



Figur 1. Typisk undervegetation i svensk boreal skog bestående av risväxter *Empetrum hermaphroditum*, *Vaccinium myrtillus*, *V. vitis-idaea* och mossor *Hylocomium splendens* och *Pleurozium schreberi*. Foto Paul Kardol.

## Boreala skogar i en varmare värld

*Hur påverkas markecosystem av uppvärmning och förändringar i undervegetationen?*

Jonathan R. De Long, Ellen Dorrepaal, Paul Kardol, Marie-Charlotte Nilsson, Laurenz M. Teuber och David A. Wardle

Boreala skogar är viktiga för lagring av kol. Det är därför viktigt att förstå hur de kommer att påverkas av klimatförändringarna.

Brand har viktiga konsekvenser för ekosystemets funktion och initierar en förutsägbar succession i undervegetationen.

Det är dåligt känt hur en temperaturhöjning skulle kunna påverka de stora funktionella grupperna i undervegetationen (t.ex. mossor och risväxter) i boreala skogar av varierande successionsålder.

Vi studerade hur markmikroorganismer, nematoder, förnedbrytning och utsläpp av näringsämnen påverkades av interaktioner mellan successionsstadium och uppvärmning samt borttagning av mossor och ris.

Markens mikroorganismer påverkades av successionsstadiet, uppvärmning och sammansättningen av funktionella växtgrupper, medan mossor och risväxter i större utsträckning styrde marknematoder, förnedbrytning och utsläpp av näringsämnen.

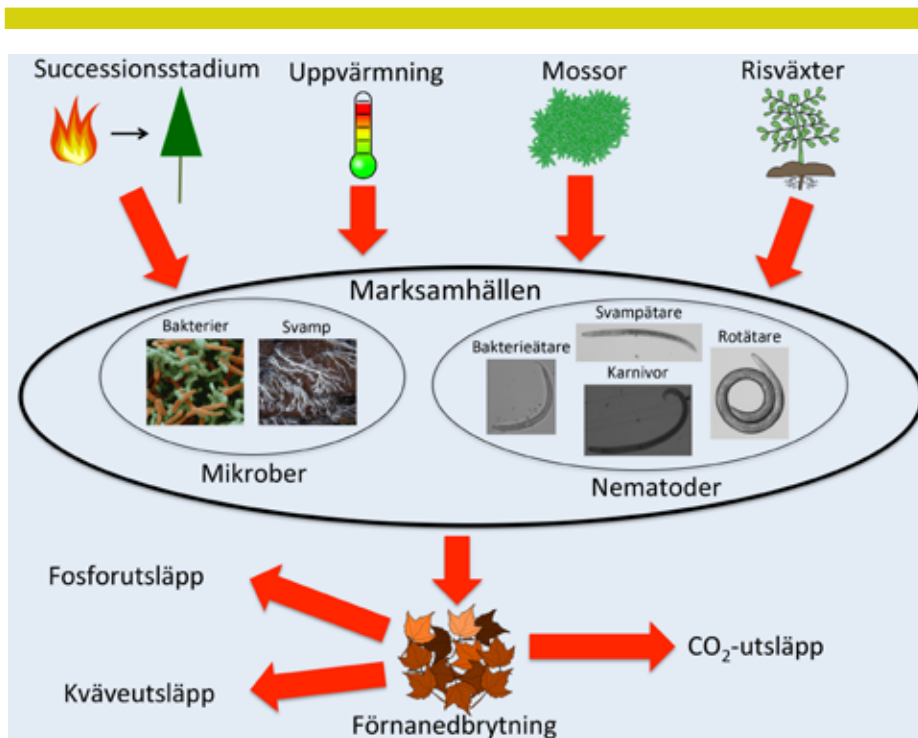
Resultaten visar att kortsiktigt så kan uppvärmning och successionsstadium påverka markmikroberna. Dessa verkar dock ha en relativt liten inverkan på processer och funktioner i den boreala skogens markecosystem. I takt med den globala uppvärmningen så kan höjningen av temperaturen indirekt framkalla förändringar i moss- och rissamhällen. Dessa kommer sannolikt i sin tur att påverka marknematoderna och förnedbrytningen och på så sätt även potentiellt förändra kolförråd och näringscykler.



## Boreala skogar i en varmare värld: Hur påverkas markekosystem av uppvärmning och förändringar i undervegetationen?

Jordens temperatur förväntas öka med 1–3 °C till slutet av århundradet. Varmare temperaturer kommer förmodligen att leda till förändringar i marksamhällen och temperaturdrivna processer såsom t.ex. förnedbrytning, näringsämnescykler och kollagring. Nuvarande teorier förutsår att nedbrytningen kommer att påskyndas pga. högre temperaturer. Detta kan i sin tur skapa en positiv återkoppling med klimatuppvärmningen i takt med att mer koldioxid släpps ut i atmosfären. En hel del osäkerhet kvarstår dock fortfarande om hur andra miljöförhållanden såsom interaktioner mellan växter i undervegetationen (t.ex. mossor och risväxter, Figur 1) kan komma att modifiera effekten av temperaturhöjningen på markorganismer och nedbrytning. Därför är det viktigt att studera uppvärmningens direkta effekt på marksamhällen och förnedbrytning tillsammans med dess interaktion med växter i undervegetationen. Detta är därmed också grundläggande för att förstå hur markorganismer, nedbrytning och de processer som regleras av dessa kommer att påverkas när klimatet förändras.

**Varför bry sig om växternas förmultning?** Atmosfärens koldioxid är en viktig växthusgas som via fotosyntes byggs in i växternas biomassa. När en växt dör så börjar dess biomassa att brytas ner. Växtvävnader bryts slutligen ner av nedbrytande organismer till koldioxid som sedan släpps ut till atmosfären och/eller marken. Nedbrytningen är efter fotosyntesen den process som i huvudsak avgör hur mycket kol (C) som lagras i marken.



Figur 2. Konceptuellt diagram som visar hur successionsstadiet, uppvärmning, mossor och risväxter påverkar marksamhällen. Förändringar i marksamhällen kan potentiellt förändra processer i förnedbrytningen, som i sin tur kontrollerar utsläppet av koldioxid till atmosfären och tillgängliggör kväve samt fosfor åt växter och mikrober.

Förutom att släppa ut C från växtvävnader, så kontrollerar nedbrytningen också cyklerna för andra näringsämnen som är viktiga för ekosystemprocesser, nämligen kväve (N) och fosfor (P). Näst efter C så är N och P huvudkomponenterna i både växt- och djurvävnader. Tillgången på N och P avgör tillväxten och produktiviteten hos växter, mikrober och djur i den boreala skogen.

Många olika organismer i marken, såsom mikrober (t.ex. bakterier och svampar) och nematoder, påverkar nedbrytningen i marken. Svampdominerade energiflöden i marken hänger vanligen ihop med långsammare nedbrytningshastigheter och cirkulation av näringsämnen. Däremot leder bakteriedominerade energiflöden oftast till snabbare nedbrytning och cirkulation. Nematoderna är också de vanligaste flercelliga djuren i världen och upptar många nischer i markens näringsväv. De äter t.ex. svamp, bakterier och växter samt även andra nematoder. Störningar i nematodsamhällen i marken kan tyda på förändringar i inflöde och nedbrytning av näringsämnena. Därför är det viktigt att förstå hur olika nedbrytande organismer reagerar på förändrade miljöförhållanden för att kunna förutsäga hur kollagringen samt kväve- och fosforcirkulationen kommer att påverkas av klimatförändringar (Figur 2).

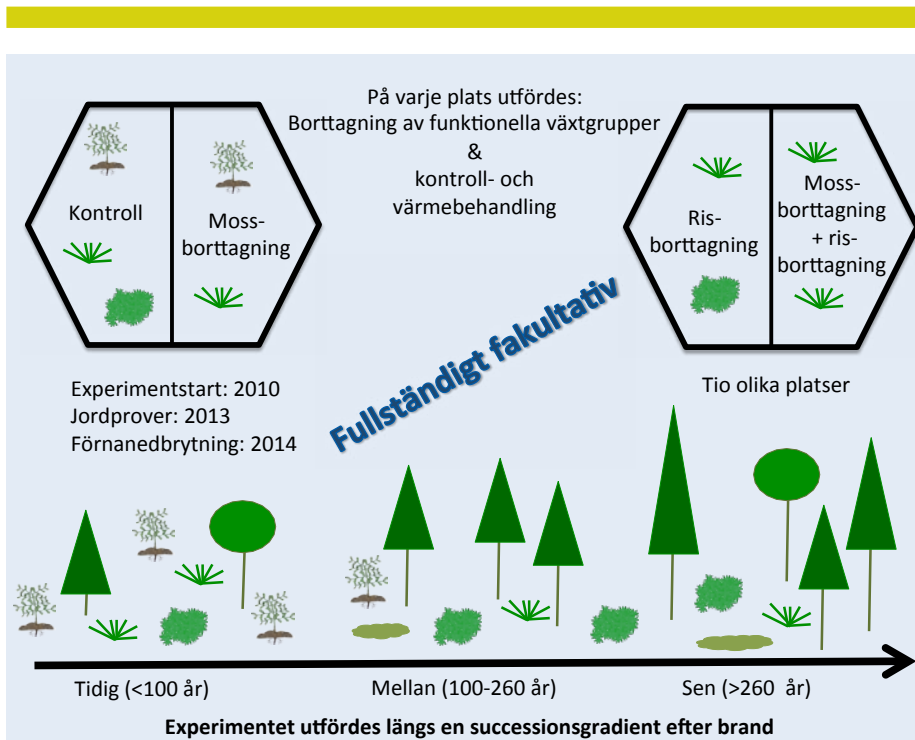
### Växtsamhällen i undervegetationen styr och ställer

Mossor och risväxter är de två dominerande funktionella växtgrupperna i den boreala skogens undervegetation. Mossorna kan öka nedbrytningstakten genom att skapa ett gynnsamt mikroklimat för



Figur 3. Påsar med förna under nedbrytning i en av provytorna i detta experiment. Borttagning av risväxter (vänster sida) samt av både mossor och risväxter (höger sida) i en sen succession i skog (N 65° 46' 27.17", E 19° 6' 20.37"). Området brann senast 1647. Foto Paul Kardol.

## Boreala skogar i en varmare värld: Hur påverkas markekosystem av uppvärmning och förändringar i undervegetationen?



Figur 4. Diagrammet visar experimentets design. Provytorna delades i två och tilldelades en av åtta fullt fakultativa kombinationer av uppvärmning, samt borttagning av risväxter och mossor. Totalt hade vi 80 stycken provytor.

nedbrytarna. Risväxter i undervegetationen producerar stora mängder förna, men kvaliteten i denna varierar mellan arter. Detta kan därmed påverka nedbrytningshastigheten via nedbrytarnas sammansättning och aktivitet.

### Succession efter eld i den boreala skogen

Skogsbrand orsakade av blixtnedslag är en av de starkaste abiotiska drivkrafterna i den boreala skogens ekosystemfunktioner. Antalet skogsbränder förväntas öka i takt med att klimatet förändras i glesbefolkade boreala regioner. I Fennoskandien har dock antalet naturliga skogsbränder minskat över de två senaste århundradena på grund av människans intervention. Längre perioder utan brand leder till mindre mängder växttillgängligt N. Detta förändrar växtsamhällena från snabbväxande växter med lättnedbrytbar förna till långsamväxande växter med långsammare förnedbrytning.

### En interaktiv experimentdesign

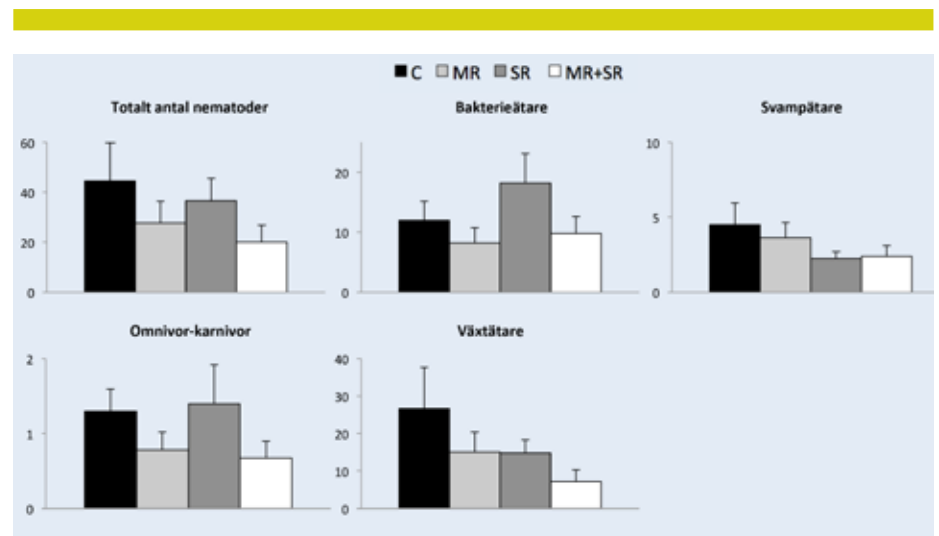
Provytorna i denna studie låg i närheten av Arvidsjaur. Vi använde oss av tio områden längs en branddriven tidssekvens, som varierade i tid från den senaste branden med 48–368 år. Vi tog bort funktionella grupper

samt värmebehandlade genom "open top chambers" (s.k. OTC:s) längs denna tidssekvens. Experiment där olika växtgrupper tas bort används för att förstå hur dessa påverkar ekosystemprocesserna. OTC:s höjer vanligtvis temperaturen med 1–2 °C under vegetationsperioden. I varje område lades fyra stycken sexkantiga ytor ut. Varje

yta var uppdelad i två provytor som slumpmässigt tilldelades en av åtta fullständigt fakultativa kombinationer av uppvärmning, samt borttagning av ris respektive mossor (Figur 4). Jordprover togs från varje provyta och användes för att mäta sammansättningen av nematod- och mikrosamhällen. Små förnapåsar som innehöll tre vanliga kärnväxter i den boreala skogen lades även ut i varje provyta och hämtades upp efter ett år för att analysera förlusten av biomassa samt av N och P (Figur 3).

### Vad vi upptäckte

Successionsstadiet, uppvärmning, samt borttagning av mossor och ris var alla en del av interaktionen som driver markens mikrosamhällen. Uppvärmningen samverkade med successionsstadiet och borttagningen av mossor och risväxter vilket gynnade bakteriebaserade energiflöden, särskilt i skogar tidigt i successionen. Bakteriebaserade energiflöden främjar snabbare nedbrytning och utsläpp av näringsämnen, vilket skulle kunna påverka mängden C i jorden. Det visade sig dock att nematodsamhällen påverkades mer av borttagandet av risväxter och mossor, än av successionsstadiet och uppvärmningen. De allra flesta nematoderna, särskilt svampätare, påverkades positivt av närvaron av mossor och risväxter (Figur 5). Resultaten visar att man bör beakta varje del av marksamhällen när man gör förutsägelser om klimatförändringarnas påverkan på nedbrytare i marken i den boreala skogen.



Figur 5. Uppmätning i varje provyta av totala antalet nematoder, bakterieätare, svampätare, omnivorer/ karnivorer och växtätare i kontrollgruppen (C), borttagning av mossor (MR), borttagning av risväxter (SR), samt borttagning av både mossor och risväxter (MR + SR). Datan visar medelvärden med standardavvikelse (C, MR, SR, MR+SR: n=20) uppmätt för nematoder per g (torrvikt) jord.

Å andra sidan kunde både förnatypen samt borttagande av mossor och risväxter påskynda nedbrytningen. Borttagandet av mossor medförde vanligtvis att biomasaförlusten från förnan minskade men att kväveförlusten ökade. Däremot medförde borttagningen av risväxter vanligtvis en ökning av biomasaförlusten. Förlusten av N blev densamma för bägge behandlingarna. Generellt sett hade successionsstadiet och uppvärmningen bara en liten effekt på förnanedbrytningen. På kort sikt är alltså mossor och risväxter av större betydelse än uppvärmning och successionsstadium för nedbrytning och utsläpp av näringsämnen i den boreala skogen.

#### Implikationer och framtiden

I takt med att klimatet förändras så förväntas mosstäcket minska och ristäckta ytor öka. Våra resultat tyder på att en

**”... man bör beakta varje del av mark-samhällen när man gör förutsägelser om klimatförändringarnas påverkan på nedbrytare i marken i den boreala skogen.”**

minskad täckningsgrad av mossor kommer att minska förnanedbrytningen och öka näringsämnenas cirkulationshastighet, medan en ökning av risväxter troligtvis kommer att minska bägge. Förändringar av marksamhällets struktur innebär inte nödvändigtvis förutsägbara förändringar i förnanedbrytningen. Klimatinducerade förändringar i undervegetationen kommer dock förmodligen att påverka produktiviteten i skogen, kollagringen och näringsämnenas cirkulation. Implikatio-

ner av denna studie är troligen relevanta för hela den boreala regionen på grund av att risväxter och mossor förekommer överallt. Våra resultat betonar vikten av att ta hänsyn till de direkta och indirekta effekterna av förändringarna hos mossor och risväxter för att kunna göra mer tillförlitliga förutsägelser om hur markorganismerna och nedbrytningen, samt de näringsfrigörande processer som de driver i den boreala skogen, kommer att reagera på klimatförändringar ■

#### Författarens tack

Denna studie kunde utföras med hjälp av stipendier från Kempe Foundation, Kungliga Vetenskapsakademien och Wallenberg Academy Fellowship till ED samt Wallenberg Scholars Scholarship award till DW. Översättningen från engelska till svenska gjordes av Emilio Otero Johansson.

#### Ämnesord

Boreal skog, kollagring, förnanedbrytning, globala klimatförändringar, nematoder, näringscykler, borttagning av funktionella växtgrupper, brandsuccession, markmikroorganismer.

#### Läs mer:

► **De Long, J.R., Dorrepaal, E., Kardol, P., Nilsson, M.-C., Teuber, L.M. & Wardle, D.A. 2015.** Contrasting responses of soil microbial and nematode communities to warming and plant functional group removal across a post-fire boreal forest successional gradient. *Ecosystems*, 19, 339–355.

► **De Long, J. R., Dorrepaal, E., Kardol, P., Nilsson, M.-C., Teuber, L.M. & Wardle, D.A. 2016.** Understory plant functional groups and litter species identity are stronger drivers of litter decomposition than warming along a boreal forest post-fire successional gradient. *Soil Biology and Biochemistry*, 98, 159–170.

#### Författare:



**Jonathan De Long**  
Doktorand,  
institutionen för skogens  
ekologi och skötsel,  
SLU, 901 83 Umeå  
Jonathan.Delong@  
manchester.ac.uk



**Marie-Charlotte Nilsson**  
Professor,  
institutionen för skogens  
ekologi och skötsel,  
SLU, 901 83 Umeå  
Marie-Charlotte.Nils-  
son@slu.se



**Ellen Dorrepaal**  
Forskare,  
Climate Impacts  
Research Center,  
institutionen för ekologi,  
miljö och geovetenskap,  
Umeå universitet,  
981 07 Abisko  
Ellen.Dorrepaal@umu.se



**Laurenz M. Teuber**  
Forskarassistent,  
Climate Impacts  
Research Center,  
institutionen för ekologi,  
miljö och geovetenskap,  
Umeå universitet,  
981 07 Abisko  
Laurenz.Teuber@umu.se



**Paul Kardol**  
Forskare,  
institutionen för skogens  
ekologi och skötsel,  
SLU, 901 83 Umeå  
Paul.Kardol@slu.se



**David A. Wardle**  
Professor,  
institutionen för skogens  
ekologi och skötsel,  
SLU, 901 83 Umeå  
David.Wardle@slu.se