

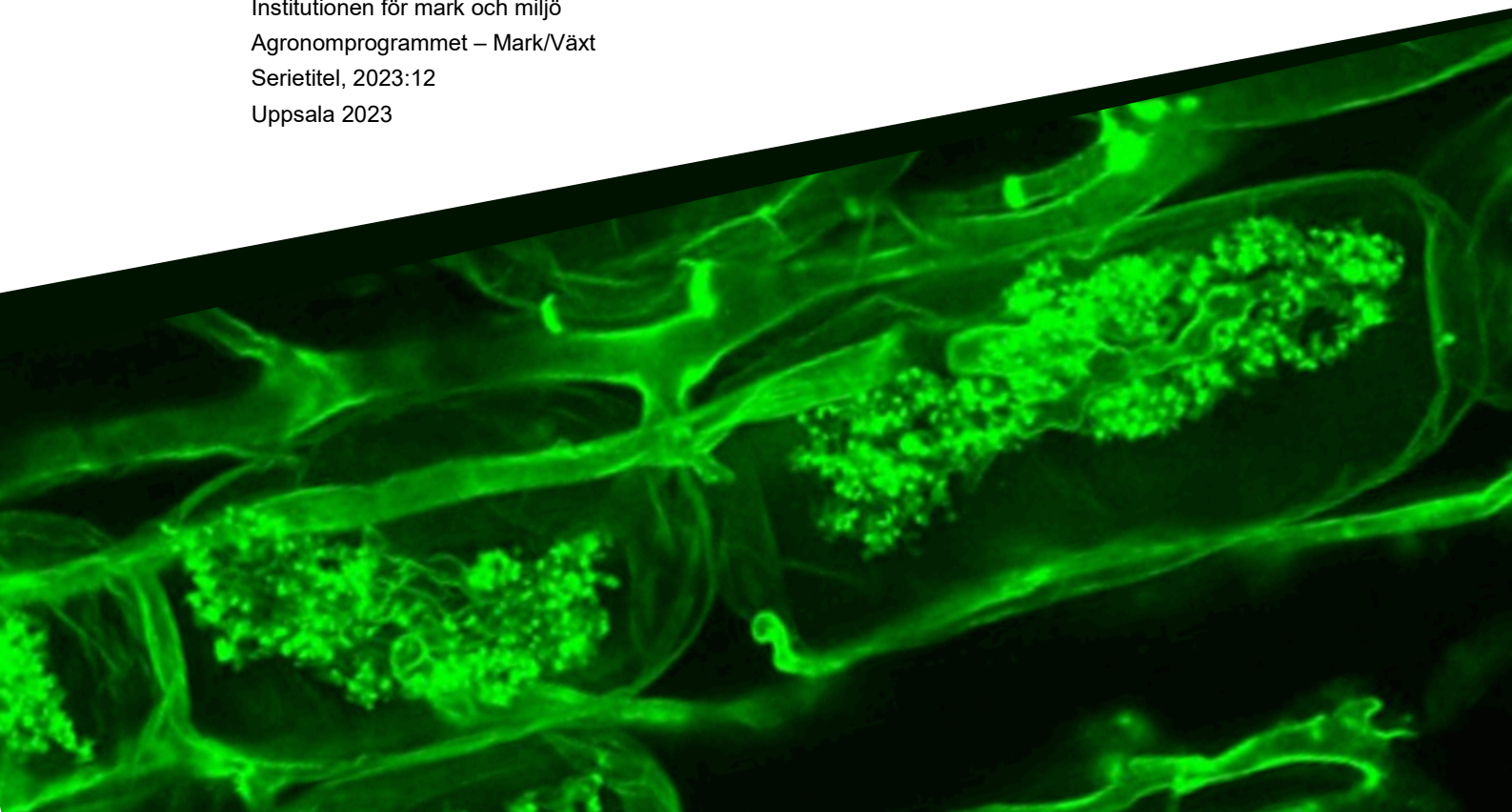


Forskning och nyttjande av arbuskulär mykorrhiza inom nordiskt jordbruk

En litteraturstudie

Tova Väätäinen

Examensarbete/Självständigt arbete • 15 hp
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för mark och miljö
Agronomprogrammet – Mark/Växt
Serietitel, 2023:12
Uppsala 2023



Forskning och nyttjande av mykorrhiza inom nordiskt jordbruk – en litteraturstudie

Research and use of mycorrhiza in Nordic agriculture – a literature study

Tova Väätäinen

Handledare: Björn Lindahl, SLU, institutionen för mark och miljö
Bitr. handledare: Johanna Wetterlind, SLU, institutionen för mark och miljö
Examinator: Anke Herrmann, SLU, institutionen för mark och miljö

Omfattning: 15
Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E
Kurstitel: Självständigt arbete i biologi
Kurskod: EX0894
Program/utbildning: Agronom – Mark/Växt
Kursansvarig inst.: Institutionen för Vatten och Miljö
Utgivningsort: Uppsala
Utgivningsår: 2023
Omslagsbild: Priya Pimprikar
Upphovsrätt: Alla bilder används med upphovspersonens tillstånd.
Nyckelord: inokulering, AM, Norden, vete, linser, potatis

Sveriges lantbruksuniversitet
Fakulteten för naturresurser och jordbruksvetenskap
Institutionen för mark och miljö

Sammanfattning

Glomeromycota är en division svampar som bildar arbuskulär mykorrhiza (AM) med mer än 80% av alla landlevande växter. Via denna symbios får svampen kolhydrater från växten och i gengäld får växten näringsämnen. Utöver näringsutbytet kan växten även få en ökad resistens mot många abiotiska och biotiska faktorer samt en ökad tillväxt och skörd. Forskning har gjorts på svamparna för att förstå hur dessa effekter uppkommer och hur svamparna kan tillföras inom jordbruket för att få dessa önskade egenskaper. Syftet med denna studie var att undersöka den forskning som gjorts om arbuskulär mykorrhiza i nordiskt klimat eller i ett liknande klimat samt de grödor som odlas här och se vilka resultat som var relevanta för nordiskt jordbruk. Studien undersökte även hur väl kommersiella inokulat fungerat i storskaliga undersökningar.

Litteraturen som undersöktes var vetenskapligt granskade texter i vetenskapliga tidskrifter där primära forskningsresultat, meta-analyser samt enstaka litteraturöversikter inkluderades.

Utöver detta utgjorde boken *Mycoagroecology: Integrating Fungi into Agroecosystems* den naturvetenskapliga förankringen och sammanfattning av det aktuella kunskapsläget om arbuskulär mykorrhiza inom jordbruk.

Mycket av den forskning som gjorts är gjord på grödor som inte är relevanta i nordiskt klimat eller i ett varmare klimat vilket gör att resultaten inte alltid går att tillämpa inom nordiskt jordbruk.

Majoriteten av forskningen är gjord på ett fåtal arter svampar som är naturligt förekommande på många områden och dessa arter är även vanliga i dagens kommersiella inokulat. Kallare klimat har visat en lägre artrikedom och en annan diversitet av AM svampar vilket gör att de arter som finns i de kommersiella inokulaten kan vara mindre lämpade för ett kallare klimat. Dagens lagstiftning kräver ingen vetenskaplig dokumentation över innehållet i ett inokulat som säljs och storskalig undersökning har visat att dessa inte lever upp till vad som förväntas av dess innehåll. Detta kan skada förtroendet för användning av AM inom jordbruket och även vidare forskning.

Forskningsresultaten som är relevanta för nordiskt klimat och de grödor som odlas här visar att inokulering eller naturlig förekomst av AM kan ge positiva effekter såsom: ökad skörd och högre näringsmängd i planta och kärna, ökad motståndskraft mot svamppatogener samt ökad tolerans mot; torra, tungmetaller och osmotisk stress. Däremot uppvisar olika sorter av grödor skillnader i benägenhet att bilda symbios med AM svampar och en del grödor bildar inte symbios alls.

Hämmande faktorer för växtens benägenhet att bilda symbios eller för svampens överlevnad (med variation mellan arter) har i forskning visat sig vara: jordbearbetning, stora mängder av- och kvoten mellan kväve och fosfor, växtföljd, pH och altitud.

Flertalet studier visar att inokulering av både svamp och bakterier har visat mycket goda resultat och pekar på en synergistisk effekt med högre skörd än vid inokulering av endast svamp eller bakterier.

Sammantaget visar förekomst eller inokulering av AM svampar många önskvärda effekter men mer kunskap och rådgivning till jordbrukare krävs för att få mer säkra resultat vid storskalig användning. Klimatskillnader har inverkan på både AM svampar och grödor men forskningen visar en god potential för nyttjande av AM svampar inom nordiskt jordbruk och motivera till vidare forskning.

Nyckelord: inokulering, AM, Norden, vete, linser, potatis

Abstract

Glomeromycota is an arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that forms symbiosis with more than 80% of all terrestrial plants. This symbiosis provides the fungus with carbohydrates from the plant and in return the plant receives nutrients. In addition to the nutrient exchange, the plant can also gain increased resistance to many abiotic and biotic stresses as well as increased growth and yield. Research has been done on AMF to understand how these effects occur and how the fungi can be added in agriculture to obtain these desired properties. The purpose of this study was to examine the research that has been done on arbuscular mycorrhiza in Nordic climates (or in a similar climate) and the crops grown here to see which results that were relevant for Nordic agriculture. The study also investigated how well commercial inocula performed in large-scale trials.

The literature examined was scientifically reviewed texts in scientific journals where primary research results, meta-analyses and occasional literature reviews were included.

In addition to this, the book *Mycoagroecology: Integrating Fungi into Agroecosystems* constituted the scientific anchoring and summary of the current state of knowledge about arbuscular mycorrhiza in agriculture.

Much of the research that has been done on crops that are not relevant in the Nordic climate or in a warmer climate, which means that the results cannot always be applied in Nordic agriculture. The majority of research has been done on a few fungal species that occurs naturally in many areas and these species are also common in commercial inocula today. Colder climates have shown a lower species richness and a different diversity of AM fungi, which means that the species in the commercial inocula may be less suitable in a colder climate. Current legislation does not require scientific documentation of the content of an inoculum being sold and investigation of commercial inocula has shown that they do not live up to what is expected of its content. This can damage confidence in the use of AM in agriculture and may also impact further research negatively.

The research results that are relevant to the Nordic climate and the crops grown here show that inoculation or natural occurrence of AM can have positive effects such as: increased yield and higher nutrient content in plant and grain, increased resistance to fungal pathogens and resistance to; drought, heavy metals and osmotic stress. However, different varieties of a crop show differences in the propensity to form symbiosis with AM fungi and some crops do not form symbiosis at all.

Inhibitory factors for the plant's tendency to form symbiosis or the survival of the fungi (with variation between species) have been shown in research to be: tillage, large amounts and the ratio between nitrogen and phosphorus, crop rotation, pH and altitude.

Inoculation of both fungus and bacteria has shown very good results and points to a synergistic effect with higher yield than inoculating with only fungus or bacteria.

Overall, the presence or inoculation of AM fungi shows many desirable effects but more knowledge and advice to the farmer is needed to obtain more confident results in large-scale use. Climate differences have an impact on both AM fungi and crops, but the research shows a good potential for the use of AM fungi in Nordic agriculture and motivates further research.

Keywords: inoculation, AM, AMF, Nordic, wheat, lentils, potato

Innehållsförteckning

Sammanfattning	3
Förkortningar	6
1. Inledning	7
1.1 Arbuskulär mykorrhiza.....	7
1.2 Mykorrhizas roll i jordbruk.....	8
1.3 Inokulering.....	9
1.4 Syfte och frågeställning.....	10
2. Metod	11
3. Resultat	12
3.1 Abiotiska och biotiska faktorerers inverkan på AM.....	12
3.1.1 Latitud, spordensitet och arter av AM i Norden.....	12
3.1.2 Torkstress.....	12
3.1.3 Jordbearbetning	13
3.1.4 Ursprung av växter och AM.....	13
3.3 Vete <i>Triticum aestivum</i>	14
3.3.1 Metaanalys av vete <i>Triticum aestivum</i>	14
3.3.2 Tillväxt och skördemängd hos linser och vete som inokulerats med tre <i>Glomus</i> isolat från Saskatchewan jordar (1994)	16
3.3.3 Tillväxt och respons hos linser och vete på <i>Glomus clarum</i> vid olika fosformängder i Saskatchewan jordar med inhemsk AM.....	17
3.4 Gener och koloniseringsgrad.....	18
3.5 Kväve och fosfors inverkan på AM och bladlöss.....	18
3.6 Potatis <i>Solanum tuberosum</i>	19
3.7 Andra effekter av AM.....	20
3.7.1 Svamp mot svamp.....	21
3.7.2 Bakterier.....	21
3.8 Kommersiella inokulat.....	21
3.8.1 Storskalig undersökning.....	22
3.8.2 Analys av flera fältförsök på potatis.....	22
3.8.3 Inokulats överlevnad.....	22
3.9 Biokol.....	23
4. Diskussion och slutsats	23
4.1 Diskussion	24
4.2 Slutsats.....	27
5. Referenser	30

Förkortningar

AM	Arbuskulär mykorrhiza
SLU	Sveriges lantbruksuniversitet
NPK	Kväve, fosfor och kalium
ATP	Adenosintrifosfat
AMF	Arbuscular mycorrhizal fungi

Inledning

1.1 Arbuskulär mykorrhiza

Symbios mellan växter och svampar som bildar arbusklar kallas arbuskulär mykorrhiza (AM) där Glomeromycota står för den övervägande majoriteteten av svampar som bildar AM. AM är även den dominerande mykorrhizabildande svampen bland våra jordbruksgrödor (Nouri et al. 2014)

Svampriket indelas idag i fem divisioner, Chytridiomycota, Ascomycota, Basidiomycota, Zygomycota och Glomeromycota. Glomeromycota tillhörde fram till 2001 divisionen Zygomycota men molekylära, morfologiska och ekologiska egenskaper stödjer att gruppen bör betraktas som en egen division (Schüßler et al. 2001)

Glomeromycota är en monofyletisk grupp vilket innebär att alla arter inom gruppen härstammar från samma förfäder. Svamparna är marklevande och förekommer i nästan alla landekosystem och tros ha spelat en avgörande roll vid första koloniseringen av växter på land (Thomas et al. 2015). De är obligata biotrofer (beroende av en värdorganism för sin överlevnad) som i över 400 miljoner år haft ett mutualistiskt förhållande med växter. Symbiosen förekommer hos mer än 80% av alla landlevande växter (Gall et al. 2023)

Hittills har 250 arter av Glomeromycota hittats och endast asexuell förökning har observerats. Svamparna är inte värdspecifika men många arter av växter har en hög grad av selektivitet som kan ha uppkommit av att specifika arter av svampar och växter har levt länge i samma ekosystem (Thomas et al. 2015). Glomeromycota behöver en värdväxt för att sporer ska kunna gro och svampen ska kunna överleva (Gall et al. 2023).

Utsöndring av hormonet strigolacton från växtrötterna initierar groningen av svampsporer i jorden. Svampen bildar appressoriumhyfer som infekterar växtens rot. Detta möjliggör för hyfer att penetrera cellväggen och växa in i rotens cortexceller och bilda en struktur som kallas arbusklar.

De intracellulära hyferna penetrerar inte cellmembranet hos växtcellen och står därför inte i direkt kontakt med cellens cytoplasma utan bildar en invändig apoplast. Den invändiga apoplasten skapar en länk mellan växt och svamp där näringsutbyte kan ske och regleras. Genom detta får svampen tillgång till energirikt reducerat kol som bundits in via växtens fotosyntes och växten får näringsämnen som tagits upp av svampens hyfer.

Mindre omkrets samt hög tillväxthastighet hos svamphyferna resulterar i snabbare kolonisering och åtkomst av mindre porer i jorden än växtrötter.

Koloniseringen av rot och den omgivande jorden leder därför till ökad area där näringsupptag kan ske vilket ger ökad tillgång till näring i marken för växten (Gall et al. 2023). Upp till 80% av näringsupptaget av fosfor och kväve till växten kan ske via mykorrhizasvampar (Salomon et al. 2022).

Svampen utsöndrar ett sekret av fosfatasenzymer som reagerar med föreningar där fosfor är bundet vilket frigör fosfor som annars inte är tillgänglig för växterna. Svampens upptag av fosfor genom hyfer, som sedan transporteras till växten, minskar även risken att den fosfor som finns frigjord i marken binder till partiklar och blir otillgänglig för växten (Lindahl 2023).

Utöver det mutualistiska näringsutbytet leder AM:s infektion till fler fördelar som uppkommer tack vare en immunresponskedja mellan svamp och växt. När det skett en infektion känner växten av närvaron av AM i rotvävnaden. Som försvarsrespons skickas hormonet salicylsyra ut vilket triggar växtens immunitet. Svampen utsöndrar i sin tur då effekter som trycker ner plantans immunförsvar vid hyferna och plantan svarar återigen men denna gång med hormonet jasmonsyra (Gall et al. 2023).

Denna kedja av händelser förändrar plantans biokemiska respons och rotens morfologi. När en växt med AM utsätts för biotisk stress initierar den syntes av antioxidativa enzymer som ökar dess resistens mot sjukdomar.

AM ökar även växtens tolerans mot torka, osmotisk stress, temperatur och tungmetaller. Den största effekten i tolerans mot biotiska och abiotiska faktorer har dock setts vid kombinerad inokulering av svamp och vissa bakterier (Parihar 2022).

Utöver fördelarna för växten påverkar svampen även markstrukturen genom sin utsöndring av glomalin som ökar aggregeringen av jordpartiklarna (Parihar 2022). Forskning har även visat evidens för att kolonisering av AM minskar risken för näringsläckage tack vare det utökade upptaget av den näring som finns i marken (Salomon et al. 2022; Chen et al. 2018). Koloniseringen och transporten av näring genom svamp till växt gynnar även andra mikroorganismer, speciellt bakterier (Conceição et al. 2022)

1.2 Mykorrhizas roll i jordbruk

Förekomsten av AM är stor bland våra jordbruksgrödor och majoriteten av grödorna bildar symbios i varierande grad (Gall et al. 2023). Grödor som ingår i familjen *Brassicaceae*, som innefattar bland annat alla kålväxter, raps och rovor (Šamec 2019) bildar däremot inte symbios med AM.

Då svamparna är obligata biotrofer är de beroende av sin värdväxt för sin överlevnad. Odling av de grödor som inte bildar AM kan då ha inverkan på förekomsten av sporer som kan kolonisera nästkommande gröda (Gall et al. 2023).

AM inom jordbruket för med sig många fördelar för våra grödor som ökad åtkomst av näring och vatten som finns i marken, ökad tillväxt och generering av en ökad tolerans hos grödan för biotiska och abiotiska skador. Svampens effekter på grödan påverkas av olika faktorer som gödsling, art av svamp, genotyp hos grödan samt hur jorden brukas (Parihar 2022). Även mindre mängd av organiskt material i marken har stor negativ inverkan på det mikrobiella livet (Nouri et al. 2014).

I åkermark där vi tillför lättillgänglig näring via gödsling har växten inte samma behov av att bilda symbios med AM. Kväve och fosfor är två av de näringsämnen en växt behöver mest av där särskilt fosfor är det näringsämne som vid stor tillgång begränsar bildandet av mykorrhiza. Ökade fosforhalter har visat sig minska

symbiosen av mykorrhiza hos växter medan lägre halter främjar bildandet (Sjöberg et al. 2004; Nurbaity et al. 2016; Loit et al. 2018). Då växten nedreglerar sitt immunförsvar, och ger kol till svampen i utbyte mot fosfor, blir den inte lika benägen att bilda denna symbios på grund av dess lätta tillgång till fosfor (Lindahl 2023).

När vi gödslar med en stor mängd fosfor minskar förekomsten av AM i jorden. Denna negativa trend har visat sig ligga bakom ökade halter av kadmium i vete då symbios mellan växt och AM minskar upptag av tungmetaller (Yazici et al. 2021).

Höga kvävehalter har också visat sig minska groningen av AM-sporer och på så sätt även bildandet av symbios. Däremot har det visat sig att växten trots höga nivåer av fosfor i marken kan ingå symbios om det samtidigt råder kvävebrist. Detta gör att kolonisering och bildande av mykorrhiza kan ske när det råder brist på ett av de essentiella ämnena för växten (Nouri et al. 2014).

Olika nivåer av dessa två näringsämnen har visat sig leda till olika utfall av symbios hos svampen. Vid fosforbrist i marken skapas ett mutualistiskt förhållande medan det i förhållanden med kvävebrist mer skiftar till kommensalism (en art drar nytta av förhållandet medan en är opåverkad) eller förhållande där svampen parasiterar på växten (Johnson et al. 2015).

Fosfor är en viktig beståndsdel i nukleinsyror, ATP och cellmembran (som består av fosfolipider) (Lindahl 2023). Vid brist bildar växten färre blommor och blomningen blir försenad och fröbildningen minskar, men det främsta symtomet är minskad tillväxt.

Kväve behövs för bildning av proteiner, amino- och nukleinsyror. Det behövs även i enzymer samt för växtens tillväxt. Vid brist minskar tillväxten hos växten (Jordbruksverket 2003).

1.3 Inokulering

För att tillföra AM i jordbruksmarker kan inokulering tillämpas. Inokulering innebär att en mikroorganism, celler eller patogen introduceras i ett medium eller substrat där den kan infektera och föröka sig (Sood et al. 2011).

Inokulatet kan bestå av sporer, levande hyfer eller rötter som är infekterade med svampen. Då svampen är obligat biotrof måste den odlas med en värdväxt. För växter som odlas i växthus för senare plantering är denna metod effektiv men för andra grödor kan de infekterade rötterna finfördelas och användas som koncentrerat inokulat. En riskfaktor med denna metod är dock spridning av patogener som kan följa med rotfragmenten.

Trots svårigheterna på grund av att AM är en obligat biotrof så har inokulering ofta visat sig fungera väl och svampen koloniserar jorden förvånansvärt snabbt.

Den enklaste storskaliga metoden för spridning av inokulat är att blanda in inokulerat material med en mängd jord och sedan sprida detta över större arealer. Denna metod är dock resurskrävande och inte kostnadseffektiv.

Den mest kostnadseffektiva metoden är att inokulera utsädet med svampen. Vid denna metod används ett bindemedel som fäster svampen på fröet och ett fyllnadsmedel som underlättar hanteringen. Valet av bindemedel och fyllningsmedel är viktiga då dessa inte får påverka fröets grobarhet eller svampens

överlevnad negativt. Förvaringstiden av inokulerat utsäde får heller inte vara för lång då detta kan påverka många svamparters överlevnad. Detta kan göra det svårare för jordbrukare att planera sin odling då utsäde inte kan förvaras på bra sätt.

De mest använda arterna vid inokulering generellt är *Funneliformis mosseae*, *Rhizophagus intraradices* och *Rhizophagus irregularis*, där alla tre är generalister som kan odlas i labb och tål långvarig förvaring (Gall et al. 2023). Dessa arter är även vanligt förekommande naturligt i många jordar från olika regioner och klimat (Parihar 2022). Många av de tester som under senare tid gjorts har genomförts i växthus i en kontrollerad miljö där ofta endast en stressfaktor har studerats åt gången. Svamparter skiljer sig från varandra och kan ha olika egenskaper som gynnar odling på olika sätt och under olika förhållanden, och därför kan inokulat med fler arter vara bättre, däremot krävs kontroller för att undvika att arterna inte konkurrerar med varandra (Gall et al. 2023).

1.4 Syfte och frågeställning

Idag finns en del forskning på arbuskulär mykorrhiza inom odling, men denna forskning kan inte alltid appliceras på nordiskt klimat eller de grödor som odlas här. Har forskningen som gjorts inte gett tillräckligt gynnsamma resultat eller finns inte tillräcklig forskning inom detta område? Denna litteraturstudies syfte är att skapa en tydligare bild av hur forskningsläget och erfarenheterna av arbuskulär mykorrhiza i nordiskt klimat ser ut samt att besvara följande frågeställning:

(1) Vilka forskningsresultat finns på arbuskulär mykorrhiza hos de grödor som odlas i Norden? (2) Vad säger forskningen som gjorts i nordiskt klimat eller på platser med liknande klimat? (3) Vilka är erfarenheterna och forskningsresultaten av inokulering med arbuskulär mykorrhiza i större fältförsök?

Metod

Litteraturen som undersökts i denna studie är vetenskapligt granskade texter i vetenskapliga tidskrifter där primära forskningsresultat, meta-analyser samt enstaka litteraturöversikter har inkluderats. Utöver detta har boken *Mycoagroecology: Integrating Fungi into Agroecosystems* (2023) utgjort grunden för den naturvetenskapliga förankringen samt använts som en sammanfattning av det aktuella kunskapsläget om arbuskulär mykorrhiza inom jordbruk.

Litteratursökningen har gjorts på databaserna Web of Science, ScienceDirect, och söktjänsten Google Scholar. Vidare hänvisning har sedan skett till PubMed och SpringerLink.

Följande sökord har använts och kombinerats i litteratursökandet: arbuscular, mycorrhiza, agricult*, inocul*, meta* wheat, potato, bacteria AND mycorrhiza, commercial, drought, water stress, lentils

Sökning har även gjorts på fler grödor men i denna studie dessa inte inkluderats då flertalet studier antingen inte har varit relevanta för nordiskt klimat eller att antalet studier varit för få för att en övergripande utvärdering av grödan har varit möjlig. grödor har även Bland de länder som varit valbara vid sökningar har det när det var relevant gjorts avgränsning till följande länder vid fältförsök; Sweden, Norway, Finland, UK, England, Ireland, Scotland, Canada, Estonia, Switzerland

Undersökning av kommersiella inokulat i Sverige har inte varit möjlig då det varit svårt att hitta företag som har eller har haft produkter som innehåller arbuskulär mykorrhiza.

Många arter av arbuskulär mykorrhiza har senare fått nya namn när de omklassificerats. I denna studie har de nya namnen använts men hänvisning till det äldre namnen har gjorts för de äldre studier som använt gamla namn. Detta för att läsaren lättare ska hitta i de källor som refereras till.

Resultat

3.1 Abiotiska och biotiska faktorerers inverkan på AM

3.1.1 Latitud, spordensitet och arter av AM i Norden

Undersökningar av finska jordbruksmarker har visat att förekomsten av AM är 50% lägre i norra Finland jämfört med i södra Finland (Vestberg 1995).

Förekomsten av AM vid latituder mellan 74 till 80° norr om ekvatorn har uppskattats till 1-3 sporer g⁻¹ (Dalpé & Aiken 1998)

Tyska jordbruksmarker (latituder mellan ≈ 47-54° norr om ekvatorn) har visat förekomst på 1-6 sporer g⁻¹. Samma undersökning visade även att kolonisering av AM sker först vid jordtemperaturer på 5°C (Land & Schönbeck 1991).

I svensk jordbruksmark har den uppmätta förekomsten av AM varit 3-44 sporer g⁻¹ (Sjöberg et al. 2004). Orsaken till högre spordensitet än de som uppmätts i Finland tros kunna vara att mätningarna i Sverige gjordes tidigare på året och olika svamparter varierar i mängd under året. En annan orsak kan vara att en del av jordbruksmarkerna som testades i den finska studien ligger på högre latituder än de som undersöktes i den svenska studien.

Att den tyska studien inte hade högre förekomst av AM tros kunna bero på en hög halt av fosfor i jorden vilket man också nämner i studien.

I både den svenska och finska studien var *Glomus* det vanligast förekommande släktet med *Glomus caledonium* som vanligaste art. Denna är även vanligt förekommande på andra platser med tempererat klimat. Andra studier har visat att *Funneliformis mosseae* (förr kallad *Glomus mosseae*) är vanligt förekommande i områden med tempererat klimat men hittades varken i den svenska eller finska studien (Sjöberg et al. 2004). Även i en schweizisk studie fann man att *F. mosseae* saknades vid höga höjder som närmade sig alpin miljö men var vanligt förekommande vid lägre altituder. De fann även ett mönster där en del arter var mer vanligt förekommande vid låga altituder men helt saknades på höga och arter som saknades vid låga altituder var vanligt förekommande vid höga (se tabell 9 och 10 sid. 26). *F. mosseae* var mer förekommande vid altituder på <1000m men saknades vid >1600m. En tydlig korrelation fanns också på artrikedomen i åkermark där artrikedomen minskade på högre altituder.

3.1.2 Torkstress

Hos vete har inokulering med AM visat sig öka RWC (relativa vatteninnehållet) i grödan vid normal bevattning men även vid torkstress. Två vetesorter med olika egenskaper odlades i kruka där en var torktålig och en var torkkänslig inokulerades med *F. mosseae* och jämfördes med kontroller som inte inokulerats. När de sedan utsattes för torkstress (ingen bevattning) vid stadierna mellan nodbildning (40-45

dagar) fram till knoppbildning (80-85 dagar) ökade RWC med 12.1% respektive 15.6% vid nodbildning och knoppbildning för den torkkänsliga och 17% respektive 18.1% vid nodbildning och knoppbildning för den torktåliga sorten. Inokulering ökade även koncentrationen av klorofyll med 33.6% vid knoppbildning hos den torktåliga och liknande resultat sågs för den torkkänsliga men med något lägre procenttal.

Resultatet visar att symbios med mykorrhiza kan leda till ökad tolerans för torkstress hos vete och ökade nivåer av klorofyll (Rani et al. 2023).

En liknande studie med sallad visade ingen signifikant skillnad på RWC när plantorna inokulerades med AM och utsattes för torkstress men man fann däremot att koncentrationen av klorofyll och karotenoider ökade. Alla tre arter av AM som testades (*F. mosseae*, *Glomus intraradices* och *Glomus coronatum*) visade samma förmåga att öka koncentrationen av klorofyll och karotenoider. Vid torkstress sågs en högre koloniseringsgrad av AM som tros kunna bero på att diffusionen av fosfor i jorden minskar, att växten då har svårare att ta upp fosfor och därför är mer benägen att bilda symbios med AM. (Baslam & Goicoechea 2012).

3.1.3 Jordbearbetning

Studier av hur jordbruksmetoder påverkar förekomsten av AM har visat varierande resultat. Förekomsten av AM har i studier varit högre i gräsmarker än i åkermark vilket kan tyda på att svampen påverkas negativt av jordbearbetning men det kan även vara andra faktorer som ligger bakom denna skillnad i förekomst av svamp i de olika markerna (Sjöberg et al. 2004; Oehl et al. 2017). I åkermarker har däremot inte spordensiteten visat sig skilja sig åt mellan olika jordbearbetningsmetoder (Vestberg 1995; Sjöberg et al. 2004; Jansa et al. 2002). Studier tyder på att grödor som inte bildar symbios med AM, t.ex. raps, har större negativ inverkan än jordbearbetningsmetoder (Sjöberg et al. 2004; Jansa et al. 2002). När man däremot har studerat olika släkten av AM har man sett skillnader i hur dessa påverkas av jordbearbetning där arter som inte tillhörde *Glomus* var mer förekommande i jordar som inte bearbetats (Jansa et al. 2002). Oehl et al. 2017 fann också i sin studie att olika arter påverkades olika av olika parametrar som till exempel pH, jordbearbetning, näringsmängd i jorden, altitud och vattenhalt (tabell 9 och 10 sid. 26). *F. mosseae* (förr kallad *G. mosseae*) var mer vanligt förekommande vid pH > 6.0. *G. caledonius* visade sig inte påverkas negativt av jordbruk och hittades endast i åkermark. Flest sporer hittades vid dess optimala pH som var mellan 5.8 och 6.9.

3.1.4 Ursprung av växter och AM

I en undersökning där växter inokulerades med svamp med ursprung från ett annat klimat visade de större respons än vid inokulering med en svamp från samma klimat. Två olika temperaturer testades; 13-16°C och 23-26°C. Oavsett temperatur förbättrade AM isolat med ursprung från kallt klimat tillväxten hos C₄ växt med ursprung från varmt klimat (*Cynodon dactylon* (L.) Pers. 26-35°C). Högre respons sågs även för en C₃ växt anpassad för kallt klimat (*Poa pratensis* L. 15-24°C) som inokulerades med AM med ursprung från varmt klimat (Antunes et al. 2011).

3.2 Vete *Triticum aestivum*

3.2.1 Metaanalys av vete *Triticum aestivum*

I en metastudie undersöktes 38 publicerade fältförsök med 333 observationer på fält som inokulerats och fält som inte inokulerats med AM svamp. Syftet var att avgöra vilka effekter AM kolonisering hade på upptag av P, N och Zn samt tillväxt och skördemängden av vete. I undersökningen fanns 5 studier som är applicerbara på nordiskt klimat varav endast en inkluderade inokulering av AM, *Rhizophagus intraradices* (Rint), och resterande hade naturlig förekomst av AM (tabell 1). Tyvärr framgår inte enskilda resultat för de olika regionerna utan endast ett sammanfattande resultat presenteras (Pellegrino et al. 2015)

Resultaten av metastudien visade att graden av rotkolonisering av AM hade positiv korrelation med ökad kärnskörd av vete men hade en negativ korrelation med mängden halm. Inokulering av AM ledde till 20% kärnskördeökning och ökade även halten av Zn i kärnorna.

Tabell 1. De 5 studier som var applicerbara på nordiskt klimat (Pellegrino et al. 2015).

Country	Management ^a	AMF species ^b	No. of observations	Root colonization ^c	Growth N uptake	P uptake	Zn upt
Canada	Native	-	4	Yes		*	*
Canada	Native	-	18	Yes	*	*	*
Germany, UK	Native	-	2	Yes	*	*	*
Canada	Native	-	10	Yes	*	*	
Canada	Inoc	Rint	4	No	*	*	

A. Inokulerad AM (inoc) eller inhemska AM (native).

B. Art av AM: *Rhizophagus intraradices* (Rint).

C. Rotkolonisering konstaterad (Yes) eller ej konstaterad (No) hos fullvuxen planta.

D. Asterisk för tillväxt (growth) indikerar: att torrvikten för totala biomassan, halm eller kärna mättes. Asterisk för N, P och Zn upptag indikerar: att koncentrationen eller mängden N, P eller Zn mättes.

Sammanfattningsvis för hela studien konstaterades att mutualism mellan vete och AM har en hög positiv korrelation med kärnskördeökning och graden av rotkolonisering.

Studien tar upp att data saknades för många viktiga geografiska områden. Centraleuropa var underrepresenterat trots att de har högst skörd per hektar, och författarna påpekar också att arterna av svamp som testades är få vilket gör att många arter som visat sig ha goda effekter inte analyserats. Utöver detta testades bara bröd- och durumvete och bara en av studierna hade inokulerats med AM.

Att det fanns en positiv korrelation även för de fält som inte inokulerats men som hade rotkolonisering av inhemska arter av AM tyder på att god kolonisering av inhemska arter påverkar produktiviteten positivt.

3.2.2 Tillväxt och skördemängd hos linser och vete som inokulerats med tre *Glomus* isolat från Saskatchewan

I en kanadensisk studie analyserades hur vete *cv. Laura* och linser odlade i krukor påverkades av inokulering med inhemska isolat av AM. Tre olika monokulturer av *Glomus* användes: *Glomus. clarum*, *Diversispora versiformis* (förr kallad *Glomus. versiforme*) och *F. mosseae*.

För att få kontroller fria från AM steriliserades linserna och vetet genom att blötläggas i 70% alkohol i en minut följt av 1.2% natriumhypoklorit i fem minuter och tvättades sedan åtta gånger i destillerat vatten. Jorden autoklaverades i 121°C i en timme för att eliminera förekomst av svamp och alla tester fick samma mängd näring.

Resultatet för linser som inokulerats visade att biomassan ovan jord ökade jämfört med de som inte inokulerats. Responsen varierade mellan de olika isolaten. I figur 1. ses att *G. clarum* ökade biomassan ovan jord efter 31 dagar medan *D. versiformis* och *F. mosseae* hade ökad biomassa ovan jord först efter 56 respektive 100 dagar. *G. clarum* var det mest effektiva isolatet för ökad biomassa ovan jord. Ingen skillnad sågs på rotbiomassan hos de tre isolaten dag 1–56. Efter 56 dagar minskade rotbiomassan signifikant. Störst minskning sågs hos de som inokulerats med *G. clarum*. Hos alla inokulat ökade kärnskordeu signifikant, *G. clarum* 57%, *D. versiformis* 30% och *F. mosseae* 26%.

Endast *G. clarum* hade en kontinuerligt stigande korrelation mellan rotkolonisering och mängden arbusklar. *D. versiformis* och *G. clarum* + *F. mosseae* följde samma mönster med kontinuerligt ökande rotkolonisering och ökande antal arbusklar fram till dag 56, från vilket arbusklarna minskade i antal. *F. mosseae* presterade sämst i båda kategorierna.

Resultatet för vete skiljde sig men *F. mosseae* ökade höjden på plantorna signifikant vid dag 83 men biomassan ovan jord minskade. *G. clarum* ökade mängden sidoskott, stimulerade tidigt tillväxt ovan jord vid dag 48 och ökade kärnskordeu signifikant (12%) medan *F. mosseae* inte hade någon inverkan på kärnskordeu. *G. clarum* hade inverkan på rotbiomassan först dag 83 då den signifikant minskade.

Sammantaget visar resultatet att inokulering kan ge skördeökning och ökad mängd fosfor i kärna och planta hos både linser och vete. Störst effekt har setts hos linser som uppvisat stor korrelation mellan alla parametrar som ses i tabell 2 men liknande korrelationer har även setts för vete (tabell 3). Bäst resultat uppnåddes med inokulat med *G. clarum* hos linser och därefter *G. clarum* och *F. mosseae*.

Inokulat med endast *G. clarum* hade högre halter av fosfor än inokulat med *G. clarum* och *F. mosseae* i både kärnorna och i biomassan ovan jord hos linser. Även hos vete var fosforhalten högre i biomassan ovan jord vid inokulering av *G. clarum*. Det som skilde sig var fosforhalten i kärnorna hos vete som var högre vid inokulering av *G. clarum* och *F. mosseae* (Talukdar och Germida 1994). Detta kan bero på att den ökade skörden har skett på bekostnad av reducerad planthöjd (Goa et al. 2020). Dessa resultat ledde forskarna vidare att fortsätta undersöka *G. clarum* i en fortsatt studie.

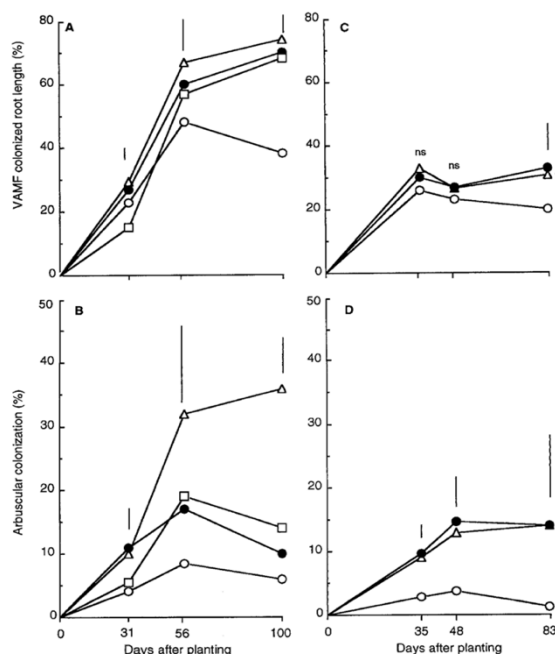


Fig 1. Effekt av inokulering med *G. clarum* (Δ), *F. mosseae* (\square) *G. clarum* + *F. mosseae* (\bullet) och *D. versiformis* (\square) utifrån procentuell kolonisering på rotlängd respektive arbuskulär kolonisering hos linser (A,B) och vete (C,D) vid tre skördetillfällen (Talukdar & Germida 1994).

Tabell 2. Linsers respons (% skillnad mot kontroll) (Talukdar och Germida 1994).

Art	<i>G. clarum</i>	<i>F. mosseae</i>	<i>D. versiformis</i>	<i>G. clarum</i> + <i>F. mosseae</i>
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 31	+40.5%	+12%	+2%	+27.7%
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 56	+56.5%	+0.36%	+24.7%	+41%
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 100	+42.9%	+12.7%	+21.4%	+22.3%
Kärnskördeökning	+57%	+26%	+30%	+42%
Rotbiomassa torrvikt dag 31	+1.9%	-5.2%	-12.7%	+0.5%
Rotbiomassa torrvikt dag 56	-18.5%	-15.4%	-11.5%	-20.4%
Rotbiomassa torrvikt dag 100	-41.9%	-17.8%	-19.3%	-37.3%
Fosfor planta dag 56	+30%	+8.6%	+13.7%	+22.5%
Fosfor kärna dag 100	+38.5%	+12.2%	+19.9%	+29.7%

Tabell 3. Vetes respons (cv. *Laura*) (% skillnad mot kontroll) (Talukdar och Germida 1994).

Art	<i>G. clarum</i>	<i>F. mosseae</i>	<i>G. clarum</i> + <i>F. mosseae</i>
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 35	+0.7%	-9.2%	+8.9%
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 48	+6.2%	-7.7%	+7.5%
Skillnad i biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 83	+5.4%	+5%	+4.1%
Kärnskördeökning	+12%	+4%	+13%
Rotbiomassa torrvikt dag 35	+2.56%	-9.9%	+17.5%
Rotbiomassa torrvikt dag 48	+1.6%	-9.6%	-1.9%
Rotbiomassa torrvikt dag 83	-20.1%	-3.2%	-11.5%
Fosfor planta dag 48	+28%	+13%	+35.4%
Fosfor kärna dag 83	+10.7%	+0.9%	+19.2%

3.2.3 Tillväxt och respons hos linser och vete med *G. clarum* vid olika fosformängd i Saskatchewan jordar med inhemska AM

I en uppföljande studie testades hur inokulat av *G. clarum* presterade i fält med inhemska arter av AM och responsen vid olika halter av fosfor. Varje försök replikerades 5 gånger. Tyvärr kunde ingen mätning på kärnskörden göras på linser då bönskidorna inte var mogna eller låg olika till i utvecklingen.

Vetesarternas respons på koloniseringen av AM var väldigt olika. *Cv. Neepawa* visade en kärnskördeökning på 20% när den gödslats med 20 mg P/kg medan *cv. Laura* hade en minskning med 2% (Xavier & Germida 1997).

Tabell 4 Fosfor- och inokulatmängd (Xavier & Germida 1997)

	Fosformängd	Inokulat
1	Ingen	Ingen
2	Ingen	<i>G. clarum</i> 3g
3	5mg P kg ⁻¹	
4	5mg P kg ⁻¹	<i>G. clarum</i> 3g
5	10mg P kg ⁻¹	
6	10mg P kg ⁻¹	<i>G. clarum</i> 3g
7	20mg P kg ⁻¹	
8	20mg P kg ⁻¹	<i>G. clarum</i> 3g

Tabell 5. Linsers respons (% skillnad mot kontroll) (Xavier & Germida 1997)

Fosforhalt (mg/kg)	0	5	10	20
Biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 48	+48%	-4%	+8%	-2%
Biomassa ovan jord (torrvikt) Dag 95	+4%	+18%	+2%	-31%
Kärnskördeökning	-	-	-	-
Fosfor planta dag 95	+ 6.57%	+ 19.09%	+4.1%	-15.32%
Fosfor Kärna dag 95	-	-	-	-

Tabell 6. Vetes respons (*cv. Laura*) (% skillnad mot kontroll) (Xavier & Germida 1997)

Fosforhalt (mg/kg)	0	5	10	20
Biomassa ovan jord torrvikt Dag 48	-10%	-20%	-22%	+5%
Biomassa ovan jord torrvikt Dag 95	-10	-19%	+12%	-9%
Kärnskördeökning	-18.7%*	+3%	0%	-2%
Fosfor planta dag 95	+16.5%	-36.8%	+39.3%	-15.7%
Fosfor kärna dag 95	-33.9%	+5.7%	+1.5%	+23.4%

*beräkningsfel upptäcktes i studien

Tabell 7. Vetets respons (*cv. Neepawa*) (% skillnad mot kontroll) (Xavier & Germida 1997)

Fosforhalt (mg/kg)	0	5	10	20
Biomassa ovan jord torrvikt Dag 48	-9%	-8%	-14%	-12%
Biomassa ovan jord torrvikt Dag 95	-5%	-8%	+3%	+12%
Kärnskördeökning	-2%	-8%	+11%	+20%
Fosfor planta dag 95	-11.02%	+13.77%	-0.61%	-34.91%
Fosfor kärna dag 95	-0.88%	-7.04%	+16.12%	+23.42%

3.3 Gener och koloniseringsgrad

Nodulingener finns i baljväxters rötter och kontrollerar bildandet, tillväxten och utvecklingen av rotnoduler. Dessa har i studier visat sig spela en stor roll för koloniseringen av AM i baljväxter, hos övriga växter har man hittat nodulinliknande gener (NL). NL generna har mestadels studerats i modellväxter och generna har inte analyserats i sin helhet. Vetets genom är annorlunda och mer komplext men modern teknik har gjort det möjligt att studera det (Zhang et al. 2022).

En grupp forskare identifiera NL gener som påverkade hur mottagligt vete är för kolonisering av AM. Två av dessa var särskilt viktiga för mottaglighet och forskarna tror att dessa kan spela en stor roll för hur benäget vete är för kolonisering av AM. Tidigare när man förädlade vete för högre skörd och andra önskvärda egenskaper har inte NL genen inte funnits i åtanke (Zhang et al. 2022). Detta kan förklara varför olika vetesorters respons skiljer sig då olika gener har selekterats fram vid förädling.

Liknande tendenser som i vete har hittats hos potatis som odlats i Estland där förädling tros ha lett till att potatis med tiden har blivit mindre benägen att bilda symbios med AM (Loit et al. 2018).

3.4 Kväve och fosfors inverkan på AM och bladlöss

Undersökning av kväve och fosfor och deras påverkan på koloniseringsgrad av AM visar att kvoten mellan kväve och fosfor har en stor inverkan. Undersökningen gjordes på en köldtålig sort av höstvet (*Triticum aestivum*. L.) i fält och i kruka; vilken art av AM som fanns i jorden framkommer inte i studien. De testade även hur olika gödselmängder påverkade bladlusangrepp av bladlusen *Sitobion avenae* som även förekommer i Europa. Gödsling med enbart kväve (3.33 kg kväve per plot) (tabell 8) ökade koloniseringen av AM i både fält och kruka. I krukorna ökade även mängden fenoler hos växten vilket kan minska angrepp av bladlöss (Wang et al. 2020).

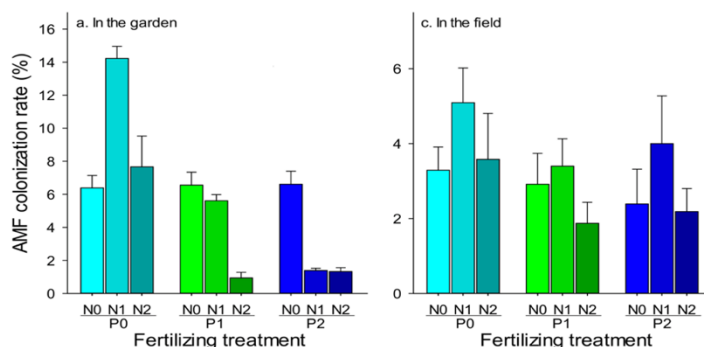
Studien visar att gödslingen med enbart kväve kan vara den mest optimala för kolonisering av AM och ökad mängd fenoler. Men mängden kväve har stor påverkan på skörden, och den kvävegiva som användes i studien kan vara för låg för att få tillräckligt hög skörd (Wang et al. 2020). Detta resultat förutsätter också att det finns ett förråd av P som kan mobiliseras av AM-svamparna (Lindahl 2023).

Studien visar att graden av kolonisering av AM påverkas av P och N samtidigt och hur förhållandet är mellan dessa snarare än näringsämnen var för sig (figur 2). Deras slutsats är att mer forskning bör göras på detta område för att kunna optimera gödslingen och minska näringsläckage (Wang et al. 2020)

Tabell 8. Mängden N och P baserad på den aktiva ingrediensen i konstgödsel (P= Kaliumdivätefosfat, N=Urea) (Wang et al. 2020)

Näringskälla	Nivåer	Mängd gödning	
		I kruka (g/kruka)	I fält (g/plot*)
KH ₂ PO ₄ (P)	P0	0	0
	P1	0.8172	187.67
	P2	1.6344	375.34
Urea (N)	N0	0	0
	N1	1.3083	299.84
	N2	2.6166	599.68

* 1 plot = 30x30m



Figur 2. Effekten på koloniseringsgrad hos vete vid olika mängd och kombination av N och P i trädgård och i fält. (a) medelvärdet på koloniseringsgraden i trädgård, (c) medelvärdet på koloniseringsgraden i fält.

Studier har även gjorts på potatis och hur AM påverkar angrepp av potatisbladlöss (*Macrosiphum euphorbiae*) (Rizzo et al. 2020). Man undersökte hur *R. intraradices* påverkade plantans försvar mot bladlöss. Koloniseringen av *R. intraradices* minskade inte angrepp av potatisbladlöss men genuttrycket hos potatis påverkades (Rizzo et al. 2020). En annan studie fann att bladlöss som angrep plantor som hade koloniserats av AM växte snabbare och orsaken troddes kunna vara att plantan hade ett högre näringsvärde som gynnade bladlössens tillväxt. Angrepp av bladlöss visade sig även påverka koloniseringen av AM negativt (Babikova et al. 2014).

3.5 Potatis *Solanum tuberosum*

Flera studier har gjorts på effekten av AM har på potatis och har visat varierade effekter i form av skördeökning men ingen negativ effekt har rapporterats (Boussageon et al. 2023:A).

Vid ekologisk odling av potatis i Estland var förekomsten av inhemska AM högre än i konventionell odling och ju högre halt av fosfor desto mindre kolonisering av AM hittades (Loit et al. 2018). Författarna nämner att deras jord hade en hög halt av fosfor vilket kan förklara den genomgående relativt låga förekomsten av AM i deras studie. De tar även upp att odling av höstraps (*Brassica napus* L.) som inte bildar symbios med AM kan ha påverkat deras studie negativt och gett lägre förekomst av AM.

Kombination av *Glomus sp.* och bakterien *Pseudomonas diminuta* har i en studie gjort att man har kunnat halvera mängden näring av NPK vid odling av potatis och fått samma skördemängd som när hela mängden näring givits (Nurbaity et al. 2016).

Det som däremot inte framgår i studien är om de testade att den näringsmängd de gav till kontrollen verkligen var den optimala mängden eller om man hade kunnat minska mängden NPK även där och få samma resultat. I studien fann man även skillnad i jordarter där en inceptisol hade högre lerhalt och bättre respons än andisolen på koloniseringen. Inceptisolen hade högre halt av fosfor som inte var tillgänglig för växten till skillnad mot andisolen som hade högre fosfortillgänglighet. Detta kan förklara den högre koloniseringen av AM i en lerjord med immobiliserat fosfor då denna form inte är tillgänglig för växten men kan göras tillgänglig av svampen.

3.6 Andra effekter av AM

3.6.1 Svamp mot svamp

Svampen *Fusarium sambucinum* är en aggressiv patogen som kan drabba sockerbeter, vete, korn, havre, lin samt potatis (Jordbruksverket 2012). Patogenen orsakar vissning, gulnande blad och slutligen att plantan dör. Idag används fungicider för att bekämpa svampen men detta kan leda till att det uppkommer resistenta stammar.

Inokulering av *R. irregularis* och *F. sambucinum* har visat att *R. irregularis* påverkar genuttrycket av ett flertal försvarsgener hos potatis vilket helt motverkade de negativa effekterna av *F. sambucinum* (Ismail et al. 2012).

Vid tester av olika fungicider för att bekämpa en annan patogen, *Rhizoctonia solani*, fann man att azoxystrobin och pencycuron inte dödade *R. irregularis* men att dess sporproduktionen och myceltillväxt påverkades. Detta visar att man kan använda azoxystrobin för bekämpning av *R. solani* utan att ta död på *R. irregularis* som skyddar mot *F. sambucinum* (Buysens et al. 2015). Även Bidondo et al. 2019 fann en liknande effekt, där kolonisering av *R. intraradices* gav resistens mot *R. solani* hos potatis.

F. mosseae har visat sig ge skydd mot svampen *Puccinia graminis* som är vanligt förekommande i norra Europa (Mustafa et al. 2016). Den angriper stråsäd, såsom korn, havre, rågvet (Jordbruksverket 2004) och störst skydd sågs vid en fosforhalt som är 1/10 av 73 kg ha⁻¹ (vanlig gödselmängd i Frankrike) (Mustafa et al. 2016).

3.6.2 Bakterier

Flera studier som kombinerat inokulering av AM och bakterier har visat en ökad tillväxt hos grödor, högre koloniseringen av AM, ökad kärnskörd, ökad näringskvalité i grödor (Yadav et al. 2021; Nanjundappa et al. 2019; Yasmeen et al. 2019), samt ökad koncentration av klorofyll i potatisblasten (Barzegari et al. 2023) och vete (Yadav et al. 2021).

Tester med olika kombinationer av bakterier (*B. subtilis* och *Bacillus sp.* med *Glomus fasciculatum* (numera *Rhizophagus fasciculatus*)) samt organisk gödsel eller mineralgödsel på två vetesorter i fält visade en synergistisk effekt med högre skörd. Kombinationen av *B. subtilis*, *Bacillus sp.* och *R. fasciculatus* gav bäst resultat hos båda vetesorterna över de andra testerna men med viss skillnad mellan

sorterna. De presterade bättre än den positiva kontrollen som fått mineralgödsel. Kombinerad inokulering ledde även till en ökad mängd organiskt innehåll och ökad kolinlagring.

I en annan studie där man bara inokulerade in bakterien *P. graminis*, ökade inte skörden men var väldigt bra på att effektivt motverka skadeangrepp. Tillsammans med AM skulle man då eventuellt kunna få både resistens mot patogener samt ökad skörd. Forskarna bakom studien drog slutsatsen att mer studier bör göras på hur dessa olika mikroorganismer interagerar med varandra och med växter (Vannini et al. 2021).

Även potatis har i studier visat en synergistisk effekt med inokulering av AM och bakterier med ökad tillväxt, högre skörd, ökad fosformängd i växten samt att även koloniseringsgraden av AM ökade (Boussageon et al. 2023:B).

Inokulering med bakterier på linser ökade kärnskorde med 66.7% jämfört med kontrollen som fått samma gödslingsmängd och inokulering med AM ökade den med 100% (vilket är väsentligt högre än i den kanadensiska studie av Talukdar och Germida (1994)), och inokulering med både AM och bakterier ökade kärnskorde med 250% (Yaseen 2016).

3.7 Kommersiella inokulat

3.7.1 Storskalig undersökning

I en storskalig undersökning av kommersiella inokulat av arbuskulär mykorrhiza gjordes tre oberoende studier på olika grödor och på tre kontinenter, Australien, Nordamerika och Europa. Orsaken till att man ville göra testerna var för att mindre studier har bringat fram en oro i forskarvärlden över hur pålitliga kommersiella inokulat är.

Den europeiska studien bestod av två bioanalyser i växthusförsök. De odlades under förhållanden som är gynnsamma för AM med ett försök i steriliserad jord och ett i icke-steriliserad jord. Man testade 15 olika inokuleringsprodukter där stammarna till svampen kom från olika producenter. Alla stammar kom från produkter som är tillgängliga på marknaden. Som positiv kontroll odlade man även ett isolat av *Rhizophagus irregularis* med växten *Plantagi lanceolata* som är en flerårig ört.

Resultaten för de tre kontinenterna visade att trots tester i miljö som är gynnsam för svamparna så misslyckades de flesta av inokulanterna att främja en kolonisering av mykorrhiza. I de krukor där *R. irregularis* som var odlad i labb användes ökade koloniseringen trefaldigt vilket var signifikant mer än de kommersiella inokulanterna. Effekten av inokulanter på växtbiomassan korrelerade inte med den rotkoloniseringsgraden och vid en noggrannare analys av de kommersiella inokulanter som gav störst biomassa hade de ett högt innehåll av näring som främjar tillväxt (Salomon et al. 2022)

Den här studien visar att effekterna av själva AM i inokuleringen som inköps inte lever upp till vad de borde. I dagens lagstiftning krävs inte någon vetenskaplig dokumentation för att få sälja preparat (Lindahl 2023) vilket kan leda till att preparat som inte lever upp till förväntan ändå får säljas.

3.7.2 Analys av flera fältförsök på potatis

Flera olika potatissorter testades i olika områden med olika jordmåner. Alla tester inokulerades med samma kommersiella inokulat som innehöll *Rhizophagus irregularis*. Vid skörd visade alla tester, både de som inokulerats och de som inte inokulerats förekomst av kolonisering av AM. Däremot var skörden högre vid de inokulerade fälten. Inokuleringen ökade skörden med 3.92 ton vilket motsvarar 9.5% av den totala skörden. Till skillnad mot vete fann man ingen skillnad i responsen mellan olika potatissorter (Hijri et al. 2016).

3.7.3 Inokulats överlevnad

Överlevnad av inokulat undersöktes i en treårig kanadensisk (Saskatchewan prärie) studie. Arten som inokulerades var *Rhizophagus irregularis* i ett fält med ärtor (*Pisum sativum*). År två odlades vete och år tre ärtor. De inokulerade svamparnas överlevnad skilde sig tydligt mellan olika fält. Inhemskas arter av AM konkurrerade ibland ut de arter som inokulerats. Även olika egenskaper hos jorden som pH, halten av kol och kväve samt vatteninnehåll påverkade överlevnaden hos den inokulerade svampen. Fälten med hög förekomst av inhemska arter samt hög organisk halt i jorden visade sämst överlevnadsgrad av den inokulerade arten. Vidare funderingar som studien gav forskarna var om inhemska arter av samma art som inokuleras visar samma överlevnadsgrad i samma miljö. De funderade även på vilka faktorer som påverkar en ny arts förmåga till anpassning i en ny miljö (Islam et al. 2021).

3.8 Biokol

När organiskt material bryts ner utan syre (pyrolys) bildas biokol som är ett poröst kolhaltigt material (EBC u å). Studier har visat att graden av AM kolonisering ökar när inokulering sker tillsammans med biokol (Hashem et al. 2023; Sobhani et al. 2022). När biokol (4 ton/ha) tillfördes tillsammans med kväve (100kg/ha) ökade koloniseringsgraden av *R. irregularis* hos vete med 8% (Sobhani et al. 2022)

En annan studie fann varierande resultat på koloniseringsgraden av AM beroende på vilken typ av biokol som användes. Forskarna drog slutsatsen att detta kan bero på biokolens förmåga att höja pH och föra med sig tungmetaller vilket kan hämma kolonisering (Yang et al. 2022). Biokol har på grund av sin förmåga att höja pH i marken visat sig vara ett sämre alternativ i redan kalkhaltiga jordar med redan högt pH och i dessa jordar kan istället kompost användas som har visat liknande resultat i ökad kolonisering av AM som biokol (Vahedi et al. 2021).

Diskussion

Många faktorer har visat sig påverka hur bra koloniseringen av inokulerad AM fungerar. Högre grad av kolonisering har observerats på jordarter med högre lerhalt och mer immobiliserad fosfor än på jordar med högre halt av fosfor som är tillgänglig för växten. Troligen beror detta på att växten blir mer benägen att bilda symbios för att få fosfor när denna är immobiliserad än när fosfor finns tillgänglig för växten. En mark med hög halt av organiskt material samt redan hög förekomst av inhemska AM visade sig minska möjligheten för inokulat att överleva över tid. Troligen är det inte det organiska materialet som påverkat, då kol har visat sig främja koloniseringen. En troligare orsak kan vara att en hög halt av organisk material samvarierar med hög kolonisering av naturligt förekommande AM arter, som då konkurrerar ut den inokulerade arten. För att undvika ekonomisk förlust och utebliven effekt vid inokulering av AM kan det vara en god idé att först undersöka jorden där man önskar tillföra inokulat av AM för att kunna bedöma inokulatets överlevnadschanser.

Biokol har visat sig leda till en ökad koloniseringsgrad av AM och kan vara en möjlig tillsats för att främja kolonisering. Däremot har olika sorters biokol visat varierande effekt och vidare undersökningar behövs för att förstå vilka egenskaper hos biokolet som leder till ökad kolonisering eller verkar hämmande.

Biokolens förmåga att höja pH gör att den kan höja pH i kalkhaltiga jordar med ett redan högt pH. I dessa kan kompost, som visat liknande resultat som biokol men utan att höja pH, vara ett bättre alternativ.

Höga altituder och latituder med ett kallare klimat verkar ha lägre artrikedom och en annan diversitet av svamparter än områden med varmare klimat. Man har även funnit att kolonisering av AM sker först vid temperaturer på 5°C vilket kan påverka inokulerade arter negativt i Norden om svamparna inte är anpassade till vårt klimat och därför inte hinner kolonisera växten under vår korta växtsäsong.

Flertalet arter har i studier visat tendenser på att de påverkas negativt av jordbearbetning men detta verkar inte vara en universal regel för alla arter av AM och andra faktorer kan även påverka skillnaden i förekomst i olika marker. Odling av grödor som inte bildar symbios med AM-svampar har visat ha en större negativ påverkan än vad jordbearbetning verkar ha. *Glomus caledonium* är en art som visat högre förekomst i åkermark än i gräsmark. Detta gör arten intressant för fortsatta studier för att se om den har fler önskvärda egenskaper och om det är jordbearbetningen eller andra faktorer som skapar denna skillnad i förekomst av svampen i de olika markerna. Samma art har vid undersökning även varit den som förekommer mest i både Finland och i Sverige vilket gör denna särskilt intressant att undersöka mer inom nordiskt jordbruk.

I många av de undersökta studierna är *F. mosseae* en art som ofta använts för att studera AM, men vid en undersökning i Finland och Sverige hittades inte arten naturligt förekommande. Önskvärda egenskaper hos *F. mosseae* såsom ökad torktålighet samt skydd mot skadesvampen *B. graminis* gör att arten ändå kan vara intressant i de södra delarna av Norden där klimatet är varmare. Vidare

undersökning med inokulering av denna art skulle då eventuellt kunna ge underlag till att svara på frågan som forskare i studien av Islam et al 2021 ställde om vilka faktorer som kan påverka en arts förmåga till anpassning i en ny miljö.

I flera studier har man funnit att kolonisering av AM kan leda till ökade koncentrationer av klorofyll hos växter när de utsatts för torkstress, vilket kan tyda på att kolonisering av AM ger en ökad tolerans mot torka hos växter. Detta kan vara en indikation på att arter som kan vara mer lämpade för nordiskt klimat också besitter denna egenskap. I och med klimatförändringarna kommer nordiska grödor utsättas för fler och längre perioder av torka än förr, vilket kommer kräva anpassningar i jordbruket och tåligare växter. Detta gör att forskning om hur AM kan öka växters resiliens mot torka är aktuell även i Norden, men de studier som finns nu är utförda i klimat och på grödor som inte är relevanta för nordiskt jordbruk.

AM visar en stor potential i sin förmåga att öka grödors resistens mot svamppatogener såsom *F. sambucinum* och *P. graminis*, vilket skulle kunna minska användningen av fungicider. Däremot visar AM svampar ha liten förmåga att minska angrepp av bladlöss trots ökade halter av fenoler som kan minska angreppen. Hos potatis har inokulering av AM inte visat sig minska angrepp av potatisbladlöss. Tvärtom sågs det att bladlöss som angrep plantor som hade koloniserats av AM växte snabbare, och orsaken tros kunna vara att ett högre näringsvärde i växten som gynnar bladlössens tillväxt. Angrepp av bladlöss visade sig även påverka koloniseringen av AM negativt.

Inokulering av både AM och bakterier har visat sig ha synergistiska effekter med väldigt goda resultat, såsom resistens mot patogener, ökad tillväxt, ökad kolhalt i marken, högre skörd, ökad fosformängd i växten samt att även koloniseringsgraden av AM ökade. I en studie med potatis kunde näringsmängden av NPK halveras när inokulering med AM och bakterier gjordes och gav lika stor skörd som när hela näringsmängden givits till ett fält som inte inokulerats. Inokulering av endast AM hos linser gav en skördeökning på 100% jämfört med kontrollen och inokulering med endast bakterier gav en ökning på 66.7%, men när både bakterier och AM inokulerades ökade skörden med 250% vilket är en markant ökning och visar tydligt på synergistisk effekt. Det som däremot inte framgår i studien är om de testade att den näringsmängd de gav till kontrollen verkligen var den optimala mängden eller om man hade kunnat minska mängden NPK även där och få samma resultat.

För att främja kolonisering av AM och även få skydd mot patogener skulle fortsatta studier av dessa synergistiska effekter vara intressant.

Undersökning av olika grödor och olika arter av AM visar varierande resultat. Av de grödor som odlas i Norden är de flesta studierna gjorda på vete. Flertalet av dessa studier visar att mutualism mellan vete och AM, mätt som graden av rotkolonisering, har en hög positiv korrelation med kärnskördeökning. Trots att Centraleuropa har högst skörd per år av vete är antalet centraleuropeiska studier på vete få. Nordiska fältstudier över arbuskulära mykorrhizasvampars roll är få och bland de studier som är applicerbara på nordiskt klimat är flertalet gjorda i samma land och område vilket försvårar en överskådlig förståelse om vilka svampar vi har i Norden och hur de påverkar vårt jordbruk. Möjligen skulle studier utförda i vissa regioner i Kina med relevant klimat vara något som kan undersökas vidare.

Jämförande studie på vete och linser har visat att linser har högre respons vid minokulering vid samma odlingsförhållande och näringsmängd. Störst skördeökning sågs vid inokulering med *G. clarum* hos både vete och linser. Skördeökningen för linser och vete var 57% respektive 12% jämfört med kontroll utan förekomst av AM. I en annan studie visar linser en skördeökning på 100% vilket pekar på att linser har en hög positiv respons vid inokulering av AM. Linser har ofta en symbios med rhizobiumbakterier som ökar mängden kväve i växten vilket då kan ge en högre skörd. Den varierande responsen skulle då kunna bero på olika mängd av rhizobiumbakterier hos linser i de olika studierna.

Ett intressant resultat i den jämförande studien är inokuleringen av två arter (*G. clarum* och *F. mosseae*) gav en skördeökning på 13% (jämfört med 12% vid monoinokulering) hos vete men en lägre skörd hos linser (42% vid inokulering av två arter respektive 57% vid monoinokulering). En orsak skulle kunna vara att båda arterna koloniserar växten men konkurrerar med varandra vilket hos linser leder till lägre skörd. Vete som uppvisar en sämre respons kan ha en lägre kolonisering av AM och att två arter då inte konkurrerar med varandra och då ger en större total kolonisering av AM. Detta visar på komplexiteten när svamparter interagerar med varandra och växters olika respons på AM. Om inokulering av flera arter av AM visar positiva resultat, som hos vete i det här fallet, skulle blandade inokulat kunna ge fler önskvärda egenskaper till växten än vad de enskilda arterna av AM har. Andra grödor däremot kanske har bättre respons av monoinokulering som resultatet för linser visade.

Den uppföljande studien med *G. clarum* undersökte även olika fosformängder och på två olika sorters vete samt linser. Höga halter av fosfor i de flesta studier lett till lägre förekomst av AM, men senare studier har funnit att det snarare är förhållandet mellan P och N som påverkar förekomsten av AM.

Dessvärre gör skillnaderna i utförandet och mätningar att jämförelser mellan studierna med vete och linser är svåra. Det som däremot går att urskilja är att olika vetesorter uppvisade stora skillnader i respons på inokuleringen. *Cv. Neepawa* visade högst kärnskördeökning på 20% när den gödslats med 20 mg P/kg medan *cv. Laura* hade en minskning med 2% vid samma fosforhalt. Detta skulle kunna bero på olika benägenhet att bilda symbios vid inokulering och valet av vetesort kan ha stor betydelse vid inokulering av AM.

AM kolonisering av potatis i olika försök haft varierande effekt på skörden i form av skördeökning men ingen negativ effekt har setts. Hos potatis har man inte funnit skillnader i effekten av inokulering mellan sorter, men hos både vete och potatis har man funnit tendenser som tyder på att förädling lett till minskad benägenhet att bilda symbios med AM.

Förädling av växter har inte tagit hänsyn till växtens benägenhet att bilda symbios med svamp. Senare forskning har undersökt vilka gener som är kopplade till mekanismerna bakom bildandet av symbios i olika grödor. Denna kunskap kan göra det lättare ta fram sorter som har större benägenhet att bilda symbios. Om en odlare kan välja en sort som har stor benägenhet att bilda symbios med positiv inokuleringresponser, såsom skördeökning och minskat behov av gödning, kan det bli mer ekonomiskt hållbart och motiverat att testa inokulat av AM.

Tyvärr pekar studier på att de kommersiella inokulat som undersökts inte lever upp till de förväntade resultat som finns med de arter av AM de ska innehålla. Man

har även funnit att vissa inokulat har haft en hög halt av näringsämnen vilket främjar tillväxt hos plantan utan inblandning av AM. Denna studie är oroväckande när goda resultat har setts vid forskning medan tester av det som finns på marknaden presterar dåligt. För att hantera detta problem kan mer forskning behövas för att studera varför de presterar dåligt och då kunna förbättra framtida utsikt för användning av arbuskulär mykorrhiza inom jordbruk. Att preparaten inte lever upp till förväntan kan bero på att dagens lagstiftning inte kräver en vetenskaplig dokumentation. Detta gör att preparat som inte lever upp till förväntan eller ger falskt positivt resultat tack vare högt näringsinnehåll idag finns på marknaden. Förtroendet för användning av AM inom jordbruket kan då skadas och möjligen även vidare forskning.

Slutsats

De undersökta studierna visar att mutualism mellan gröda och AM oftast har en positiv effekt på skörd. Hos vete och potatis har man kunnat visa att AM kan öka koncentrationer av klorofyll och fenoler samt leda till ökad tolerans mot torka.

AM-kolonisering av AM hos linser och vete har visats ge skördeökning och ökat upptag av fosfor i planta och kärna. Jämförande studier visar på större respons hos linser i form av skördeökning (57%) jämfört med vete (12%). I en annan studie uppvisade linser en skördeökning på 100% vilket pekar på att linser är särskilt responsiva till inokulering med AM.

Koloniseringen av inokulerad AM påverkas av många faktorer, men halten fosfor och förhållandet mellan P och N verkar vara särskilt viktig. Höga halter minskar växtens benägenhet att bilda symbios med svampen.

Jordart har inverkan på graden av kolonisering där högre lerhalt med mer immobiliserad fosfor har visat bättre respons än jordar med högre halt av fosfor som är tillgängligt för växten.

Jordbearbetning har i studier haft en negativ effekt på flera arter av AM svamp, men detta verkar inte vara en universell regel utan varierar mellan arter och ser inte ut att påverka spordensiteten i marken. Odling av grödor som inte bildar symbios verkar ha en större negativ inverkan på AM än jordbearbetning.

Högt innehåll av organiskt material i marken har ofta kopplats samman med god kolonisering av AM och tillförsel av biokol kan öka både kolhalten i marken och öka AM-koloniseringen. Däremot har olika sorters biokol visat sig ha olika effekt och vidare undersökning skulle behövas för att förstå vilka egenskaper hos biokol som leder till ökad kolonisering och vilka som kan ha en hämmande effekt. Biokol har även en förmåga att sänka pH. AM ger en förbättrad aggregatstruktur och tillsammans påminner effekterna om dem som fås vid kalkning (Jordbruksverket 2022).

Olika sorter av vete svarar olika på inokulering av AM men detta ses inte hos potatis. Orsaken till en minskad benägenhet att bilda symbios med AM kan vara att förädlingen av våra grödor inte tagit hänsyn till att förädla sorter som har benägenhet att bilda symbios med AM. Nyare studier har undersökt vilka gener som är kopplade till denna benägenhet och för att öka effekten av AM inom jordbruket kan det vara intressant att undersöka vilka sorter som har en hög benägenhet att bilda symbios eller ta fram sorter med större benägenhet.

Inokulering av AM har visats leda till en god förmåga att bekämpa svamppatogener, vilket skulle kunna användas inom biologisk bekämpning och då minska användandet av fungicider. Olika grödor visar olika respons vid inokulering av flera arter av AM där en del har en negativ respons och andra en positiv. Detta kan vara något att undersöka. Om en gröda visar positiv respons kan eventuellt de olika arterna av AM medföra olika önskvärda egenskaper som exempelvis resiliens mot torka och förmåga att motverka svamppatogener.

Inokulering av både AM och bakterier har visat sig ha synergistiska effekter, såsom resistens mot patogener, ökad tillväxt, ökad halt kol i marken, högre skörd, ökad fosformängd i växten samt ökad koloniseringsgrad av AM. Hos potatis kunde

näringsmängden av NPK halveras vid inokulering med AM och bakterier och hos linser ökade skörden med 250%. Sammantaget visar detta hur komplext det mikrobiella livet i marken är och hur stora dessa synergistiska effekter kan vara. Med dessa lovande resultat är vidare studier av denna synergi på fler grödor något som kan vara väldigt intressant.

Förekomst av arter varierar vid olika breddgrader med olika klimat. De inokulat som är vanligt förekommande innehåller ofta arter som *F. mosseae* som naturligt inte verkar vara lika förekommande i kalla klimat. Detta skulle kunna påverka deras överlevnad om de används som inokulat i de nordligaste delarna av Norden men mer forskning behövs för att bekräfta om så är fallet.

Vanligast förekommande art i både Sverige och Finland var i de undersökta studierna *Glomus caledonium*. Denna art var mer vanligt förekommande i åkermark än i gräsmark vilket skulle kunna tyda på att den inte påverkas negativt av jordbearbetning. Detta gör arten intressant för fortsatta studier för att se om den har fler önskvärda egenskaper och om det är jordbearbetningen eller andra faktorer som skapar denna skillnad i förekomst av svampen i de olika markerna.

Dagens kommersiella inokulat som undersökts lever inte upp till de förväntade resultat som finns med de arter av AM de ska innehålla. För att hantera detta problem kan mer forskning behövas för att studera varför de presterar dåligt och hur inokulat kan förbättras.

Antalet nordiska studier eller studier som kan appliceras på nordiskt klimat är få och flertalet är gjorda på ett fåtal arter av AM och i samma land och områden vilket försvårar en överskådlig förståelse om vilka svampar vi har i Norden, vilka egenskaper de har och hur de påverkar vårt jordbruk. Fler studier behövs för att öka kunskapen om arbuskulär mykorrhiza i våra jordar, för att främja deras överlevnad och för att kunna ta fram inokulat som passar i vårt klimat.

För att inokulat ska vara en gynnsam investering för en jordbrukare kan undersökning av de marker där det önskas tillföras vara en god idé. Detta för att se vilken typ av inokulat som kan passa samt för att öka dess överlevnadsmöjlighet.

För att inokulat ska ge bäst effekt bör information ges om vilken odlingsföljd som är lämplig, vilka sorter av grödor som har god respons på AM, vilka som kan ha negativ påverkan samt vilka arter av AM som lämpar sig på den enskilde jordbrukarens mark. Detta ökar även förståelsen för vilken roll arbuskulär mykorrhiza har i vårt jordbruk och hur vi bäst kan nyttja dess egenskaper.

Tabell 9 Sammantagen information om arter av AM som studien undersökt

Sort	F. mosseae	G. clarum	F. caledonius	Ac. punctata	Ac. pustulata	Ac. alpina
Altitud	Finns vid <1000m men inte vid >1600m ¹		Finns vid <900m ¹	Saknas vid <900m ¹	Saknas vid <1000m ¹	Saknas vid <1500m ¹
Påverkas av jordbearbetning			Påverkas inte. ¹			
pH	pH>6 ¹		5.8-6.7 ¹	pH<5.9 ¹		pH <6 ¹
Kärnskördeökning vete <i>Cv. laura</i>	4% ²	12% ² 3% vid fosformängd 5mg/kg. ³				
Kärnskördeökning vete <i>Cv. Neepawa</i>		20% vid fosformängd 20mg/kg. ³				
Kärnskördeökning linser	26% ²	57% ²				
Ger ökad resiliens mot torka	Ja, i vete ¹⁰					
Skydd mot patogen	Ja – mot <i>Puccinia graminis</i> ⁹					
Ökad koncentration av klorofyll	Ja ¹¹					

¹ Oehl et al. (2017)² Talukdar och Germida (1994)³ Xavier & Germida (1997)⁹ Mustafa et al. (2016)¹⁰ Rani et al. (2023)¹¹ Baslam & Goicoechea (2012)**Tabell 10** Sammantagen information om arter av AM som studien undersökt

Sort	R. irregularis	R. Fasciatus	R. intraradices
Torkstress			
Altitud	0-2200m ¹		
Påverkas av jordbearbetning			
pH	Ph <7.5 ¹		Ph <7.4 ¹
Skördeökning	9.5% hos alla potatissorter ⁴		
Skydd mot patogen	JA – mot <i>F. sambucinum</i> hos potatis ⁵		JA – mot <i>R. solani</i> i potatis ⁸
Påverkan av fungicid	Avdödas inte av azoxystrobin och pencyuron ⁵		
Biokol	Skördeökning på 8% tillsammans med kväve och biokol hos vete ⁷		
Bakterier		Synergistisk effekt med <i>B. subtilis</i> , <i>Bacillus sp</i> hos vete ⁶	
Ökad koncentration av klorofyll			Ja ¹¹

¹ Oehl et al. (2017)⁴ Hijri et al. (2016)⁵ Buysens et al. (2015)⁶ Yadav et al. (2021)⁷ Sobhani et al. (2022)⁸ Bidondo et al. (2019)¹¹ Baslam & Goicoechea (2012)

Referenser

- Antunes, P. M., Koch, A. M., Morton, J. B., Rillig, M. C., & Klironomos, J. N. (2011). Evidence for functional divergence in arbuscular mycorrhizal fungi from contrasting climatic origins. *New Phytologist*, *189*(2), 507-514.
<https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1469-8137.2010.03480.x?src=getftir> [05-05-23]
- Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T., Dewhurst, S. Y., Pickett, J. A., & Johnson, D. (2014). Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quality and volatile emission. *Functional Ecology*, *28*(2), 375-385.
<https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1365-2435.12181> [10-05-23]
- Baslam, M., & Goicoechea, N. (2012). Water deficit improved the capacity of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) for inducing the accumulation of antioxidant compounds in lettuce leaves. *Mycorrhiza*, *22*, 347-359.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-011-0408-9> [23-05-23]
- Bidondo, L. F., Almasia, N., Bazzini, A., Colombo, R., Hopp, E., Vazquez-Rovere, C., & Godeas, A. (2019). The overexpression of antifungal genes enhances resistance to rhizoctonia solani in transgenic potato plants without affecting arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Crop Protection*, *124*, 104837.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0261219419301772?via%3Dihub> [11-05-23]
- Boussageon, R., Sportes, A., Lemaitre, J. P., van Tuinen, D., Lapadatescu, C., Trépanier, M., ... & Courty, P. E. (2023:B). A bacillaceae consortium positively impacts arbuscular mycorrhizal fungus colonisation, plant phosphate nutrition, and tuber yield in *Solanum tuberosum* cv. Jazzy. *Symbiosis*, 1-16.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-023-00904-0> [10-05-23]
- Boussageon, R., van Tuinen, D., Lapadatescu, C., Trépanier, M., Vermersch, E., Wipf, D., & Courty, P. E. (2023:A). Effects of field inoculation of potato tubers with the arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis* DAOM 197,198 are cultivar dependent. *Symbiosis*, 1-14.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s13199-023-00908-w> [10-05-23]
- Buysens, C., Dupré de Boulois, H. & Declerck, S. Do fungicides used to control *Rhizoctonia solani* impact the non-target arbuscular mycorrhizal fungus *Rhizophagus irregularis*?. *Mycorrhiza* *25*, 277–288 (2015).
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-014-0610-7> [02-05-23]

- Chen, M., Arato, M., Borghi, L., Nouri, E., & Reinhardt, D. (2018). Beneficial services of arbuscular mycorrhizal fungi—from ecology to application. *Frontiers in plant science*, *9*, 1270.
<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2018.01270/full> [11-05-23]
- Conceição, T. A., Andrade, G., & Brito, I. (2022). Influence of Intact Mycelium of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Soil Microbiome Functional Profile in Wheat under Mn Stress. *Plants (Basel, Switzerland)*, *11*(19), 2598.
<https://doi.org/10.3390/plants11192598> [02-05-23]
- Dalpé, Y., & Aiken, S. G. (1998). Arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Festuca* species in the Canadian High Arctic. *Canadian Journal of Botany*, *76*(11), 1930-1938. <https://cdnsiencepub.com/doi/abs/10.1139/b98-165> [03-05-23]
- EBC. (u å). EBC GUIDELINES & DOCUMENTS FOR THE CERTIFICATION
https://www.european-biochar.org/media/doc/2/version_en_9_3.pdf [17-05-23]
- Gall, E., Benkeblia, N. (2023). *Mycoagroecology: Integrating Fungi into Agroecosystems*. 1 uppl., Boca Raton: CRC Press, 2023. 46. 136-137, 146-154. 10.1201/9780429320415 [23-05-23]
- Gao, Z., Wang, Y., Tian, G. *et al.* Plant height and its relationship with yield in wheat under different irrigation regime. *Irrig Sci* *38*, 365–371 (2020).
<https://doi.org/10.1007/s00271-020-00678-z> [13-04-23]
- Hashem, A., Wu, Q.-., Almutairi, K.F., Aloud, S.S. & Abd-Allah, E.F. 2023, "The combined use of arbuscular mycorrhizal fungi and biochar for the improvement of soil biochemistry" in *New Research on Mycorrhizal Fungus*, pp. 11-33
<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85152186065&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&sid=d63bb8ede23c43f0798f1a189f6d21db&sot=b&sdt=b&s=TITLE-ABS-KEY%28carbon+biochar+AND+arbuscular%29&sl=155&sessionSearchId=d63bb8ede23c43f0798f1a189f6d21db> [10-05-23]
- Hijri, M. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza* *26*, 209–214 (2016).
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-015-0661-4> [02-05-23]
- Islam, M. N., Germida, J. J., & Walley, F. L. (2021). Survival of a commercial AM fungal inoculant and its impact on indigenous AM fungal communities in field soils. *Applied Soil Ecology*, *166*, 103979.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321001001?via%3Dihub> [29-04-23]
- Ismail, Y., & Hijri, M. (2012). Arbuscular mycorrhisation with *Glomus irregulare* induces expression of potato PR homologues genes in response to infection by *Fusarium sambucinum*. *Functional Plant Biology*, *39*(3), 236-245.
<https://www.publish.csiro.au/fp/pdf/FP11218> [02-05-23]
- Jansa, J., Mozafar, A., Anken, T., Ruh, R., Sanders, I., & Frossard, E. (2002). Diversity and structure of AMF communities as affected by tillage in a temperate soil. *Mycorrhiza*, *12*, 225-234.

- <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-002-0163-z> [03-05-23]
- Johnson, N. C., Wilson, G. W., Wilson, J. A., Miller, R. M., Bowker, M. A. (2015). Mycorrhizal phenotypes and the law of the minimum. *New Phytol.* 205, 1473–1484. <https://nph.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/nph.13172> [18-04-23]
- Jordbruksverket (2003) ”Ekologisk produktion av grönsaker” *Makronäringsämnen, mikronäringsämnen och pH i ekologisk grönsaksodling* [Broschyr]. Jordbruksverket. Institutionen för ekologi och växtproduktionslära, Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_ovrigt/p7_18.pdf [11-04-23]
- Jordbruksverket (2004) *Faktablad om växtskydd* [broschyr] Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU), Uppsala. https://www.slu.se/globalassets/ew/org/inst/ekol/faktablad/faktablad-vaxtskydd/faktablad_om_vaxtskydd_122j.pdf [11-05-23]
- Jordbruksverket (2012) Utdrag ur: Utsädesburna sjukdomar på jordbruksväxter samt skadedjur som motverkas genom betning Jordbruksinformation -3 http://www2.jordbruksverket.se/webdav/files/SJV/trycksaker/Pdf_jo/JO12_3.pdf [02-05-23]
- Jordbruksverket (2022) *Kalkning* <https://jordbruksverket.se/vaxter/odling/vaxtnaring/kalkning> [24-05-23]
- Land, S., & Schönbeck, F. (1991). Influence of different soil types on abundance and seasonal dynamics of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils of North Germany. *Mycorrhiza*, 1(1), 39-44. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00205901> [03-05-23]
- Loit, K., Soonvald, L., Kukk, M., Astover, A., Runno-Paurson, E., Kaart, T., & Öpik, M. (2018). The indigenous arbuscular mycorrhizal fungal colonisation potential in potato roots is affected by agricultural treatments. https://dspace.emu.ee/bitstream/handle/10492/3883/Vol16No2_21.pdf?sequence=4&isAllowed=y [11-05-23]
- Mustafa, G., Randoux, B., Tisserant, B., Fontaine, J., Magnin-Robert, M., Lounès-Hadj Sahraoui, A., & Reignault, P. H. (2016). Phosphorus supply, arbuscular mycorrhizal fungal species, and plant genotype impact on the protective efficacy of mycorrhizal inoculation against wheat powdery mildew. *Mycorrhiza*, 26, 685-697. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00572-016-0698-z> [11-05-23]
- Nanjundappa, A., Bagyaraj, D.J., Saxena, A.K. *et al.* Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Bacillus* spp. in soil enhancing growth of crop plants. *Fungal Biol Biotechnol* 6, 23 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40694-019-0086-5> [27-04-23]
- Nurbaity, A., Sofyan, E. T., & Hamdani, J. S. (2016, August). Application of *Glomus* sp. and *Pseudomonas diminuta* reduce the use of chemical fertilizers in production of potato grown on different soil types. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 41, No. 1, p. 012004). IOP Publishing.

- <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/41/1/012004/pdf> [11-05-23]
- Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., & Reinhardt, D. (2014). Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in *Petunia hybrida*. *PLoS one*, 9(6), e90841. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0090841> [04-03-23]
- Oehl, F., Laczko, E., Oberholzer, H. R., Jansa, J., & Egli, S. (2017). Diversity and biogeography of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. *Biology and Fertility of Soils*, 53, 777-797. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00374-017-1217-x> [05-05-23]
- Parihar, Manoj, et al. "Role of AM fungi in growth promotion of high-value crops." *New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering*. Elsevier, 2022. 121-144. https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=7748EAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA121&ots=P7WKk98BWT&sig=_XK4OxexvuSAgtSrc1HyMXkLOjw&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false [28-04-23]
- Pellegrino, E., Öpik, M., Bonari, E., & Ercoli, L. (2015). Responses of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi: a meta-analysis of field studies from 1975 to 2013. *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 210-217. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2015.02.020> [28-03-23]
- Rani, B., Jattan, M., Dhansu, P. et al. Mycorrhizal symbiosis improved drought resistance in wheat using physiological traits. *CEREAL RESEARCH COMMUNICATIONS* 51, 115–124 (2023). <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00281-2> [27-04-23]
- Salomon, M. J., et al. "Global evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants under greenhouse and field conditions." *Applied Soil Ecology* 169 (2022): 104225. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321003486?via%3Dihub> [04-03-23]
- Salomon, M. J., Demarmels, R., Watts-Williams, S. J., McLaughlin, M. J., Kafle, A., Ketelsen, C., ... & van der Heijden, M. G. (2022). Global evaluation of commercial arbuscular mycorrhizal inoculants under greenhouse and field conditions. *Applied Soil Ecology*, 169, 104225. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139321003486?via%3Dihub> [27-04-23]
- Šamec, D., & Salopek-Sondi, B. (2019). Cruciferous (brassicaceae) vegetables. In *Nonvitamin and nonmineral nutritional supplements* (pp. 195-202). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812491-8.00027-8> [06-04-23]
- SCHÜBLER, A., Schwarzott, D., & Walker, C. (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological research*, 105(12), 1413-1421. <https://doi.org/10.1017/S0953756201005196> [11-04-23]

- Sjöberg, J., Persson, P., Mårtensson, A., Mattsson, L., Adholeya, A., & Alström, S. (2004). Occurrence of Glomeromycota spores and some arbuscular mycorrhiza fungal species in arable fields in Sweden. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54(4), 202-212. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09064710410030294> [03-05-23]
- Sobhani, S. M. A., Alavifazel, M., Ardakani, M. R., Modhej, A., & Lak, S. (2022). Influence of mycorrhizal fungi and biochar on nitrogen use efficiency correlated with yield and yield components of wheat. *Plant Science Today*, 9(3), 509-517. <https://horizonpublishing.com/journals/index.php/PST/article/view/1486/1266> [10-05-23]
- S. Sood, R. Singhal, S. Bhat, A. Kumar (2011). 2.13 - Inoculum Preparation *Comprehensive Biotechnology (Second Edition) Volume 2*, 2011, Pages 151-164 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780080885049000908?via%3Dihub> [12-05-23]
- Talukdar, N.C., Germida, J.J. Growth and yield of lentil and wheat inoculated with three *Glomus* isolates from Saskatchewan soils. *Mycorrhiza* 5, 145–152 (1994). <https://doi.org/10.1007/BF00202347> [13-04-23]
- Taylor. T.N., Krings. M., Taylor. E.L., (2015). “7 – Glomeromycota” *Fossil Fungi, Academic Press*: 9780123877314 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123877314000074> [03-04-23]
- Vahedi, R., Rasouli-Sadaghiani, M., Barin, M., & Vetukuri, R. R. (2021). Interactions between biochar and compost treatment and mycorrhizal fungi to improve the qualitative properties of a calcareous soil under rhizobox conditions. *Agriculture*, 11(10), 993. <https://www.mdpi.com/2077-0472/11/10/993> [10-05-23]
- Vannini, C., Domingo, G., Fiorilli, V., Seco, D. G., Novero, M., Marsoni, M., ... & Bonfante, P. (2021). Proteomic analysis reveals how pairing of a Mycorrhizal fungus with plant growth-promoting bacteria modulates growth and defense in wheat. *Plant, Cell & Environment*, 44(6), 1946-1960. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/pce.14039> [10-05-23]
- Vestberg, M. (1995). Occurrence of some Glomales in Finland. *Mycorrhiza*, 5, 329-336. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00207405> [03-05-23]
- Xavier, L. J., & Germida, J. J. (1997). Growth response of lentil and wheat to *Glomus clarum* NT4 over a range of P levels in a Saskatchewan soil containing indigenous AM fungi. *Mycorrhiza*, 7, 3-8. <https://link.springer.com/article/10.1007/s005720050156> [13-04-23]
- Yadav, R., Ror, P., Beniwal, R., Kumar, S., & Ramakrishna, W. (2022). *Bacillus* sp. and arbuscular mycorrhizal fungi consortia enhance wheat nutrient and yield in the second-year field trial: Superior performance in comparison with chemical fertilizers. *Journal of Applied Microbiology*, 132(3), 2203-2219. <https://ami-journals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/jam.15371> [27-04-23]

- Yang, Q., Ravnskov, S., Pullens, J. W. M., & Andersen, M. N. (2022). Interactions between biochar, arbuscular mycorrhizal fungi and photosynthetic processes in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Science of The Total Environment*, 816, 151649. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721067255?via%3Dihub> [10-05-23]
- Yaseen, T. (2016). Influence of Arbuscular mycorrhizal fungi, rhizobium inoculation and rock phosphate on growth and quality of lentil. *Pakistan Journal of Botany*, 48 (5), 2016–2107 [https://pakbs.org/pjbot/PDFs/48\(5\)/42.pdf](https://pakbs.org/pjbot/PDFs/48(5)/42.pdf) [24-05-23]
- Yasmeen, T., Tariq, M., Iqbal, S., Arif, M.S., Riaz, M., Shahzad, S.M. et al. (2019) Ameliorative capability of plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) against salt stress in plant. In: Hasanuzzaman, M., Hakeem, K.R., Nahar, K. & Alharby, H.F. (Eds.) Plant abiotic stress tolerance. Cham: Springer, pp. 409–448. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/978-3-030-06118-0.pdf> [27-04-23]
- Wang, C., Tian, B., Yu, Z., & Ding, J. (2020). Effect of different combinations of phosphorus and nitrogen fertilization on arbuscular mycorrhizal fungi and aphids in wheat. *Insects*, 11(6), 365. <https://www.mdpi.com/2075-4450/11/6/365> [13-04-23]
- Yazici, M. Atilla, et al. "Reduced root mycorrhizal colonization as affected by phosphorus fertilization is responsible for high cadmium accumulation in wheat." *Plant and soil* 468.1-2 (2021): 19-35. <https://doi.org/10.1007/s11104-021-05041-5> [29-06-23]
- Zhang, M., Zhong, X., Li, M., Yang, X., Abou Elwafa, S. F., Albaqami, M., & Tian, H. (2022). Genome-wide analyses of the Nodulin-like gene family in bread wheat revealed its potential roles during arbuscular mycorrhizal symbiosis. *International Journal of Biological Macromolecules*, 201, 424-436. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813022000915?via%3Dihub> [10-05-23]

Muntliga källor

Björn Lindahl (handledare)

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Även om du inte publicerar fulltexten kommer den arkiveras digitalt. Om fler än en person har skrivit arbetet gäller krysset för samtliga författare. Du hittar en länk till SLU:s publiceringsavtal på den här sidan:

- <https://libanswers.slu.se/sv/faq/228316>.

JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.