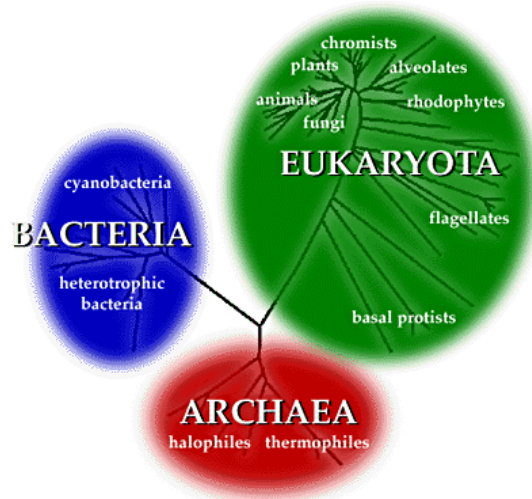


ARCHAEA

Zjednodušené schéma domén



Rozdělení organismů – historický přehled

Linnaeus	Haeckel	Chatton	Copeland	Whittaker	Woese et al.	Woese et al.	Cavalier-Smith	Cavalier-Smith
1735	1866	1925	1938	1969	1977	1990	1993	1998
2 říše	3 říše	2 nadříše	4 říše	5 říší	6 říší	3 domény	8 říší	6 říší
neupraveno	Protista	Prokaryota	Monera	Monera	Eubacteria	Bacteria	Eubacteria	Bacteria
					Archaeobacteria	Archaea	Archaeobacteria	
		Eucaryota	Protista	Protista	Protista	Eucarya	Archezoa	Protozoa
							Protozoa	
							Chromista	Chromista
Vegetabilia	Plantae		Plantae	Plantae	Plantae		Plantae	Plantae
				Fungi	Fungi		Fungi	Fungi
Animalia	Animalia		Animalia	Animalia	Animalia		Animalia	Animalia

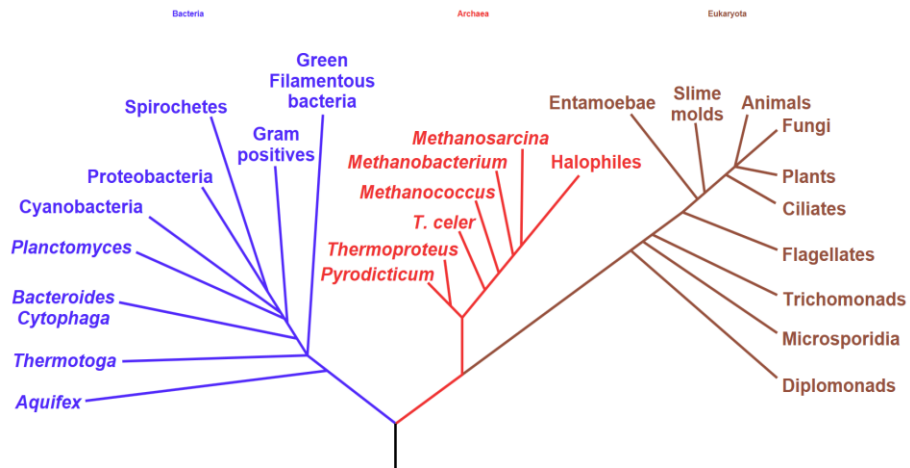
Doména Archaea



Dr. Carl Woese

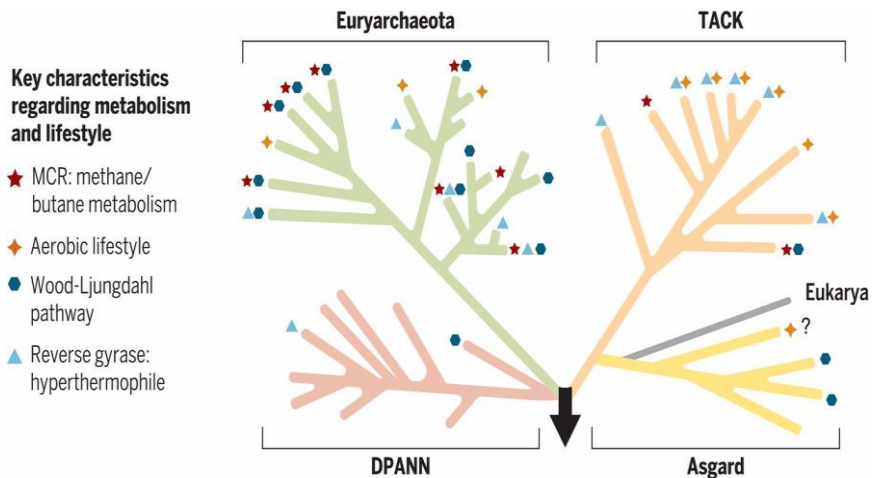
- Dr. Woese v roce 1977 zveřejnil průlomovou publikaci: "Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: The primary kingdoms," Carl R. Woese and George E. Fox, ve které byla identifikována *Archaea* jako „třetí doména života“.
- První sekvenovaný zástupce domény *Archaea* byl popsán v časopise Science: "Complete Genome Sequence of the Methanogenic Archaeon, *Methanococcus jannaschii*," Bult et al., 1996.

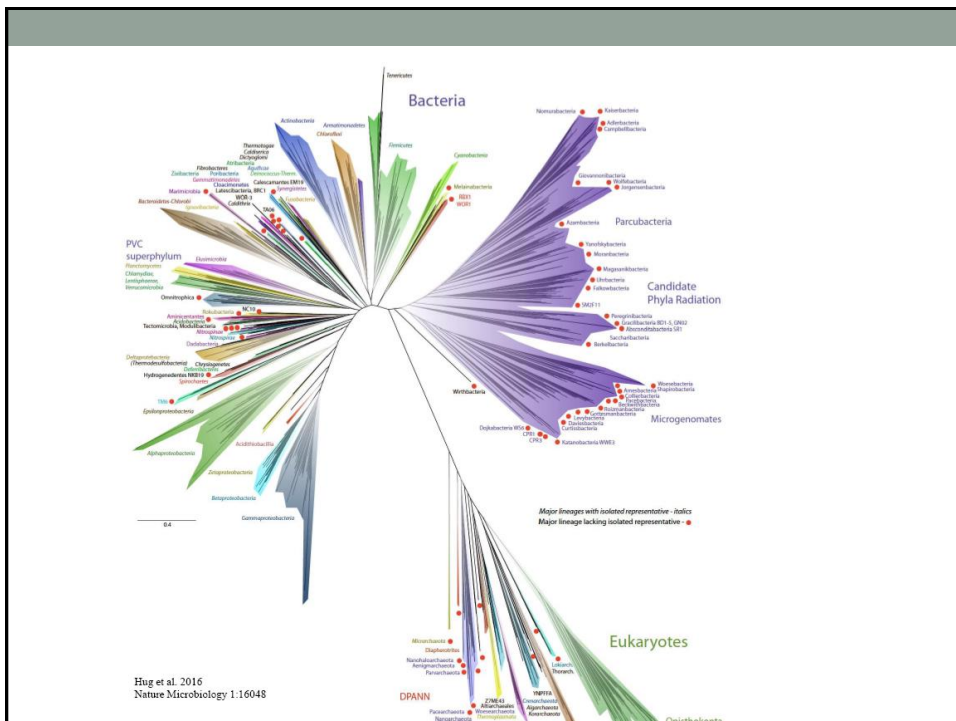
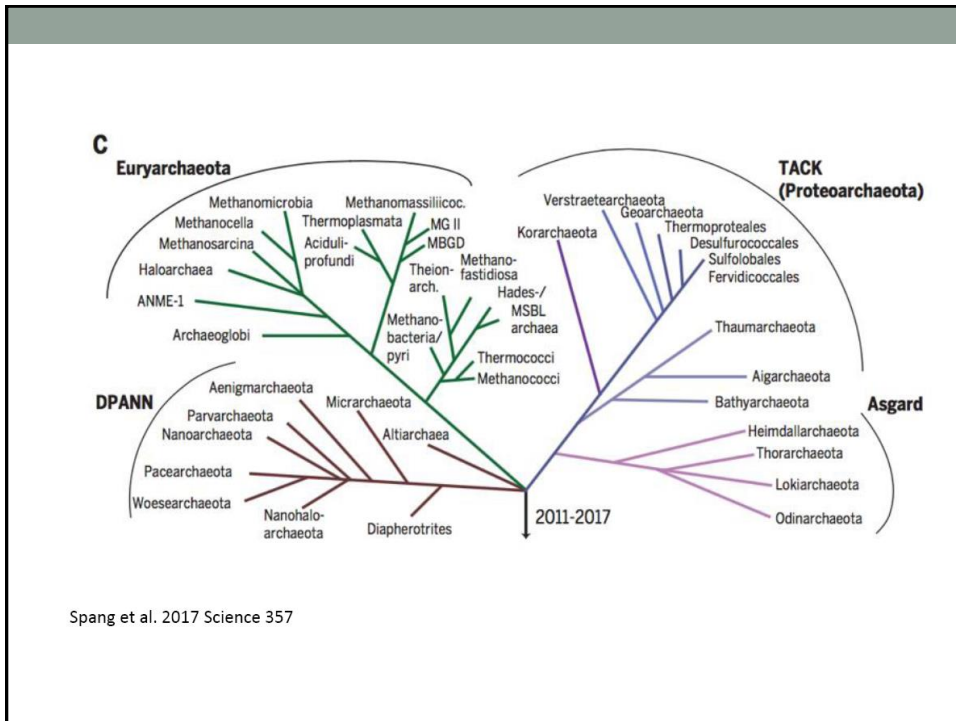
Zjednodušené schéma domén



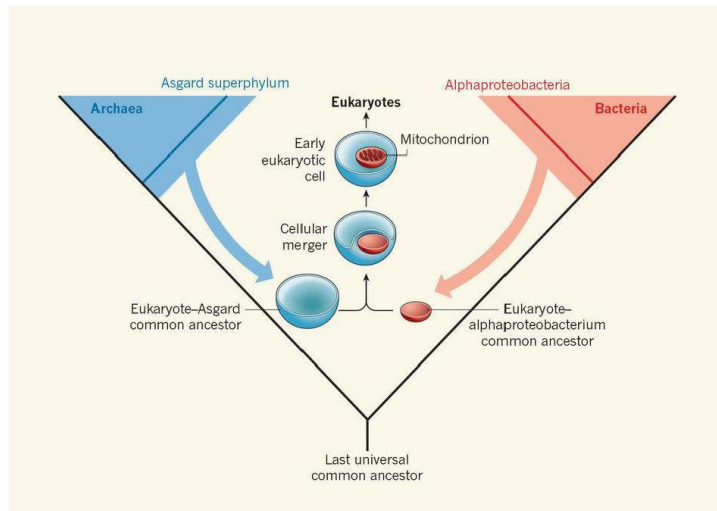
Woese C, Kandler O, Wheelis M (1990). "Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaea, Bacteria, and Eucarya.". *Proc Natl Acad Sci USA* **87** (12): 4576–9.

Spang et al.(2017), Genomic exploration of the diversity, ecology, and evolution of the archaeal domain of life, *Science* 357





The new view on endosymbiotic hypothesis: *ASGARD* + *Alphaproteobacterium* → *Eukaryote*



McInerney and O’Connell 2017 Nature 541, 297-299

Archeální druhy a popsané genomové sekvence za posledních 20 let

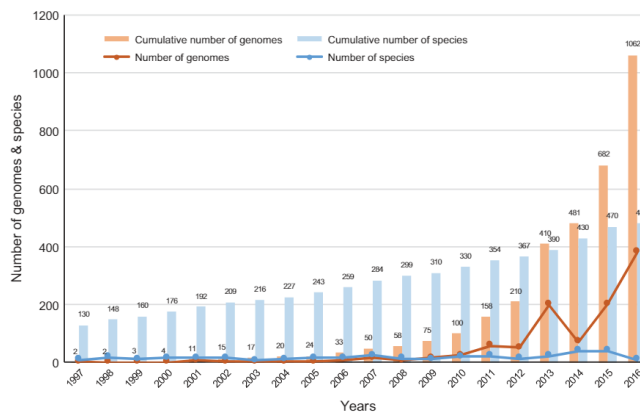
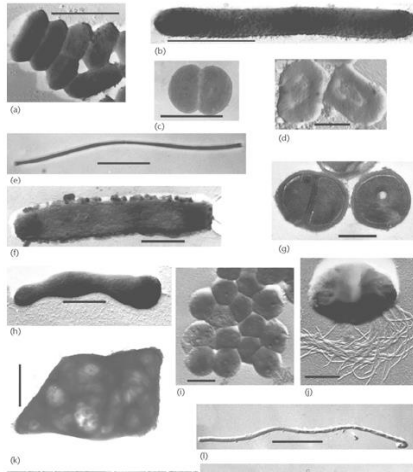


Figure 1 Number of archaeal genome sequences and validly described archaeal species over the last 20 years. The orange line and histogram indicate respectively the annual and cumulative number of novel archaeal genome sequences (that is, complete genomes, chromosome, contigs and scaffolds) released in public databases (NCBI, latest update December 2016). The blue line and histogram indicate respectively the annual and cumulative number of validly described archaeal species (Source: List of Prokaryotic Names with Standing in Nomenclature with names published until July 2016—<http://www.bacterio.net/>).

Morfologie buněk *Archaea*



Např.:

Methanobacterium

Methanosphaera

Methanoplanus

Methanospirillum

Halobacterium

Halococcus

Thermoplasma

Methanolobus

Pyrococcus

Haloferax

Porovnání vlastností

Společné vlastnosti *Archaea* a *Bacteria*

- Prokaryotní stavba
- Malá velikost buněk (mikrometry)
- Jeden kruhový chromozom
- Dělení buněk
- Ribozomy 70S
- Zásobní látky podobné jako u bakterií
- Fixace molekulárního dusíku
- Stavba bičíku

Společné vlastnosti *Archaea* a *Eukarya*

- Stavba RNA polymerázy
- Homologie ribozomálních proteinů
- Účinek antibiotik na proteosyntézu
- Met místo fMet na počátku proteinu
- DNA vazebné proteiny homologické s histony

Rozdíly ve třech doménách

Charakteristika	Archaea	Bakterie	Eukaryota
Jsou buněčné stěny tvořeny peptidoglykanem?	Nikdy	Vždy	Nikdy
Jaké jsou vazby membránových lipidů?	Eterová	Esterová	Esterová
Jaká je velikost ribozomů?	70s	70s	80s
Obsahuje většina genů introny?	Ne	Ne	Ano
Kolik druhů obsahuje histony?	Několik	Žádné	Všechny

Základní struktura buňky *Archaea*

- **Buněčná stěna**
- Cytoplazmatická membrána
- Základní cytoplazma

Buněčná stěna *Archaea*

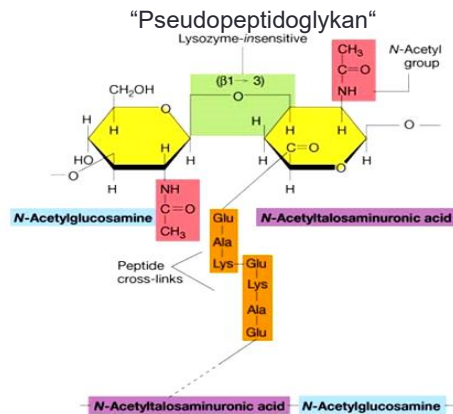
- Buněčná stěna má rozmanité chemické složení
- Není nikdy přítomný peptidoglykan jako u bakterií
- *Methanobacterium* sp. obsahuje v buněčné stěně glykany a peptidy

□ Glykany:

- N-acetylaminouronovou kyselinu a N-acetyl glukozamin
- NAU a NAG jsou spojeny **beta 1, 3 - glykozidickou vazbou**
- **Nejsou citlivé** na působení lysozymu

□ Peptidy:

- Krátké peptidické řetězce jsou připojeny k NAU
- Aminokyseliny jsou **pouze typu L**
- **Penicilin nepůsobí** na syntézu buněčné stěny *Methanosarcina* sp.



Buněčná stěna *Archaea*

- *Halococcus* sp. obsahují sulfátované polysacharidy
- *Halobacterium* sp. obsahuje v buněčné stěně negativně nabitě kyselé aminokyseliny, umožňující růst až od koncentrace 15 % NaCl
- *Methanomicrobium* sp. a *Methanococcus* sp. mají buněčnou stěnu tvořenu **pouze bílkovinnými podjednotkami**
- **Některá archaea buněčnou stěnu nemají** (např. *Thermoplasma*)
- **S -vrstva** u některých *Archaea* krystalická proteinová vrstva nad CM, funkce zatím neznámá



Základní struktura buňky *Archaea*

- Buněčná stěna
- Cytoplazmatická membrána
- Základní cytoplazma

Cytoplazmatická membrána – srovnání archeí, bakterií a eukaryot

Chrakteristika	Bakterie	Eukaryota	Archaea
Obsah proteinů	vysoký	nízký	vysoký
Složení lipidů	fosfolipidy	fosfolipidy	sulfolipidy, glykolipidy, nepolární izoprenoidní lipidy, fosfolipidy
Struktura lipidů	přímý řetězec	větvený	větvený řetězec
Lipidová vazba	Esterová ⁽¹⁾	Esterová	Eterová (di a tetraeterová)
Steroly	chybí ⁽²⁾	přítomny	chybí

(1) *Aquifex pyrophilus* obsahuje fosfolipidy a lipidy vázané eterovou vazbou

(2) Buňky bakterií bez buněčné stěny (*Mycoplasma*, *Ureaplasma*, *Spiroplasma*, *Anaeroplasma*) obsahují steroly

Stavba cytoplazmatické membrány u *Archaea*

Struktura se **zásadně liší** od CM bakterií a eukaryot

► Glycerol

Vazba buď na fosfát (stejně jako u bakterií a eukaryot) nebo na sulfáty a uhlovodíky (!), pak nejsou fosfolipidy strukturálními lipidy!!!

- bakterie a eukaryota – D-glycerol
- archea – L-glycerol

► Lipidy

Isoprenoidní uhlovodíky, ne mastné kyseliny

Rozvětvené, spojeny s glycerolem eterovou vazbou

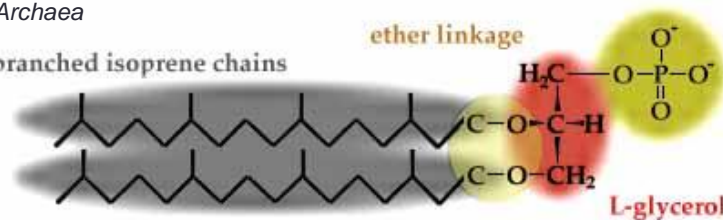
Různé struktury lipidů:

- glycerol dieter (glycerol + C₂₀)
dvouvrstevná membrána
- glycerol tetraeter (glycerol + C₄₀)
jednovrstevná membrána
- směs di- a tetra-: mono/bi - vrstevná membrána
- cyklické tetraetery (glycerol + >C₄₀) – až 5 nm membrána

Lipidy CM u bakterií a *Archaea*

Archaea

branched isoprene chains



Bakterie

unbranched fatty acids

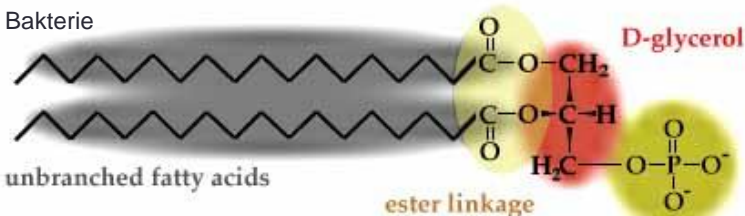
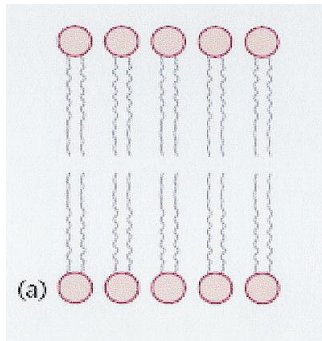
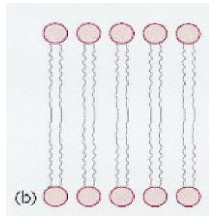


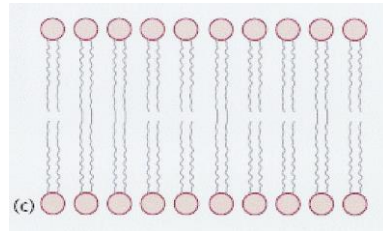
Schéma membrány tvořené monopolárními a bipolárními lipidy



a/ dvojvrstva s monopolárními lipidy

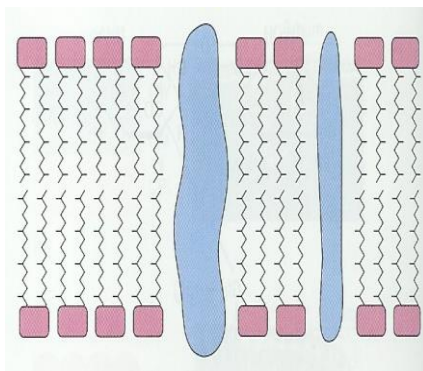


b/ bipolární lipidy v jednovrstevné membráně



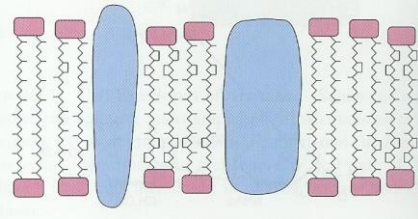
c/ směs mono- a bi- polárních lipidů v membráně

Model membrány *Archaea*



Membrána složená z integrovaných proteinů a dvojvrstvy **C₂₀ dieterů**

Membrána složená z integrovaných proteinů a dvojvrstvy **C₄₀ tetraeterů**



Cytoplazmatická membrána

- Diverzita ve struktuře membrány odpovídá podmínkám, ve kterých archea žijí
 - *Sulfolobus* (90 °C, pH 2) - rozvětvený řetězec C40. Rozvětvené řetězce zvyšují fluiditu membrány (nevětvené a nasycené mastné kyseliny mají opačný efekt) - zvýšená fluidita je nutná pro růst při vysokých teplotách (až do 110 °C, **hypertermofilové**)
 - *Halobacterium* - růst v nasycených roztocích solí
 - *Thermoplasma* - růst při vysokých teplotách - bez buněčné stěny

Základní struktura buňky *Archaea*

Buněčná stěna
Cytoplazmatická membrána
Základní cytoplazma

Organizace genomu

- Je podobná bakteriím
- Jeden cirkulární chromozóm
- Extrachromozomální elementy - plazmidy
- Odolnost genomu vůči denaturaci teplem
- Za zachování integrity genomu u extremofilů je zodpovědná :
 - Vysoká intracelulární koncentrace solí
 - DNA vázající proteiny (aka histony - proteiny podobné eukaryotním)
 - Aminokyselinové složení je podobné histonovým proteinům u eukaryot
 - Organizace DNA do chromatinu podobných struktur

Informace o genomu 202 zástupců domény *Archaea* (květen 2015):

<http://www.ebi.ac.uk/genomes/archaea.html> nebo

www.ncbi.nlm.nih.gov/genome/browse/

EMBL-EBI
ENA
 European Nucleotide Archive

Home Search & Browse Submit & Update About ENA Support

Genomes at EBI

- Complete genomes
- Archaea
- Archaeal virus
- Bacteria
- Eukaryota
- Organelle
- Phage
- Plasmid
- Viroid
- Virus
- Links
- WGS info
- EnsemblGenomes
- Ensembl
- Fasta33 Server

Genomes Pages - Archaea

202 organisms.

Accession numbers of all the entries listed below may be downloaded as a [text file](#) for use in downloading

A more-detailed, [tab-delimited list](#) is also available.

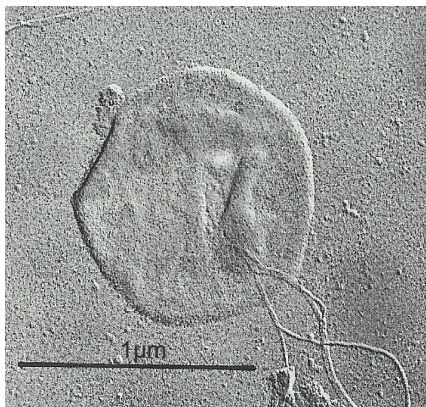
List of available genomes (on 5-MAY-2015)

	Description	Length (bp)	Sequence	
			Plain	FASTA
	Acidianus hospitalis			
1	Acidianus hospitalis W1	2,137,654	CP002535	C
	Acidilobus saccharovorans			
2	Acidilobus saccharovorans 345-15	1,496,453	CP001742	C
	Aciduliprofundum boonei			
3	Aciduliprofundum boonei T469	1,486,778	CP001941	C
	Aciduliprofundum sp. MAR08-339			
4	Aciduliprofundum sp. MAR08-339	1,437,090	CP003168	C
	Aeropyrum camini			
5	Aeropyrum camini SY1 = JCM 12091	1,595,994	AP012489	A

Ribozomy

- Ribozomy *Archaea* jsou složeny z **30S a 50S** podjednotek, tvoří jednotku o 70S, stejně jako bakterie
- Obsahují 3 rRNA molekuly (16S, 23S and 5S) a až 68 ribozomárních proteinů
- Primární sekvence archeálních rRNA a r-proteinů jsou bližší eukaryotním než bakteriálním
- Archeální ribozomy mají heterogenní složení proteinů, mohou obsahovat více či méně proteinů v závislosti na druhu
- Jejich počet závisí na metabolické aktivitě
- Obvykle se netvoří polyribozomy
- Ribozomy nejsou citlivé na působení chemických látek (stejně jako u eukaryot, ale ne u bakterií)
- Ribozomy extrémofilních archea vykazují specifickou adaptaci na životní podmínky. Mají více rigidní strukturu než ribozomy mezofilů. Halofilní ribozomy mají větší hydratační kapacitu díky své aciditě

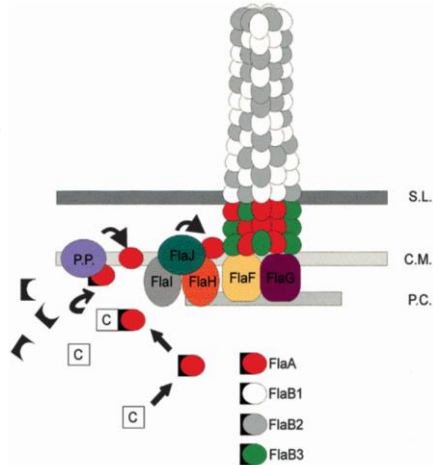
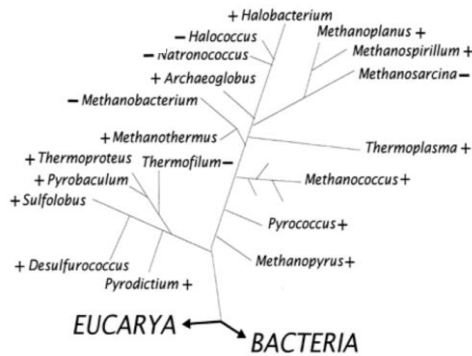
Bičíky



Archeoglobus fulgidus

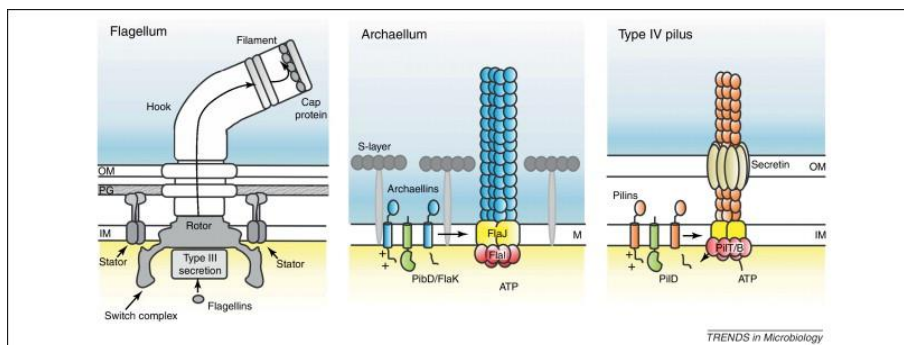
- Počet bičíků 1 -
- Počet bičíků se může měnit
- Bičíky může buňka snadno ztrácet
- Obvykle jsou lokalizovány na jedné části buňky nebo peritrichálně
- Ultrastruktura bičíku - základní stavební jednotka **archellin**
- Rotační pohyb bičíku - umožněn **ATP** !!
- Bazální část je kulovitá bez struktury disků
- 10-14 nm průměr (menší než u bakteriálního bičíku)

Archeální bičík – „archaellum“



Thomas, N. A., Bardy, S. L. and Jarrell, K. F. (2001), The archaeal flagellum: a different kind of prokaryotic motility structure. *FEMS Microbiology Reviews*, 25: 147–174

Flagellum x archaellum x pilus



K.F. Jarrell and S.V. Albers (2012), *Trends in Microbiology*, 20(7), 307-312.

Extrémně halofilní *Archaea*

Euryarchaeota

- Extrémně halofilní *Archaea*
- Metanogenní *Archaea*
- *Thermoplasmatales*
- *Thermococcales* a *Methanopyrus*
- *Archaeoglobales*
- *Nanoarchaeum* a *Aciduliprofundum*

Euryarchaeota

- Často osídlují extrémní prostředí
 - Např.: vysoká teplota, vysoká koncentrace solí nebo kyselin

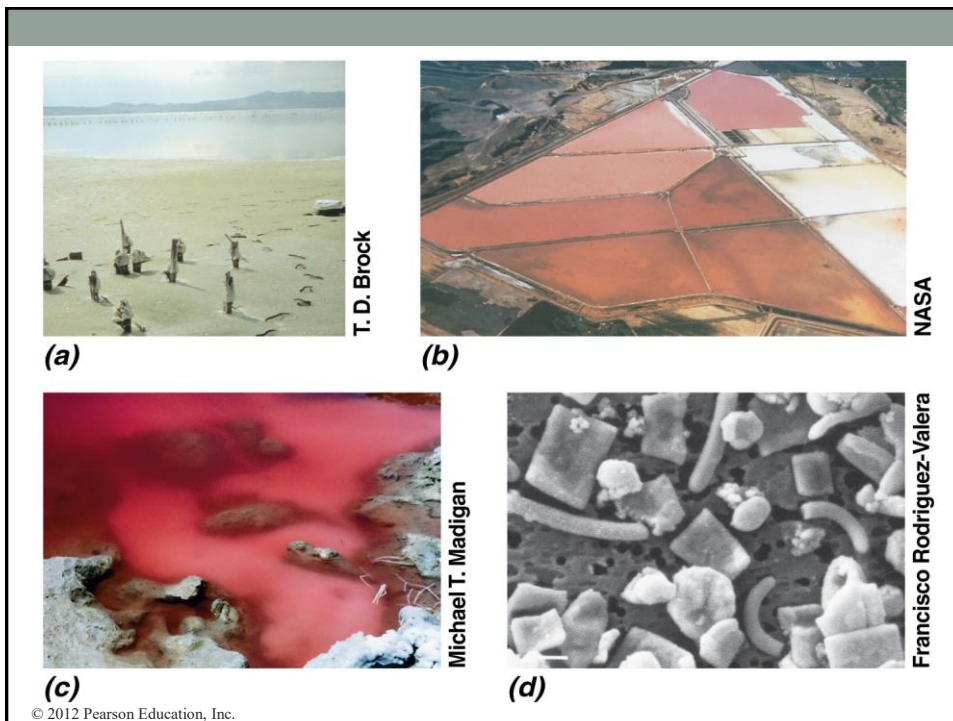


Euryarcheota

- *Euryarcheota* jsou velmi morfologicky i fyziologicky různorodá skupina
- Barví se grampozitivně nebo gramnegativně na základě přítomnosti či absence pseudomureinu v buněčné stěně
- U některých tříd se buněčná stěna skládá výhradně z proteinů nebo není přítomna vůbec (*Thermoplasma*)

Extrémně halofilní *Archaea*

- *Haloarchaea*
- Klíčové rody: *Halobacterium*, *Haloferax*, *Natronobacterium*
 - Extrémně halofilní *Archaea*
 - Vyžadují vysoké koncentrace solí v prostředí
 - Běžně vyžadují pro růst nejméně 1,5 M (~9%) NaCl
 - Vyskytují se v solených potravinách, nádržích pro solární odpařování mořské vody, ve slaných jezerech



Extrémně halofilní *Archaea*

- Extrémně hypersalinní prostředí jsou vyjímečná
 - Nachází se většinou v horkých, suchých oblastech světa
- Solná jezera se mohou lišit v zastoupení a koncentracích iontů, dochází zde k selekci určitých mikroorganismů
 - Velké Solné jezero



www.gslcouncil.utah.gov

Extrémně halofilní *Archaea*

- Rovnováha vodného prostředí
 - Halofilové potřebují k udržení osmotické rovnováhy akumulovat nebo tvořit vhodné roztoky
 - Rod *Halobacterium* namísto toho pumpuje do buněk z prostředí velká množství K^+
 - Vnitrobuněčná koncentrace K^+ převyšuje koncentraci Na^+ vně buňky, tím je získána pozitivní vodní bilance prostředí

Concentration of ions in cells of <i>Halobacterium salinarum</i> ^a		
Ion	Concentration in medium (M)	Concentration in cells (M)
Na^+	4.0	1.4
K^+	0.032	4.6
Mg^{2+}	0.13	0.12
Cl^-	4.0	3.6

^aData from *Biochim. Biophys. Acta* 65: 506–508 (1962).

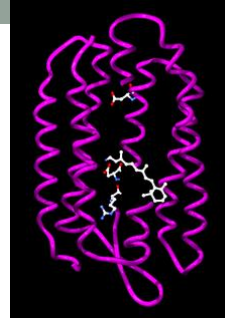
© 2012 Pearson Education, Inc.

Extrémně halofilní *Archaea*

- Bílkoviny halofilů
 - Vysoce kyselé
 - Obsahují méně hydrofobních aminokyselin a lyzinu
- Některá halofilní *Archaea* jsou schopna syntézy ATP při přítomnosti světla, ale **bez bakteriochlorofylu!**
- syntetizují "modifikovanou" cytoplazmatickou membránu – purpurovou membránu, obsahující **bakteriorodopsin** – (chromoforem je derivát retinalu - Ret)
 - *Bakteriorodopsin*
Bílkoviny cytoplazmatické membrány mohou absorbovat světelnou energii a pumpovat proteiny přes membránu

© 2012 Pearson Education, Inc.

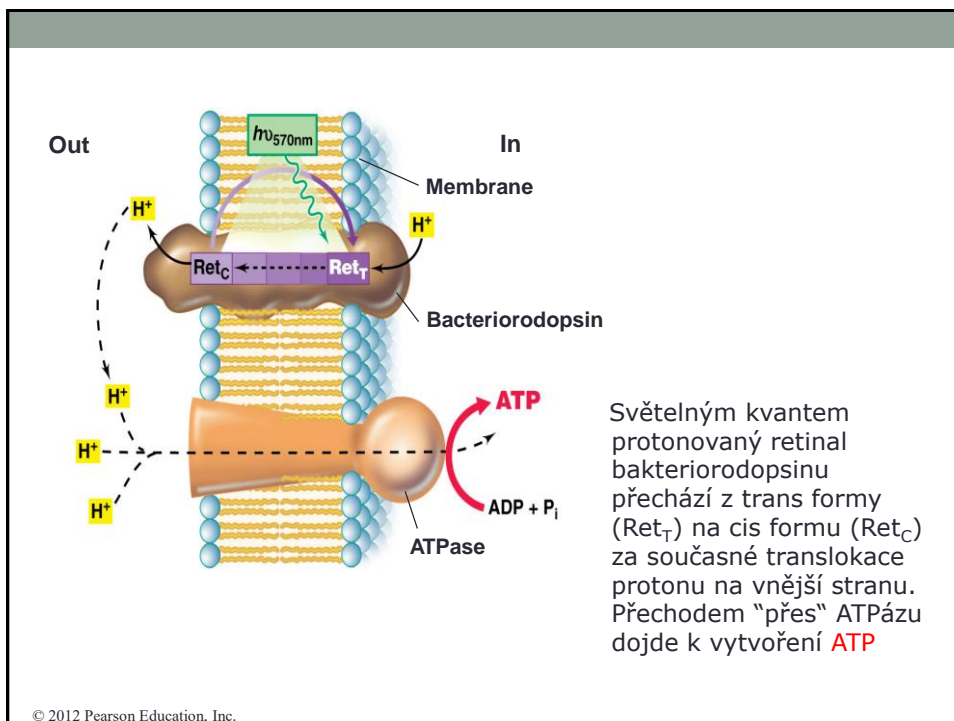
Energetický metabolismus halofilních *Archaea*



Model [bakteriorodopsinu](#) z archea [Halobacterium salinarum](#). (skutečná velikost: $3,6 \times 5,6$ nm)
Zdroj: www.cs.wikipedia.org

bakteriorodopsiny

- jeden zabezpečuje vytvoření protonového gradientu pro tvorbu ATP
- **halorodopsin** – zabezpečuje využití světla pro transport chloridových iontů do buňky
- dva vystupují jako fotoreceptory (jeden je červený a druhý modrý), mimo to řídí pohyb bičíků tak, aby buňka byla v co nejlepší poloze ke světlu (ve vodném prostředí)



Some genera of extremely halophilic Archaea

Genus	Morphology	Habitat
Extreme halophiles		
<i>Halobacterium</i>	Rods	Salted fish; hides; hypersaline lakes; salterns
<i>Halorubrum</i>	Rods	Dead Sea; salterns
<i>Halobaculum</i>	Rods	Dead Sea
<i>Haloferax</i>	Flattened discs	Dead Sea; salterns
<i>Haloarcula</i>	Irregular discs	Salt pools, Death Valley, CA; marine salterns
<i>Halococcus</i>	Cocci	Salted fish; salterns
<i>Halogeometricum</i>	Pleomorphic flat cells	Solar salterns
<i>Haloterrigena</i>	Rods, ovals	Saline soil
<i>Haloquadratum</i>	Flat squares	Salterns
Haloalkaliphiles		
<i>Natronobacterium</i>	Rods	Highly saline soda lakes
<i>Natrinema</i>	Rods	Salted fish; hides
<i>Natrialba</i>	Rods	Soda lakes; beach sand
<i>Natronomonas</i>	Rods	Soda lakes
<i>Natronococcus</i>	Cocci	Soda lakes
<i>Natronorubrum</i>	Flattened cells	Soda lakes

Metanogenni Archaea

Metanogenní *Archaea*

- Metanogeny
 - Klíčové rody: *Methanobacterium*, *Methanocaldococcus*, *Methanosarcina*
 - Mikroorganizmy produkující CH₄
 - Přítomni v různých složkách životního prostředí
 - Taxonomie založena na fenotypových vlastnostech a fylogenetickém původu
- Proces metanogeneze poprvé demonstrován před 200 lety - Alessandro Volta

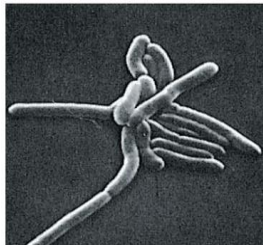


Zdroj: Department of Biology, University of York

Životní prostředí metanogenů

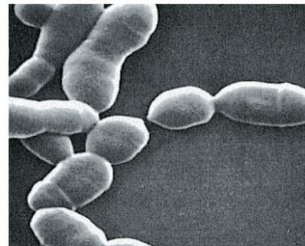
- 1/ Anoxické sedimenty: bažiny a mokřady, jezerní sedimenty, rýžová pole
- 2/ Trávicí trakt živočichů
 - a) Žaludek přežvýkavců
 - b) Slepé střevo koní a králíků
 - c) Tlusté střevo monogastrických živočichů – člověk, prase, pes
 - d) Zadní trávicí trakt celulolytického hmyzu, např. termitů
- 3/ Geotermální zdroje H₂ a CO₂, hydrotermální vřídla
- 4/ Biodegradační zařízení – kaly na čistírnách odpadních vod, bioplynové stanice
- 5/ Endosymbionti různých druhů anaerobních prvků

Fotografie některých metanogenů ze skenovacího elektronového mikroskopu



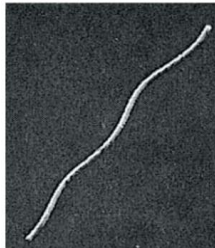
Alexander Zehnder

Methanobrevibacter ruminantium, 0,7 μm průměr



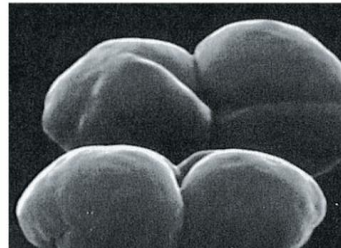
Alexander Zehnder

Methanobacterium kmen AZ, 1 μm průměr



Alexander Zehnder

Methanospirillum hungatii, 0,4 μm průměr



Alexander Zehnder

Methanosarcina barkeri, 1,7 μm průměr

Metanogenní *Archaea*

- Diverzita metanogenů – chemické složení buněčné stěny
 - Pseudomurein (*Methanobacterium*)
 - Methanochondroitin (*Methanosarcina*)
 - Bílkovina nebo glykoprotein (*Methanocaldococcus*)
 - S-vrstvy (*Methanospirillum*)



J. G. Zeikus and V. G. Bowen

Methanobrevibacter ruminantium, 0,7 μm průměr



J. G. Zeikus and V. G. Bowen

Methanosarcina barkeri, 1,7 μm průměr

TEM tenké řezy metanogenů

**Substrates converted to methane by various
methanogenic Archaea**

I. CO₂-type substrates

Carbon dioxide, CO₂ (with electrons derived from H₂, certain alcohols, or pyruvate)
Formate, HCOO⁻
Carbon monoxide, CO

II. Methylated substrates

Methanol, CH₃OH
Methylamine, CH₃NH₃⁺
Dimethylamine, (CH₃)₂NH₂⁺
Trimethylamine, (CH₃)₃NH⁺
Methylmercaptan, CH₃SH
Dimethylsulfide, (CH₃)₂S

III. Acetotrophic substrates

Acetate, CH₃COO⁻
Pyruvate, CH₃COCOO⁻

Energetický metabolismus - metanogeneze

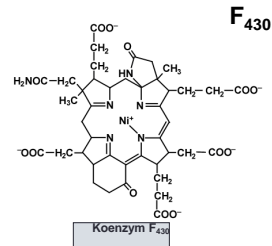
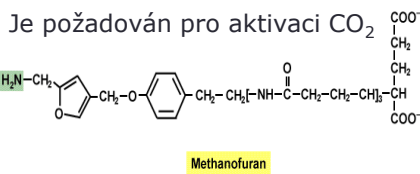
Charakteristika některých metanogenů

	Složení buněčné stěny	Substrát pro metanogenezi
<i>Methanobacteriales</i>		
<i>Methanobacterium</i>	pseudomurein	H ₂ +CO ₂ , formiát
<i>Methanothermus</i>	pseudomurein	H ₂ +CO ₂
<i>Methanococcales</i>		
<i>Methanococcus</i>	protein	H ₂ +CO ₂ , formiát
<i>Methanomicrobiales</i>		
<i>Methanomicrobium</i>	protein	H ₂ +CO ₂ , formiát
<i>Methanospirillum</i>	protein	H ₂ +CO ₂ , formiát
<i>Methanosarcinales</i>		
<i>Methanosarcina</i>	heteropolysacharid	H ₂ +CO ₂ , metanol, methylamin, acetát

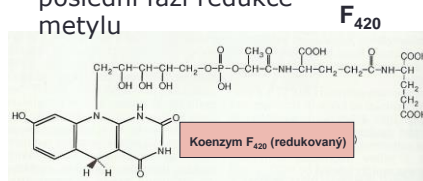
Energetický metabolismus metanogeneze

Specifické koenzymy

- Methanopterin
- Methanofuran
- Koenzym F₄₂₀
- Koenzym F₄₃₀
- Koenzym M
- HS-HTP



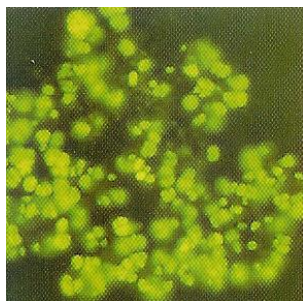
Zodpovědný za poslední fázi redukce metylu



Uplatňuje se v poslední fázi redukce jako donor elektronů, jeho vysoká koncentrace je zodpovědná za **autofluorescenci** metanogenů

Autofluorescence metanogenních *Archaea*

Za autofluorescenci metanogenních *Archaea* je zodpovědná přítomnost specifického přenašeče elektronů – koenzymu **F₄₂₀**



Methanosarcina barkeri



Methanobacterium formicum

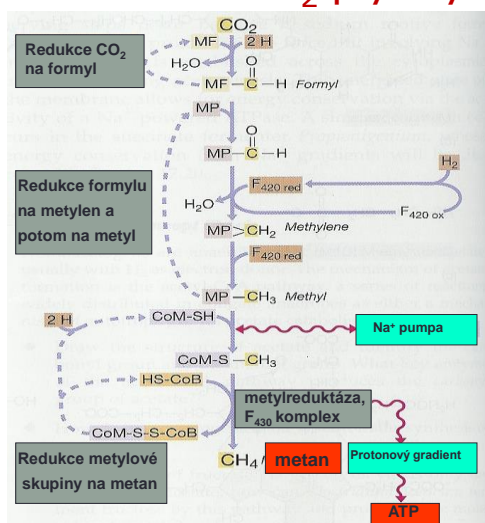
Energetický metabolismus - metanogeneze

I. Substrát typu CO₂ nebo CO

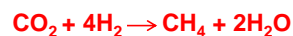
- Konečným produktem redukce je **metan**
- **Striktní anaerobové** (jsou podstatně citlivější ke kyslíku než denitrifikační nebo desulfurikační bakterie)
- Dvě skupiny metanogenních *Archaea*
hydrogenotrofní (hydrogenotrophic methanogenesis)
acetoklastická (aceticlastic methanogenesis)
- Jako zdroj vodíku a elektronů **nikdy** nevyužívají cukry a aminokyseliny
- Jako substrát slouží H₂, nižší mastné kyseliny, primární alkoholy, izoalkoholy,

Energetický metabolismus - metanogeneze

Redukce CO₂ plynným vodíkem



Elektrony pro redukci CO₂ jsou získávány z H₂, ale v některých případech i z jednoduchých organických látek

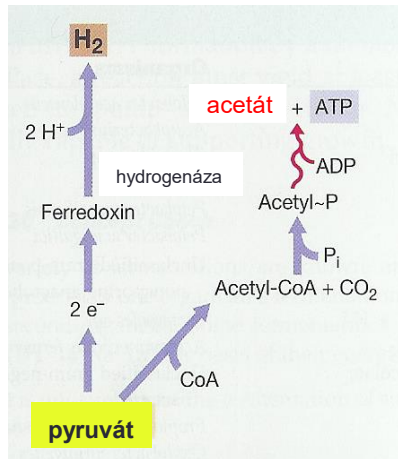


$$\Delta G_0' = -131 \text{ kJ/reakci}$$

MF – metanofuran
 MP – metanopterin
 CoM – koenzym M
 CoB – koenzym B

Organismus:
Methanosarcina barkeri

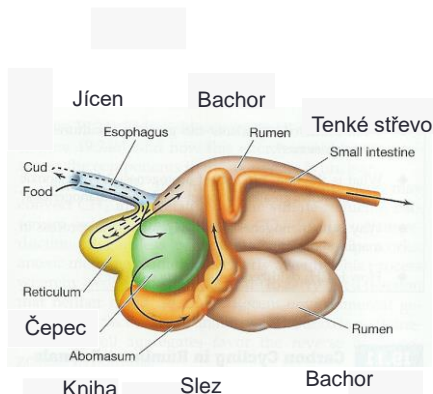
Energetický metabolismus - metanogeneze Přeměna pyruvátu na "vhodnější" substrát pro metanogenezi



- Pro metanogeny je výhodnější přeměnit pyruvát na acetyl-koA nebo acetát (navíc tímto krokem získají 1 mol ATP)
- Další produkty této konverze, H₂ a CO₂, jsou dále zařazovány do jejich metabolismu

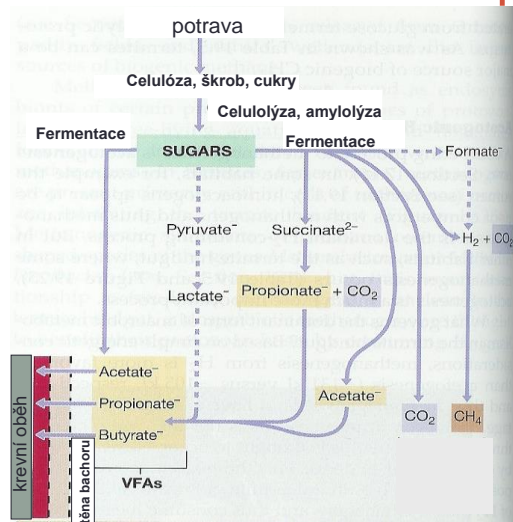
Tvorba metanu u přežvýkavců

Vývod



Bachorová mikrobióla vyprodukuje za 24 hodin 200 – 600 l metanu

Tvorba metanu u přežvýkavců



VFA – těkavé mastné kyseliny

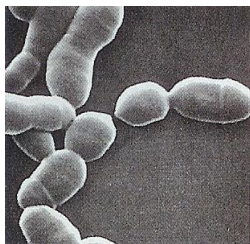
Stechiometrie při fermentaci v rumenu

57,5 **glukóza** →
 65 acetát +
 20 propionát +
 15 butyrát +
 60 CO₂ +
 35 CH₄ +
 25 H₂O

Obvyklý obsah VFA v bacheru:

60mM acetát, 20mM propionát, 10mM butyrát

Tvorba metanu u člověka



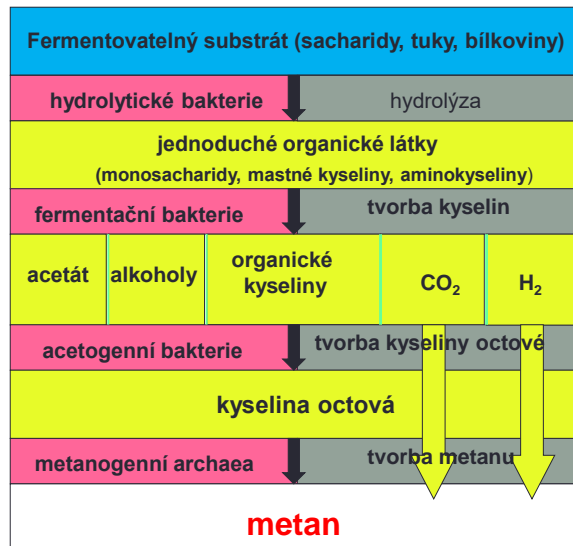
Methanobrevibacter smithii

- Metanogenní archea jsou u většiny lidí součástí normální mikroflóry tlustého střeva
- Dominantním metanogenem u člověka je ***Methanobrevibacter smithii***, který pro redukcí CO₂ využívá H₂ nebo formiát
- Počet *M. smithii* u jedinců, kteří produkují metan se pohybuje v rozmezí 10⁷-10¹⁰ CFU/g sušiny výkalů. To představuje asi 0,001-12 % celkového počtu živých buněk anaerobů. Počet buněk však velmi kolísá.

Mimo *M. smithii* je ve střevě přítomna *Methanosphaera stadtmaniae*, ale v podstatně menším množství

- Část vyprodukovaného metanu přechází do krve a je exkretován plícemi

Biochemické reakce při výrobě bioplynu



Největší zdroje metanu v přírodě

Zdroj	Vyprodukované množství (10 ⁹ kg/rok)	Podíl na atmosférickém metanu (%)
Rýžová pole	280	25
Bažiny	130-260	45
Přežvýkavci	101	20
Řeky, jezera	1,25-25	3-10
Oceány	5-8	4
Ostatní	15-26	-

Hypertermofilní *Archaea*

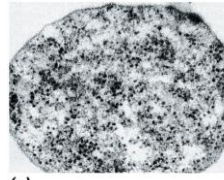
Thermoplasmatales

- *Thermoplasmatales*
- Klíčové rody: *Thermoplasma*, *Ferroplasma*, *Picrophilus*
 - Taxonomické zařazení do *Euryarchaeota*
 - Termofilní a/nebo extrémně acidofilní
 - *Thermoplasma* a *Ferroplasma* nemají buněčnou stěnu

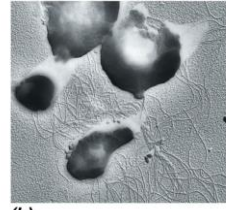
Thermoplasmatales

• *Thermoplasma*

- Chemoorganotrofní metabolismus
- Fakultativně aerobní – respirace síry
- Termofilní
- Acidofilní
- Vyskytují se v hromadách uhlí, kde probíhá proces „self-heating“



T. D. Brock



(b)

A. Segerer and K. O. Stetter



T. D. Brock

© 2012 Pearson Education, Inc.

Thermococcales a Methanopyrus

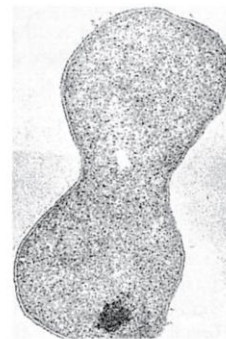
Tři fylogeneticky příbuzné rody hypertermofilních *Euryarchaeota*:

- *Thermococcus*
 - *Pyrococcus*
 - *Methanopyrus*
- } *Thermococcales* – anoxické termální vody, vysoce pohybliví



(a)

H. König and K. O. Stetter



(b)

G. Fiala and K. O. Stetter

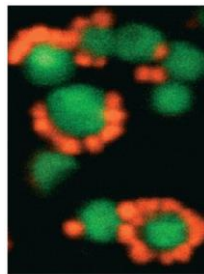
Sférická hypertermofilní *Euryarchaeota* z podmořských vulkanických oblastí

© 2012 Pearson Education, Inc.

Nanoarchaeum a *Aciduliprofundum*

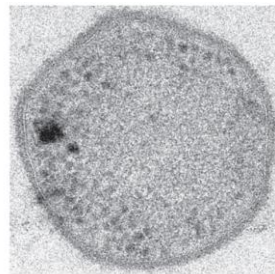
- *Nanoarchaeum equitans*

- Jeden z nejmenších buněčných organizmů (~0.4 μm)
- Obligátní symbiont (parazit) *Ignicoccus* (*Crenarchaeota*)
- Má nejmenší známý genom (0,49 Mbp)
- Postrádá geny pro základní molekulární procesy
- Závislý na hostiteli z hlediska většiny životních potřeb



Reinhard Rachel and
Harald Huber

(a)



Reinhard Rachel and
Harald Huber

(b)

© 2012 Pearson Education, Inc.

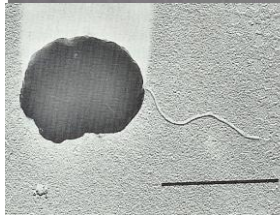
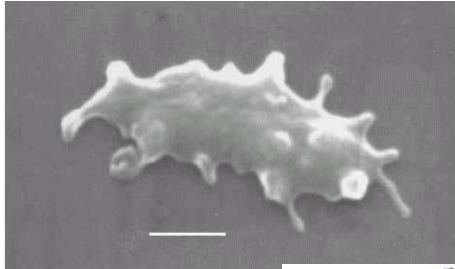


Universität Regensburg
[Lehrstuhl für Mikrobiologie &
Archaeenzentrum](#)
Dr. Harald Huber



Fermentory o objemech
7 až 300 litrů

Euryarcheota bez buněčné stěny



T. volcanium –
z horkých pramenů



Kmen **Euryarcheota**
Třída **Thermoplasmata**
Řád **Thermoplasmatales**
Čeleď **Thermoplasmataceae**
Rod **Thermoplasma**

- G⁻ buňky pleomorfní (od sférických struktur po vláknité) - podle teploty
 - Buňky **nemají buněčnou stěnu**, jsou obklopeny jednoduchou trojvrstevnou membránou (lipopolysacharidy, glykoproteiny, větvené diglycerol tetraetery), mohou být pohyblivé jedním bičíkem.
- DNA je stabilizována specifickým histonu podobným proteinem.

Fakultativně aerobní, obligátně termoacidofilní, optimální teplota pro růst je 55 až 60°C a pH 1,0 až 3,0. energii získávají anaerobní respirací (redukci síranů).

T. acidophilum obsahuje **1100 kbp**; **kóduje ale 68 proteinů, které se nenachází u jiných archeí.**

Vyskytují se na uhelných haldách a v kyselých solfatarových polích

Crenarchaeota

Crenarcheota

- Zástupci *Crenarchaeota* jsou aerobní, fakultativně anaerobní nebo anaerobní
- Metabolismus je chemoautotrofní nebo chemorganotrofní
- Řada z nich využívá síru nebo železo pro tvorbu energie za striktně aerobních podmínek
- Některé druhy patří mezi **primární producenty** (organickou hmotu vytvářejí z CO₂ jako jediného zdroje uhlíku)
- Pro většinu je zdrojem energie organická látka – aerobní nebo anaerobní respirace nebo kvašení

Crenarcheota

- Za anaerobních podmínek je možná i tzv. "S⁰/H₂ autotrofie"
$$8\text{H}_2 + \text{S}^0 \rightarrow 8 \text{H}_2\text{S},$$

kdy se vytváří nadměrné množství H₂S
- Některé obsahují "solfapterin", který je podobný koenzymu F₄₂₀. Tento koenzym je typický pro metanogeny
- Zástupci řádu *Sulfolobales* obsahují specifický chinon "sulfolobus quinone – SQ", který se vyskytuje u některých druhů v největším množství za aerobních podmínek a u jiných naopak za podmínek anaerobních

Prostředí a energetický metabolismus

- *Crenarchaeota*

- Osídlují teplotně extrémní prostředí
- Většina kultivovaných zástupců jsou hypertermofilové, nachází se v extrémně teplých prostředích
- Jiné zástupce izolujeme naopak z extrémně chladných prostředí
- Většinou jsou obligátní anaerobové
- Chemoorganotrofové nebo chemolitotrofové s různými donory a akceptory elektronů



Páry sirovodíku

T. D. Brock



Na síru bohaté horké prameny (*Sulfolobus*)

T. D. Brock



Imperial Geyser, pH 7

T. D. Brock



Na železo bohatý geotermální pramen (*Sulfolobus*)

T. D. Brock

**Yellowstone National Park
(Wyoming, USA)**

© 2012 Pearson Education, Inc.

Energetický metabolismus u *Archaea*

- Aerobní respirace (*Halobacterium*)
- Anaerobní respirace: unikátní respirace CO_2 (metanogeneze), sulfátu, síry
- Chemolitotrofie sloučenin síry a železa
- Fotofosforylace pomocí bakteriorodopsinu
- Metabolismus uhlíku – heterotrofie a autotrofie:
 - Oxidace cukrů (*Entner-Doudoroff*)
 - Zvláštní mechanismy asimilace CO_2

Biotechnologický potenciál *Archaea*

- Odpadové hospodářství (společenstva s *Bacteria*)
- Proteiny S-vrstev (ultrafiltrace, nanotechnologie)
- Enzymy termofilů (hydrolýza sacharidů, proteinů, restriční endonukleázy)
- Modely pro testování kancerogenity
- Biosensory, mikroelektronika (bakteriorodopsin, membrány halobakterií)
- Produkce plastů na základě zásobních polymerů
- Biologické loužení rud