

Nyttan av arbuskulär mykorrhiza i svensk vinodling

The benefit of arbuscular mycorrhiza in Swedish viticulture

Matilda Sjöberg



Nyttan av arbuskulär mykorrhiza i svensk vinodling

The benefit of arbuscular mycorrhiza in Swedish viticulture

Matilda Sjöberg

Handledare: Lotta Nordmark, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Btr handledare: Siri Caspersen, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Examinator: Sammar Khalil, SLU, Institutionen för biosystem och teknologi

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i trädgårdsvetenskap, G2E

Kurskod: EX0844

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör: odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2019

Omslagsbild: Matilda Sjöberg

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord:

Vitis vinifera, arbuskulär mykorrhiza, AMF, AM, drought stress, MIR, ISR, phosphorus

Sammanfattning

Detta arbete undersöker vilken effekt arbuskulär mykorrhiza (AM) kan ha på odling av *Vitis vinifera*, med fokus på den svenska vinodlingen. En litteraturstudie har genomförts där olika vetenskapliga skriftliga källor och forskningsförsök har undersökts. Arbetet syftar till att besvara frågor kring hur AM kan påverka *V. viniferas* torkstress, näringsupptag och bekämpningsbehov, samt vilka faktorer som kan påverka förekomsten av arbuskulära mykorrhizasvampar (AMF) i markprofilen. Resultatet visar att symbiosen har visat sig ha positiv inverkan på *V. viniferas* tålighet mot torkstress genom att gynna en god vattenhushållning i värdväxten samt har en positiv inverkan på jordstrukturens vattenhållande porer. Näringsupptaget av främst fosfor och kväve förbättras samt ger värdväxten ett ökat försvar mot jordpatogener. Faktorer som kan påverka förekomsten av AMF i jorden negativt är till exempel intensiv jordbearbetning, riklig gödsling och användning av fungicider.

AMF är vanligt förekommande i den befintliga mikrofloran i marken, men data har inte hittats på hur förekomsten ser ut i de svenska jordarna. Genom artificiell inokulering finns möjligheten att tillföra AMF om det inte redan förekommer.

Detta arbete visar på flera olika positiva effekter AMF kan tillföra odling av *V. vinifera*. Samtidigt har undersökningen visat en brist på forskning av AMF i den svenska vinodlingen.

Abstract

This paper investigates what effect arbuscular mycorrhiza (AM) may have on the cultivation of *Vitis vinifera*, focusing on the Swedish viticulture. A literature study has been conducted in which various scientific, written sources and research have been investigated. The aim of the paper is to investigate how AM can affect *V. vinifera's* drought stress, nutrient uptake and pest management, but also which factors that can affect the presence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the soil. The results show that the symbiosis has a positive impact on *V. vinifera's* resistance to drought stress by promoting good water economy in the plant host growth and having a positive impact on the soil structure's water-holding pores. Nutrient uptake of primarily phosphorus and nitrogen are improved and the plant host improves defense against soil pathogens. Factors that can adversely affect the presence of AMF in the soil are, for example, intensive soil cultivation, abundant fertilization and the use of fungicides.

AMF is commonly found in the existing microflora in the soil, but data have not been found on the appearance in the Swedish soil. Through artificial inoculation there is the possibility of adding AMF if it does not already occur.

This paper shows several different positive effects AMF can add to the cultivation of *V. vinifera*. At the same time, the study has shown a lack of research on AMF in the Swedish vineyard.

Innehållsförteckning

Förkortningar.....	1
1. Introduktion.....	2
1.1 Syfte och frågeställning.....	3
2. Material och metod.....	4
3. Litteraturstudie.....	5
3.1 Mykorrhiza.....	5
3.1.1 Arbuskulära mykorrhizasvampar på <i>Vitis vinifera</i>	6
3.2 <i>Vitis vinifera</i>	7
3.2.1 Etablering och utveckling i kallare klimat.....	8
3.2.2 <i>Vitis viniferas</i> näringsbehov.....	9
3.2.3 Den svenska vinodlingen.....	9
3.2.4 Ett odlingsklimat under förändring.....	10
3.3 Mykorrhizas effekt på vinplantan.....	10
3.3.1 Näringsupptag.....	11
3.3.1.1 Fosfor (P).....	11
3.3.1.2 Kväve (N).....	12
3.3.1.3 Övriga näringsämnen.....	13
3.3.2 Torkstress.....	13
3.3.3 Utveckling och tillväxt.....	14
3.3.4 Patogener.....	15
3.4 Faktorer som påverkar förekomsten av AMF.....	16
3.4.1 Odlingstekniker.....	17
3.4.2 Markförhållanden.....	18
3.5 Om mykorrhizasvampar ej förekommer naturligt.....	18
4. Diskussion.....	20
5. Slutsats.....	24
6. Litteraturlista.....	25

Förkortningar

- AM Arbuskulär mykorrhiza (Arbuscular mycorrhiza)
- AMF Arbuskulära mykorrhizasvampar (Arbuscular mycorrhizal fungi)
- MIR Mykorrhiza-inducerad resistens (Mycorrhiza-induced resistance)
- ISR Inducerad systematisk resistens (Induced systematic resistance)
- P Fosfor
- N Kväve

1. Introduktion

Mykorrhizasvampar är på många platser en del av markens mikroflora, men det kan ibland behövas en artificiell inokulering för att symbiosen ska kunna uppkomma (Lowenfels, 2017). Artificiell inokulering av mykorrhizasvampar i produktion används idag på ett flertal grödor, vilket visat sig resultera i plantor med en hög vitalitet och en förbättrad stresstålighet (Lowenfels, 2017). Ordet mykorrhiza härstammar från grekiskans ord *mýkēs* (svamp) och *rhiza* (rot) och beskriver den symbios som kan skapas mellan svamp och växt (Australian National Botanical Garden, 2013). Symbiosen mellan svampen och växtens rot kan vara utformad på olika sätt, men det vanligaste är genom arbuskulär mykorrhiza (AM) (även kallat ektotrof mykorrhiza, eller ektomykorrhiza) som förväntats ha utvecklats hos 80% av världens örter och gräs (Kling, 1996). I mykorrhizasymbiosen så sker näringsutbyten mellan svampen och värdväxten (Eriksson et al., 2014).

Det har på senare år börjat pratas mer om det mikrobiella livet i jorden kopplat till begreppet *terroir*, vilket gör AM aktuellt att lyfta fram då det är en viktig komponent i markens mikroflora (Trouvelot et al., 2015). Enligt International Organisation of Vine and Wine (OIV, 2010) så beskrivs *terroir* som en referering till ett visst område där till exempel klimat, odlingsteknik och markens mikroliv ger en viss karaktär till vinet som produceras där. Vilken eller vilka arbuskulära mykorrhizasvampar (AMF) som är aktiva på platsen i kombination med odlingstekniker och klimatfaktorer skapar vinplantans utformning och därför även karaktären på vinet.

Vin har troligen konsumerats i Sverige sedan vikingatiden (Spritmuseum, u.å.). Under 1100-talet när Sverige blev kristet så ökade importen av vin då det behövdes till nattvarden, men det var först framåt 1900-talet som drycken blev tillgänglig för gemene man och då importerades i större skala (ibid.).

Den svenska vinodlingen är i uppstart och utan tradition. Därmed finns möjligheten att utforma och planera vinodlingen med den kunskap från de internationellt traditionella och framgångsrika vinproducenterna som har utformats under hundratals år. År 1999 godkändes Sverige som ett vinland inom EU, vilket kan ses som ett erkännande att Sverige är ett vinproducerande land (Lantbrukarnas Riksförbund

2018). Traditionellt så är de flesta vinodlingarna belägna i varma och torra klimat. Det lite kallare och blötare klimatet i Sverige skiljer sig från detta vilket därför kan medföra vissa svårigheter på exempelvis druvmognaden då vegetationsperioden är kortare och temperaturen lägre (Plocher & Parke, 2008). För att producera ett bra vin så måste vindruvorna mogna och utvecklade en hög sockerhalt (ibid.). Druvornas mognadstidpunkt är relaterade till antal frostfria dagar, temperatur och solljus (ibid.). I kallare klimat är det därför viktigt att välja odlingsplats med tanke på dessa faktorer som gynnar möjligheten för druvorna att hinna utveckla en tillräckligt hög sockerhalt under växtsäsongen. Sockerhalten på druvorna mäts i Brix och verktyg för att fastställa Brix-talet är olika former av Brix-mätare som genom optiskt mäter brytningsindex för olika ämnen (Nordmark, 2018). Önskat Brixtal vid skörd är både beroende på sort och vilket vin som ska produceras, men är enligt Plocher & Parke (2008) ofta kring 19. Andra skördekriterier är nivån på totalsyra, färg och smak och bedöms utefter vilket vin som ska produceras (Nordmark, 2018).

Schreiner (2005) menar att *Vitis vinifera* är beroende av AM för att uppnå en god utveckling och skörd. Vid plantering av *V. vinifera* på jungfrujordar så kan det därför vara av intresse att undersöka möjligheten av artificiell inokulering av AMF för att säkra att AM uppstår och för att uppnå en bättre etablering, skörderesultat och slutprodukt.

1.1 Syfte och frågeställning

Syftet med denna studie är att undersöka de fördelar AM kan medföra till *V. vinifera* med fokus på etablering och vitalitet, samt vilka faktorer som inverkar på förekomsten av AMF. Förhoppningen är att studien kan verka som underlag till svenska vinodlare med syfte att informera om hur AM fungerar och vad denna symbios kan tillföra till odlingen. De frågeställningar som arbetet ämnar besvara är:

- *Vilken effekt har arbuskulär mykorrhiza på vinplantans näringsupptag och tålighet mot torkstress?*
- *Kan arbuskulär mykorrhiza minska behovet av gödsel, bevattning och bekämpningsmedel i vinodlingen?*
- *Hur påverkar olika mark- och odlingsfaktorer förekomsten av arbuskulär mykorrhiza i vinodling?*

2. Material och metod

Arbete kommer baseras på en litteraturstudie bestående av böcker, artiklar, rapporter och vetenskapliga artiklar inom ämnet. Söktjänster som använts är Web of Science och Google Scholar. Merparten av de vetenskapliga texter som hittats har varit på engelska och de vanligaste sökorden har varit: *Vitis vinifera*, *viniculture*, *arbuscular mycorrhiza*, *AM*, *AMF* och *MIR*. Litteratur har även funnits genom källförteckningen i vetenskapliga texter som undersökts. Sökningen efter litteratur har utgått från aktuell litteratur publicerad under de senaste 10 åren. Den tidigast publicerade källan som används i litteraturstudien är från år 1974.

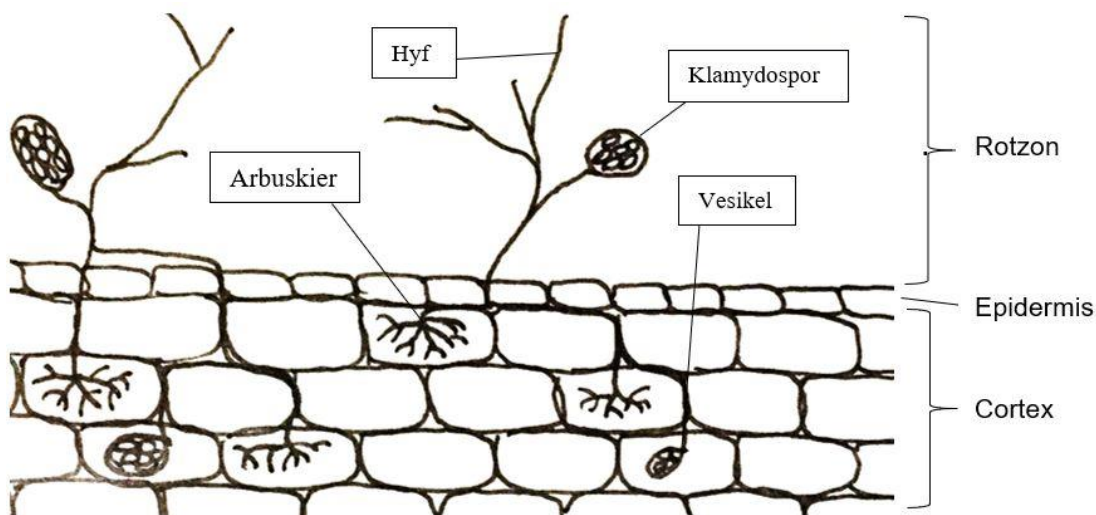
Litteraturstudien har avgränsats till att behandla källor med *V.vinifera*, då det är denna art vi odlar till vin i Sverige. Litteraturstudien har även avgränsats till arbuskulär mykorrhiza och inte andra former av mykorrhiza, då det är denna mykorrhiza som skapar en symbios med *V.vinifera*.

3. Litteraturstudie

3.1 Mykorrhiza

Värdväxten och AMF upptäcker varandra genom olika signalmolekyler (Gutjahr & Parniske, 2013). AMF:s sporer finner växtroten genom rotens utsöndring av signalmolekyler, som AMF i sin tur har en hög känslighet för (ibid.). Detta inducerar en grodd hos AMF:s sporer och utvecklar hyf-förgreningar som växer i riktning mot värdväxtens rot (ibid.). AMF utsöndrar då signalmolekyler som får värdväxten att reagera med en ackumulering av stärkelse i rötterna och en förhöjd kalciumhalt i de yttigaste rotcellerna mot jordprofilen (ibid.). Härmed inleds AMF:s kolonisering av roten och symbiosen inleds.

När kontakten mellan AMF och värdväxtens rot inletts koloniserar roten genom epidermis av AMF:s hyfer (Jackson, 2000). Från epidermis penetrerar svampen rotens cortex och utvecklar där trädliknande strukturer som benämns arbuskier samt vesiklar (ibid.). Vesiklar är små blåsor där näringsutbytet sker mellan svamp och värdväxt (Lowenfels, 2017). I *Figur 1* illustreras en närbild på AMF:s närvaro i rotcellerna. De fintrådiga hyfer som utvecklar ett nätverk kring värdväxtens rotzon kan till storleken jämföras med fina rothår (Trouvelot et al., 2015).



Figur 1. AMF i värdväxtens rot. Bild: Matilda Sjöberg

AMF bidrar till att öka plantrotens assimilationsyta och kan på grund av hyfernas fintrådiga struktur ta upp näring genom att penetrera mikroporer i marken som tidigare varit fysiskt oåtkomliga för rötterna (Kling, 1996). Genom att svampen producerar och utsöndrar peptider kan den även binda och ta upp näringsämnen som tidigare varit otillgängliga för rotens upptagning och skapar på så sätt en mer effektiv näringsupptagning (Jackson, 2000). I utbytet förser plantan svampen med energirika kolföreningar (Kling, 1996). Tack vare denna energitillförsel får svamparna en stor konkurrensfördel (Eriksson et al., 2014). Detta gör att konkurrensen gentemot andra mikroorganismer i marken minskar och att AMF snabbt kan nå en god utveckling med ett stort nätverk av hyfer (ibid.).

Oehl et al. (2004) har undersökt hur markdjupet påverkar förekomsten av AMF. Resultatet visade att förekomsten är som störst i den ytliga jordprofilen, vid ett djup på 0–20 cm. AMF förekom även vid ett markdjup på 50–70 cm, men i betydligt mindre utsträckning. De fann i undersökta konventionella odlingsmarker där jordbearbetning tillämpas att vissa arter AMF inte förekommer i de ytliga jordlagren, utan endast på ett lägre djup. I senare avsnitt så undersöks vilka faktorer som påverkar förekomsten av AMF och hur olika tekniker kan inverka på deras trivsel.

3.1.1 Arbuskulära mykorrhizasvampar på *Vitis vinifera*

De svampar som kan skapa AM tillhör divisionen *Glomeromycota* (Trouvelot et al., 2015). AMF som skapar symbios med *V. vinifera* finns främst inom ordningen *Glomerales*, men det har även ofta förekommit svampar inom ordningen *Diversisporales* i undersökta vinodlingars marker (Trouvelot et al., 2015).

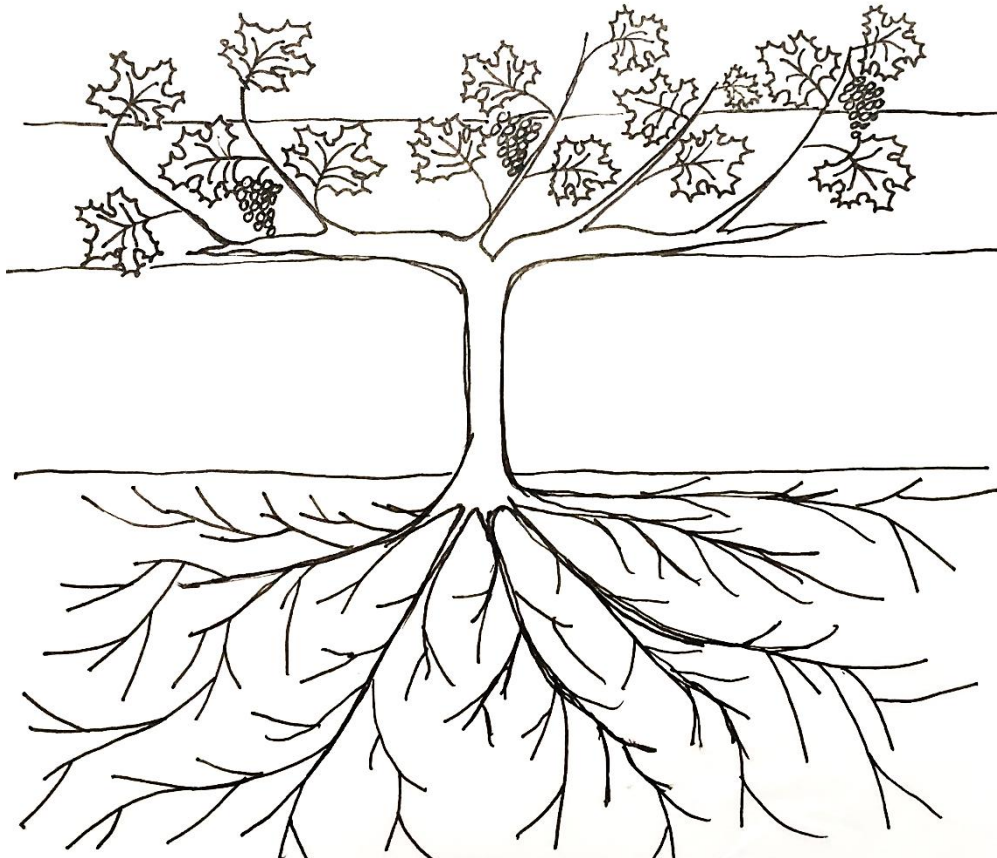
Krishna et al. (2005) har visat att en biodiversitet av AMF kan ge större positiva effekter i vissa hänseende jämfört med endast singelstammar av AMF. Ett försök med olika AMF singelstammar och mixade stammar inokulerad på småplantor av *V. vinifera* visade på högre halter av fosfor (P) och karotenoider hos småplantorna vid inokulering av mixade AMF stammar (Krishna et al., 2005). Försöket visade även att olika AMF stammar kan ge olika effekter på plantans näringsupptag och tillväxt (ibid.). Detta visar sig i resultatet där exempelvis plantor inokulerade med *Entrophospora colombiana* innehöll högst halt av N och *Glomus manihotis* visade

högst halt av magnesium (Mg) (ibid.). Därför kan stammen och diversiteten vara relevant att undersöka för att uppnå önskat resultat av mykorrhizans effekt på vinodlingen.

3.2 *Vitis vinifera*

Vitis härstammar från Mellanöstern och i artens naturliga habitat växer de klängande som lianer på träd (Skelton, 2009). *V. vinifera* är en av flera *Vitis*-arter som odlas för vinproduktion i världen, andra exempel är *V. labrusca*, *V. rotundifolia* och *V. amurensis* (Skelton, 2009).

V. vinifera anses vara en lättanpassad art som kan anpassa sig till många olika jordarter (Winkler et al., 1974). Däremot så är faktorer såsom vattenhållande förmåga, marktextur och markprofilens djup viktiga för att uppnå en god etablering och vitalitet hos *V. vinifera*-plantan (Winkler et al., 1974).



Figur 2. Vinplantan ovan och under jord. Bild: Matilda Sjöberg.

Vinplantan utvecklar druvor på fjorårsskotten, vilket gör det viktigt att som odlare ha en god planering och framförhållning för att uppnå en god skörd kommande år (Skelton, 2009). Vinplantans rötter tar upp näring och vatten, skapar stabilitet i plantan och lagrar näring (Winkler et al., 1974). Rotsystemet är ofta mer utbredd än växtens ovanjordiska delar och kan växa upp till 2–3,5 m ner i markprofilen, men har även påträffats på ett markdjup på 12 m (Winkler et al., 1974). Omfattningen och djupet som rotsystemet sträcker sig till är beroende på faktorer såsom markförhållanden, vattentillgänglighet och klimatförhållanden (Winkler et al., 1974). I *Figur 2* illustreras vinplantan och dess rotsystem.

3.2.1 Etablering och utveckling i kallare klimat

Plantering av vinplantor sker som oftast med barrotsplantor (Skelton, 2009). Inför plantering beskärs plantrötterna ofta tillbaka till en längd på ca 10 cm (ibid.). Under det första året efter plantering sker en stor tillväxt av rotsystemet och vid ideala förhållanden kan rötterna bli upp till 50 cm långa (ibid.). Under det andra året resulterar första årets tillväxt ofta i en konkurrens mellan plantorna i odlingsraden, vilket gör att rötterna söker sig djupare ner i markprofilen (ibid.). En vattenmättad jord kan hindra rötterna från att utveckla rothår vilket inverkar negativt på plantans upptagningsförmåga (ibid.). Denna effekt kan uppkomma på dåligt dränerade jordar och valet av en lämplig odlingsplats är därför av stor vikt (ibid.). Förutom bristande dränering så kan kalla och blöta vårar tillföra problem med vattenmättad jord och därmed resultera i en minskad och försenad utveckling av rothår på plantroten (ibid.)

På våren börjar rottillväxten på *V. vinifera* vid en jordtemperatur på 10°C då utvecklingen av rothår också startar (Skelton, 2009). Med hjälp av lagrad näring i roten och det tillväxtstimulerande hormonet cytokinin, som produceras i rottoppen, börjar skotten slå ut (ibid.). Skelton (2009) menar att tidig knoppsprickning har visat sig vara kopplat till goda skördar. Tidig knoppsprickning ger en längre växtsäsong vilket kan leda till högre energiinlagring och att druvorna hinner få en längre mognadsperiod. En utmaning med tidig knoppsprickning är risk för skador av vårfrosten vid odling i kallare klimat. Förekommer låga temperaturer under blomningen så drabbas blommornas potential för pollinering och fruktsättning negativt vilket resulterar i en minskad skörd (ibid.).

Energiinlagringen i plantan startar vid slutet av säsongen och är direkt kopplat till tillväxten och knoppsättningen under kommande vegetationsperiod.

Energiinlagringen kan vara ett kritiskt moment i kallare klimat då plantan behöver tid för en god avmognad innan kylan kommer (Skelton, 2009). Avmognaden stimuleras av lägre temperaturer och en kortare dagslängd (Plocher & Parke, 2008).

3.2.2 *Vitis viniferas* näringsbehov

V. vinifera räknas inte som en näringskrävande gröda, utan kan klara sig väl vid näringsfattiga förhållanden (Jackson, 2016). Tillförd gödsling krävs sällan men ibland kan pH-justeringar behövas för att tillgängliggöra vissa näringsämnen (ibid.). I jordar med låga nivåer av vissa näringsämnen kan tillförsel behövas, vilket alltid bör ske i direkt korrelation till när plantan har störst behov för att undvika urlakning (ibid.). Mikronäringsämnen kan vid behov tillföras via bladgödsling (ibid).

Ett näringsämne som det ofta kan finnas brist av hos vinplantor är kalium (K) (Winkler et al., 1974). För låga halter av K i *V. vinifera* kan till exempel ge upphov till högre känslighet mot torka och köld (Trouvelot et al., 2015). Andra näringsämnen som *V. vinifera* ofta har brist av är enligt Winkler et al. (1974) kväve (N), bor (B) och zink (Zn).

Vinplantans näringsbehov förändras över säsongen beroende på vilken fas plantan befinner sig i. I etableringsfasen så är det som tidigare nämnt den lagrade energin från fjoråret som sätter igång plantan och som stödjer den första tillväxten (Jackson, 2000). Vid blomningen så har plantan till exempel det största behovet av N under hela säsongen och behovet sjunker fram till skörden (ibid.).

3.2.3 Den svenska vinodlingen

Majoriteten av vinodlingarna i Sverige är belägna i de kustnära södra delarna av landet, på grund av att klimatet är mer gynnsamt för odlingen (Jordbruksverket, 2006). Att klimatet är gynnsammare för odling där beror på att årstiderna tenderar att vara mildare kustnära. I maritimt klimat utjämnas årets temperaturvariationer på grund av att havets temperatur ändras långsammare än landytors temperatur (SMHI,

2014). Det maritima klimatet är gynnsamt att odla vid för att det förlänger växtsäsongen jämfört med odlingar i inlandsklimat.

År 2005 uppmättes den totala odlingsarealen av vin i Sverige till cirka 8 hektar, vilket endast innefattade tre producenter (Jordbruksverket, 2006). Siffror från *Dryckesbranschrapporten* (The Absolute Company, 2018) från 2018 visar på en stor ökning med 51 producenter bara i Skånes län, vilket motsvarar två tredjedelar av den inhemska vinproduktionens totala antal producenter. Siffrorna visar på en snabb ökning i antal vinproducenter i Sverige och ökningen förväntas fortsätta (Jordbruksverket, 2006; The Absolute Company, 2018).

3.2.4 Ett odlingsklimat under förändring

SMHI (2015) har gjort konsekvensberäkningar på hur Sveriges klimat skulle se ut vid en global medeltemperaturhöjning på 2°C. De menar att vintrarna generellt kommer bli mildare och ge en ökad nederbörd på 10-20% som även förväntas vara kraftigare. De varmaste sommardagarna förväntas kunna öka med i snitt med 3°C i södra Sverige men nederbörden vara densamma (SMHI, 2015). Däremot så har de senaste åren visat på torra somrar med extremt låg grundvattennivå i de södra delarna av landet som har resulterat i bevattningsförbud, bränder och minskade skördar på många jordbruksgrödor (Svenskt Vatten, 2018; SMHI, 2018). Enligt Rodhe et al. (2007) förväntas det förändrade klimatet leda till en minskad grundvattenbildning på 5–20% (beroende på grundvattenmagasin) i södra Sverige och en ökad grundvattenbildning med ca 15 % i södra Norrland vid år 2071–2100.

3.3 Mykorrhizas effekt på vinplantan

Enligt Schreiner (2005) så pekar många studier på att vinplantor är beroende av AM för att få en normal utveckling och tillväxt. Vinrankans rotsystem är grovt och inte så förgrenat som andra växters, vilket Valentin et al. (2006) menar gör den mer beroende av AMF:s positiva effekter på upptagningsförmågan än andra växter med finfördelade rotsystem.

3.3.1 Näringsupptag

Eriksson et al. (2014) menar att plantrotens upptagningsförmåga kan öka upp till 10 gånger vid en symbios med AMF. Det har också visat att AMF kan bidra till att tillgängliggöra vissa näringsämnen som tidigare varit bundna i marken, främst orörliga näringsämnen (Eriksson et al., 2014).

I symbios med *V.vinifera* så ökar AMF främst upptaget av N och P (Schreiner, 2005) vilket detta avsnitt kommer fokusera på. Upptaget av andra näringsämnen såsom exempelvis kalcium, zink och koppar påverkas också positivt av AMF vilket presenteras under "Övriga näringsämnen" (ibid.).

AMF-symbiosen påverkar även vinplantans resurser av energirika kolföreningar. Eriksson et al. (2014) och Valentin et al. (2006) menar att 10–30% av vinplantans kolassimilation kan gå som förlust i utbytet med mykorrhizasvamparna. Trouvelot et al. (2015) menar på att symbiosen är som mest påfrestande för vinplantan under de första månaderna av AMF:s utveckling. När AMF:s hyfnätverk har nått en viss tillväxt så skapas en balans mellan de positiva effekter AMF har på plantans tillväxt och energiförlusten från plantan till svampen. AMF:s positiva effekter på vinplantans tillväxt genom dess tillförsel av näringsämnen resulterar i en större och mer vital planta som på grund av dess större bladmassa kan fotosyntisera mer (ibid.). Därmed kan plantan kompensera för den tidigare energiförlusten genom att producera mer energirika föreningar och en balans är uppnådd (ibid.). Vid ett försök som utfördes av Mortimer et al. (2005). av inokulering av *Glomus etunicatum* på *V.vinifera* så undersöktes hur energifördelningen såg ut mellan planta och svamp vid etablering. Resultatet visade på minskad rot- och skotttillväxt hos vinplantan under de 2 första månaderna som *G.etunicatum* inokulerats, då det istället var en stor tillväxt hos *G.etunicatum*. De två första månaderna då svampen etableras kallas platåfasen, där det sker en stor tillväxt hos svampen och nätverket av hyfer utvecklas (ibid.).

3.3.1.1 Fosfor (P)

Makronäringsämnet P härstammar från jordskorpan och är viktigt för plantans utveckling, fotosyntes och för en normal rot- och skotttillväxt (Ashman & Puri, 2002). P

finns i plantan som en del av cellmembranet i form av fosfolipider, ingår som en byggsten i DNA och RNA samt ATP och ADT (Eriksson et al., 2014). Symtom av P-brist i plantan kan till exempel vara försämrade skotttillväxt, försenad mognad och en dålig blomning (Trouvelot et al., 2015; Eriksson et al., 2014).

Eriksson et al. (2014) beskriver situationen med växttillgänglig P i marken som svår, då det finns en stor kapacitet att binda P i jordsubstratet och den växttillgängliga P är ofta spridd i jorden (Eriksson et al., 2014). P räknas även som det minst mobila essentiella näringsämnet i jorden (Jackson, 2000). Det som krävs för att frigöra den organiska bundna P i marken är en biologisk nedbrytningsprocess som tar lång tid, Dawson & Hilton (2011) jämför det med kvävecykeln vars tidsspann högst uppnår några århundraden medan fosforcykeln istället mäts i årtusenden. AM kan förutom att öka upptagningsytan för plantrotten även bidra till att tillgängliggöra bunden P. Vissa mikroorganismer i jorden konverterar oorganisk P till organiska molekyler vilket gör den otillgänglig för växten (Lowenfels, 2017). AMF utsöndrar syror och enzymer som kan bryta upp de organiska molekylerna och tillgängliggöra P, något som växtrotten själv inte kan genomföra (ibid.). Eriksson et al. (2014) menar även att AMF kan gynna förekomsten av fosfatupplösande bakterier.

Hur mycket växttillgänglig P som finns i jorden är även kopplat till jordens pH-värde, då mekanismerna för fosforfixering skiftar med pH-värdet (Eriksson et al., 2014). Det anses finnas som mest växttillgängligt P i marken vid pH 6–7 (ibid.). Den formen av P som växten tar upp till störst del är vätefosfat (HPO_4^{2-}) och divätefosfat (H_2PO_4) (Ashman & Puri, 2002).

3.3.1.2 Kväve (N)

N är ett makronäringsämne som är viktigt i växten för en fungerande kolhydratomsättning och som en byggsten i DNA och RNA (Eriksson et al., 2014). Näringsämnet finns även i många av växtens proteiner och framförallt i klorofyllmolekylen (ibid.). Växten tar främst upp N i form av ammonium (NH_4^+) och nitratjoner (NO_3^-) (Lowenfels, 2017). AMF har visat sig ha en god inverkan på kvävefixerande bakterier (*Rhizobia*) i rotzonen, vilket i sin tur gör jorden mer kväverik och därmed gynnar kväveupptagningen (Jackson, 2000). Vid kvävefixeringen så

behöver bakterierna P, förekomsten av AMF kan därför verka gynnande då AMF ökar tillgängligheten av tillgänglig P i rotzonen som beskrivet i tidigare avsnitt (Lowenfels, 2017). Genom en symbios med AMF så ökar även växtens förmåga att ta upp lågmolekylära organiska kväveföreningar (Eriksson et al., 2014), då svampens hyfer har möjlighet att ta upp dessa.

3.3.1.3 Övriga näringsämnen

AMF påverkar även upptaget och tillgängligheten positivt av andra näringsämnen för *V. vinifera* såsom koppar (Cu), zink (Zn), K, kalcium (Ca), Mg, järn (Fe), bor (B) och svavel (S) (Schreiner, 2005; Trouvelot et al. 2015).

3.3.2 Torkstress

Vattentillgängligheten är enligt Skelton (2009) den viktigaste faktorn vid val av plats för en vinodling. Däremot är vinodlingar traditionellt ofta placerade i varma och torra områden av världen (Trouvelot et al., 2015). Att öka vinplantans torktålighet är även extra viktigt vid nyplantering då plantans rotsystem fortfarande är relativt litet vilket innebär en högre risk för uttorkning (ibid.).

Vinodlingar är i Europa traditionellt sett inte bevattnade men det förekommer ändå. I bevattnade odlingar använder sig ofta odlare av reglerad underskottsbevattning. Denna strategi (Trouvelot et al., 2015) kan öka druvkvaliteten och den innebär att bevattningen sker strategiskt för att kontrollera och styra balansen mellan den vegetativa och generativa tillväxten, genom att i perioder avbryta bevattningen vilket då påverkar odlingen som blivit van vid en regelbunden vattentillförsel. Vid en reglerad underskottsbevattning har det visat sig att tillväxten av vinrankornas finrötter minskar, men att tillväxten av AMF:s hyfer istället ökar och skapar ett större nätverk (ibid.).

Det finns skilda teorier i forskarvärlden om AMF kan transportera vatten genom sina hyfer till växten eller inte, det som däremot har visat sig mer entydigt är att plantor med AM har en bättre vattenhushållning än plantor utan AM (Trouvelot et al., 2015; Lowenfels, 2017).

Vattenstress kan bidra till en god druvkvalitet, men kan dock vara skadligt för vinrankorna i längden och resultera i en sämre fotosyntes och skörd (Trouvelot et al., 2015). Lowenfels (2017) menar att AMF kan verka positivt för vinplantans stresstålighet mot torka. Detta beror på kombinerade effekter som symbiosen har på både växten och på jordmånen. AMF skapar, som tidigare nämnt, en ökad jordkontakt genom en större assimilationsyta för växtens rotsystem, vilket möjliggör för växten att få tillgång till större delar av jordprofilen (Lowenfels, 2017). Förekomsten av AMF påverkar även markstrukturen positivt och kan göra marken mer vattenhållande i rotzonen genom det täta nätverket av hyfer vilket kan bidra till fler vattenhållande porer (ibid.). Som tidigare nämnt så kan AMF öka upptagningen av näringsämnen till plantan vilket kan leda till en ökad vitalitet och i sin tur en ökad tålighet mot stress (ibid.).

Valentin et al. (2006) menar att förekomsten av AMF även kan påverka vinplantans reaktion på torkstress gällande fotosyntesen och vattenhushållningen. Vid ett försök så undersöktes skillnader mellan vinplantor med AM och vinplantor utan AM som utsattes för torkstress under fyra veckor i växthus (Valentin et al., 2006). Resultatet visade att vinplantor med AM fick fotosyntetiska responser med högre Rubisco-aktivitet och en ökad fotosyntes på specifika ytor hos vissa blad. Rubisco är ett enzym aktivt i Calvin-cykeln som är ett viktigt steg i fotosyntesen, där solenergi omvandlas till kemisk energi. Valentin et al. (2006) menar att plantorna med AM investerade mer i fotosyntesen än plantorna utan AM, vilket ledde till starkare plantor. Vattenhushållningen visade sig också mer effektiv på plantorna med AM då de visade på en ökad ackumulation av Prolin, en aminosyra som är en byggsten till proteiner (ibid.). Farahani et al (2008) menar att just aminosyran Prolin kan inducera en tolerans mot torka hos växter genom att förhindra oxidation i cellerna och genom att reglera det osmotiska trycket i växten vid torkstress. Likt Valentin et al. (2006) så vittnar även Farahani et al. (2008) om en ökad ackumulering av Prolin i plantor med förekomst av AM.

3.3.3 Utveckling och tillväxt

Enligt Jackson (2000) så har AMF direkt påverkan på rotens tillväxt. Han menar att AMF reducerar rothårens tillväxt men ökar rotens laterala tillväxt, vilket utformar ett

mer ekonomiskt rotsystem för näringsupptagning. Växtens hormonella balans kan även påverkas av AMF. Jackson (2000) menar att AMF gynnar planttillväxt genom att påverka produktionen av hormonerna cytokinin, auxin, gibberelinsyror och etylen. Lowenfels (2017) hävdar även att blominduktionen och fruktmognad kan påverkas positivt av AMF inverkan på den hormonella balansen. Eftersom växtens celler är totipotenta så är växthormoner viktiga då de kan påverka genernas uttryck och utveckling. Auxin är ett viktigt växthormon som stimulerar celldelning, rotinitiering, cellsträckning och fruktbildning (Davies, 1995). Cytokiner inducerar knoppbildning och stimulerar celldelning, när gibberelinsyror bland annat inducerar cellsträckning i stammen (Davies, 1995). Etylen stimulerar skott- och rottillväxt samt har inverkan på blomningen genom att bryta knoppvilan (Davies, 1995). AMF kan till exempel gynna etylensyntesiserande bakterier i rotzonen (Jackson, 2000).

Blöta och kalla vårar kan, som tidigare nämnt, motverka en snabb start på säsongen för vinplantan då det försvårar tillväxten av rothår (Skelton, 2009). AMF kan här fungera som en komplettering till plantans rothår och förse plantan med näring. Som nämnt i tidigare avsnitt så menar Skelton (2009) att en tidig knoppsprickning ofta är kopplat till framgångsrika skördar, vilket AMF alltså kan gynna. Däremot så är det viktigt att undersöka odlingsplatsens risk för vårfrost och väga in effekten av tidigare knoppsprickning som AMF kan ha på plantan. Om risk för vårfrost finns på platsen så kan istället en symbios mellan *V. vinifera* och AMF ge en negativ verkan på skörden om symbiosen lett till en tidigare blomning som sedan kommit till skada vid vårfrost (Skelton, 2009).

3.3.4 Patogener

Många forskare hävdar att AMF även kan gynna värdväxtens försvar vid vissa patogenangrepp. Detta kan ske indirekt men även direkt. Det indirekta försvaret kan kopplas till de positiva effekter AMF har på värdväxtens vitalitet. AMF ger som tidigare nämnt ökad näring i värdväxten och en ökad vitalitet hos växten som ger möjlighet till en snabbare läkning vid skador och högre tålighet mot stress (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). Förekomsten av AMF som en stark konkurrent i jordprofilen till andra organismer i mikrolivet kan även medföra en minskad förekomst av växtpatogener såsom vissa nematoder (ibid.).

Det direkta försvaret hos värdväxten som kan kopplas till AM startar i växten vid en infektion av AMF och refereras till som "Mycorrhiza-induced resistance" (MIR) (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007; Trouvelot et al., 2015). Vid infektionen av AMF triggas växtens försvarssystem igång, vilket även leder till en vidare effektivisering av aktiveringen av försvarsmekanismer vid andra angrepp (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). Vid infektion så produceras de hormonliknande ämnena salicylsyra och jasmonat i växten (Thomma et al., 1998). Vid en infektion stimuleras produktionen av de olika försvarsmekanismerna och MIR kan därför utvecklas (Trouvelot et al., 2015).

I AM så utvecklas även ett så kallat "Induced systematic resistance" (ISR) (Trouvelot et al., 2015). ISR syftar på den signalering mellan AMF och roten som kan bidra till en tidigare försvarsreaktion hos värdväxten vid potentiellt angrepp av patogen (ibid.). AMF signalerar till värdväxtens rot vid förekomst av vissa patogener, vilket gör att värdväxten snabbt kan reagera utan direktkontakt med patogenen (ibid.). Signalen sätter igång jasmonat- och etylenberoende försvarsmekanismer hos värdväxten som får ett försprång i sitt försvar (ibid.).

Cameron et al. (2013) menar att AMF kan stärka försvaret hos värdväxten mot angrepp av vissa nematoder, leddjur samt parasiter och parasitoider. På *V. vinifera* så kan AMF stärka försvaret mot rotpatogener såsom till exempel nematoden *Xiphinema index* som är vektorn av "Grapevine fanleaf virus" – en sjukdom som skapar galler och skador på rotsystemet, bladkloros och lägre skördar (Cameron et al. 2013; Jackson, 2000). Försvaret kan även stärkas gentemot skadesvamparna *Armillaria* som orsakar rotröta och *Cylindrocarpon* ssp som orsakar "Black foot disease" (Cameron et al. 2013; Jackson, 2000).

3.4 Faktorer som påverkar förekomsten av AMF

Likt andra mikroorganismer har även AMF olika preferenser gällande dess omgivande miljö för att kunna överleva. Nedan utreds hur olika odlingstekniker och markförhållanden kan påverka förekomsten av AMF:

3.4.1 Odlingstekniker

Odlingstekniker såsom jordbearbetning, gödsling och täckgrödor påverkar miljön i jorden och även förekomsten av AMF, då den mest förekommer i de övre jordlagren och därför påverkas direkt av all aktivitet vid jordytan. För att kunna ta del av de positiva fördelar AM kan medföra så är det av vikt att undersöka vad som skulle kunna försämra vitaliteten hos svamparna. Därefter kan odlingstekniker anpassas för att skapa en gynnsam miljö åt svampen och därmed gynna vinplantorna.

Van Geel et al. (2017) har jämfört förekomsten av AMF i ekologiska odlingar och konventionella odlingar. Forskarna kunde ej finna någon skillnad gällande diversiteten av AMF i de olika undersökta jordarna, men kunde fastställa att vissa odlingstekniker som används inom de olika odlingsformerna kan göra skillnad. Koppar som ofta används som fungicid i ekologiska odlingar visade ingen skadlig inverkar på AMF, men däremot gjorde fosforgödsling det (Van Geel et al., 2017).

Mineralisk gödsling som bidrar till höga halter av växttillgänglig P i markprofilen verkar skadligt på förekomsten av AMF, men även gödsling av N (Van Geel et al., 2017). Eriksson et al. (2014) menar att jordar med återkommande växtval som är sparsamt gödslade är de mest gynnsamma jordarna för AMF.

Svampens trådlika växtsätt är känsligt för fysiska störningar och därför kan intensiv jordbearbetning påverka dess förekomst negativt (Eriksson et al. 2014). Lowenfels (2017) menar även att jordbearbetning såsom plöjning och fräsning kan leda till en omplacering av svampens hyfer till andra markdjup, vilket kan göra att svampen tappar kontakt med värdväxtens rötter samt hamnar i en oönskad markmiljö som gör att den missgynnas. Återkommande jordbearbetning resulterar även i perioder under året utan värdväxter för svampen, vilket då kappar dess försörjning av energi (ibid.). Däremot är detta inte ett större problem på en vinodling då vinrankorna brukas i många år på samma plats och därför omöjliggör en sådan intensiv lokal jordbearbetning.

AMF kan förutom symbiosen med vinplantan även ingå i så kallade treparts- och fyrpartssymbioser (Eriksson et al., 2014). Detta innebär att nätverket av hyfer kan kopplas samman med andra växter vilket möjliggör ett utbyte av näringsämnen och

kolföreningar mellan flera olika plantor (ibid.). Valet av mellangrödor kan därför vara av vikt, där till exempel arter inom *Fabaceae*-familjen som har kvävebindande förmågor kan vara gynnsamt för den odlade grödan (ibid.).

3.4.2 Markförhållanden

Markförhållanden kan göra stor skillnad för svampens trivsel och överlevnad. Van Geel et al. (2017) undersöker hur höga fosforhalter i marken kan påverka förekomsten av AM. Resultatet visar på tydlig negativ påverkan på diversiteten hos mykorrhizasvamparna vid höga fosforhalter i jorden och även, som tidigare nämnt, vid lågt pH (Van Geel et al., 2017). Van Geel et al. (2017) hävdar att höga fosforhalter äventyrar de fördelar på plantvitaliteten och jordmånen som AMF för med sig, både genom konsekvensen av minskad interaktion mellan AMF och värdplanta och genom minskad diversitet av AMF.

Saif (1981) undersökte hur syrehalten i marken kan påverka den arbuskulära mykorrhizasvampen *G.macrocarpus* utveckling och utformning. Resultatet av undersökningen visade att *G.macrocarpus* är beroende av relativt höga syrenivåer i jorden för att nå en önskvärd utveckling. Vid låga syrehalter i jorden på 2-4% utvecklades få arbuskler i värdväxtens plantrot och svampens nätverk var även betydligt mindre jämfört med de högre syrenivåerna på 8-12% respektive 14-21% (Saif, 1981).

3.5 Om mykorrhizasvampar ej förekommer naturligt

I de flesta vinodlingar så uppkommer AM spontant i redan förekommande mikroflora i marken, men det finns möjligheter att skapa den artificiellt. Enligt Trouvelot et al. (2015) så är det däremot alltid viktigt att genomföra en provtagning av mikrofloran på planteringsplatsen för att undersöka om det redan förekommer AMF på platsen.

Kommersiell AMF har funnits tillgängligt på den internationella marknaden sedan 1990-talet och det finns idag ett flertal produkter för att genomföra en artificiell inokulering (Lowenfels, 2017). En artificiell inokulering på barrotsplantor av *V.vinifera*

kan genomföras på olika sätt och med olika formuleringar, vilka presenteras i *Tabell I*.

Tabell I. Tabell över artificiell inokulering – olika formeringar och appliceringar sammanställt efter Lowenfels (2017).

Formuleringar:	
Propaguler blandade med substrat	Propaguler (en kombination av svampsporer och hyfer) av AMF blandas med något granulärt material som sedan kan spridas
Propaguler i vätska	I vätskeform kan spridning av AMF-propaguler ske via till exempel bevattningssystem
Appliceringar:	
Barrotsinokulering	Barrotsplantor som doppas i substrat eller vätska med propaguler från AMF innan plantering
Barrotsinokulering i substrat	Barrotsplantor planteras i substrat som innehåller propaguler från AMF
Inokulering vid omplantering	Vid omplantering så kan AMF-propaguler appliceras på rötterna med vätska eller substrat
Rotinokulering	Vid en redan existerande odling så kan AMF-propaguler tillföras till jorden genom vätska eller via substrat

4. Diskussion

Framtiden ser ljus ut för den svenska vinproduktionen och som tidigare nämnt så finns en möjlighet att anlägga odlingar med en stor kunskapsbakgrund. Genom en jämförelse av siffror från Jordbruksverket (2006) och The Absolut Company (2018) gällande den inhemska produktionen av vin så ses en stor ökning av antal vinproducenter och vinareal i landet. De förhöjda temperaturerna och det mer extrema vädret i form av hetta, kraftigare regnfall och stormar som enligt SMHI (2015) klimatförändringarna förväntas ge vid en temperaturhöjning på 2 grader kan verka både positivt och negativt för framtidens odling av *V. vinifera* i Sverige. Eftersom *V. vinifera* traditionellt odlas i varmare klimat än Sveriges så kan värmen verka positivt genom att ge en förlängd växtsäsong och förbättra druvmognadens utveckling. Den grundvattennivåsänkning, vilken Rodhe et al. (2007) förutspår, kan komma att bli ett problem då långvarig torka har en negativ inverkan på vinplantans fotosyntes och skörd. De förmildrande effekterna som AM kan tillföra på *V. viniferas* torkstress är därför något att gynna för en mer hållbar vinodling i Sverige.

Det visade sig att den varma och torra sommaren i Sverige under 2018 gav goda skördar för ett flertal svenska vinodlare. Sydsvenskan (2018) publicerade en artikel om hur sommaren 2018 påverkade vinodlares skördar där föreningen Svenskt Vin förutspådde ökad skörd på 30–50% jämfört med det normala skördeuttaget och på Klagshamns vingård räknade de med ännu högre procentenheter (Sydsvenskan, 2018). En viss torkstress har visat sig vara positivt för druvkvaliteten under mognaden (Trouvelot et al., 2015). Detta vittnade Anette Ivarsson på Arilds vingård, som ligger i nordvästra Skåne, om i under en intervju med Sydsvenskan (2018). Ivarsson berättar att de valde att inte vattna sina rankor trots torkan, för att få en god kvalitet på druvorna framför att få en stor skörd, vilket uppnåddes då druvkvaliteten var den bästa under alla hennes år som vinodlare. En ökad temperatur i Sverige under vegetationsperioden skulle därför enligt Trouvelot et al. (2015) och odlarnas egna erfarenheter (Sydsvenskan, 2018) vara gynnsamt för vinproduktionen, förutsatt att vattentillgången inte minskar drastiskt.

Skelton (2009) menar att en vattenmättad eller en dåligt dränerad jord kan vara problematiskt för vinplantans utveckling då detta har en negativ inverkan på

produktionen av rothår. Även AMF kan ha svårigheter med att leva under sådana markförhållanden. Vid en låg syrehalt i marken, vilket förekommer i vattenmättade och dåligt dränerade jordar, så visade försöket av Saif (1981) en negativ inverkan på utvecklingen och tillväxten av AMF. Khan (1974) har undersökt hur sporer av arbuskulär mykorrhiza överlever i vattenmättade jordar. Resultatet visade få AMF-sporer i dessa förhållanden jämfört med i jordar med lägre vattenhalt. Dessa källor visar att vattenfyllda jordar kan inverka negativt på utvecklingen och förekomsten av AMF. Detta kan både kopplas till vikten av en väl utvald odlingsplats med rätt markförhållanden för *V.vinifera* och AMF, men även till svårigheter som kan uppkomma som en konsekvens av klimatförändringar. Om klimatförändringarna leder till ett mer extremt väder med intensivare regnfall så ökar behovet av att ha en god dränering i odlingsmarken för att undvika att vinodlingen och förekomsten av AMF skadas.

Samtliga källor visar att AMF har en god inverkan på förekomsten av växttillgängligt P i rotzonen och levererar P till värdväxten, förutsatt att jorden inte har ett överskott av P på grund av exempelvis intensiv gödsling. En god anledning till att förbättra hushållningen av P är att många forskare hävdar att människan i framtiden kommer ställas inför en utmaning då tillgången av näringsämnet är begränsad (Lowenfels, 2017). Vår tids intensiva jordbruk har hotat världens fosfortillgångar då stora mängder P tillförts som gödsling. Då den tillförda P inte tagits upp av växterna eller jorden så har det skett en avrinning ut i vattendrag och lett till skador på vattenlevande organismer och ekosystem (ibid.). När skördematerialet ständigt avlägsnas från odlingsplatsen tillförs inte heller organiskt material tillbaka till jorden, vilket påverkar den biologiska nedbrytningen av P i markprofilen negativt (ibid.). Därför kan användningen av AMF inom livsmedelsproduktionen vara viktig även ur ett globalt, ekonomiskt och ekologiskt perspektiv.

Det är viktigt att undersöka om symbiosen mellan AMF och *V.vinifera* kan verka negativt för *V.vinifera* och resultatet av arbetet vittnar på några punkter att ha i åtanke. Vårfrost kan resultera i en minskad skörd och eftersom källor såsom Jackson (2000) och Lowenfels (2017) hävdar att AMF kan ge en tidigare skottbildning och blomning så är det av vikt att samtidigt välja en odlingsplats utan risk för vårfrost. Detta gäller både delar av landet där det återkommande förekommer vårfrost men

även att undvika planteringar i sänkor då kallare luft ansamlas där. Direkta åtgärder för att undvika skador på årsskott och blommor vid låga temperaturer på våren är till exempel frostskyddsbevattning och användning av vindmaskiner.

AM kräver energiförluster i form av fotosyntesprodukter från värdväxten vilket Mortimer et al. (2005) kommit fram till påverkar värdväxten mest under AMF:s platåfas. Försöket visade dock att energiförlusterna snabbt balanseras upp med de positiva effekter svampen tillför värdplantan i form av näringsämnen, vilket bevisar att energiförlusterna vid etablering inte utgör ett problem för vinplantans utveckling.

En fråga som har kommit upp under arbetets gång är om AM kan påverka markdjupet som värdväxtens rötter kan tränga ner till. Oehl et al. (2004) menar att den största förekomsten av AMF finns i de ytligare jordlagren på 0–20 cm djup, men även att AMF förekommer i betydligt mindre skala på markdjup ner till 70 cm. Växtrötter söker sig både djupare och längre bort från plantan i sin jakt på vatten och näringsämnen, vilket en symbios med AMF skulle kunna inverka på. Värdväxten har då inte samma behov att söka sig djupare i markprofilen, då den får näringsleveranser från svampen i de övre jordlagren. Om AM skulle kunna leda till ett mindre och ytligare rotsystem skulle det möjligen kunna ge en negativ inverkan på värdväxtens vattenupptagning. I de källor som behandlas i detta arbete så hävdar Lowenfels (2017) att AMF utöver näringsämnen kan leverera vatten till värdväxten, något som Trouvelot et al. (2015) menar att det inte finns några direkta studier på. Om växtrötterna inte gräver sig lika djupt i markprofilen på grund av AM och AMF inte kan leverera vatten så skulle potentiellt växtens vattenupptag i de djupare markdjupen utebli. Å andra sidan så menar både Trouvelot et al. (2015) och Lowenfels (2017) att AMF har en positiv inverkan på värdväxtens vattenhushållning och förmildrar torkstressen, vilket skulle kunna kompensera för detta. Vidare forskning behövs för att säkerställa om AM skulle kunna ha en påverkan på rötternas aktivitet på djupet i markprofilen och därmed värdväxtens vattenupptagning.

Connor & Thomas (1981) menar att det kan finnas svårigheter att genomföra en lyckad artificiell inokulering på barrotsplantor innan och i samband med plantering. När barrotsplantorna planteras så tenderar en del av växtens rottrådar att dö av vilket påverkar den inokulerade AMF negativt då dess energitillförsel avstannar från dess

värd och symbiosen bryts (Connor & Thomas 1981). Nya rötter utvecklas under plantans etablering och en ny infektion av AMF måste ske för att skapa en symbios. Jackson (2000) menar att artificiell inokulering har störst chans att bli lyckad när naturligt förekommande AMF saknas i jorden där vinet planteras eller när vinplantorna har mikroförökats. Han menar även att resultatet av den artificiella inokuleringen är beroende på ett flertal olika faktorer; jordtyp, förekommande mikroflora, fosforhalt i jorden, förekomsten av andra mykorrhizasvampar och spår av fungicider. Utifrån Connor & Thomas (1981) resonemang så skulle därför en applicering av AMF kanske bäst ske när plantering av barrotsplantorna redan skett, så propageringen finns i rotzonen när tillväxten av de nya rötterna startar. Samtliga källor som behandlar artificiell inokulering av AMF tar upp betydelsen av att undersöka om AMF redan förekommer i markens mikroflora, då inokuleringen kan påverkas negativt av detta samt att den annars kanske sker i onödan. Detta har även ett ekonomiskt värde då det kan innebära att en artificiell inokuleringsprocess inte behöver genomföras, däremot så innebär provtagning av jorden även en kostnad.

Förutsatt att en god AM uppstår kan symbiosen innebära besparingar i vinodlingen. Samtliga källor vittnar om att AM ger en bättre näringsupptagning, en bättre stresstålighet mot torka samt ett förbättrat skydd mot vissa jordpatogener hos värdväxten. Detta kan innebära lägre kostnader för gödsel, pesticider och eventuell bevattning i odlingen vid en god symbios mellan *V.vinifera* och AMF.

Litteraturstudien har visat på att lite eller ingen information och data finns på AM i den svenska vinodlingen. Enligt Trouvelot et al. (2015) finns få undersökningar av AMF:s förmåga att gynna upptagning av andra näringsämnen än P och N, mer forskning inom ämnet är därför nödvändigt. Jordprover från svenska vingårdar hade varit intressant att ta del av för att kunna få en överblick i hur förekomsten av AMF ser ut i nuläget och om det skett en naturlig inokulering på vinplantorna.

5. Slutsats

Slutligen så har litteraturstudien visat att mykorrhiza har en gynnande effekt på *V.viniferas* näringsupptag och tålighet mot torkstress. AM skulle kunna minska både gödsel-, bevattnings- och bekämpningsbehovet i vinodlingen. Resultatet av litteraturstudien har även visat på olika mark- och odlingsfaktorer som kan påverka förekomsten av AMF i vinodlingen. Slutsatser sammanfattas i punkter nedan.

- AM påverkar *V.viniferas* näringsupptag genom att tillföra en ökad assimilationsyta till rotsystemet, att förekomsten av AMF kan gynna kvävefixerande bakterier i rotzonen och kan tillgängliggöra organiskt bunden P genom utsöndring av enzymer och syror.
- AM har inverkan på de hormonella balanserna i växten och påverkar på så sätt *V.viniferas* utveckling, blomning, fruktsättning och tillväxt.
- *V.viniferas* tålighet mot torkstress förbättras med AM genom att förbättra plantans vattenhushållning och jordstrukturen vilket kan leda till fler vattenhållande porer i marken, samt gynna ackumulering av aminosyran Prolin vilket minskar plantans torkstress.
- AM kan öka *V.viniferas* effektivitet vid aktivering av försvarsmekanismer vid angrepp av patogener samt genom signaler från svampens hyfnätverk upptäcka förekomst av patogener i jordprofilen snabbare.
- Odlingsfaktorer såsom jordbearbetning, gödsling och bekämpningsmedel kan verka hämmande, till exempel så har gödsling av P visat en direkt negativ påverkan på AMF:s annars effektiva upptagning av P till värdväxten.
- Markfaktorer såsom låga syrehalter och vattenmättade jordar kan inverka negativt på förekomsten av AMF
- Behovet av gödsling kan minska vid AM i vinodling då det bevisats att näringsupptaget av ett flertal näringsämnen ökar som effekt av symbiosen.

6. Litteraturlista

- ❖ Ashman M R, Puri G (2002). *Essential Soil Science*. Oxford. Blackwell Science.
- ❖ Australian National Botanical Garden (2013). *Mycorrhizas*. Tillgänglig: <https://www.anbg.gov.au/fungi/mycorrhiza.html> [2019-01-29]
- ❖ Cameron D D, Neal A L, van Wees S C M, Ton J (2013). Mycorrhiza-induced resistance: more than the sum of its parts? *Trends Plant Science*. Vol 18 (10), ss. 539-545.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2013.06.004>
- ❖ Conner, A. J., & Thomas, M. B. (1981). Re-establishing plantlets from tissue culture: a review. *The International Plant Propagators' Society Combined Proceedings*. Vol. 31 (1981), ss. 342-357. Tillgänglig: <http://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/2997> [2019-02-13].
- ❖ Davies P J (1995). *Plant hormones – Physiology, biochemistry and molecular biology*. Dordrecht. Springer Science & Business Media.
- ❖ Dawson, C.J., Hilton, J. (2011). Fertiliser availability in a resource-limited world: Production and recycling of nitrogen and phosphorus. *Food Policy*. Vol 36(1), ss. S14-S22.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2010.11.012>
- ❖ Eriksson J, Dahlin S, Nilsson I, Simonsson M (2014) *Marklära*. Lund. Studentlitteratur AB.
- ❖ Farahani A, Lebaschi H, Hussein M, Hussein S A, Reza V A, Jahanfar D, (2008) Effects of arbuscular mycorrhizal fungi, different levels of phosphorus and drought stress on water use efficiency, relative water content and proline accumulation rate of Coriander (*Coriandrum sativum* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*. Vol. 2(6), ss. 125-131. Tillgänglig: <https://academicjournals.org/journal/JMPR/article-full-text-pdf/9A04B1E15174> [2019-02-15]
- ❖ Gutjahr C, Parniske M (2013). Cell development biology of arbuscular mycorrhiza symbiosis. *Annual review of cell and development biology*. Vol. 29, ss. 593-617.
DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-cellbio-101512-122413>
- ❖ Jackson R (2016) *Viticulture*. Reference Module in Food Science. Elsevier.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.02871-7>
- ❖ Jackson R (2000) *Wine Science: Principles and Applications*. 2nd edition. San Diego. Academic Press.

- ❖ Jordbruksverket (2006). *Marknadsöversikt – vin*. Marknadsenheten. Artikelnr RA06:16. Rapport 2006:16. Tillgänglig: <https://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/marknadsoversikt-14.html> [2019-02-13]
- ❖ Khan, A. G. (1974). The occurrence of mycorrhizas in halophytes, hydrophytes and xerophytes, and of endogone spores in adjacent soils. *Journal of General Microbiology*. Vol 81, ss. 7-14.
DOI: [10.1099/00221287-81-1-7](https://doi.org/10.1099/00221287-81-1-7)
- ❖ Kling, M (1996). *Betydelsen av arbuskulär mykorrhiza i ekologisk odling*. SLU. Avdelningen för ekologiskt lantbruk. Ekologiskt lantbruk nr 20. (ISSN 1102-6758 ISRN SLU-EKLB-EL-20-SE)
- ❖ Krishna, H., Singh, S. K., Sharma, R. R., Khawale, R. N., Grover, M., & Patel, V. B. (2005). Biochemical changes in micropropagated grape (*Vitis vinifera* L.) plantlets due to arbuscular-mycorrhizal fungi (AMF) inoculation during ex vitro acclimatization. *Scientia Horticulturae*. Vol. 106(4), ss. 554-567.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2005.05.009>
- ❖ Lantbrukarnas Riksförbund (2018). *Sveriges vingårdar 2018*. Föreningen Svenskt Vin & Lantbrukarnas Riksförbund.
- ❖ Lowenfels J (2017). *Teaming with fungi*. Portland. Timber Press.
- ❖ Mortimer P E, Archer E, Valentine A J (2014). Mycorrhizal C costs and nutritional benefits in developing grapevines. *Mycorrhiza*. Vol. 15(3), ss. 159-165.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00572-004-0317-2>
- ❖ Oehl, F., Sieverding, E., Ineichen, K., Ris, E. A., Boller, T., & Wiemken, A. (2005). Community structure of arbuscular mycorrhizal fungi at different soil depths in extensively and intensively managed agroecosystems. *New Phytologist*. Vol. 165(1), ss. 273-283.
- ❖ OIV, R (2010). *Definition of vitivinicultural "Terroir"*. Georgia. The General Director of the OIV. General Assembly Tbilisi. Resolution OIV/Viti 333/2010. Tillgänglig: <http://www.oiv.int/public/medias/379/viti-2010-1-en.pdf> [2019-02-20]
- ❖ Plocher T, Parke B (2008). *Northern Winework – growing grapes & making wine in cold climates*. 2nd edition. Minnesota. Northern Winework.
- ❖ Pozo M J, Azcón-Aguilar C (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current opinion in plant biology*. Vol. 10(4), ss 393-398.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2007.05.004>

- ❖ Rodhe A, Lindström G, Dahnée J, (2007) *Grundvattennivåer i ett förändrat klimat*. Sveriges Geologiska Undersökning. Projektnr. 60-1642/2007.
- ❖ Saif S R (1981). The Influence of Soil Aeration on the Efficiency of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae. I. Effect of Soil Oxygen on the Growth and Mineral Uptake of *Eupatorium odoratum* L. Inoculated with *Glomus macrocarpus*. *The New Phytologist*. Vol. 88(4), ss. 649-659.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1981.tb01741.x>
- ❖ Schreiner, R P. (2005) Mycorrhizas and mineral acquisition in grapevines. *Proceedings of the soil environment and vine mineral nutrition symposium* (ss. 49-60). American Society for Enology and Viticulture, ASEV.
- ❖ Skelton, S (2009). *Viticulture – an introduction to commercial grape growing for wine production*. London. SP Skelton Ltd.
- ❖ SMHI (2014). *Naturliga faktorer som påverkar klimatet*. Tillgänglig: https://www.smhi.se/kunskapsbanken/naturliga-faktorer-som-paverkar-klimatet-1.3831?fbclid=IwAR0s4lgkimVgYWdPZK6_2hCY45kXgs87SioKExAwFyhRY9bdsfZH4xZkfEQ [2019-02-20]. Publicerad 2014-04-17, uppdaterad 2016-03-18.
- ❖ SMHI (2015). *Vad betyder +2 C global temperaturökning för Sveriges klimat?* Tillgänglig: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/vad-betyder-2-c-global-temperaturokning-for-sveriges-klimat-1.92072> [2019-02-11]. Publicerad 2015-07-31, uppdaterad 2015-08-14.
- ❖ SMHI (2018). *Sommaren 2018 – Extremt varm och solig*. Tillgänglig: <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader/sommaren-2018-extremt-varm-och-solig-1.138134> [2019-02-20] Publicerad 2018-08-29. Uppdaterad: 2018-10-04.
- ❖ Spritmuseum (u.å.). *Vinet i Sverige*. Tillgänglig: <https://spritmuseum.se/kunskap/dryckernas-historia/vinet-i-sverige/> [2019-02-12]
- ❖ Svenskt Vatten (2018). *Vattenbrist*. Tillgänglig: <http://www.svensktvatten.se/fakta-om-vatten/vattenutmaningar/vattenbrist/> [2019-02-20]. Publicerad 2018-09-27.
- ❖ Sydsvenskan (2018). Svensk vinskörd slår rekord. *Sydsvenskan*. 2018-11-02
- ❖ The Absolute Company (2018). *Dryckesbranschrapporten 2018*. The Absolute Company. Tillgänglig: <http://www.mynewsdesk.com/se/the-absolute-company/documents/dryckesbranschrapporten-2018-75682> [2019-02-21]
- ❖ Thomma, B. P., Eggermont, K., Penninckx, I. A., Mauch-Mani, B., Vogelsang, R., Cammue, B. P., & Broekaert, W. F. (1998). Separate jasmonate-dependent and

salicylate-dependent defense-response pathways in Arabidopsis are essential for resistance to distinct microbial pathogens. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Vol. 95(25), ss. 15107-15111. Tillgänglig:

<https://www.pnas.org/content/95/25/15107> [2019-02-19]

- ❖ Trouvelot, S., Bonneau, L., Redecker, D., Van Tuinen, D., Adrian, M., & Wipf, D. (2015). Arbuscular mycorrhiza symbiosis in viticulture: a review. *Agronomy for sustainable development*. Vol. 35(4), ss.1449-1467.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0329-7>
- ❖ Valentine A J, Mortimer P E, Lintaar M, Borgo R, (2006). Drought responses of arbuscular mycorrhizal grapevines. *Symbiosis*. Vol 41(3), ss. 127-133. Tillgänglig: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/FullTextPDF/2007/20073052619.pdf> [2019-02-18]
- ❖ Van Geel, M, Verbruggen E, De Beenhouwera M, van Rennesc G, Lievensd B, Honnaya O. (2017) High soil phosphorus levels overrule the potential benefits of organic farming on arbuscular mycorrhizal diversity in northern vineyards. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 248, ss. 144–152.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.07.017>
- ❖ Winkler A J, Cook J A, Kliwer W M, Lider L A (1974). *General viticulture*. University of California Press.

Icke publicerat material:

- ❖ Nordmark L. Alnarp. Sveriges Lantbruksuniversitet. 2018-10-15.