

7. ELIÖKUNNAN MONIMUOTOISUUS TÄNÄÄN

Helposti havaittavan aerobisen eukaryoottilajiston sijaan tässä esitellään vain

Äärimmäiset elinympäristöt
ja niissä elävät ekstremofiilit

7.1. Äärieliöiden nimistöä

-trofit:

Kertoo eliön ravinnon ja energian lähteen

- Autotrofit eivät riipu muista
 - Kemotrofit käyttävät hiilidioksidia ainoana hiilen lähteenä ja kemiallisia yhdisteitä energian lähteenä
 - Fototrofit käyttävät hiilidioksidia ainoana hiilen lähteenä ja fotosynteesiä energian lähteenä
- Heterotrofit syövät edellisiä
- Hienompia versioita olemassa esim. Kemolitotrofi



-fiilit

- Kertoo kasvuolosuhteet
- termofiilit kasvaa $>50\text{C}$:ssa
- hypertermofiilit kasvaa $>90\text{C}$:ssa, optimi $>90\text{C}$,
ja voi kasvaa jopa 121C :ssa
- psychrofiilit optimi kasvulämpötila $<15\text{C}$, max 20C
- asidofiilit $\text{pH}<2$
- alkalifiilit $\text{pH}>10$
- barofiilit kasvaa optimaalisesti kovassa paineessa
- halofiilit kasvaa hyvin suolaisessa ympäristössä
- radiofiilit? kasvaa säteilyssä (ei virallisesti luokiteltu)

Muut

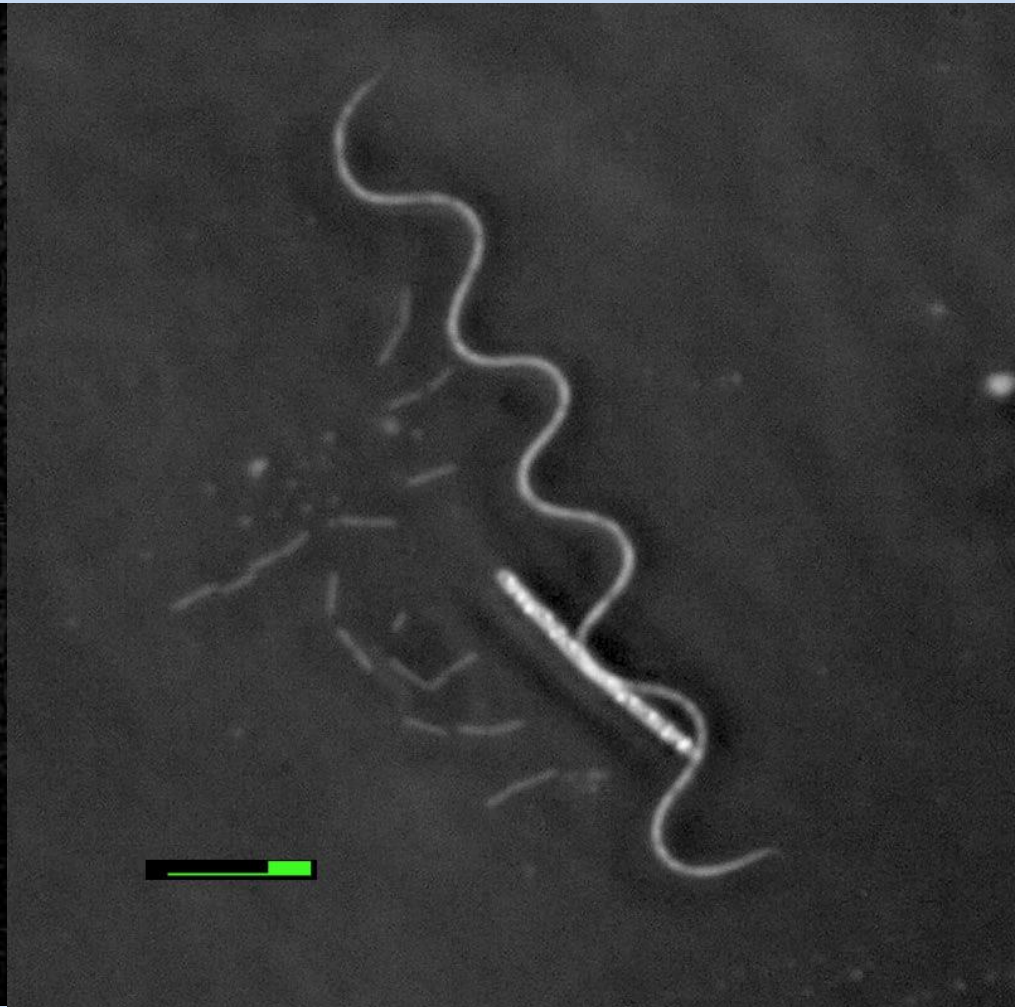
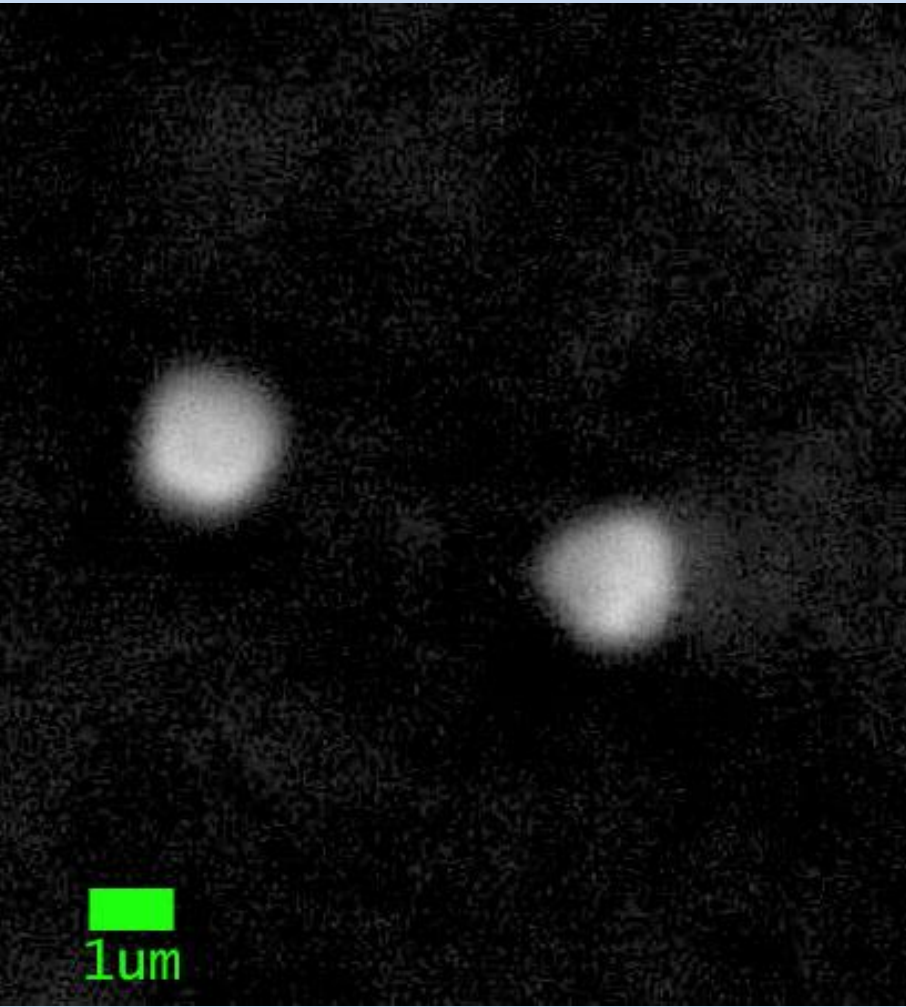
- Aerobiset
 - kykenee käyttämään happea
 - solun metabolia perustuu hapettavaan hengitykseen
- Anaerobiset
 - kasvaa hapettomassa
 - fermentoiva tai esim. rikkiä hengittävä (ilman happea!)
- Fakultatiivisesti anaerobinen
 - Kykenee molempiin edellisiin (esim Escherichia coli)
- Mikroaerofiilinen
 - kykenee kasvamaan vain vähähappisessa, ei kasva 21% hapellisessa ympäristössä

7.2. Ekstreemejä elinympäristöjä

Kivensyöjät

- Endoliittejä
- Kemotrofeja
- Kivessä elää mikrobeja ainakin 3.5, ehkä 6 kilometrin syvyyteen asti
- Biomassa pinnan alla ehkä jopa enemmän kuin maan päällä (?)
- Elintoiminnot erittäin hitaita
- On voinut olla elämän ensimmäinen ympäristö ja pakopaikka katastrofeissa.
- Marsilaiset tällaisissa paikoissa?

Archaea / Bacteria



Happamat paikat: Suolisto ja happojärvet

- Asidofiilejä
- Bakteerit ja arkit usein myös termofiilisiä
- Eukaryootteja elää myös kyseisissä ympäristöissä (katkarapuja)
- Mahalaukku (pH 1-2), rikkihappojärvet kaivoksissa, kuumat lähteet
- pH = 0:ssa tiedetään elävän 4 erilaista eukaryoottia ja 2 prokaryoottia (arkkeja)
- Alkumeret lienevät olleet happamia!

Emäksiset paikat: Viemärit ja alkaalijärvet

- Alkalifiilejä
- Soodajärvet (pH 11.5 asti), Rautakaivoksen kuonajärvi (pH 12.8)
- Paljon lajeja ja biomassaa, kaikki prokaryootien päätaksonit
- Alkaliset syanobakteerit tarvitsevat paljon Na⁺ ioneja
- Chicagon lähellä Lake Calumetin seudulla rautakaivoksen kuona-altaat joiden pH 12.8, joissa ainakin Clostridium ja Basillus ja Proteobakteria-lajeja.
- Sopeutuminen ...

Suolaiset ympäristöt

- Esim. Kuoleman laakso, Kuollut Meri, suolakiteet ja suolasilakka
- Halofiileja
- Kaikista eliökunnan päähaaroista, mutta äärimmäiset halofiilit kaikki prokaryootteja
- Suolakiteiden sisältä ”herätetty” henkiin 130 miljoonaa vuotta vanhoja prokaryootteja
- Jopa saturoituneissa suolanhaihdutusaltaissa (Halobacterium, Halococcus, Haloferax)



Kuumat ympäristöt

- Termofiilejä ja hypertermofiilejä
- Kuumat lähteet ja mustat savuttajat
- Kuumat öljykentät
- Lämpökeskusten jätevesien laskupaikat
- Näiden reunoilla yleensä jyrkkiä lämpötilagradientteja
- Vain arkkeja ja bakteereja



Zygonium sp





Syanobakteereita kuumalla lammella

Kylmät paikat

- Psykrofiilejä kaikissa eliökunnan päähaaroissa
- Himalaja, ikirouta, Etelämanner, valtamerien pohjat
- Kylmässä vähän aktiivista elämää
- Hyttynen (midge) *Diamesa kohshimai* naaras – 18C:n lämpötilassa
 - liikkuu jatkuvasti 150m päivässä, öisin lumen alla
 - toukat lumen sulavedessä ja koiraat lumirajalla
 - hyperaktivoituu ja halvaantuu kämmenelle otettuna
- Toimintakykyisiä prokaryootteja löytyy alle –15C.
- Monet eliöt kykenevät siirtymään erilaisiin itiö- tai lepomuotoihin kylmän kestämiseksi
- kaikki (?) lajit kestävät nestemäisen tyypin 77K= –196C
- Normaalien elintoimintojen raja tavallisesti noin 0C

Esimerkki:

SYANOBAKTREERIT:

Sitkeimpiä kylmien ja kuivien olosuhteiden selviytyjiä.



Lämpötilat (Etelänapamantereella):

talvi: $-40 - -70$ °C (min -89 °C)

kesä: $-5 - +5$ °C (max $+15$ °C)

Kovia tuulia, vähäinen sademäärä
korkea UV-B säteily



Hapeton ympäristö: Viemäri ja suolisto

- Anaerobisia
- Löytyy kaikissa päähaaroissa, vaikkakin vähemmän eukaryooteissa, jotka ehkä sopeutuneet tähänkin ympäristöön.
- Laajalti levinneitä
- Yhtään tunnettua obliigaattisesti anaerobista fototroofia ei ole löydetty.
- Jotkut fototrofit selviävät hapettomissa olosuhteissa (esim. 99% CO₂)
- Alkuperäisempi ympäristö kuin hapellinen!
- Välimuotona mikroaerofiiliset

Hapellinen ympäristö

- Esim. ”ruokamulta” – tai tämä meidän ”normaali” ilmanala
- Aerobiset
- Kaikki eliökunnan päähaarat
- Useimmat ”normaalit” oliot – vai onko?
- Happea käyttävä solun hengitysreaktio on tehokkain energian tuottaja.
- Eukaryooteilla solun symbioosi mitokondrion kanssa edesauttoi eukaryoottien nopean kehityksen

Erikoisia 1: Jäätä merenpohjalla - Metaanihydraattijää

- Metaanihydroksidijäätä löytyy merenpohjalta yli 300 m syvyydestä esim Meksikon lahdelta
- Jäässä elää 1-2 senttin mittaisia matoja jotka nauttivat jäätä ravinnokseen
- Googlella haku sanoilla Methane ice tai Methane calthrate worm

Hesiocaeca methanicola

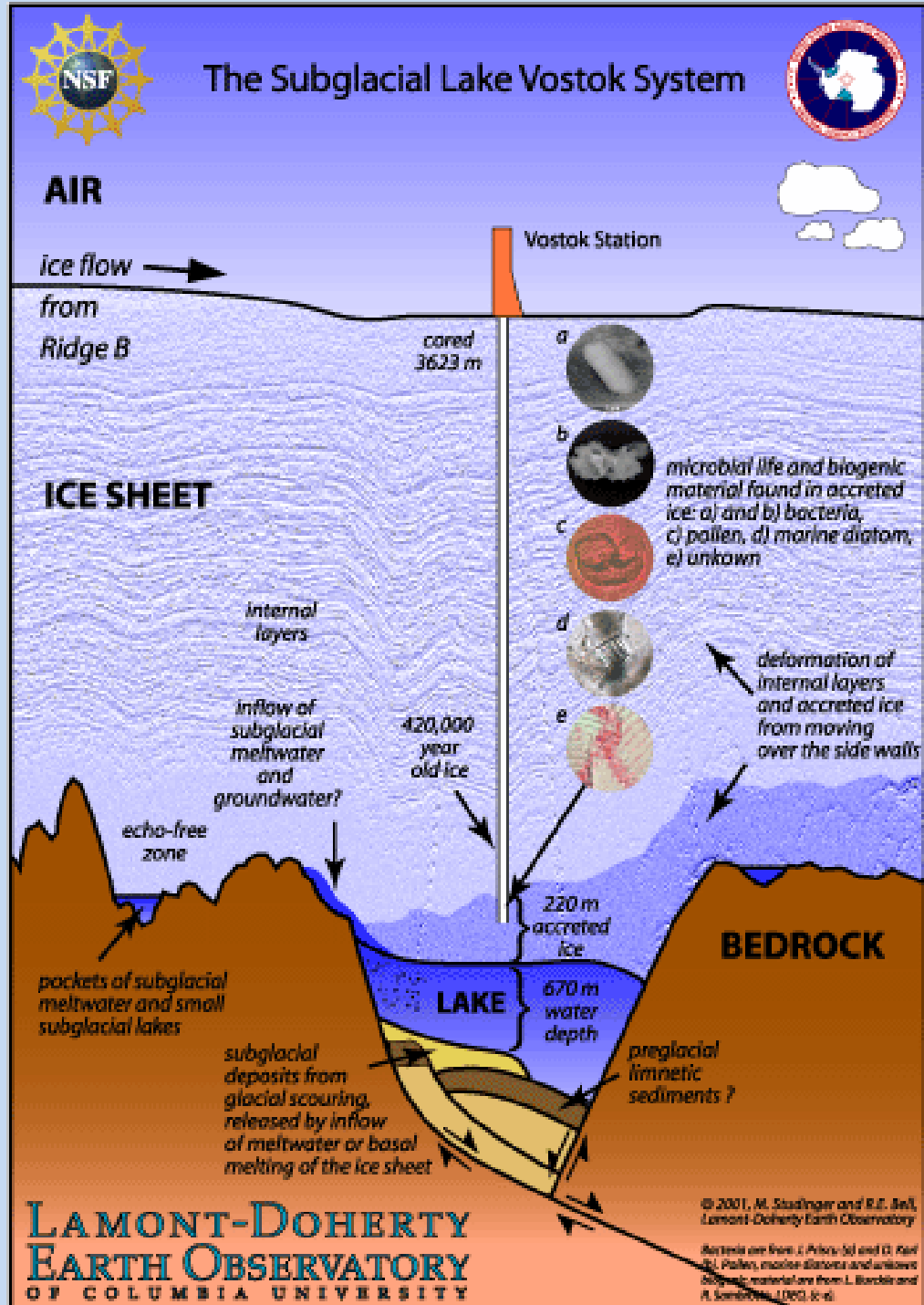
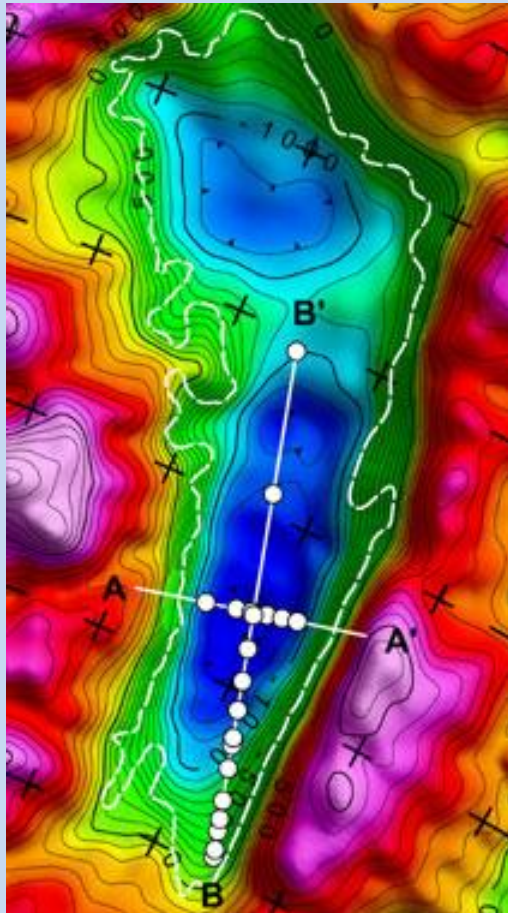
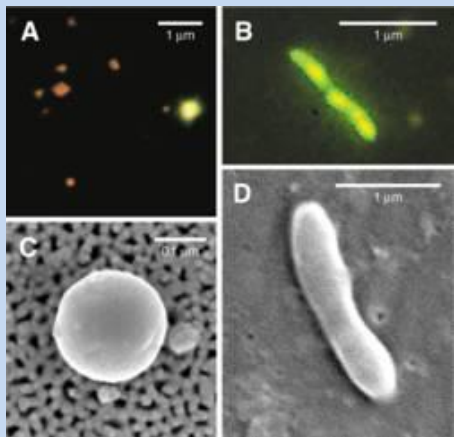


Erikoisia 2: Kovan paineen alla

- Barofiilit
- Meren syvimmissä kuopassa Challengerin syvänteessä Mariaanien haudassa (1100 baria!) on ylettömän paljon merikurkkuja!
- Kalojakin tavataan suurissa syvyyksissä kuten myös kaikkia eliökunnan päähaarojen edustajia.
- Kovaan paineeseen tottuneet eliöt ”räjähtävät” matalaan paineeseen tuotaessa.
- Normaalipaineessa elävät eivät normaalisti kestä pariakymmentä baria painetta.

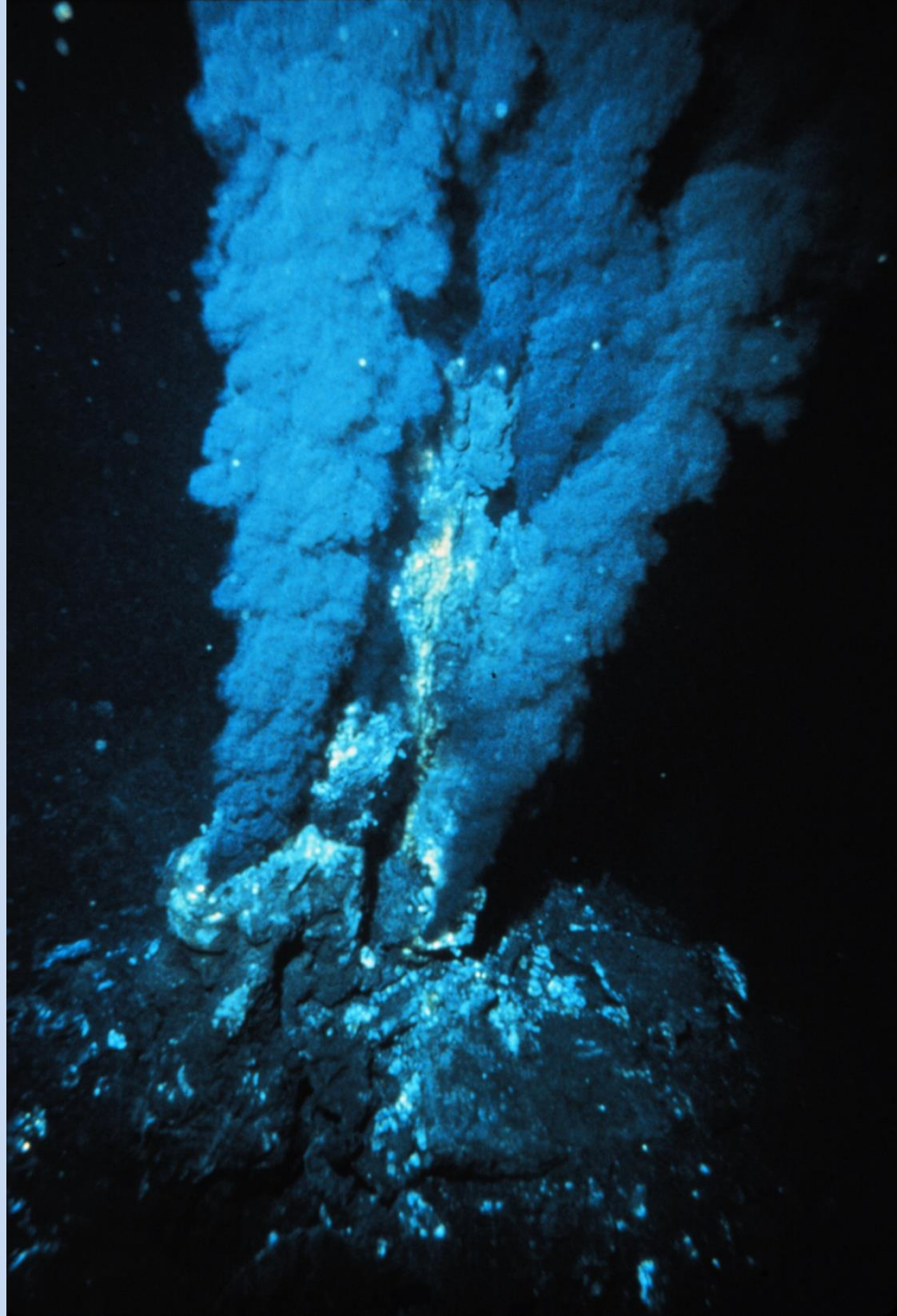
Erikoisia 3: Vostokjärvi

- Erikoinen yhdistelmä äärioloja: Kylmä, kova paine, pimeä, kaasupitoinen.
- Melkein 4 kilometriä paksun jään alla.
- Porausreikä on pysäytetty noin 200m päähän järven veden pinnasta. Porausreiän pohjan sohjosta löytyy joitakin eliöitä.
- Ollut "loukussa" 400 000 vuotta
- Saattaa muistuttaa Jupiterin kuu Europaa
- Hae googlella hakusanoilla Lake Vostok



Erikoisia 4: Hormeja meren pohjalla - Mustat ja vaaleat savuttajat

- Atlannin keskiharjanteella, ja tyynessä valtameressä esim. Tyynen valtameren laatan ja Nazca laattojen erkaantumiskohdissa
- 0.5-3km syvyydessä, 400C→2C, vähän O₂ ja Mg, pelkistyneitä yhdisteitä H₂S, H₂, CH₄, Mn, Fe, Be
- Tornimaisia ~10m korkeita rautasulfidirakenteita, joista pulppuaa rautasulfidisavua.
- Lyhytikäisiä, mutta löytyy fossilleistakin
- määrällisesti ERITTÄIN runsas eliöstö, lajistollisesti köyhä, pitkälti kemotrofinen yhteisö



Erikoisia 5: Stratosfääri ja muut korkeankammottomat

- Suomukorppikotkan törmäys lentokoneeseen (11300m) Abidjanin yllä (Guinness 2004)
- Bakteereita ja sienten itiöitä väitetään tavatun jopa 40 km korkeudesta.
- Tropopausin (10-18km) alapuolella jo runsaasti erilaista leijuvaa ja lentävää eliöstöä.
- Tuskin pystyvät lisääntymään ilmassa leijuvina.
- Apollo 12 maahan maahan palauttama Surveyor III luotaimen kameran sisältä löytyi 50-100 *Streptococcus mitis* bakteeria. Jos ei kontaminaation tulos, niin oli selvinnyt yli 3 vuotta tyhjiössä.
- *Bascillus subtilis* bakteereja altistettu lepoitiöinä avaruuden olosuhteille 6 vuoden ajan BIOPAN kokeissa.

Erikoisia 6: Ydinreaktorit

- *Deinococcus radiodurans* selviää kovasta säteilystä. Lepotilassa sillä on 10 kopiota DNAsta ja aktiivitulassa ”vain” 4, joita se kykenee paikkaamaan jatkuvasti.
- Tshernobylin ydinreaktorin kuumassa ytimestä näyttää kasvavan jokin sienilaji, ehkä jopa säteilyhakuisesti (Henk. koht. comm.)

Sula magma/Laava

- Sulasta magmasta (1200C) tuskin kukaan lienee hakenut elämää.
- Muutaman tunnin kuluttua elämä jo asettuu laavalle.
- Havaijilla, 1.5km maanpinnan alta tulivuoresta löytyy prokaryootteja.

7.3. Miten ääriolosuhteissa tullaan toimeen?

1. Sopeutuminen kuumaan ja suolaiseen ympäristöön (ongelma makromolekyylien hajoaminen):

Molekyylitason sopeutumismekanismeja arkeilla:

- DNAn stabiilisuutta lisäävät
 - käänteis-gyraasi-entsyymi => lisää DNA:n kierteisyyttä
 - histoni-proteiinit ja muut DNAta sitovat proteiinit => stabiloivat DNAta
- Kalvojen stabiilisuutta ja suolan kestoja lisäävät
 - lipideissä rasvahappojen ja glyserolin välissä eetterisidokset arkeilla. Bakteereilla ja eukaryooteilla on vastaavasti esterisidokset.
- Entsyymien pinnalla happamia aminohappoja (COO^-) (esim. Asp. Glu) => sitovat suolaineita ja vettä

(Jatkuu...)

2. Sopeutuminen kylmään ja kuivaan (ongelmat: rakenteiden ja kalvostojen jäykistyminen, jääkiteiden muodostuminen):

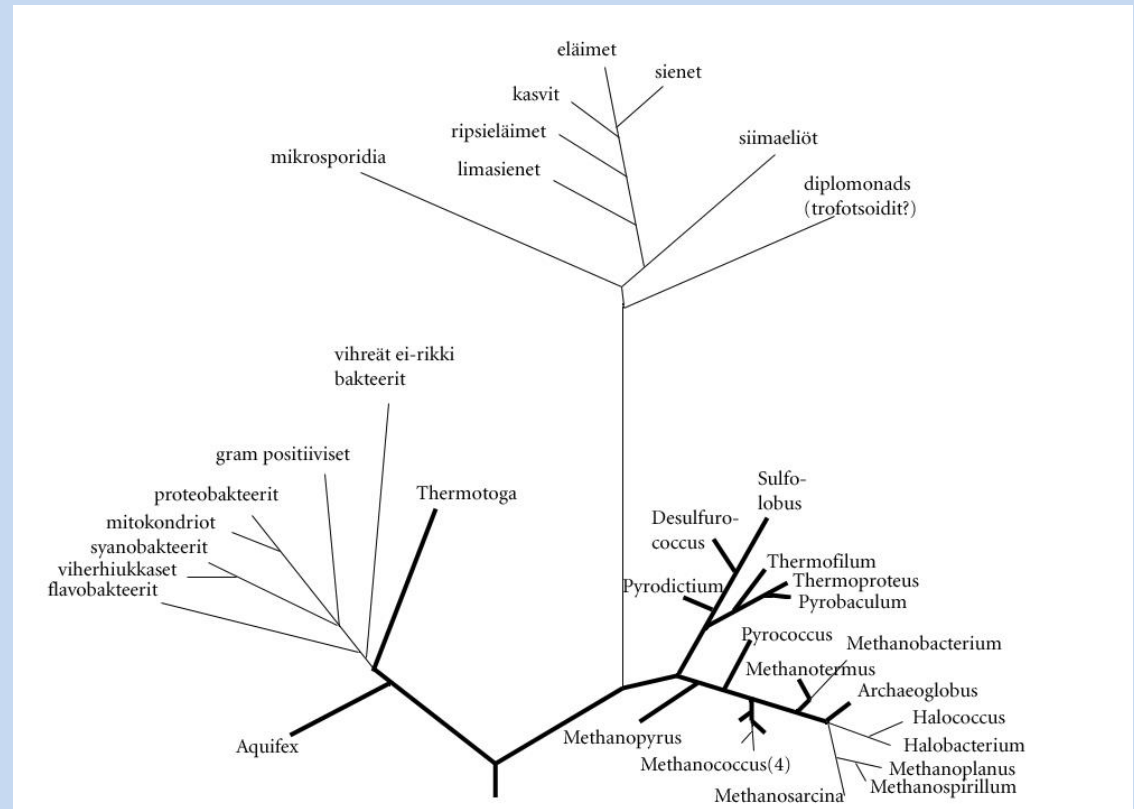
- Entsyymi-proteiineissa vähemmän ionisia sidoksia ja vähemmän hydrofobisia aminohappoja → rakenne joustavampi
- Membraanilipideissä enemmän monityydyttämättömiä rasvahappoja → kalvot pysyvät pehmeämpinä, 'juoksevina'
- Solut tuottavat jäätymistä estäviä suoja-aineita:
 - sokereita
 - aminohappoja
 - alkoholeja
 - proteiineja

Jatkuu edelleen...

- Suolaan ja happamaan sopeutumista edesauttaa:
 - Solun sisäinen pH pysyy neutraalina (=7), muuten puriinit irtoaisivat DNASTA ja ATP hajoaisi
 - Solut säätelevät osmoottista painetta ja solun sisäistä ionikonsentraatiota

7.4. Ekstremofiilien sijainti fylogeneettisessä puussa.

- Hypertermofiilit ja termofiilit lähellä puun juurta.
- Muut ekstremofiilit seuraavaksi lähempänä.



7.5. Ekstremofiilien kemotrofiset metaboliat

- Neljää päätyyppiä (mutta muitakin löytyy)
 - Rikkiä käyttävät
 - Lähinnä elämän puun juurta
 - Rautaa käyttävät
 - Metaania tuottavat
 - Vetyä happettavat
- Ei lainkaan eukaryooteissa

(Martin ja Russell, Phil Trans R Soc Lond B, 358, 59-85, 2003, Pilcher, C.B., Astrobiology, 3, (3), 471-486)

Rikkiä käyttävät metaboliat

- $\text{H}_2 + \text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S}$, Orgaaninen + $\text{S}^0 \rightarrow \text{H}_2\text{S} + \text{CO}_2$
 - S^0 elektronin vastaanottaja (vrt O_2 aerobisessa)
 - H_2 on yleisin elektronin luovuttaja (=energian lähde)
 - Rikin hengittäjät:
 - Rikin pelkistys yleisin energiaa tuottava reaktio elämänpuun juuressa.
 - Rikkiä oli satavilla elämän alun aikoihin ilmakehässä tai esim Rautasulfidin (FeS) reagoiessa hakan kanssa kuumissa lähteissä.
 - $\text{H}_2\text{S} + \text{FeS} \rightarrow \text{FeS}_2$ (pyriitti) + H_2
 - *Pyriittiä tuottavaa reaktiota on ehdotettu rikkimetabolian esiasteeksi.*
- $\text{H}_2\text{S} + \text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- + \text{S}^0 + \text{H}_2\text{O}$ (*Ferroglobus*), $2\text{S}^0 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ (Asidofiilit)
 - S on elektronin luovuttajana

Metaania tuottavat arkit

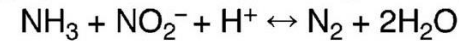
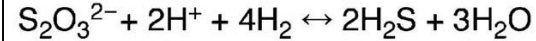
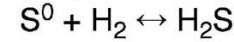
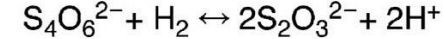
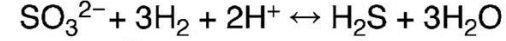
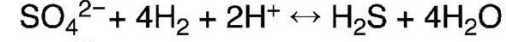
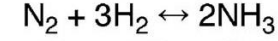
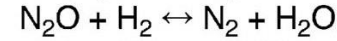
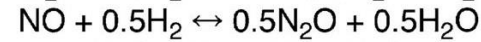
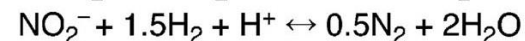
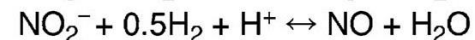
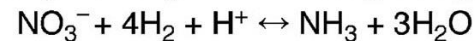
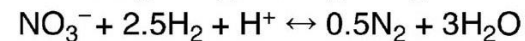
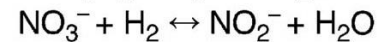
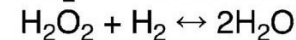
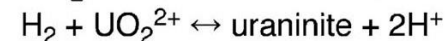
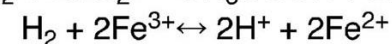
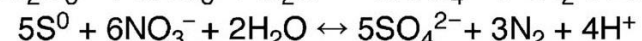
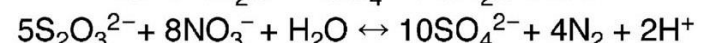
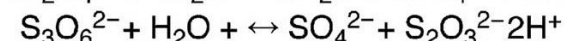
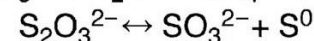
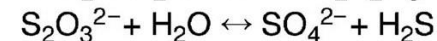
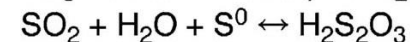
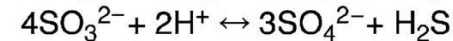
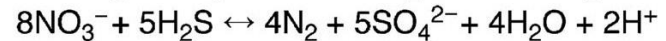
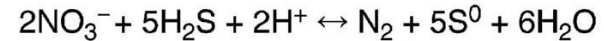
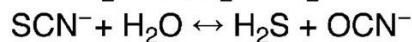
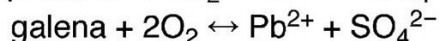
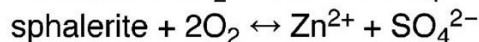
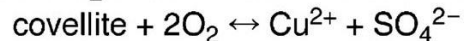
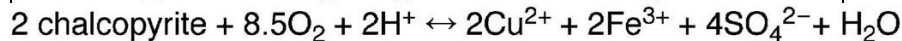
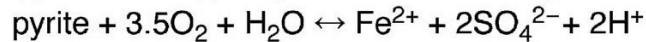
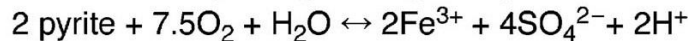
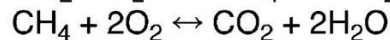
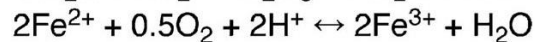
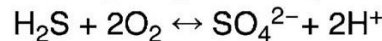
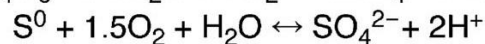
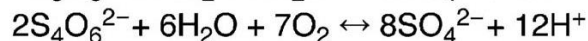
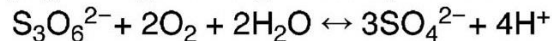
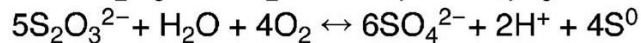
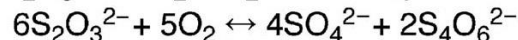
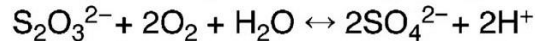
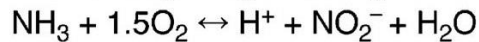
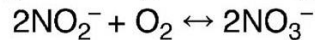
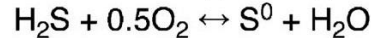
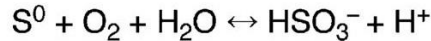
- Esim: $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- Kaikki ovat ehdottoman anaerobisia, ja menehtyvät jos saavat vähänkin happea.
- Erittäin läheistä sukua rikkimetabolialle
- Monet pystyvät myös pelkistämään S:ä H_2S :ksi
- Metaanin tuotto on saattanut olla tärkeä seikka maan lämmittämiseksi alkuaikoina
- Merkittäviä määriä edelleen lehmän pötsissä, termiittikeoissa ja soissa.

Rautametabolia

- $\text{H}_2 + 2\text{Fe}^{3+} \rightarrow 2\text{Fe}^{2+} + 2\text{H}^+$
 - Rauta pelkistyy
 - Rauta toimii myös elektronin luovuttajana monilla rikinhengittäjillä
 - Oli vaikeasti saatavilla alkumaassa?
- Hapettamalla (anaerobisesti) $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$:
 $2\text{FeCO}_3 + \text{NO}_3^- + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow$
 $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{NO}_2^- + 2\text{HCO}_3^- + 2\text{H}^+ + \text{H}_2\text{O}$ (*Ferroglobus*)
 - Rauta on tässä H_2 :n paikalla
 - Voisi selittää ensimmäiset heikot BIFit (Banded Iron Formation) noin 3.8 G vuotta sitten.
- Ferric Iron = Fe^{3+} ; Ferrous Iron = Fe^{2+}

Bakteerien energiantuottoreaktioita

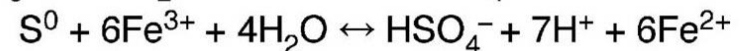
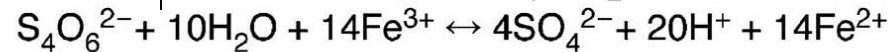
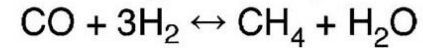
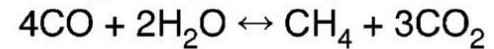
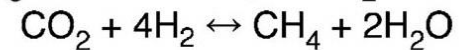
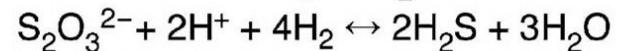
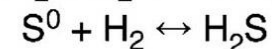
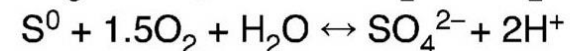
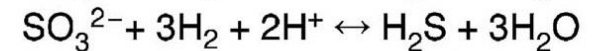
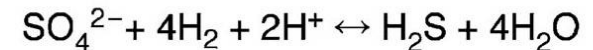
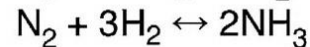
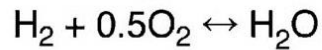
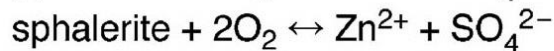
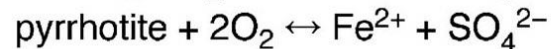
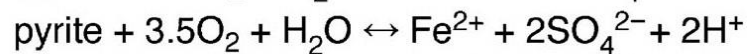
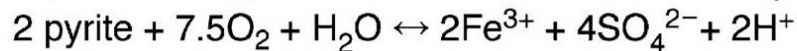
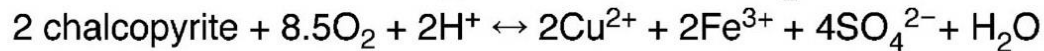
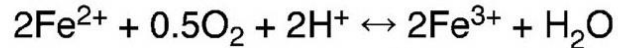
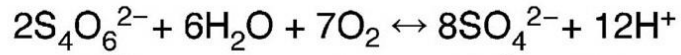
eubacteria

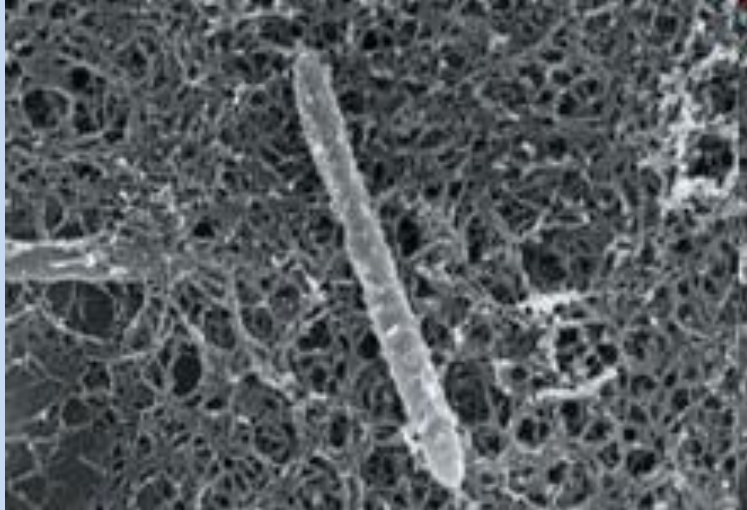


Arkkien energiantuottoreaktioita

www.gla.ac.uk/project/originoflife/html/2001/pdf_files/Martin_&_Russell.pdf

archaebacteria





vielä yksi erikoinen: *Desulforudis audaxviator*

- is able to extract all its food and energy directly from the surrounding water and rocks, and researchers say the independent microbe offers a glimpse of the shape life could take on other planets.
- *D. audaxviator* derives energy from the radioactive decay of uranium in surrounding rocks and gets carbon and nitrogen, two of the building blocks of life, either from dissolved gases or by cannibalizing other bacteria.
- a habitat completely devoid of light and oxygen, in depth of 2.8km
- *Science* (vol 314 p 479, Oct 2008)

Science. 2010 Dec 2.

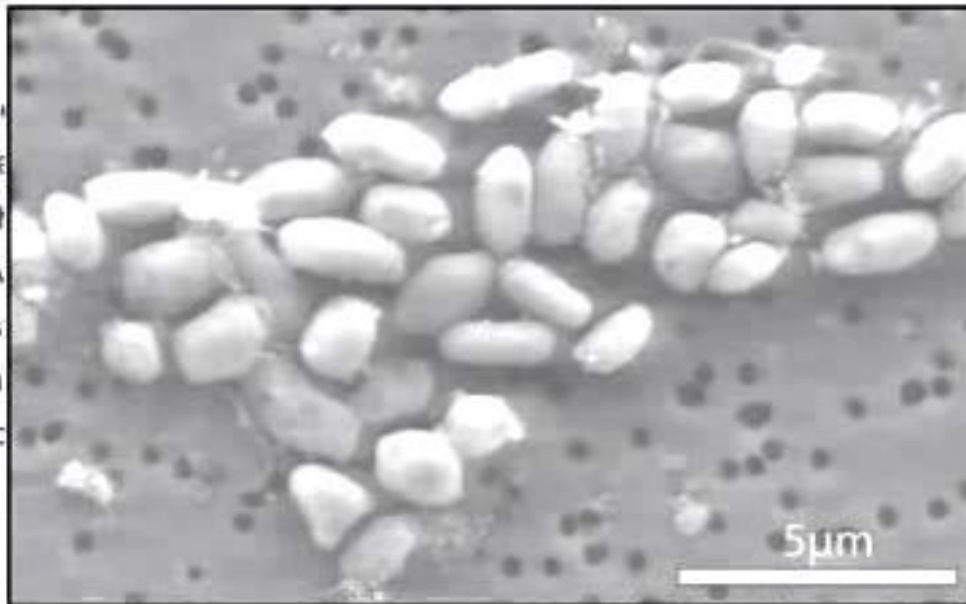
A Bacterium That Can Grow by Using Arsenic Instead of Phosphorus

Wolfe-Simon F, Blum JS, Kulp TR, Gordon GW, Hoefl SE, Pett-Ridge J, Stolz JF, Webb SM, Weber PK, Davies PC, Anbar AD, Oremland RS.

NASA Astrobiology Institute, USA.

Abstract

Life is mostly composed of these six elements making it possible that some other bacterium, strain GFAJ-1, uses arsenic instead of phosphorus to synthesize DNA. This discovery has profound evolutionary and geoc



phosphorus. Although matter, it is theoretically possible, we describe a bacterium which substitutes arsenic for phosphorus in its DNA. Elements that normally contain phosphorus may have profound

