

SVAMPEBEKÆMPELSE MED NATURENS EGNE MIDLER

Hvede angrebet af svampesydommen hvedegråplet.
Foto: Shutterstock.

Om forfatterne



Andreas Therge Sørensen er uddannet mikrobiolog fra Syddansk Universitet. Han arbejder som videnskabsjournalist ved virksomheden Bioomix. ats@bioomix.com



Thies Marten Heick er adjunkt, ph.d. ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet. Han arbejder med plantebeskyttelse og plantesundhed. thiesm.heick@agro.au.dk

Svampesygdomme er et stort problem i landbruget verden over, og derfor bruges der hvert år store mængder fungicider – sprøjtemidler mod svampe. Det medfører dog mange negative effekter, og derfor er der stor interesse i såkaldte biofungicider, der bruger mikrober til at bekæmpe svampene.

Svampe har i naturen en vigtig rolle som nedbrydere af dødt organisk materiale. Svampe er hårdføre organismer, og kan derfor trives godt i skovbunde med et lavt indhold af næringsstoffer.

Svampene producerer enzymer der kan nedbryde cellulose og andre plantefibre, som jordbundsdyr og bakterier har svært ved at fordøje. På den måde er de, sammen med bakterier, med til at nedbryde døde planter og dyr til carbondioxid, vand og næringsstoffer. Det gør dem essentielle i det mikrobielle samfund, hvor de spiller en central rolle i carbon- og næringsstofkredsløbene.

Langt de fleste plantearter i verden lever i mutualistiske symbiose-

forhold med svampe. Dette symbiotiske forhold kaldes Mykorrhiza, og her hjælper svampene deres værter med at optage næringsstoffer og vand mere effektivt ved at kolonisere planternes rødder og dække dem i hyfer. Hyferne strækker sig ud i den omgivende jord og forlænger plantens rodsystem. Til gengæld modtager svampene kulhydrater fra fotosyntesen, der foregår i planternes blade. Denne symbiose er enormt gavnlig, da svampe kan forhøje planternes optag af vigtige mikro- og makronæringsstoffer, hvilket er grunden til at så mange planter i naturen har svampe som partnere.

Men det er bestemt ikke alle svampe, der er gavnlige for planterne. Der findes således en række

svampe, der lever i et parasitisk symbioseforhold, og det er også et problem for os mennesker, når de angriber planter, vi bruger som afgrøder. Et eksempel er svampearten *Zymoseptoria tritici*, der forårsager hvedesydommen hvedegråplet (Septoria), der er en udbredt plantesygdom i Danmark. Den angriber vinterhvede allerede kort efter såning. Fugtigt vejr i maj kan medføre veletableret angreb i marken. Omkring slutningen af maj og begyndelsen af juni kan det fugtige vejr medføre, at smitten kan spredes til de øvre blade og aks. Svampenes angreb på akset kan resultere i et stort tab i udbytte, der globalt kan være op til cirka 40 % af den samlede høst. Og det er blot én af mange plantesygdomme som plager dansk korn. Andre svampe-

sygdomme, som gulrust, bygrust, bygbladplet, skoldplet og ramularia er også et stort problem.

Alt i alt mister vi i Nordvesteuropa knap 25 % af kornhøsten til svampesygdomme.

Problemer med svampemidler

Nogle plantesygdomme kan håndteres ved at bruge resistente plantesorter eller ved en ændring af dyrkningspraksissen. Men en del af sygdommene skal bekæmpes ved at anvende pesticider. For at give den bedst mulige effekt, bliver midlerne anvendt, før infektionerne etablerer sig, og i et tilstrækkeligt volumen for at kunne opnå den bedst mulige dækning af planterne.

Anvendelsen af fungicider har dog en bagside. Den mest anvendte gruppe af sprøjtemidler mod svampesygdomme i afgrøder kaldes azol-fungicider. Dem har vi anvendt i Danmark siden 1970'erne, og i dag bruges omkring 200 tons om året på de danske landbrugsarealer. Azoler findes nu udbredt i jorden i den danske natur, og man kan finde deres nedbrydningsprodukter i grundvandet (som 1,2,4-triazol). Forskning har vist, at brugen af azolfungicider har bidraget til selektion for azol-resistente svampe i miljøet. Det har gjort det stadig sværere for landmænd at behandle plantesygdomme som hvedgråplet-syge.

Den stigende resistens over for azoler er også et problem i behandlingen af svampeinfektioner i mennesker. Lungesygdommen Aspergillose behandles primært med azol-baserede lægemidler. Den forårsages af svampen *Aspergillus fumigatus*, en udbredt opportunistisk svamp, som kan findes stort set alle steder, og som ellers ikke udgør nogen fare, medmindre man har nedsat lungefunktion eller immunsystem. Siden 1998 har man fundet flere tilfælde af *Aspergillus*-infektioner i patienter, som har været svære at behandle. Det er vist, at en del svampe har udviklet deres resistens i miljøet



Foto: Mark Stebnicki, Pexels.

Pesticider som miljøproblem

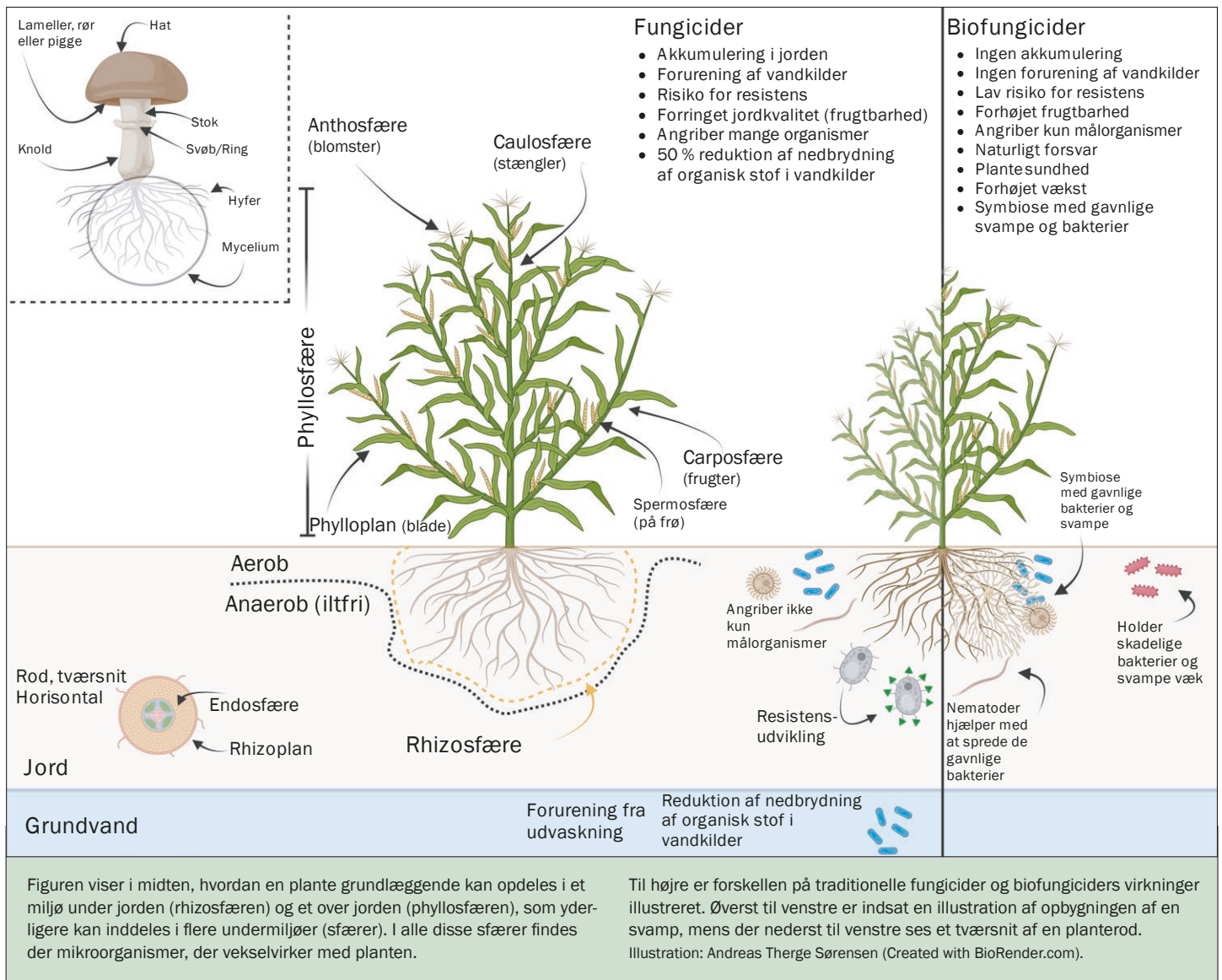
Pesticider er en samlebetegnelse for sprøjtemidler til at bekæmpe forskellige skadevoldere i landbruget. Insekticider og fungicider er således undergrupper af pesticider, der specifikt er beregnet til at bekæmpe henholdsvis insekter og svampe.

Brugen af pesticider medfører mange negative virkninger på både planter, mikroorganismer, dyr og mennesker. En gruppe forskere undersøgte eksempelvis i 2020 med udgangspunkt i cirka 150 publikationer og Verdenssundhedsorganisationen WHO's databaser, hvor mange mennesker, der rammes af pesticidforgiftning på verdensplan. De estimerede, at omkring 11.000 mennesker hvert år dør som følge af pesticidforgiftning, mens hele 385 millioner mennesker udsættes for en skadelig mængde pesticider.

Pesticider er næst efter nitrat den vigtigste årsag til, at man ikke kan opnå en god vandkvalitet i de europæiske vandområder. Pesticiderne har en lang levetid i naturen, og den eneste måde, de bliver fjernet på, er gennem nedbrydning ved biotiske eller abiotiske omdannelsesprocesser. Fungicidernes skæbne og effekter i miljøet afhænger af deres egenskaber (for eksempel binding til jorden, nedbrydelighed) og miljøfaktorer (for eksempel jordtype, nedbør, topografi og landbrugsforvaltningspraksis).



Det mutualistiske symbioseforhold mellem en svamp og en plante kaldes mykorrhiza. Foto: Shutterstock.



og ikke som følge af lang tids azol-behandling.

Mange negative effekter

Udover sådanne eksempler på resistensudvikling er der også set andre negative effekter af brugen af fungicider. I Costa Rica har man set eksempler på, at akkumulering af kobberbaserede svampemidler har gjort jorden ubrugelig til dyrkning af alle slags afgrøder. Langtidsbrugen af denne type midler kan have negative virkninger på økosystemerne både på land og i vand, hvor der kan ske en ophobning begge steder.

Fungicider har flere skadelige virkninger på det mikrobielle samfund i jorden, når man sammenligner

dem med midler mod insekter og ukrudt (insekticider og herbicider). For eksempel kan brugen af fungiciderne klorothalonil og dinitrophenyl påvirke nogle af de bakterier, der er involveret i fikseringen af atmosfærisk kvælstof til nitrat, så både nitrifikations- og denitrifikationsprocesserne bliver afbrudt. Det betyder, at der vil ske en ophobning af ammonium og nitrat i jorden eller vandmiljøet, der kan øge risikoen for toksicitet over for planter og dyr, og eutrofiering af vandmiljøer på grund af udvaskning.

Fungicider kan mindske forekomsten af almindelige jordbundssvampe som *Penicillium* og *Trichoderma* spp, og dermed reducere konkurrencen om næringsstoffer, hvilket

vil øge bestanden af patogener med modstandsdygtighed over for svampemidlerne. Og anvendelse af benzimidazoler kan reducere forekomsten af den gruppe svampe, der kaldes *Entomophthora*, som er et naturligt biologisk bekæmpelsesmiddel imod bladlus.

Brugen af fungicider kan også påvirke symbiosen mellem planter og mykorrhizasvampe og hæmme udviklingen og bakteriekoloniseringen af rodsystemet, optag af næringsstoffer, vækst, udbytte, protein- og fosforindhold. Studier har vist, at de påvirker svampenes hyfer og sporer, hvilket reducerer deres aktivitet og dermed forringer de fordele, planten får gennem symbiosen med svampe.



Produkter bliver screenet ved dyrkningsforsøg i grotelt, hvor plantens udvikling evalueres. Foto: Simon Nørlev Vraa, Kolorit Media.

Fungicider i vandmiljø og grundvand

Nogle fungicider kan udvaskes til de nedre jordlag og dermed bidrage til forurening af grundvandet. Ved brug af pesticider i bestemte afgrøder som grøntsager, frugt, krydderier og ris kan der ophobes toksiske koncentrationer, der overstiger de tilladte niveauer. I 2014 blev der foretaget undersøgelser af vandprøver fra 123 forskellige vandløb rundt omkring i verden. Prøverne blev analyseret for forekomsten af fungicider og deres effekt på mikroorganismer, som er afgørende for flere forskellige økosystemprocesser (for eksempel næringsstofkredsløbet og nedbrydningen af organisk stof). Man så på, om forurening af fungicider havde en indvirkning på mikroorganismene og deres aktivitet. Her fandt forskerne, at i flere end halvdelen af vandløbene var nedbrydningen af organisk stof reduceret med cirka 50 %. Den høje toksicitet i vandprøverne skyldtes fungiciderne strobilurin, triazol og imidazol, som udgjorde cirka 60 % af den totale mængde fungicider, men bidrog med cirka 97 % af den samlede toksicitet overfor mikroor-

ganismene. Den meget høje reduktion i nedbrydningen af organisk stof kan have store konsekvenser for stofkredsløbene i vandløbs økosystem.

Biofungicider udnytter naturens eget forsvar

Et alternativ til syntetiske svampemidler, der benyttes i dag, er mikrobielle biofungicider, som består af mikroorganismer, som kan hæmme eller dræbe patogene svampe. Sådanne midler kan både benyttes i økologisk og konventionelt landbrug. De anvendte mikroorganismer kan være bakteriearter (af for eksempel bacillus-, pseudomonas- og streptomycesslægterne) eller svampearter (af for eksempel trichoderma). Mikroorganismer, der koloniserer planternes rødder, producerer en række naturlige forbindelser, som har svampbekæmpende egenskaber, der beskytter planten uden at forurene det omgivende miljø. Endvidere styrker nogle mikroorganismer planternes egen modstanddygtighed, mens andre udkonkurrerer svampene ved at tage deres plads og næringsstoffer.

I to artikler der blev udgivet i *Journal of Biofertilizers & Biopesticides* i henholdsvis 2012 og 2014, kunne forskere fastslå, at de potentielle fordele ved brugen af biofungicider i landbruget er betydelige. Nogle landmænd i økologiske landbrug benytter allerede biofungicider for at sikre og forbedre kvaliteten af deres økologiske produkter. Anvendes biofungicider som en del af en såkaldt integreret plantebeskyttelse (IPM), der går ud på at forebygge og begrænse forekomsten af ukrudt, svampesygdomme og skadedyr på en måde, der minimerer det samlede behov for brug af pesticider, kan man opnå en acceptabel bekæmpelse af skadevolderne hos afgrøder som frugt, grøntsager, nødder og blomster.

Biofungicider er normalt mindre giftige i sig selv end konventionelle fungicider. Biofungicider er ofte meget effektive i små mængder og nedbrydes hurtigt. Det medvirker til, at man kan undgå de forureningsproblemer, som de konventionelle fungicider forårsager. Bliver de benyttet som en del af programmer for integreret plantebeskyttelse, kan

Videre læsning

Der er fri adgang til de nævnte artikler:

Heijden, M.G. et al., 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist*, 205(4), pp.1406–1423.

Jamil, F. et al., 2022. Rhizosphere signaling: Insights into plant–RHIZOMICROBIOME interactions for sustainable agronomy. *Microorganisms*, 10(5), p.899.

Ullah, M. & Dijkstra, F., 2019. Fungicide and bactericide effects on carbon and nitrogen cycling in soils: A meta-analysis. *Soil Systems*, 3(2), p.23.

Jørgensen, L.N. and Heick, T.M. (2021) "Azole use in agriculture, horticulture, and Wood Preservation – is it indispensable?," *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11. Available at: doi.org/10.3389/fcimb.2021.730297.

Information om "mikrobiologiske pesticider" på Miljøstyrelsens hjemmeside: mst.dk/kemi/pesticider/alternative-sproejtemidler/mikrobiologiske-midler/

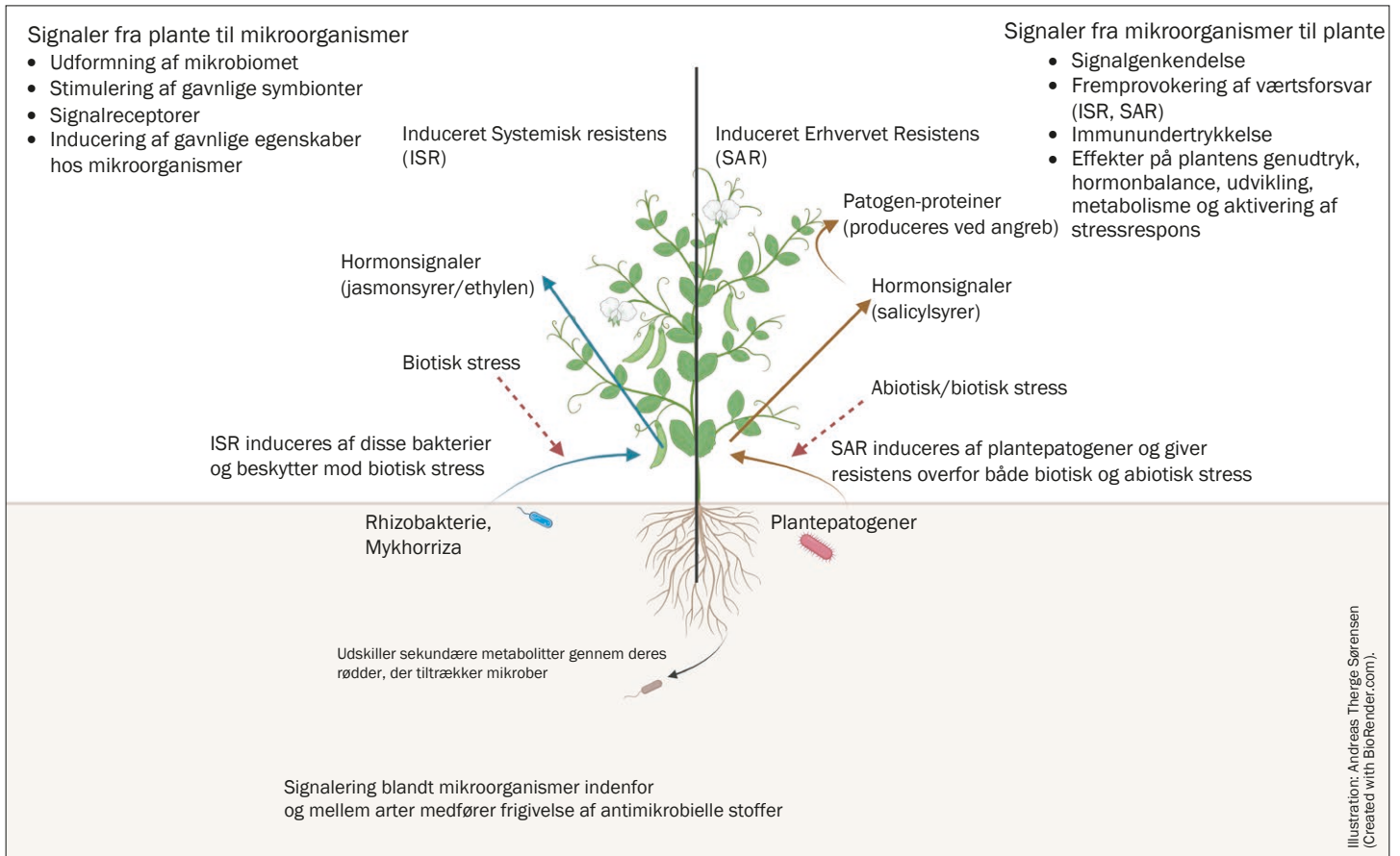


Illustration: Andreas Therge Sørensen (Created with Blender.com).

Figuren viser de forskellige interaktioner mellem planter og mikroorganismer og de to forsvarsmekanismer Induceret Systemisk Resistens (ISR) og Induceret Erhvervet Resistens (SAR), der opstår på grund af plantens interaktion med henholdsvis gavnlige og skadelige mikroorganismer.

ISR opstår som følge af plantens lokale vekselvirkning med rhizobakterier ved rødderne – en vekselvirkning der er til fordel for både planter og mikroorganismer. SAR er en forsvarsstrategi, hvor et lokalt angreb af en patogen på for eksempel blade, resulterer i beskyttelse af hele planten mod efterfølgende angreb. Hormonsignaler spiller en vigtig rolle i begge strategier. Jasmonsyre spiller således en vigtig rolle i signaleringen i plantens reaktion på planteædere og sår, mens ethylen spiller en nøglerolle for planternes vækst og udvikling og er en vigtig stressregulator. Salicylsyrer er involveret i forsvarsreaktioner på skadevoldende organismer og er med til at inducere planteforsvar mod både biotiske og abiotiske belastninger gennem morfologiske, fysiologiske og biokemiske mekanismer.

man i høj grad mindske brugen af de konventionelle midler, samtidig med at udbyttet af afgrøderne forbliver høj.

Bakterier, der benyttes i biofungicider, kan beskytte planter mod skadelige svampe og vira og give en øget modstandsdygtighed over for bakterier igennem en mekanisme kaldet induceret, systemisk resistens. Det foregår ved, at de gavnlige bakterier aktiverer plantens forsvarssystem, fordi de er i kontakt med plantens rødder. Mekanismen involverer signaler, der bliver transporteret gennem rødderne og luften og advarer de dele af planten, som endnu ikke er blevet angrebet. Bakterierne i biofungiciderne kan også frigive flygtige organiske for-

bindelser, som er en meget effektiv forsvarsmekanisme til at bekæmpe patogener.

Potentiale skal udfoldes

De væsentligste fordele ved at anvende biofungicider frem for konventionelle fungicider er, at de kan være med til at opretholde jordens frugtbarhed samtidig med, at de potentielt kan øge udbyttet og forbedre planternes sundhed.

Biofungicidernes effekter kan dog svinge meget og afhænger meget af vejrforhold. Det er vist, at biofungicider er gode til at bekæmpe plantesygdomme i beskyttede miljøer som drivhuse, men der mangler stadig gode resultater for, hvordan de virker på

store udendørs arealer. Det tager tid for biofungicider at etablere sig på planter og trænge ned gennem jordens overflade, og imens er de sårbare overfor regn og UV-stråler, som kan eliminere dem, inden de når at have en effekt.

Både forskere på universiteter og private virksomheder arbejder i dag med at undersøge biofungicidernes virkninger på svampesygdomme, og om de potentielt kan have skadelige virkninger for mennesker og andre organismer i naturen. Håbet er, at vi dermed kan udfolde biofungicidernes potentiale som et mere naturligt og gavnligt forsvar mod plantesygdomme, der kan sikre jordens frugtbarhed og øge fødevarerproduktionen. ■