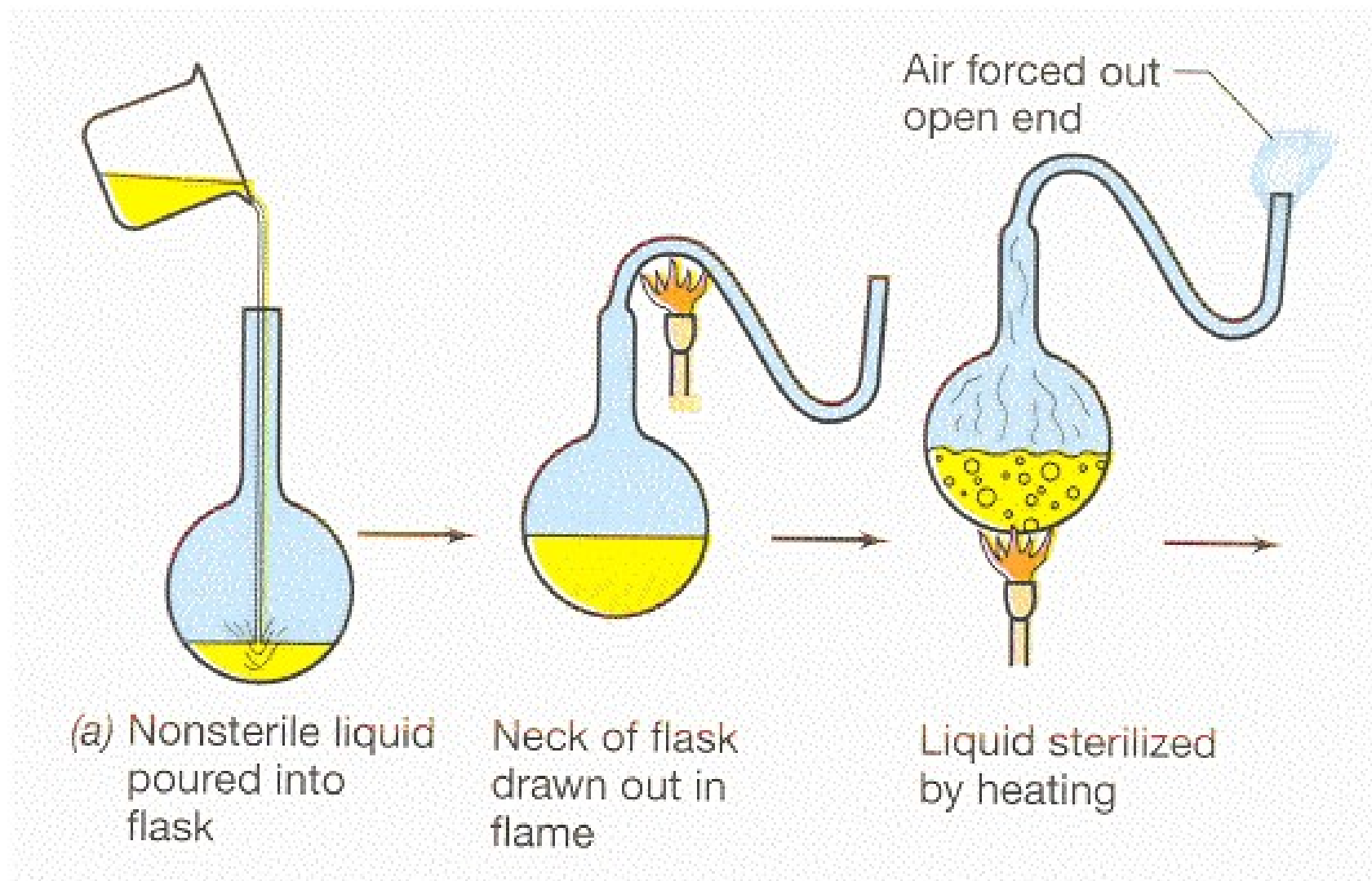
Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Odkud ale pocházejí, pokud je nebylo možno předtím zaznamenat?
- Někteří již tehdy říkali, že pocházejí ze semen nebo ze zárodků ze vzduchu, ...
- Jiní ale, že jsou **generovány spontánně** z neživých substancí
- Nejkritičtějším oponentem „**spontánního generování**“ byl francouzský chemik Luis Pasteur (1822-1895), který poprvé prokázal přítomnost identických mikroorganismů, které jsou v kazících se potravinách, na částicích vzduchu
- Přefiltroval určité množství vzduchu přes kolonu se střelnou bavlnou, ze které poté extrahoval mikroorganismy lihem a éterem

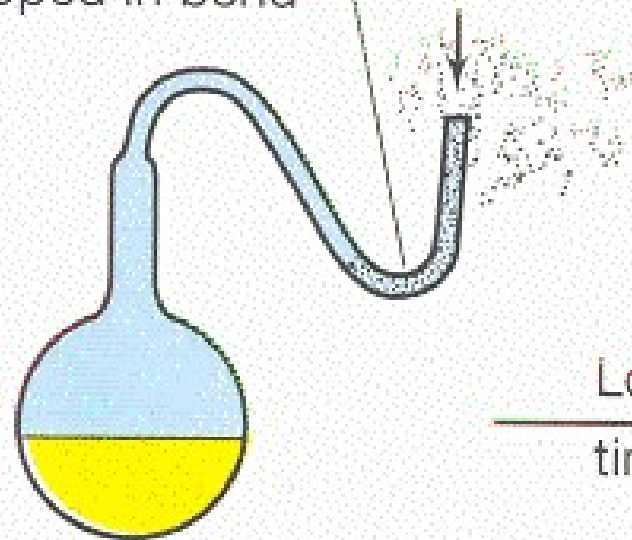
Tvrdil, že tyto zárodky jsou konstantně přítomné ve

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Pasteur** použil teplo k vyloučení kontaminantů
- Nicméně to již tehdy prokázané bylo, tedy že po projití živného roztoku varem nedochází k růstu mikrobů
- Zastánci „**spontánního generování**“ kritizovali takové pokusy tvrdíc, že je k němu zapotřebí čerstvého vzduchu a že vzduch uvnitř je pozměněn varem natolik, že již nemůže dojít ke spontánnímu generování mikrobů
- Pasteur definitivně odmítl tuto teorii na základě experimentů s použitím tzv. „Pasteurovy nádoby“



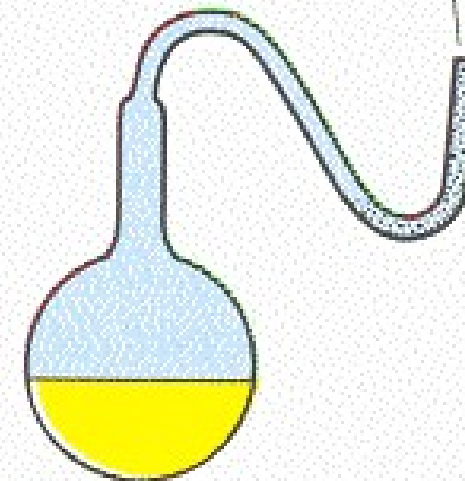
Dust and
microorganisms
trapped in bend



Long
time

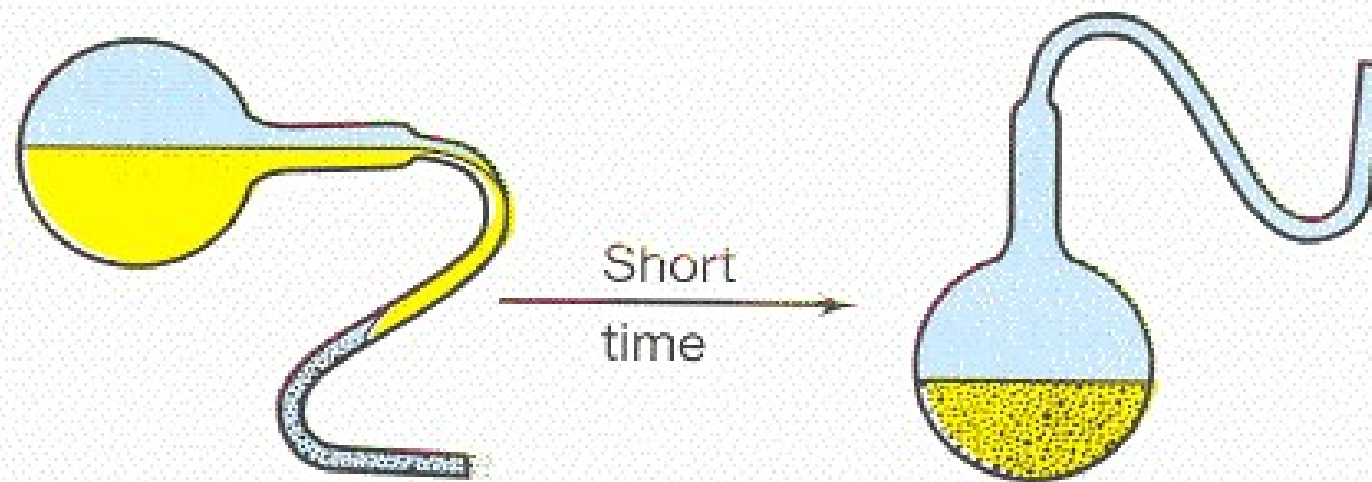


Open
end



(b) Liquid cooled
slowly

Liquid remains
sterile for
many years



(c) Flask tipped so microorganism-laden dust contacts sterile liquid

Microorganisms grow in liquid

FIGURE 1.18 Pasteur's experiment with the swan-necked flask. (a) Sterilizing the contents of the flask. (b) If the flask remained upright, no microbial growth occurred. (c) If microorganisms trapped in the neck reached the sterile liquid, microbial growth ensued.

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Fyziologické období** rozvoje mikrobiologie.
- *Kvašení a hnití jsou do této doby považovány za čistě chemické procesy. Pasteur prokázal v letech 1857 – 1861, že příčinou etanolového kvašení jsou kvasinky a mléčného a máselného kvašení bakterie, prokázal přítomnost bakterií ve vzduchu, začal používat tekutých živných půd, zavedl sterilizaci teplem a za studena filtrací, objevil původce sněti slezinné a cholery drůbeže, vypracoval základní metody očkování vakcínami oslabenými kulturami – sněť slezinná, vzteklna.*

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Pasteur** se objevem aktivní imunizace stal zakladatelem **imunologie**. Svými výzkumy nabyl přesvědčení, že jedny mikroby mohou účinně bojovat proti jiným a tak předurčil **anabiozu** a dnešní způsob boje **antibiotiky** proti patogenním mikrobům
- Usmrcení všech bakterií včetně jiných mikroorganismů – prostý proces **sterilizace** – a jeho zavedení do mikrobiologie jako vědy umožňuje další rozvoj



Staphylococcus:

bakterie, poprvé izolovány L. Pasteurem v roce 1829, jsou příčinou mnoha infekcí (zánětů, sepsí, atd.).

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Mezi hlavní **Pasteurovy** objevy patří zejména
vakcinace proti antraxu, choleře drůbeže a vzteklině
- Všechny tyto poznatky neměly grandiozní dosah pouze svým
(1880-1890)
vlastním obsahem, pomáhaly současně podpořit koncepci
přenosu zárodků nemocí, jejíž principy byly v té době rozvíjeny
Pasteurovým současníkem **Robertem Kochem**
- O „**něčem**“, co je přenášeno z nemocného na zdravého člověka
a zapříčiňuje vznik nemoci se však uvažovalo již v 16. Století
- Předpokládalo se, že se **to** nekontrolovaně šíří uvnitř populace a
takto vznikající nemoci byly označovány jako **nakažlivé**
- Neznámý aktivní agens byl označován jako **nákaza**
- Po objevení mikroorganismů byly právě ony označovány za
nákazu, ale důkaz chyběl!



Luis Pasteur



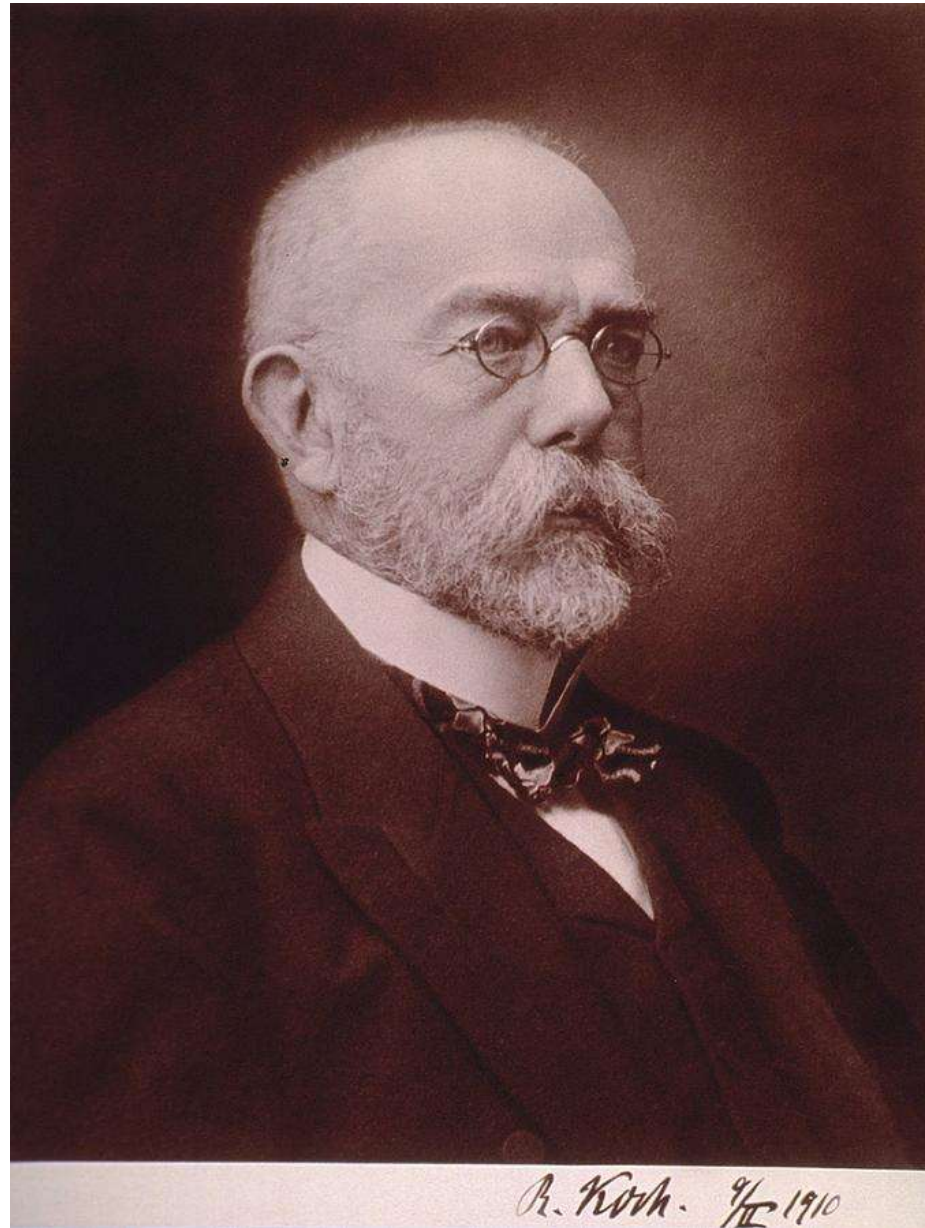
Anthrax

(baktérie v infikované plicní tkáni).

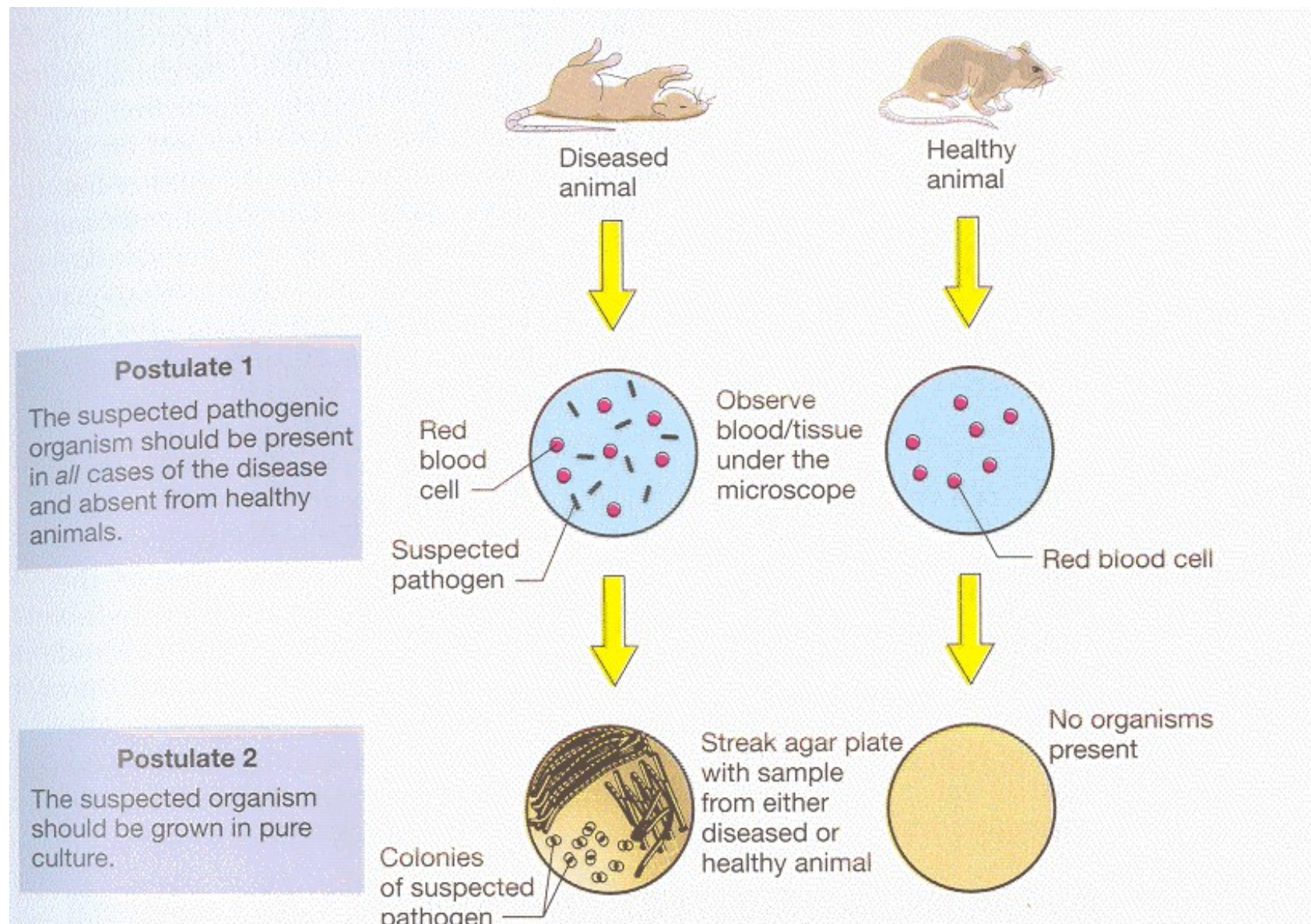
V sérii laboratorních pokusů na myších izoloval Robert Koch smrtící bakterie sněti slezinné.

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Koch** byl prvním, kdo kultivoval bakterie na pevné živné půdě
- Nejprve používal želatinu jako živné médium, která měla v době zásadního zájmu o lidské patogenní mikroorganismy obrovskou nevýhodu, totiž že při teplotě lidského těla (37°C) nesetrvávala v pevném stavu
- Pokrok v tomto ohledu znamenal zavedení agarových živných půd (široce používaných v 19. století)
- Agar – polysacharid, získávaný z červených mořských řas – poprvé použil pro kultivaci mikroorganismů Walter Hesse (Kochův spolupracovník), resp. s ideou přišla jeho žena Fannie, která mu to navrhla při přípravě ovocného želé



suspected
podezřelý



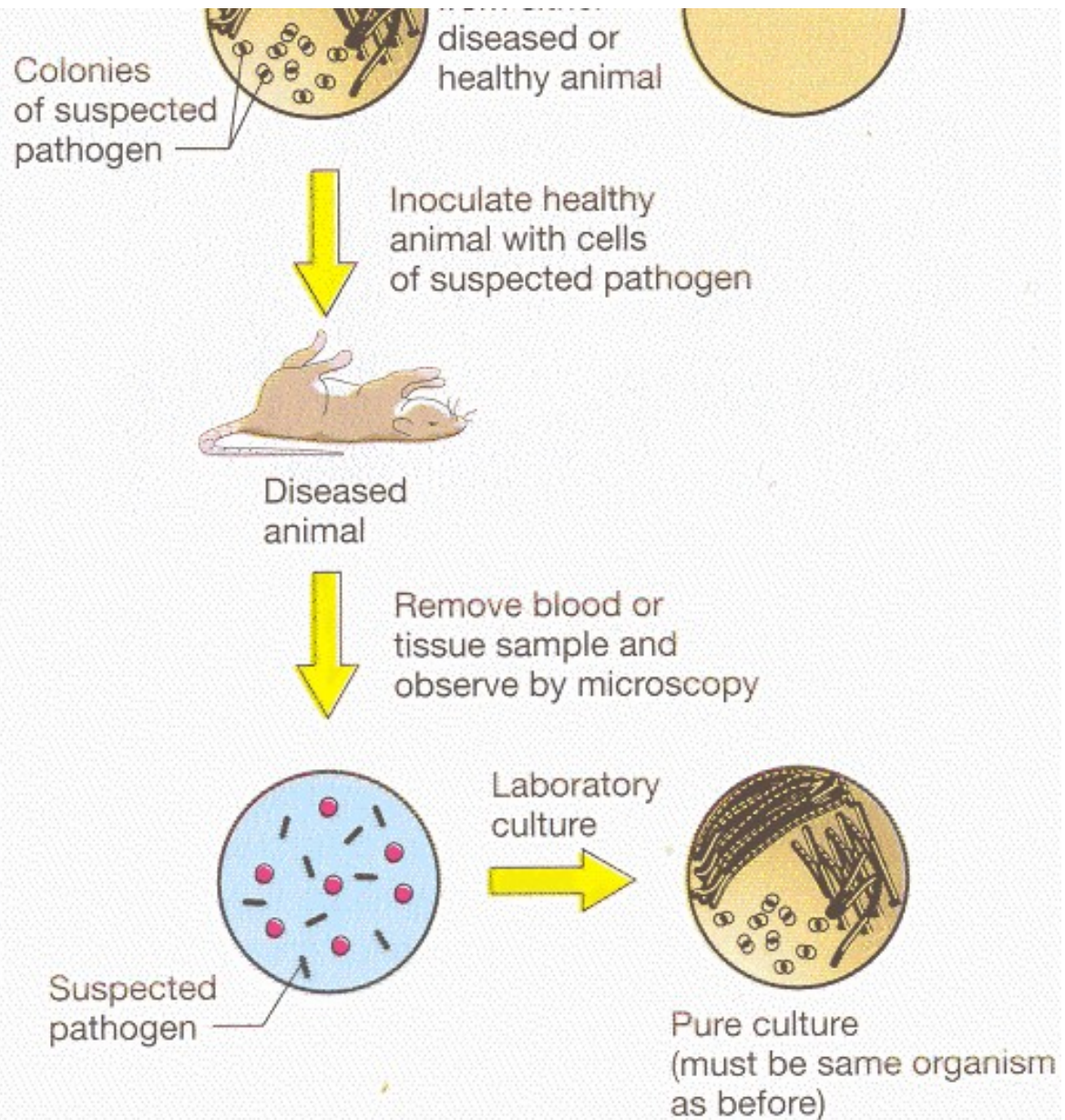
should be grown in pure culture.

Postulate 3

Cells from a pure culture of the suspected organism should cause disease in a healthy animal.

Postulate 4

The organism should be reisolated and shown to be the same as the original.



Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

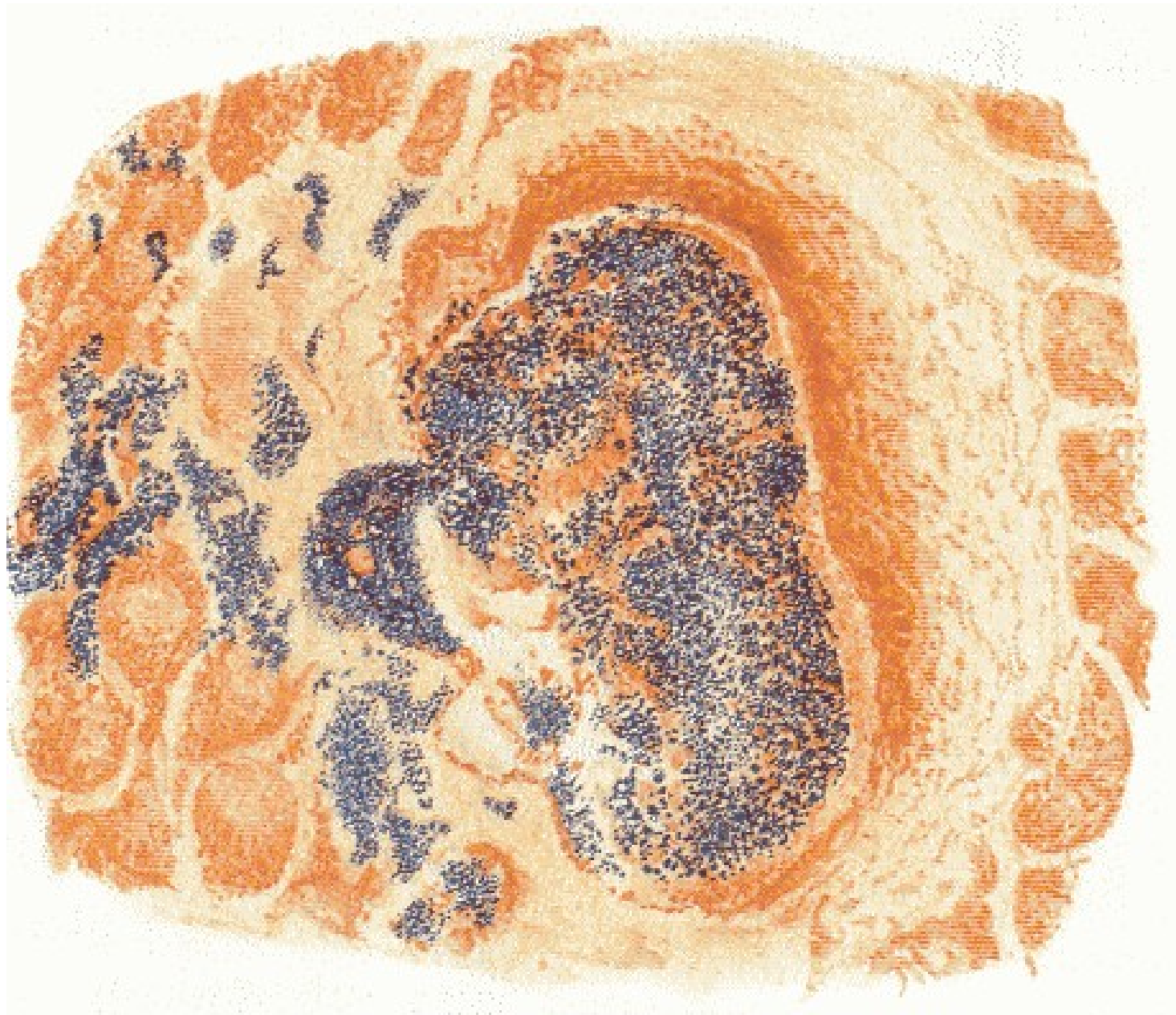
- **Koch** si byl plně vědom možného využití jeho vlastních pokusů s čistými kulturami při dalším studiu mikrobiální systematiky
- Všiml si totiž určitých morfologických charakteristik kultivovaných kolonií (barva, tvar velikost, rychlost růstu, konzistence, apod.)
- Vnější rozdílnost kolonií byla potvrzena mikroskopickou odlišností a často i jinými nároky na kultivační teplotu či živiny
- Koch zjistil, že tato rozdílnost vyhovuje požadavkům taxonomů na klasifikaci makroskopických org. – jeho vlastními slovy:
- *„Všechny bakterie, které si uchovávají při kultivaci na stejném substrátu a za stejných podmínkách charakteristické vlastnosti,*

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

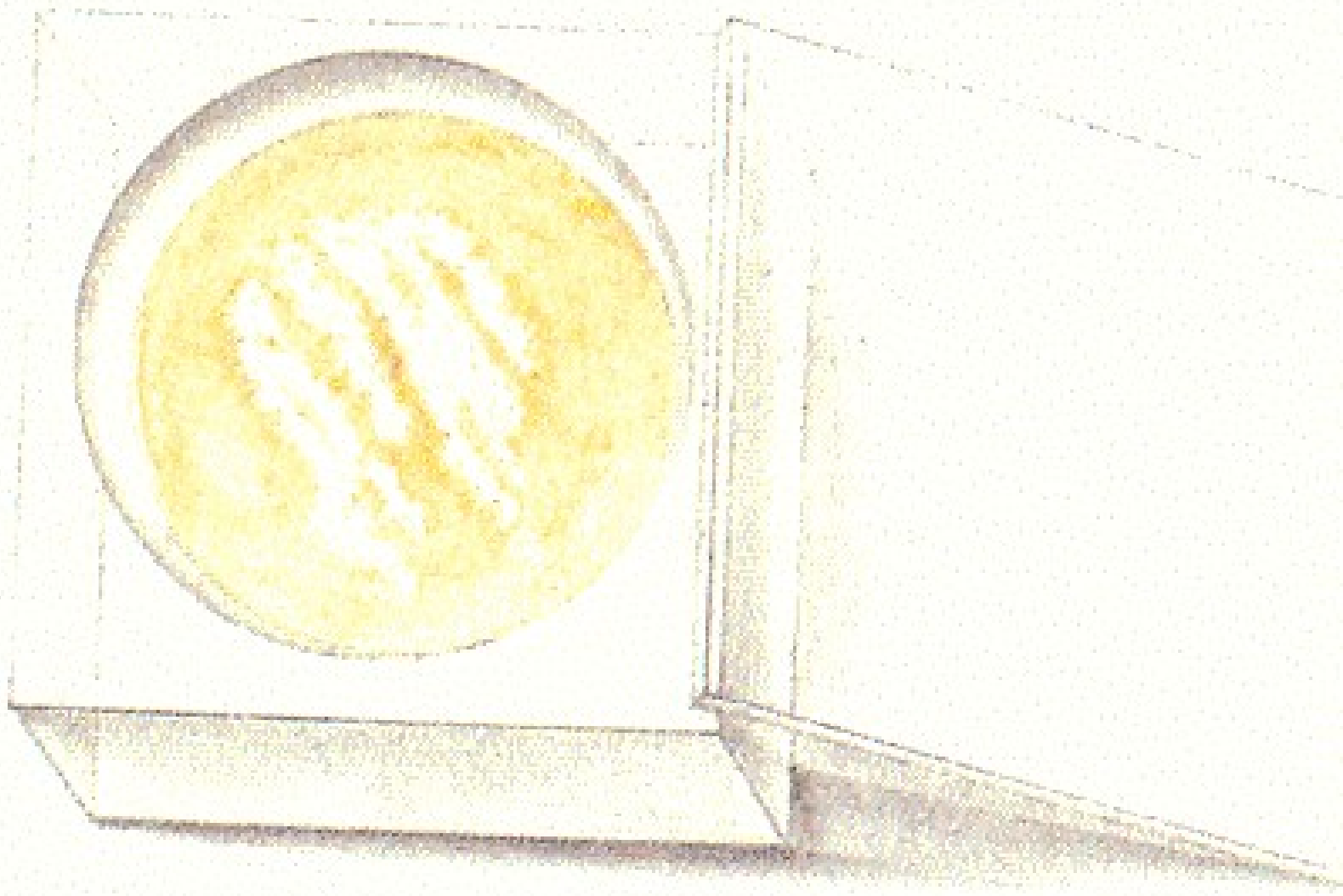
- Největšího úspěchu v oblasti lékařské bakteriologie dosáhl **Koch** s výzkumem **tuberkulózy**
- V roce 1881, když s touto prací začínal, jedna sedmina všech doložitelných lidských úmrtí byla zapříčiněna tuberkulózou
- I když dokonce již v této době existovaly nesporné důkazy o tom, že se jedná o nemoc „nakažlivou“, onen očekávaný mikrob-původce nebyl nikdy viděn ať již ve tkáních nemocných, nebo v laboratorní kultuře
- Kochův cíl na počátku práce byl demonstrovat příčinu (kauzální agens) tuberkulózy a k tomuto účelu využil všech metod, které předtím tak pečlivě vyvíjel: mikroskop, barvení pletiv, izolace čistých kultur a inokulaci pokusných

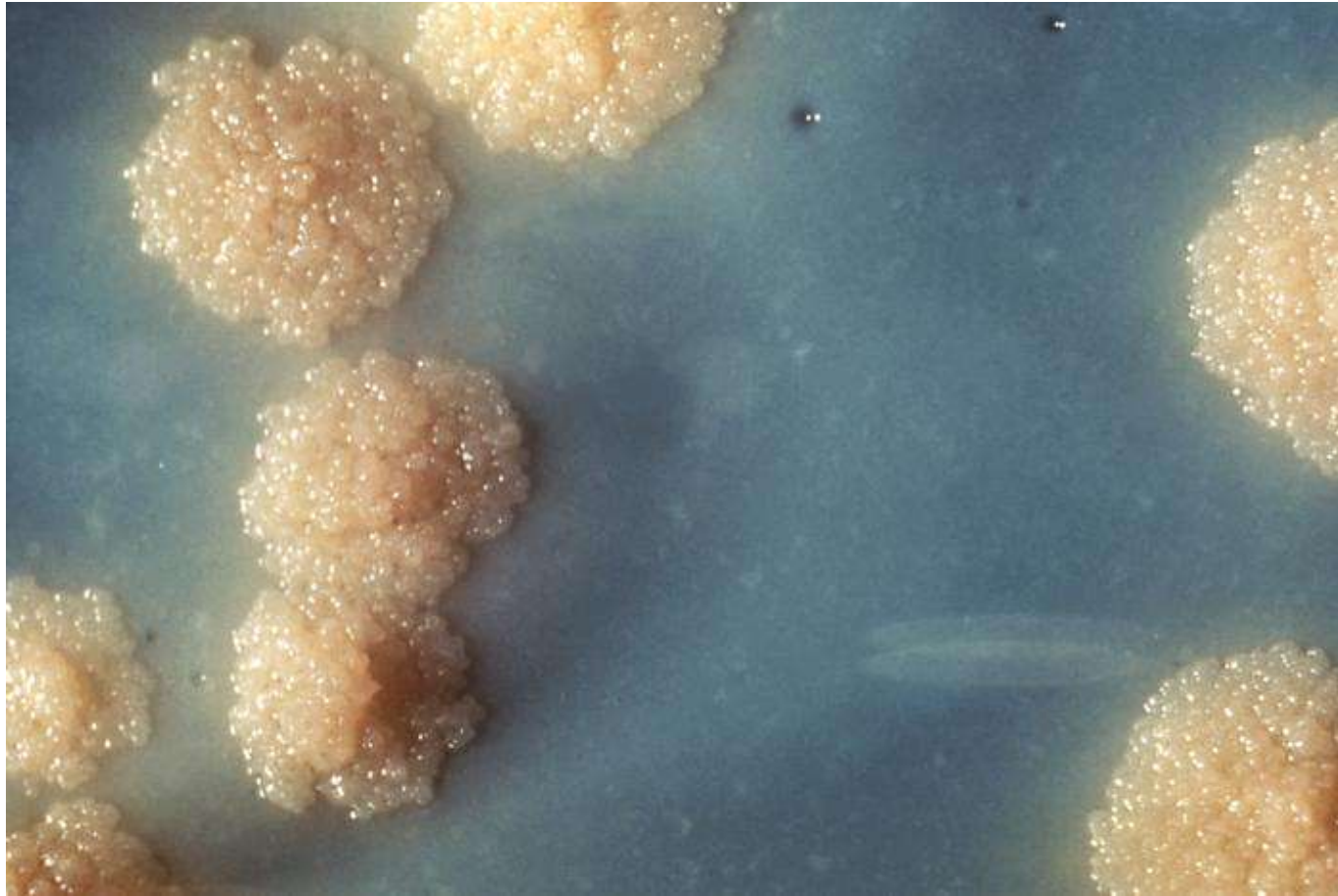
Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Původce tuberkulózy, *Mycobacterium tuberculosis*, se velmi obtížně barví, dnes víme, že je to vysokým podílem lipidů v buněčných obalech
- Koch použil alkalickou metylénovou modř ve spojení s bismarckovou hnědí k obarvení napadené tkáně a spatřil tyčinkovité bakterie *M. tuberculosis*
- Dále postupoval podle vlastních postulátů - izolace původce v čistých kulturách – nákaza pokusných morčat a opětná izolace čistých kmenů *Mycobacterium tuberculosis*
- Za jeho přínos pro výzkum tuberkulózy, za speciální barvicí techniku a za přípravu **tuberkulinu**, látky využívané při diagnostice tuberkulózy, obdržel v roce 1905 Nobelovu cenu



c)





Detailní záběr na kulturu *Mycobacterium tuberculosis* prozrazující charakteristiky kolonií tohoto mikroorganismu. Důkaz makrostruktury kolonií je stále jedním ze způsobů, jak mikroorganismy identifikovat.

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Dalšího úspěchu v oblasti lékařské bakteriologie dosáhl **Koch** objevem a izolací *Vibria cholerae*, původce **cholery**, rozpoznává význam a důležitost filtrace vody pro kontrolu cholery
- Se svými žáky objevil i původce **tyfu**, **tetanu**, **záškrtu** a dalších chorob
- Koch významně přispěl k rozvoji **serologie** a **imunologie** i celé **bakteriologické diagnostiky**

I. I. Mečnikov (Ivanovska 1845, Paris 1916)
se proslavil svojí **fagocytární teorií** zánětu a
imunity při obraně těla proti infekci.

*Fagocytóza - pohlcování bakterií bílými krvinkami –
fagocyty*



I. I. Mečnikov (Ivanovska 1845, Paris 1916)

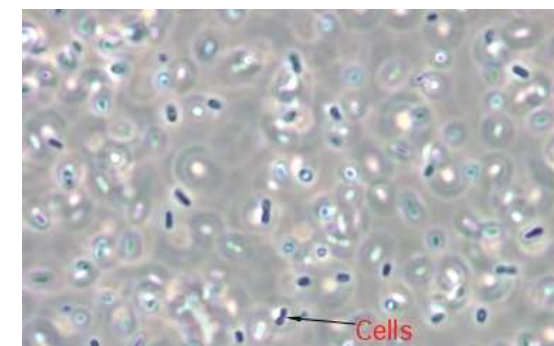
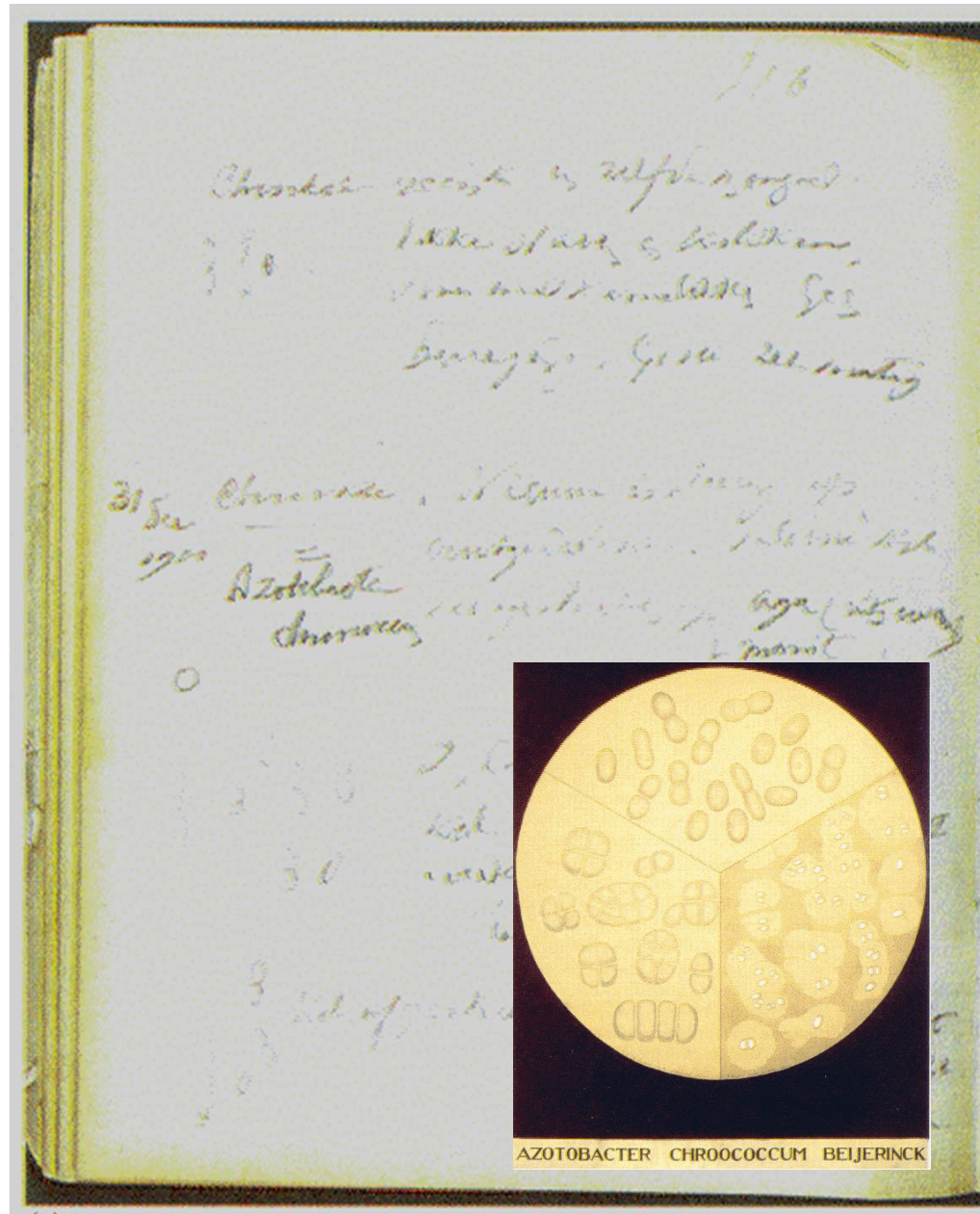
1. Je autorem originální teorie o příčinách předčasného stárnutí lidského organismu, podle které jsou hlavní příčinou stárnutí hnilobné pochody, jejichž jedovaté zplodiny pozvolna otravují lidský organismus. Probíhají ve střevech činností hnilobných bakterií. Nadměrnému rozvoji hnilobných bakterií brání *E. coli* (zkvašuje cukry na kyselinu mléčnou a octovou – kys. reakce) a především bakterie mléčného kvašení – v kyselém mléce, smetaně a hlavně v jogurtu. Tím právě Mečnikov vysvětloval dlouhověkost Bulharů,
2. Byl iniciátorem biologické metody boje proti zemědělským škůdcům,

Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- Současně s prudce se rozvíjející lékařskou mikrobiologií se úspěšně rozvíjela i **technická mikrobiologie**.
Pasteurova dědictví v kvasné mikrobiologii se ujal Dán Hansen, Němec Buchner a další.
- **1885 Emil Kristian Hansen** (1842-1909) v laboratořích v Karlsbergu zavedl čisté startovací kultury kvasinek v procesu fermentace piva. Zasloužil se o pokrok v poznání procesu fermentace.
- Na přelomu 19. A 20. století vynikl holandský mikrobiolog **Martinus Beijerinck** a ruský mikrobiolog **Sergej Vinogradskij**
- Oba se zajímali o bakterie žijící ve vodě a v půdě a oba mohou být považováni za zakladatele **OBEČNÉ ZEMĚDĚLSKÉ MIKROBIOLOGIE**

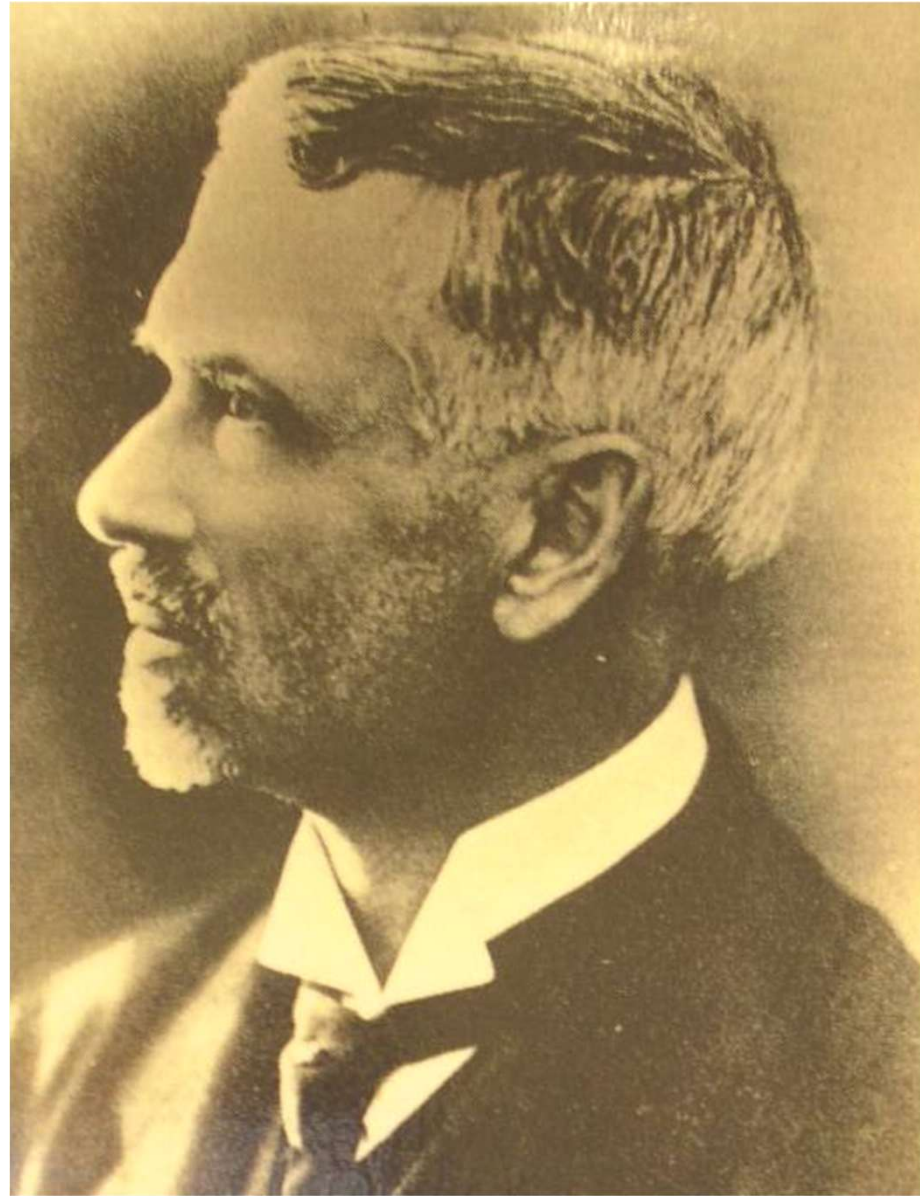
Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

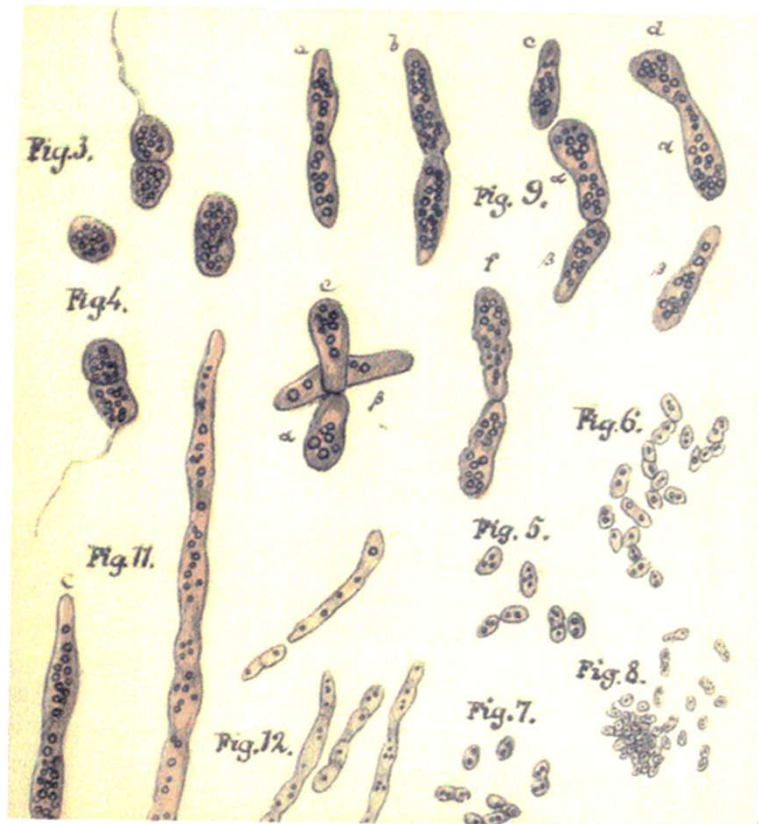
- **M. Beijerinck** byl vzděláním botanik a k mikrobiologii se propracoval studiem mikrobiologie rostlin
- Jeho snad největším příspěvkem na poli mikrobiologie byla teorie obohacené kultury
- Namísto izolace mikrobů z prostředí pomocí univerzálních živných půd Beijerinck využívá jiný postup – selektivních živných médií a selektivních inkubačních podmínek, jež některé mikroorganismy podporují a jiné zase tlumí
- Právě díky tomuto postupu se mu podařilo jako prvnímu izolovat čisté kultury fixátorů dusíku, sulfát-redukující a síru oxidující bakterie, hlízkovité bakterie, některé příslušníky rodu *Lactobacillus*, zelené řasy a mnohé další mikroorganismy
- Studiem tabákové mozaiky prokázal, že infekční agens není bakteriálního původu, že nějakým způsobem proniká dovnitř hostitelské buňky a tuto využívá k vlastní



Poznámky k historickým kořenům mikrobiologie

- **Sergej Vinogradskij** měl podobné zájmy jako M. Beijerinck, také jemu se podařilo poprvé izolovat mnoho významných půdních bakterií
- Zejména se zabýval těmi bakteriemi, jež se uplatňují v koloběhu dusíku a v koloběhu síry
- V této souvislosti izoloval čistou kulturu nitrifikačních bakterií, na které prokázal, že proces nitrifikace je výsledkem bakteriálních aktivit
- Studoval oxidaci sirovodíku bakteriemi oxidujícími síru přímo v jejich přirozeném prostředí
- Popisuje u baktérií **chemolitotrofii** a na základě studií s nitrifikačními bakteriemi, které získávají oxid uhličitý ze vzduchu a popisuje u bakterií autotrofii
- Pomocí selektivních živných půd poprvé izoloval

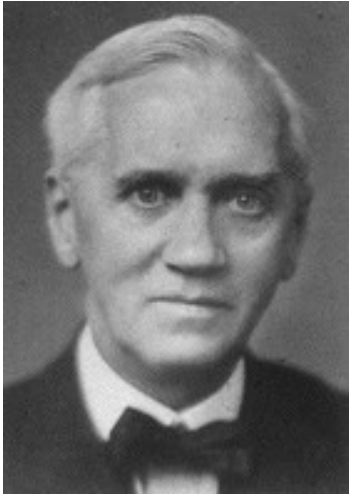




From *Microbiologie du Sol*, used with permission



FIGURE 1.22 Hand-colored drawings of cells of purple sulfur phototrophic bacteria included in the monograph *Microbiologie du Sol*, by Sergei Winogradsky. The original drawings were made by S. Winogradsky about 1887 and then copied and hand-colored by his wife Hélène for publication in the monograph. These drawings included cells of the genus *Chromatium*, such as *C. okenii* (Figs. 3 and 4) and *C. vinosum* (Figs. 5–8). These species are still recognized today. Note the prominent flagella on cells of *C. okenii*. Compare Figs. 3 and 4 with a photomicrograph of living cells of *C. okenii* shown in Figure 15.17a of this book.



Sir Alexander Fleming se narodil v Lochfield ve Skotsku v roce 1881. Sloužil v armádním zdravotnickém sboru jako kapitán. Profesorem byl zvolen v roce 1928 a emeritním profesorem bakteriologie Londýnské university v roce 1948. Členem královské společnosti se stal v roce 1943 a pasován byl v roce 1944.

V počátcích svého působení v medicíně se Fleming zabýval chováním bakterií v krvi a v antisepticích. Byl schopen pokračovat ve svých studiích i během své vojenské kariéry a po demobilizaci se zaměřil na práci týkající se antibakteriálních substancí, které by neměly být toxické pro živočišné tkáně.

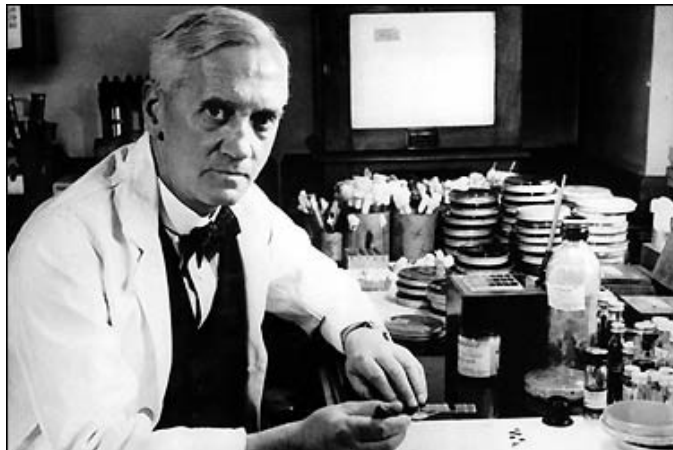
V roce **1921**, našel v tkáních a v tělních sekretech důležitou bakteriolytickou látku, kterou pojmenoval jako **lysozym**. Zhruba ve stejné době navrhl titrační metody a zkoušky v lidské krvi a v jiných tělních tekutinách, které následně použil pro titraci penicilínu.

V roce 1928, při studiu chřipkového viru, zjistil, že se na kultuře *Staphylococcus* náhodně vyvinuly plísň (*Penicillium notatum*) a že vytváří kolem sebe zónu prostou baktérií. Tím byl inspirován k dalším pokusům a zjistil, že kultura plísni zabraňuje růstu stafylokoka dokonce ještě při zředění 800x. Aktivní substanci pojmenoval jako penicilín.

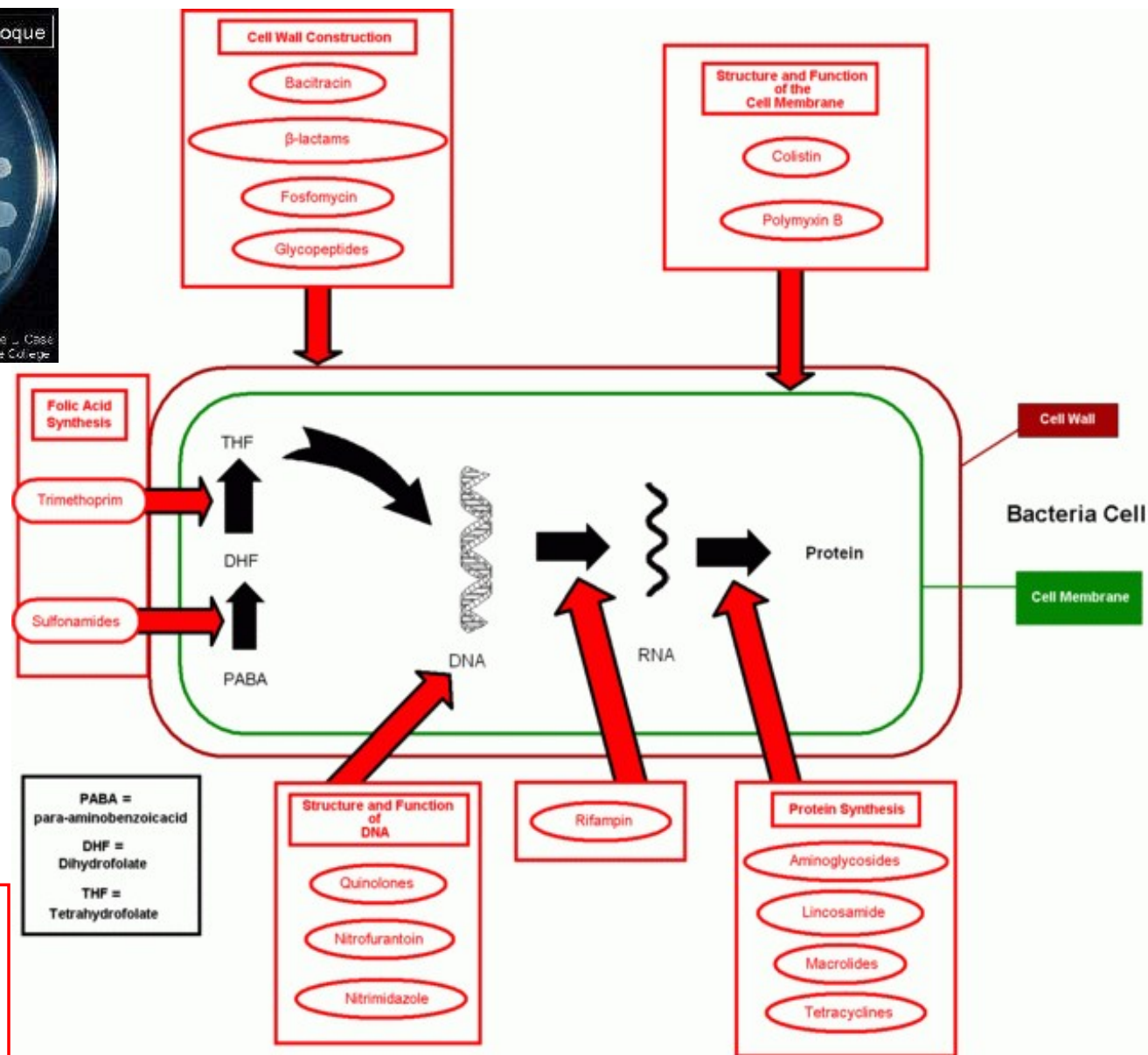
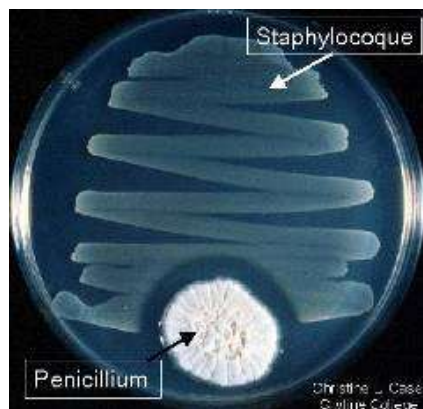
*Pozn: Francouzský doktor Ernest Duchesne zaznamenal v roce 1896 tezi, že určité plísň druhu *Penicilium* ničí bakterie. Duchesne skonal během několika let a jeho výzkum byl po mnoho generací zapomenut, až do přispění náhody....*

Sir Alexander Fleming byl prezidentem Společnosti pro obecnou mikrobiologii, byl členem Pontifikální akademie věd a čestným členem téměř všech lékařských a vědeckých společností na světě. V letech 1951 – 1954 byl rektorem university v Edinburgu.

Dr. Fleming zemřel 11. března v roce 1955 a je pochován v katedrále svatého Pavla.



From *Nobel Lectures, Physiology or Medicine 1942-1962*, Elsevier Publishing Company, Amsterdam, 1964 This autobiography/biography was written at the time of the award and later published in the book series *Les Prix Nobel/Nobel Lectures*. The information is sometimes updated with an addendum submitted by the Laureate.



Mechanismy
působení
antibiotik



Stanley B. Prusiner, profesor neurologie, biochemie a biofyziky, byl oceněn v roce 1997 Nobelovou cenou za svůj objev úplně nového původce vzácného, pomalu se rozvíjejícího mozkového onemocnění, nazvaného **prion** (1981),



Stanley B. Prusiner receiving his Nobel Prize from the hands of His Majesty the King.

Professor Montagnier, věnoval celý svůj profesionální život nalezení vakcíny proti AIDS, navrhl určité kroky pro kontrolu světově rozšířené epidemie AIDS (1983).

Vyvíjel také úsilí směřující k pokračování snah vyspělých zemí k nalezení léčby AIDS, která zabíjí v Africe desetkrát více lidí než vojenské konflikty.



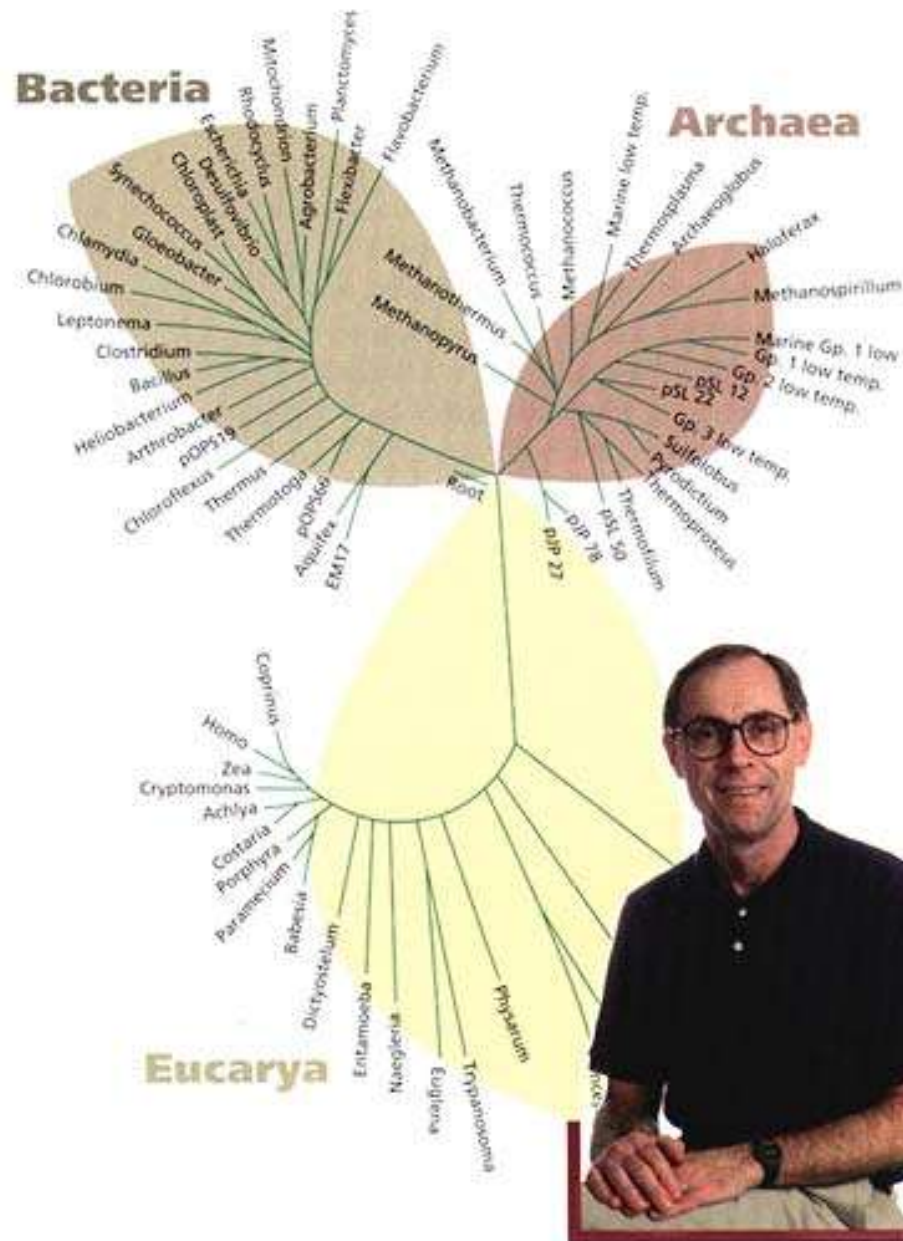
TABLE 1.1

Three hundred years of micro

Year	Investigator(s)
1953	James Watson, Francis Crick, Rosalind Frankli
1959	Arthur Pardee, Francois Jacob, Jacques Monoc
1959	Rodney Porter
1959	F. Macfarlane Burnet
1960	Francois Jacob, David Perrin, Carmon Sanche
1960	Rosalyn Yalow and Solomon Bernson
1966	Marshall Nirenberg and H. Gobind Khorana
1967	Thomas Brock
1969	Howard Temin, David Baltimore, Renato Dull
1969	Thomas Brock and Hudson Freeze
1970	Hamilton Smith
1975	Georges Kohler, Cesar Milstein
1976	Susumu Tonegawa
1977	Carl Woese and George Fox
1977	Fred Sanger, Steven Niklen, Alan Coulson
1981	Stanley Prusiner
1982	Karl Stetter
1983	Luc Montagnier
1988	K
1997	Norman Pace
1999	T

- The Tree of Life

a Major ref
Bacterial Genetics, Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harb



Rozvoj hlavních mikrobiologických disciplín

- Jak je zřejmé z nastíněného vývoje, musela se v určité fázi jako první odštěpit od **obecné mikrobiologie** (Koch) **lékařská mikrobiologie** a **imunologie** (na počátku dvacátého století)
- Bylo to provázeno objevy mnoha nových patogenních bakterií a snahou o poznání principů jakými dochází k infekci a naopak jak je možno posílit imunitu lidského těla
- Jiný časný pokrok (Beijerinck a Vinogradskij) vedl k osamostatnění **zemědělské mikrobiologie**, což vedlo k pochopení mikrobiálních procesů v půdě na jedné straně prospěšných pro rostliny a na straně druhé pro rostliny škodlivých
- Později v průběhu dvacátého století měl pokrok v oblasti syntézy antibiotik a celé chemické komodity za následek

Rozvoj hlavních mikrobiologických disciplín

- Půdní mikrobiologie poskytovala dostatek poznatků pro studia mikrobiálních procesů ve vodách – **mikrobiologie vod**
- Ta se v jedné ze svých větví zabývá také úpravou pitné vody či v jiné odstraňováním cizorodých látek z odpadních vod
- Vzrůstající zájem o biodiverzitu a aktivity mikroorganismů v jejich přirozeném prostředí našel zázemí v **mikrobiální ekologii**
- Kromě obrovského pokroku ve výše jmenovaných aplikovaných oblastech mikrobiologie, projevovaly se nově nashromážděné poznatky zpětně v obecné mikrobiologii – **taxonomie bakterií**, která vyžadovala studium živin pro jejich růst a produktů jejich aktivit –

Rozvoj hlavních mikrobiologických disciplín

- Další významnou oblastí obecné mikrobiologie je ***genetika bakterií***, studující změny, ke kterým dochází při vývoji bakterií
- Genetika, biochemie a fyziologie bakterií se rozvíjeli hlavně v průběhu 50. a 60. let a znamenali velký pokrok v pochopení DNA, RNA a syntézy bílkovin.
- Odvětví **molekulární biologie** má základní kameny postaveny na poznatcích shromážděných ze studií bakterií
- Další důležitý rozvoj můžeme ve dvacátém století pozorovat v oblasti studia virů - **virologie**
- Třebaže Beijerinck objevil první virus již před více než 100 lety, teprve v polovině 20. století byla podstata viru popsána.

Rozvoj hlavních mikrobiologických disciplín

- V 70. letech byly naše vědomosti o základních procesech bakteriální fyziologie, biochemie a genetiky již na takovém stupni, že bylo možno experimentálně manipulovat s genetickým materiálem buněk s využitím bakterií jako „nástroje“
- Bylo již také možné vnášet genetický materiál (DNA) z cizích zdrojů dovnitř bakteriální buňky a kontrolovat jejich replikaci a charakteristiky
- To vedlo k rozvoji na poli **biotechnologie** a třebaže biotechnologie původně „povstala“ z obecných věd, využití jejích poznatků vyžaduje aplikaci principů fyziologie a průmyslové mikrobiologie – dobrý příklad toho, jak může základní (obecná) a aplikovaná věda postupovat společně

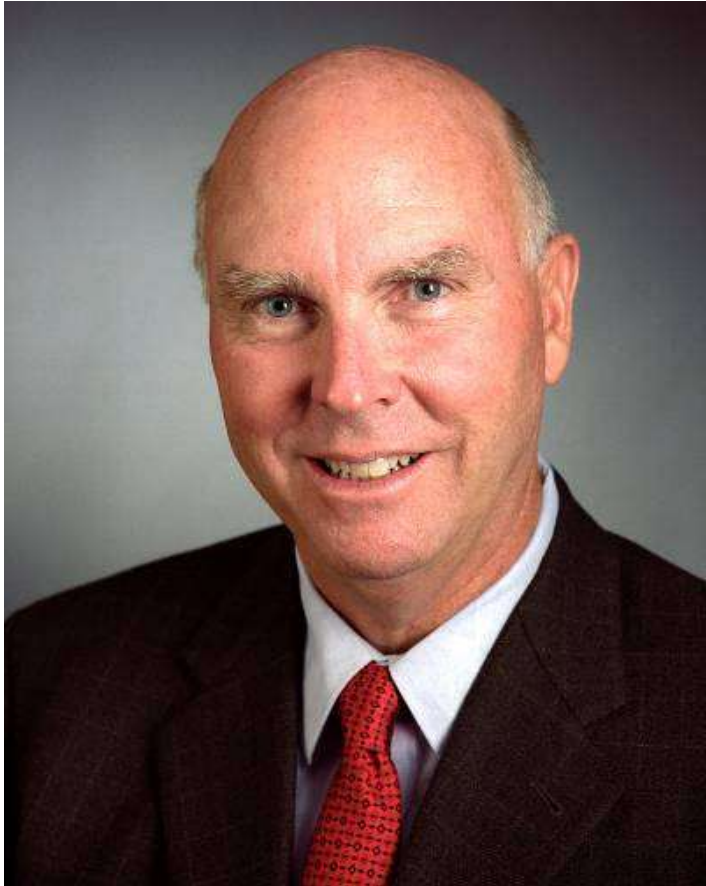
TABLE 1.1 Three hundred years of microbiology: Some key papers in microbiology, 1684–1999^a

Year	Investigator(s)	Discovery
1684	Antoni van Leeuwenhoek	Discovery of bacteria
1798	Edward Jenner	Smallpox vaccination
1857	Louis Pasteur	Microbiology of the lactic acid fermentation
1860	Louis Pasteur	Role of yeast in alcoholic fermentation
1864	Louis Pasteur	Settled spontaneous generation controversy
1867	Robert Lister	Antiseptic principles in surgery
1881	Robert Koch	Methods for study of bacteria in pure culture
1882	Robert Koch	Discovery of cause of tuberculosis
1884	Robert Koch	Koch's postulates
1884	Christian Gram	Gram-staining method
1889	Sergei Winogradsky	Concept of chemolithotrophy
1889	Martinus Beijerinck	Concept of a virus
1890	Sergei Winogradsky	Autotrophic growth of chemolithotrophs
1901	Martinus Beijerinck	Enrichment culture method
1901	Karl Landsteiner	Human blood groups
1908	Paul Ehrlich	Chemotherapeutic agents
1928	Frederick Griffith	Discovery of pneumococcus transformation
1929	Alexander Fleming	Discovery of penicillin
1944	Oswald Avery, Colin Macleod, Maclyn McCarty	Explanation of Griffith's work—DNA is genetic material
1944	Selman Waksman and Albert Schatz	Discovery of streptomycin
1946	Edward Tatum and Joshua Lederberg	Bacterial conjugation
1951	Barbara McClintock	Discovery of transposable elements

TABLE 1.1 Three hundred years of microbiology: Some key papers in microbiology, 1684–1999^a

Year	Investigator(s)	Discovery
1953	James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin	Structure of DNA
1959	Arthur Pardee, Francois Jacob, Jacques Monod	Gene regulation by a repressor protein
1959	Rodney Porter	Immunoglobulin structure
1959	F. Macfarlane Burnet	Clonal selection theory
1960	Francois Jacob, David Perrin, Carmon Sanchez, Jacques Monod	Concept of an operon
1960	Rosalyn Yalow and Solomon Bernson	Development of radioimmunoassay (RIA)
1966	Marshall Nirenberg and H. Gobind Khorana	Discovery of the genetic code
1967	Thomas Brock	Discovery of bacteria growing in boiling hot springs
1969	Howard Temin, David Baltimore, Renato Dulbecco	Discovery of retroviruses/reverse transcriptase
1969	Thomas Brock and Hudson Freeze	Isolation of <i>Thermus aquaticus</i> , source of <i>Taq</i> DNA polymerase
1970	Hamilton Smith	Specificity of action of restriction enzymes
1975	Georges Kohler, Cesar Milstein	Monoclonal antibodies
1976	Susumu Tonegawa	Rearrangement of immunoglobulin genes
1977	Carl Woese and George Fox	Discovery of the Archaea
1977	Fred Sanger, Steven Niklen, Alan Coulson	Methods for sequencing DNA
1981	Stanley Prusiner	Characterization of prions
1982	Karl Stetter	Isolation of first prokaryote with temperature optimum > 100°C
1983	Luc Montagnier	Discovery of HIV, the cause of AIDS
1988	Kary Mullis	Discovery of the polymerase chain reaction (PCR)
1995	Craig Venter and Hamilton Smith	Complete sequence of a bacterial genome
1999	The Institute for Genomic Research (TIGR), and others	Over 100 microbial genomes sequenced or in progress

^a Major reference sources here include Brock, T. D. (1961), *Milestones in Microbiology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ; Brock, T. D. (1990). *The Emergence of Bacterial Genetics*, Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harbor, NY. Year refers to the year in which the discovery was published.



Hesla:
OdkazyScientists Create First Synthetic Cell
Craig Venter Newsnight Interview - Synthetic Life

1995 – J. Craig Venter a Hamilton
Smith

kompletní sekvence bakteriálního
genomu

J. Craig Venter - je považován
mnohými za toho rozhodujícího,
jemuž (jimž) se podařilo dekodovat
lidský genom (2000).

Venter will speak on “Sequencing
the Human Genome: Gateway to a
New Era in Science and Medicine.”.

2010 – syntetický bakteriální genom.

Nový organismus
je přezdíván „Synthia“ či
Mycoplasma laboratorium.

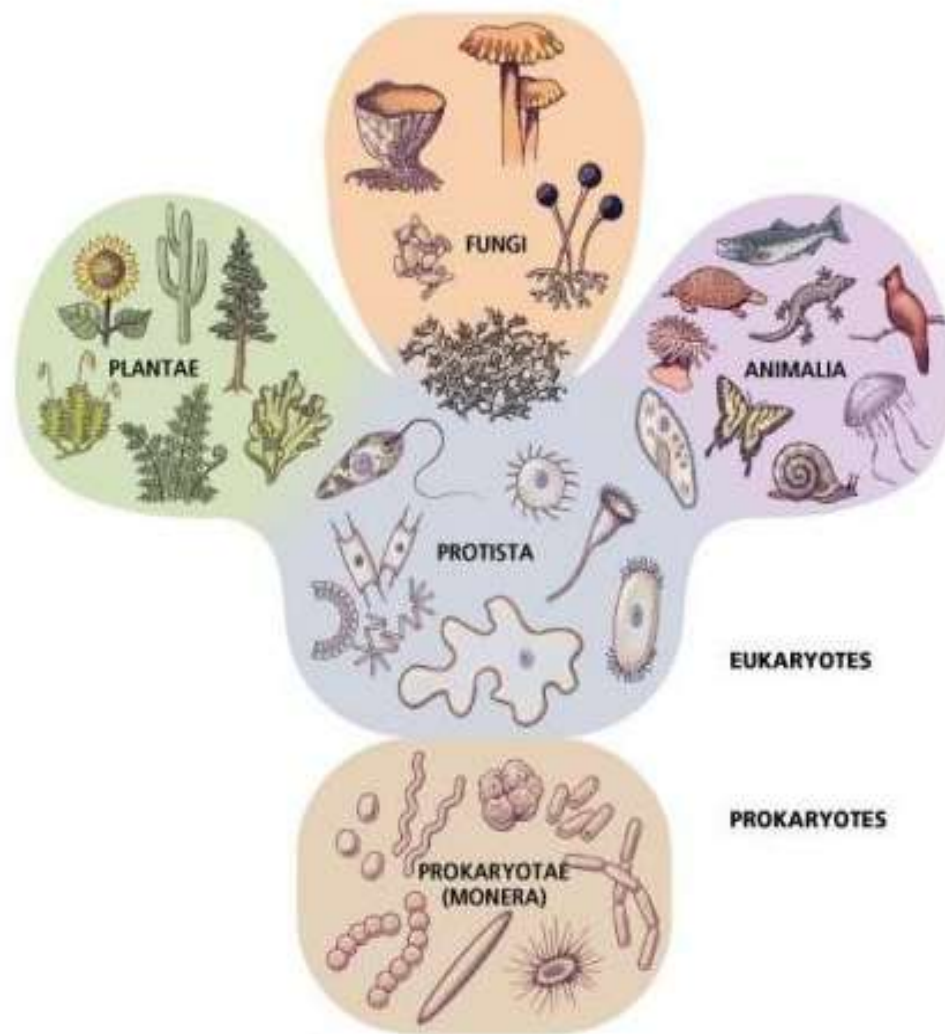
Kontrolní otázky

1. **Vliv MO na lidstvo v roce 1900 a v roce 2000**
2. Hooke, Leeuwenhoeck, Linné
3. **Pasteur**
4. **Koch**
5. Mečnikov, Hansen
6. **Beijerinck**
7. **Vinogradskij**
8. **Fleming**
9. Enteroagregativní hemoragická *Escherichia coli*
10. *Neisseria meningitidis*, AIDS
11. Prusiner, Montagnier, Venter

Dřívější názory na klasifikaci mikroorganismů

- Před cca dvěma desítkami let byly buněčné organismy klasifikovány do pěti říší: *Animalia*, *Planta*, *Fungi*, *Protista* (Protozoa) a *Monera* (Bacteria).
- Příslušníci těchto pěti říší byli rozděleni na prokaryontní organismy (*Monera*) a eukaryontní z důvodu chybějící či přítomné jaderné membrány.
- Tyto dvě kategorie byly považovány za nezávislé s tím, že většina biodiverzity leží uvnitř eukaryot, zvláště pak jejich mnohobuněčných forem.
- Většina biologů samotných považuje prokaryota za primitivní, jednoduché a relativně uniformní v jejich vlastnostech.

R. H. Whittaker 5 Kingdom Classification



Five kingdoms

Plants



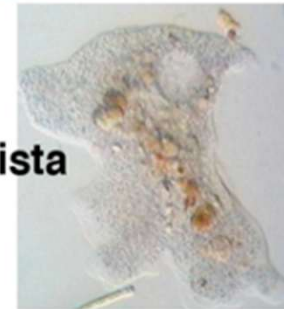
Fungi



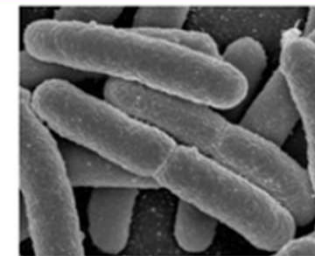
Animals



Protista



eukaryotic



Monera

prokaryotic

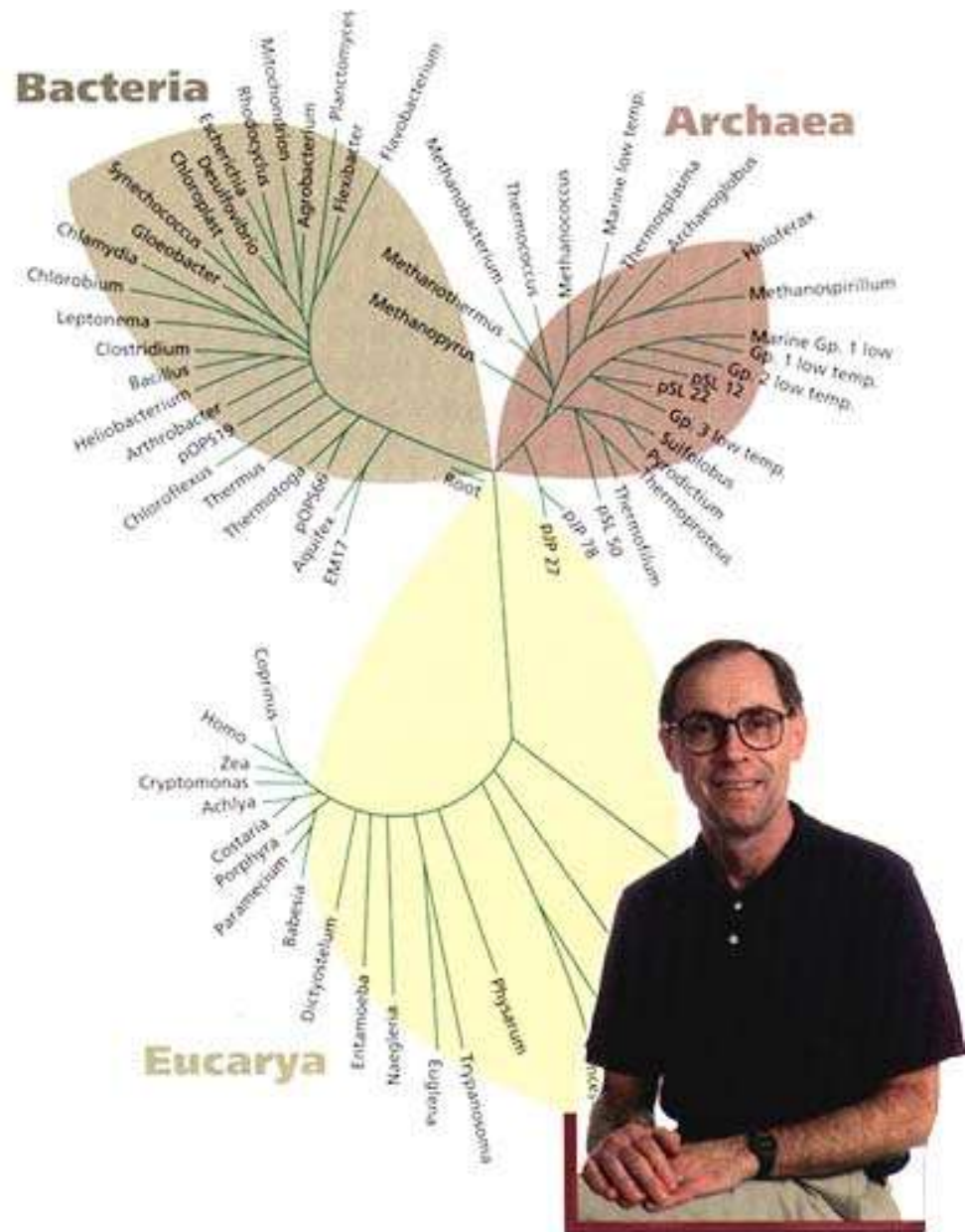
Evoluční příbuznost mikroorganismů

- Avšak vědci, zabývající se molekulární fylogenezí, zrevidovali obecný pohled na evoluci a na diverzitu života.
- tu můžeme určit porovnáním řazení všech nukleotidů v jejich odpovídajících genomech (taková řada analýz je obecně nepraktická),
- proto jsou porovnávány charakteristické, homologní „pradávné, konzervativní“ geny z rozdílných organismů a je spočítán počet rozdílů v jejich sekvencích nukleotidů,
- vzhledem k nepatrné rychlosti evolučních změn malých podjednotek ribosomů genových sekvencí (16S pro- nebo 18S eukaryonta) rRNA, jsou tyto obvykle užívány pro schémata fylogenetické příbuznosti (ribosom = továrna na bílkoviny, připomenout si proteosyntézu)
- evoluční vzdálenost, část sekvenčních rozdílů v souboru sekvencí, je využita k vytvoření fylogenetického stromu, k mapám evoluční diverzity.

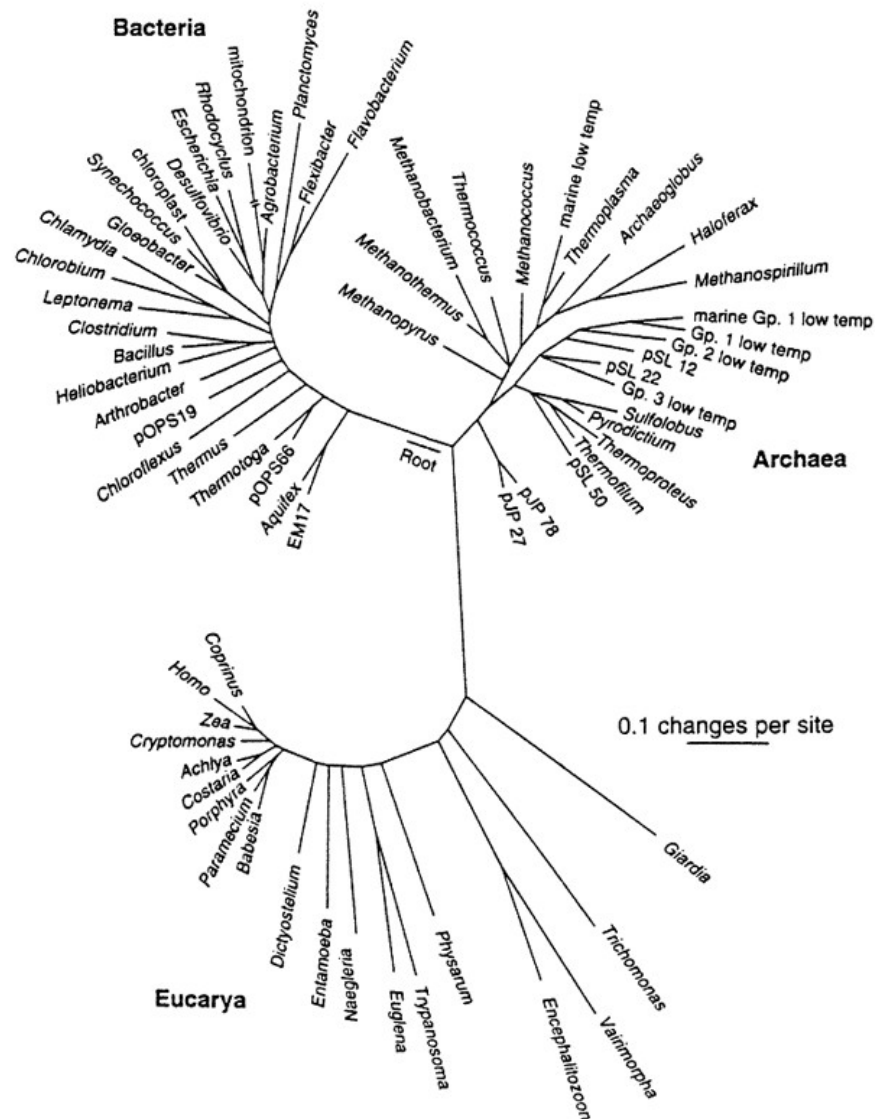
TABLE 1.1 Three hundred years of microb

Year	Investigator(s)
1953	James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin
1959	Arthur Pardee, Francois Jacob, Jacques Monod
1959	Rodney Porter
1959	F. Macfarlane Burnet
1960	Francois Jacob, David Perrin, Carmon Sanchez, Ja
1960	Rosalyn Yalow and Solomon Bernson
1966	Marshall Nirenberg and H. Gobind Khorana
1967	Thomas Brock
1969	Howard Temin, David Baltimore, Renato Dulbecc
1969	Thomas Brock and Hudson Freeze
1970	Hamilton Smith
1975	Georges Kohler, Cesar Milstein
1976	Susumu Tonegawa
1977	Carl Woese and George Fox
1977	Fred Sanger, Steven Niklen, Alan Coulson
1981	Stanley Prusiner
1982	Karl Stetter
1983	Luc Montagnier
1988	Kary Mullis
1997	Norman Pace
1999	The Institute for Genomic Research (TIGR), and o

^a Major reference sources here include Brock, T. D. (1961), *Milestones in Bacterial Genetics*, Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harbor, N



The Tree of Life



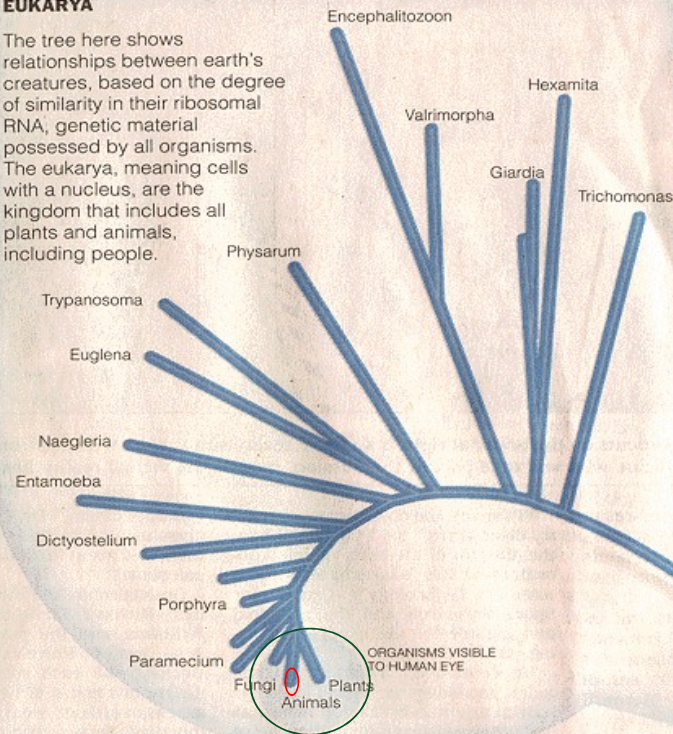
- NR Pace, Science 1997

Norman Pace rozpracoval evoluční, trojdoménový „Strom života“ (The Tree of Life“), navržený Carl Woese z University v Illinoia. Prostřednictvím ribozomální RNA, která se nachází ve všech živých organismech, od bakterií až po modré velryby, odhaluje evoluční vztahy, které jsou jinak maskovány morfologickými odlišnostmi. Vymezuje také existenci třetí hlavní domény života, domény Archaea.

"Every species alive today has been perfected for its niche through millions of years of evolution. Evolution is a radiation, not a ladder."

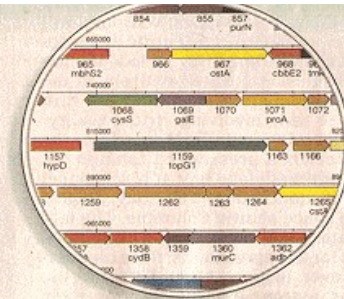
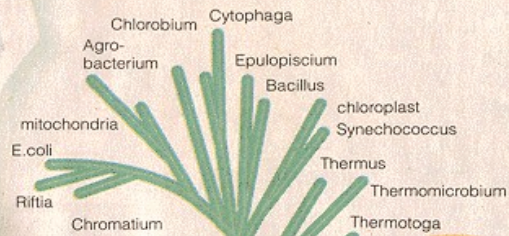
EUKARYA

The tree here shows relationships between earth's creatures, based on the degree of similarity in their ribosomal RNA, genetic material possessed by all organisms. The eukarya, meaning cells with a nucleus, are the kingdom that includes all plants and animals, including people.



BACTERIA

Bacteria are single-celled organisms with no nucleus.



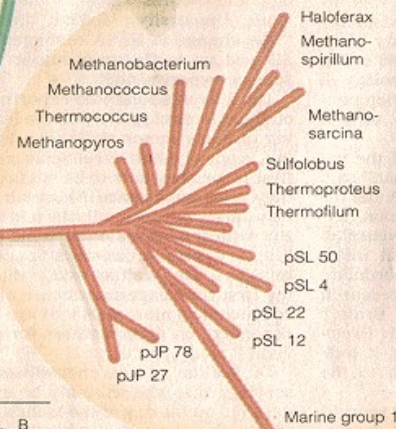
Almost perfect candidate

Part of the newly decoded genome of Aquifex showing a few of its 1,512 genes. The gene labeled TopG1 stabilizes DNA and enables the bacterium to live at near-boiling temperatures, as the universal ancestor is now thought to have done.

ARCHAEA

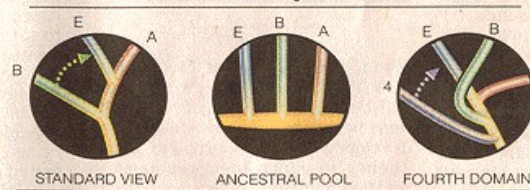
The archaea look like bacteria but have different genes for managing and reading out their DNA.

Length of the branches indicates the extent of the genetic change in each organism



At the Root of the Tree of Life

Biologists are searching for the "universal ancestor," the organism from which all life is descended. Their guiding chart has been this family tree, showing the relationship among the three great branches in the tree of life, the kingdoms of the **archaea**, the **bacteria**, and the **eukarya**. Microbes that live in super-hot conditions, such as **Aquifex aeolicus**, were thought to be the closest living relatives of the universal ancestor, but research is yielding confusing answers.



Three theories of life

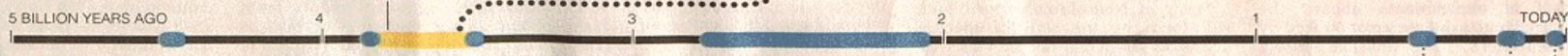
The standard view is that the universal ancestor split into bacteria and archaea, and the eukarya then branched off from the archaea. An emerging view is that all three branches evolved independently from the same pool of genes. A third view is that there was a fourth branch, now lost, that contributed genes to the eukarya.

TIME LINE

5 BILLION YEARS AGO

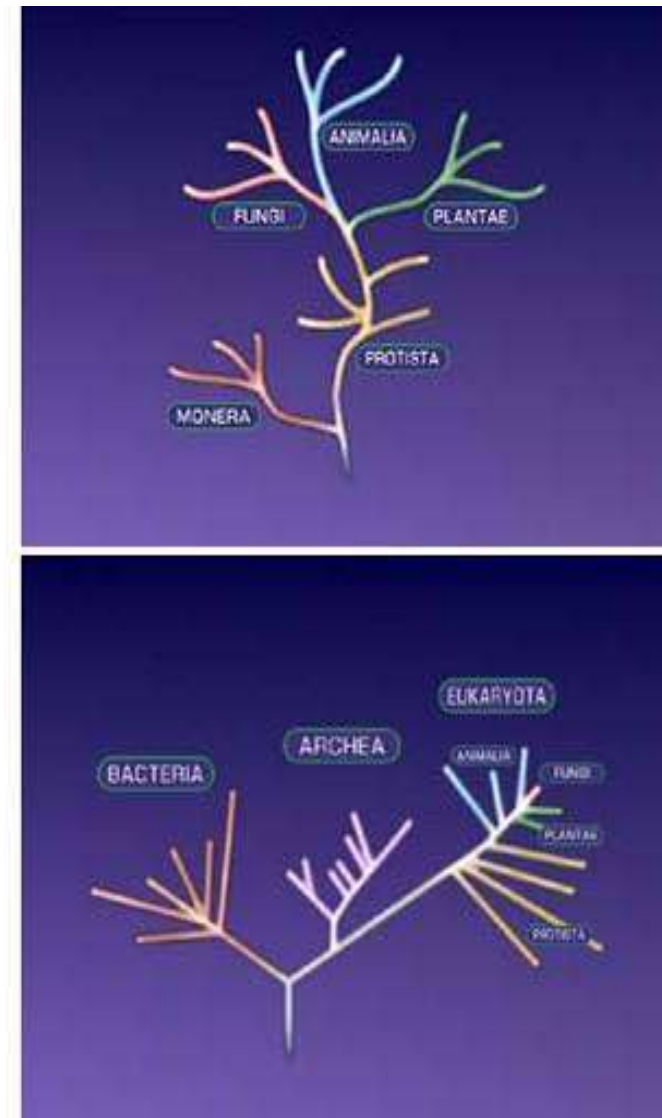
ORIGIN OF LIFE

Last common ancestor



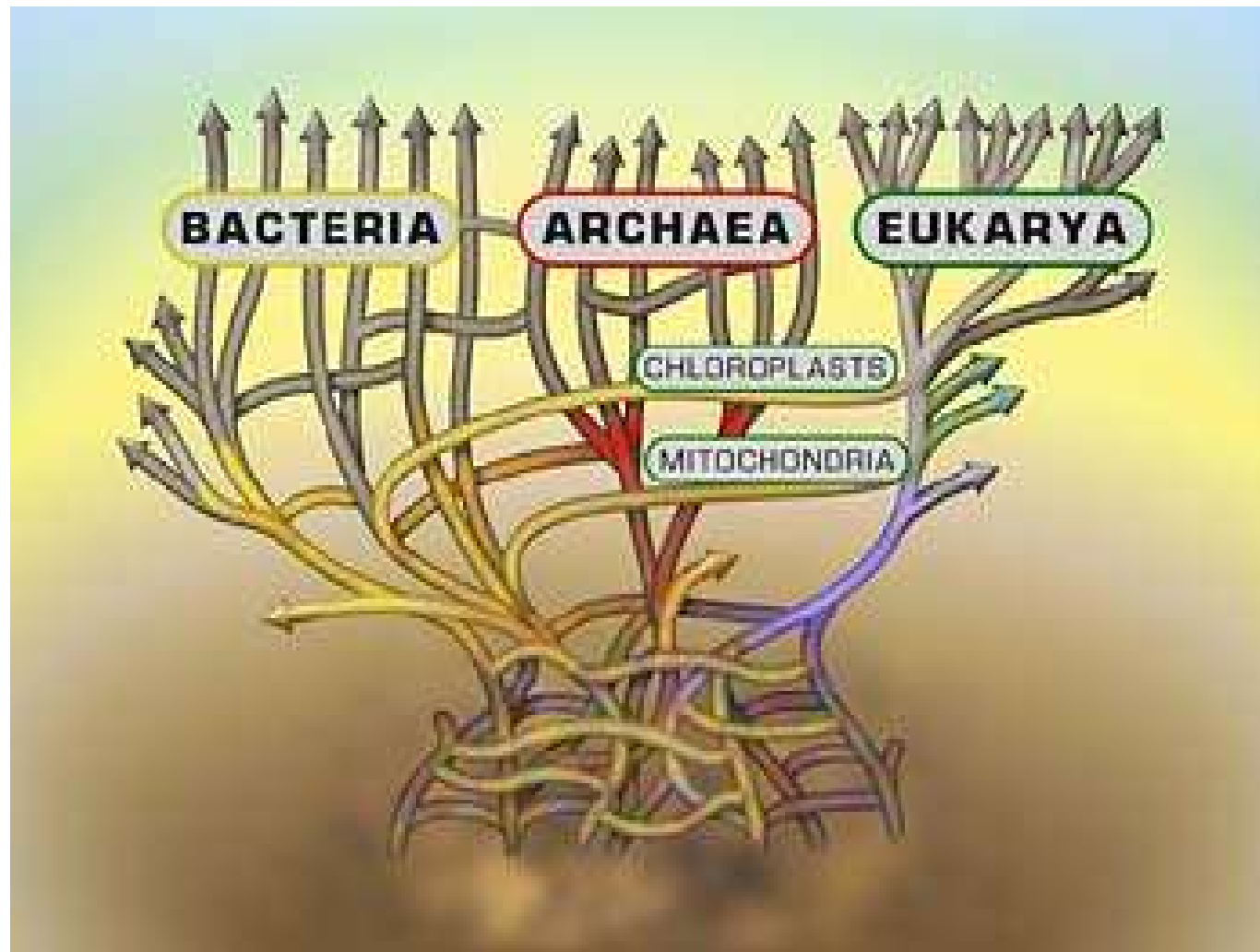
Rozdíly proti klasickému pojetí

- Velký vývojový rozdíl mezi *Archaea* a *Bacteria* rozbíjí hluboce zakořeněný názor o evoluční jednotě uvnitř prokaryot.
- Navíc prapůvodní eukaryontní větev, stejně stará jako prapůvodní prokaryontní větve, je mnohem starší, než jsou linie pro organely.
- Tedy obecně uznávaná myšlenka, že se eukaryotická buňka vyvinula před 1 až 1,5 miliardou let fúzí dvou buněk prokaryontních, se nyní jeví jako nesprávná.



Rozdíly proti klasickému pojetí

- Nicméně takto získané poznatky potvrzují původní předpoklady o tom, že mitochondrie a chloroplasty jsou endosymbiotického bakteriálního původu.
- Z hlediska různorodosti rRNA představují však mnohobuněčné formy života - živočichové, rostliny a houby, relativně nepatrnou větévku na vrcholu eukaryontní větve.
- Ve skutečnosti jsou na této škále člověk a myš nebo člověk a potkan stěží rozlišitelní.



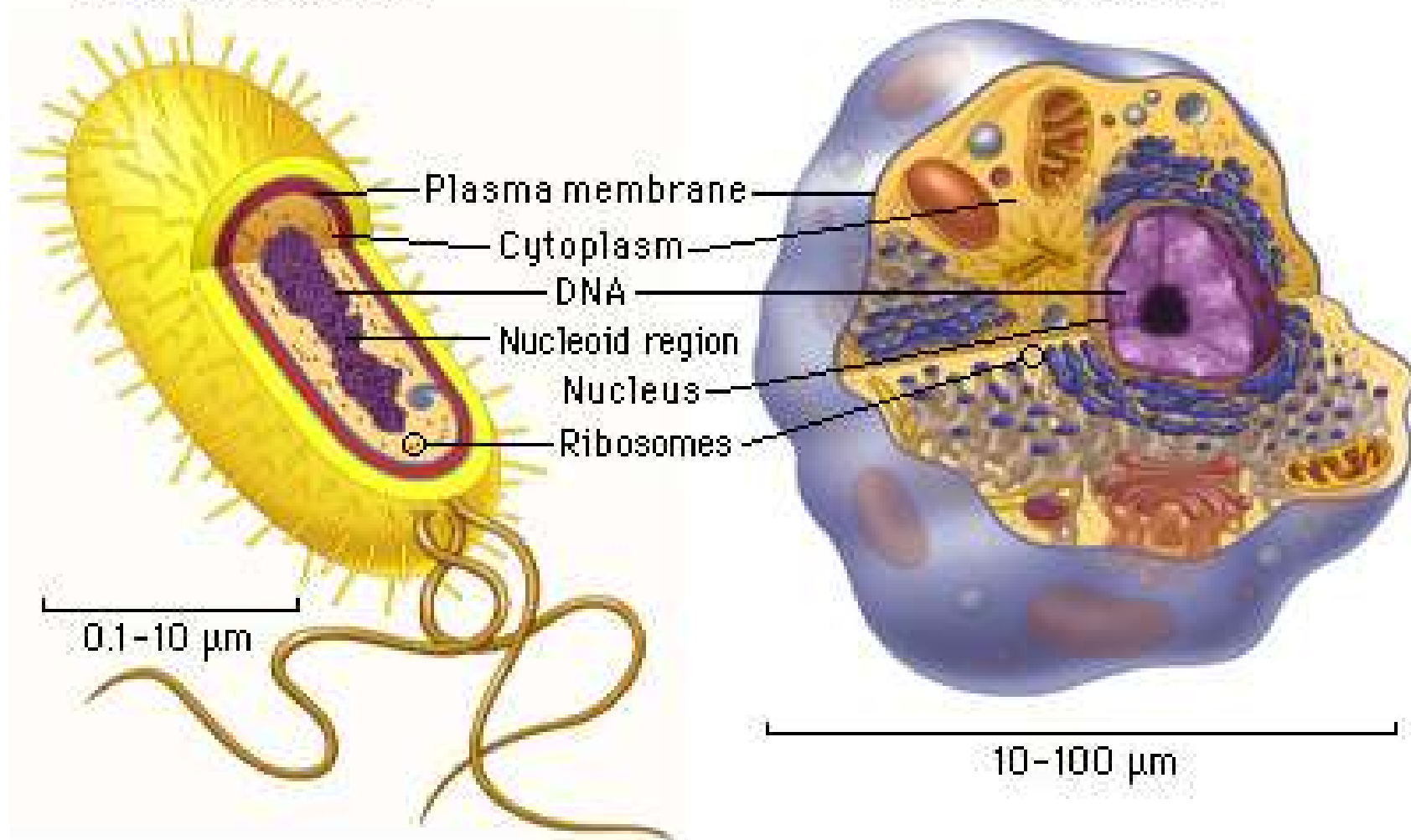
Endosymbiotický bakteriální původ chloroplastů a mitochondrií

Rozdíly proti klasickému pojetí

- Jestliže byl tedy stupeň fylogentické příbuznosti mezi zvířaty, rostlinami a houbami dostatečný k definování říší, potom by tady mohlo být množství dalších říší v doméně *Eucarya* a obdobný počet říší v doméně *Bacteria*.
- Trojdoménový strom života poskytuje tedy nový pohled na biodiverzitu, podtrhujíc, že většina genetické diverzity je mikrobiální, ať již prokaryontní nebo eukaryontní.

Prokaryotic cell

Eukaryotic cell



Srovnání prokaryotické a eukaryotické buňky

Prokaryotické organismy

- **Prokaryota** (někdy označované jako *Monera*) zahrnují domény ***Archaea*** a ***Bacteria***. Nemají jadernou membránu, neprobíhá u nich mitotické dělení jádra a buněčná stěna obsahuje typické polymery – peptidoglykany.
- **Bakterie** – mikroskopické, jednobuněčné organismy – nemají jádro (v obvyklém cytologicko-morfologickém významu, chybí i ostatní membránové struktury uvnitř buňky (mitochondrie, chloroplasty, apod.). Funkce enzymatické a syntetizující u nich plní cytoplazmatická membrána
- Příslušníci domény ***Archaea*** nemají v buněčné stěně

Jako bakterie:

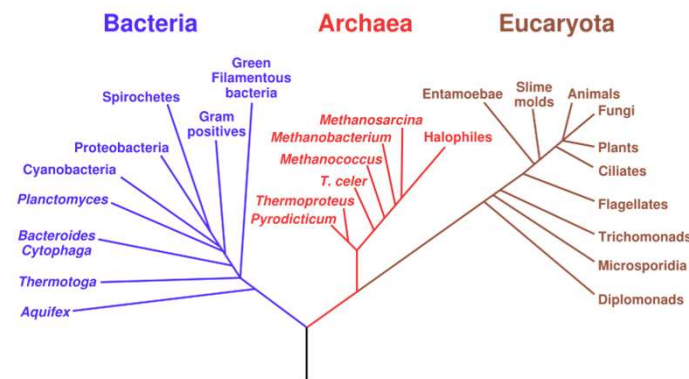
prokaryotní buňka
cyklický genom
operony

Jako eukaryota:

některé geny – introny
mechanismus replikace a
transkripce

Rozdíly:

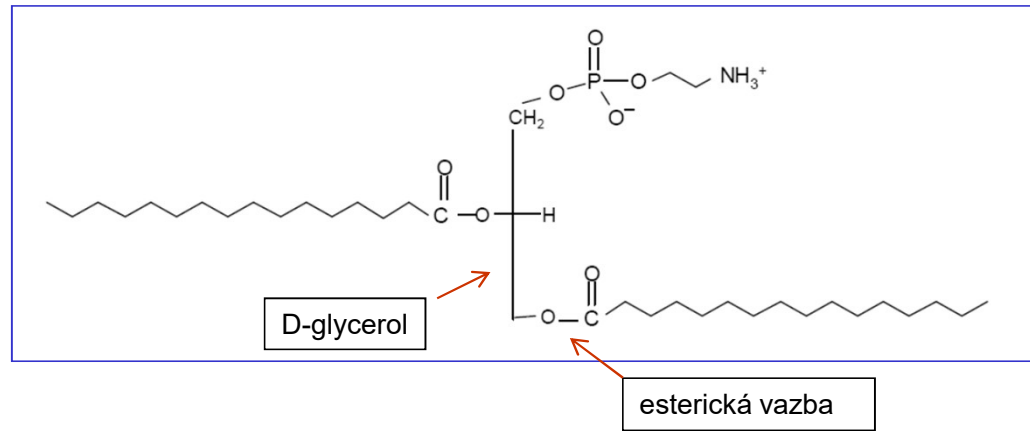
buněčná stěna – pseudomurein
buněčná membrána – etherlipidy
– membránová jednovrstva



Membránové lipidy

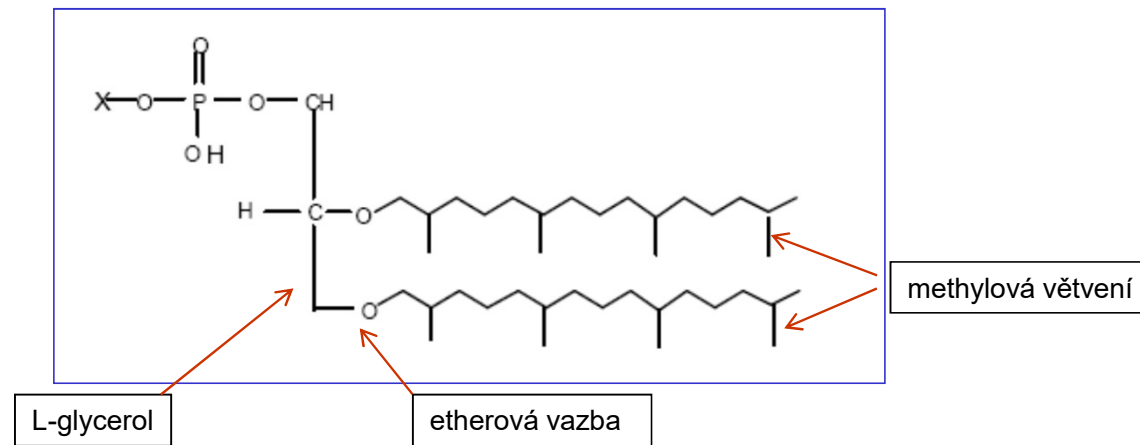
Bacteria, Eucarya

fosfolipid



Archaea

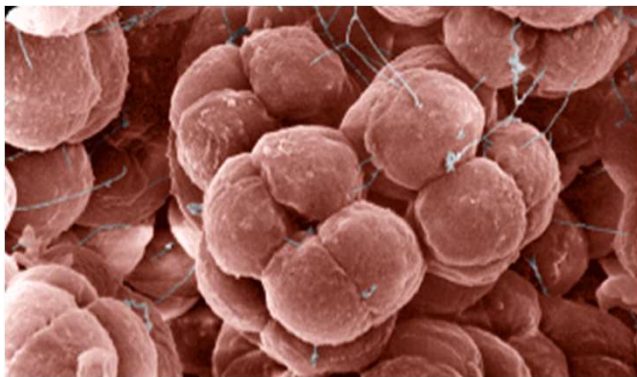
etherlipid



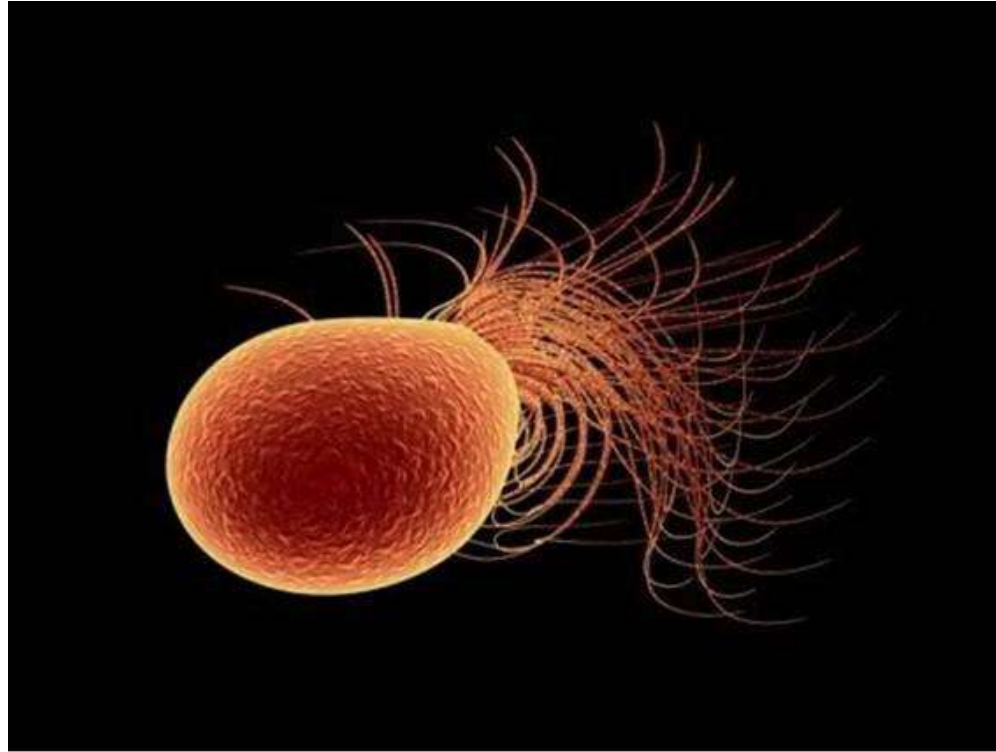
Zástupci domény *Archaea* (archea)

Odpařování vody v
odsolovacích nádržích v
zálivu San Francisco. Jasně
barvy jsou způsobeny
pigmentací bílkovin
nacházejících se v
bakteriích *Halococcus*
salifodinae právě z domény
Archaea.

Foto: University of Miami, Ústav biologie.



Zástupci domény *Archaea* (archea)



Pyrococcus furiosus objevil Karl Stetter v roce 1986 z Itálie. Je to hypertermofilní bakterie z domény *Archaea*, která je schopná růst v teplotním rozsahu od 70 ° C a 103 ° C. Rozmezí pH je mezi 5 a 9. Je anaerobní a heterotrofní a je závislá na přítomnosti sloučenin síry. Nachází se ve velké hloubce na dně oceánu.

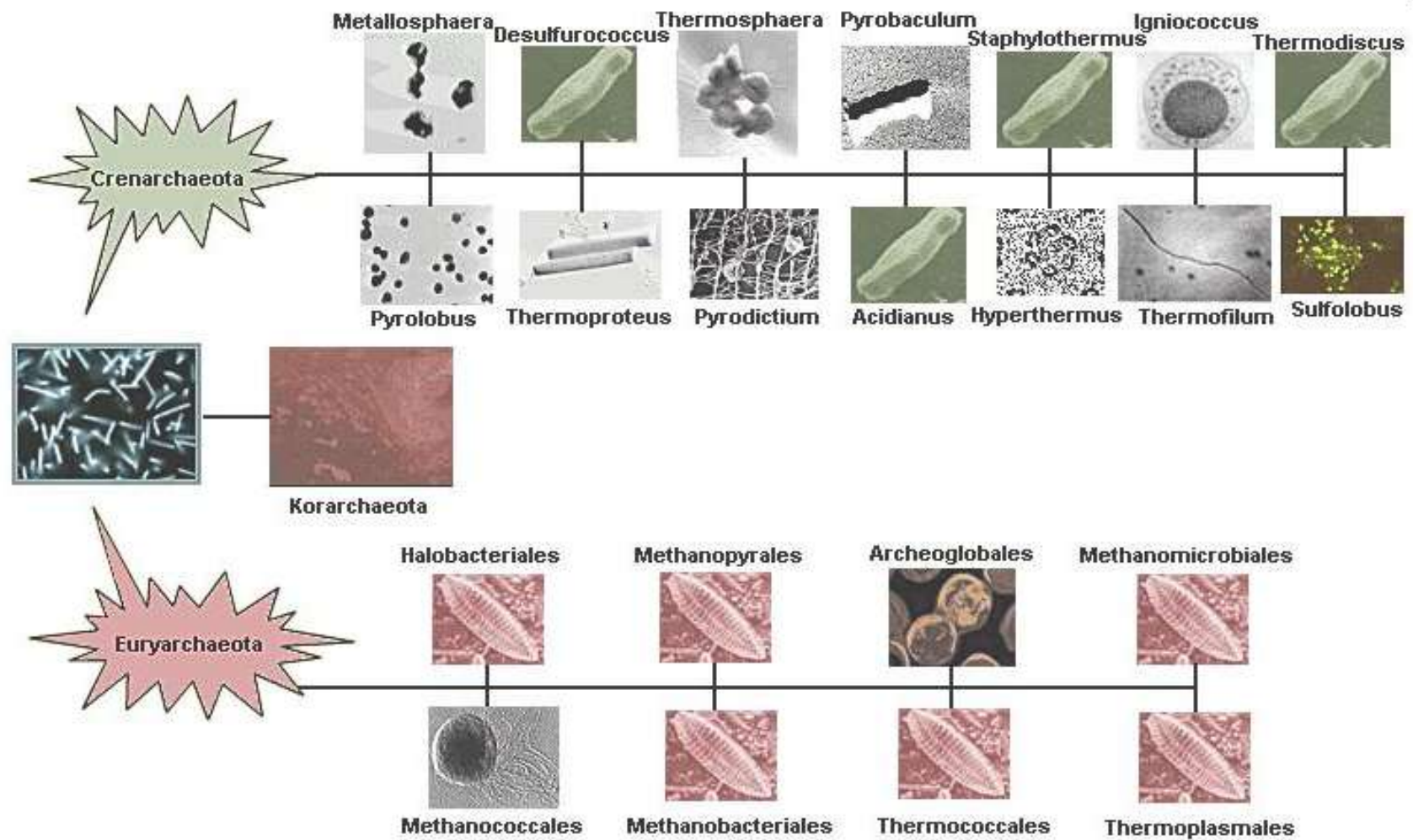
Zástupci domény *Archaea* (archea)

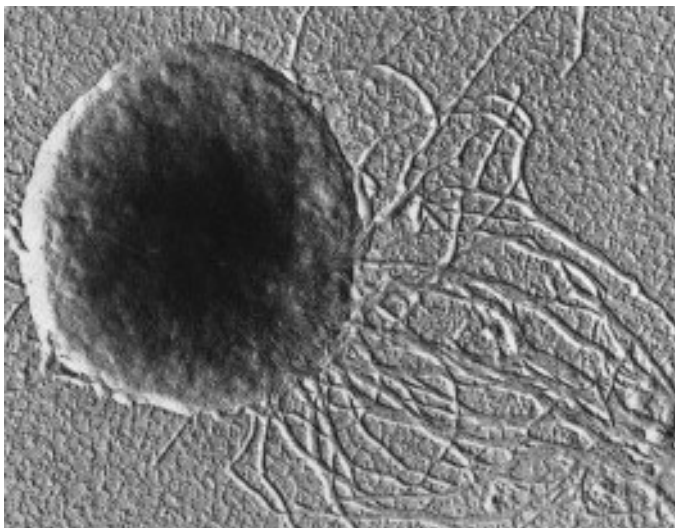


Více než třetina všech emisí metanu, zhruba 900 miliard tun ročně, je vyprodukována methanogenními bakteriemi, které žijí v trávicím traktu přežvýkavců, jako je skot, ovce a kozy. Vzato podle objemu, metan je dvacetkrát účinnější v jímání tepelného záření než oxid uhličitý, což z metanu dělá velmi efektivní skleníkový plyn.

Přínos omega 3 mastných kyselin pro zvířata z rybím tuku byl dobře zdokumentován - pomáhá srdci a oběhovému systému, zlepšuje kvalitu masa a snižuje emise metanu. Výzkumníci z University College Dublin zjistili (2009), že již 2% rybího oleje ve stravě skotu bylo dosaženo snížení množství metanu uvolňovaného zvířaty.

Zástupci domény *Archaea* (archea)





Mikrofotografie druhu rodu *Methanococcus* izolovaného z hlubinných vulkanických vývěrů ve východním Tichém oceánu. Vyskytuje se v hloubce 2600 m pod hladinou oceánu v teplotě 50 až 86 stupňů Celsia

Na síru a jiné minerální látky bohatí "černí kuřáci" ... průduchy vroucí vulkanické vody do studeného oceánu.

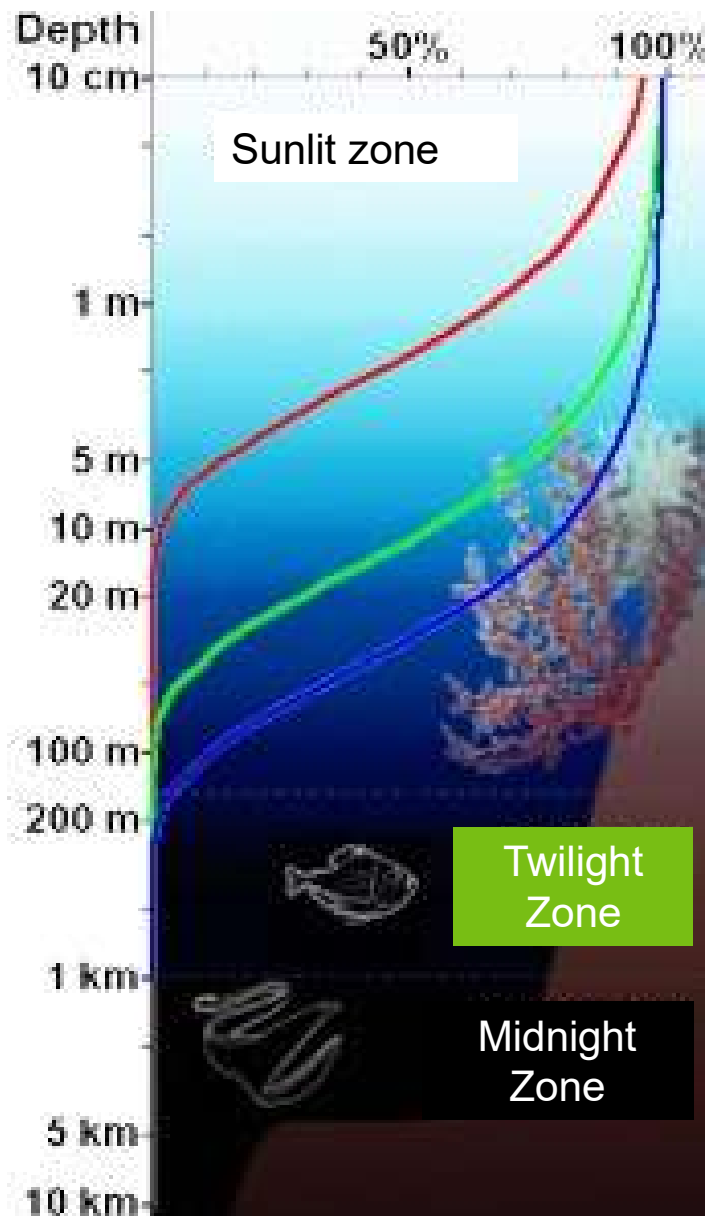
Mikrobiální extremofilové žijící z uvolněných minerálních sloučenin zajišťují propojování vlastních potravních řetězců s hlubinnými oceánickými červy a jinými organismy



Mnohé abiotické faktory přispívají k charakteristické zonaci v hloubce oceánu:

- Tlak (každých 10 m = 1 atmosféra)
- Světlo
- Teplota
- Salinita
- Rozpuštěný kyslík
- Minerální živiny





Světelné zóny

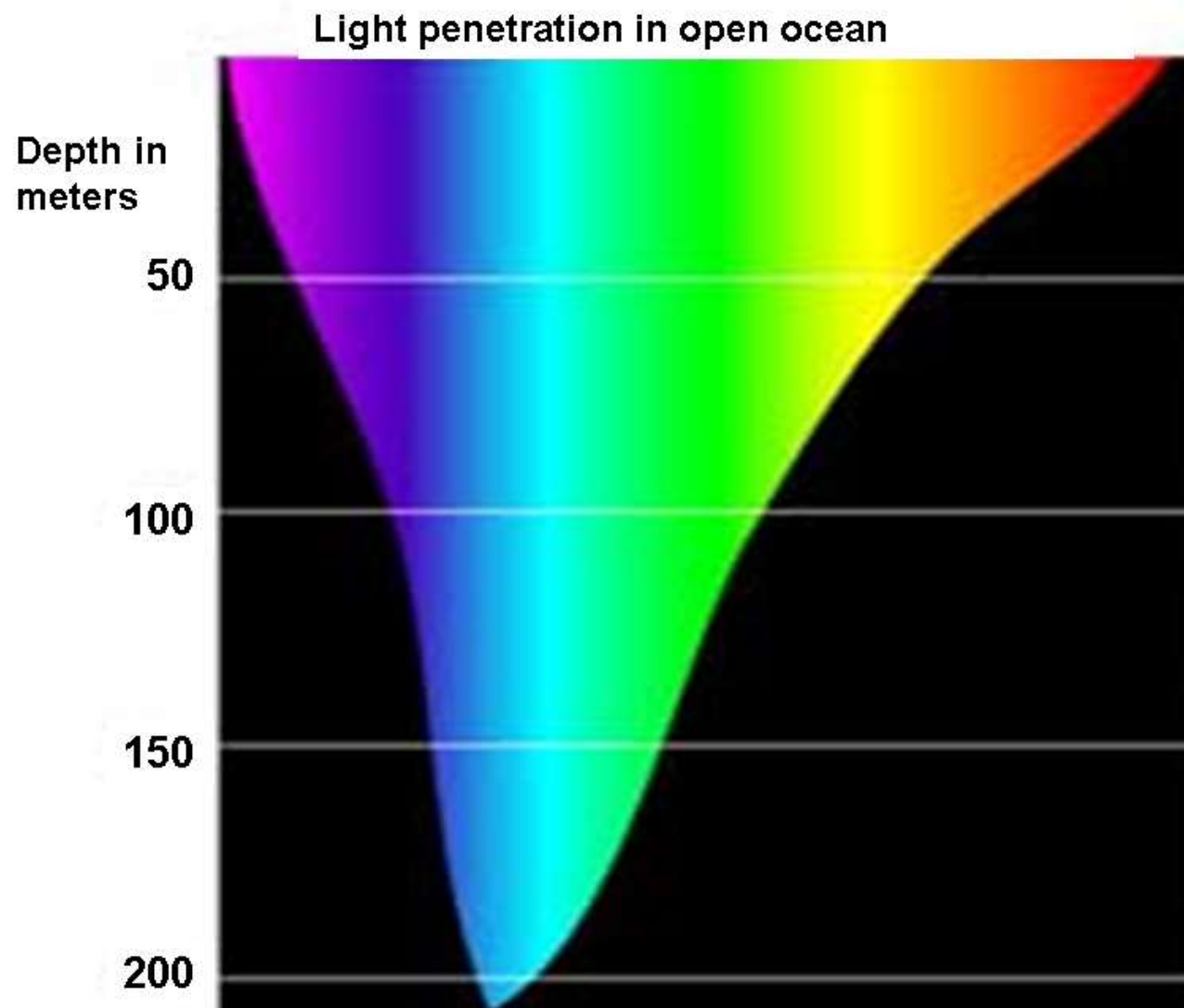
Zóna světla – 200 m

Výskyt rostlin, potrava relativně
hojná

Zóna soumraku - 1000 m

světlo nemůže podpořit rostliny,
nedostatek potravy, produkce
redukována na 20% světelné zóny,
Teplota postupně klesá z 23° až na 4 ° C

Zóna půlnoční – pod 1000 m,
věčná tma, produkce redukována na
5% světelné zóny; $T = 4^{\circ} \text{C}$



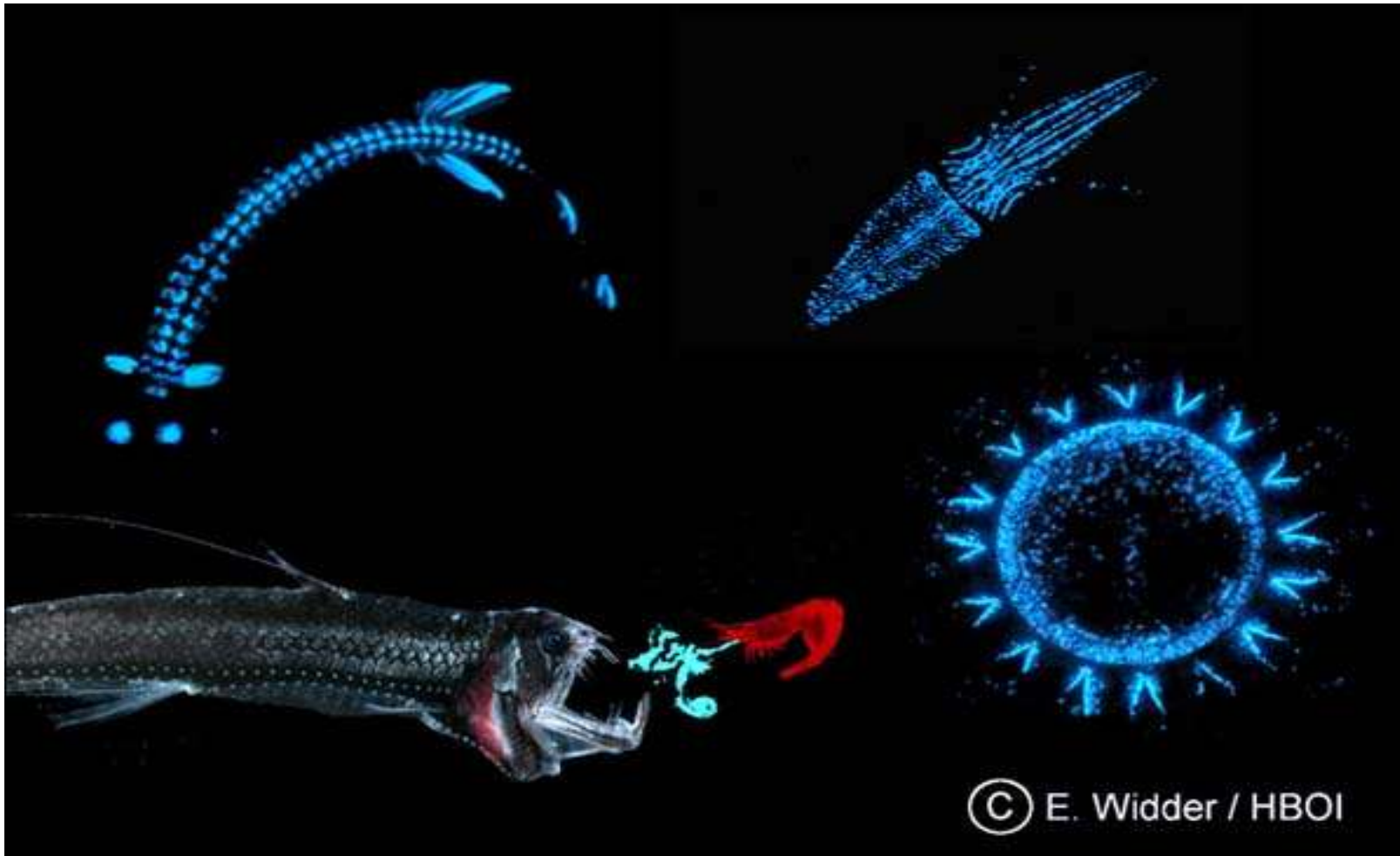
Vysoká energie (700nm) < Nízká energie (400 nm)

Chemiluminiscence: produkce viditelného světla chemickou reakcí.

Bioluminiscence: forma chemiluminiscence.

Fluorescence: absorpce světla jedné vlnové délky a jeho re-emise v jiné vlnové délce nebo barvě, produkce světla pouze v případě ozáření.

Fosforescence: Podobná fluorescenci, ale vyzařování se udržuje mnohem déle po odstranění zdroje záření.



© E. Widder / HBOI

malé rozměry (jídlo vzácné)

velká ústa, v poměru k velikosti těla

nepohyblivé čelisti - polykání velké kořisti

velké zuby

mnohé z nich jsou černé nebo červené (neviditelný)

velké oči (k zachycení dostupného světla)

vertikální migrace (až do zóny světla, ale jen v noci)

- barva černá nebo stříbrná

- vyvinutý plynový měchýř / vyvitnuté svaly / kosti

nemigrující (zůstávají v zóně soumraku)

- žádný plynový měchýř / slabé kosti / ochablé svaly



Hydrotermální vývěry

poprvé objeveny v roce 1977

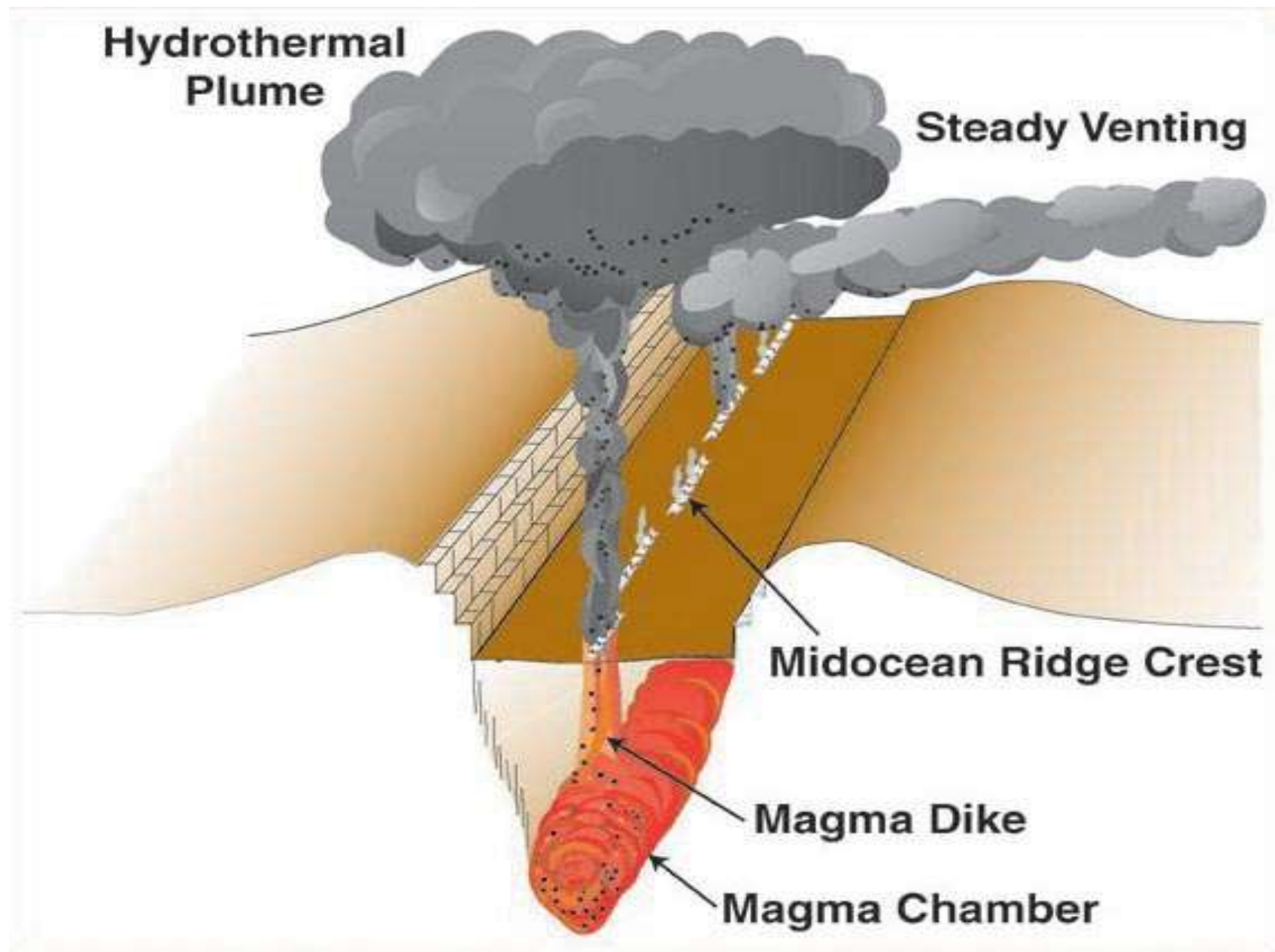
nachází se ojediněle na dně oceánů např. na východ od Galapág v místě dotyku kontinentálních desek

Voda:

- až do 400 °C (avšak nedochází k varu - příliš velký tlak)
- vysoce kyselá
- velké množství sirovodíku (toxický pro většinu zvířat);
sírniky železa, zinku, mědi a dalších kovů se sráží
a vylučuje se jako „černý kouř“, odtud označení „černí kuřáci“

Může být i více než dva kilometry hluboko

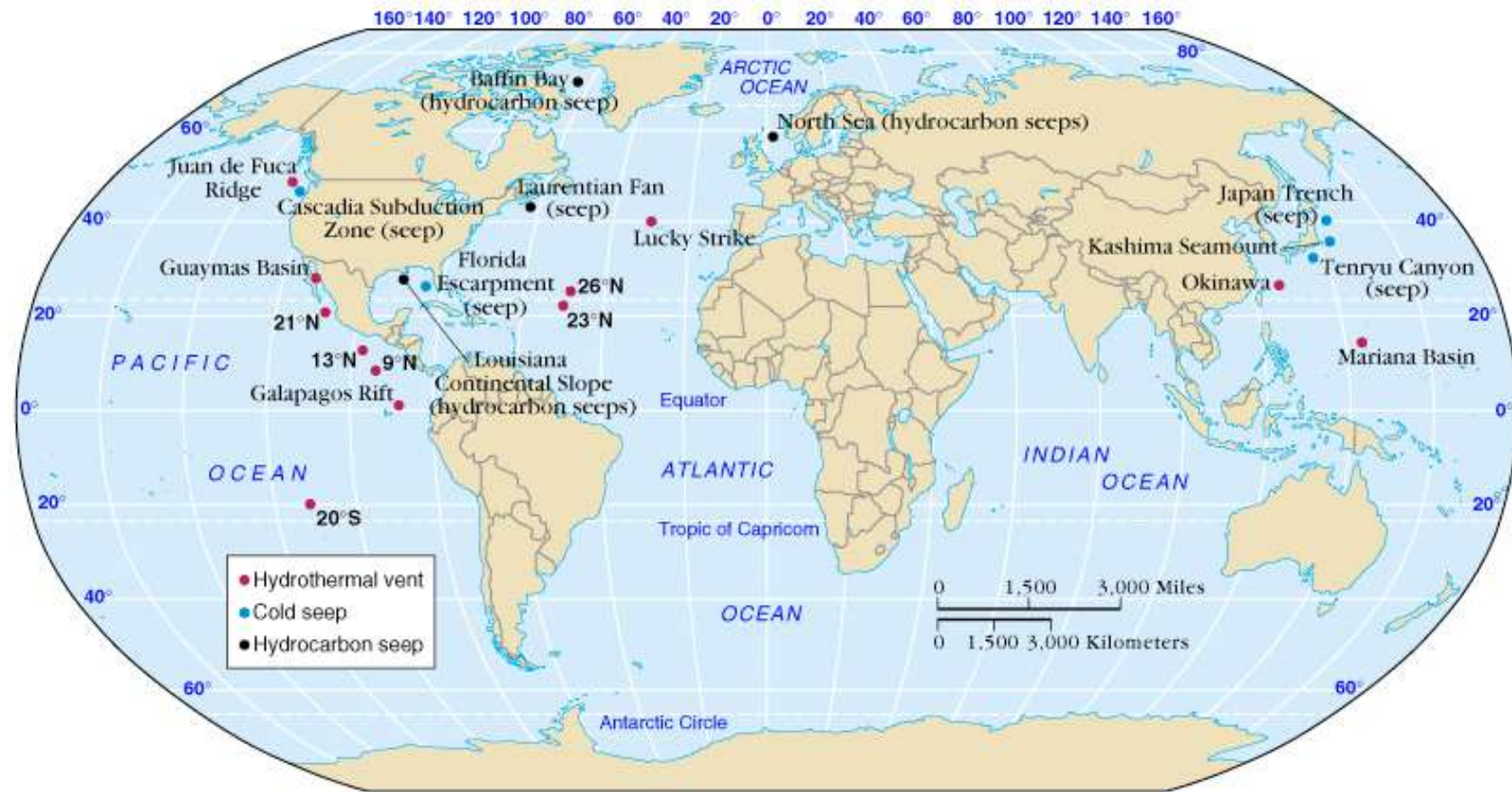
- absence světla
- absence fotosyntézy; potravní řetězce se odvíjejí od



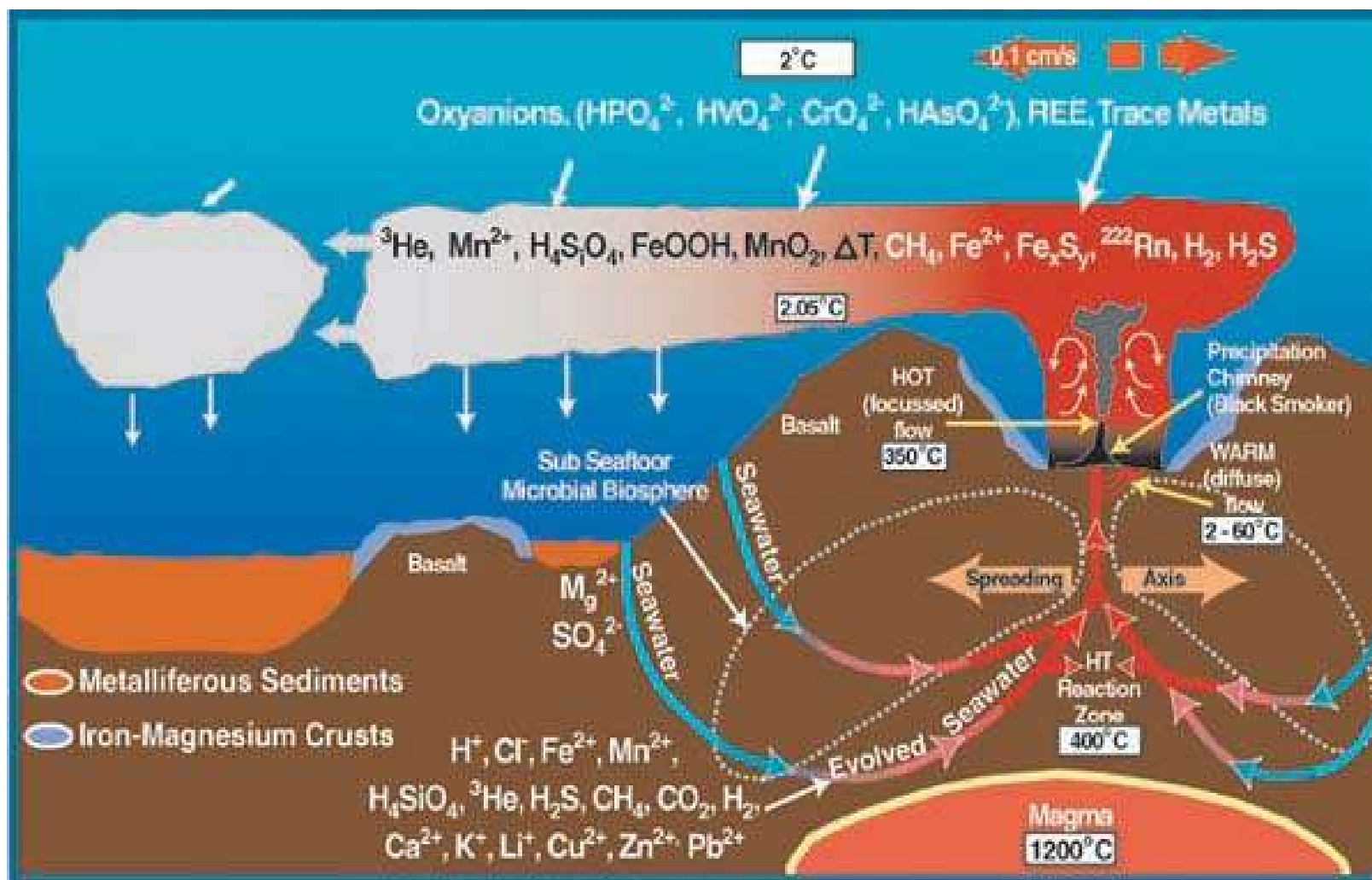
Podmorská „laborator“ *Alvin* v blízkosti ostrůvku života vázaného na hydrotermální vývěr



Lokalizace hlubinných společenství



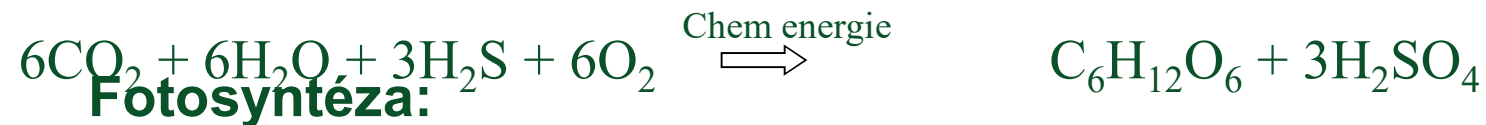
Chemie okolí hydrotermálního vývěru





Chemosyntéza:

využití energie uvolněné anorganickými chemickými reakcemi k produkci org. látek (sirovodík, metan, apod.)



Fotosyntéza:

využití sluneční energie k produkci organických látek.



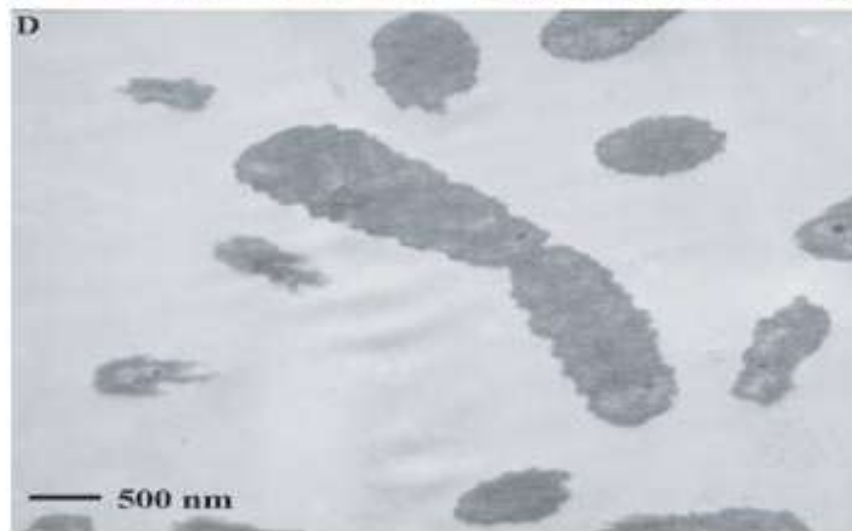
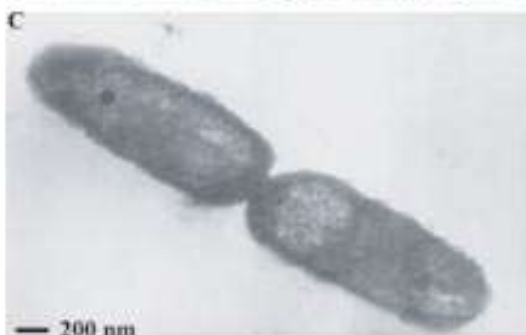
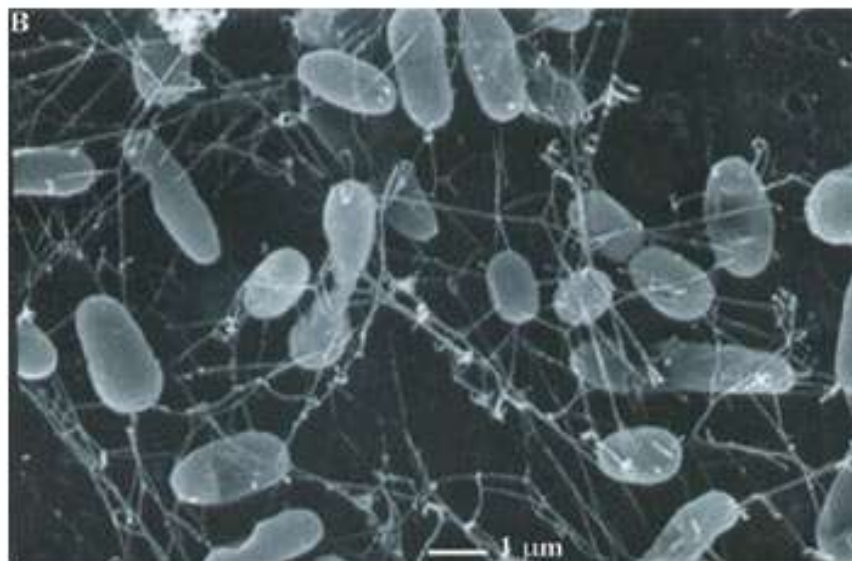
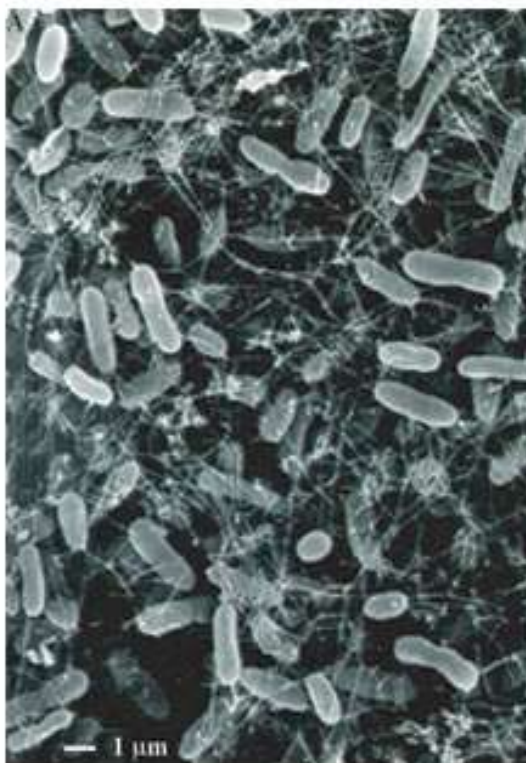
Light energy



Trubicoví červi *Riftia pachyptila*
v blízkosti hydrotermálních vývěrů



Riftia p. je hlubokomořský
člámkovaný červ, mnohoštětinatý
kroužkovec ze skupiny
vláknonošců. Jsou to
živočichové, kteří nemají ústa,
žaludek a ani střevo.



Podmořští termofilové izolovaní z blízkosti hlubinných hydrotermálních vývěrů, kteří využívají síry a vodíku a vlastní uhlíkaté látky vytvářejí z CO_2 .

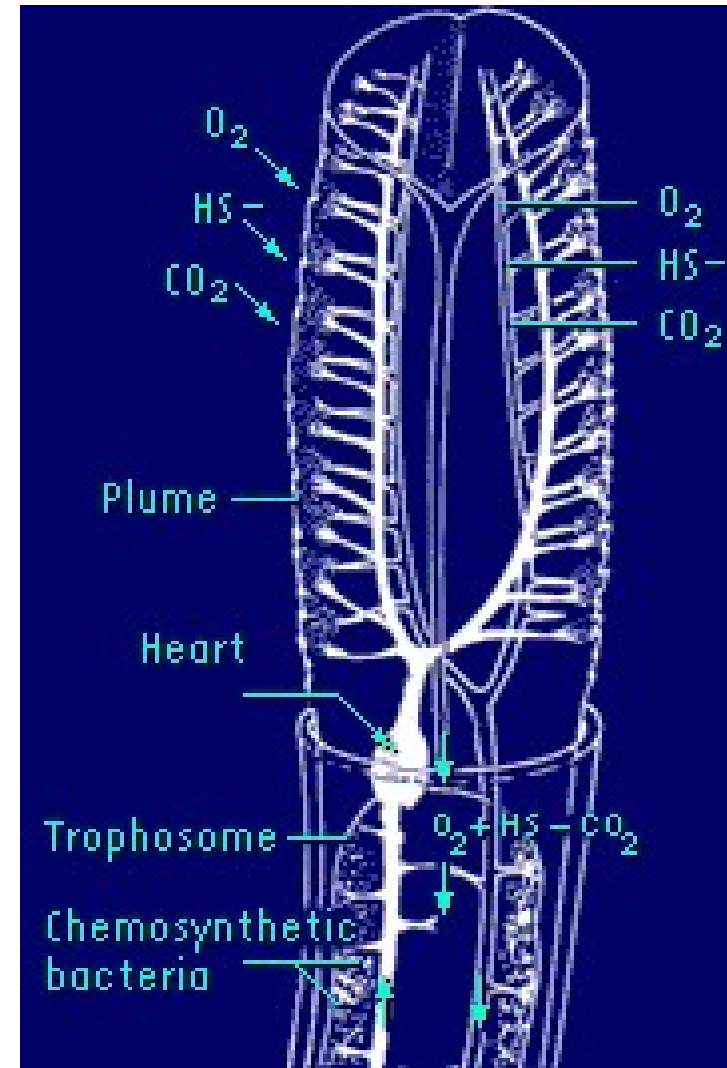


„Žábry“

vnáší kyslík a oxid uhličitý z mořské vody

vnáší sirovodík

Má hned dva hemoglobiny – malý a velký. Molekula má jedinečné prostorové uspořádání – je dutá a obsahuje 12 iontů zinku. Ty vážou sirovodík tak, že se tím nenaruší schopnost hemoglobinu vázat kyslík. Malý „sirovodíkový“ hemoglobin pak roznáší sirovodík po těle červa a dopravuje jej k symbiotickým bakteriím.



Vestimentum

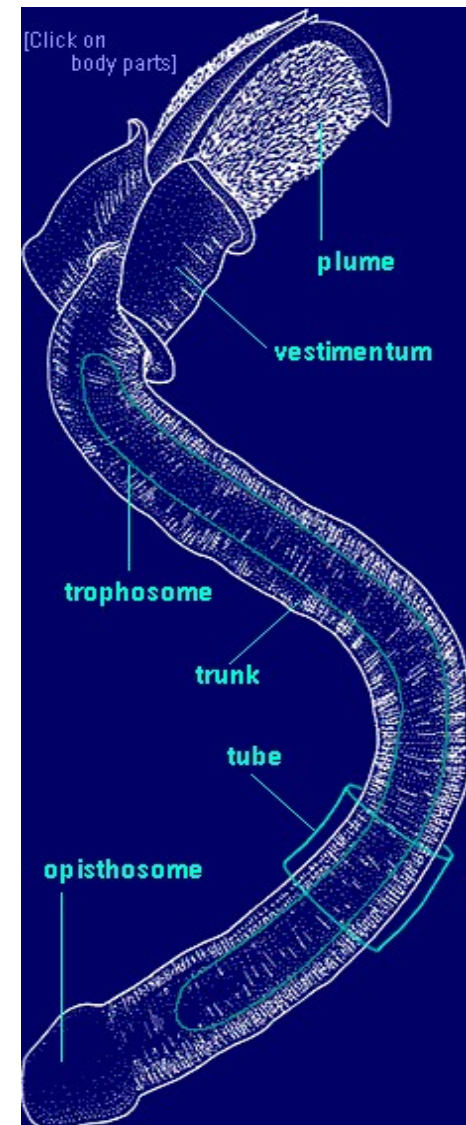
Mission Control:

Muscular - anchors upper portion of worm in tube

Provides safe passage for blood from plume to trophosome

Generates new tube material

Holds the reproductive pores from which the worm releases sperm or eggs during spawning; these combine in the water to make baby tubeworms



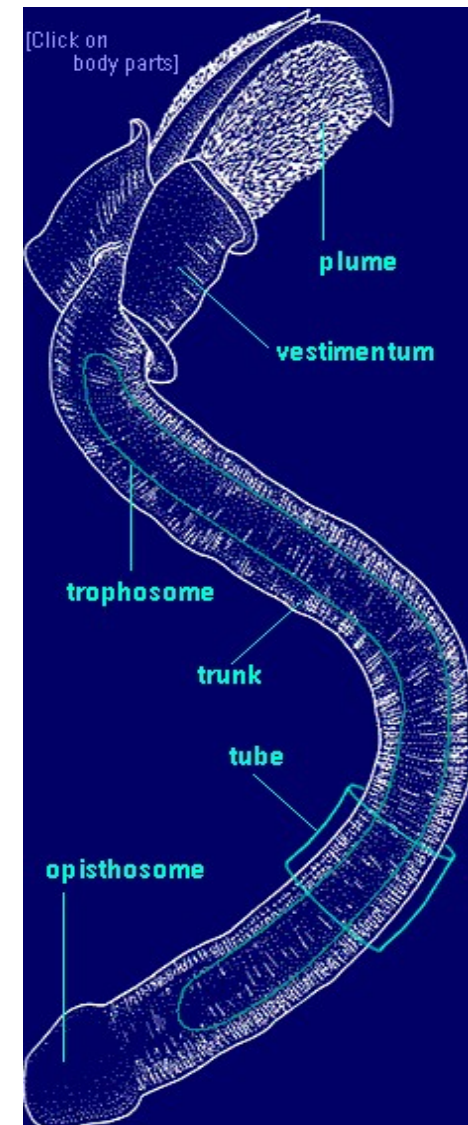
Trophosome

This organ of dark green-brown spongy tissue is where the real action takes place:

~10 billion bacteria (microbes) per gram of tissue live symbiotically in special cells.

Absorbs the 3 ingredients pumped down from the plume - oxygen, carbon dioxide, and hydrogen sulfide - and controls their reaction.

Microbes use the chemical energy released from the oxidation of sulfide into sulfate to fix carbon dioxide into the organic carbon that nourishes both the microbes and the



Trunk

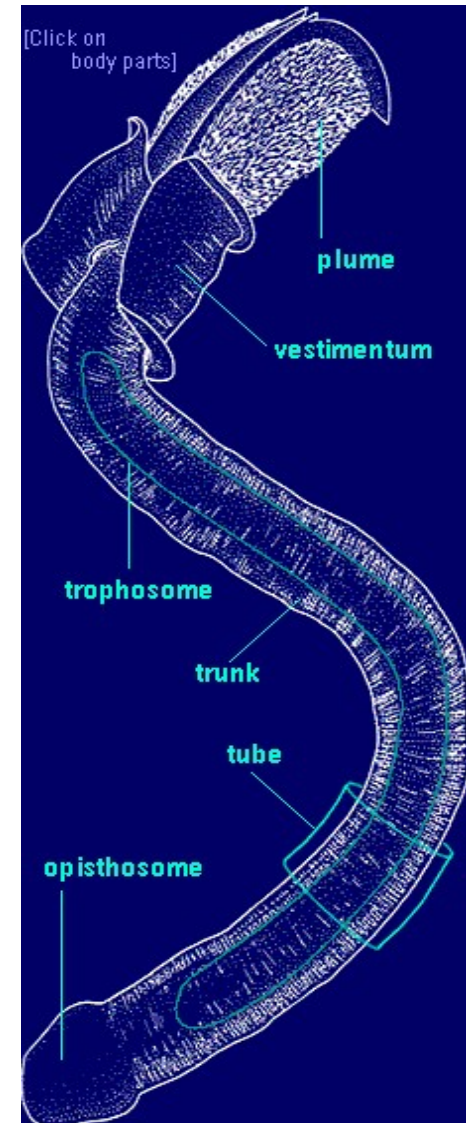
Imagine having no anus. Well, tubeworms don't need one because they don't eat solid food.

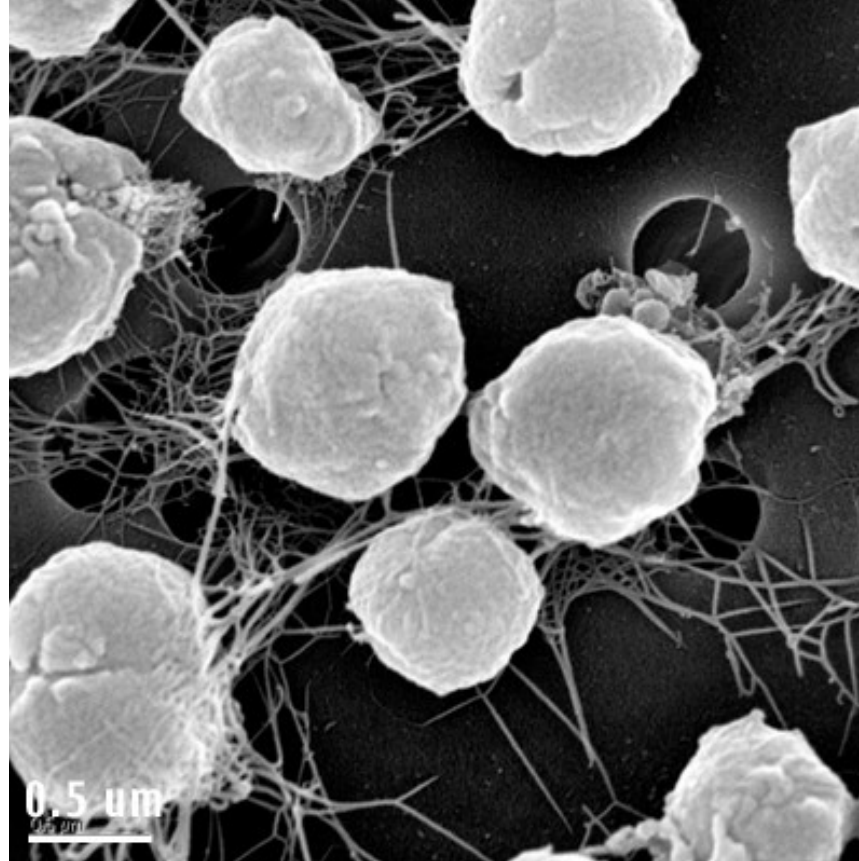
They take up the dissolved gases, hydrogen sulfide, oxygen and carbon dioxide across their plume.

And must excrete the waste product, sulfuric acid across their plume.

Hydrothermal vent tubeworms can live several decades.

Sulfide in the worm's bloodstream gives the animal its powerful rotten-egg stench.





Methanococcus jannaschii byl prvním mikrobem z domény *Archaea* u něž došlo k sekvenování genomu, což otevřelo dveře pro srovnání genomů ze tří domén. Mikrobi byl původně získáni ze sedimentu, ze vzorku odebraného z mořského dna z "bílého kuřáku" z komínu (sopouchu) v oblasti východní pacifické propadliny.

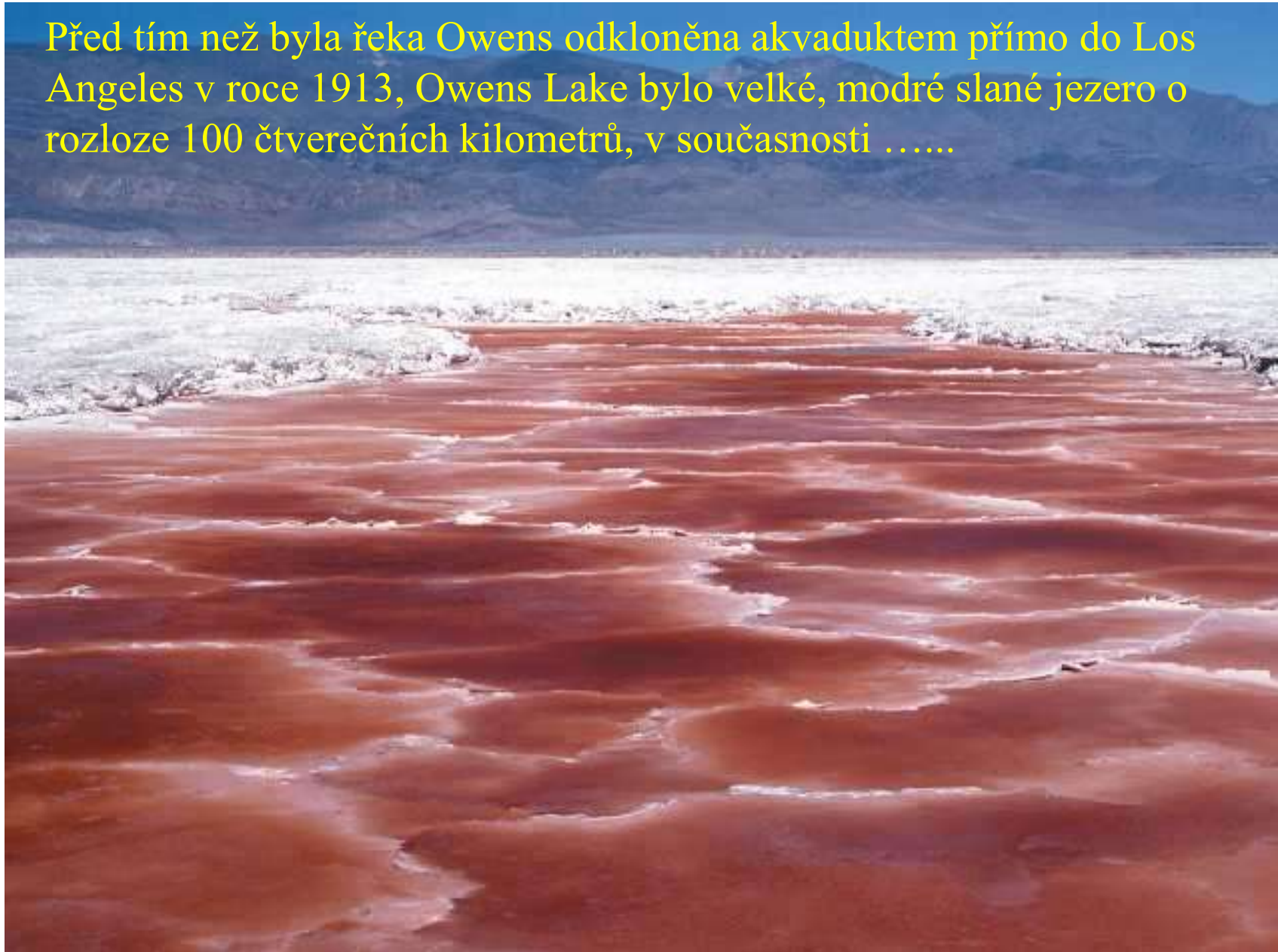


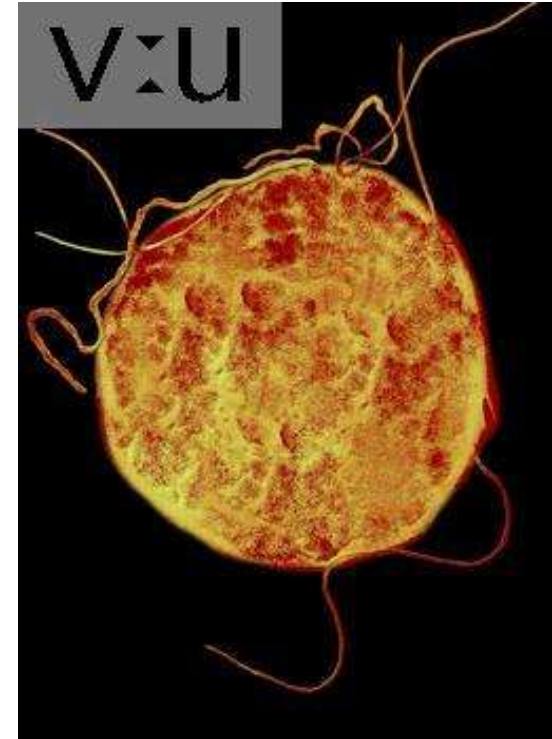
Halobacterium salinarum



Halobakterie v solných nádržích San Franciského zálivu

Před tím než byla řeka Owens odkloněna akvaduktem přímo do Los Angeles v roce 1913, Owens Lake bylo velké, modré slané jezero o rozloze 100 čtverečních kilometrů, v současnosti





Tito příslušníci domény *Archaea* (*Sulfolobus acidicaldarius*) mají bičíky. Jsou známí jako extremofilové, protože mohou prosperovat v podmínkách při 70 °C a při pH 2,0.



Tyto obrázky ukazují barevné kolonie příslušníků domény *Archaea* rostoucích při teplotách, které by byly fatální pro většinu jiných organismů.



Vroucí horké prameny v Yellowstonském národním parku zabarvené koloniemi termofilních sinic, příslušníků domén *Bacteria* a *Archaea*. Oranžově - zabarvené sinice se obvykle vyskytují ve vodě, která je chladnější než 73°C. Zelené chlorofyly u těchto fotosyntetických cyanobakterií jsou maskovány oranžovými karotenoidními pigmenty.



Podobně jako u jasně červených halobakterií ze solných jezer, karotenoidy chrání citlivé buňky před silným slunečním zářením, a to zejména v letních měsících. Teplejší, světlejší plochy jezírek vulkanického původu obsahují vláknité nefotosyntetizující mikroby z domény *Bacteria*. Např. heterotrofní *Thermus aquaticus* je zde schopen přežít teplotu až 80 stupňů Celsia, tedy teplotu, která je příliš vysoká pro fotosyntetické bakterie. DNA polymeráza, izolovaná z této bakterie (1969), označovaná jako Taq DNA polymeráza se používá v procesu polymerázové řetězové reakce (PCR) při amplifikaci DNA a svým významem v podstatě otevřela bránu molekulární biologie.

TABLE 1.1 Three hundred years of microbiology: Some key papers in microbiology, 1684–1999^a

Year	Investigator(s)	Discovery
1953	James Watson, Francis Crick, Rosalind Franklin	Structure of DNA
1959	Arthur Pardee, Francois Jacob, Jacques Monod	Gene regulation by a repressor protein
1959	Rodney Porter	Immunoglobulin structure
1959	F. Macfarlane Burnet	Clonal selection theory
1960	Francois Jacob, David Perrin, Carmon Sanchez, Jacques Monod	Concept of an operon
1960	Rosalyn Yalow and Solomon Bernson	Development of radioimmunoassay (RIA)
1966	Marshall Nirenberg and H. Gobind Khorana	Discovery of the genetic code
1967	Thomas Brock	Discovery of bacteria growing in boiling hot springs
1969	Howard Temin, David Baltimore, Renato Dulbecco	Discovery of retroviruses/reverse transcriptase
1969	Thomas Brock and Hudson Freeze	Isolation of <i>Thermus aquaticus</i> , source of <i>Taq</i> DNA polymerase
1970	Hamilton Smith	Specificity of action of restriction enzymes
1975	Geoffrey Milstien, Howard Temin	Anticlonal antibodies
1976	Susumu Tonegawa	Rearrangement of immunoglobulin genes
1977	Carl Woese, George Fox	Discovery of the Archaea
1977	Fred Sanger, Steven Niklen, Alan Coulson	Methods for sequencing DNA
1981	Stanley Prusiner	Characterization of prions
1982	Karl Stetter	Isolation of first prokaryote with temperature optimum > 100°C
1983	Luc Montagnier	Discovery of HIV, the cause of AIDS
1988	Kary Mullis	Discovery of the polymerase chain reaction (PCR)
1995	Craig Venter and Hamilton Smith	Complete sequence of a bacterial genome
1999	The Institute for Genomic Research (TIGR), and others	Over 100 microbial genomes sequenced or in progress

^a Major reference sources here include Brock, T. D. (1961), *Milestones in Microbiology*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ; Brock, T. D. (1990). *The Emergence of Bacterial Genetics*, Cold Spring Harbor Press, Cold Spring Harbor, NY. Year refers to the year in which the discovery was published.

1969 Thomas Brock; Hudson Freeze - Isolation of *Thermus aquaticus*, source of *Taq* DNA polymerase

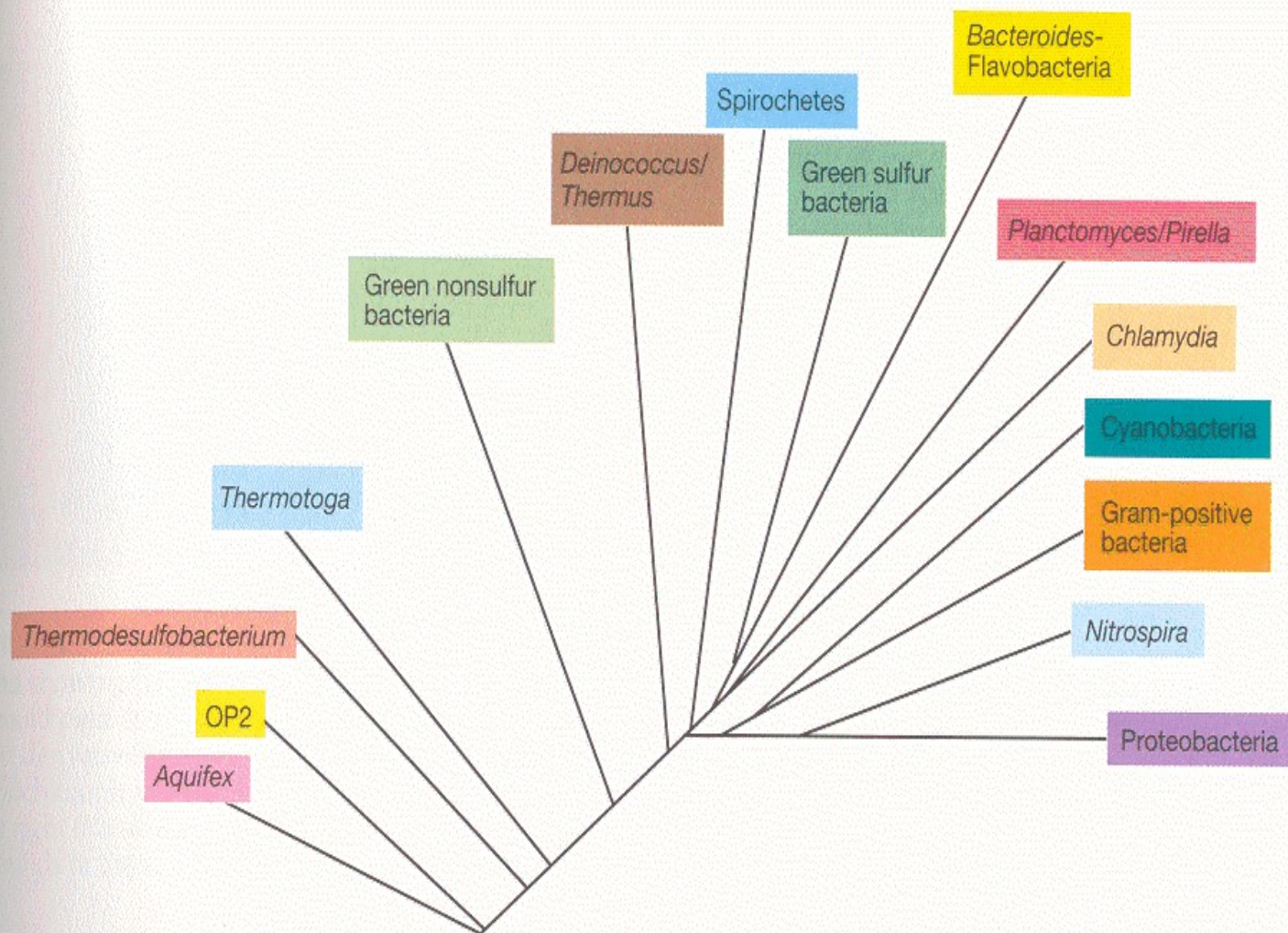
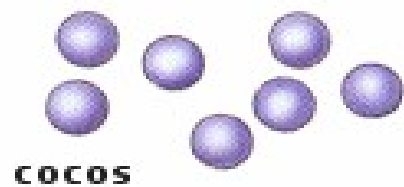


FIGURE 13.1 Detailed phylogenetic tree of the major lineages (kingdoms) of Bacteria based on 16S ribosomal RNA sequence comparisons. The relative positions of branches on this detailed tree differ slightly (for statistical reasons) from those shown in the universal tree (Figure 12.13), but the branch lengths on the tree remain proportional to the corrected evolutionary distances calculated between any two groups. OP2 is an environmental sequence (Section 12.6) not yet represented by a cultured bacterium.

- Doména ***Bacteria*** – buněčná stěna je složena z kyseliny muramové a D-aminokyselin. Některé nemají buněčnou stěnu, podle obsahu fotosyntetických barviv se dělí na dvě skupiny – sinice a bakterie
- **Sinice – *Cyanobacteria*** autotrofní prokaryotické organismy, obsahující v buňkách chlorofyl (bakteriochlorofyl) a akcesorická barviva fykoerytrin a fykocyanin
- **Bakterie** – prokaryota, živící se autotrofně (fotolitotrofně a chemolitotrofně) a heterotrofně (fotoorganotrofně – využívají jako zdroj uhlíku organickou látku a chemoorganotrofně)
- Bakterie jsou jedinou skupinou organismů, u které se setkáváme se všemi hlavními typy získávání energie a zdroji uhlíkaté výživy. Největší skupinou jsou ale

Velikost a tvar bakterií

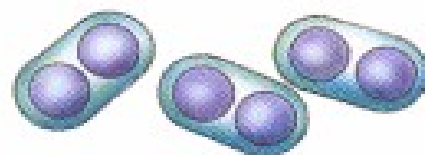
- **Kulovité formy (koky)** mají průměr 0,5 – 2 μm
- **Tyčinkovité formy** bývají široké 0,2 – 1,0 μm , často i více.
- *Beggiatoa gigantea* může být dlouhá několik cm a průměrná šířka jejího vlákna bývá 35 – 40 μm
- *Dialister pneumosintes* jako zástupce nejmenších bakterií je dlouhý jen 0,15 – 0,30 μm a široký jen asi 0,10 μm , což mu umožňuje procházet přes bakteriologické filtry
- V přirozených podmínkách mají bakterie obecně menší rozměr než při kultivaci
- Dceřiné buňky mohou po dělení vytvářet taxonomicky významné základní tvary:
- **Mikrokoky** – buď úplně oddělené nebo se seskupují do nepravidelných shluků – *Micrococcus roseus*
- **Diplokoky** – buňky jsou ve dvojicích dělení probíhá v



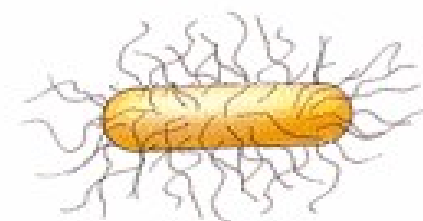
cocos



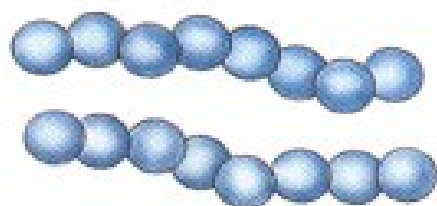
esporos bacterianos



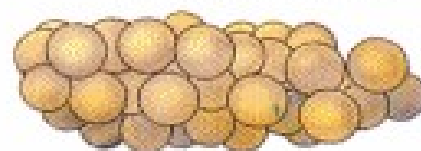
diplococos



bactéria flagelada



estreptococos



estafilococos



vibriões

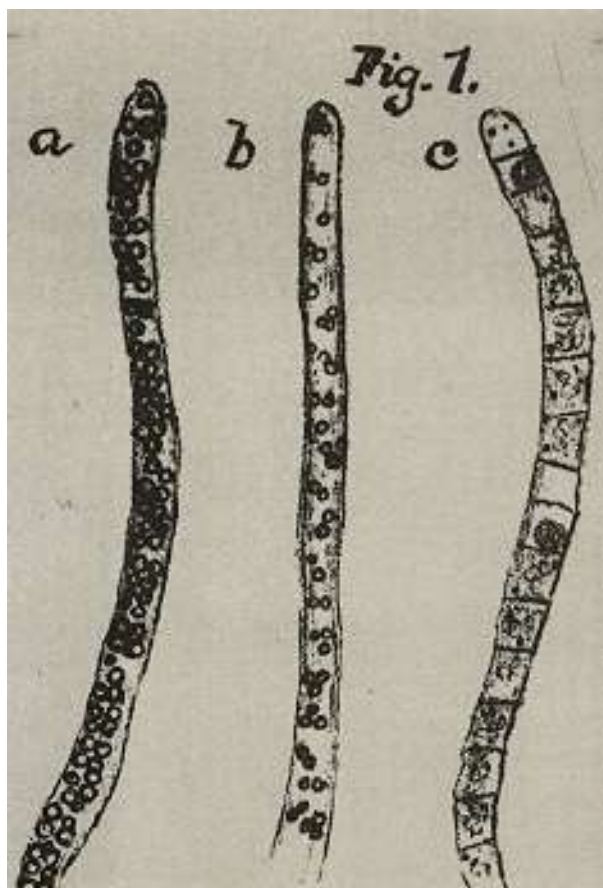


espirilos

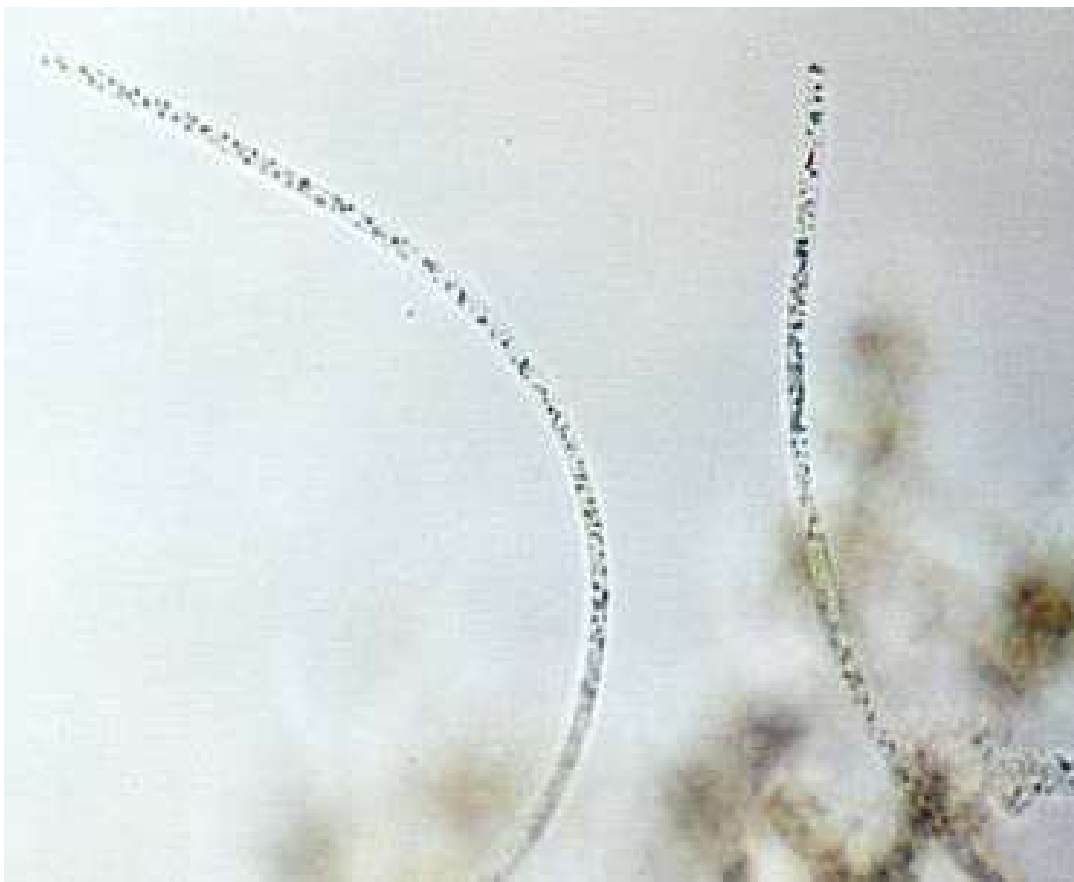


bacilos

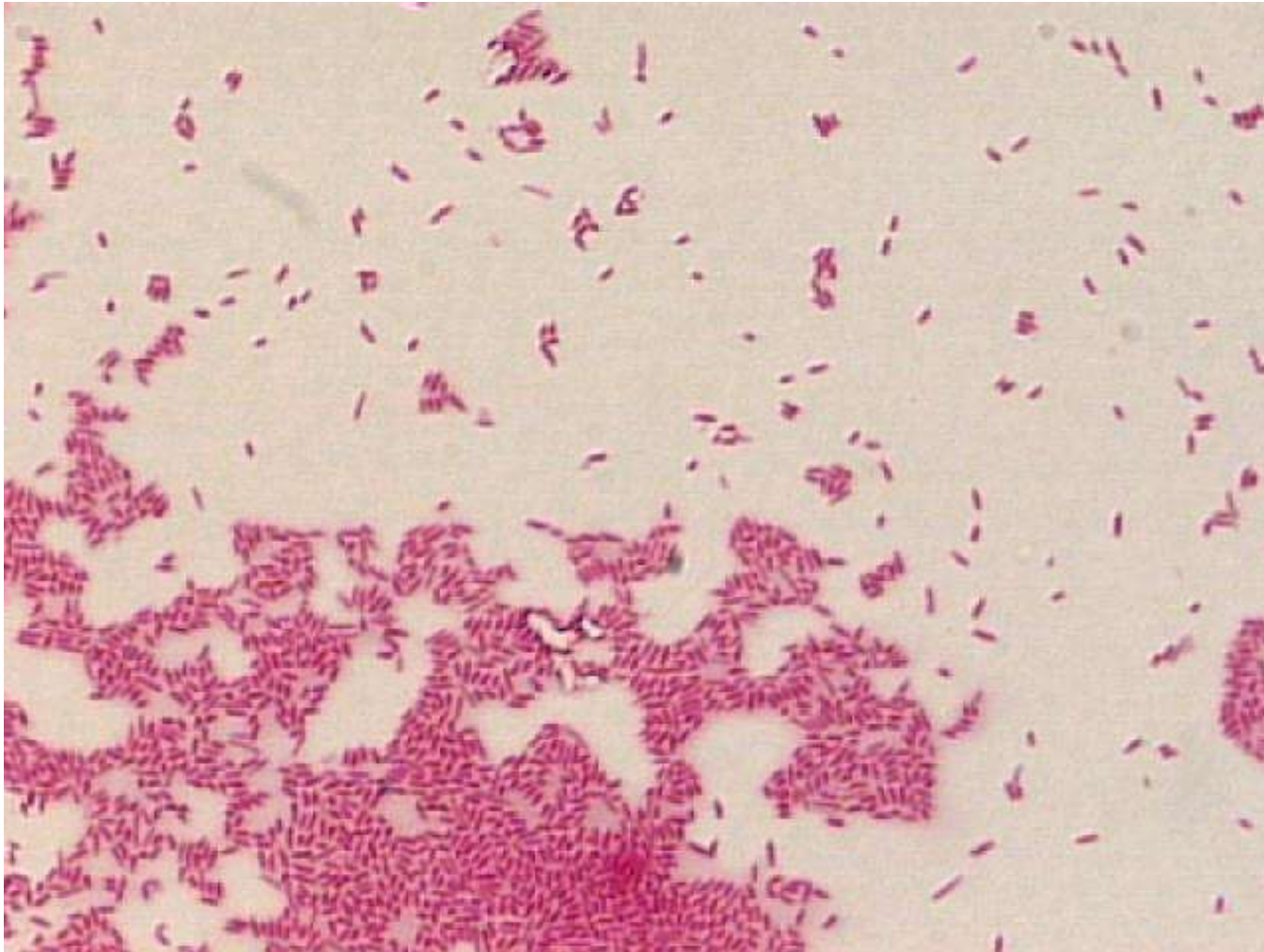




Původní kresba druhu
Beggiatoa od Sergeje
Winogradského
ilustrující inkluze síry
(1887)



Kolonie druhu *Beggiatoa* s
charakteristickými inkluzemi síry
(zřetelné jako tmavší body)



Dialister pneumosintes



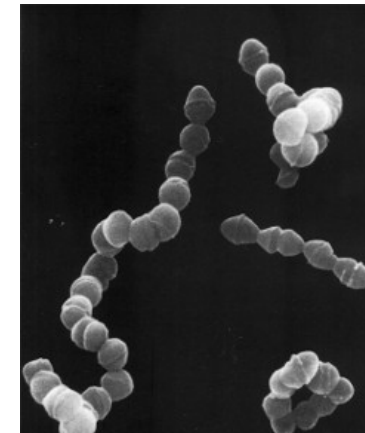
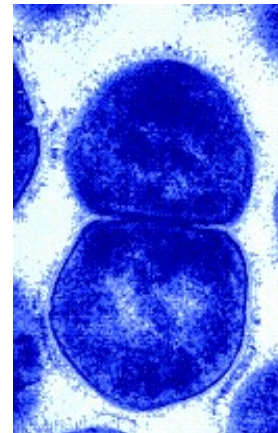
Plotnová kultura chromogenní bakterie *Micrococcus roseus*
Zřetelný je růžový, ve vodě nerozpustný pigment.

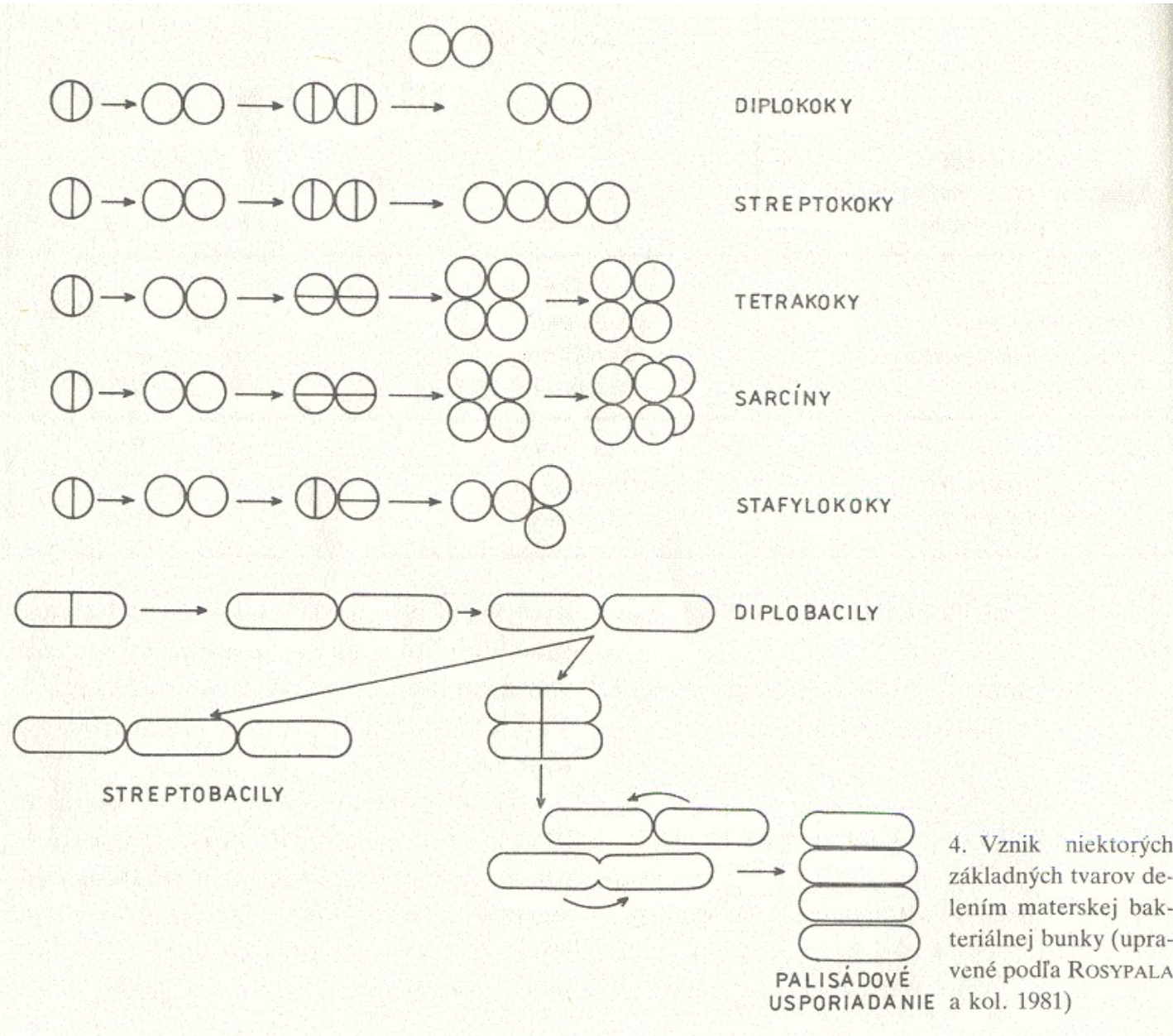
Tento mikroorganismus byl původně, v roce 1926, pojmenován jako *Diplococcus pneumoniae*, vzhledem ke svému charakteristickému vzhledu ve sputu obarveném Gramovým barvením.

V roce 1974 byl přejmenován na *Streptococcus pneumoniae*, na kapalných médiích narůstal do podoby pospojovaných řetízků.

Vzhledem k jeho roli při vzniku pneumonie byl dlouho neformálně známý jako *pneumococcus*.

Streptococcus pneumoniae, nebo *pneumococcus*, byl poprvé izolován Louis Pasteurem v roce 1881 ze slin pacienta se vzteklinou.

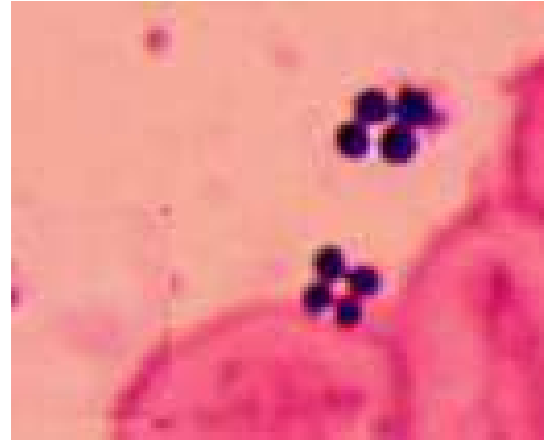




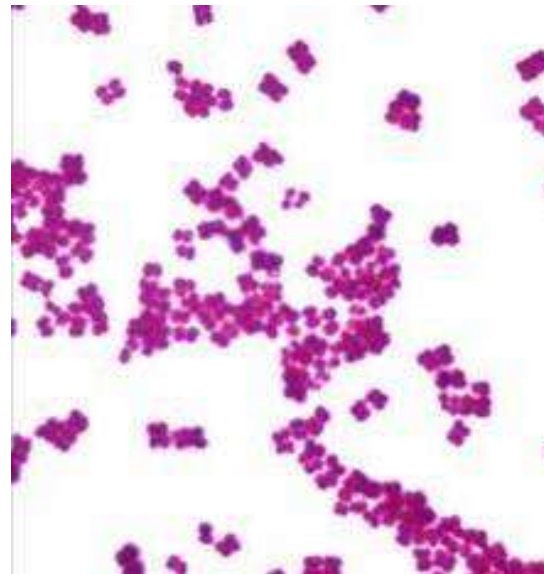
Velikost a tvar bakterií

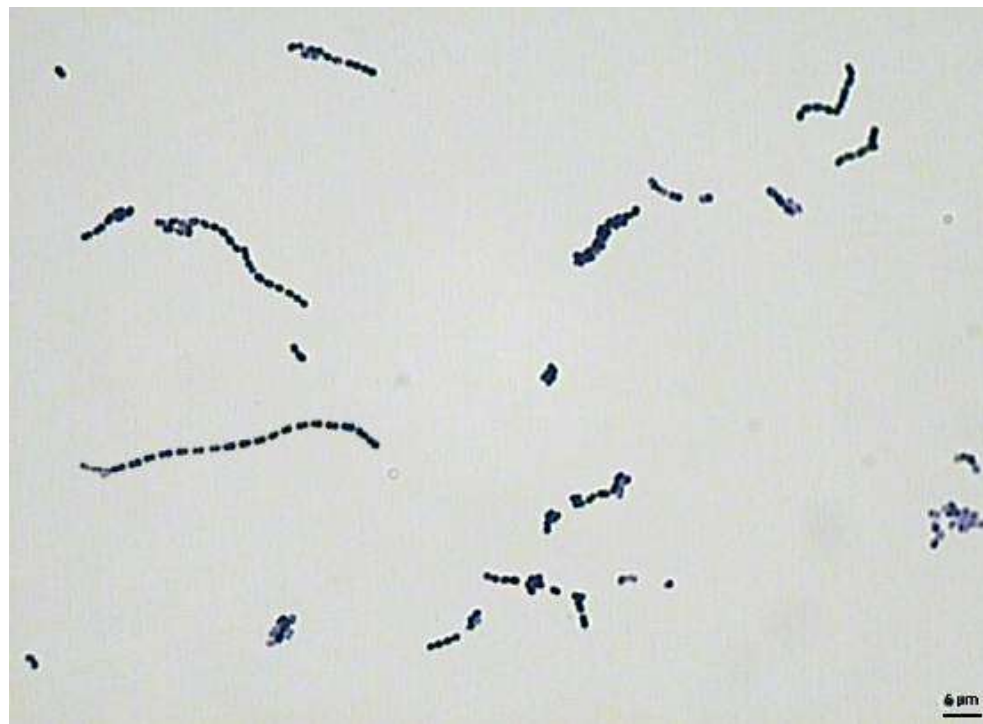
- **Tetrakoky** - buňky tvoří čtveřice, které vznikají dělením ve dvou na sebe kolmých rovinách – *Micrococcus tetragenes*
- **Sarciny** – koky jsou uspořádány do podoby kostek, vznikajících při dělení mateřské buňky ve třech navzájem kolmých rovinách, v kostce zůstává 8, zřídka 16 koků (*Sarcina lutea*)
- **Streptokoky** – koky jsou uspořádány řetízkovitě po dělení v jedné rovině – spojeny jsou jemným tmelovým můstkem (*Streptococcus lactis*)
- **Stafylokoky** – koky jsou uspořádány ve shlucích po nepravidelném dělení (*Staphylococcus aureus*)
- Dalším základním tvarem bakterií je tvar tyčinkovitý. Tento tvar podmiňuje více variací než tvar kulovitý. Základní tvar tvoří jednoduchá tyčinka – *Bacillus* – tento název se

Micrococcus tetragenus



Sarcina lutea





Streptococcus thermophilus

Výskyt a význam: výskyt - intestinální trakt člověka a zvířat, lidské sliny, tepelně ošetřené mléko; použití - fermentované mléčné výrobky (- společně s *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* vytváří jogurtovou kulturu, součást směsných



Prospěšné bakterie

Bifidobacterie jsou prospěšné pro gastro-intestinální trakt. Také se nazývají *probiotické bakterie*.



Streptococcus lactis a další bakterie mléčného kvašení se používají k výrobě sýrů. Podílí se na dozrávání sýrů a poskytují jim charakteristickou chuť



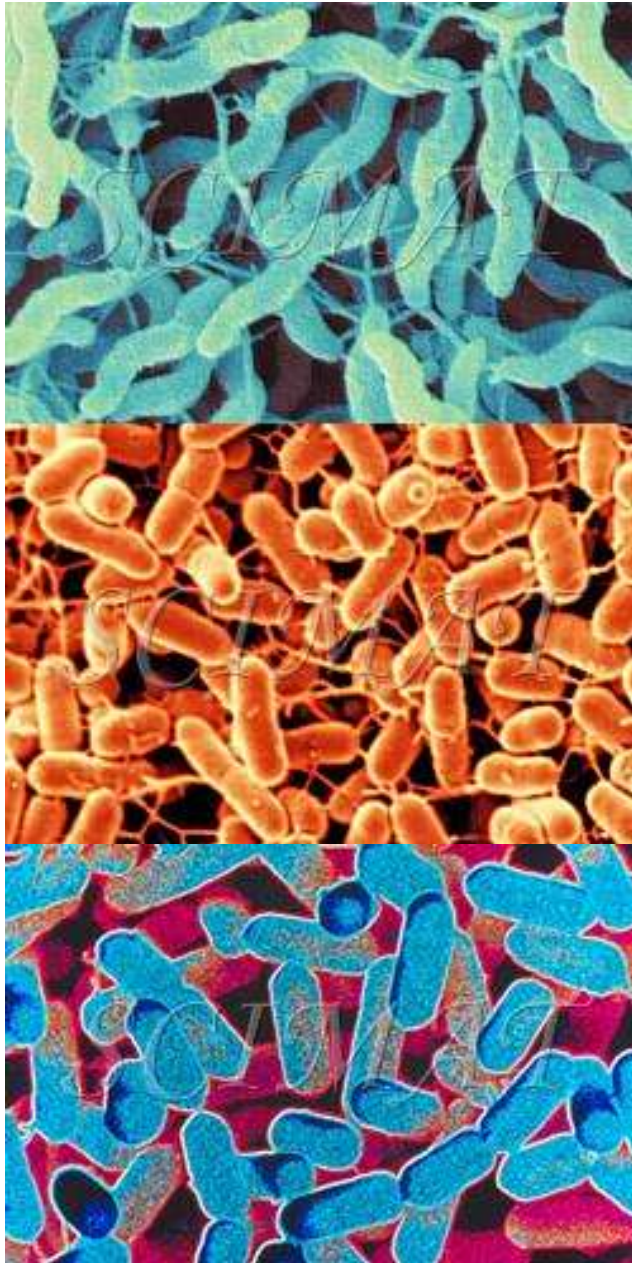
Streptococcus thermophilus je jednou z nejvýznamnějších bakterií podílejících se na tvorbě jogurtů.

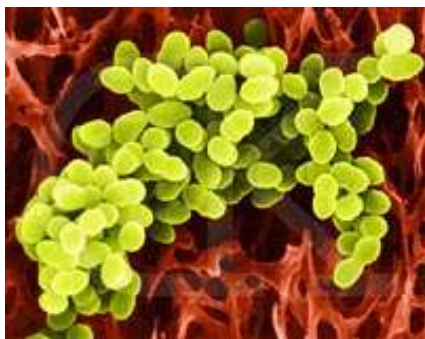
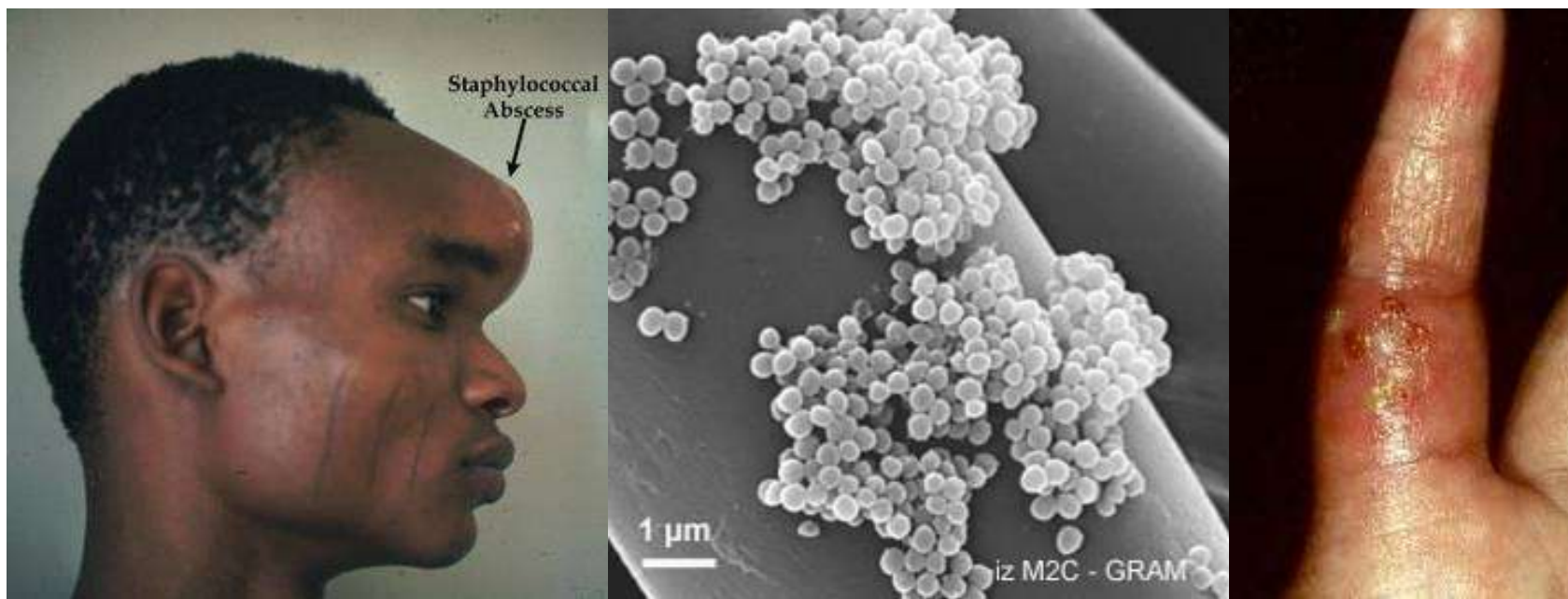
Potravní patogeni

Campylobacter jejuni je jednou z nejvýznamnějších příčin průjmu u člověka.

Salmonella infikující maso je producentem jedovatých látek.

Listeria monocytogenes je psychrotrofní potravní patogen, který je schopen žít dokonce i v chlazených potravinách.





Staphylococcus aureus

Výskyt a význam: nosní přepážka a kůže
teplokrevných živočichů

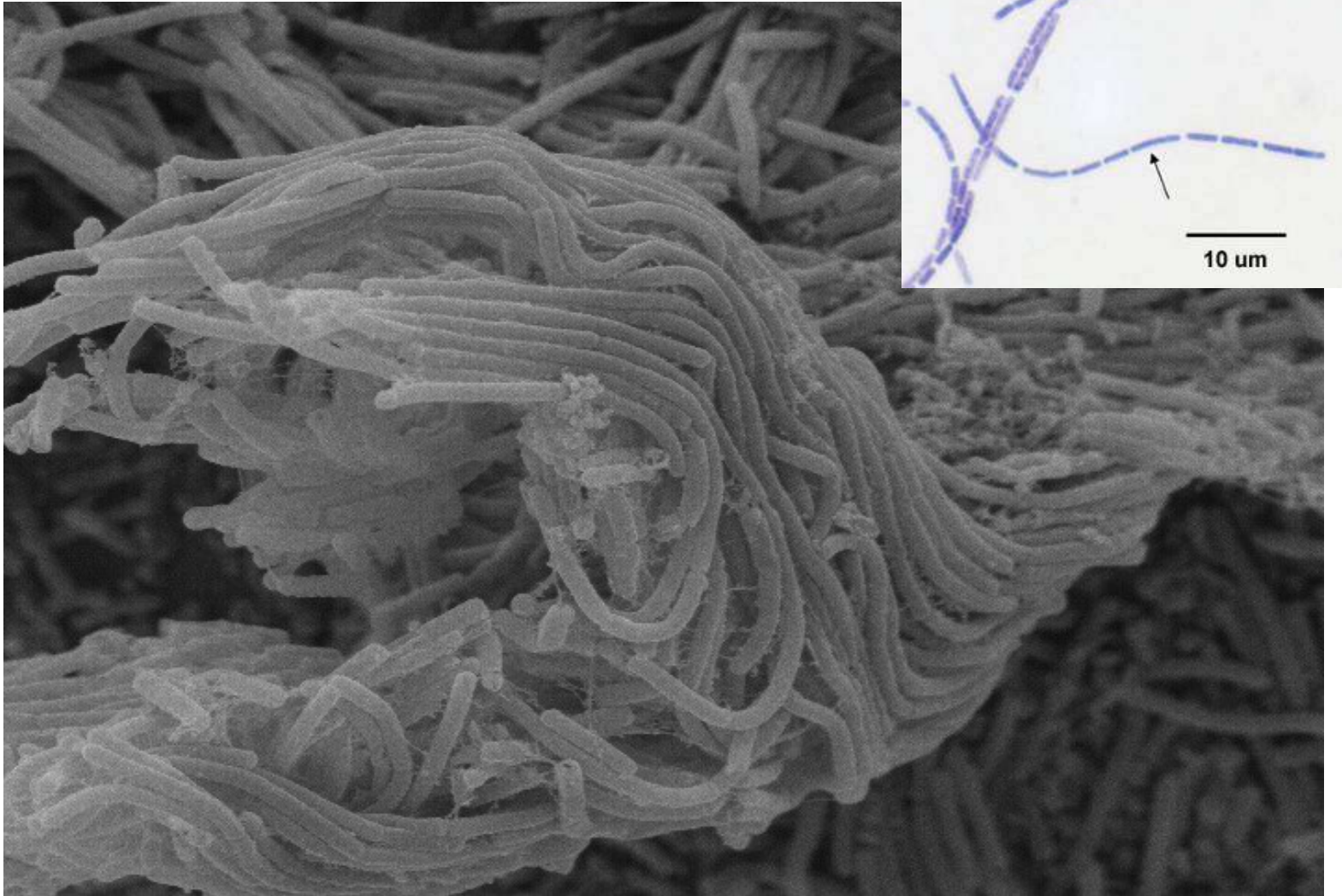
Poznámka: potenciálně patogenní druh ,
vyvolávající široké spektrum onemocnění a
intoxikací (abscesy, meningitidy, furunkulózy,
osteomyelitidy atd.)

Velikost a tvar bakterií

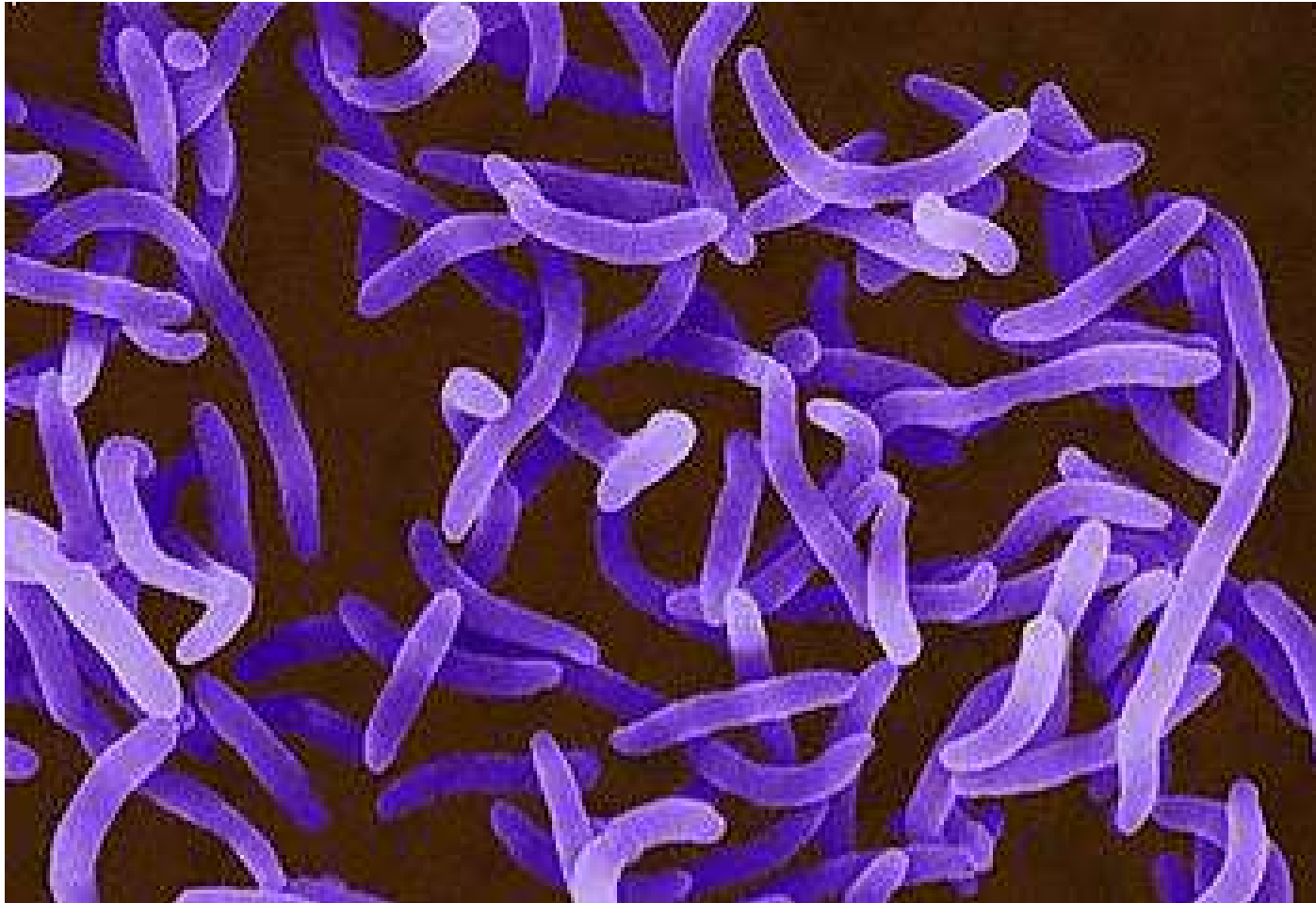
- ***Diplobacillus*** - buňky po dělení vytváří dvojici
- ***Streptobacillus*** – tyčinkovité buňky vytvářejí po dělení řetízky
- Po dělení mohou některé svírat ostrý úhel (korynebakterie), nebo mohou být paralelně palisádovitě uspořádané
- Rohlíčkovitě zahnuté – *Vibrio*
- Slabě zvlněné tyčinky ve tvaru písmene S – **spirily**
- Dlouhé, tenké tyčinky s několika závity – **spirochéty**
- Na jednom konci kyjovitě ztloustlé – **korynebakterie**
- Vznikající endospora může způsobit charakteristické druhotné tloustnutí – na konci tyčinky (**plektridiový** typ), nebo uprostřed tyčinky (**klostridiový** typ)
- **Mykobakterie** mají znaky rozvětvení
- Krátké tyčinky, přibližující se tvarem kokům – **kokobacily**

➔ **Velikost bakterií** – měříme v mikrometrech (1 µm = 10⁻⁶ m)

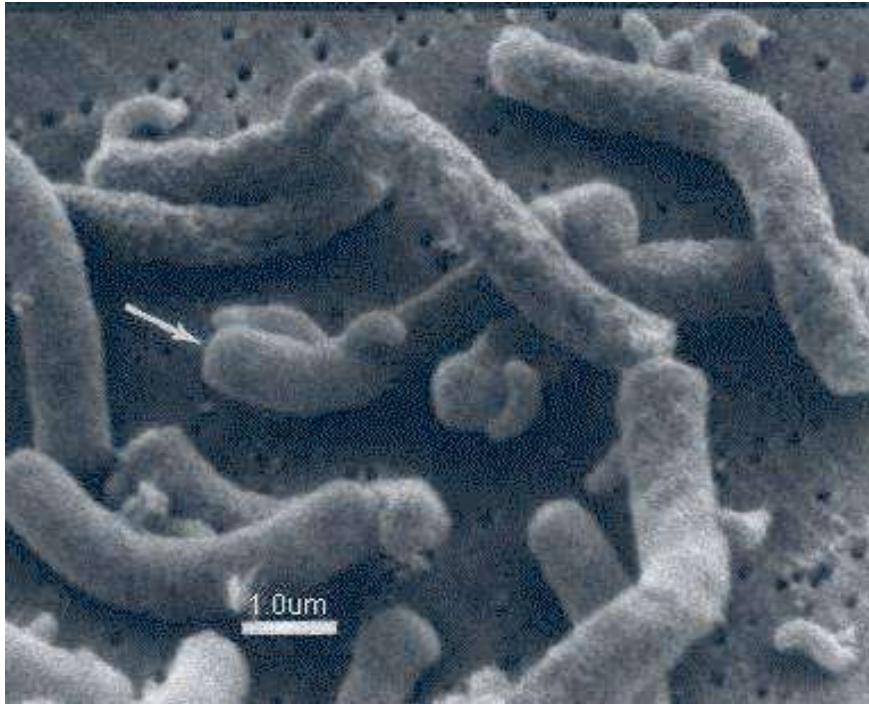
Streptobacillus



Note bacilli in chains.



Vibrio cholerae - Gram-negativní, fakultativně anaerobní, prohnutá, tyčinkovitá bakterie; zapříčiňuje Asijskou choleru.



Bdellovibrio bacteriovorus
atakující *Spirillum serpens*
(šipka).

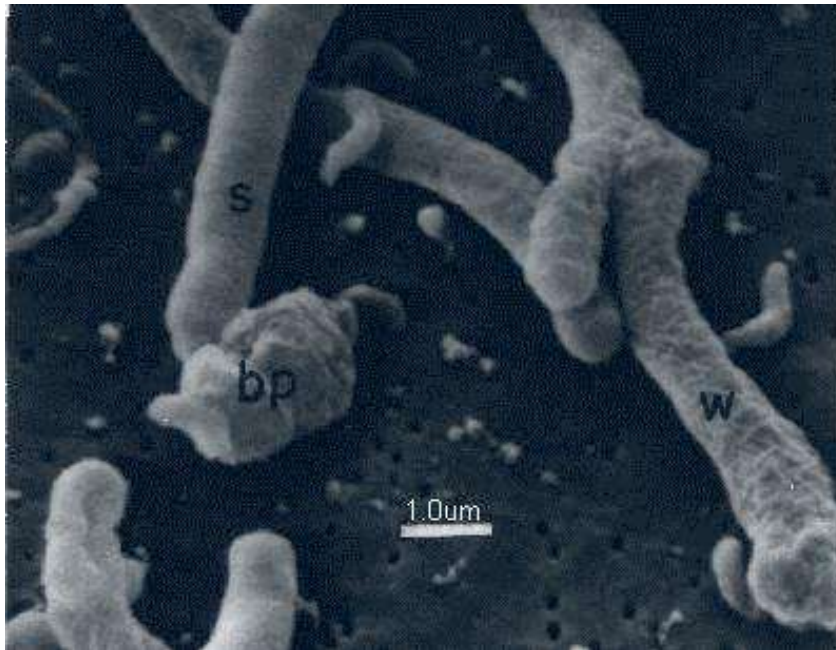
Bdellovibrio - nejmenší žijící
lovec na světě *Bdellovibrio*,
jehož jméno pochází z
latinského *bdella* znamenající
rozpouštění a *vibrio*, název pro
zahnuté bakterie, je malé (0.2-
0.5 μm x 0.5-1.4 μm)

Bdellovibrio má dvojfázový životní cyklus – nerostoucí pohyblivou
predační fázi a nepohyblivou vnitrobuněčnou reprodukční fázi. Ve své
predační fázi jsou buňky velmi pohyblivé chemotaxí. Chemotaxe je
ovlivňována signálními látkami, vylučovanými buňkami kořisti.

Bdellovibrio se pohybuje prostřednictvím jednoduchého bičíku a je schopná
se pohybovat stěží uvěřitelnou rychlostí 100 buněčných délek za sekundu.
Toto dovoluje překonat vzdálenost 1m buňkou o délce 1 μm oním
popsaným pohybem za 2 hod!

Ekologie a Evoluce

Bylo zjištěno, že *Bdellovibria* vyžadují $\sim 1.5 \times 10^5$ - 10^6 buněk kořisti /1ml k vlastnímu přežití. I když se nacházejí v mnoha různých prostředích, je zřejmé, že v nich nemohou být rovnoměrně rozloženy. Např. odpadní vody mají odpovídající četnost buněk kořisti dostatečně vysokou pro zachování populace *Bdellovibria*". Nedávno se také zjistilo, že *Bdellovibrio* rychle kolonizuje prostředí a houževnatě se drží na površích ve vodním prostředí, a může hrát důležitou roli v dynamice populací biofilmů.



Někteří výzkumníci snažily využít populace mikrobů *Bdellovibria* v interakcích s potravními patogeny. Experimenty prokázaly, že dávka 5:1 (*Bdellovibria* ku kořisti) sníží populaci *E. coli* o 90% za hodinu. Jeho účinnost pro zabíjení enterobakterií na různých površích je stále předmětem zkoumání.

Bdellovibrio bacteriovorus
(bdelloplast je označen jako "bp")



Životní cyklus *Bdellovibrio bacteriovorus*

Phase 1: Bdellovibrio schwimmt mit hoher Geschwindigkeit herum. Es findet keine gezielte Suche nach einem Opfer statt, sondern es muss zufällig zu einer Kollision kommen.

Phase 2: Zufällige Kollision mit einem anderen Bakterium.

Phase 3: Durch Enzyme wird ein Loch in die Zellwand des Opfers geätzt, Bdellovirio dringt in den periplasmatischen Bereich der Beute ein. Die Geißel wird abgeworfen.

Phase 4: Jetzt befindet sich Bdellovibrio im periplasmatischen Raum und beginnt mit der Synthese von DNA und anderen Polymeren für den eigenen Bedarf.

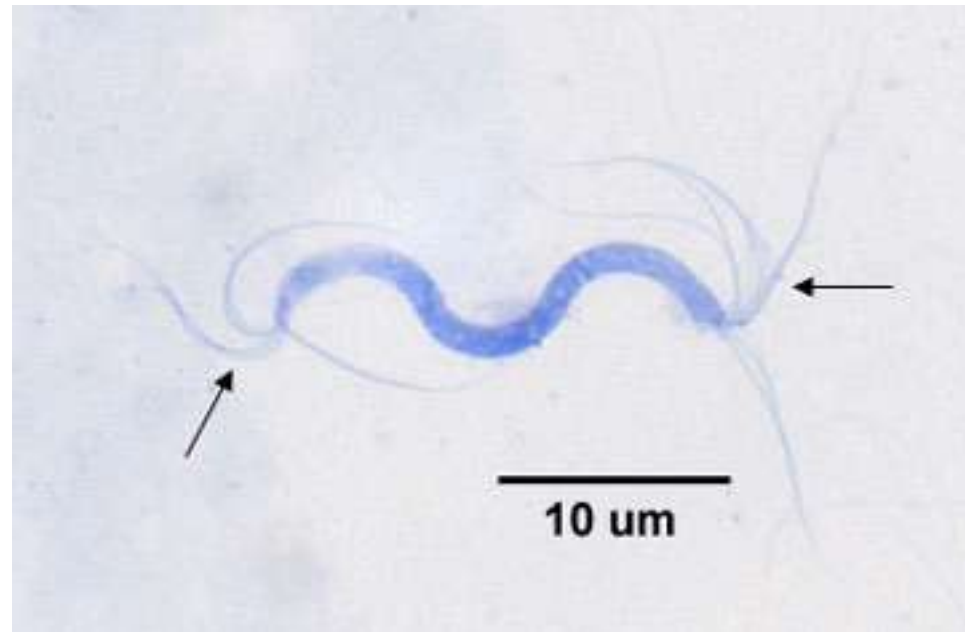
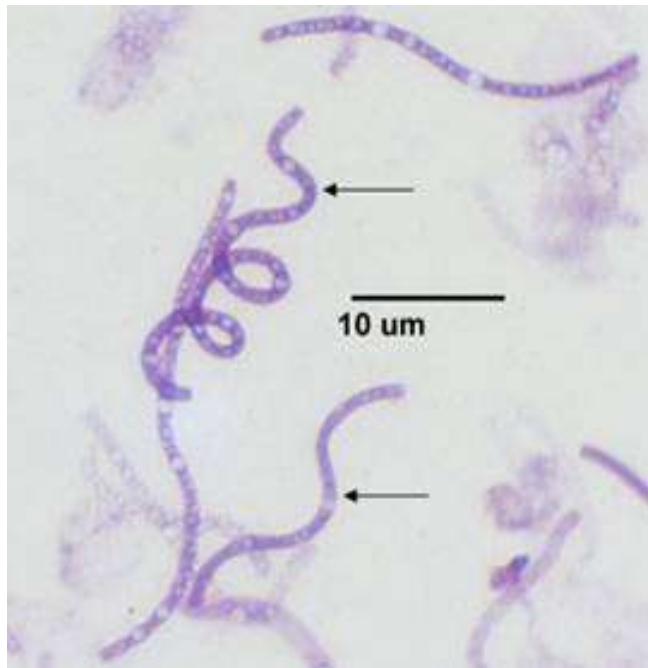
Phase 5: Bildung des Bdelloblasten.

Phase 6: Bdellovibrio ist zu einem langen Faden harangewachsen und teilt sich quer in mehrere Nachkommen auf.

Phase 7: Bildung der neuen Geißel.

Phase 8: Auflösung der Zellwand der Beute und dadurch Freisetzung der Nachkommen.

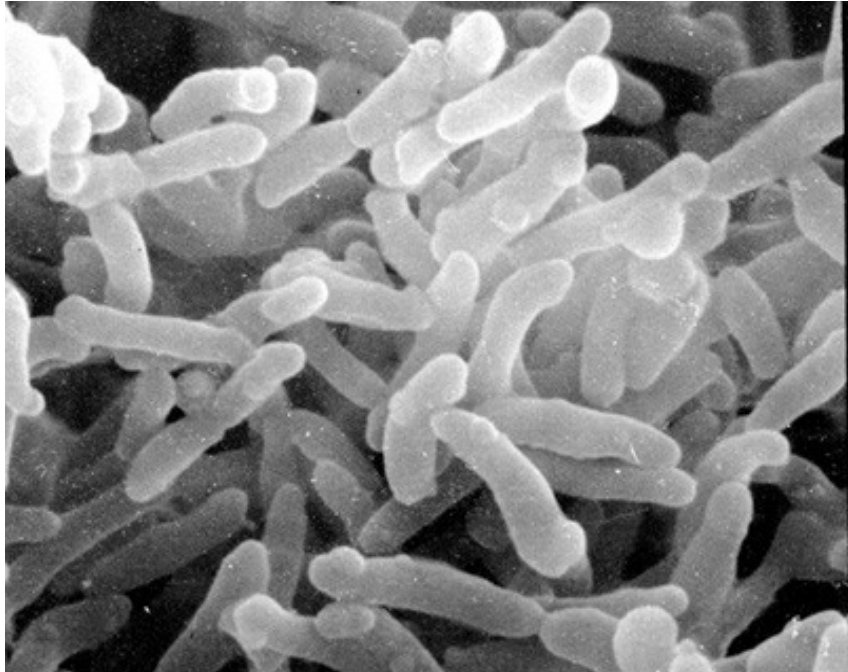
Spirillum - lofotrichální skupina
bakterií a to díky polárnímu
uspořádání bičíků



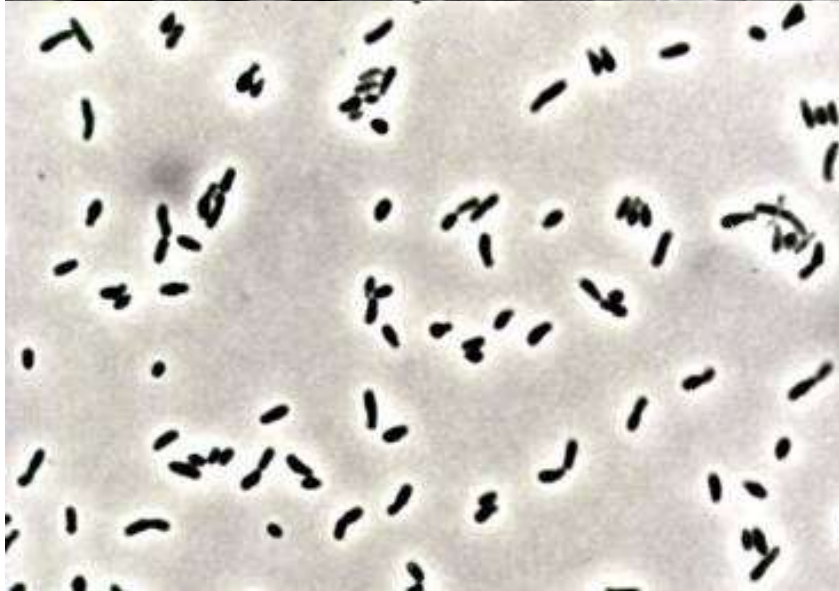
Mezi nejznámější spirochety patří původce syfilidy, *Treponema pallidum*. Nicméně většina zástupců této skupiny jsou naprosto neškodní, jako např. symbionti u prvoků

Volně žijící spirochety ze střev termitů. Jsou to velmi štíhlé, dlouhé buňky, vývrtkovité. Vlnivý pohyb jim umožňují bičíky.





Korynebakterie jsou malé, většinou nepohyblivé, Gram-pozitivní, nesporulující pleomorfní (mnohotvaré) bacily. Vzhledem k jejich typu dělení se buňky nachází často ve skupinách připomínajících čínská písmena.



Všimněte si formací "čínských písmen" utvářených dceřinými skupinami těchto bakterií *Corynebacterium glutamicum* po jejich dělení.



Pseudomembrána na zadní straně krku dítěte.

Pseudomembrána může růst a rozšířit se dál po sliznicích krku a hrozit udušením dítěte.

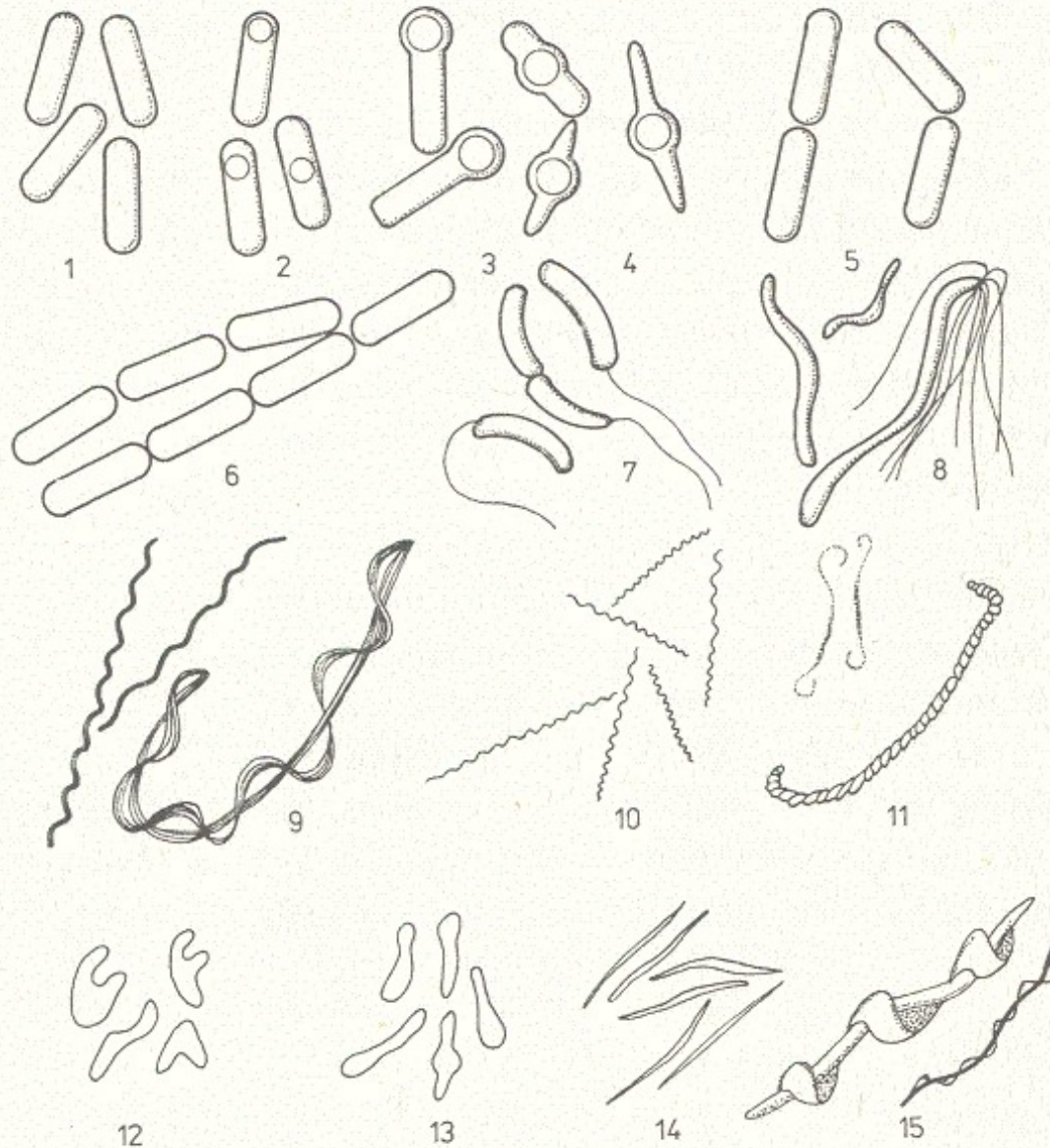
Záškrt (též difterie, či mázdrivka) je bakteriální infekční onemocnění člověka, vyvolané bakterií *Corynebacterium diphtheriae*, která svým toxinem způsobuje těžkou angínu.

Záškrt vyvolává mikrob *Corynebacterium diphtheriae*, zdrojem nákazy je nemocný člověk, rekonvalescent nebo bacilonosič toxického kmene. Nemoc se přenáší přímo vzdušnou cestou, méně nepřímo kontaminovanými předměty. Vstupní branou jsou nejčastěji mandle, vzácně sliznice nosní, sliznice hrtanu, spojivky, kůže. Inkubační doba trvá 2–5 dnů a podle místa, kde se zánětlivý proces rozvíjí, může vzniknout záškrt mandlí (diphtheria tonsillarum), nosní (diphtheria nasi), hrtanu (diphtheria laryngis).

Nemoc začíná jako každá angína zvýšením teploty, bolestmi v krku, nechutenstvím, malátností. Mandle jsou zduřelé, zarudlé a tvoří se na nich žlutobílé pablány. Současně zduřují i podčelistní mízní uzliny jako u jiných angín. Záškrt mandlí je možno dobře léčebně zvládnout, zanedbá-li se však a neléčí-li se, změní se v těžký zhoubný záškrt (diphtheria maligna). Povlaky se rozšíří po celých mandlích a začnou přerůstat do okolí na sliznici měkkého patra, oblouků patrovných, čípku. Jakmile povlaky přerostou z mandlí do okolí, zhorší se stav nemocného. Teplota se zvýší na 39–40 °C, nemocný je těžce schvácený, dýchá otevřenými ústy, podčelistní uzliny se zvětšují do velikosti ořechu a vzniká kolem nich otok podožního vaziva. Krk zduřuje a má stejný obvod jako hlava. Otok krku označujeme jako caesarský krk (collum caesari).

5. Ďalšie tvary a usporiadanie bakteriálnych buniek

- 1 — nesporulujúce paličky (*Bacterium*), 2 — sporulujúce paličky (*Bacillus*), 3 — sporulujúce paličky (*Plectridium*), 4 — sporulujúce paličky (*Clostridium*), 5 — diplobaktérie, 6 — streptobaktérie, 7 — vibriá, 8 — spirily, 9 — spirochéty, 10 — treponémy, 11 — leptospíry, 12 — mykobaktérie, 13 — korynebaktérie, 14 — fuziformné baktérie, 15 — kristispíry



Kontrolní otázky

1. Trojdoménový strom života
2. Rozdíly mezi klasickým a molekulárně biologickým pohledem na třídění organismů
3. Mikroorganismy a vývoj planety
4. Obecná charakteristiky prokaryot
5. Doména *Archaea*
6. Život v okolí hydrotermálních vývěrů
7. *Thermus aquaticus*
8. Doména *Bacteria*
9. Velikost a tvar bakterií
10. *Staphylococcus aureus*
11. *Bdellovibrio bacteriovorus*
12. *Corynebacterium diphtheriae*