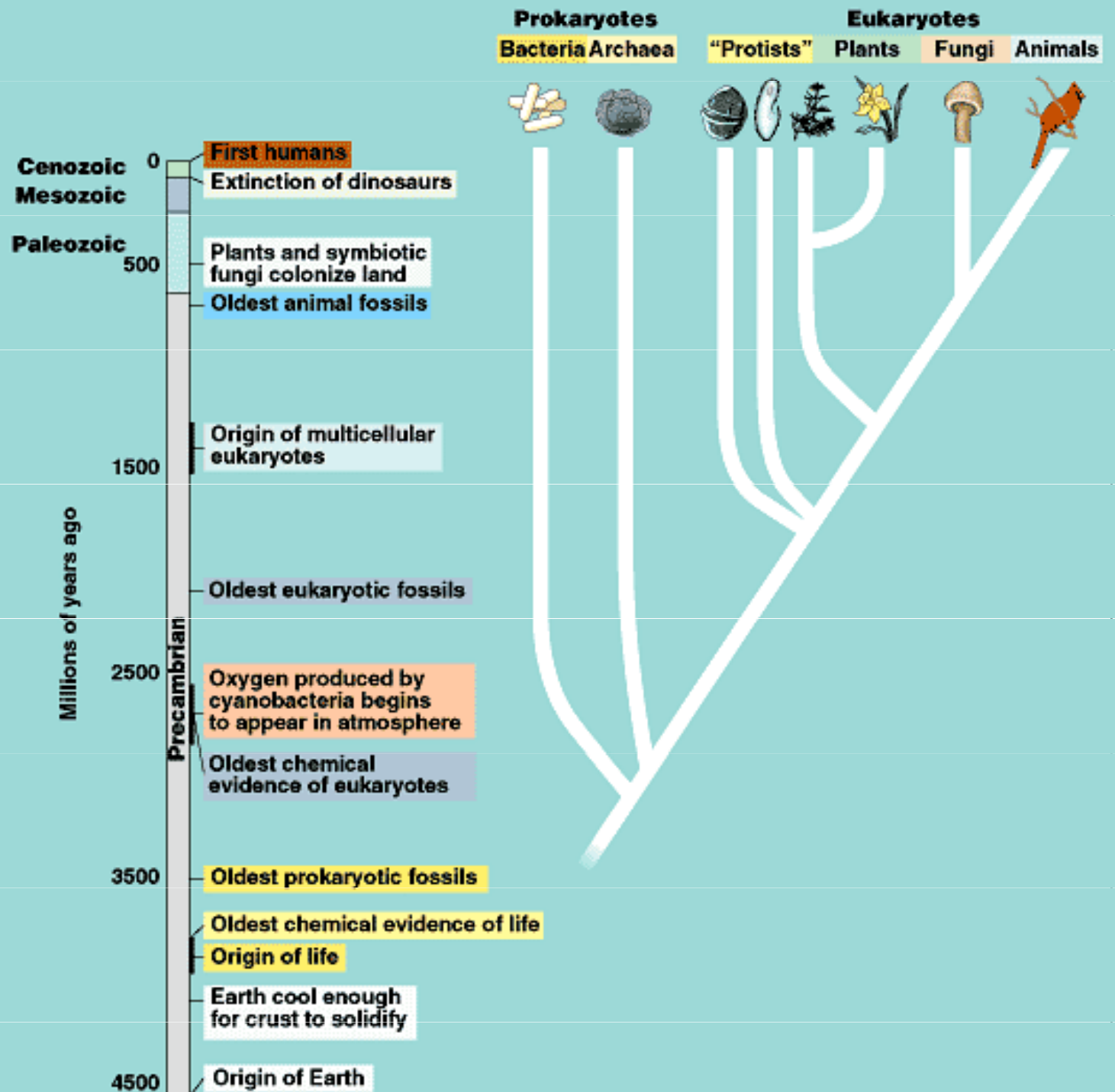


# Baktérie

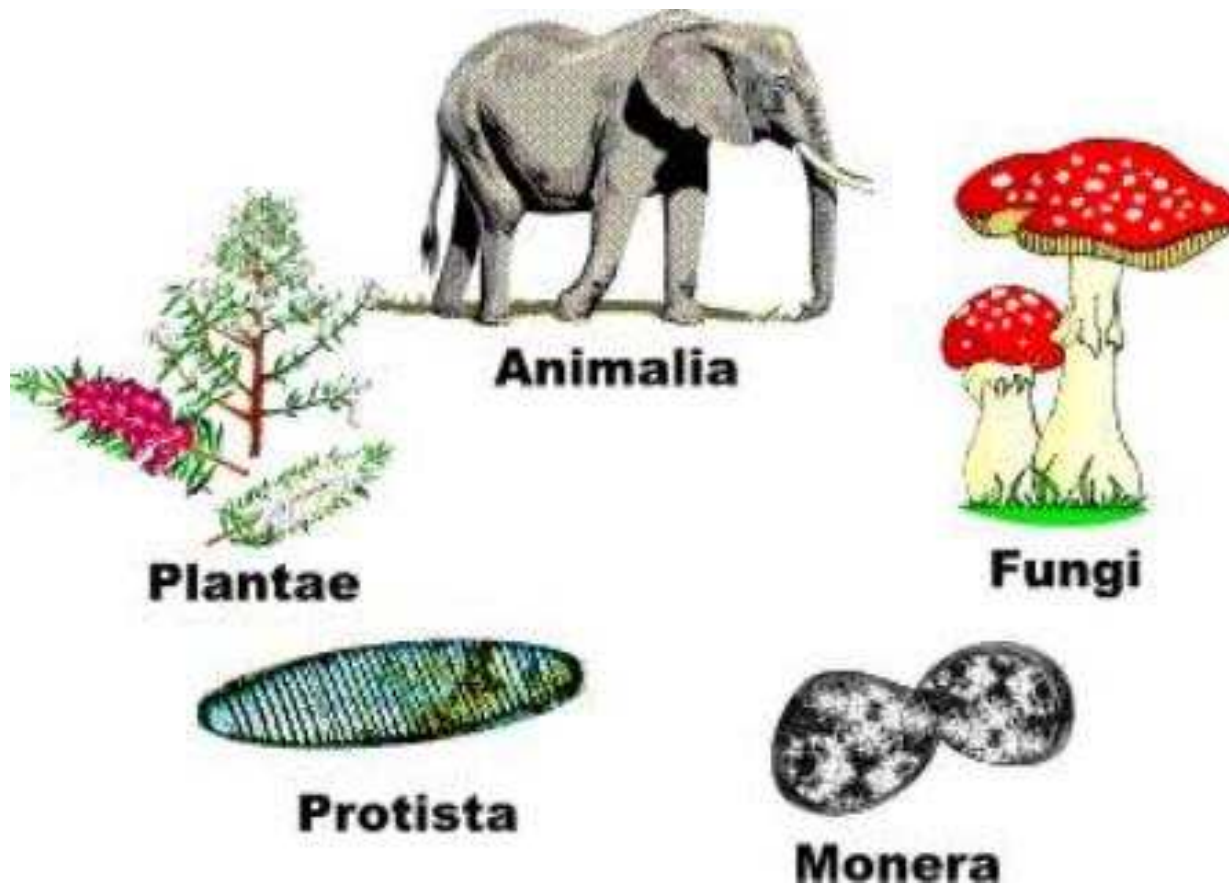
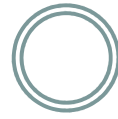


HEN

# Vývoj života na Zemi



# Tradičně dělíme organismy do pěti říší



# Tradičně dělíme organismy do pěti říší



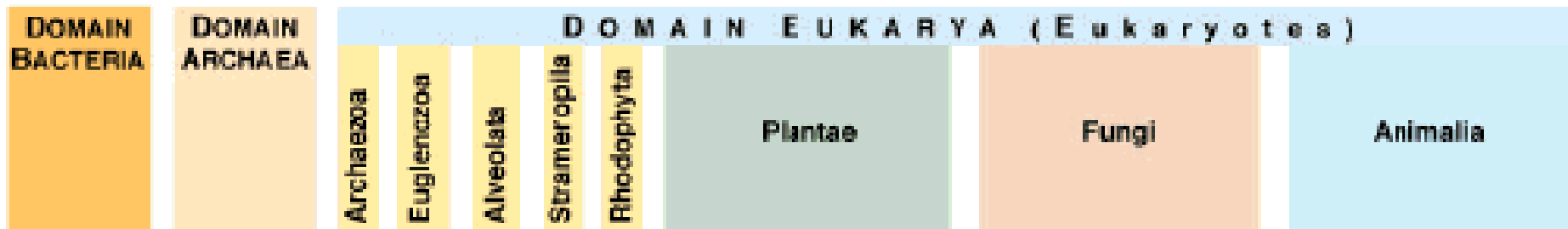
(a) A five-kingdom system



(b) An eight-kingdom system



(c) A three-domain system



# Tradičně dělíme organismy do pěti říší



## *System šesti říší*

Prokaryota jsou rozdělena

Na dvě říše na základě

Důkazů z molekulární

Biologie o brzkém rozdělení

Prokaryot na eubacteria a

archaea

## *System osmi říší*

Krom rozdělení prokaryot na dvě říše je možno

rozdělit i protista do tří říší

(a) A five-kingdom system



(b) An eight-kingdom system



(c) A three-domain system



© 2008 Addison-Wesley Longman, Inc.

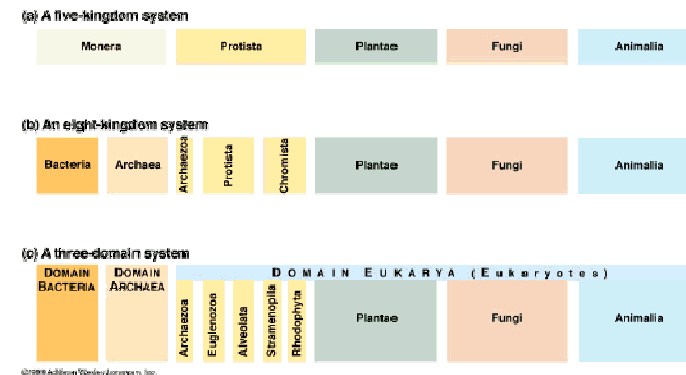
# Tradičně dělíme organismy do pěti říší



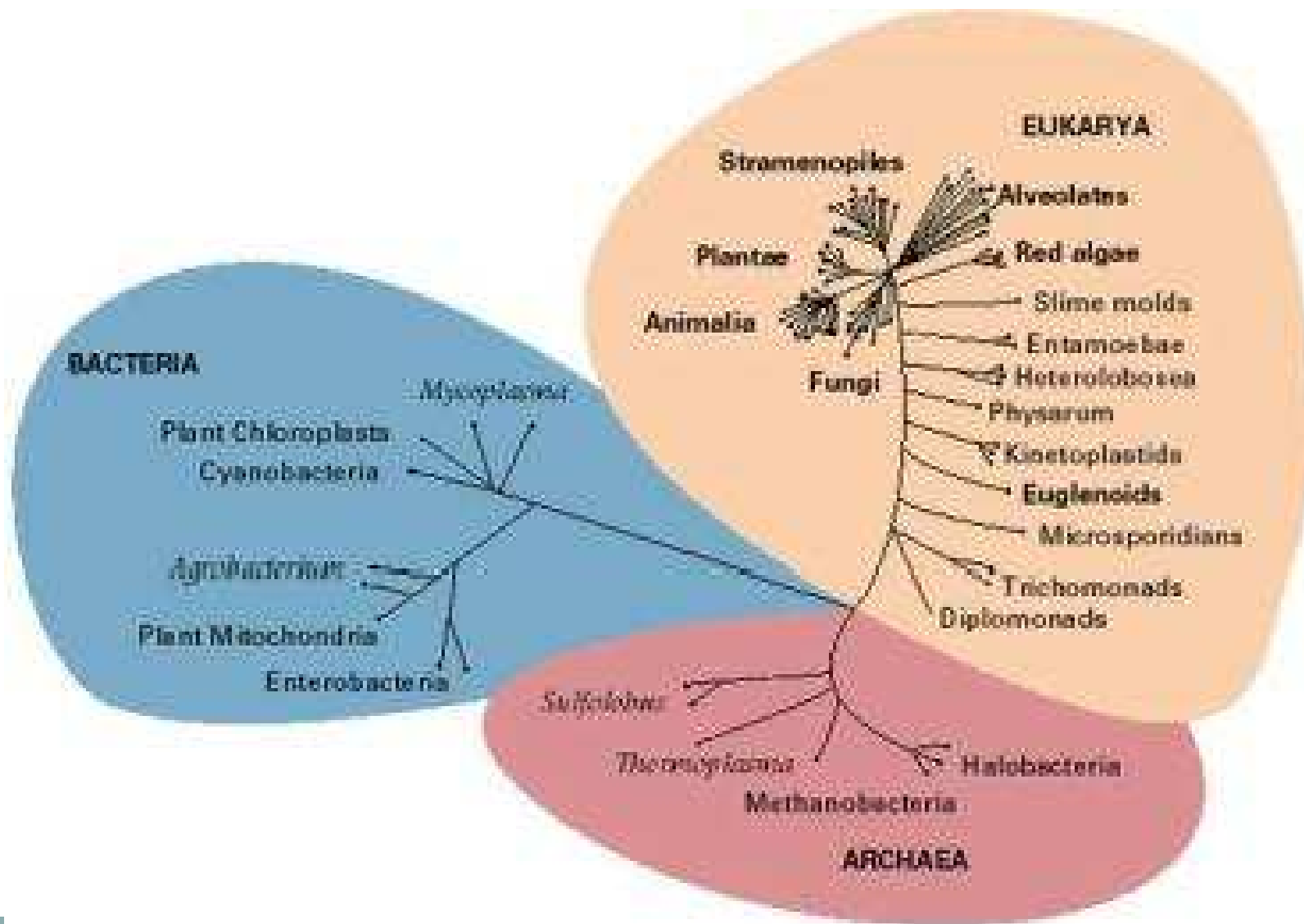
## *System tří domén*

Toto rozdělení si všímá starobylého evolučního rozdělení mezi eubakteria a archea.

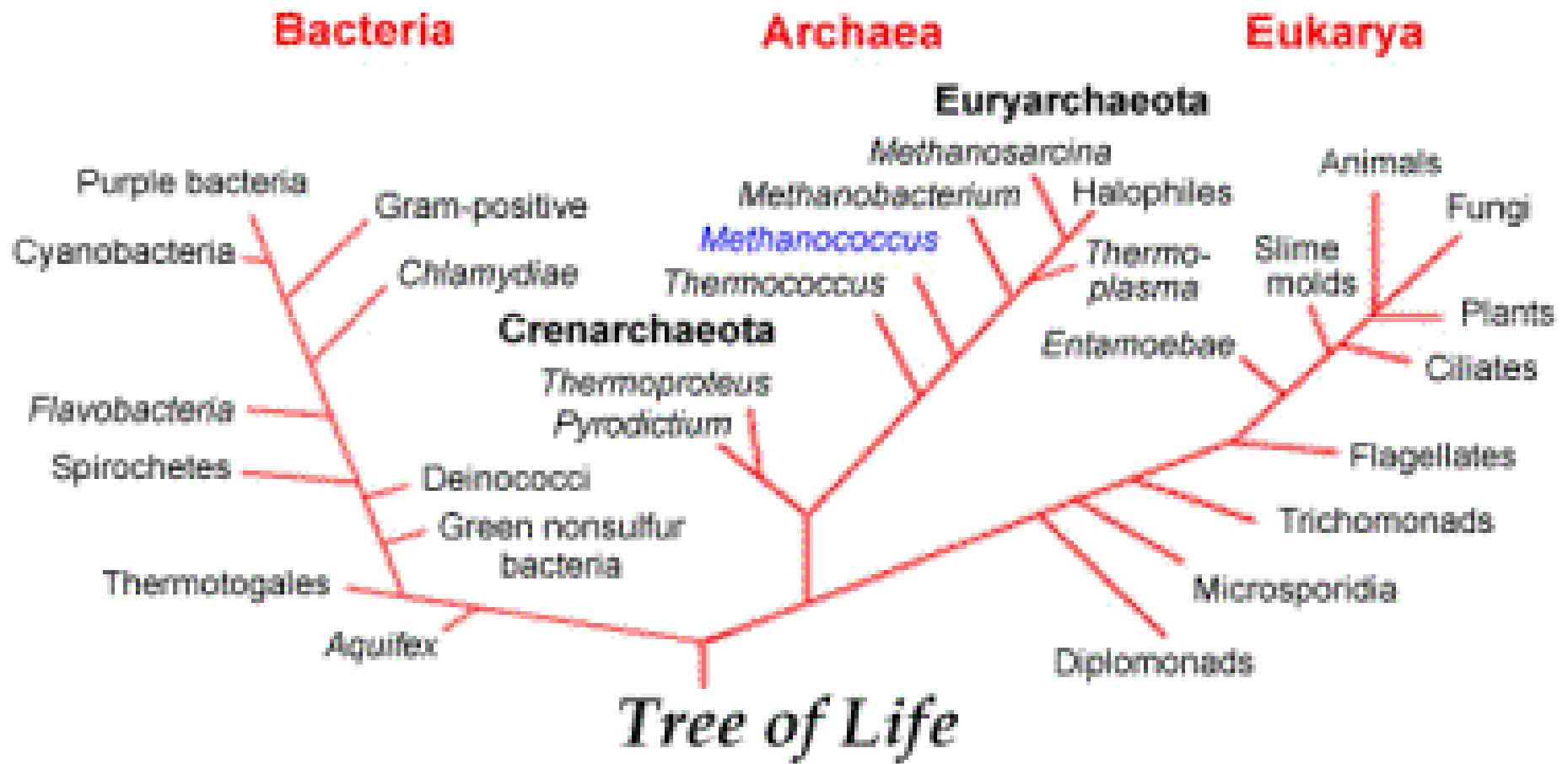
Používá se taxon „nadříše“ zvaný doména. Doména eukarya zahrnuje 4 říše eukaryot



# Rozdělení na tři domény

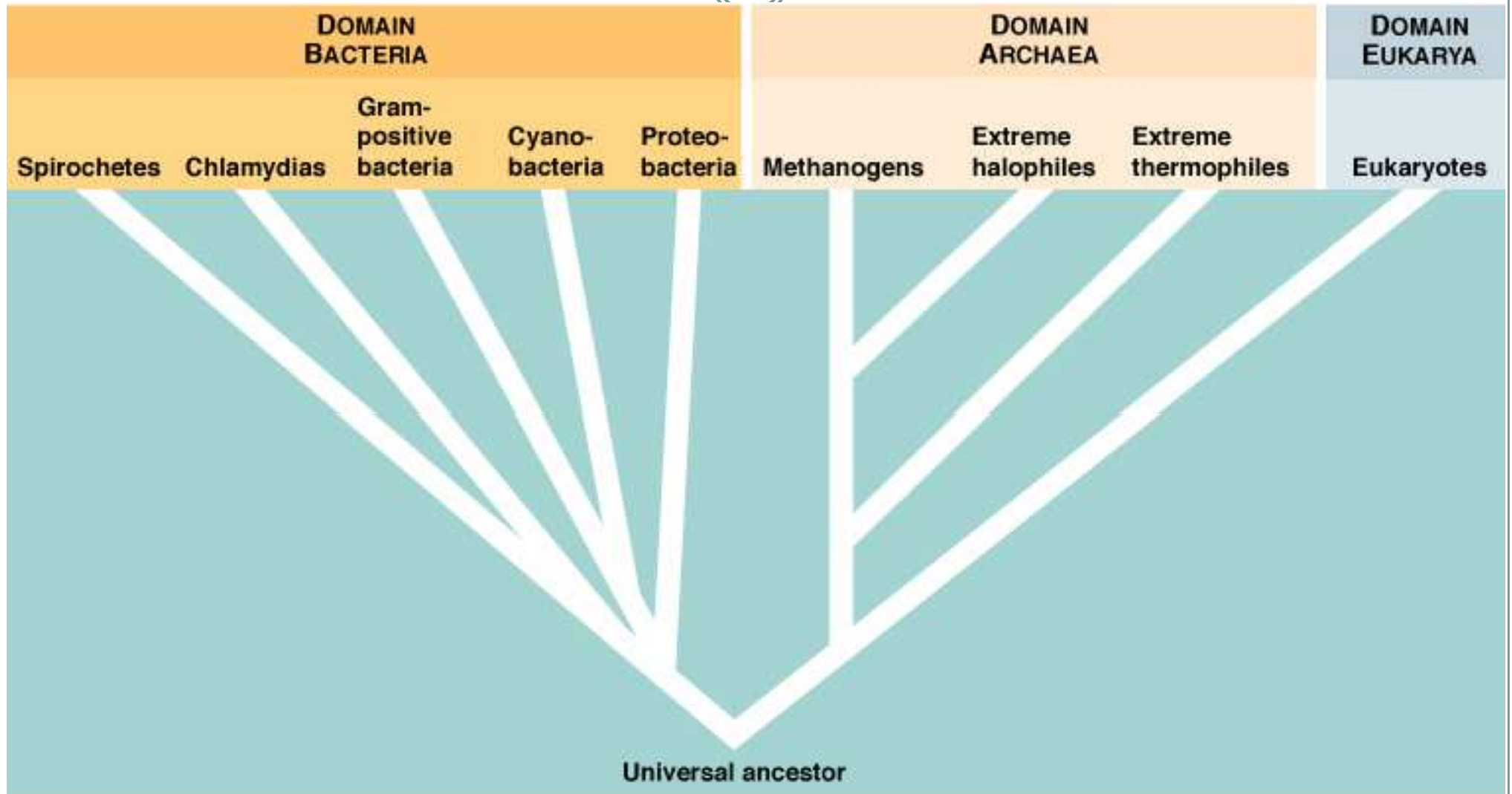


# Rozdělení na tři domény





# Rozdělení na tři domény



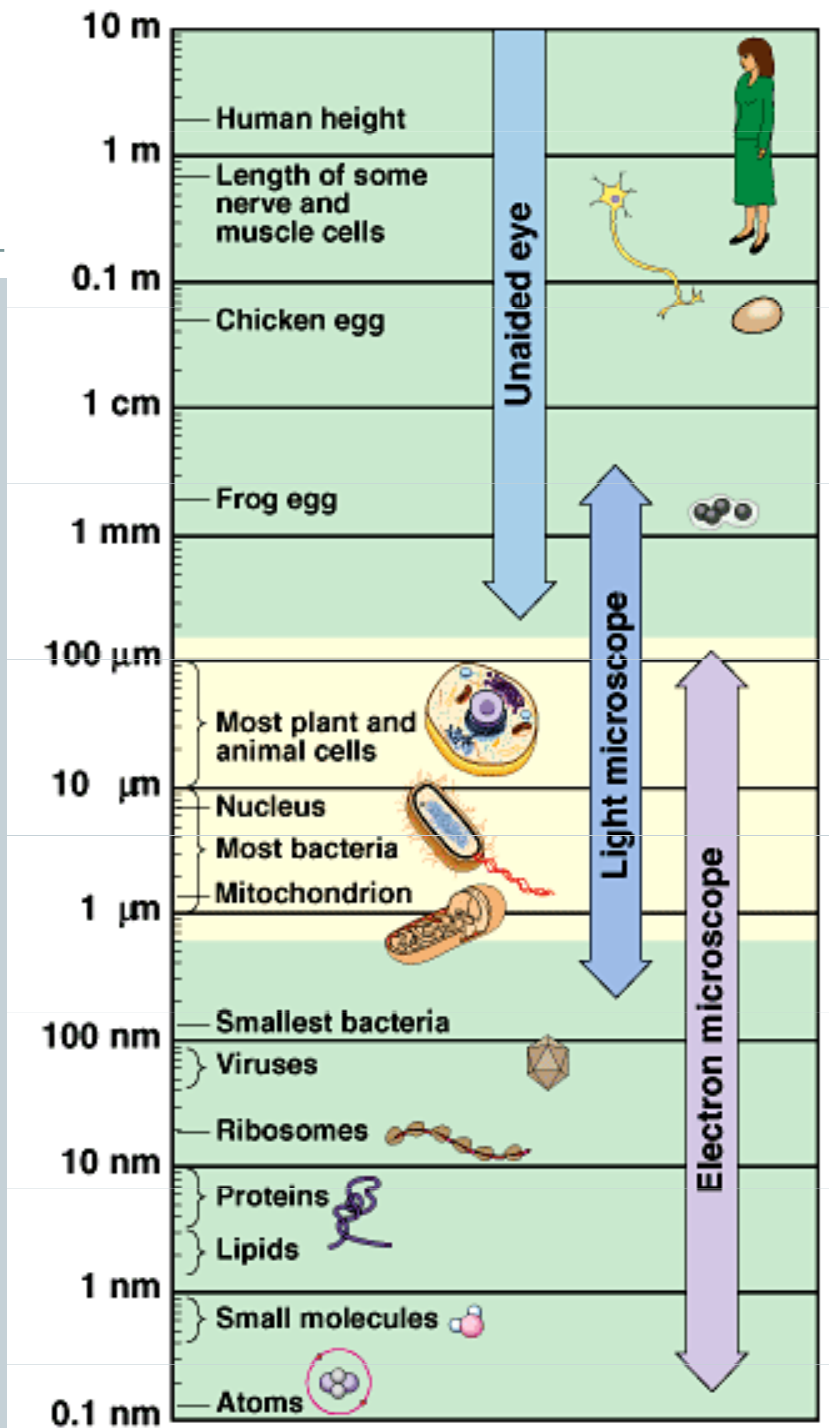
Většina buněk  
má velikost  
 $1\mu\text{m}$ -  $100\mu\text{m}$

$1\text{m} = 1000\text{ mm}$

$1\text{mm} = 1000\mu\text{m}$

$1\mu\text{m} = 1000\text{ nm}$

$1\text{nm} = 10^{-3}\mu\text{m} = 10^{-9}\text{ m}$



# Historie

## Tabulka 1-1 Významná data v mikroskopii buněk

- 1655 **Hooke** použil jednoduchý mikroskop k popisu pórů v řezu korku. Tyto póry nazval "buňky".
- 1674 **Leeuwenhoek** ohlásil svůj objev prvoků. Bakterie poprvé uviděl o devět let později.
- 1833 **Brown** zveřejnil svá mikroskopická pozorování orchidejí a jasně popsal buněčné jádro.
- 1838 **Schleiden** a **Schwann** navrhli buněčnou teorii s tím, že buňka s jádrem je univerzálním stavebním kamenem rostlinných a živočišných tkání.
- 1857 **Kölliker** popsal mitochondrie ve svalových buňkách.
- 1879 **Flemming** velmi jasně popsal chování chromosomů v živočišných buňkách během mitózy.
- 1881 **Cajal** a další histologové vyvinuli barvicí techniky, které odkryly strukturu nervových buněk a organizaci nervové tkáně.
- 1898 **Golgi** při barvení buněk dusičnanem stříbrným jako první uviděl a popsal Golgiho aparát.
- 1902 **Boveri** pozoroval chování chromosomů během pohlavního rozmnožování a určil jejich vztah k dědičnosti.
- 1952 **Palade, Porter** a **Sjöstrand** vyvinuli techniky elektronové mikroskopie, které umožnily poprvé spatřit řadu struktur uvnitř buňky. Při jednom z prvních použití těchto technik **Huxley** ukázal, že svaly obsahují svazky proteinových vláken – první důkaz existence cytoskeletu.
- 1957 **Robertson** popsal dvojnou vrstvu buněčné membrány spatřené poprvé v elektronovém mikroskopu.

# Prokaryotická x eukaryotická

## buňka - Rozdíly

### Prokaryota

(pro=před; karyon=jádro)

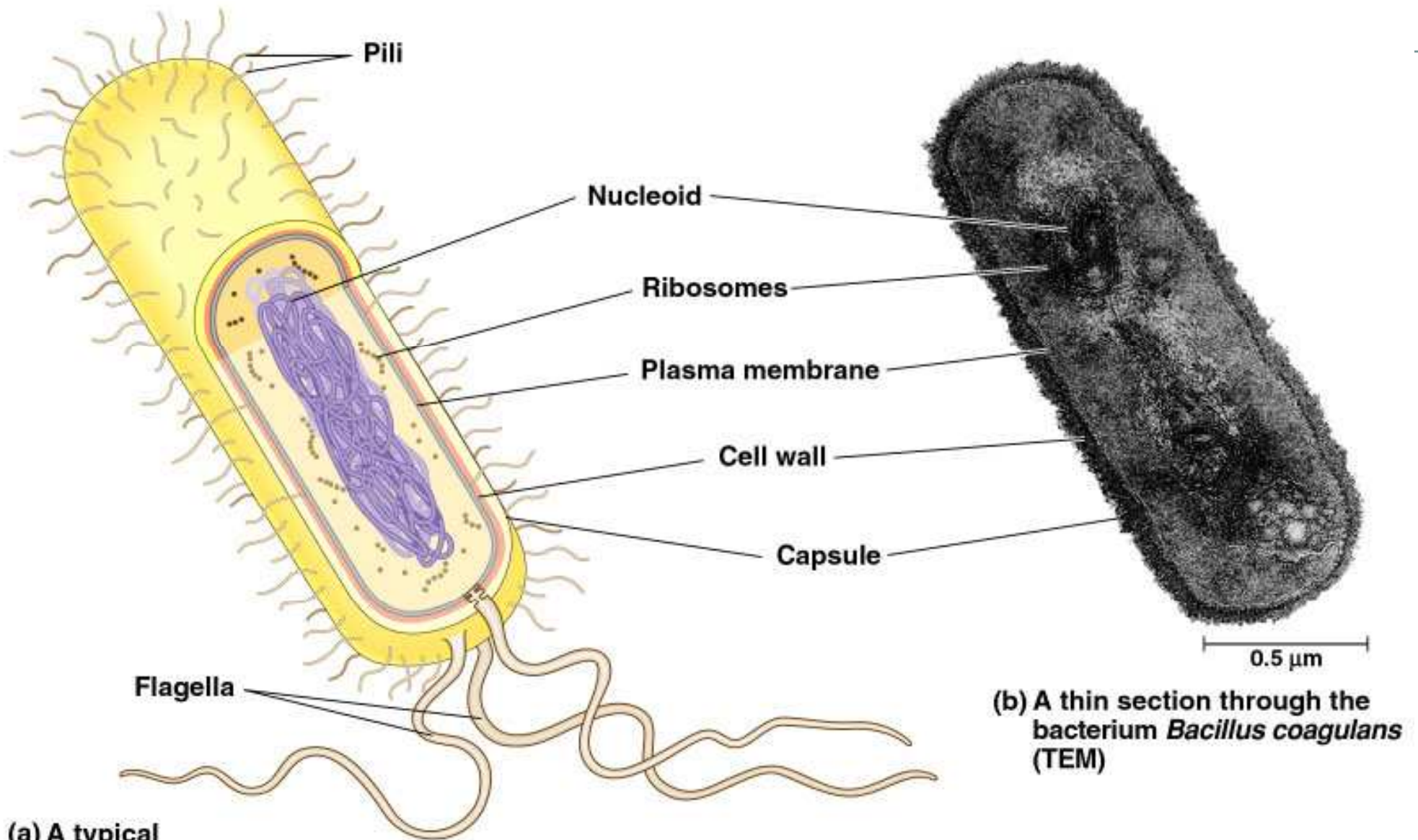
- DNA je v oblasti zvané nukleoid a není ohraničena membránou vůči buněčnému obsahu
- organely ohraničené membránami chybí
- buňka v obvykle v rozmezí  $1\mu\text{m}$  -  $10\mu\text{m}$

### Eukaryota

(eu=pravý; karyon=jádro)

- Chromosomy jsou v jádře, které je ohraničeno dvěma membránami
- v cytoplazmě jsou organely, ohraničené membránami
- buňka je obvykle mnohem větší ( $10\mu\text{m}$  -  $100\mu\text{m}$ ) než u prokaryot

# Prokaryontní buňka



(a) A typical rod-shaped bacterium

(b) A thin section through the bacterium *Bacillus coagulans* (TEM)

# Prokaryota x Eukaryota

## základní rozdíly



### ● PROKARYOTA

- vždy jednobuněční
- buňka velikosti  $1\mu\text{m} - 10\mu\text{m}$
- jádro neexistuje, jediná kruhová DNA chráněná proteiny tvoří tzv. nukleoid volně ložený v cytoplasmě

### ● EUKARYOTA

- jednobuněční i mnohobuněční
- buňka velikosti  $10\mu\text{m} - 100\mu\text{m}$
- jádro obaleno membránami obsahující různý počet chromosomů. Každý chromosom tvoří samostatnou molekulu DNA

# Velikost prokaryot



- malá velikost je způsobena nepřítomností kompartmentalizace
- bakterie se musí spolehnout pouze na difúzi
  - buňka tedy nebývá větší než  $1\ \mu\text{m}$

# Prokaryota x Eukaryota

## základní rozdíly

### ● PROKARYOTA

- buněčné dělení: binární štěpení. Sex neexistuje. Přesto si bakterie jsou schopny nepravidelně předávat části DNA

### ● EUKARYOTA

- buněčné dělení: mitóza, při které vzniká dělicí vřeténko z mikrotubulů



# Prokaryota x Eukaryota

## základní rozdíly



### ● PROKARYOTA

- kompartmentalizace: z organel existují jen ribosómy, jinak organely zcela chybí. Chybí cytoskelet

### ● EUKARYOTA

- kompartmentalizace: přítomny endosymbiotické organely (mitochondrie, plastidy), ER, Golgiho aparát, vnitřní rozčlenění buňky na různé prostory, přítomen cytoskelet

# Prokaryota x Eukaryota

## základní rozdíly



- **PROKARYOTA**

- bičíky: tvořeny jedním vláknem proteinu flagellinu. Pracují na principu lodního šroubu

- **EUKARYOTA**

- bičíky: komplexní stavby podle schématu „9+2“, jsou z mikrotubulů (protein tubulin). Pracují na principu biče.

# Prokaryota x Eukaryota

## základní rozdíly



- **PROKARYOTA**

- metabolismus: pokud fotosyntetizují, pak existují různé typy fotosyntézy, je uvolňován kyslík nebo síra nebo sulfát. Prokaryota mohou být rovněž chemoautotrofní

- **EUKARYOTA**

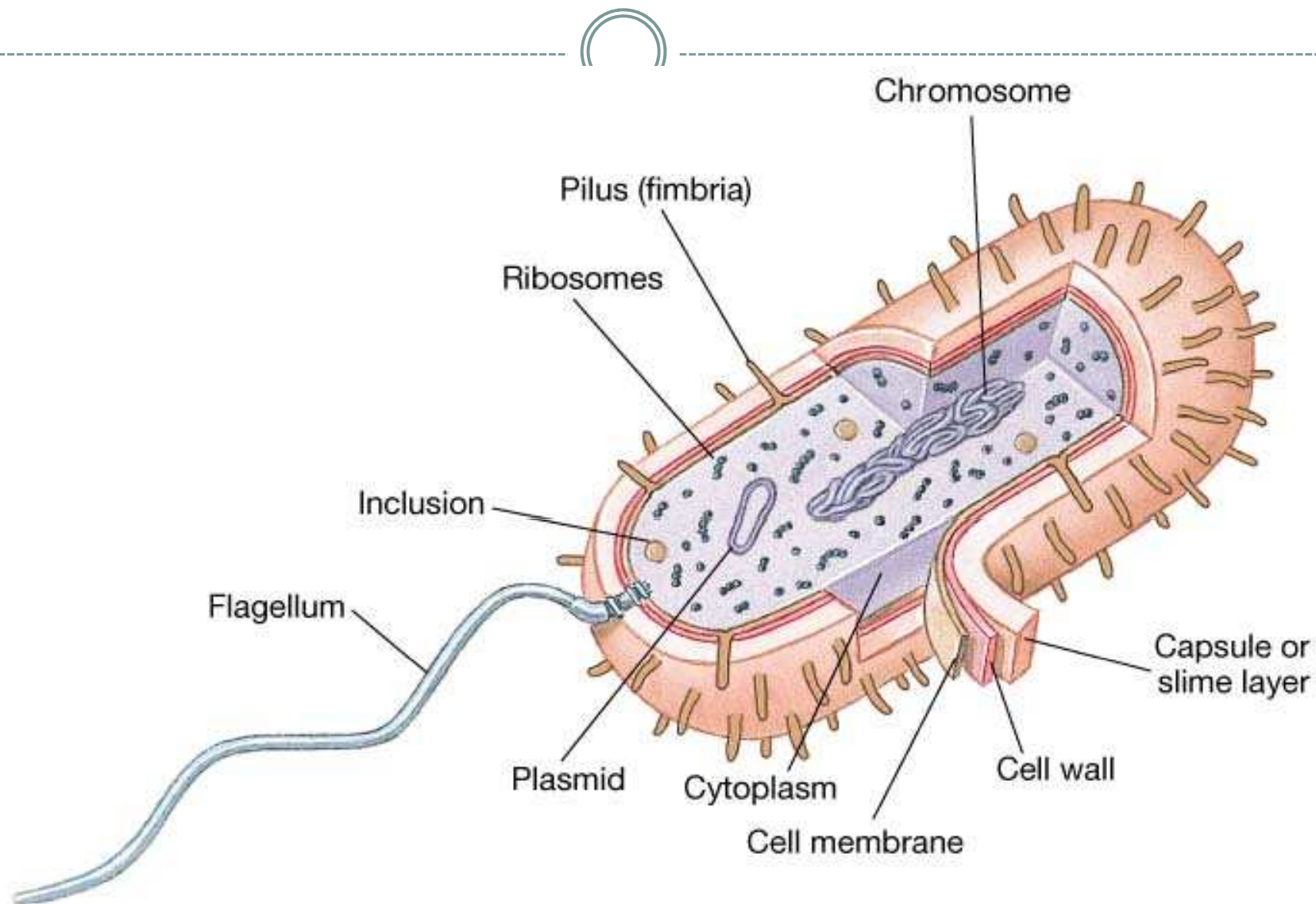
- metabolismus: pokud fotosyntetizují, pak je uvolňován pouze kyslík. Jsou též heterotrofové.

# Jsou všude!

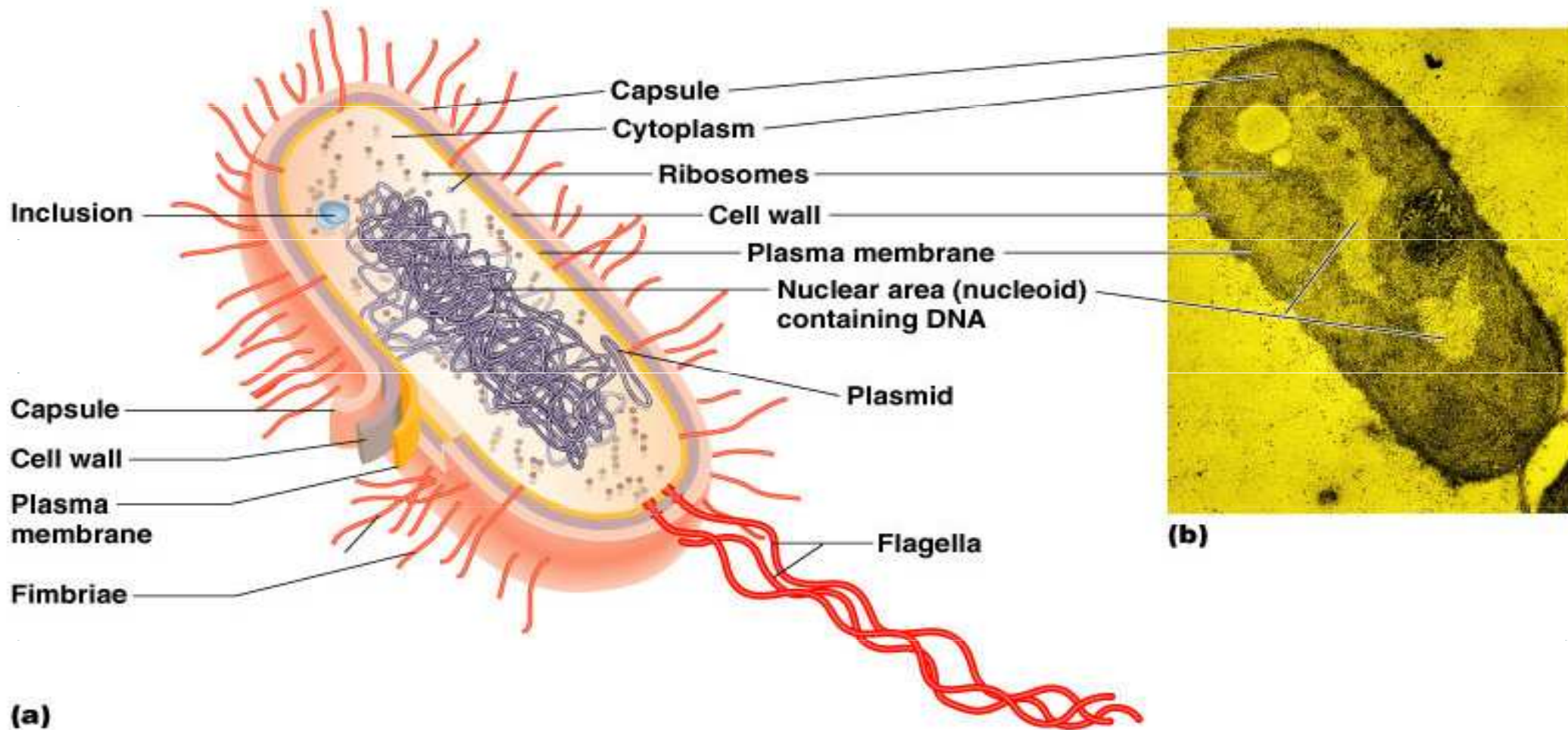


- jejich biomasa je 10 x větší než biomasa všech eukaryot
- v hrsti hlíny je víc bakterií než je lidí co kdy žili na Zemi
  - a tyto bakterie v hrsti hlíny tvoří cca 10 000 druhů
- úspěšnost prokaryot je do značné míry dána rychlostí množení, v příhodných podmínkách i každých 20 minut (většinou však 1 – 3 hodiny)

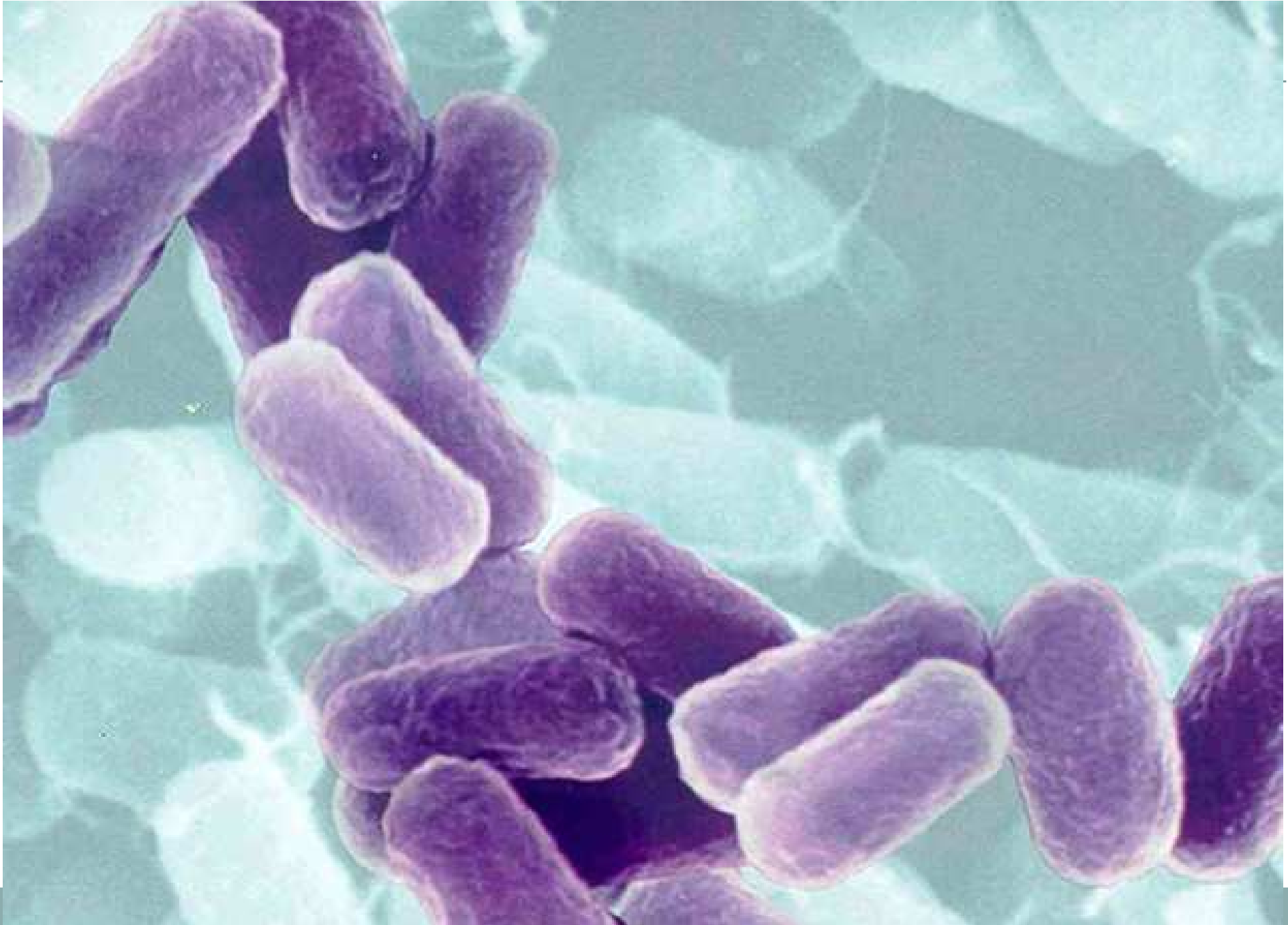
# Bakteriální buňka



# Bakteriální buňka



# Escherichia coli



# Základní charakteristika



- doposud popsáno asi 5 000 druhů
  - odhaduje se, že jich je několik tisíckrát více
- jsou již obsaženy v nejstarších dochovaných horninách, nejstarší fosílie kolem 3,5 miliardy let
- existovaly miliardu let před vznikem eukaryot
- jsou všudypřítomná a obývají i prostředí, ve kterých žádný jiný organismus není schopen přežít
  - horké prameny, okolí hydrotermálních komínů v mořích, extrémně slaná prostředí atd.



# Základní charakteristika



- velikost buňky je obvykle 1  $\mu\text{m}$  – 5  $\mu\text{m}$  (eukaryota 10 – 100  $\mu\text{m}$ )
- ve slaném prostředí dochází – jako ostatně u všech buněk – k plazmolýze; v mírně slaném prostředí dochází k zastavení rozmnožování
  - z tohoto důvodu nasolené potraviny lépe vydrží
- dnes dělíme na dvě velké skupiny
  - Archea ( dříve Archebaktérie )
  - Eubakterie

# Endospory

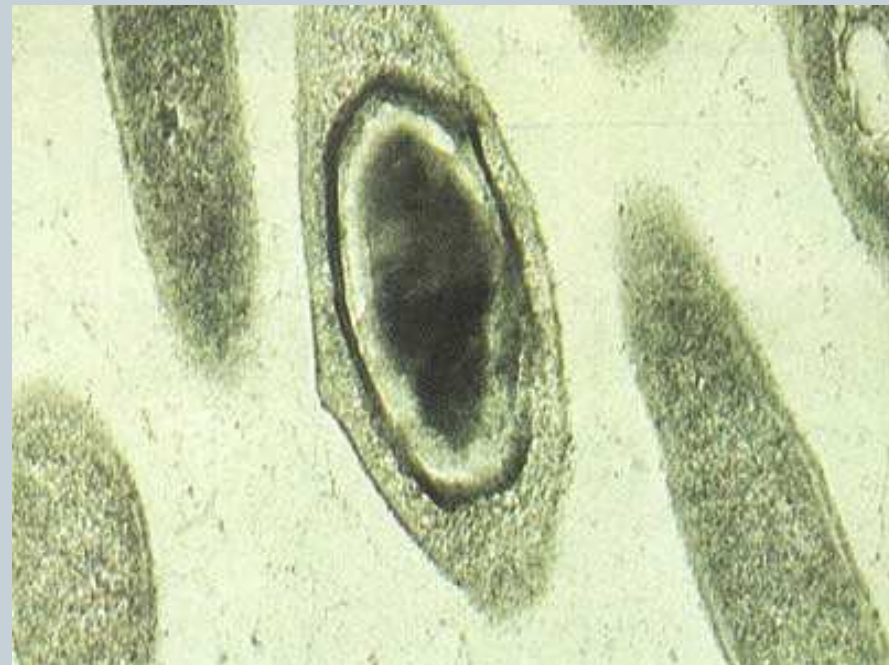
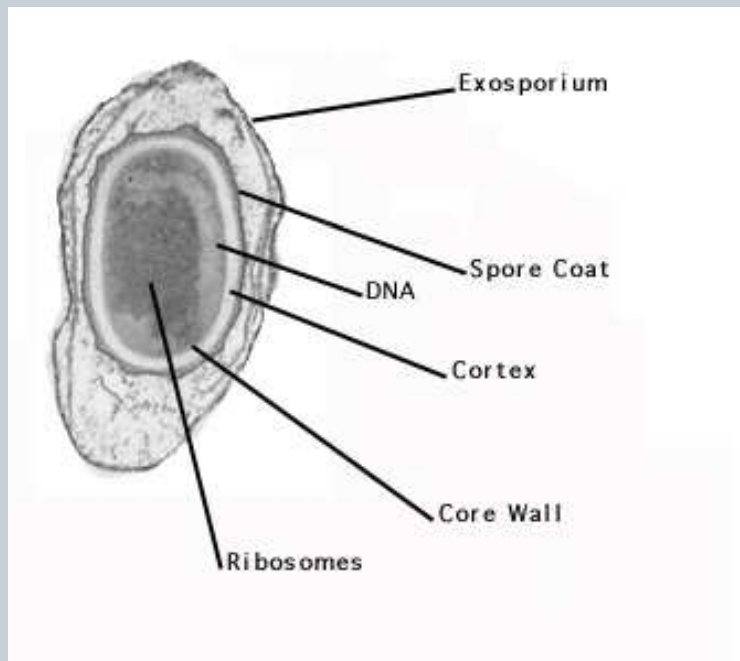


- za nepříznivých podmínek mohou vytvářet endospory
  - bakterie zreplikuje chromosom a obalí jej pevnou stěnou, která bude obalem endospory
  - z endospory se vyčerpá voda a metabolismus se stáhne na minimum
  - zbytek buňky se následně rozpadne
- endospory vydrží var ve vodě
  - pro jejich zabití je potřeba vařit při 121 °C za vysokého tlaku

# Endospory



- endospory mohou přežít stovky let



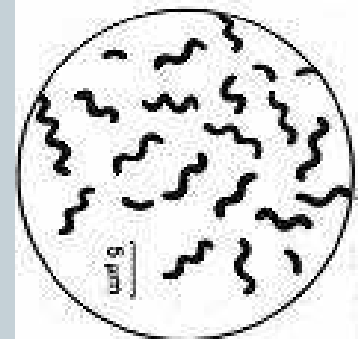
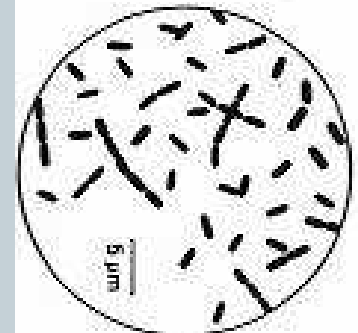
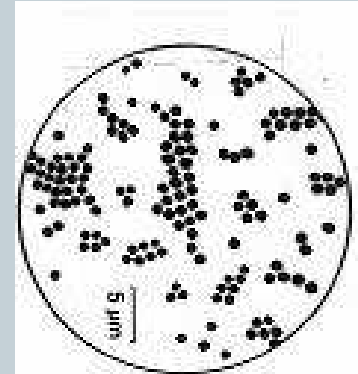
# Základní charakteristika

- podle tvaru dělíme na:

- coccus

- bacillus

- spirillum



# Základní charakteristika



- **bacily a koky**
  - mohou tvořit kolonie tak, že po rozdělení zůstávají bakterie u sebe
  - cytoplasmy jednotlivých bakterií spolu ale nekomunikují (tak jak je běžné u eukaryot)

# Spirily



- netvoří kolonie
- tvar často připomíná vývrtku; rotačním pohybem se bakterie pohybuje vpřed

# Genom



- obvykle menší než 10 Mb
  - *Bacillus megaterium* má ale genom 30 Mb
  - jiné mají několik cirkulárních nebo několik lineárních chromosomů
  - jiné mají směsku lineárních a cirkulárních chromosomů

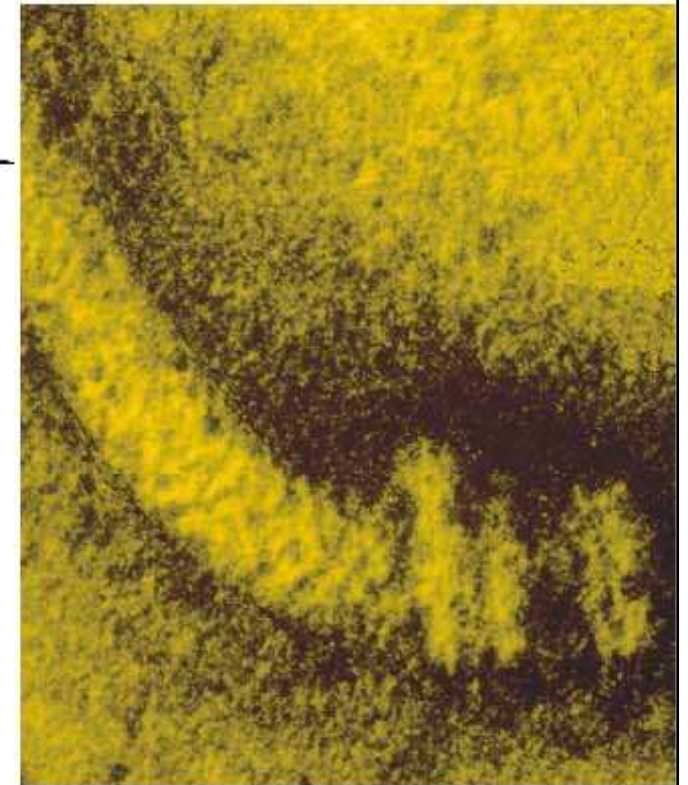
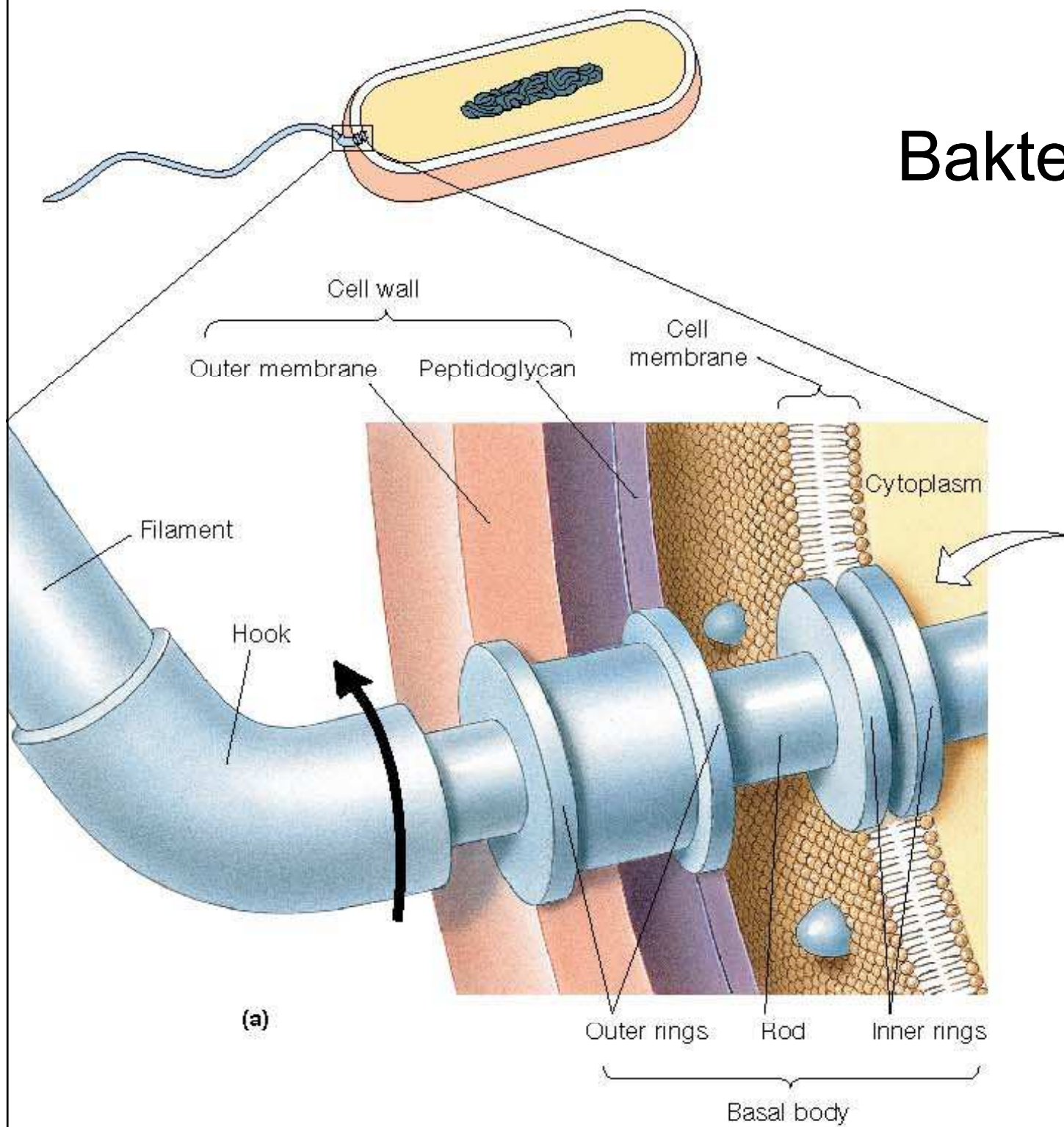
# Pohyblivost

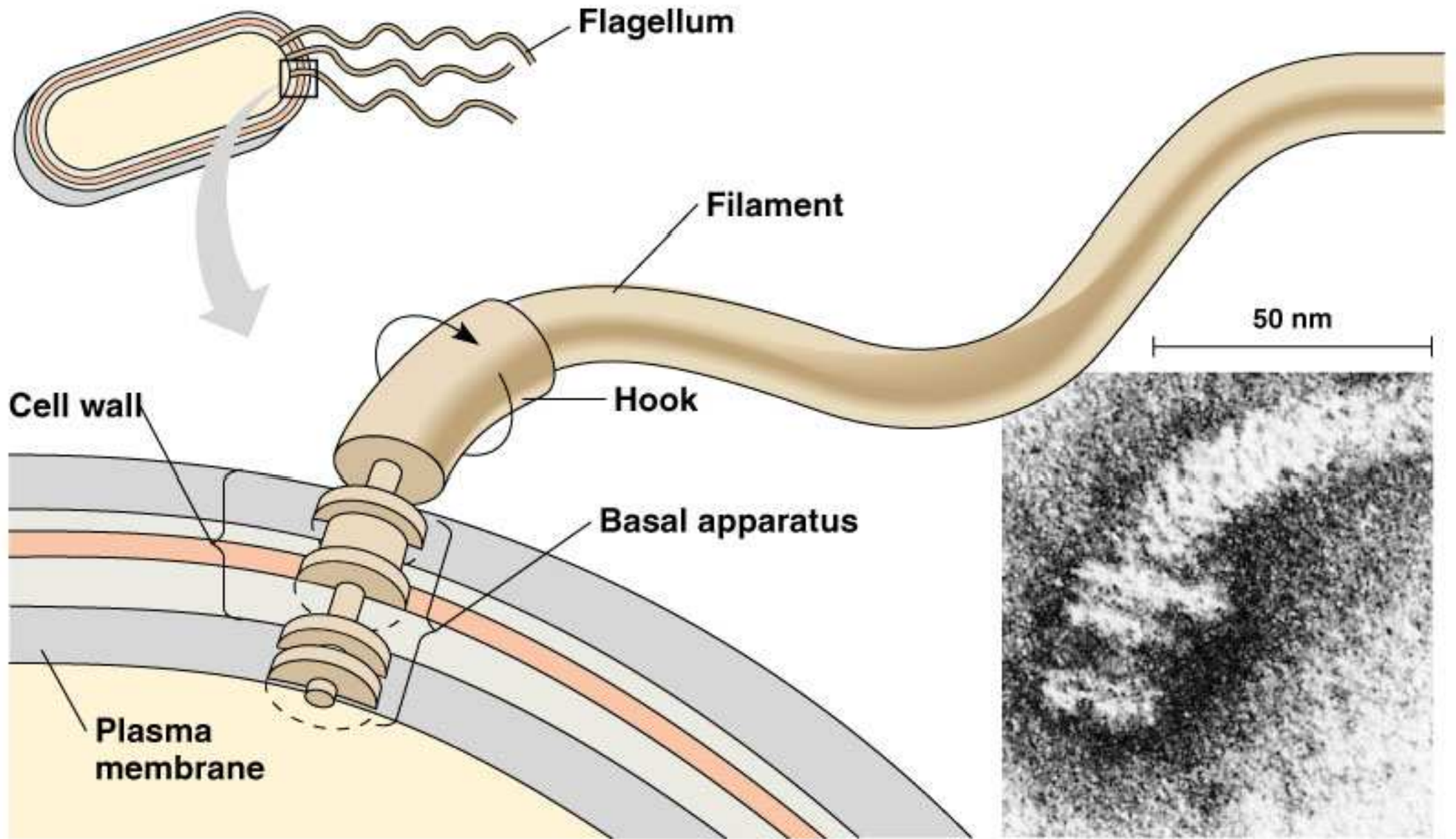


- asi polovina druhů je schopna se řízeně pohybovat
- některé druhy až rychlostí  $50 \mu\text{m/s}$ , což je 50 délek těla za vteřinu!
- bakteriální bičík má jen desetinu tloušťky jako eukaryotický, není pokrytý plasmatickou membránou



# Bakteriální bičík





Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

# Archaeobaktérie x Eubaktérie

## • ARCHEBAKTÉRIE

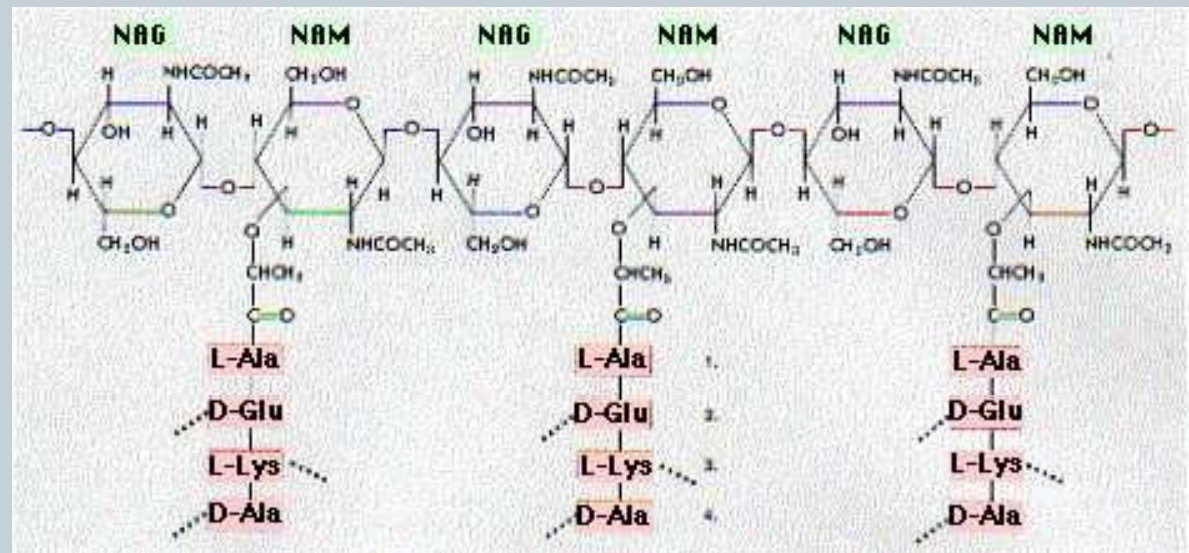
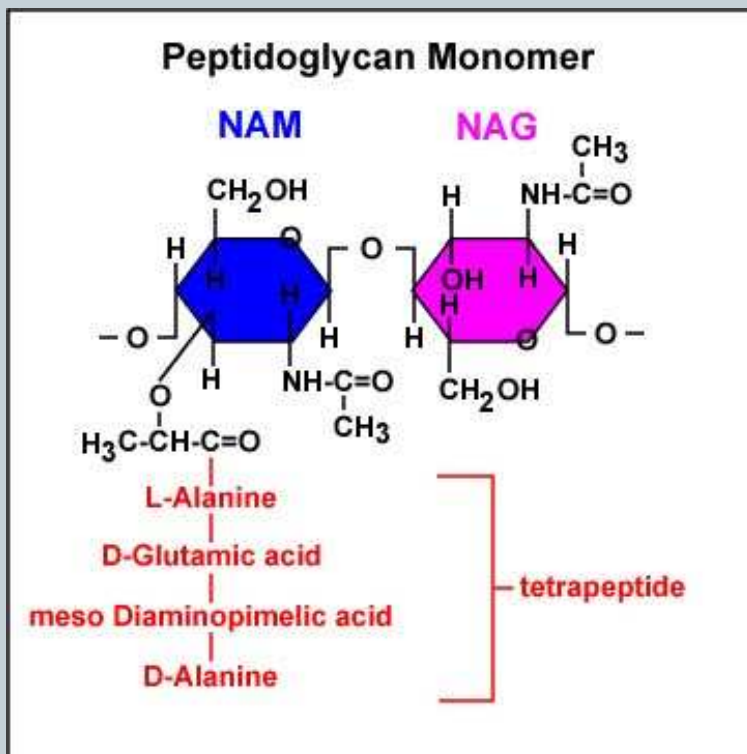
- v plasmatické membráně odlišné typy lipidů
- v buněčné stěně **chybí peptidoglykan!**
- ribosomy a RNA polymerasa podobné eukaryotům
- alespoň u některých genů jsou introny
- žádná z archeí nezpůsobuje člověku nemoc

## • EUBAKTRIE

- v plasmatické membráně odlišné typy lipidů
- v buněčné stěně je přítomen peptidoglykan
- ribosomy a RNA polymerasa značně odlišná od eukaryot
- introny nepřítomny

# Peptidoglykan

- = síť polysacharidových molekul spojených polypeptidovými řetězci



# Peptidoglykan

mají pouze eubaktérie

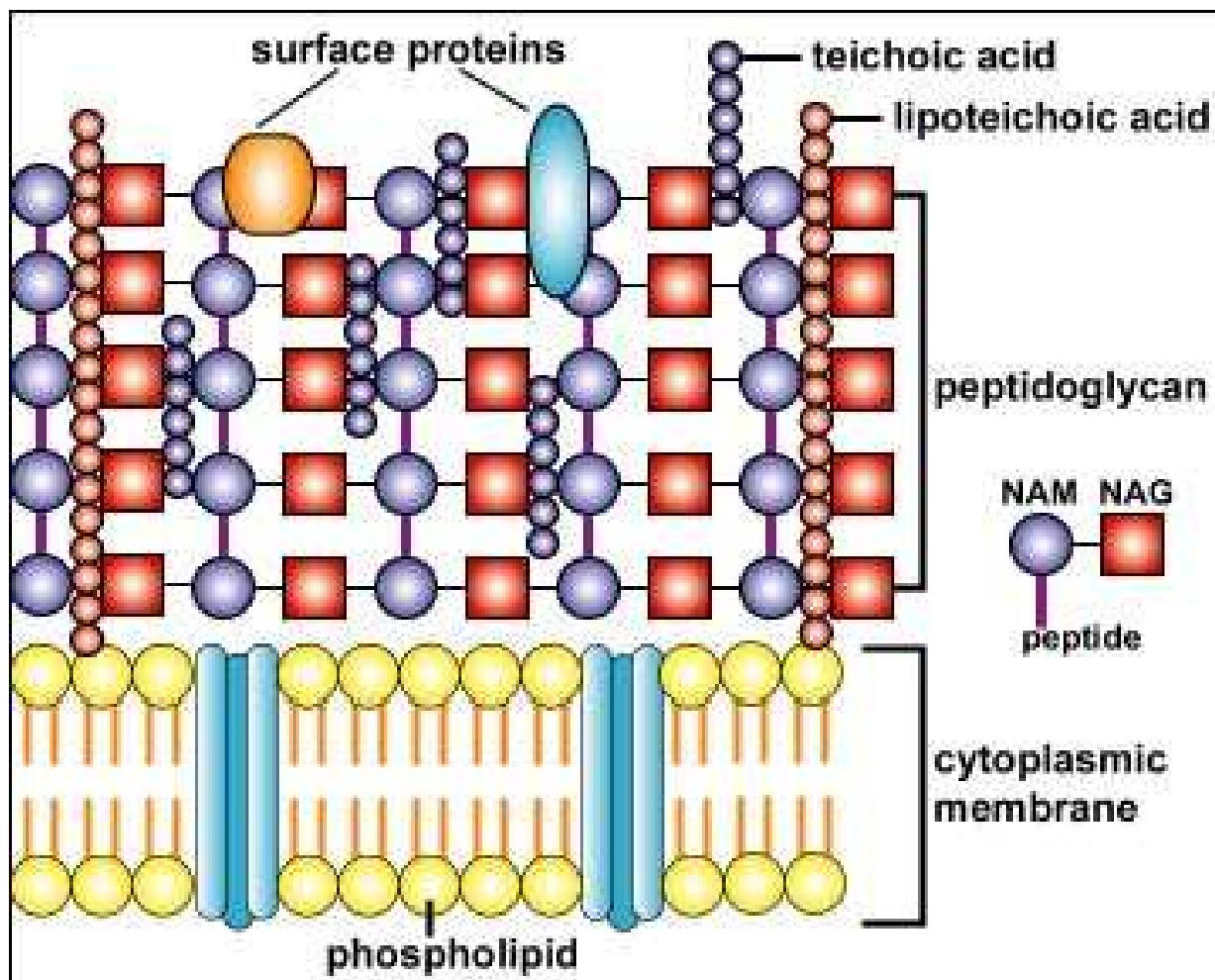
- **Gram pozitivní bakterie**

- mají silnou vrstvu peptidoglykanu
- Gramovým barvivem se barví do fialova

- **Gram negativní bakterie**

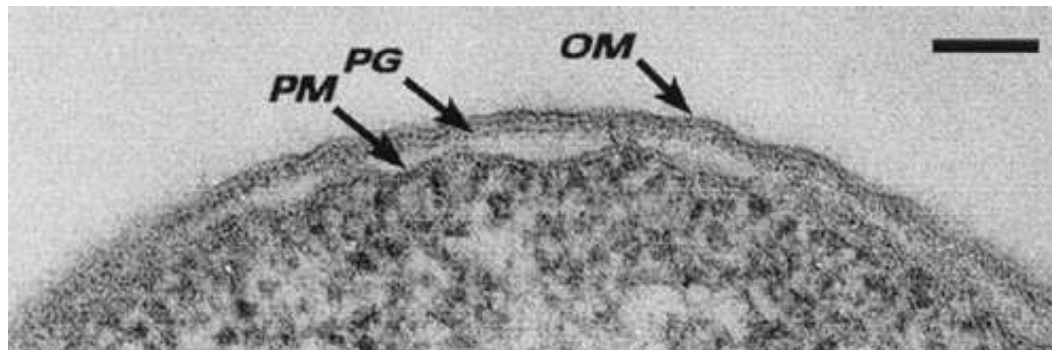
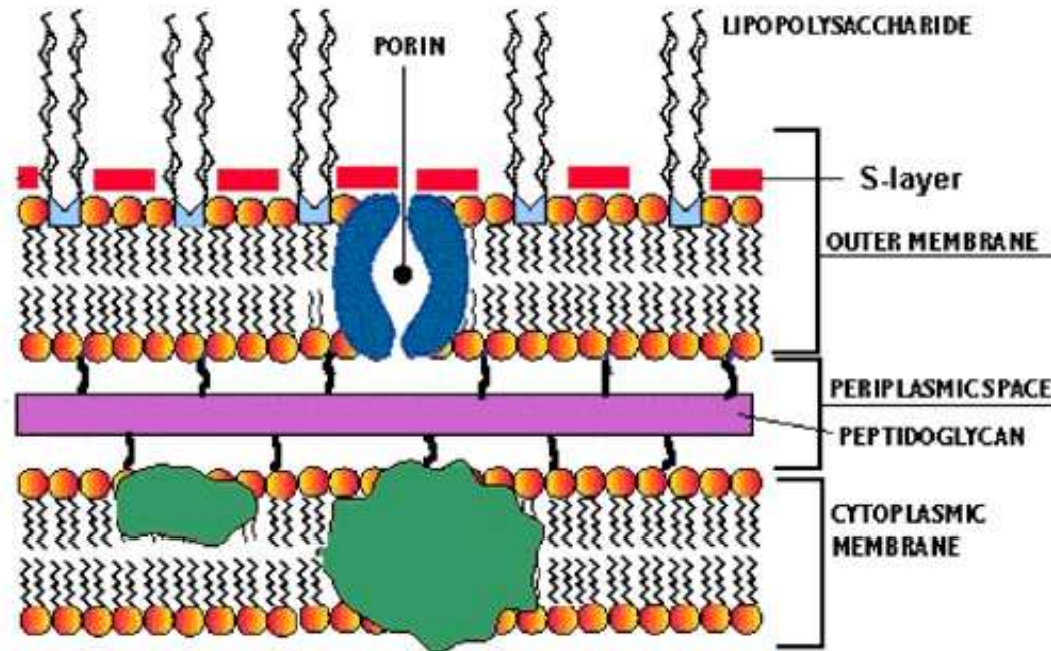
- slabá vrstva peptidoglykanu je umístěna mezi dvěma plasmatickými membránami
- Gramovým barvivem se barví do červena

# Gram pozitivní bakterie



# Gram negativní bakterie

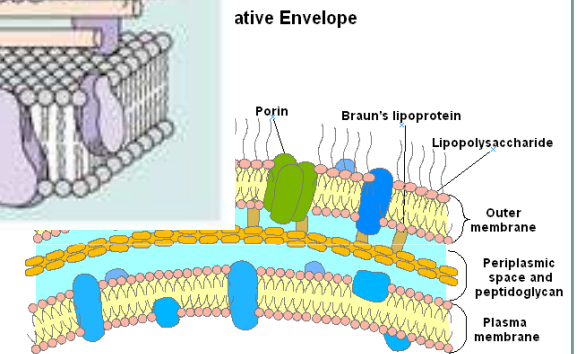
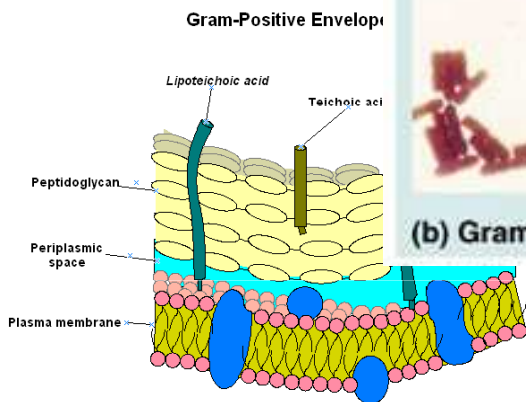
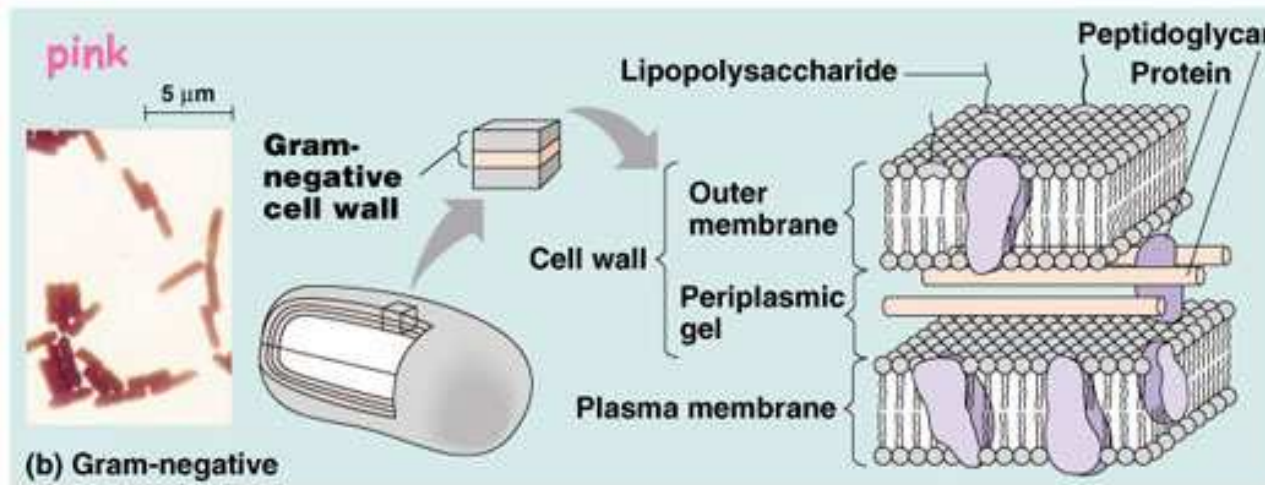
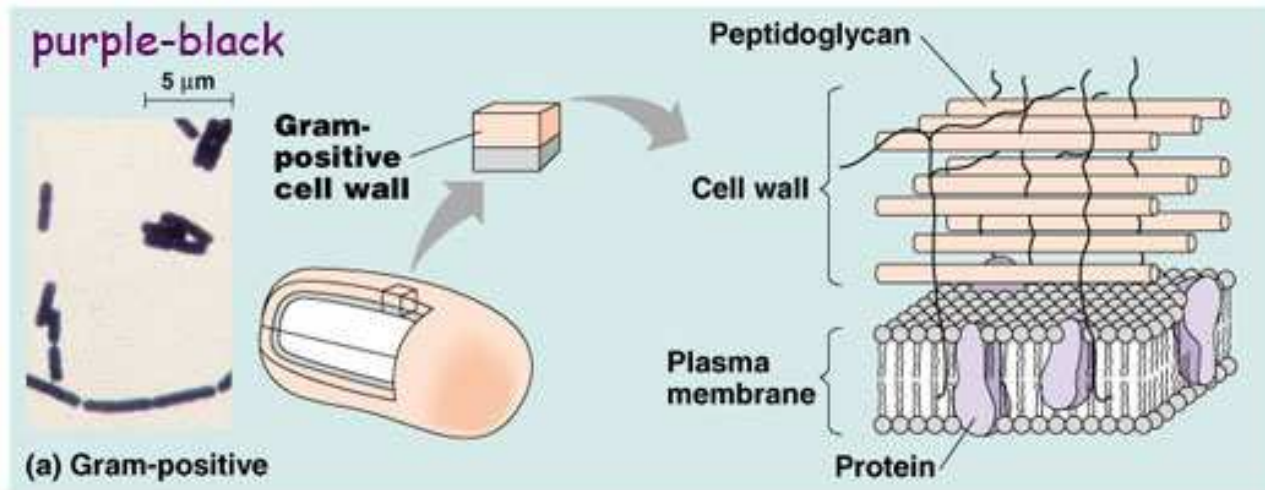
Gram Negative



E. coli K12. OM = vnější membrána.

PG = peptidoglykan. PM = plasmatická membrána

# Gram pozitivní a Gram negativní bakterie



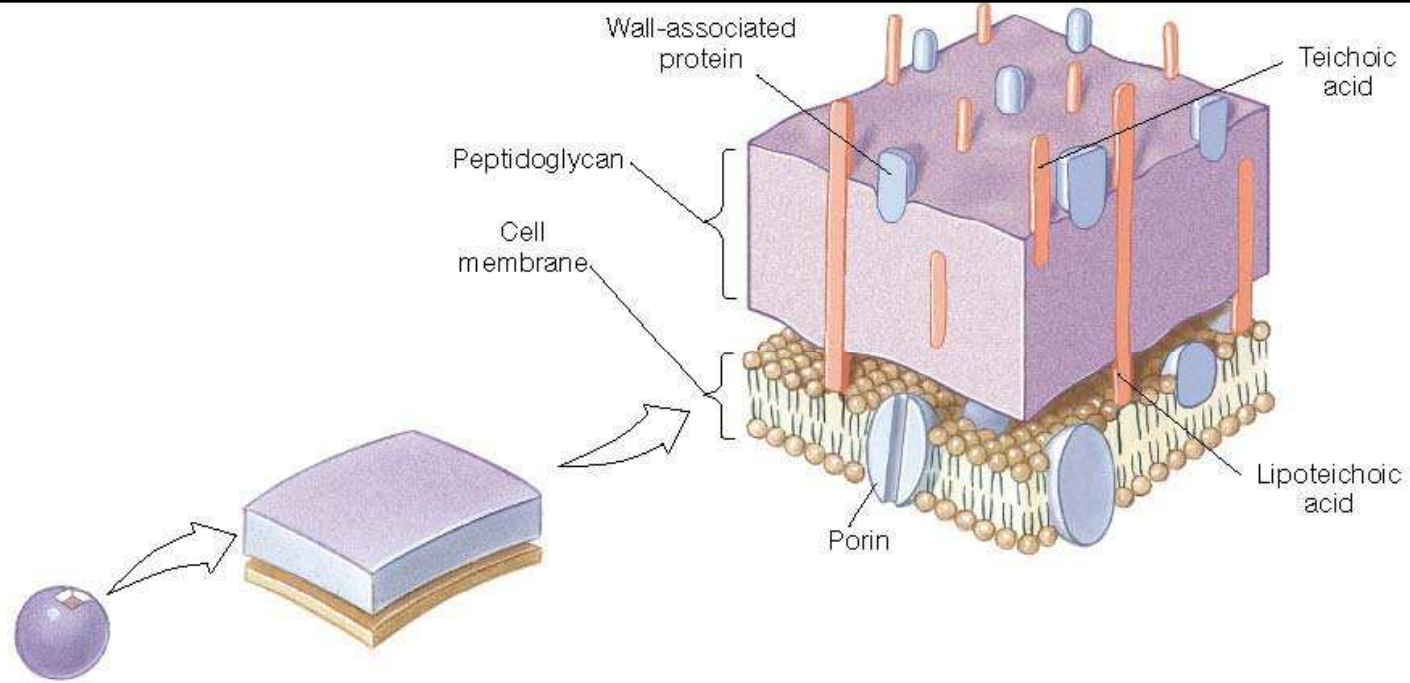
Gram negativní bakterie jsou obecně pro člověka nebezpečnější, navíc jsou odolnější vůči antibiotikům



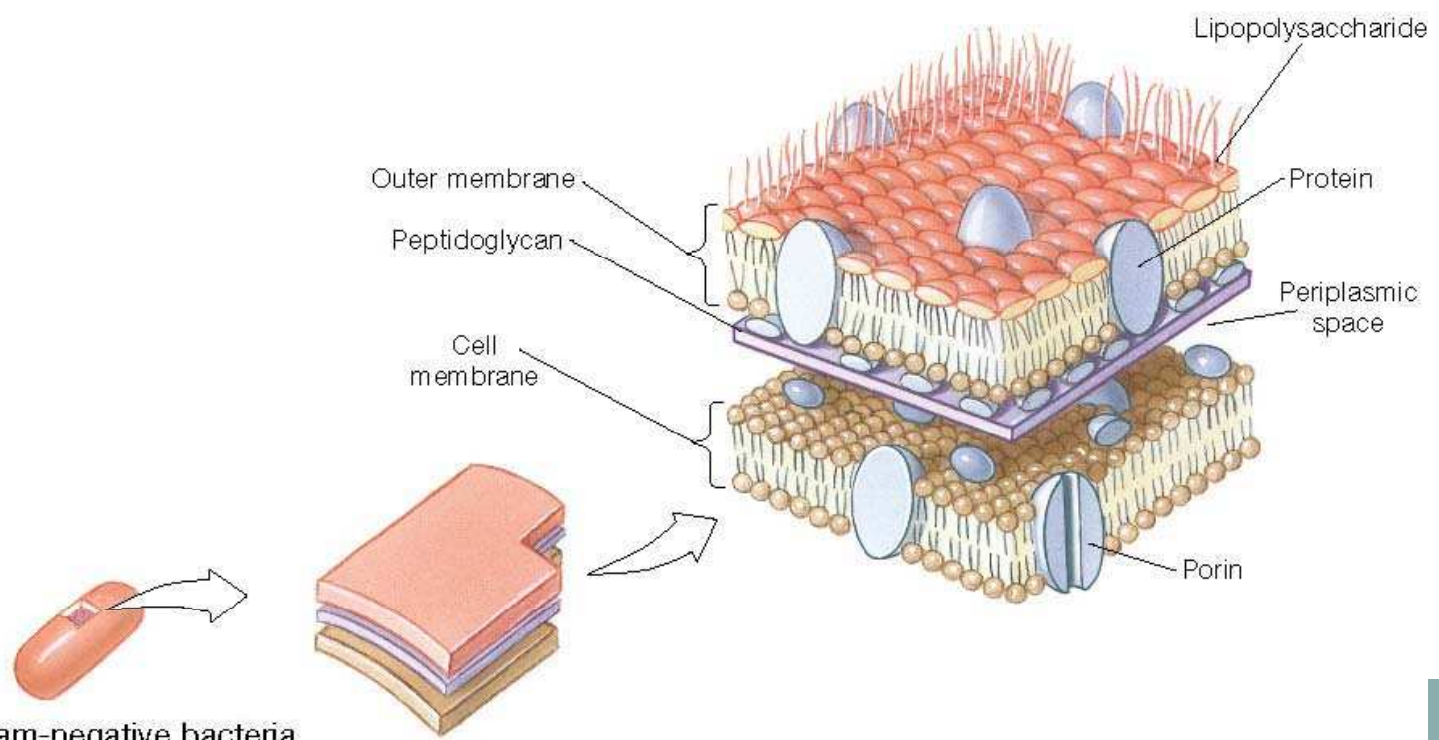
# Penicilín



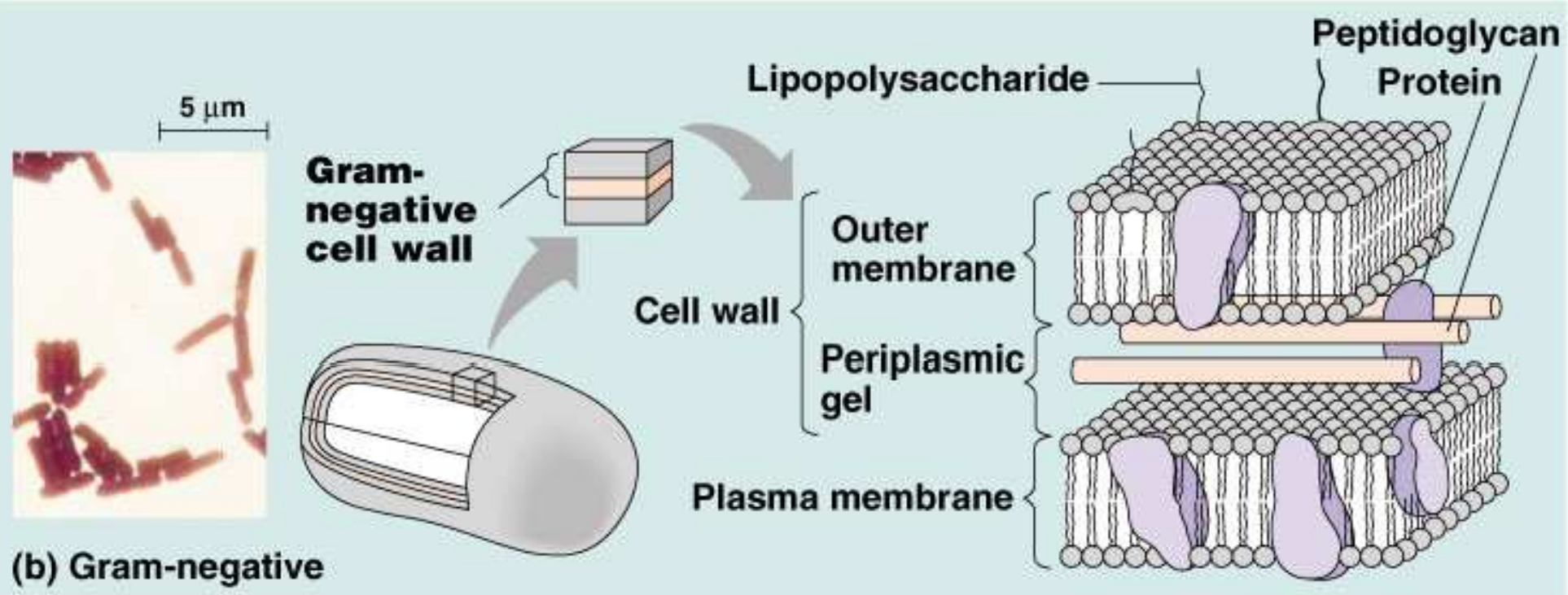
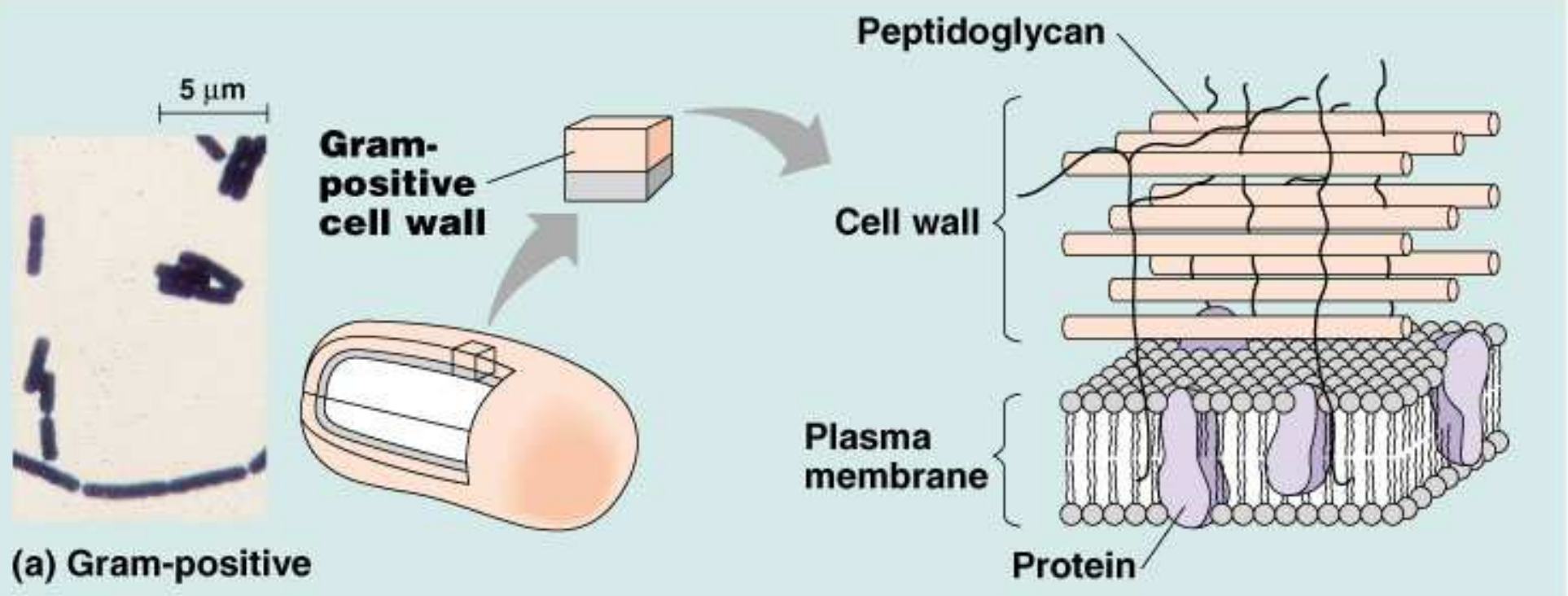
- zabraňuje správné tvorbě peptidoglykanu, proto je účinný zejména na Gram pozitivní bakterie



**(a)** Gram-positive bacteria



**(b)** Gram-negative bacteria

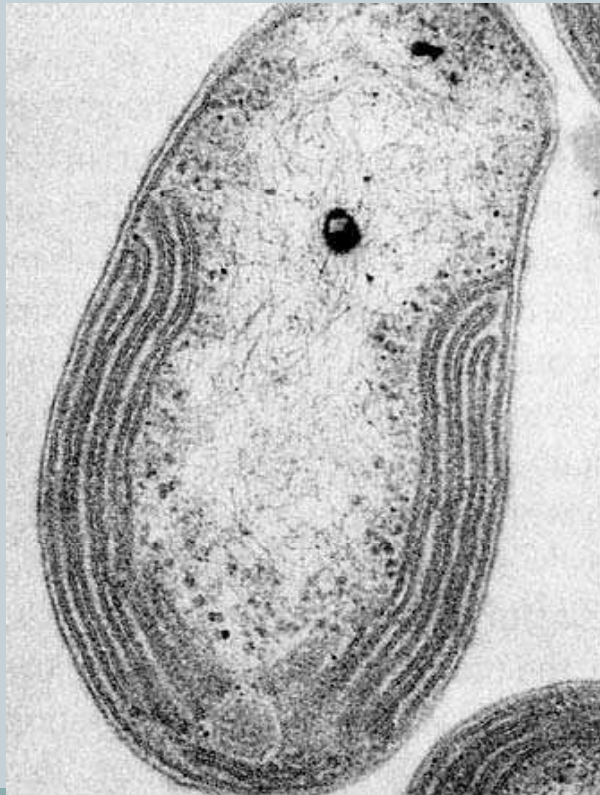


# Bakteriální buňka



- mnoho bakterií má plasmatickou membránu různým způsobem vchlípenou dovnitř, čímž se vytváří prostor pro respiraci a fotosyntézu

aerobní  
prokaryota



fotosyntetizující  
prokaryota



# Bakteriální buňka



- bakterie nemají jádro. Mají jednu kruhovou molekulu DNA, která se nachází v jedné oblasti buňky, zvané nukleoid
- krom nukleoidu obsahuje řada bakterií ještě i další menší kruhovou molekulu DNA zvanou plasmid.

# Bakteriální buňka



- ribosomy – jsou mírně menší než ribosomy eukaryotických buněk.
  - Antibiotika tetracyklin, erythromycin a chloramfenikol blokují funkci prokaryotických ribosomů, ale neváží se na eukaryotické ribosomy

# Plasmidy



- Plasmid = malá, kruhovitá molekula DNA. Obsahuje jen málo genů, žádný z nich není nezbytně nutný pro přežití. Mnohé plasmidové geny ale mohou být velmi užitečné, neboť obsahují např. geny pro rezistenci k různým antibiotikům
- plasmidy snad kdysi vznikly jako vystřižený kus bakteriálního genomu

# Plasmidy



- R plasmidy – nesou rezistenci proti antibiotikům



# Klasifikace bakterií



- dva kmeny *Escherichia coli* se od sebe liší víc než člověk a ptakopysk

# Metabolismus bakterií



- organismy dělíme podle toho, odkud získávají energii a odkud čerpají uhlík
- fototrofové = energii získávají ze světla
- chemotrofové = energii získávají rozkladem chemických látek
- autotrofové získávají uhlík z anorganických látek ( $\text{CO}_2$ )
- heterotrofové získávají uhlík z organických látek (např. z glukosy)

# Metabolismus bakterií



- fotoautotrofové = uhlík získávají z anorganických látek ( $\text{CO}_2$ ), energii ze světla
  - sinice, zelené řasy, rostliny
- chemoautotrofové = uhlík získávají z anorganických látek, energii z oxidací anorganických látek (např.  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{Fe}^{++}$ )
  - některá prokaryota, např. *Sulfolobus*
- fotoheterotrofové = získávají uhlík z organických látek a energii ze světla
  - řada mořských prokaryot, např. *Rhodobacter*, *Chloroflexus*
- chemoheterotrofové = získávají uhlík z organických látek a energii oxidací organických látek
  - mnoho prokaryot (např. *Clostridium*), protista, fungi, živočichové, některé nezelené rostliny

# Metabolismus bakterií



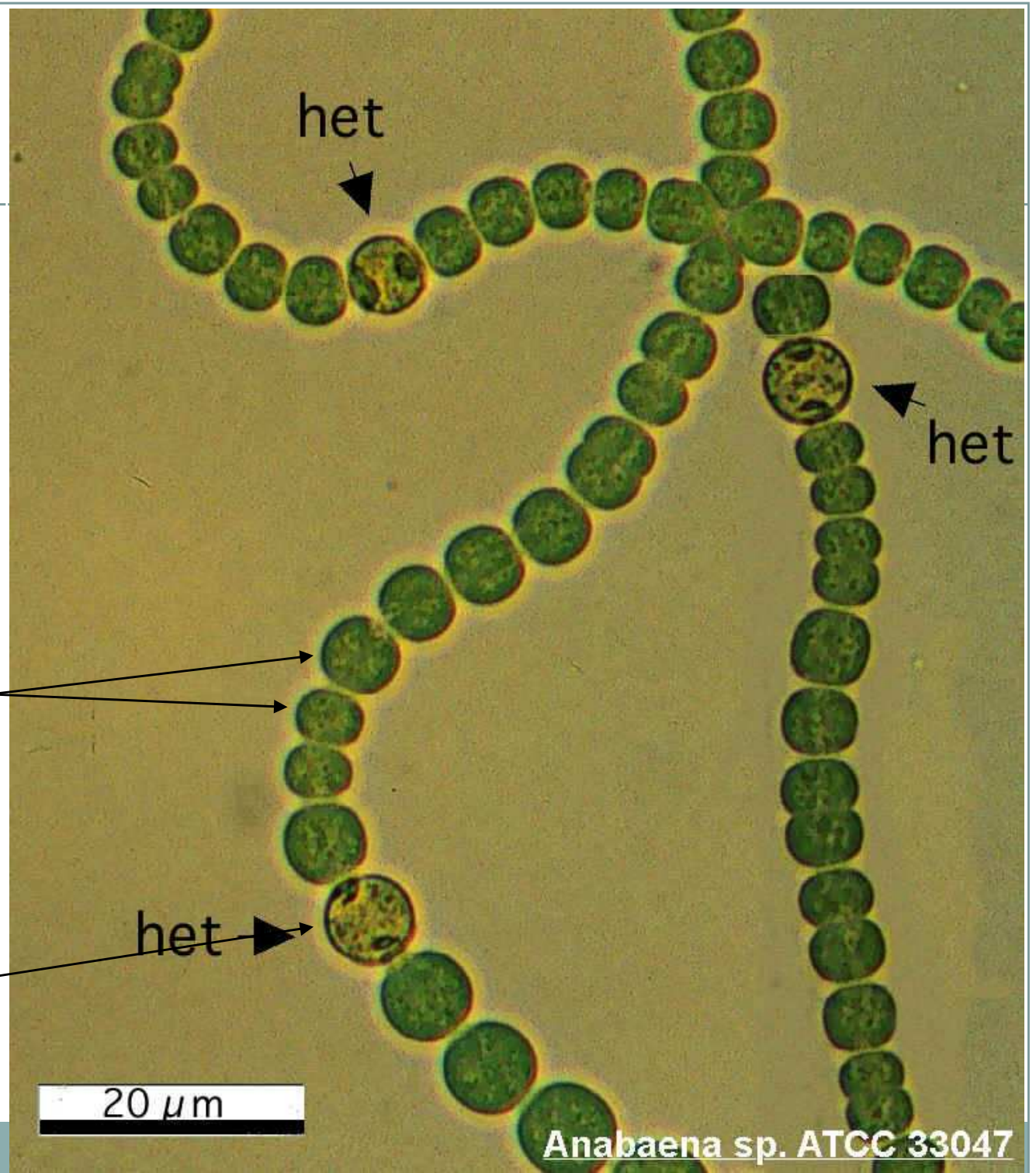
- sinice *Anabaena* má sice geny kódující jak proteiny potřebné k fotosyntéze a k fixaci dusíku, avšak jediná buňka v jedné chvíli buď fotosyntetizuje, nebo poutá dusík.
- odpadním produktem fotosyntézy je totiž kyslík, který blokuje enzymy potřebné k fixaci dusíku
- *Anabaena* řeší problém tím, že žije ve filamentózních koloniích, kde většina buněk fotosyntetizuje, zatímco některé specializované buňky, zvané heterocysty, provádí fixaci dusíku
- heterocysty mají silnou buněčnou stěnu, která brání průniku kyslíku z okolních fotosyntetizujících buněk

Metabolismus  
baktérií

sinice rodu  
*Anabaena*

fotosyntetizující buňky

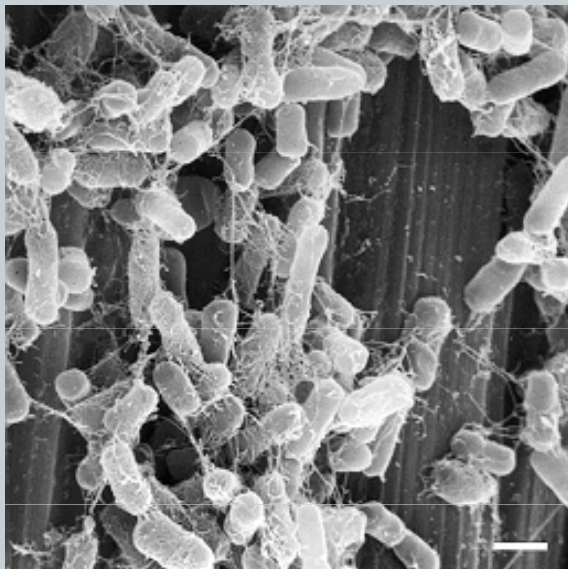
heterocysty



# Biofilm



- biofilm je struktura, kterou tvoří některá prokaryota
- buňky vylučují proteiny, které fixují buňku k povrchu a ke druhým buňkám
- časté např. na povrchu zubů



# Metabolismus vzhledem ke kyslíku



- obligátní aerobové = nemohou růst bez kyslíku
- fakultativní anaerobové = mohou žít jak za přítomnosti, tak i za nepřítomnosti kyslíku
- obligátní anaerobové = rostou jen v nepřítomnosti kyslíku

# Nemoci způsobované baktériemi



NEMOC	PATOGEN	VEKTOR/ REZERVOÁR	EPIDEMIOLOGIE
Anthrax	Bacillus anthracis	živočichové	přímý kontakt nebo požití. Vzácné, ale s fatálními následky
Botulismus	Clostridium botulinum	nedokonale připravená potrava	požití nebo kontaktem s poraněnou tkání. Může být fatální
Chlamydie	Chlamydia trachomatis	lidé, STD	urogenitální infekce s možným napadením očí a respiračního traktu. Vzestup za posledních 20 let



# Nemoci způsobované bakteriemi



NEMOC	PATOGEN	VEKTOR/ REZERVOÁR	EPIDEMIOLOGIE
Cholera	Vibrio cholerae	lidské výkaly, plankton	průjem a smrt dehydratací. Až 50 % mortalita. Ve Rwandě 1994 zemřelo 100 000 lidí
Zubní kaz	Streptococcus	lidé	bakterie na povrchu zubu vylučují kyseliny, které uvolňují vápník ze zubu
Lepra (=malomoce nství)	Mycobacterium leprae	lidé, pásovci	jihovýchodní Asie, kontakt, celosvětově incidence 10 – 12 mil.

# Nemoci způsobované bakteriemi



NEMOC	PATOGEN	VEKTOR/ REZERVOÁR	EPIDEMIOLOGIE
žaludeční vředy	Helicobacter pylori	lidé	vzniká stresem nebo
mor	Yersinia pestis	potkani, blechy, veverky	1346 zemřelo 25% obyvatel Evropy
zápal plic	Streptococcus, Mycoplasma, Chlamydium	lidé	infekce plic, bez léčení smrtelná

# Nemoci způsobované bakteriemi



NEMOC	PATOGEN	VEKTOR/ REZERVOÁR	EPIDEMIOLOGIE
tuberkulóza	Mycobacterium tuberculosis	lidé	infekce plic, lymfy a meningů. Incidence stoupá v souvislosti se vznikem kmenů odolných vůči antibiotikům
tyfoidní horečka	Salmonella typhi	lidé	kontaminovaná voda, v USA 500 případů ročně
tyfus	Rickettsia typhi	lidé	kdysi velké nebezpečí, infikované blechy, 70 % mortalita

# Horizontální přenos genů



- transformace – přijetí čisté DNA z okolního prostředí
- transdukce – přijetí DNA pomocí bakteriofága
- konjugace – přenos DNA z bakterie na bakterii plasmidem

# Baktérie a prostředí



- dekompozice – po naší smrti se díky baktériím a houbám uhlík, dusík, fosfor, síra a další atomy našich těl uvolní zpět do prostředí
- fixace – díky sinicím (a zeleným rostlinám) je fixován  $\text{CO}_2$  ze vzduchu za vzniku cukrů. Z těchto cukrů se vytvářejí části rostlin. Odpadním produktem reakce je kyslík. Všichni živočichové (...a lidé) se živí buď rostlinami nebo organismy, které se rostlinami živí a dýcháme kyslík, které sinice a rostliny kdysi vyprodukovaly

# Baktérie a prostředí



- podobně některé bakterie (sinice) fixují vzdušný dusík. V molekule dusíku  $N_2$  je trojná vazba, kterou není jednoduché rozbít. Některé bakterie toto dokážou a dusík redukuje na amoniak  $NH_3$ , který je potom dále používán pro tvorbu aminokyselin a dalších důležitých molekul.
- sinice jsou nejsamostatnější organismy na Zemi: k životu potřebují jen světlo,  $CO_2$ ,  $N_2$ , vodu a několik minerálů

# Baktérie a prostředí



- když organismus zemře, jiné bakterie (tzv. denitrifikační bakterie) dusík z těla uvolní zpět do atmosféry, čímž dokončí celý cyklus (viz bod „dekompozice“)

# Mutualismus



- na kořenech bobovitých rostlin jsou nitrifikační bakterie, které fixují vzdušný dusík, oplátkou získávají od rostlin živiny z fotosyntézy
- Krávy a další býložravci nejsou schopni trávit celulosu. Mají proto ve svém žaludku bakterie, které produkují enzym celulázu
- podobně bakterie v našem tlustém střevu produkují vitamíny K a B<sub>12</sub>, které si sami vytvořit neumíme



# Další formy symbiocy



- komezalizmus = některé bakterie žijí na povrchu těl živočichů, aniž by jim prospívaly nebo škodily
- parazitismus = mnohé bakterie způsobují onemocnění

# Baktérie a genetické inženýrství



- *Bacillus thuringiensis* se po genetických úpravách používá k účinnému boji proti škodlivému hmyzu
- jiné geneticky upravené bakterie produkují lidský insulin
- jiné geneticky upravené bakterie se používají k odstraňování ropných skvrn. Tyto bakterie se živí ropnými uhlovodíky

# Výzkum evoluce



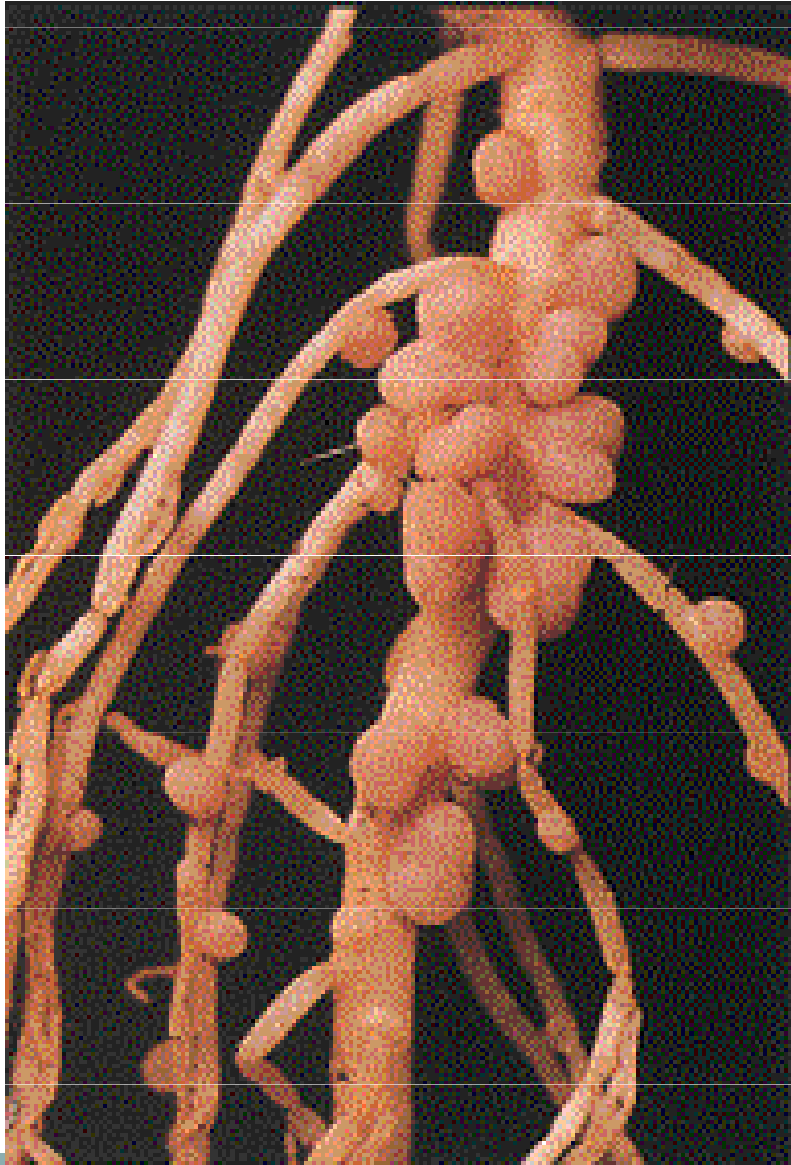
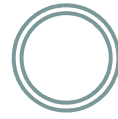
- od roku 1988 se pěstuje kolonie E. coli, která dnes má již 20 000 generací
- vzorky jsou neustále zamražovány a následně je zkoumán genom, mutace, atd.
- např. se zjistilo, že dnešní kolonie rostou o 60 % rychleji než kolonie roku 1988

# Mutualismus



Photoblepharon palpebratus – bakterie pod očima slouží jako automobilová světla

# Mutualismus +/-



Mutualismus  
mezi rostlinou  
(*Fabaceae*)  
a bakterií  
(*Rhizobium*)  
žijící v nodulech  
na kořenech

# Bioterorismus



- z bakterií se používá zejména bakterie způsobující anthrax
  - program biozbraní skončil v USA v r. 1969, v Rusku oficiálně až v 90. letech
- v roce 2001 případy bioterorismu v USA, použit anthrax