LUND UNIVERSITY

Växterna bygger livets rum

Björn, Lars Olof

Published in:
Ett växande vetande : Vetenskapsrådets temabok 2002.

2002

Link to publication

Citation for published version (APA):
Björn, L. O. (2002). Växterna bygger livets rum. In *Ett växande vetande : Vetenskapsrådets temabok 2002.* Vetenskapsrådet.

Total number of authors:
1

General rights
Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:
Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.
• Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
• You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
• You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

Read more about Creative commons licenses: https://creativecommons.org/licenses/

Take down policy
If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

Foto: Pia Schmidtbauer.

Lars Olof Björn

Växterna bygger livets rum

Vi tror att allt levande härstammar från en enda cell. Hur den var beskaffad vet vi inte så mycket om, men vi tror att evolutionen mycket tidigt ledde in på tre parallella spår. Vetenskapligt talar man om tre domäner: Bacteria, Archaea och Eukarya (bakterier, arkebakterier och Eukarya). Dessa skulle vara ursprunget till det mesta av våra egna celler.

En av svårigheterna med att förstå evolutionens gång är att den i början inte bara var som ett träd, med finare och finare förgreningar. Nej, som man kommit underfund med de senaste åren, liknade utvecklingen också ett nät med överföring av arvsanlag mellan organismer som sitter långt ifrån varandra på trädet – till och med på olika huvudgrenar.

Kanske uppstod det första livet inuti jorden och drevs av reaktioner mellan de olika beståndsdelar som jorden byggdes upp av, till exempel vätgas, metan och metalloxider. Livet fanns i alla fall redan för drygt 3,5 miljarder år sedan. Då var jordklotet ännu inte färdigbyggt och det regnade fortfarande en hel del stenar och is från rymden.

Illustration: Per Nilsson.

Jag ligger under trädet, mitt på dagen.
Mot marken har jag ryggen, och mot himlen magen.
Det är så stilla – grönskan är ju stum,
men i det tysta, i det lilla, äger det ett under rum.

Bladet fångar luftens molekyl och solens ljus
så att energin blir, liksom kolatomen, bunden,
och lägger därmed grunden
för andras liv i sus och dus.

(Dikt av artikelförfattaren)

Bakterier har givit växter fotosyntesen

Fotosyntes är den process genom vilken växter och fototrofa bakterier omvandlar ljus till kemiskt bunden energi. Fotosyntesprocessen kom tidigt igång, men troligen först efter att livet hade delat upp sig mellan de tre domänerna. Den slutsatsen kan vi dra eftersom fotosyntesen endast förekommer på bakterielinjen bland nu levande varelser! Det kanske låter egendomligt; den här boken handlar ju om växter och växter behärskar ju fotosyntes. Förklaringen är att det är bakterierna som har givit växterna deras förmåga att utföra fotosyntesen. Det är en åsikt som såg dagens ljus redan i slutet på 1800-talet, men som kunnat bevisas först med molekylärbiologiska metoder.

Fotosyntes ägde säkert rum på jorden för nästan tre miljarder år sedan inom bakteriedomänen. Men även varelser inom domänen Archaea och den antagligen därur härstammande domänen Eukarya, som så småningom gav upphov till bland annat växterna, lärde sig att utnyttja ljus både som informationsmedium och för att samla energi. Än i dag finns det archea som använder ljus för att pumpa joner. *Halobacterium halobium*, en archaeon, kan till och med leva i mättad koksaltlösning tack vare sin förmåga att pumpa ut överskottet av salt ur cellerna med hjälp av ljusenergi. Men det vore fel att kalla detta för fotosyntes.

Fotosyntesens många facetter

Hos nutida varelser finns olika typer av fotosyntes. De olika processerna är spridda över de flesta av bakteriedomänens utvecklingslinjer. Trots detta uppvisar samtliga fotosyntesvarianter så stora likheter att vi måste tro att de har ett gemensamt ursprung. Antagligen har de flesta av dagens bakterier anfäder som har bedrivit fotosyntes.

Redan i slutet av 1700-talet upptäcktes växternas syrgasutveckling av Joseph Priestley. Så småningom fick man klart för sig att det rörde sig om ett infångande av solenergi. De flesta bakterier utvecklar emellertid inte syrgas vid sin fotosyntes, så som växter gör. Den ursprungliga fotosyntesen skedde antagligen utan syre. Ett tungt vägande skäl för denna teori är att syreutveckling innebär en oxidation av vatten, vilket är något mycket komplicerat. Oxidationen kräver att två olika seriekopplade så kallade fotokemiska processer samverkar, och att energiinnehållet i ett tiotal ljuspartiklar samordnas. Andra typer av fotosyntes är däremot enklare för organismerna att utföra.

Varför existerar då den mer komplicerade syreutvecklande fotosyntesen över huvud taget? Fördelen är inte bildningen av syre som sådan. Det är snarare så att organismer som kan utveckla syre också kan använda det allmänt förekommande vattnet för att omvandla koldioxid ur atmosfären till organiska ämnen. Det är just dessa ämnen som bygger upp allt liv på jorden. Genom att oxidera vatten till syrgas blir det möjligt för växterna att reducera koldioxid till levande substans. Alternativ till vatten, exempelvis svavelväte, blev det med tiden alltmer ont om. Det berodde till viss del på att det frisläppta syret från fotosyntesen lätt förbrukade dessa ämnen.

Den grupp som lyckades med att utveckla den syrebildande fotosyntesen var cyanobakterierna (blågrönalgerna). Forskarna har funnit mer än två miljarder år gamla fossil som liknar nutida cyanobakterier *(bild 1)*.

Redan i fossilen syns cyanobakteriernas två olika slags celler. Hos nutida cyanobakterier utför den ena celltypen en fotosyntes som binder koldioxid och utvecklar syre. Den andra celltypen kallas för heterocyster och utför en typ av fotosyntes som binder kväve, en annan av atmosfärens gaser. Den fotosyntesen utvecklar inget syre. Forskarna har också funnit kemiska spår efter cyanobakterier som troligen levde för 2,6 eller 2,7 miljarder år sedan. Spåren består av särskilda fettämnen som är typiska för

cyanobakterier. Dessa fossil gör det troligt att syrgasbildande fotosyntes hade uppkommit redan då.

Fotosyntesen är biosfärens motor

Cyanobakteriernas bägge typer av fotosyntes, assimilation (levandegörande) av koldioxid och kväve, är viktiga för jordens övriga livsformer. Det cellmaskineri som med hjälp av solenergi binder koldioxid, och omvandlar kolet till de organiska ämnen som bygger upp allt liv, kan med rätta kallas hela biosfärens (de levande organismernas livsrums) motor. Nästan alla varelser som inte själva kan utföra fotosyntes är beroende av denna process. Det gäller till och med de bakterier som finns vid de heta källorna på havets botten, och som sägs livnära sig på det svavelväte som kommer upp ur jordens inre. De behöver nämligen syre för att kunna utnyttja svavelvätet. Det syret kommer från den fotosyntes som äger rum i ljuset kilometervis högre upp och transporterats ned genom vattnet. I själva verket är det inte svavelvätet som står för energin, utan kombinationen svavelväte och syre.

Fotosyntesen samlar upp ljusenergi och omvandlar energin så att den kommer till nytta i biosfären – ungefär som en motor omvandlar energin i bränslet till rörelseenergi som driver ett fordon eller en fabrik.

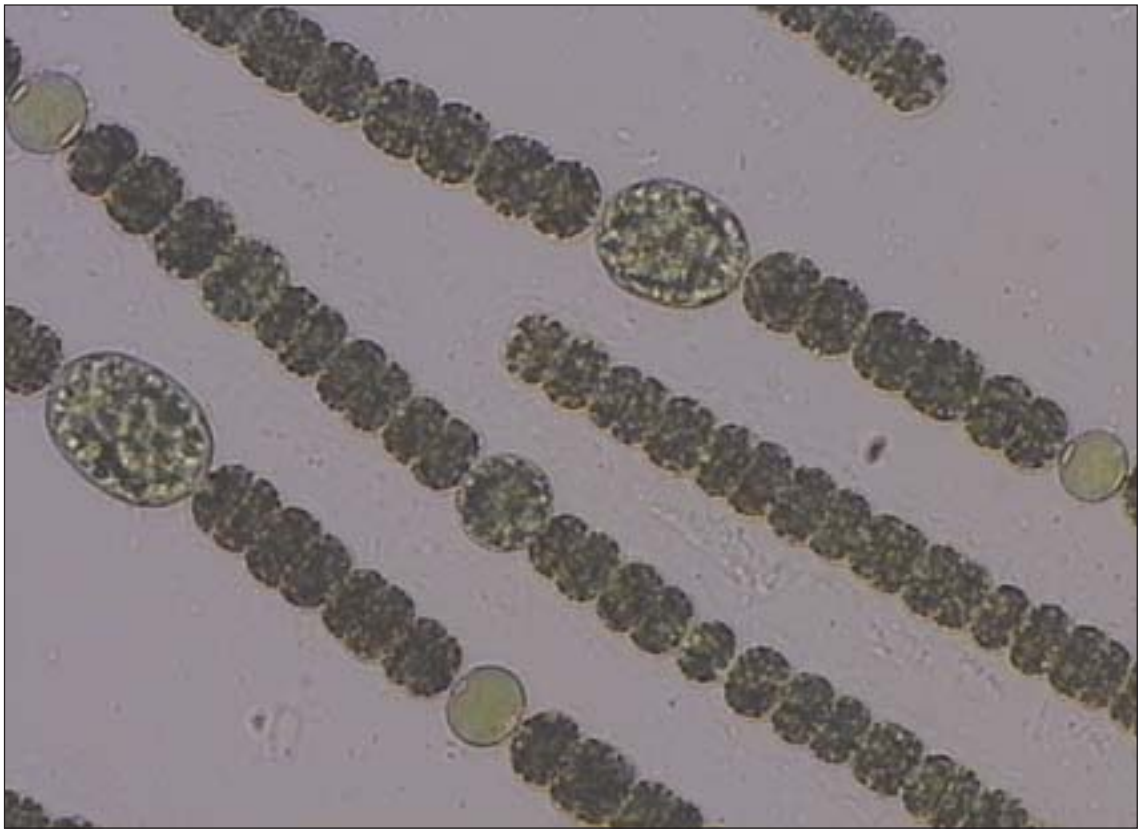

Foto: Gertrud Cronberg, limnologiska avdelningen, Lunds universitet.

Bild 1. *Anabaena vigueri*. Många nutida cyanobakterier har en påfallande likhet med sådana som levde för hundratals miljoner år sedan.

Cyanobakteriernas fotosyntes utrotade många livsformer

För något mer än två miljarder år sedan kom jordens liv in i ett nytt skede. Syrgasutvecklande fotosyntes hade slagit igenom för länge sedan, men det hade inte kommit ut mycket syre i atmosfären. Det berodde på att syret till en början hittade så många andra ämnen att reagera med på jorden, särskilt svavel och järn. Sådana reaktioner begränsade länge mängden syrgas i luften, även om det lokalt kunde finnas syrgasrika miljöer. Men för ungefär 2,2 miljarder år sedan var huvuddelen av jordens syreupptagande ämnen förbrukade, och syrgashalten steg mycket snabbt.

Vi tänker oss att den snabba ökningen av syre, avfallsprodukten från cyanobakteriernas fotosyntes, ledde till en oerhörd miljökatastrof som utrotade många livsformer som inte hade anpassat sig till syret. Ett skäl till att syre kan vara farligt (också för oss människor) är att det under olika livsprocesser bildas så kallade radikaler. Detta är molekyler som i motsats till de flesta molekyler innehåller oparade elektroner, och syre reagerar lätt med sådana ämnen eftersom det självt har oparade elektroner.

De varelser som inte dog blev undanträngda till små områden med ovanliga förhållanden. Men denna förändring gav också nya möjligheter för vissa organismer. Redan långt före miljöomvälvningen fanns troligen organismer som kunde utnyttja den befintliga, lilla syremängden för en sorts cellandning; för att skaffa livsenergi utan fotosyntes. Kanske fanns denna förmåga redan hos den sista gemensamma cellen – före uppdelningen på de tre domänerna. Men först nu, för 2,2 miljarder år sedan, blev denna cellandningsförmåga riktigt spridd.

Den gröna treenigheten

När mängden syre började stiga, hade organismer från de tre domänerna levt tillsammans i över en miljard år. Naturligtvis hade de påverkat varandra på många olika sätt. Flera av dem hade säkert redan ingått partnerskap, symbios.

När tillgången på syrgas ökade, visade sig vissa samarbeten mellan Bacteria och Eukarya så framgångsrika att de flesta organismer inom Eukarya, som inte hade minst en samarbetspartner inom Bacteria, blev utkonkurrerade och dog. Kanske dog alla ensamma Eukaryavarelser ut vid denna tid. Det berodde dels på att bakterierna var bättre än Eukarya på att utnyttja syre för cellandning, dels på att vissa, cyanobakterierna, kunde utföra den syreutvecklande fotosyntesen.

De framgångsrika samarbetena innebar att Eukaryacellerna svalde eller tog upp bakterier av olika slag som de kunde ha nytta av, utan att döda dem. Alternativt var det bakterierna som infekterade och invaderade Eukaryacellerna.

De nya cellerna med cellandning blev så med tiden till svampar, maneter, daggmaskar, trollsländor och människor. De upptagna bakterierna blev till så kallade mitokondrier, som än i dag sköter vår cellandning. Andra celler tog upp både bakterier med cellandning och cyanobakterier, och dessa utvecklades till grönalger. Så småningom utvecklades en del av grönalgerna till växter. De upptagna cyanobakterierna utvecklades till så kallade kloroplaster, som fortfarande sköter om fotosyntesen hos alger och växter.

Även i växter och delar av växter som inte är gröna finns före detta cyanobakterier. De ger till exempel moroten dess färg och potatisen dess stärkelseinnehåll.

Tecken på symbioshistoria

Hos en del alger uppstod samarbete mellan ännu fler organismer, och det finns än i dag alger som är sammansatta av flera olika organismer. Hos grönalger och växter avgränsas kloroplasterna av två membraner. Det inre av dessa anses motsvara den

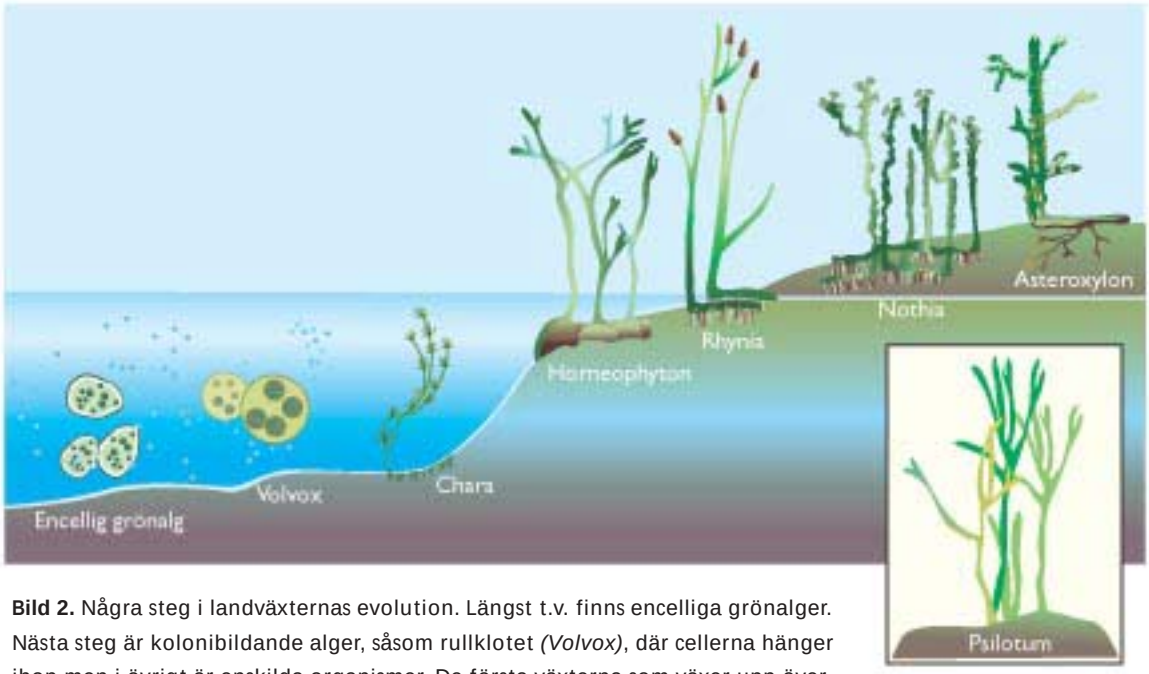

Illustration: Anette Hedberg.

Bild 2. Några steg i landväxternas evolution. Längst t.v. finns encelliga grönalger. Nästa steg är kolonibildande alger, såsom rullklotet *(Volvox)*, där cellerna hänger ihop men i övrigt är enskilda organismer. De första växterna som växer upp över vattenytan är i många avseenden fortfarande alglika och beroende av lättillgängligt vatten. Först med *Asteroxylon* (längst t.h.) borrar sig de första verkliga rötterna långt ned i marken i sökandet efter vatten och näring. *Psilotum* (infälld) är en nu levande ormbunke som till det yttre liknar de första landväxterna.

invaderande cyanobakteriens yttermembran, medan det yttre anses ha uppstått genom inbuktning av värdcellens yttermembran. Hos pansaralger finns tre membraner runt kloroplasterna, och hos flera andra alggrupper finns fyra. Det tyder på en mer invecklad symbioshistoria, som vi ännu inte helt lyckats klarlägga.

Möjligen består också vi människor av fler än två slags varelser. Enligt en teori av den amerikanska biologen Lynn Margulis har våra ursprungliga Eukaryaceller, förutom de bakterier som omvandlats till mitokondrier, också tagit upp en annan sorts bakterier, så kallade spiroketer. Dessa tros i sin tur ha givit upphov till den del av cellskelettet som kallas mikrotubuli – men också till exempelvis ”svansarna” på spermier. Spiroketerna förknippas annars med otrevligheter som syfilis och den fästingburna sjukdomen borrelios.

De en gång självständiga organismer som bildat växternas mitokondrier och kloroplaster har behållit en del av sina arvsanlag (gener), men många anlag har försvunnit. Det beror på att anlagen inte längre behövs, eftersom en del livsfunktioner sköts av ”värden”. Andra gener har vandrat över till värdcellens cellkärna. Orsaken är att mitokondrier och kloroplaster genom sin något äventyrliga hantering av syre och radikaler utgör en ohälsosam miljö för DNA (arvsmassa). Organismer som flyttat över generna har därför fått ett övertag. Växterna har, förutom fotosyntesen, ärvt ytterligare något från cyanobakterierna: förmågan att bygga cellväggar av cellulosa. En sådan förmåga finns visserligen också

Foto: © Elsevier Renske Landeweert et al. Källa: *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16.

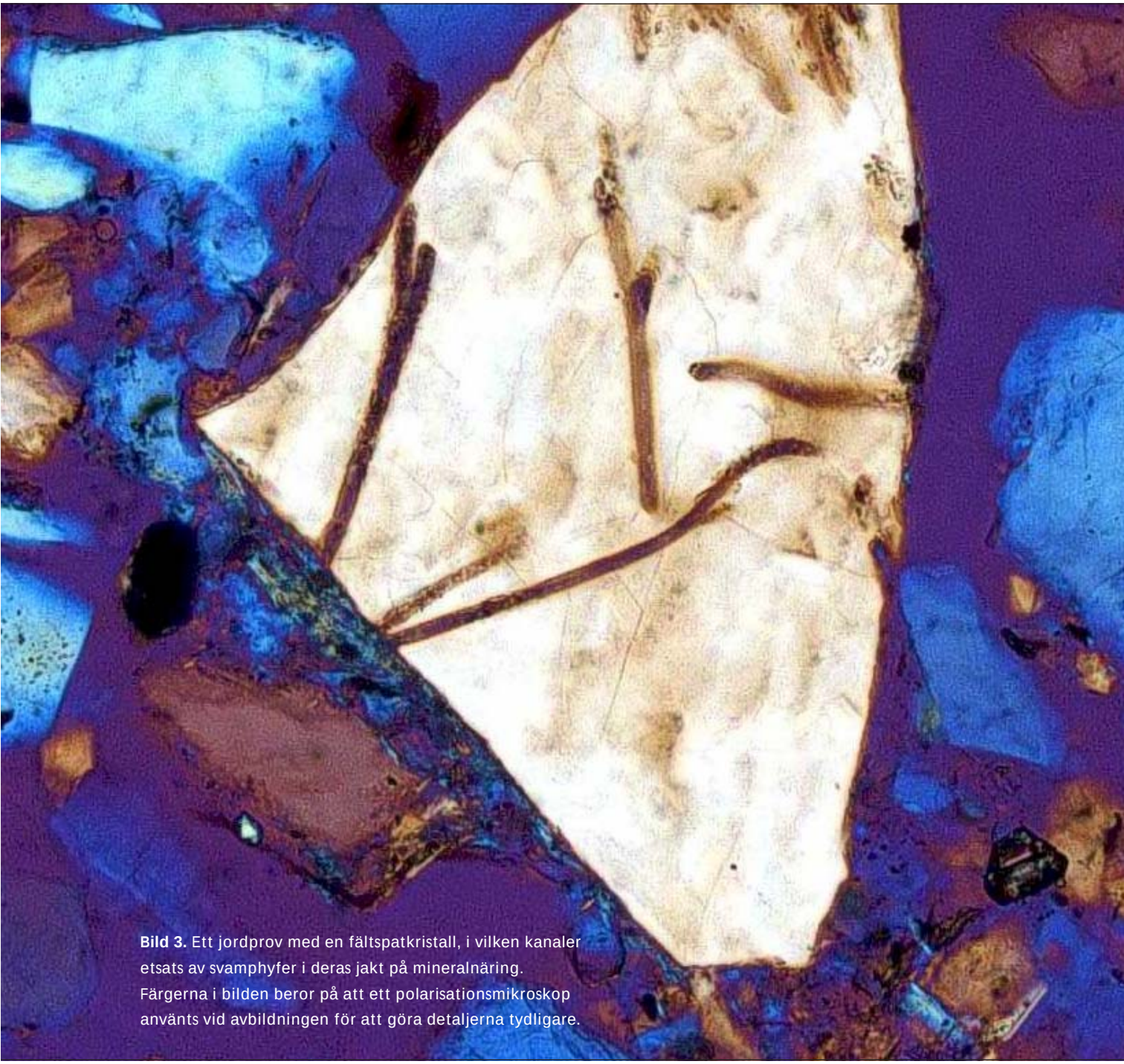

Bild 3. Ett jordprov med en fältspatkristall, i vilken kanaler etsats av svamphyfer i deras jakt på mineralnäring. Färgerna i bilden beror på att ett polarisationsmikroskop använts vid avbildningen för att göra detaljerna tydligare.

hos några speciella svampar, men växterna fick förmodligen sitt system då cyanobakterierna inlemmades i växtcellerna. Men växterna har också förlorat en av cyanobakteriernas färdigheter – förmågan att binda molekylärt kväve.

Växterna förbereder för djuren

Nästan nio tiondelar av livets historia har utspelats under vatten. Men ändå spelade det en stor roll för vår planets och för biosfärens utveckling att växterna till slut kunde erövra fastlandet. Det gäller även om vi försöker bortse från vårt eget människoperspektiv.

Det är sannolikt att lavar hörde till de första organismer som uppträdde på land. Ännu i dag klarar de sig i de mest osannolika miljöer, som i Antarktis torra dalar där det sällan snöar och aldrig regnar. Där finns de *inuti* stenarna, skyddade från den ogästvänliga miljön utanför.

De första riktiga landväxterna uppträdde för ungefär 510 miljoner år sedan *(bild 2)*, men de var fortfarande inskränkta till fuktiga ställen och höll sig nära marken. För ungefär 420 miljoner år sedan, under silurperioden, började de söka sig uppåt himlen. Men de saknade fortfarande rötter, och hade ännu inte riktigt kommit på hur man ska fortplanta sig utan en vattenrik miljö. För 390 miljoner år sedan började de sända ned rötter i marken, och därefter gick utvecklingen snabbt. De kom också att påverka andra organismers utveckling.

Fosfor ofta bristvara

I det globala perspektivet har det ofta varit underskott framför allt på grundämnet fosfor. Detta kan ha bidragit till att det tog så lång tid att fylla på luften med syrgas, eftersom bristen hindrade tillväxten av fotosyntetiserande organismer. Utvecklingen av landväxter har i någon mån ändrat på detta förhållande. Med sina rötter har landväxterna förmått att göra mer fosfat tillgängligt för biosfären. Det har inte bara gynnat växterna själva, utan har också varit en förutsättning för vår egen gren på livets träd – de landlevande ryggradsdjuren. Vi behöver nämligen stora mängder fosfat för att bygga upp våra skelett.

Högre utvecklade växter får berggrunden att vittra tio gånger snabbare än lavar och mossor förmår. Just fosfat frigörs huvudsakligen genom vittring av mineralet apatit, en sorts kalciumfosfat. När växterna känner att de får för lite fosfor reagerar de genom att satsa mer energi på rötter än på att skjuta nya skott. De utsöndrar också större mängder organiska syror, till exempel oxalsyra, som bidrar till att lösa upp kalciumfosfatet.

Men inte nog med detta. Växterna tar också hjälp av så kallade mykorrhizasvampar, som har varit med och hjälpt växterna att erövra fast land redan från början. Svamparnas fina trådar, de så kallade hyferna, kan tränga in nästan överallt och hjälpa till att vittra sönder berget. När växterna känner att de behöver mer fosfor, utsöndrar de särskilda sockerarter som gör att de speciella svamparna utvecklas och hjälper till med upplösningen av stenen *(bild 3)*.

Landväxternas uppkomst innebar en stor ökning av fotosyntesen, som i sin tur medförde att atmosfärens syrehalt steg till nuvarande nivå. Under vissa perioder av jordens utveckling har atmosfären förmodligen innehållit ännu mera syre. För närvarande är havets och landytans fotosyntes ungefär lika stora. Uppkomsten av landvegetation har stimulerat även havets fotosyntes genom att frigöra fosfat och stimulera algernas tillväxt.

Får inte bli för mycket

Vegetationen hindrar syrehalten från att bli mycket högre, vilket vi ska vara tacksamma för. Ju högre syrehalt, desto lättare tar vegetationen eld och förbrukar syre. Skogs- och gräsbränder är en naturlig företeelse – de tidigaste bränder som forskarna har

Foto: Ace/Megapix.

Bild 4. Även den moderna människan vill omge sig med trädgårdar och växter.

kunnat belägga ägde rum redan under devontiden för ungefär 360 miljoner år sedan.

Det finns också en annan mekanism som gör att växternas syreproduktion inte kan få atmosfärens syrehalt att stiga långt över den nuvarande. Orsaken är de egendomliga egenskaperna hos det ämne som binder koldioxid för att omvandla den till organiska föreningar. Ämnet är ett så kallat enzym som heter rubisco. Rubisco binder också syre och ger upphov till något som kallas för fotorespiration.

Fotorespirationen verkar i motsatt riktning mot fotosyntesen, och respirationens hastighet ökar med syrehalten. Det innebär att ju mer syre det finns i atmosfären, desto snabbare binder växterna syre. Denna bindning hjälper till att hålla syrehalten på en lagom nivå. Syre i alltför hög koncentration är giftigt för växter, liksom för människor.

Livets rum

Växterna har alltså gett oss luften vi andas. De har också gett oss jorden vi går på – golvet i livets rum. De har hållit ned koldioxidhalten i atmosfären och förhindrat en alltför stark växthuseffekt. Därmed har de reglerat temperaturen på jorden.

Människosläktet utvecklades först i skogen, bland de andra högre aporna. Sedan tog vi oss ut på den afrikanska savannen. Från tidernas gryning har vi varit omgivna av växter, och till och med den moderna människan vill omge sig med trädgårdar, krukväxter och växter i vaser. Växterna ger oss väggarna i livets rum.

Växterna har också gett oss taket – det som skyddar oss från den farliga ultravioletta strålningen från solen. Den syrgas som växterna har tillfört atmosfären ombildas högre upp i den så kallade stratosfären delvis till ozon. Ozon har tre syreatomer i molekylen i stället för två, som molekylen syrgas har. Ozon är det enda ämne av betydelse i atmosfären som har förmågan att absorbera den ultraviolett-B-strålning som på kort tid skulle döda oss om den med oförminskad styrka nådde ned till jordytan.

Väggar, tak, golv och luft – det är inte lite vi har växterna att tacka för! Låt oss hoppas att framtida generationer, trots vår generations misstag, ska få tillfälle att vårda och bevara det livsrum som växterna givit oss.

Lars Olof Björn är professor emeritus
i botanik vid Lunds universitet.

Lästips från författaren

Björn, L.O., Gehrke, C. och Johanson, U.: Växter klarar solbränna olika bra. *Forskning och Framsteg*, 1996,5, sid. 41–45.

Gold, Thomas: *The Deep Hot Biosphere*. Copernicus Books, 1999.

Hayes, John M.: A lowdown on oxygen. *Nature*, 2002, *417*, sid. 127-128.

Margulis, Lynn och Dolan, Michael F.: *Early Life*. 2. ed. Jones & Bartlett, 2002.

Landeweert, R., Hoffland, E., Finlay, R.D., Kuypere, T. W. och van Breemen, N.: Linking plants to rocks: ectomycorrhizal fungi mobilize nutrients from minerals. *Trends in Ecology & Evolution*, 2001, 16, sid. 248–254.

Lenton, T.M.: The role of land plants, phosphorus weathering and fire in the rise and regulation of atmospheric oxygen. *Global Change Biology*, 2001, 7, sid. 613–629.

Rozema, J., van Geel, Björn, L.O. och Madronich, S.: Toward solving the UV puzzle. *Science*, 2002, 296, sid. 1621–1622.

http://www.uni-muenster.de/GeoPalaeontologie/Palaeo/Palbot/ewald.html

http://www.nrm.se/psv/fyra.pdf

http://www-vaxten.slu.se/vaxten/fotosyntes/fotosynt.htm

http://www.life.uiuc.edu/govindjee/PSed_index.htm