

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



Význam a využití arbuskulární mykorhizy v systému ekologického zemědělství

Bakalářská práce

Bc. Lucie Burianová
Ekologické zemědělství

Ing. Petr Dvořák, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Význam a využití arbuskulární mykorrhizy v systému ekologického zemědělství" jsem vypracoval(a) samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor(ka) uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18. dubna 2019

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala panu Ing. Petrovi Dvořákovi, Ph.D. za rady i trpělivost, se kterou se mi věnoval během tvorby bakalářské práce. Dále panu prof. Ing. Jiřímu Balíkovi, CSc., dr. h. c., za to, že mi při svých přednáškách poskytl první impuls, který vedl k mému pozdějšímu zájmu o problematiku mykorhizy a také své rodině za podporu při mém studiu.

Význam a využití arbuskulární mykorhizy v systému ekologického zemědělství

Souhrn

V dnešním světě se potýkáme s mnoha problémy souvisejícími s klimatickou změnou a dlouhodobě neúspěšným zatěžováním životního prostředí, které má v mnoha případech úzkou souvislost s konvenčním zemědělstvím. Jedním z řešení těchto problémů by mohl být přechod na ekologické zemědělství. Tento způsob hospodaření má ovšem dnes v oblasti rostlinné výroby několik limitujících faktorů. Mezi zásadní patří omezené množství dusíku a fosforu dostupného pro rostliny, regulace plevelů a škůdců. Řešením těchto problémů by mohlo být využití pozitivních účinků arbuskulárních mykorhizních hub na hostitelské rostliny a zvýšení jejich odolnosti vůči biotickým i abiotickým stresům.

Arbuskulární mykorhizní houby mají v půdě velmi důležitou úlohu. Jsou hostiteli mnoha dalších organismů jako jsou bakterie, hlístice i ostatní houby. Soužití s arbuskulárními mykorhizními houbami je pro rostliny prospěšné, protože jejich prostřednictvím mohou získat z půdy hůře dostupný fosfor, jsou také odolnější proti účinkům těžkých kovů a proti některým patogenům, lépe rostou v zasolených půdách a jsou odolné proti suchu. Důležitá je také úloha arbuskulárních mykorhizních hub v procesu sekvestrace uhlíku – houby ve svém těle váží část produktů, které vznikly při rostlinné fotosyntéze.

Pro inokulaci rostlin je možné využít komerční inokulanty, tento způsob je ovšem poměrně drahý a tyto inokulanty obsahují pouze omezené spektrum druhů hub. V polních podmínkách je proto vhodné využít přirozenou inokulaci pomocí místních druhů hub, přičemž nejrychleji jsou rostliny infikovány z nenarušeného extraradikálního mycelia.

Z výhod mykorhizní symbiózy prosperují především rostliny, které rostou v půdách, které jsou bohaté na dusík a chudé na fosfor. Pozitivní vliv na rozvoj této symbiózy má organické hnojení ve formě kompostu, biouhlu i hnoje. Důležité jsou i osevnické postupy, které upřednostňují rostliny schopné mykorhizní symbiózy, využívají vhodné podplodiny i meziplodiny. Podstatný je způsob obdělávání půdy, který minimálně narušuje extraradikální mycelium, kdy dáváme přednost bezorebnému zpracování půdy.

Klíčová slova: mykorhiza, fosfor, inokulace, osevnické postupy, bezorebné hospodářství

Importance and use of arbuscular mycorrhiza in organic farming system

Summary

In today's world, there are various problems related to climate change and long-term adverse environmental burdens, which have many options closely linked to conventional agriculture. One solution to these problems could be switching to organic farming. This type of farming has several limiting factors in plant production now. Significant are the limited amounts of nitrogen and phosphorus available for plants, weed and pest control. The solution to these problems could be taking advantage of the positive effects of arbuscular mycorrhizal fungi on host plants and increase their resistance to both biotic and abiotic stresses.

Arbuscular mycorrhizal fungi play a very important role in the soil. They host many other organisms such as bacteria, nematodes and other fungi. Coexisting with arbuscular mycorrhizal fungi is beneficial for plants, because they can make phosphorus out of the soil more accessible, are more resistant to heavy metals and some pathogens, grow better in saline soils and are drought resistant. The role of arbuscular mycorrhizal fungi in the process of carbon sequestration is also important - fungi in their bodies weigh a portion of the products that have been produced by plant photosynthesis.

Commercial inoculants can be used for plant inoculation, but this method is relatively expensive and contains only a limited spectrum of fungal species. In field conditions, it is therefore appropriate to use the natural inoculation with local fungal species, with the plants being the fastest infected from the undisturbed extraradical mycelium.

The positive effect of mycorrhizal symbiosis is mainly used by plants that grow in soils that are rich in nitrogen and poor in phosphorus. Organic fertilization in the form of compost, biochar and manure has a positive effect on the development of this symbiosis. Crop rotation is also important, favoring plants capable of mycorrhizal symbiosis, using appropriate cover crops. What is important is the way of cultivating the soil, which minimally disturbs the extraradical mycelium, where we prefer the no-till cultivation.

Keywords: mycorrhiza, phosphorus, inoculation, crop rotation, no-till

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Cíl práce.....	9
3	Literární rešerše	9
3.1	Arbuskulární mykorhiza – popis soužití mezi houbou a hostitelskou rostlinou9	
3.2	Jak můžeme využít přínosy arbuskulární mykorhizy v zemědělství	10
3.2.1	Zemědělské plodiny, které jsou schopné mykorhizní symbiózy.....	10
3.2.2	Vybrané faktory, které mají vliv na arbuskulární mykorhizní houby.....	11
3.2.3	Vybraná organická hnojiva a arbuskulární mykorhiza	12
3.2.3.1	Arbuskulární mykorhizní houby a biouhel	12
3.2.3.2	Arbuskulární mykorhizní houby a kompost	13
3.2.3.3	Arbuskulární mykorhizní houby a hnůj	14
3.3	Možnosti inokulace rostlin a jejich využití v ekologickém zemědělství	14
3.3.1	Komerční inokulanty	14
3.3.2	Přirozené způsoby inokulace	18
3.3.2.1	Spóry	18
3.3.2.2	Kolonizované zbytky kořenů	18
3.3.2.3	Faremní produkce inokulantu – zdroje spór arbuskulárních mykorhizních hub a kolonizovaných zbytků kořenů.....	18
3.3.2.4	Extraradikální mycelium – nejúčinnější způsob kolonizace kořenů rostliny	20
3.4	Dobrá zemědělská praxe – podpora přirozené mykorhizní symbiózy	20
3.4.1.1	Vhodné způsoby obdělávání půdy	20
3.4.1.2	Osevní postupy a redukce plevelů	22
3.4.1.3	Hnojení a prostředky na ochranu rostlin	24
3.4.1.4	Úloha developerských rostlin.....	24
3.4.1.5	Shrnutí.....	25
3.5	Další využití pozitivních vlastností arbuskulárních mykorhizních hub v ekologickém zemědělství	26
3.5.1	Mykorhiza v trvalých porostech	26
3.5.2	Mykorhiza v produkci aromatických rostlin	27
	Závěr	29
4	Literatura.....	31

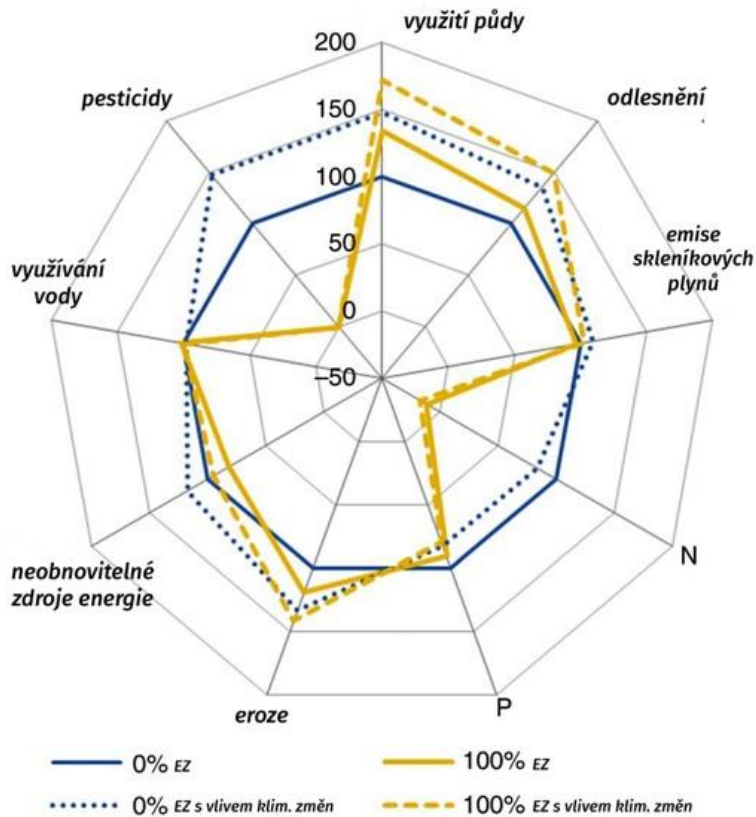
1 Úvod

V oblasti zemědělství nás čeká v nejbližší době řešení několika problémů, které spolu úzce souvisejí. Podle organizace FAO (2013) vzroste počet obyvatel Země do roku 2050 o 2,3 miliardy. Tento nárůst by podle FAO (2013) měl vést ke zvýšení produkce potravin o 60 procent. Někteří vědci namítají, že tato prognóza nerespektuje trendy týkající se poškozování životního prostředí, které souvisejí s intenzifikací zemědělské výroby, a jejichž vliv na zemědělskou produkci poroste (Hunter et al. 2017). Také Foley et al. (2011) upozorňuje na to, že řada současných strategií uvažuje pouze o zvýšení zemědělské produkce, ale neuvažuje negativní vliv intenzivní produkce. Za nepřijatelné také Foley et al. (2011) a Goss et al. (2017) pokládají další zabírání půdy související se zvýšenou poptávkou po potravinách a navrhují jiné řešení: Zvýšit produkci v regionech, ve kterých farmáři dosud dosahují podprůměrných výnosů. Na vině je především nevhodný systém hospodaření, který s sebou přináší řadu biotických i abiotických stresů souvisejících s nedostatkem živin a vody. (Foley et al. 2011). Podle Gosse et al. (2017) jsou to především oblasti ve východní Evropě, subsaharské Africe a v jižní Asii. Foley et al. (2011) k těmto oblastem řadí také jižní Ameriku, kde je limitujícím faktorem zejména voda. Goss et al. (2017) i Fowley et al. (2011) se shodují v tom, že půdy v těchto regionech trpí nedostatkem dusíku, fosforu a draslíku. Spolu s Hunterem et al. (2017) ale dodávají, že pro zvýšení úrodnosti těchto půd není vhodné dlouhodobé využití dusíkatých a fosforečných průmyslových hnojiv, protože ty patří mezi hlavní zdroje znečištění (zejména eutrofizace) povrchových i podzemních vod. Goss et al. (2017) také zmiňuje, že produkce dusíkatých hnojiv je náročná na spotřebu vody a zmiňuje, že celosvětové zásoby fosforu a draslíku klesají. Upozorňuje také na to, že zatímco se mezi roky 1960 a 1990 celosvětová produkce 20 nejdůležitějších zemědělských komodit zdvojnásobila, vzrostla spotřeba průmyslových hnojiv 4,8krát a pesticidů 31,1krát.

V souvislosti s výše zmíněnými skutečnostmi vyvstává otázka, jestli je možné zemědělskou produkci zvýšit i jinými způsoby než další intenzifikací výroby, například přechodem na ekologické zemědělství. Searchinger et al. (2018) ve svém článku má za to, že plodiny pěstované v režimu ekologického zemědělství dosahují nižších výnosů a nesou s sebou výše zmíněnou nevýhodu – zábor většího množství zemědělské půdy, a navíc i vyšší emise skleníkových plynů. S jeho názorem nesouhlasí mimo jiné organizace IFOAM (2018), podle které nelze vyvozovat obecné závěry ze studie, která se zabývala pěstováním hrachu a pšenice v klimaticky nepříliš ideálním Švédsku, a která opomíjí veškeré další aspekty související s ekologickým zemědělstvím. Se Searchingerem et al. (2018) nesouhlasí ani Čapounová a Samsonová (2019), podle kterých je produkce v konvenčním zemědělství v mírném pásu vyšší asi o 20 až 25 procent oproti ekologickému zemědělství, ale spolu se změnou stravovacích návyků a omezením plýtvání jídlem by i ekologické zemědělství dokázalo podle síťového grafu na obrázku 1 nasytit 9 miliard lidí a

zároveň by se snížil dopad produkce potravin na životní prostředí.

Obrázek - Rok 2050: Environmentální dopady úplného přechodu k ekologickému zemědělství



Dopady ekologických scénářů (100% ekologické zemědělství, žluté čáry) jsou uvedeny ve vztahu k referenčnímu scénáři (0% ekologické zemědělství, modré čáry), s (tečkovanými čarami) a bez (plných linií) dopady změny klimatu na výnosy; Kalorie jsou stejné pro všechny scénáře.

Muller, A. et al (2017): *Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture.*

Obrázek 1 Srovnání environmentálních dopadů ekologického a konvenčního zemědělství – zdroj Čapounová & Samsonová

Nicméně i Čapounová a Samsonová (2019) upozorňují na to, že i v ekologickém zemědělství existují silné limitující faktory, a to je omezené množství dusíku a nedostatek fosforu zejména v alkalických a kyselých půdách a také zátěž ve formě horší regulace plevelů a škůdců.

Problém, jak dodat rostlinám dostatek živin, jak je ochránit před biotickými i abiotickými stresy, a jak dosáhnout přijatelných výnosů, které užívá stále rostoucí počet lidí a zároveň minimalizovat dopady zemědělské produkce na životní prostředí, patří dnes mezi zásadní otázky. Jedním z objektů intenzivního výzkumu je proto již mnoho let i arbuskulární mykorrhiza a její využití v různých zemědělství.

2 Cíl práce

Cílem práce je zhodnotit současný stav a možnosti efektivního využití arbuskulární mykorhizy a z nich vyvozených přípravků v systému ekologického zemědělství. Seřadit přínosy, negativa arbuskulární mykorhizy a zhodnotit momentální poznatky s ohledem na využití u polních plodin a v zemědělské praxi. Podrobněji charakterizovat způsob a postup aplikace vybraných mykorhizních hub a zhodnotit jejich konkrétní přínosy.

3 Literární rešerše

3.1 Arbuskulární mykorhiza – popis soužití mezi houbou a hostitelskou rostlinou

Arbuskulární mykorhiza představuje nejrozšířenější a také jeden z nejstarších typů mykorhizní symbiózy. Toto symbiotické soužití existuje mezi více než 60 procenty rostlinných druhů (Sanders 2018) a houbami z oddělení *Glomeromycota* (Jansa et al. 2013). Arbuskulární mykorhizní houby vytvářejí v kortikálních buňkách kořenů hostitelské rostliny dva typy útvarů – arbuskuly a ve většině případů i vesikuly. Stromečkovité arbuskuly jsou zodpovědné za výměnu živin mezi houbou a rostlinou. Vesikuly – oválné nebo kulovité útvary, které se mohou nacházet na konci nebo uprostřed intraradikálních hyf – mají zásobní funkci. Arbuskulární mykorhizní houby vytvářejí kromě intraradikálních hyf také hyfy extraradikální, které umožňují hostitelské rostlině získávat živiny z okolní půdy (Botanický ústav 2016). Tyto hyfy, které představují zřejmě 5–10 % celkové půdní biomasy (Goss et al. 2017), jsou v půdě obklopené pestrým společenstvem půdních prokaryotických organismů, ostatních hub, prvoků, hlístic (*Nematoda*) atd. Složení těchto organismů je specifické, vyskytuje se pouze v okolí hyfy, pravděpodobně závisí na druhu houby a může se měnit v průběhu jejího života. Role těchto organismů není zatím dostatečně prozkoumaná (Jansa et al. 2013).

V rámci symbiotického soužití dodávají houby prostřednictvím extraradikálních hyf hostitelské rostlině zejména hůře dostupný fosfor (Sanders 2013) a mikroprvky, například zinek (Jansa et al. 2013). Goss et al. (2017) zmiňuje také, že arbuskulární mykorhiza může podporovat mineralizaci dusíku případně propojovat rostliny, které jsou schopné vázat vzdušný dusík s těmi, které tuto schopnost nemají. Jansa et al. (2017) ovšem uvádí, že za mineralizaci organických živin budou pravděpodobně zodpovědné spíše přidružené mikroby než houby samotné. Goss et al. (2017) a Janoušková (2017) se shodují v tom, že pro příjem dusíku a fosforu rostlinou pomocí arbuskulární mykorhizy je důležitý poměr těchto dvou prvků v půdě a že z mykorhizy profitují především rostliny, které mají k dispozici dostatek dusíku, ale nedostatek fosforu. Janoušková (2017) také uvádí, že arbuskulární mykorhizní houby nejprve uspokojují svoji vlastní potřebu dusíku a až poté ho uvolňují pro rostlinu.

Mykorhizní soužití je pro rostliny výhodné ovšem i v době, kdy mají dostatek živin, protože přítomnost hub jim pomáhá v obraně proti biotickým i abiotickým stresům (Slavíková 2012), chrání rostliny proti účinkům těžkých kovů (Goss et al. 2017; Kanwal et al. 2015; Berutti et al. 2015) a rostliny díky houbám mohou růst lépe i v zasolených půdách (Goss et al. 2017; Berutti et al. 2015). Rostliny, které jsou kolonizované houbami, vykazují větší odolnost proti suchu (Janoušková 2017). Al-Karaki (2003) ve svém experimentu prokázal, že podíl biomasy i výnosy byly vždy vyšší u pšenice, která byla inokulována mykorhizními houbami než u pšenice bez těchto hub, a to i v případě rostlin, které byly vystaveny účinkům sucha. Podle Gosse et al. (2017) vykazují rostliny díky arbuskulární mykorhize větší odolnost proti půdním patogenům. Borowitz (2001) na základě dlouhodobých experimentů dokládá, že záleží na druhu patogenu, který rostlinu napadl. Problematická je například odolnost pro parazitickým hlísticím (*Nematoda*). Naopak rostliny podle jejich experimentů vykazovaly lepší odolnost proti plísním. Konvalinková (2017) uvádí, že mykorhizní rostliny prokázaly v pokusech větší fotosyntetickou produkci oproti těm bez arbuskulární mykorhizy.

Arbuskulární mykorhiza hraje také důležitou roli v procesu sekvestrace uhlíku – houby profitují z rostliny mimo jiné právě příjmem životně důležitých uhlíkatých sloučenin (Luginbuehl et al. 2017). Jansa et al. (2013) uvádí, že 4 až 30 % produktů čisté fotosyntézy je během několika hodin zabudováno do arbuskulárních mykorhizních symbiontů (zbytek je prodýchán, případně je zabudován do dalších organismů přítomných v hyfo – nebo rhizosféře). Janoušková (2017) ovšem podotýká, že právě proto, že arbuskulární mykorhizní houby jsou obligátní symbionti, kteří jsou závislí na příjmu uhlíku od hostitelské rostliny, může jejich přítomnost v případě snížené schopnosti fotosyntézy rostlině spíše uškodit.

Přínos arbuskulární mykorhizy pro rostlinu ovšem závisí také na druhu houby i na konkrétním společenstvu. Na druhové složení hub má přitom vliv hlavně způsob hospodaření, přičemž na konvenčně obhospodařovaných půdách je druhé složení chudší a zahrnuje hlavně méně přínosné druhy hub (Oehl 2004).

3.2 Jak můžeme využít přínosy arbuskulární mykorhizy v zemědělství

3.2.1 Zemědělské plodiny, které jsou schopné mykorhizní symbiózy

Mykorhizního soužití je schopná většina kulturních rostlin. Jsou to mimo jiné rostliny z čeledí *Poaceae*, *Fabaceae* kromě lupiny, *Asteraceae* a *Solanaceae* (Berutti et al. 2015). Mykorhiza není možná u následujících čeledí, které jsou významné z hospodářského hlediska: *Amaranthaceae*, *Brassicaceae*¹, *Chenopodiaceae* (Brundrett 2008).

¹ Owen et al. (2014) ovšem uvádí, že nově objevená houba *Piriformospora indica* je schopná mykorhizní symbiózy i s rostlinami z čeledi *Brassicaceae*.

Proč některé rostliny nejsou schopné mykorhizní symbiózy lze vysvětlit tak, že tyto druhy postrádají ve svých buňkách transkripční faktor RAM1. (Geurts & Vleeshouwers 2012) Pro vznik arbuskul v buňkách hostitelské rostliny je právě nezbytná přítomnost tohoto transkripčního faktoru. (Geurts & Vleeshouwers 2012; Luginbuehl et al. 2017). Luginbuehl et al. (2017) dále prokázal, že tento faktor je nezbytný pro aktivaci enzymu RAM2 a zahájení biosyntézy lipidů, které jsou pro arbuskulární mykorhizní houby dalším životně důležitým zdrojem organického uhlíku.

Na vegetační fázi, ve které se rostlina nachází, závisí druhové složení arbuskulárních mykorhizních hub. Tian et al. (2014) zaznamenal při pokusech s kukuřicí největší výskyt hyf a arbuskulí v době intenzivního růstu, tedy v době, kdy měla rostlina největší potřebu fosforu, přičemž některé vzácnější druhy hub se vyskytovaly pouze v určitých fázích růstu.

Na vznik a rozvoj mykorhizní symbiozy může vliv také odrůda dané rostliny. Například moderní odrůdy pšenice nejsou šlechtěny na rozvoj mohutné kořenové soustavy a mohou proto méně reagovat na mykorhizní symbiózu (Konvalina & Moudrý 2008).

3.2.2 Vybrané faktory, které mají vliv na arbuskulární mykorhizní houby

Většina arbuskulárních mykorhizních hub je zřejmě závislá na typu půdy. Podle výzkumu Oehl et al. (2010) patří více než polovina z hub, které zkoumali, mezi specialisty, kteří jsou závislí na konkrétním typu, asi třetina jsou generalisté, u zbytku se závislost nepodařilo prokázat. Bainard et al. (2014) například prokázal, že je rozdíl mezi množstvím spór arbuskulárních mykorhizních hub, které se vyskytují ve vertisolech a v černozemích (ve prospěch vertisolů). Na některé arbuskulární mykorhizní houby má vliv i obsah jílu v půdě. (Jansa et al. 2014) Zatím poměrně neprozkoumaný je vliv, který má naopak přítomnost arbuskulární mykorhizy na půdní strukturu. arbuskulární mykorhizní houby zřejmě patří k organismům, které produkcí glykoproteinu glomalinu a látek podobných glomalinu přispívají k tvorbě půdních agregátů, které pak mohou lépe zadržovat vodu. Glomalin je také podstatný v procesu sekvestrace uhlíku (Singh 2012; Jansta et al. 2013; Goss et al. 2017).

Jansa et al. (2014) zkoumali při svém rozsáhlém experimentu, jaké faktory mají vliv na druhovou rozmanitost arbuskulárních mykorhizních hub v půdě, jak ovlivňují výskyt jednotlivých druhů a zaměřil se také na hledání druhů arbuskulárních mykorhizních hub, které by bylo možné využít jako biomarker při posuzování vlivu různých způsobů hospodaření na zemědělské půdě. Experiment probíhal na 134 místech po celém Švýcarsku, která jsou součástí síťového monitoringu půdy, a která měla pokrýt maximum různých faktorů jako je nadmořská výška, způsob využití půdy, pH atd. Jansa et al. (2014) zjistili, že na výskyt arbuskulárních mykorhizních hub mělo vliv zejména pH půdy, obsah organických látek, mikrobiální aktivita a biomasa testovací rostliny (pórek (*Allium porrum* L.). Velký vliv pH potvrdily i dlouhodobé pokusy, které byly provedeny v osmdesátých letech minulého století v Rothamstedu a ve Woburnu. Tyto experimenty prokázaly, že houbám nejvíce prospívalo pH mezi 5,5 a 7,5 (Wang et al. 1993).

Jansa et al. (2014) dále zjistili, že na výskyt hub neměl vliv obsah dostupného fosforu v půdě. Vliv minerálních hnojiv měl úzkou souvislost se způsobem využití půdy (trvalé travní

porosty, nebo orná půda), využití půdy ovlivnilo i druhovou rozmanitost arbuskulárních mykorhizních hub. Nejmenší vliv mělo využití organických hnojiv a typ hospodaření (ekologické, integrované a další).²

Zdaleka nejdůležitějším faktorem, které podle Jansy et al. (2014) rozhoduje o výskytu arbuskulárních mykorhizních hub ve Švýcarsku je geografická poloha a s ní související klimatické ukazatele, jako je množství srážek, teplotní extrémy atd.

3.2.3 Vybraná organická hnojiva a arbuskulární mykorhiza

V systémech ekologického zemědělství jsou rostliny často závislé pouze na přísunu živin z půdy, z organického hnojení a z osevních postupů, které zahrnují pěstování bobovitých rostlin. Tento přístup často vede ke snižování zásob dostupného fosforu v půdě a tím pádem roste význam arbuskulární mykorhizy, coby zdroje fosforu pro rostliny. Přitom použitá hnojiva mohou mít kladný vliv na výskyt a růst arbuskulárních mykorhizních hub. (Oehl et al. 2004; Goss et al. 2017) Mäder (2002) při svém dlouhodobém polním pokusu, při kterém 21 let zkoumal a porovnával bioorganický, biodynamický a konvenční systém zemědělství, prokázal, že přestože byl přísun základních živin (N, P, K) v bioorganickém a biodynamickém systému o 34 až 51 % nižší než v systému konvenčním, byly výnosy zkoumaných plodin³ nižší pouze o 20 % než v konvenčním systému. Mäder (2002) to přisuzuje mimo jiné i přítomnosti mykorhizních hub. Zjistil totiž, že délka kořenů rostlin, které byly kolonizovány mykorhizními houbami, byla v biodynamickém a v bioorganickém systému delší o 40 % než v systému konvenčním, a rostliny měly tudíž lepší přístup k živinám.

3.2.3.1 Arbuskulární mykorhizní houby a biouhel

Zajímavé jsou poznatky, které se týkají růstu arbuskulárních mykorhizních hub v půdách, do kterých byl přidán biouhel. Ortaş et al. (2016) ve své práci hovoří o tom, že zaznamenal viditelný rozdíl mezi kořenovou masou rostlin, které rostly pouze v půdě obohacené biouhlem a mezi rostlinami, které rostly v substrátu, který byl kromě biouhlu navíc inokulován mykorhizními houbami. Hammer et al. (2014) ve svých pokusech zaznamenali, že hyfy mykorhizních hub jsou na rozdíl od kořenů rostlin schopné proniknout i do mikroskopických prostor v biouhlu a dodat rostlině fosfor. Houby jejichž hyfy pronikly do biouhlu dodaly svým hostitelským rostlinám šestkrát více fosforu než houby, kterým v tom výzkumný tým zabránil.

LeCroy et al. (2013) podotýkají, že vztah mezi biouhlem a mykorhizou ani samotné účinky biouhlu nejsou ještě úplně prozkoumané. Ve svém výzkumu se zabývali vztahem mezi biouhlem, dusíkem a mykorhizou. Výsledkem jejich experimentu bylo zjištění, že rostliny čiroku, které rostly v substrátu obohaceném biouhlem, mykorhizními houbami a vysokou

² Jansa et al. (2014) ovšem podotýkají, že se ve svém experimentu zaměřili pouze na běžné, a tudíž odolné druhy hub. Dále dodávají, že ve Švýcarsku je pod hrozbou velkých sankcí zakázáno dlouhodobé pěstování monokultur, přehnojování a častá orba.

³ Ozimá pšenice, brambory a jetelotravní směs

dávku dusíku měly o 42 procent menší nadzemní masu oproti těm bez dodatečné dávky dusíku. LeCroy et al. (2013) tento výsledek přisuzují parazitismu mykorhizních hub.⁴ Experiment dále prokázal, že biouhel, který byl v substrátu s mykorhizou, ale bez dodatečné dávky dusíku, vykazoval větší míru povrchové oxidace a měl na povrchu více uhlíku navázaného ve funkčních karboxylových skupinách. Le Croy et al. (2013) se domnívají, že dusík je jakýmsi spínačem schopnosti biouhlu reagovat na mykorhizu a určuje také stupeň oxidace povrchových vrstev biouhlu. Oxidace biouhlu kladně ovlivňuje jeho schopnost sorpce (např. těžkých kovů (Wang et al. 2018)).

3.2.3.2 Arbuskulární mykorhizní houby a kompost

Ani vliv, jaký má hnojení kompostem na arbuskulární mykorhizní houby, není úplně prozkoumán. Výsledky pokusů, které prováděli Yang et al. (2018) s různou koncentrací kompostu v substrátu, ukazují na to, že množství kompostu přidaného do substrátu má zřejmě vliv na arbuskulární mykorhizu. Yang et al. (2018) pro své pokusy v délce jednoho roku použili následující koncentrace kompostu: 0, 11,25, 22,5 a 45 Mg/ha. Jako testovací rostlina byla použita soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Do půdy nebyly přidány inokulanty, hnojiva ani pesticidy. Vysoká a střední koncentrace kompostu vedla k prokazatelnému zvýšení kolonizace kořenů hostitelské rostliny hyfami a vyšší bylo i množství extraradikálních hyf. Množství spór bylo vyšší ve všech koncentracích ve srovnání s kontrolní skupinou. Druhové složení a bohatost hub nebylo přídavkem kompostu ovlivněno, ale některé druhy hub reagovaly na přídavek kompostu větším růstem než jiné.

Copetta et al. (2011) se zabývali vlivem zeleného kompostu a arbuskulární mykorhizní hub na kvantitativní a kvalitativní ukazatele při pěstování rajčat (*Solanum lycopersicum* L.). Při svém pokusu uměle inokulovali substrát obohacený různou koncentrací zeleného kompostu (0, 25, 50, 75, 100 procent) mixem hub rodu *Glomus* a rhizobiálních bakterií, kontrolní vzorek měl stejné koncentrace kompostu, ale nebyl inokulován. Po 21 dnech od výsevu zaznamenali, že rostliny v mykorhizním substrátu mají větší zelenou nadzemní hmotu i kořeny. Po 5 měsících zjistili, že nejvíce biomasy mají rostliny v mykorhizním substrátu obohaceném 75 % zeleného kompostu. Přitom míra kolonizace mykorhizními houbami ale se zvyšujícím se množstvím kompostu v substrátu klesala. Plody rajčat, které rostly v inokulovaném substrátu obsahovaly větší množství glukózy. Obsah malátu byl výrazně vyšší v plodech rostlin, které rostly v inokulovaném substrátu s více než 50 % kompostu. Plody rajčat, která vyrostla v substrátu s více než 50 % procenty kompostu měla vyšší obsah citrátu než u rostlin v dalších substrátech. Inokulace nebo přídavek kompostu vedl v plodech ke snížení obsahu dusitanů a zvýšení obsahu dusičnanů. V plodech rostlin, které rostly v substrátech s přídavkem kompostu a/nebo inokulantů byl větší obsah minerálů. Nejvíce karotenoidů bylo v plodech rostlin ze substrátu s nejvyšším podílem kompostu.

⁴ Goss et al. (2017) poukazuje ale na studie, které prokázaly, že už samotné vysoké dávky hnojiv působí na AM negativně.

Copetta et al. (2011) konstatují, že zvyšující se obsah zeleného kompostu měl nepříznivý vliv na růst arbuskulárních mykorhizních hub⁵ a uvádějí, že jiné druhy kompostu (např. vermikompost) mohou mít podle dalších studií vliv opačný. Například Cavender et al. (2003) ve svých pokusech s čirokem (*Sorghum* sp.) prokázal, že zvyšující se podíl vermikompostu v substrátu vedl k zvýšené kolonizaci kořenů arbuskulárními mykorhizními houbami.

Výzkumy v Rodale Institute poukázaly na to, že různé druhy arbuskulárních mykorhizních hub preferují různé koncentrace a typy kompostu. Komposty, které měly vysoký obsah dusíku, nízký obsah fosforu a střední obsah draslíku (kompost z posekané trávy a hnoje a listovka) byly nejvíce kolonizovány, pokud byly míchány s materiálem v poměru 1:2 až 1:4. Komposty, které měly vysoký obsah fosforu, nízký obsah dusíku a střední obsah draslíku (kontrolovaný mikrobiální kompost) musely být namíchány v poměru 1:19 až 1:49. Vědci také zkoumali, jaký vliv na rozvoj arbuskulárních mykorhizních hub má materiál, se kterým je kompost namíchán. V experimentu použili perlit, vermikulit a substrát na bázi rašeliny. Mezi médii nebyl nejprve zaznamenán velký rozdíl, hlubší zkoumání poté poukázalo na to, že nejvíce propagulí se nacházelo v mixu s vermikulitem. Rodale Institute to přisuzuje laminární struktuře vermikulitu, která je zřejmě ideální pro prorůstání hyfami (Lohman et al. 2010).

Ovšem na tom, že kompost má pozitivní vliv na arbuskulární mykorhizu se shoduje většina vědců. Cavagnaro (2014) uvádí, že v pouze 8 procentech publikací k tomuto tématu se píše o negativním vlivu kompostu na arbuskulární mykorhizu.

3.2.3.3 Arbuskulární mykorhizní houby a hnůj

Oehl et al. (2003) při svých experimentech prokázal, že i hnůj má stejně jako ostatní organická hnojiva příznivý vliv na růst arbuskulárních mykorhizních hub. Ovšem i Brechelt (1990) poukazuje na to, že se zvyšujícím se podílem hnoje v půdě se snižuje míra kolonizace kořenů arbuskulárními mykorhizními houbami.

3.3 Možnosti inokulace rostlin a jejich využití v ekologickém zemědělství

Při využívání komerčních inokulantů je třeba dodržovat zákonná ustanovení, především ustanovení nařízení (ES) č. 834/2007 a nařízení (ES) č. 889/2008, a dále ustanovení zákona o rostlinolékařské péči. Pokud se zemědělský podnik rozhodne pro produkci vlastního inokulantu, musí být vyroben z regionálních zdrojů, přičemž jeho receptura podléhá kontrole (PRO-BIO 2018).

3.3.1 Komerční inokulanty

Podle údajů organizace Transparency Market Research roste celosvětový trh s biopreparáty o více než 10 procent ročně a dosáhne do roku 2020 objemu 1 295 000 dolarů.

⁵ Dle Copetta et al. (2011) to může souviset se zvýšeným obsahem fosforu v substrátu.

Podíl mykorhizních přípravků činil v roce 2012 přibližně 7 procent z tohoto objemu. Tento růst je spojen především se vzrůstající poptávkou po produktech ekologického zemědělství, rostoucí cenou chemických pesticidů a hnojiv i vzrůstajícím povědomím o ochraně životního prostředí. (2014) Dle Owen et al. (2014) je kvalita produktů na trhu poměrně různorodá a je částečně ovlivněná nevhodným způsobem skladování. Podotýkají také, že v rámci EU zatím neexistují standardy upravující produkci bio-inokulantů. Dále uvádějí, že zatím neexistuje studie, která by na základě dlouhodobých polních testů porovnávala a potvrzovala či vyvracela vlastnosti různých přípravků, tak jak je uvádějí výrobci. Co se týče laboratorních testů, neproběhl zatím žádný v gnotobiotických podmínkách. Laboratorní testy se také často nepodaří zopakovat v polních podmínkách, zejména kvůli většímu množství mikroorganismů, které jsou běžně přítomné v půdě a které mají vliv na arbuskulární mykorhizní houby. Testy také často probíhají pouze na jednom druhu rostliny nebo s jedním druhem houby a nedaří se je zopakovat na dalších druzích rostlin nebo s jinými druhy hub. Autoři jen připomínají studie, které uvádějí, že introdukce některého druhu (např. *Glomus* spp.) do půdy, která je bohatá na ostatní arbuskulární mykorhizní houby, může vést ke snížení jejich biodiverzity. *Glomus* spp., který je ovšem často užívaný v mykorhizních přípravcích, má navíc mnoho přirozených antagonistů, které mohou snižovat jeho účinek v půdě. Na druhou stranu se jedná o druh houby, která je poměrně odolná proti narušení půdy například orbou. Dle Owen et al. (2014) je cestou k rozvoji skutečně efektivních bio-inokulantů důkladné pochopení složitého půdního ekosystému a faktorů, které ho mohou ovlivnit. Jako nadějně vidí preparáty, které obsahují symbiotické komplexy hub a bakterií.

Tabulka č. 1: Přehled nejdůležitějších mykorhizních přípravků využitelných pro pěstování zemědělských plodin a zeleniny dostupných v České republice

Obchodní název	Výrobce	Charakteristika	Účinná složka (rod)	Přínos	Využitelnost	Kompatibilita s fungicidy	Certifikace pro ekologické zemědělství
Clonoplus (Fytovita 2019)	Fytovita	Pomocný přípravek k ošetření výsevů a sadby zeleniny, květin a bylinek. Preventivní ošetření výsevních a výsadbových substrátů. Preventivní ošetření výsevních a výsadbových záhonů. Ošetření osiva kmínu, máku, luskovin před výsevem. Ošetření obilovin v ekologickém zemědělství.	Clonostachys	Zlepšuje kvalitu kořenového systému rostlin. Rozklad zárodků patogenních hub.	Skleník i venkovní použití. Na sadbu/osivo i do půdy.	Vitavax 2000, Maxim XL035	Ano

		Urychlení zrání kompostů.					
Gliorex (Fytovita 2019)	Fytovita	Mycelium, které se vyvine v kořenovém systému rostliny, brání nástupu patogenních hub. Rozkládá také organické zbytky a zpřístupňuje je pro příjem rostlinou. Redukuje trvalá stadia fytopatogenních hub v půdě.	Clonostachys a Trichoderma	Zlepšuje stav vyklíčených rostlin	Spíše skleníků. Na osivo i do substrátu.	Vitavax 2000, Maxim XL035	Ano
Polymix (Fytovita 2019)	Fytovita	Zvyšuje biodiverzitu půdních mikroorganismů, redukuje výskyt patogenních mikroorganismů a snižuje výskyt larev půdních škůdců. Stimuluje nodulaci kořenů především luskovin a jetelovin.	Botryotrichum, Isaria, Clonostachys a Talaromyces	Podporuje růst rostlin, zvyšuje biologickou aktivitu půdy. Snižuje množství patogenů v půdě.	Skleníky i venkovní použití. Na sadbu/osivo i do půdy. Je vhodný k přimíchání do kompostů.	Ne	Ano
Symbivit (Symbiom 2019)	Symbiom s.r.o.	Po vzniku mycelia v kořenovém systému rostliny zlepšuje příjem živin (zejména fosforu a draslíku) a vody. Použitelný pro většinu listnatých dřevin, keřů, polokeřů a bylin i pro pěstování hrnkových rostlin.	Reprodukční částice 6 druhů mykorrhizních hub ve formě spor a částí kolonizovaných kořenů rostlin, bioaditiva podporující vývoj mykorrhizní symbiózy (přírodní humáty, výtažky z mořských řas, mleté horniny)	Rostliny se lépe ujímají při výsadbách a vykazují celkové zlepšení růstu a větší odolnost vůči nepříznivým vlivům životního prostředí.	Skleníky i venkovní použití. Do substrátu nebo namočením výsadbového materiálu.	Ne.	Ano.
Symbivit rajčata a papriky (Symbiom 2019)	Symbiom s.r.o.	Po vzniku mycelia v kořenovém systému rostliny zlepšuje příjem živin (zejména fosforu a draslíku) a vody. Vhodný pro	6 druhů mykorrhizních hub, přírodní složky podporující mykorrhizu (výtažky z mořských organismů,	Efektivnější dodání živin především v době zrání plodů. Vyšší výnosy. Nižší spotřeba vody k závlivce.	Skleníky i venkovní použití. K přimíchání do substrátu.	Ne.	Ano.

		lilkovité, tykvovitě a bobovité.	keratin, mleté horniny)	Lepší chuťové vlastnosti.			
Symbivit Bylinky (Symbiom 2019)	Symbiom s.r.o.	Po vzniku mycelia v kořenovém systému rostliny zlepšuje příjem živin (zejména fosforu a draslíku) a vody. Vhodný pro bylinky.	Glomus	Zvyšuje obsah aromatických látek. Zlepšuje zdravotní stav rostlin. Nižší spotřeba vody k zálivce.	Skleníková venkovní použití. K přimíchání do substrátu.	Ne.	Ano
Mykorrhizní houby pro plodovou zeleninu (Rašelina 2019)	Rašelina a.s.	Po vzniku mycelia v kořenovém systému rostliny zlepšuje příjem živin (zejména fosforu a draslíku) a vody. Vhodný pro plodovou zeleninu.	Glomus	Lepší růst, větší kořenový systém, vyšší výnosy. Lepší odolnost proti abiotickým vlivům.	Skleníková venkovní použití. K přimíchání do substrátu.	Ne.	Ne.

V letech 2011–2012 probíhaly na České zemědělské univerzitě polní pokusy na uznaném ekologickém pozemku, které měly za cíl ověřit účinky některých biologických přípravků, pokud se použijí jako mořidlo na osivo jarní pšenice (*Triticum aestivum* L.) a jarního ječmene (*Hordeum vulgare* L.). Testovaly se na polní vzcházivost, výnos, hmotnost tisíce semen sklizeného zrna, laboratorní klíčivost a laboratorní vzcházivost. Mezi testovanými přípravky byl i Gliorex od firmy Fytovit.⁶ V provedených pokusech měl Gliorex kladný vliv na vzcházivost a hustotu porostu pšenice a jedné odrůdy ječmene. Vliv na výnos již tak jednoznačný nebyl – osivo ošetřené Gliorem nevykazovalo žádné zvýšení výnosu oproti nemořené kontrole, ale oproti ostatním přípravkům byl v některých případech výnos mírně vyšší (Honsová et al. 2013).

Podle Prokinové (2016) má na účinnost mykorrhizních přípravků vliv volba odrůdy. Při maloparcelkových pokusech s ozimou pšenicí a jarním ječmenem ošetřených Gliorem se ukázalo, že výsledky týkající se zdravotního stavu a vzcházivosti ozimé pšenice nebyly jednoznačné a velmi se lišily právě podle použité odrůdy, ale stimulační účinky⁷ byly přitom u všech použitých odrůd velmi výrazné. Prokinová (2016) ověřovala i účinky přípravku Clonoplus. V provedeném provozním pokusu měl tento přípravek kladný vliv na výnos ozimé pšenice.⁸ U jarního ječmene se ale v prvním roce poloprovozního pokusu nepodařilo dosáhnout přesvědčivého výsledku ani v jednom ze sledovaných znaků.

⁶ Dalšími testovanými přípravky byly Polyversum a Cedomon. V roce 2012 navíc ještě Ferbiflor a Azoter.

⁷ Hodnotil se počet klasů.

⁸ Dvouletý průměr činil u kontroly 6,8 t/ha, u osiva ošetřeného Clonoplusem to bylo 7,2 t/ha.

Na České zemědělské univerzitě také probíhaly polní pokusy s přípravky Gliorex a Polyversum zaměřené na ochranu máku (*Papaver somniferum* L.) pěstovaného v režimu ekologického zemědělství proti chorobám a škůdcům a následný vliv těchto přípravků na výnos. Tyto testy prokázaly, že oba přípravky měly kladný vliv na vyrovnanější vzcházení a rostliny po ošetření osiva vykazovaly menší míru napadení chorobami i bez dalších opatření. Jako vhodné se ukázalo i kombinované využití obou těchto přípravků¹⁸ (Kuchtová & Dvořák 2013).

3.3.2 Přirozené způsoby inokulace

Arbuskulární mykorhizní houby vytvářejí přirozeně tři druhy propagulí:

1. Spóry
2. Zbytky kořenů kolonizovaných arbuskulárními mykorhizními houbami
3. Extraradikální mycelium

Základní rozdíl mezi těmito druhy je v rozdílné schopnosti kolonizovat kořeny hostitelské rostliny (Goss et al. 2017).

3.3.2.1 Spóry

Spóry jsou výjimečné tím, že jsou nezávislé na hostitelské rostlině. Při dostatečné teplotě a vlhkosti spóry vyklíčí a hyfy začíná hledat vhodný kořen. Pokud tento kořen není během 2–4 týdnů nalezen, dochází k jejímu postupnému zkracování a k návratu do spóry, kde je připravena k restartu celého procesu. Spóry přežívají v půdě několik let (Goss et al. 2017).

3.3.2.2 Kolonizované zbytky kořenů

Ve zbytcích kořenů přežívají vesikuly arbuskulárních mykorhizních hub, které mohou fungovat jako propagule.⁹ Struktura kořenu chrání vesikuly před nepříznivým vnějším prostředím, hyfy klíčí až pokud k tomu jsou vhodné podmínky. Tyto hyfy kolonizují novou hostitelskou rostlinu rychleji než hyfy, které vyrostly ze spór (Goss et al. 2017).

3.3.2.3 Faremní produkce inokulantu – zdroje spór arbuskulárních mykorhizních hub a kolonizovaných zbytků kořenů

Komerční inokulanty, které jsou schválené pro využívání v ekologickém zemědělství, mohou být pro řadu farmářů při použití ve větším měřítku drahé a jejich využití je problematické, protože tyto houby nejsou uzpůsobené specifickým místním podmínkám. (Mäder et al. 2000; Plenchette et al. 2004). Rodale Institute se proto zabýval otázkou, zdali si farmáři mohou vyrobit vlastní inokulační startér z lokálních arbuskulárních mykorhizních hub, který bude obsahovat spóry i kolonizované zbytky kořenů, a posléze navrhl následující postup produkce inokulantu za minimální náklady.

⁹ Houby, které netvoří vesikuly nemají tedy tuto schopnost tvorby propagulí. (Goss et al. 2017)

3.3.2.3.1 Volba hostitelské rostliny

Nejdůležitějším faktorem při volbě rostliny pro produkci inokulantu je to, zdali je rostlina schopná mykorhizní symbiózy. Dalším faktorem je, aby tato rostlina nebyla zdrojem patogenů, proto je vhodné, aby pocházela z jiné čeledi než rostliny, které chceme inokulovat. Zbytky hostitelské rostliny by také neměly být zdrojem zaplevelení, je proto vhodné volit druhy, které v našich podmínkách vymrzají. Vědci z Rodale Institutu proto pro svůj experiment zvolili exotickou bahijskou travu (*Paspalum notatum* Flugge).

3.3.2.3.2 Pěstování sazenic hostitelských rostlin

S produkcí sazenic je vhodné začít ve vytápěném skleníku čtyři měsíce před posledním předpokládaným mrazem, aby rostliny mohly být přesazeny do finálního média co nejdříve. Semena se sejí do vermikulitu nebo do zeminy pro výsevy a po vzejití se rostliny přepichují do úzkých, vysokých květináčů, aby vytvořily mohutný dlouhý kořenový systém. Pro pěstování v květináčích Rodale Institute doporučuje sterilní směs zahradnického substrátu a bazénového písku v poměru 1:3.¹⁰

3.3.2.3.3 Volba finálního média a přesazení sazenic

Stejným substrátem, jaký byl použit pro předpěstování sazenic naplníme do tří čtvrtin pytle o objemu přibližně 27 litrů. Zbytek pytle doplníme zeminou přímo z farmy. Pro sběr zeminy je nutné zvolit 4 až 5 různých míst, které nejsou narušeny hospodářskou činností.¹¹ Zemina se odebírá do hloubky 10 cm, protože tam se vyskytuje nejvíce arbuskulárních mykorhizních hub. Tento lokální zdroj je důležitý, protože na rozdíl od komerčních inokulantů obsahuje spóry i zlomky mycelia arbuskulárních mykorhizních hub, které jsou adaptovány na místní podmínky a v daném prostředí se běžně vyskytují. Je také vysoká pravděpodobnost, že vzorky zdravé místní půdy budou druhově rozmanité a budou kromě jiného obsahovat i zdroj *Gigaspora* spp., která v komerčních inokulantech chybí a která je významným producentem glomalinu. Do pytlů naplněných finálním substrátem poté přesadíme ihned po posledních mrazech sazenice bahijské trávy (4–5 kusů do každého pytle).

3.3.2.3.4 Sklizeň inokulantu

Během sezóny je nutné dohlédnout, aby substrát v pytlích nevysychal a také je nutné zajistit občasné odstranění plevelů. Po ukončení vegetační sezóny sestříháme odumřelé listy a na jaře vysypeme obsah pytlů do velké nádoby, kde je možné inokulovaný substrát promíchat, aby se dosáhlo rovnoměrné koncentrace propagulí. Kořeny rostlin je vhodné nastříhat a též promíchat se substrátem.

¹⁰ Při použití běžného skleníkového substrátu rostliny trpěly nedostatkem železa.

¹¹ Rodale Institute doporučuje sbírat vzorky z míst pod ohradami okolo pastvin nebo v místním lese.

3.3.2.3.5 Využití inokulantu

Stejně jako u komerčních inokulantů, je i tento vhodný k využití hlavně tam, kde není možné zajistit fungování běžných mykorhizních procesů. Tedy například při produkci sazenic zeleniny. Rodale Institute doporučuje ředění inokulantu s pěstebním substrátem v poměru 1:9 až 1:19.¹²

Co se týče dalšího hnojení nutného během produkce sazenic Rodale Institute uvádí, že výzkum v tomto směru zatím není ukončen, ale obecně doporučuje dbát na nízkou úroveň fosforu v hnojivu a doporučuje k hnojení rybí hydrolyzát (Lohman et al. 2010).

3.3.2.4 Extraradikální mycelium – nejúčinnější způsob kolonizace kořenů rostliny

Goss et al. (2017) uvádí množství studií, které prokázaly, že extraradikální mycelium je schopno nejrychleji kolonizovat novou rostlinu, pokud není poškozeno (např. orbou), protože kolonizace pomocí stávajících hyf je časnější a rychlejší než z hyf, které musí nejdříve vyklíčit ze spóry nebo vesikuly, a klíčící nová rostlina je proto od prvních chvil lépe chráněna proti biotickým i abiotickým stresům. Toto potvrzuje i studie od Brito et al. (2014), kteří pěstovali pšenici v půdě se zvýšeným obsahem manganu, přičemž sledovali rozdíl mezi kolonizací rostlin od nepoškozeného a poškozeného mycelia a jejich následnou odolnost proti poškození těžkým kovem. Rostliny, které klíčily v přítomnosti nepoškozeného mycelia rostly dvakrát rychleji než ty, které byly kolonizovány myceliem poškozeným. Byla také zaznamenána pozitivní korelace mezi poklesem obsahu manganu a nárůstem obsahu fosforu a síry v rostlinné mase. Brito et al. (2014) zdůrazňují, že v procesu tvorby mycelia a jeho následné schopnosti kolonizovat novou rostlinu hrají výraznou a možná nejdůležitější úlohu tzv. developerské rostliny¹³. Stejně podstatný je ale i vhodný systém hospodaření zahrnující obdělávání půdy kompatibilní s arbuskulární mykorhizou, osevnické postupy minimalizující vliv nemykorhizních rostlin a zahrnující dobrou volbu krycích plodin a meziplodin – developerů i racionální využívání vstupů do půdy, zejména hnojení a pesticidy (Mäder et al. 2000; Plenchette et al. 2005; Goss et al. 2017).

3.4 Dobrá zemědělská praxe – podpora přirozené mykorhizní symbiózy

3.4.1.1 Vhodné způsoby obdělávání půdy

Brito et al. (2011) při svých experimentech prokázali, že no-till systémy mají zásadní vliv na přežití extraradikálního mycelia během nepříznivých klimatických podmínek (např. během suchého a horkého léta) a jeho následnou schopnost kolonizovat nové rostliny. Ve své

¹² Ředění 1:9 je vhodné pro menší pěstební nádoby do 50 cm³.

¹³ V originále „the developer plants“.

práci zmiňují, že zatímco druhy *Glomus* a *Acaulospora* jsou odolné a jsou schopny kolonizovat rostliny ze všech typů inokula, *Gigaspora* a *Scutellospora* jsou schopy kolonizace pouze se spór a pouze z části z fragmentů kořenů. Při svém čtyřletém experimentu pěstovali část pšenice ve středomořském klimatu v půdě, kterou periodicky narušovali a část v půdě nenarušené. Kořeny pšenice z nenarušované půdy vykazovaly větší míru kolonizace mykorhizními houbami a zároveň větší váhu sušiny. Přežití mycelia i distribuce spór a následná rychlost kolonizace rostliny je tedy kromě teploty a vlhkosti závislé i na tom, jestli je půda narušována.

Tabulka č. 2: Jak jednotlivé způsoby zpracování půdy ovlivňují mykorhizní houby (Goss et al. 2017).

Druh zpracování půdy	Hlavní cíle a efekty	Možný vliv na mykorhizu
Konvenční orba	Obracení půdy. Narušuje a kypří půdu. Likviduje plevely a posklizňové zbytky. Zpracování hnoje a organických hnojiv. Obvyklé využití pluhu. Zvýšené riziko eroze půdy.	V zorané vrstvě jsou poškozeny kořeny, mycélia arbuskulárních mykorhizních hub a biologické kanály. Rovnoměrná distribuce organické hmoty, spór arbuskulárních mykorhizních hub a méně pohyblivých živin.
Hrůbkování	Půda je zpracována hrobkovací radlicí a jsou vytvořeny max. 20 cm vysoké hrůbky. Posklizňové zbytky jsou odstraněny. Rozdílné půdní podmínky na hrůbcích a mezi nimi. Posklizňové zbytky jsou smíchány se zeminou po stranách hrůbku. Hrůbky se na jaře snáze prohřívají a snadno vysychají.	V meziřádcích redukovaný rozvoj kořenů. V hrůbcích je větší množství organické hmoty a jsou zde lepší podmínky pro rozvoj kořenů.
Minimalizační technologie	Bez obracení půdy. Posklizňové zbytky zůstávají na povrchu půdy.	Částečné poškození kořenů, mycelií a spór. Prospěšná stratifikace organické hmoty, méně pohyblivých živin a spór.
Střední a hluboká orba	Zpracování půdy do hloubky větší než 100 až 150 mm.	Částečné poškození kořenů, mycelií a biospór.
Mělká orba	Zpracování půdy do hloubky menší než 100 mm.	Poškození kořenů, mycelií a spór ve zpracované půdě. Rezidua zůstávají na povrchu půdy.
Podmítka	Rezidua zůstávají na povrchu půdy, půda je narušená, ale není obrácená.	Poškození menšího rozsahu pouze do hloubky podmítky
Bezorebné technologie	Osivo je zapraveno do půdy s minimálním narušením půdy. Půdní podmínky jsou blízké těm přirozeným, zejména pokud se podaří vyhnout zhutnění půdy.	Kořeny, mycélia a kořenové kanálky jsou nenarušené. Maximální stratifikace organické hmoty, méně pohyblivých živin a spór.

	Příležitost pro tvorbu ekologických nik v půdě.	
Zpracování půdy v pásech	Zpracování půdy v úzkých pruzích, ve kterých je uloženo osivo (do 15 cm pod povrch půdy), ostatní půda zůstává nenarušena.	Částečné poškození kořenů, mycelií a spór. Prospěšná stratifikace organické hmoty, méně pohyblivých živin a spór. Odlišné půdní podmínky v obdělávaných a neobdělávaných pruzích.
Strategická orba	Systém využívající redukované vybavení pro orbu, ale zároveň využívá radličný pluh zvláště pro redukci plevelů nebo pro zpracování organické hmoty, hnoje nebo posklizňových zbytků.	Kořeny a mycélia jsou periodicky narušovány.
Rotace orebného a bezorebného způsobu hospodaření	Kratší období bez orby střídá období, kdy se půda pravidelně orá.	Kořeny a mycélia jsou periodicky narušovány.
Následné zpracování půdy (vláčení, kypření, válení atd.)	Tvorba seťového lůžka a management plevelů	Dokončuje poškození kořenů, mycelií a spór. Homogenní distribuce organické hmoty, nepohyblivých živin a spór. Posiluje vliv eroze.
Remedial tillage	Odstranění ztuhnutí půdy a zlepšení vodní bilance	Zlepšuje pórovitost a prohlubuje hloubku kořenění.

3.4.1.2 Osevní postupy a redukce plevelů

Goss et al. (2017) ovšem podotýkají, že bezorebné zpracování půdy s sebou přináší problémy v oblasti managementu plevelů, které se v konvenčním zemědělství řeší použitím herbicidů. Anderson (2015) ve své práci uvádí, že ani metody, které kombinují období, kdy se půda neorá s delším obdobím pravidelné orby nevedou k jednoznačným výsledkům. Grandy et al. (2006) dokonce zmiňují, že výhody plynoucí z bezorebného zpracování půdy, zejména zlepšená půdní struktura, jsou eliminovány, pokud je půda jednou zorána. Anderson (2015) má za to, že k redukci plevelů vede komplexní (holistický) přístup a popisuje postupy, které při pokusech v Americe vedly k redukci plevelů v bezorebných systémech a zároveň jsou využitelné v ekologickém zemědělství. Základem těchto postupů je dlouhodobá rotace plodin a využívání podsevů. V osevních postupech se v tomto případě střídají dvě ozimé plodiny se dvěma jařinami. Na základě svých výzkumů navrhl Anderson (2015) tento osevní postup¹⁴: 3 roky tollice vojtěška (*Medicago sativa* L.) následována 6 lety s kukuřicí (*Zea mays* L.) – sójou (*Glycine max* Merr.) – ozimou pšenicí (*Triticum aestivum* L.) – ovsem (*Avena sativa* L.) – sójou

¹⁴ Postup je navržen pro pěstitel na amerických Velkých pláních.

(*Glycine max* Merr.) – kukuřicí (*Zea mays* L.) a následně ovsem s podsevem vojtěšky. Vojtěška byla zvolena, protože velmi úspěšně konkuruje plevelům, zejména těm, které rostou v teplém období, protože v té době je možné ji opakovaně sekat. Po třech letech dochází k nárůstu plevelů, kterým vojtěška nekonkuruje (např. pampeliška) a je nutné přistoupit k další plodině. U ozimé pšenice a ovsu se pak pro redukci plevelů využívají podsevy jednoletých jetelů (jetel inkarnát (*Trifolium incarnatum* L.)), které přispívají k redukci např. sveřepu střešního (*Bromus tectorum* L.). U letních plodin Anderson (2015) doporučuje zvolit druh podsevu podle množství srážek v letním období. Tam, kde je dostatek srážek je možné podsévat žitem setým (*Secale cereale* L.), které se později zmulčuje, tam kde je srážek nedostatek, je vhodné zvolit pro podsev ředkev setou (*Raphanus sativus* L.). Podsev ředkvi je možné využít i u ovsu, protože pak přispívá k redukci plevelů u následně pěstované sóji. U širokořádkové sóji a kukuřice je možné také plevel v meziřádcích pravidelně sekat. Pravidelné sekání přispívá i k redukci vytrvalých plevelů jako je například pcháč rolní (*Cirsium arvense* L.), protože přerušuje ukládání uhlovodíků v rostlině.

Podle Plenchetta et al. (2005) i Gosse et al. (2017) je volba osevního postupu, včetně meziplodin zásadní pro zachování i rozvoj extraradikálního mycelia v půdě. Plenchette (2004) na příkladu některých obilnářských oblastí ve Francii uvádí, že typické osevní postupy obsahují následující plodiny:

1. Nemykorhizní plodiny: řepka olejná (*Brassica napus* L.), řepa cukrovka (*Beta vulgaris* var. *altissima* L.) a hořčice bílá (*Sinapis alba* L.) jako doprovodná plodina
2. Nízkomykorhizní plodiny: pšenice setá (*Triticum aestivum* L.) a ječmen setý (*Hordeum vulgare* L.)
3. Středně mykorhizní plodiny: kukuřice setá (*Zea mays* L.) a slunečnice (*Helianthus annuus* L.)
4. Vysoce mykorhizní plodiny: Brambor hlíznatý (*Solanum tuberosum* L.) a hrách setý (*Pisum sativum* L.)

Na volbu osevního postupu má vliv hlavně klima a půdní typ v daném regionu. Například v Champagne a v Picardii, kde jsou hluboké, úrodné půdy schopné zadržet velké množství vody, zařazují zemědělci do osevního postupu i brambory, hrách, fazole a vojtěšku, tedy vysoce mykorhizní plodiny a půda v těchto regionech vykazuje vysokou míru infekce mykorhizními houbami. Naopak v regionech se suchými léty a mělkými půdami, kde není možné pěstovat pozdně sklízené plodiny (brambory, slunečnice, kukuřice, řepa cukrovka atd.) osevní postupy obsahují hlavně obiloviny a řepku olejku, které nejsou vhodné pro mykorhizní symbiózu a místní půda tedy nevykazuje aktivitu mykorhizních hub. Pěstování hořčice, které má zabránit úniku dusíku z půdy, zřejmě situaci ještě zhoršuje.

Volba vhodné plodiny v osevním postupu má zásadní vliv na přežití extraradikálního mycelia během nízkých zimních nebo vysokých letních teplot. Velkou roli hrají i vhodné meziplodiny, které umožňují rozvoj extraradikálního mycelia po pěstování nemykorhizních plodin jako je řepka olejná a fungují tedy jako developeři. V našich podmínkách je v tomto případě vhodné ponechat meziplodinu na poli přes zimu a zasít poté některou z jarních plodin (Goss et al. 2017). Na zachování extraradikálního mycelia mohou mít vliv i plevely, které se

mohou zejména v ekologickém zemědělství vyskytovat v porostech nemykorhizních plodin. I díky jejich přítomnosti mohou arbuskulární mykorhizní houby přežít období, kdy se na poli pěstuje některá z nemykorhizních plodin (Mäder et al. 2000; Goss et al. 2017). Důležitost vhodného osevního postupu potvrzují i Gavito & Miller (1998). Podle jejich zjištění byly kořeny kukuřice, která byla pěstována v druhém roce pokusu na poli po řepce olejné byly kolonizovány pomaleji než kořeny rostlin, které byly pěstovány opět po kukuřici nebo po vojtěšce. Podle Gavito & Miller (1998) měl dokonce osevní postup větší vliv než úroveň fosforu v půdě nebo způsob obdělávání půdy.

3.4.1.3 Hnojení a prostředky na ochranu rostlin

Mäder et al. (2000) ovšem zdůrazňují, že kromě osevního postupu má velký vliv i úroveň a druh vstupů do půdy, zejména hnojení a prostředky pro ochranu rostlin. Při svých dlouhodobých polních pokusech ve Švýcarsku se věnoval sledování vlivu hnojení na arbuskulární mykorhizní houby ve dvou ekologických – low-input – systémech¹⁵ a dvou konvenčních – high-input – systémech¹⁶, které plodiny pěstovaly ve stejném sedmiletém osevním cyklu, dodržovaly stejné schéma obdělávání půdy a lišily se pouze množstvím a způsobem hnojení a prostředků pro ochranu rostlin. Půdy, které byly součástí low-input systémů obsahovaly o 30 až 60 % víc kořenů kolonizovaných arbuskulárními mykorhizními houbami než půdy z high-input systému. Toto bylo patrné zejména u ozimé pšenice, směsky žito – vikev a jetelotravní směsi. Velký vliv mělo i používání fungicidů a herbicidů v konvenčních systémech. Při srovnatelném obsahu fosforu, ale při pravidelném používání chemických přípravků, byly kořeny rostlin v konvenčním systému viditelně méně kolonizovány arbuskulárními mykorhizními houbami než v ekologických systémech. Organická hnojiva měla také podstatně menší inhibiční vliv na mykorhizní houby než minerální hnojiva.

3.4.1.4 Úloha developerských rostlin

Výzkum týkající se toho, jaké funkce přesně plní jednotlivé druhy hub a jaké jsou vztahy mezi jednotlivými druhy rostlin a hub, je teprve v počátcích. Máme mnoho informací o tom, že jednotlivé druhy rostlin preferují určité skupiny hub a také o tom, že funkce těchto hub jsou ovlivněny jejich hostitelem. (Goss et al. 2017) Brígido et al. (2017) se ve svém výzkumu zabýval odlišnostmi ve složení hub u dvou druhů z čeledi *Fabaceae* – ptačí noha smáčknutá (*Ornithopus compressus* L.) a jetel podzemní (*Trifolium subterraneum* L.) a dvou druhů z čeledi *Poaceae* – jílku tuhý (*Lolium rigidum* L.) a pšenice setá (*Triticum aestivum* L.). Rostliny rostly v narušované nebo nenarušované nesterilní půdě. Pokud rostliny rostly v narušované půdě a hlavním zdrojem propagulí byly spóry a zlomky kořenů, byly druhy hub vyskytující se u těchto

¹⁵ Systém organický a biodynamický.

¹⁶ S využitím kravského hnoje a s minerálními hnojivy. Oba systémy zároveň dodržovaly zásady integrované ochrany rostlin podle švýcarských nařízení.

dvou čeledí odlišné, ale v rámci jedné čeledi byly stejné v souladu se známými preferenčními asociacemi hub a rostlin. Pokud ovšem byla vyseta pšenice do nenarušené půdy bezprostředně po ptačí noze, vyskytovaly se u ní obdobné houby jako u ptačí nohy a byly odlišné od hub vyskytujících se u pšenice rostoucí v narušené půdě. Obdobné výsledky byly dosaženy i u dvojice jetel podzemní – jilek tuhý. Je tedy zřejmé, že v případě bezorebného způsobu hospodaření by bylo možné využít jako předplodiny i rostliny z čeledí odlišných od hlavní plodiny pro rozvoj funkční komunity mykorhizních hub, ze které by mohly prosperovat hlavní plodiny.

V případě mykorhizní symbiózy ovšem může i negativní zpětná vazba, kdy růst rostliny vždy lépe podporují houby, které původně pocházejí od úplně jiného druhu rostliny než houby, které jsou danému druhu vlastní, přičemž houby danému druhu vlastní časem degradují. Vyskytují se ovšem i případy vazby pozitivní a developer by měl být vybrán s ohledem na tyto skutečnosti (Bever 2002).

V případě, že se na stanovišti vyskytují problémy typu velmi omezené množství fosforu, zasolení nebo těžké kovy, měla by být developerská rostlina vybrána z okruhu v místě obvyklé vegetace, protože se předpokládá, že je zvyklá v těchto podmínkách růst a její vlastní spektrum hub je na tyto podmínky adaptováno. Developer také nesmí být nositelem patogenu, který by mohl ohrozit hlavní plodinu. Proto bude musí výběru developerů vždy předcházet důkladný screening (Goss 2017).

3.4.1.5 Shrnutí

Tabulka č. 3: Strategie, mechanismy a přínosy – efektivní management arbuskulární mykorhizy v zemědělských systémech – shrnutí (Goss et al. 2017):

Strategie		Využívaný mechanismus	Přínos
Polní systém podporující diversitu a hojnost AM hub	Osevní postupy Meziplodiny Racionální využívání vstupů	Ekologické niky Preferenční asociace mezi AM houbami a hostitelskými rostlinami Redukované využívání živin a pesticidů	Biodiverzita a hojnost populace AM hub
Kompatibilní systém obdělávání půdy	No-till Pásková orba Hrůbkování Další minimalizační technologie	Zachování integrity extraradikálního mycelia	Dřívější kolonizace kořenů hlavní rostliny plynoucí z funkční diverzity AM hub spojených s původním developerem
Využívání developerů	Osevní postupy Krycí plodiny Plevely	Preferenční asociace mezi AM houbami a	Řízení biodiverzity AM hub

extraradikálního mycelia		určitým druhem hostitelské rostliny	
Ochrana plodin	Pěstování plodin v minimálně narušené půdě	Kolonizace kořenů plodin z nenarušeného extraradikálního mycelia. Funkční diverzita souboru AM hub. Pozitivní a negativní zpětné mechanismy.	Zvýšená ochrana proti biotickým i abiotickým stresům. Přísun živin. Přínos AM hub k udržitelné intenzifikaci.

3.5 Další využití pozitivních vlastností arbuskulárních mykorhizních hub v ekologickém zemědělství

3.5.1 Mykorhiza v trvalých porostech

Přínos arbuskulárních mykorhizních hub lze dobře využít v trvalých porostech kulturních rostlin. Podstatné je dodržování postupů, které jsou uvedené v kapitole 3.4.1.1. Vhodné způsoby obdělávání půdy.

Ze zemědělských plodin je významnou vytrvalou rostlinou chmel otáčivý (*Humulus lupulus* L.). Chmel se u nás nejčastěji pěstuje v konvenčním zemědělství jako monokultura s tzv. černým úhorem v meziřadí. Obvyklé je využívání herbicidů. Tento způsob pěstování nepodporuje druhovou biodiverzitu a chmel obvykle ani nemůže prosperovat z přítomnosti arbuskulárních mykorhizních hub. Jako vhodnější se proto jeví pěstování podplodin v meziřadí, které umožňují nerušený rozvoj mycelií v půdě a podporují rozvoj biodiverzity. Mezi vhodné podplodiny z tohoto hlediska patří rostliny z čeledi miříkovitých, hvězdicovitých a bobovitých. (Holý et al. 2013). Problematikou přínosu a negativ pěstování podplodin v meziřadí chmele se široce zabývá Vejražka et al. (2017). Upozorňuje na to, že pro maximální užitek je vhodné podplodiny u chmele volit i podle výšky konstrukce, na které se chmel pěstuje, protože u vysokých konstrukcí mají podplodiny obvykle nedostatek slunečního světla. U nízkých konstrukcí doporučují jednoleté druhy a druhově bohatší víceleté směsi s delší vytrvalostí na stanovišti, u vysokých konstrukcí potom jednoleté druhy a jednodušší víceleté směsi s kratší vytrvalostí. Podle hustoty porostu chmele potom doporučují volit druhy s odlišnou tolerancí vůči zastínění. Pro regulaci porostů podplodin Vejražka et al. doporučuje využít mulčování, které je provedeno po vysemenění některých druhů (mrkev, kmín). Bohužel vzhledem k výskytu některých chorob je pěstování chmele v systému ekologického zemědělství problematické a jeho plochy u nás dlouhodobě stagnují na pouhých 11 hektarech (Ministerstvo zemědělství 2018).

Arbuskulární mykorhizní houby mají velký význam i v ovocných sadech. Van Geel et al. (2015) se zabýval výskytem AM hub ve 24 jablonoých sadech ve střední Belgii. Ve své práci

prokázal, že na výskyt hub mají vliv především vlastnosti půdy a systém hospodaření. Nejvyšší výskyt hub zaznamenali v ekologicky obhospodařovaných sadech, kde nebyla půda hnojena hnojivem s vysokým obsahem dusíku a fosforu. Gąstoń & Domagała-Świątkiewicz (2015) při svém pokusu s pěstováním jablek odrůdy Topas v období konverze na ekologické zemědělství sledovali vliv mykorhizních inokulantů a dalších biohnojiv na růst stromů, velikost sklizně, výživový stav a další parametry. Stromy, které byly inokulovány tekutým mykorhizním prostředkem MicoPlant S¹⁷ dosahovaly největších výnosů ovoce i největší váhy jednotlivých plodů. Ostatní mykorhizní prostředky na sklizeň neměly vliv. Gąstoń & Domagała-Świątkiewicz (2015) to přisuzují tomu, že prostředek MicoPlant S obsahoval kromě inokul hub také bakterie, což vyvolalo synergický efekt, který ve své práci potvrzují například i Singh et al. (2013).

3.5.2 Mykorhiza v produkci aromatických rostlin

Copetta et al. (2006) sledoval vliv několika druhů arbuskulárních mykorhizních hub na různé parametry u bazalky odrůdy Genovese (*Ocimum basilicum* L.), která je významným italským produkčním artiklem. Rostliny, které byly inokulovány arbuskulárními mykorhizními houbami vykazovaly lepší růst v porovnání s kontrolní skupinou. Houby měly také pozitivní vliv na obsah esenciálních olejů, přičemž největší efekt byl zaznamenán u rostlin, které byly inokulovány houbou *Gigaspora rosea*. Tyto rostliny kromě vysokého obsahu esenciálních olejů také vykazovaly výrazně větší podíl biomasy, větvení a délku kořenů. Zvýšený podíl esenciálních olejů souvisel také s výrazně vysokým počtem glandulárních trichomů¹⁸ na bazální a centrální části listů. Copetta et al. (2006) také zaznamenali, že různé druhy hub měly vliv na rozdílné složení esenciálních olejů v rostlinách.

Khaosaad et al. (2006) se věnovali výzkumu vlivu arbuskulárních mykorhizních hub na kvalitativní a kvantitativní parametry esenciálních olejů u tří genotypů dobromysli (*Origanum vulgare* L.). U dvou genotypů měly arbuskulární mykorhizní houby pozitivní vliv na množství biomasy. Na složení olejů houby vliv neměly, ale u dvou genotypů byl prokázán jejich výrazně vyšší obsah. Tento efekt ovšem nebyl zaznamenán u rostlin, které rostly v substrátu s vysokým obsahem fosforu. Khaosaad et al. (2006) tedy pozitivní vliv na obsah éterických olejů přisuzují výhradně arbuskulárním mykorhizním houbám. Podotýkají ovšem, že podstatný vliv má také genotyp dané rostliny.

K obdobným závěrům, tedy že arbuskulární mykorhizní houby mají pozitivní vliv na aromatické rostliny dospěli i Karagiannidis et al. (2011). Zjistili, že dobromysl a máta (*Mentha × piperita* sp.), které byly kolonizovány arbuskulárními mykorhizními houbami mají vyšší obsah esenciálních olejů a makro – a mikroprvků, a vyšší váhu biomasy než rostliny bez hub. Zjistili navíc, že složení olejů u těchto dvou skupin se liší. Heydarizadeh et al. (2013), kteří se věnovali

¹⁷ MicoPlant S – roztok, 1500 AMF propagulí g⁻¹ (*Glomus intraradices*, *G. mossae*, *G. agregatum*, *G. etunicatum*, *G. deserticola*, *G. monosporus*, *G. brasilianum*, *Gigaspora margarita*, *Rhizopogon* sp., *Scleroderma* sp., *Suillus* sp., *Laccaria* sp., a také bakterie *Bacillus* sp. a *Azotobacter* sp., 8 g⁻¹, rostliny byly zalaty inokulantem po výsadbě).

¹⁸ V glandulárních trichomech dochází k syntéze esenciálních olejů.

studiu různých druhů máty potvrzují, že tato rostlina má velmi dobrou schopnost mykorhizní symbiózy, nicméně obsah esenciálních olejů byl v jejich případě ovlivněn klimatickou polohou, kdy rostliny z chladnějších oblastí měly větší obsah esenciálních olejů a vliv měl také druh máty.

Tarraf et al. (2017) zjistili, že arbuskulární mykorhizní houby mají u šalvěje lékařské (*Salvia officinalis* L.) pozitivní vliv na obsah fosforu i na růst rostlin. Arbuskulární mykorhizní houby měly v případě jejich pokusu sice malý vliv na množství esenciálních olejů, ale opět silně ovlivnily jejich složení.

Závěr

Z výše uvedených skutečností vyplynulo, že symbiotické soužití s arbuskulárními mykorhizními houbami může přinášet rostlinám pěstovaným v systému ekologického zemědělství mnoho výhod. Mezi ně patří například větší tolerance k suchu a k těžkým kovům v půdě a zejména lepší dostupnost fosforu z půdy. Arbuskulární mykorhizní houby také pravděpodobně pomocí produkce glomalinu napomáhají ke zlepšení půdní struktury a vytvářejí důležitý životní prostor pro další půdní organismy. Jsou také významnou zásobárnou uhlíku. Díky všem těmto skutečnostem můžeme díky arbuskulárním mykorhizním houbám dosáhnout vyšších výnosů, případně lepších kvalitativních ukazatelů v ekologické zemědělské produkci.

Arbuskulární mykorhizní houby mohou být dodány do půdy ve formě komerčních inokulantů, tento způsob je ovšem ve větším měřítku nákladný a nabídka druhů hub v této formě je velmi omezená, proto bychom se měli soustředit na podporu přirozené mykorhizy, která umožňuje rostlinám růst v symbióze se širokou škálou hub, které jsou adaptované na místní podmínky. Přestože rostliny mohou být přirozeně kolonizovány ze spór nebo ze zlomků kořenů, je tím nejrychlejším a nejúčinnějším způsobem kolonizace pomocí neporušeného extraradikálního mycelia. Tento způsob poskytuje výhody plynoucí z mykorhizního soužití i velmi mladým rostlinám v citlivé fázi růstu.

Pro podporu přirozené mykorhizy v běžné zemědělské praxi je nutné dodržovat několik zásad. Tou první je citlivý přístup k obdělávání půdy, který minimálně narušuje extraradikální mycelia. Vhodný je přechod na bezorebné technologie zpracování půdy, případně hrůbkování nebo páskovou orbu. Pro regulaci plevelů je potom vhodné využít osevní postupy se zapojením podplodin a meziplodin, které vedou k regulaci plevelů a zároveň mohou zajistit přežití hub, pokud je hlavní plodinou druh, který nepodporuje mykorhizní symbiózu. Důležité jsou v tomto případě také mechanické zásahy jako například mulčování. Pěstování podplodin místo černého úhoru je velice vhodné pro podporu mykorhizních hub i v trvalých kulturách, například u chmele. Konkrétní složení vhodných podsevů a nové osevní postupy, které zohledňují mykorhizní symbiózu, bude nutné ještě dále zkoumat a testovat.

Další zásadou, která podporuje mykorhizní symbiózu, je rozumné využívání vstupů do půdy. Velmi prospěšné je organické hnojení. Arbuskulární mykorhizní houby ve většině případů dobře reagují na přísadku kompostu, biouhlu i hnoje a umožňují rostlinám efektivně využít dodané živiny. Přesto bude potřeba ještě další výzkum, který například objasní přesný vztah biouhlu a mykorhizy i úlohu biouhlu samotného nebo to, jaké dávky různých druhů kompostů, zejména ve vztahu k obsahu dusíku, jsou optimální pro výživu rostlin v symbióze s arbuskulárními mykorhizními houbami. Prozkoumán také musí být vztah mykorhizních hub a některých druhů bakterií a případné synergické efekty tohoto vztahu použitelné v cílené výživě rostlin.

Teprve v počátcích je výzkum týkající se přesného využití určitých druhů rostlin pro rozvoj extraradikálního mycelia, ze kterého by následná plodina profitovala při zvládnutí biotických i abiotických stresů, tedy tzv. developerů. Zatím není přesně zmapováno, mezi

kterými rostlinami fungují v oblasti mykorhizní symbiózy negativní nebo pozitivní zpětné vazby. Výběr developerské rostliny také komplikuje skutečnost, že by se mělo jednat o místní druh, který ve svých kořenech hostí lokální druhy hub a zároveň tato rostlina nesmí být přenašečem patogenů.

I přes značný pokrok, který byl zejména v posledních letech zaznamenán v oblasti výzkumu symbiotického soužití rostlin s arbuskulárními mykorhizními houbami, existuje ještě mnoho oblastí, které bude nutné prozkoumat, abychom z této symbiózy mohli při pěstování rostlin v maximální míře profitovat. Další poznatky by měly přispět k efektivnějšímu využívání vstupů v ekologickém zemědělství. Mohou také napomoci k plnému pochopení dějů a vztahů v půdě. Tyto poznatky bude možné využít k cílenější péči o půdu a zachování a zlepšování jejích vlastností. Arbuskulární mykorhizní houby by tak mohly být jedním z prostředků, pomocí kterých budeme moci produkovat dostatek kvalitních potravin bez zbytečné zátěže životního prostředí.

4 Literatura

- Al-Karaki G, McMichael B, Zak J. 2004. Field response of wheat to arbuscular mycorrhizal fungi and drought stress. *Mycorrhiza* **14**:263-269. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00572-003-0265-2>.
- Anderson RL. 2015. Integrating a complex rotation with no-till improves weed management in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **35**:967-974. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s13593-015-0292-3>.
- Bainard LD, Dai M, Gomez EF, Torres-Arias Y, Bainard JD, Sheng M, Eilers W, Hamel C. 2015. Arbuscular mycorrhizal fungal communities are influenced by agricultural land use and not soil type among the Chernozem great groups of the Canadian Prairies. *Plant and Soil* **387**:351-362. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s11104-014-2288-1>.
- Berruti A, Lumini E, Balestrini R, Bianciotto V. 2016. Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Natural Biofertilizers: Let's Benefit from Past Successes. *Frontiers in Microbiology* **6**:1-13. Available at <http://journal.frontiersin.org/Article/10.3389/fmicb.2015.01559/abstract>.
- Bever JD. 2002. Negative feedback within a mutualism: host-specific growth of mycorrhizal fungi reduces plant benefit. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* **269**:2595-2601. Available at <http://www.royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rspb.2002.2162>.
- Brechelt A. 1990. Effect of different organic manures on the efficiency of VA mycorrhiza. *Agriculture, Ecosystems & Environment* **29**:55-58. Available at <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/016788099090254B> (accessed March 25, 2019).
- Brígido C, van Tuinen D, Brito I, Alho L, Goss MJ, Carvalho M. 2017. Management of the biological diversity of AM fungi by combination of host plant succession and integrity of extraradical mycelium. *Soil Biology and Biochemistry* **112**:237-247. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071717305011>.
- Brito I, Carvalho M, Goss MJ. 2013. Soil and weed management for enhancing arbuscular mycorrhiza colonization of wheat. *Soil Use and Management* **29**:540-546. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/sum.12069>.
- Brito I, De Carvalho M, Goss MJ. 2011. Summer survival of arbuscular mycorrhiza extraradical mycelium and the potential for its management through tillage options in Mediterranean cropping systems. *Soil Use and Management*:no-no. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1475-2743.2011.00350.x>.
- Brito I, Carvalho M, Alho L, Goss MJ. 2014. Managing arbuscular mycorrhizal fungi for bioprotection: Mn toxicity. *Soil Biology and Biochemistry* **68**:78-84. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071713003192>.

Botanický ústav. 2016. Botanický ústav AV ČR, Průhonice. Available at <http://www.ibot.cas.cz/mykosym/am.html> (accessed March 25, 2019).

Brundrett M. 2008. Nonmycorrhizal Flowering Plant Families. 2008. Brundrett MC. Available at mycorrhizas.info (accessed March 25, 2019).

Cavagnaro TR. Biologically Regulated Nutrient Supply Systems. 293-321 in *Advances in Agronomy*. Elsevier, Amsterdam. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0065211314000066>.

Cavender ND, Atiyeh RM, Knee M. 2003. Vermicompost stimulates mycorrhizal colonization of roots of *Sorghum bicolor* at the expense of plant growth. *Pedobiologia* **47**:85-89. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0031405604701821>.

Copetta A, Bardi L, Bertolone E, Berta G. 2011. Fruit production and quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.) are affected by green compost and arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology* **145**:106-115. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/11263504.2010.539781>.

Copetta A, Lingua G, Berta G. 2006. Effects of three AM fungi on growth, distribution of glandular hairs, and essential oil production in *Ocimum basilicum* L. var. Genovese. *Mycorrhiza* **16**:485-494. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00572-006-0065-6>.

Čapounová K, Samsonová P. 2019. Vyšlo v Zemědělci: Uživí ekologické zemědělství svět?: Uživí ekologické zemědělství svět?. ČTPEZ - Česká technologická platforma pro ekologické zemědělství, Olomouc. Available at <https://www.ctpez.cz/cz/clanky/vyslo-v-zemedelci-uzivi-ekologicke-zemedelstvi-svet> (accessed March 25, 2019).

FAO. 2013. *FAO Statistical Yearbook*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. Available at <http://www.fao.org/docrep/018/i3107e/i3107e.PDF> (accessed March 25, 2019).

Foley JA, Ramankutty N, Brauman K. Solutions for a cultivated planet:337-342. Foley JA et al. 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* **478**:337-342. Available at <http://www.nature.com/articles/nature10452>.

Fytovita. 2019. Gliorex. FYTOVITA spol. s r.o., Ostrožská Lhota. Available at <https://fytovita.cz/gliorex.html> (accessed March 27, 2019).

Fytovita. 2019. Clonoplus. FYTOVITA spol. s r.o., Ostrožská Lhota. Available at <https://fytovita.cz/clonoplus.htm> (accessed March 27, 2019).

Fytovita. 2019. Polymix. FYTOVITA spol. s r.o., Ostrožská Lhota. Available at <https://fytovita.cz/polymix.htm> (accessed March 27, 2019).

Gąstoł M, Domagała-Świątkiewicz I. 2015. Mycorrhizal inoculation of apple in replant soils – Enhanced tree growth and mineral nutrient status. *Acta scientiarum Polonorum* **14**:17-37. Available at www.acta.media.pl (accessed March 25, 2019).

Gavito ME, Miller MH. 1998. Changes in mycorrhiza development in maize induced by crop management practices. *Plant and Soil* **198**:185-192. Available at <http://link.springer.com/10.1023/A:1004314406653>.

Geurts R, Vleeshouwers V GAA. 2012. Mycorrhizal Symbiosis: Ancient Signalling Mechanisms Co-opted. *Current Biology* **22**:R997-R999. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960982212012067>.

Goss MJ, Carvalho M, Brito I. 2017. Functional diversity of mycorrhiza and sustainable agriculture: management to overcome biotic and abiotic stresses. Elsevier/Academic Press, London, United Kingdom.

Grandy AS, Robertson GP, Thelen KD. 2006. Do Productivity and Environmental Trade-offs Justify Periodically Cultivating No-till Cropping Systems?. *Agronomy Journal* **98**. Available at <https://www.agronomy.org/publications/aj/abstracts/98/6/1377>.

Hammer EC, Balogh-Brunstad Z, Jakobsen I, Olsson PA, Stipp SLS, Rillig MC. 2014. A mycorrhizal fungus grows on biochar and captures phosphorus from its surfaces. *Soil Biology and Biochemistry* **77**:252-260. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071714002211>.

Heydarizadeh P, Zahedi M, Sabzalian MR, Ataii E. 2013. Mycorrhizal infection, essential oil content and morpho-phenological characteristics variability in three mint species. *Scientia Horticulturae* **153**:136-142. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304423813000307>.

Holý K, Štranc P, Štranc D, Štranc J. 2013. Integrovaná produkce chmele. *Zemědělec*. Available at <https://zemedelec.cz/integrovana-produkce-chmele/>.

Honsová H, Capouchová I, Chaloupský R, Konvalina P, Stehno Z. 2013. Ověření biologického moření při ekologickém pěstování jarní pšenice a jarního ječmene. 27-32 in *Výzkum a zkušenosti – pěstování rostlin v ekologickém zemědělství*. ČZU, Praha.

Hunter MC, Smith RG, Schipanski ME, Atwood LW, Mortensen DA. 2017. Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience* **67**:386-391. Available at <https://academic.oup.com/bioscience/article/67/4/386/3016049> (accessed March 25, 2019).

IFOAM. 2018. Statement on the study 'Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change'. IFOAM Organics International, Bonn. Available at <https://www.ifoam.bio/en/news/2018/12/19/statement-study-assessing-efficiency-changes-land-use-mitigating-climate-change> (accessed March 25, 2019).

- Jansa J, Bukovská P, Gryndler M. 2013. Mycorrhizal hyphae as ecological niche for highly specialized hypersymbionts – or just soil free-riders?. *Frontiers in Plant Science* **4**. Available at <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpls.2013.00134/abstract>.
- Jansa J, Erb A, Oberholzer H-R, Šmilauer P, Egli S. 2014. Soil and geography are more important determinants of indigenous arbuscular mycorrhizal communities than management practices in Swiss agricultural soils. *Molecular Ecology* **23**:2118-2135. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/mec.12706>.
- Kanwal S, Bano A, Malik RN. 2015. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on wheat growth, physiology, nutrition and cadmium uptake under increasing cadmium stress.. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)* **7**:30-42. Available at <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.735.5649&rep=rep1&type=pdf>.
- Karagiannidis N, Thomidis T, Lazari D, Panou-Filotheou E, Karagiannidou C. 2011. Effect of three Greek arbuscular mycorrhizal fungi in improving the growth, nutrient concentration, and production of essential oils of oregano and mint plants. *Scientia Horticulturae* **129**:329-334. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030442381100166X>.
- Khaosaad T, Vierheilig H, Nell M, Zitterl-Eglseer K, Novak J. 2006. Arbuscular mycorrhiza alter the concentration of essential oils in oregano (*Origanum* sp., Lamiaceae). *Mycorrhiza* **16**:443-446. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00572-006-0062-9>.
- Konvalina P, Moudrý J. 2008. Pěstování pšenice seté v ekologickém zemědělství: metodika pro praxi. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice.
- Konvalinková T. 2017. Symbióza, kam se podíváš. O arbuskulárně mykorhizních houbách a soužití s rostlinami. *Živa: časopis pro popularizaci biologie* **65**:233-236. Academia, Praha.
- LeCroy C, Masiello CA, Rudgers JA, Hockaday WC, Silberg JJ. 2013. Nitrogen, biochar, and mycorrhizae: Alteration of the symbiosis and oxidation of the char surface. *Soil Biology and Biochemistry* **58**:248-254. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071712004671>.
- Lohman M, Ziegler-Ulsh Ch and Douds D. 2010. How to inoculate arbuscular mycorrhizal fungi on the farm: Part 1. Kutztown. Available at <https://rodaleinstitute.org/science/articles/how-to-innoculate-arbuscular-mycorrhizal-fungi-on-the-farm-part-1/> (accessed March 25, 2019).
- Lohman M, Ziegler-Ulsh Ch and Douds D. 2010. How to inoculate arbuscular mycorrhizal fungi on the farm: Part 2. Kutztown. Available at <https://rodaleinstitute.org/science/articles/how-to-innoculate-arbuscular-mycorrhizal-fungi-on-the-farm-part-1/> (accessed March 25, 2019).
- Luginbuehl LH, Menard GN, Kurup S, Van Erp H, Radhakrishnan GV, Breakspear A, Oldroyd GED, Eastmond PJ. 2017. Fatty acids in arbuscular mycorrhizal fungi are synthesized by the

host plant. *Science* **356**:1175-1178. Available at <http://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.aan0081>.

Mäder P. 2002. Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming. *Science* **296**:1694-1697. Available at <http://www.sciencemag.org/cgi/doi/10.1126/science.1071148>.

Mäder P, Edenhofer S, Boller T, Wiemken A, Niggli U. 2000. Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility of Soils* **31**:150-156. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s003740050638>.

Ministerstvo zemědělství. 2018. Ročenka/Yearbook 2017: Ekologické zemědělství v České republice Organic Farming in the Czech Republic. 2018. Ministerstvo zemědělství, Olomouc. Available at https://aa.ecn.cz/img_upload/8d8825f1d3b154e160e6e5c97cf9b8b3/rocenka_ez_2017.pdf?fbclid=IwAR36WwUCWER6O6g-3bmyblxkzW99mpFFzbBtNwhWJTBql-AL7fUc3iCyxCE (accessed March 25, 2019).

Oehl F, Laczko E, Bogenrieder A, Stahr K, Bösch R, van der Heijden M, Sieverding E. 2010. Soil type and land use intensity determine the composition of arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Soil Biology and Biochemistry* **42**:724-738. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0038071710000234>.

Oehl F, Sieverding E, Mäder P, Dubois D, Ineichen K, Boller T, Wiemken A. 2004. Impact of long-term conventional and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Oecologia* **138**:574-583. Available at <http://link.springer.com/10.1007/s00442-003-1458-2>.

Ortaş İ, Bruckman VJ, Apaydin Varol E, Uzun BB, Liu J. 2016. The Role of Mycorrhizae and Biochar in Plant Growth and Soil Quality. 336-350 in *Biochar*. Cambridge University Press, Cambridge. Available at https://www.cambridge.org/core/product/identifier/9781316337974%23CN-bp-16/type/book_part.

Owen D, Williams AP, Griffith GW, Withers PJA. 2015. Use of commercial bio-inoculants to increase agricultural production through improved phosphorous acquisition. *Applied Soil Ecology* **86**:41-54. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139314002698>.

Plenchette C, Clermont-Dauphin C, Meynard JM, Fortin JA. 2005. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping systems. *Canadian Journal of Plant Science* **85**:31-40. Available at <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.4141/P03-159>.

PRO-BIO. 2018. Směrnice PRO-BIO Svazu ekologických zemědělců: Nadstandardní směrnice svazu PRO-BIO. Available at <https://pro-bio.cz/wp-content/uploads/2018/04/Sm%C4%9Brnice-2018.pdf> (accessed March 25, 2019).

- Rašelina. 2019. MYKORHIZNÍ HOUBY PRO PLODOVOU ZELENINU. Rašelina, Soběslav. Available at <http://www.raselina.cz/cs/produkty/ostatni/detail/mykorhizni-houby-pro-plodovou-zeleninu> (accessed March 27, 2019).
- Sanders I. 2013. Mycorrhizas. Prof. Ian R. Sanders, Lausanne. Available at <https://people.unil.ch/iansanders/mycorrhizas/> (accessed March 25, 2019).
- Searchinger TD, Wirsenius S, Beringer T, Dumas P. 2018. Assessing the efficiency of changes in land use for mitigating climate change. *Nature* **564**:249-253. Available at <http://www.nature.com/articles/s41586-018-0757-z>.
- Singh PK. 2012. Role of Glomalin Related Soil Protein Produced by Arbuscular Mycorrhizal Fungi: A Review. *Agricultural Science Research Journal* **2**:119-125. Available at <http://www.resjournals.com/ARJ>.
- Singh SR, Zargar MY, Najar GR, Peer FA, Ishaq M. 2013. Microbial Dynamics, Root Colonization, and Nutrient Availability as Influenced by Inoculation of Liquid Bioinoculants in Cultivars of Apple Seedlings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* **44**:1511-1523. Available at <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00103624.2012.760571>.
- Slavíková R. 2012. Jak se obchoduje v podzemí?. *Vesmír: přírodovědecký časopis* **91**:144-145. Vesmír, Praha.
- Symbiom. 2019. Symbivit. Symbiom, Lanškroun. Available at <https://www.symbiom.cz/cs/p-3-symbivit#prettyPhoto> (accessed March 27, 2019).
- Symbiom. 2019. Symbivit rajčata a papriky. Symbiom, Lanškroun. Available at <https://www.symbiom.cz/cs/p-1-symbivit-rajcata-a-papriky> (accessed March 27, 2019).
- Symbiom. 2019. Symbivit Bylinky. Symbiom, Lanškroun. Available at <https://www.symbiom.cz/cs/p-19-symbivit-bylinky> (accessed March 27, 2019).
- Tarraf W, Ruta C, Tagarelli A, De Cillis F, De Mastro G. 2017. Influence of arbuscular mycorrhizae on plant growth, essential oil production and phosphorus uptake of *Salvia officinalis* L. *Industrial Crops and Products* **102**:144-153. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S092666901730167X>.
- Tian H, Drijber RA, Niu XS, Zhang JL, Li XL. 2011. Spatio-temporal dynamics of an indigenous arbuscular mycorrhizal fungal community in an intensively managed maize agroecosystem in North China. *Applied Soil Ecology* **47**:141-152. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139311000047>.
- Transparency Market Research. 2014. Biofertilizers (Product - Nitrogen Fixing, Phosphate Mobilizing, Potassium Mobilizing; Application - Cereals & Grains, Fruits & Vegetables, and Oil seeds & Pulses) Market - Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2017 - 2025. Albany. Available at

<https://www.transparencymarketresearch.com/biofertilizers-market.html> (accessed March 25, 2019).

van Geel M, Ceustermans A, van Hemelrijck W, Lievens B, Honnay O. 2015. Decrease in diversity and changes in community composition of arbuscular mycorrhizal fungi in roots of apple trees with increasing orchard management intensity across a regional scale. *Molecular Ecology* **24**:941-952. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/mec.13079>.

Vejražka K, Holý K, Křivánek J, Vavera R, Procházka P, Kudrna T. 2017. Pěstování podplodin v meziřadí chmelnic: Metodika 42/17. Zemědělský výzkum, spol. s r. o, Troubsko. Available at https://c.vupt.cz/files/metodiky/Metodika_42_17_podplodiny.pdf.

Wang GM, Stribley DP, Tinker PB, Walker C. 1993. Effects of pH on arbuscular mycorrhiza I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. *New Phytologist* **124**:465-472. Available at <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-8137.1993.tb03837.x>.

Wang Q, Wang B, Lee X, Lehmann J, Gao B. 2018. Sorption and desorption of Pb(II) to biochar as affected by oxidation and pH. *Science of The Total Environment* **634**:188-194. Available at <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718309483>.

Yang W, Gu S, Xin Y, Bello A, Sun W, Xu X. 2018. Compost Addition Enhanced Hyphal Growth and Sporulation of Arbuscular Mycorrhizal Fungi without Affecting Their Community Composition in the Soil. *Frontiers in Microbiology* **9**. Available at <http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fmicb.2018.00169/full>.