

FAKTA *Skog*

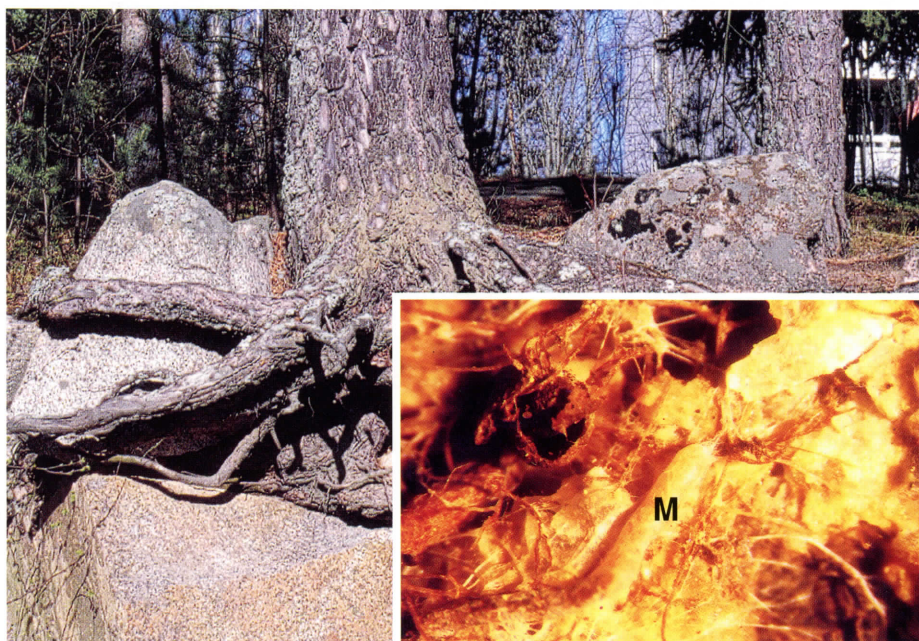
Sammanfattar aktuell forskning vid SLU • Nr 9 1998

Torgny Unestam och Roger Finlay

Rötter, svampar och bakterier i samarbete

Träd kan äta sten: nya perspektiv öppnas

- När barrträd växer bland sten och sand tar de upp mineralnäring via svampar och bakterier, s.k. mikronäringskedjor. Dessa kedjor är ibland effektivare än den mer välbekanta förnedbrytningen.
- Upptagnings sättet är förmodligen det ursprungliga för barrträd. Mykorrhizamycelet som sträcker sig från rotens svamphölje tycks ibland t.o.m. föredra att växa bland sten och sand. Täta mattor kan bildas i osynliga sprickor i berget, vilket är en helt ny upptäckt.
- Mikronäringskedjor förefaller vara okänsliga för försurande nedfall, vilket delvis kan förklara varför sambandet mellan försuring och skogsdöd är så svagt.



FIGUR 1. Tallen växer ofta på stenrik mark. Finrötternas mykorrhizarot (M) skickar ut trådar som gräver näring i stenen (infälld bild).

Mykorrhizan, svampproten, är sedan mer än hundra år känd som ett samarbete mellan växtrot och svamptrådar (mycel) från ett flertal svamparter i marken, t.ex. kantarell, tryffel, kosopp och flugsvamp.

Det har visat sig att arterna inom många växtgrupper är starkt beroende av svampen för att kunna ta upp näring ur jorden, eftersom deras rötter i sig själva har för liten yta. I gengäld får svampmycelet socker från växtens fotosyntes för sin tillväxt.

Under de senaste 70 åren har detta samarbete utforskats över hela världen, inte minst i Sverige. I denna artikel beskriver vi några nya mykorrhizarön vid SLU som gjorts tillsammans med svenska, holländska och amerikanska medarbetare.

Mykorrhizan penetrerar klippor

Om mosslagret i en hållmarksskog avlägsnas framträder ofta täta nät av mykorrhizamycel i kontaktytan mot stenen. Vid traditionella markanalyser brukar stenarna betraktas som om de befann sig utanför den huvudsakliga biologiska markomsättningen. De vägs, dokumenteras, och läggs sedan åt sidan.

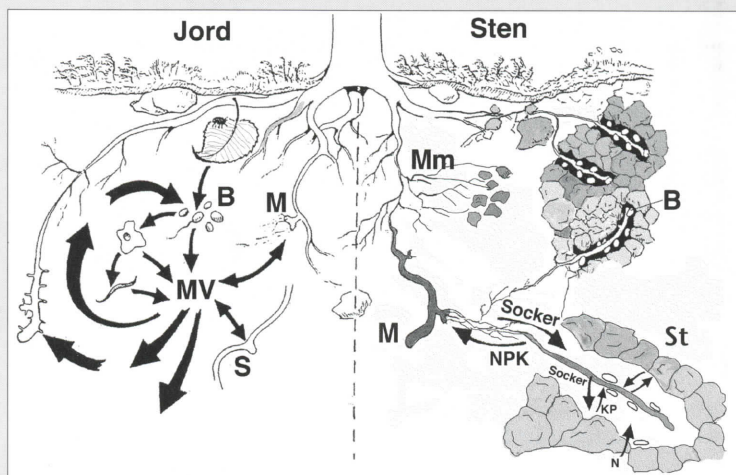
Vi upptäckte dock att mykorrhizasvampar som lever på sten kan vittra sönder stenytan och att bakterier som lever bland hyferna kan vara ännu effektivare. Om gråstenen spräcks med en slägga påträffas mycket tunna men decimetervida lager av mycel, t.o.m. djupt inne i klippan (fig. 2a, 3) som tidigare förefallit vara solid.

Yta efter yta i urberget kan blottläggas och avslöjar täta mykorrhizavävar som täcker varje kvadratmillimeter inne i de nästan osynliga sprickorna. En uppskattning visar att under varje kvadratmeter hälleberg finns minst tio gånger så stor sammanlagd yta av tätt växande och stenvittrande mykorrhizamycel inbäddade.

Svampmycel finns i de flesta små vittringsfickor under stenytan (faktaruta). Svampen verkar på egen hand borra sig in i försvagningar eller mikrohål i stenmaterialet och sedan vidga

Skilda världar i jord och sten

FAKTARUTA



Förenklad skiss av två skilda typer av näringsupptag i skogsmark, med helt olika omsättning och organism-sammansättning.

Den klassiska, sammansatta marknedbrytningen (vänster) drar mycket mer energi än omsättningen i sten (höger). Näringen i sten frigörs med hjälp av mikroorganismerna som suger åt sig socker från mykorrhizasvampen och utsöndrar syror som vittrar sönder mineralet. Svampen tar snabbt hand om en del av den lösta mineralnäringen och för den till trädet.

B Vittrande och kvävefixerande bakterier är vanligare i klippans skrovligheter och brottytor än i jorden därintill.

MV Markvatten med sitt upplag av lösta näringsämnen

M Mykorrhiza finns på nästan alla rötter av skogens träd

Mm Mykorrhizamycel i marken ansvarar för mineralnäring- och vattenupptagning från sten eller jord till roten

St Stenficka: Minigrotta där svamp och bakterier tillsammans vittrar och fixerar luftkväve. Det sker under skyddade betingelser, utan kontakt med miljökänslig markvätska. Näringskedjan blir kort och effektiv.

S Saprophyter deltar i den långa näringskedjan i marken men energiutnyttjandet är dåligt

NKP Mineralnäring (kväve, kalium och fosfor) som via mykorrhizan tas upp av trädet

gångarna genom vittring (fig. 2b, c). Vår forskargrupp har funnit hyfer som sticker upp ur stenen genom hål knappt större än hyfdiametern (fig. 2b).

Tillsammans med svamphyferna lever mängder av vittrande bakterier (faktaruta) och dessa organismer måste på något sätt samverka i denna nyfunna, levande värld. Ett tunt slemlager täcker ofta stenens eroderade yta (fig. 2b). I slemmet kan mineralnäring och sockerarter lätt spridas mellan sten, svamp och bakterier.

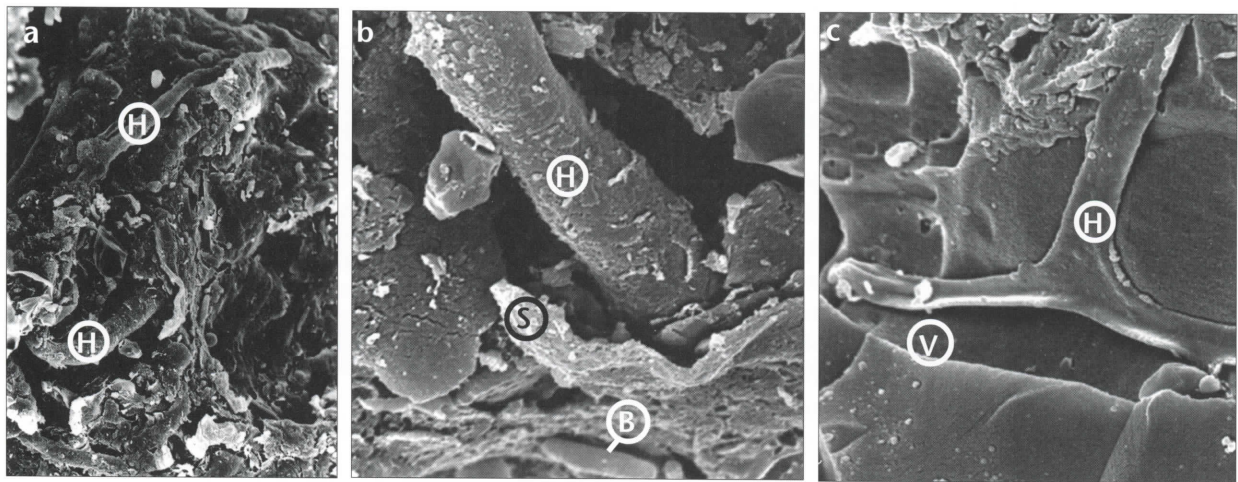
Bakterierna är i dessa trånga utrymmen oftast helt isolerade från bakterieätande organismer. De är dessutom isolerade från skogsmarkens jordla-

ger, där de stora, energislukande näringscyklerna (faktaruta) dominerar omsättning och mineraltillgång. Två parallella markvärldar med helt olika omsättning och biologisk sammansättning av organismer existerar alltså.

Samarbete som ger näring ur sten och luft

De flesta bakteriearter som kan renodlas ur stenkross från granit, sandsten eller basalt i barrskog (studerat i USA och Sverige) är goda vittrare av naturligt kalciumfosfat. Om de får socker från mycelet är de dessutom avsevärt effektivare än mykorrhizasvamparna själva.

Svampar och bakterier i samarbete koloniserar de minimala utrymmena



FIGUR 2. a) Svamphyfer (H) på en brottyta av granit (svepelektronmikroskop, 1000 ggr:s förstoring), b) starkt förstord elektronmikroskopisk bild av hyfens (H) penetration i granit. I bildat slem (S) kan näring, syror och mineral spridas mellan svamp, bakterier (B) och sten. Vi har funnit miljontals borrande hyfer i varje liter granitsand och därför blir upptagningen av mineralnäring avsevärd i ett substrat som tidigare ansetts försumbar som näringskälla, c) grenad svamp-hyf (H), här intorkad, som tycks ha vittrats stenen (V) och bildat vittringsgångar.

i stenmaterialet och vidgar dem under produktion av lösliga mineral. Trädrötterna får tillgång till ständigt ökande volymer sten och byter via svampen kolhydrater mot mineralnäring frigjord av bakterierna (fig. 1).

I varje gram sten kan finnas tio gånger så många bakterier som i ett gram av skogsjorden intill. Stenen kan i vissa markmiljöer vara en viktig näringskälla för trädet, om än hittills totalt okänd och därför förbisedd. Detta stöds också av att det kan finnas tio miljoner vittrande hyfspetsar per liter fragmenterad granit, dvs. skogssand.

Betydande kväueupptag även i trånga utrymmen

Djupt inne i stenen finns också kväuefixerande bakterier, som med sina låga syrekrav överlever i vattenfickor. Dessa mikrober matas också av mykorrhizans sockerutsöndringar (faktaruta). Vi har funnit avsevärd kväuefixeringskapacitet i så pass mager och stenig mark att den inte ens förmår hysa ogräs.

Fixering av luftkväue i nivåer på 1–5 kg per månad och hektar kan äga rum i sådant näringsfattigt rotsubstrat, alltså teoretiskt fullt tillräckligt för skog att växa på mager eller utarmad mark.

Det talas ibland om kväuegapet i skogen, dvs. skillnaden mellan trädens upptag av kväue och den något min-

dre mätbara marktillgången. Det är möjligt att organiskt kväue tillsammans med våra nyupptäckta cykler inuti sten kan komma att förklara en del av kväuegapet.

Korta kedjor sparar energi

Mikronäringskedjor kan fungera i isolerade markfickor där konkurrensen med andra organismer är liten, t.ex. i vittrad sten eller i sand (*Fakta Skog* 8/98). Denna korta näringskedja i marken, med näringsflöde mellan svamp-bakterie-svamp, kan ibland involvera endast två organismer.

Varje organism eller länk i markomsättningens många näringskedjor beräknas i svinn förlora 80% av den energi den fått tillgång till som "föda" i förtäning. Eftersom mikrokedjan blir mycket kortare än de i markens förtäning, bör utbytet för svamp och växt bli mångfalt energieffektivare än i vanlig skogsjord.

Frigjord mineralnäring, som kväue, fosfor och kalium och andra nödvändiga grundämnen, tas upp av hyfen utan omvägar och kan snabbt transporteras mot roten av aktiva, hydrofoba hyfer samt i vattentäta hyfbuntar, rhizomorfer, bara dessa får tillgång till vatten.

Trädet vinner mycket på att ha ett energisnålt näringsupptag vid sidan av det gängse upptaget ur jorden,

som hittills antagits vara det helt dominerande. På mineralrika marker kan den näring som rotsystemet tar från sten ibland t.o.m. vara viktigast.

Är kalkning och gödsling av skogsmark nödvändig?

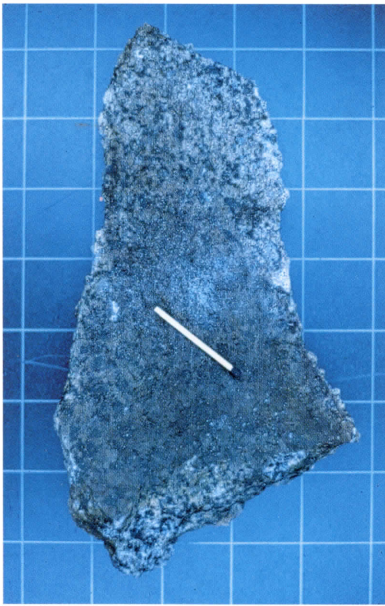
De beskrivna näringscyklerna tycks ha stor betydelse för barrträdens förmåga att stå emot yttre förändringar. Processerna äger dessutom rum i en isolerad miljö, vilket reser en del frågetecken kring de åtgärder som vidtas för att hejda försämringarna av skogsmiljön.

Skogar på sten- och sandrika marker, utgör i vårt land över 80% av skogsarealen. Det är möjligt att de växer till stor del oberörda av de i skogsdödsscenarioer skildrade luftföroreningarna.

Det är kanske därför Europas skogar, mot alla prognoser, klarar sig så bra. Även om sjöarna måste kalkas är det alltså dags att omvärdera gängse, och vetenskapligt ofta svagt grundade teorier, om varför skogsmark måste kalkas eller gödulas.

Sten den äldsta näringskällan?

Under utvecklingen av de första barrträdsarterna fick växterna ofta hålla tillgodo med sten och sand som rotsubstrat och där söka fosfor och andra näringsämnen i konkurrens med glesa bakterieförekomster. Re-



FIGUR 3. Brottyta av granit, täckt av en matta av svamphyfer (tändstickan visar skalan). Den rödbruna färgen kommer från utfällt järnoxalat.

dan de första landväxterna var beroende av mykorrhiza och det är frestande att förmoda att de svampar som bildade "trädmykorrhiza" under tidig karbontid (för hundratals miljoner år sedan) ofta tog sin tillflykt till vittringsfickor i sten, skyddade mot det skadliga UV-ljuset och häftiga temperaturväxlingar. Där nere fanns också bättre tillgång till vatten och utlösta mineral än på den ofta uttorkade och humusfattiga markytan.

Det vattenbortstötande mycelet kunde bilda luftfickor och därmed få små mängder syre för sin andning (*Fakta Skog* 8/98). Hyfspetsarna kunde "mata" vittringseffektiva och kvävefixerande bakterier.

En väg till näring som ger konkurrensförmåga

För trädets rötter är upptagbar mineralnäring en ständig bristvara. Om

markens näring kunde utnyttjas mer effektivt i samverkan med mikroorganismer var detta ett viktigt urvalskriterium under rotevolutionen.

På så vis kunde värdväxten få utökad tillgång till vatten och näring, som inte kunde nås av de betydligt tjockare finrötterna. Därmed måste växten under evolutionen haft många skäl att dela med sig av sitt sockeröverskott och effektivisera samarbetet med mykorrhizasvampar och deras bakteriepartners.

Vidare måste höjdtillväxten ha varit mycket beroende av mykorrhizan och dess mikrobiella samarbete eftersom det ledde till mer konkurrensförmåga höjd och tillgång till ljus i skogen.

Barrträdens mykorrhizasvampar har i så fall fortfarande en stor del av sin näringsbas djupt inne i berg, i sten och i sand med vittrande mikrosamhällen, helt skilda från den ytliga, föroreningskänsliga jorden. I den senare är den biologiska samhällsstrukturens evolution förmodligen betydligt yngre i geologiskt perspektiv. Inte förrän vi bättre lär känna dessa båda "världar" i nuvarande skogsmark får vi kunskaper nog att bedöma dess tåligghet mot surt regn och andra föroreningar.

Litteratur

Chang, T.T., Li, C.Y., Unestam, T. & Cromack, K. 1995. Rock weathering by mycorrhizal bacteria and hyphae in cooperation. Paper, 8 pp, at the Symposium on Dynamics of Physiological Processes in Woody Roots, 8-11 October, 1995, Ithaca, New York, USA.

Jongmans, A.G., van Bremen, N., Lundström, U., van Hees, P.A.W., Finlay, R.D., Srinivasan, M., Unestam, T., Melkerud, P.-A. & Olsson, M. 1997. Rock-eating fungi. *Nature* 389:682-683.

Unestam, T. & Finlay, R.D. 1998. Svamp med "njure" pumpar näring till och från trädet. *Fakta Skog* 8/98. SLU.

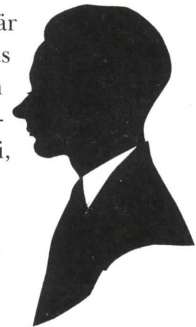
Unestam, T. & Sun Y.P. 1995. Extramatrical structures of hydrophobic and hydrophilic ectomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 5: 301-311.

Unestam, T., Sun, Y.-P., Li, C.Y., Cromack, K., Nylund, J.-E. & Finlay, R.D. 1998. Ectomycorrhiza and root function: Mycelial exudation and associated bacteria may take part in nutrient micro-loops. *Tree Physiol.* (under tryckning)

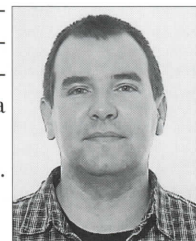
Ämnesord

Stennäring, mykorrhizasvamp, mikronäringskedja, bakterier, vittring, föroreningsberoende, kalkning, rotevolution.

Torgny Unestam är professor emeritus vid institutionen för skoglig mykologi och patologi, SLU, Box 7026, 750 07 Uppsala. Tel. 018-67 18 03 Fax 018-30 92 45 E-post: Torgny.Unestam@mykopat.slu.se



Roger Finlay är sedan 1996 professor i skoglig mikrobiologi vid samma institution. Tel. 018-67 15 54. Fax 018-30 92 45. E-post: Roger.Finlay@mykopat.slu.se.



Ansvarig utgivare:
Redaktör:

Johan Elmberg, SLU Kontakt, Box 49, 230 53 ALNARP
Jonas Förare, SLU Informationsavdelningen, Box 7077, 750 07 UPPSALA
Telefon: 018-67 21 34 • Telefax: 018-67 35 20
E-post: Jonas.Forare@info.slu.se
www.slu.se/forskning/fakta/

Internet:

Prenumeration och distribution:

SLU Publikationstjänst, Box 7075, 750 07 UPPSALA
Telefon: 018-67 11 00 • Telefax: 018-67 28 54
inger.blomsetdt@service.slu.se

E-post:

Pris:

300 kr + moms (även lösnummerförsäljning)

Tryck:

SLU Reproenheten, Uppsala
ISSN 1400-7789 © SLU 1998

