

DISERTAČNÍ PRÁCE

**STUDIUM VLIVU ARBUSKULÁRNÍCH MYKORHIZNÍCH HUB
NA JAKOSTNÍ, HOSPODÁŘSKÉ A NUTRIČNÍ PARAMETRY
KULTURY PÓRU PRAVÉHO (*ALLIUM PORRUM* L.)**

Ing. Lucie Kučová

Studijní obor: Zahradnictví

Školitel: prof. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.

LEDNICE 2016

ZADÁNÍ DISERTAČNÍ PRÁCE

Zpracovatelka: **Ing. Lucie Kučová**
Studijní program: Zahradnické inženýrství
Obor: Zahradnictví
Název tématu: **Studium vlivu arbuskulárních mykorhizních hub na jakostní, hospodářské a nutriční parametry kultury póru pravého (*Allium porrum* L.)**
Rozsah práce: 90

Zásady pro vypracování:

1. Zpracovat přehled bakterií, mykorhizních hub využitelných při produkci zeleniny. Provést krytý experiment s kulturou póru s variantami mykorrhiza, bakterie; vyhodnotit vliv na jakostní a hospodářské parametry póru.

Datum zadání disertační práce: září 2012

Termín odevzdání disertační práce: září 2016



Ing. Lucie Kučová
Autorka práce



doc. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.
Vedoucí ústavu

L. S.



doc. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.
Vedoucí práce



doc. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.
Děkan ZF MENDELU

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že práci s názvem: **Studium vlivu arbuskulárních mykorhizních hub na jakostní, hospodářské a nutriční parametry kultury póru pravého (*Allium porrum* L.)** jsem vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Lednici dne 20. července 2016

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala všem, kteří mne po celou dobu studia podporovali. V první řadě svým rodičům, příteli a blízkým, kteří mi poskytli podmínky a prostor pro studium a psaní práce.

Dále bych chtěla poděkovat svému školiteli prof. Ing. Robertu Pokludovi, Ph.D, za kvalitní vedení a věcné připomínky při práci, Ing. Miloši Juricovi, Ph.D a dalším kolegům, za pomoc s technologickým zabezpečením experimentu, a firmě Symbiom s.r.o., která mi bezplatně poskytla veškerá houbová inokula pro disertační experiment.

V neposlední řadě patří mé díky Ing. Jaroslavu Záhorovi, CSc., z ústavu agrochemie, půdoznalství, mikrobiologie a výživy rostlin, Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně, za veškerou pomoc, vedení a konzultace po čas celého mého studia.

ABSTRAKT

Disertační práce se věnuje tématu využití arbuskulárních mykorhizních hub při produkci zeleniny. Ucelení poznatků a potvrzení vědeckých podkladů v praxi u jednotlivých zeleninových druhů je nezbytné. Z těchto důvodů se disertační práce věnuje celému procesu pěstování póru pravého (*Allium porrum* L.) a sleduje vliv arbuskulárních mykorhizních hub na morfologické, nutriční a výnosové parametry této plodiny.

Literární část přibližuje mykorhizní symbiózu jako celek, blíže popisuje arbuskulární mykorhizní symbiózu její základní funkci, využití a vliv na rostliny. V několika sekcích jsou zmíněny pohyby prvků z půdního prostředí ke kořenům rostlin s pomocí arbuskulárních mykorhizních hub, u kterých je uvedena současně platná nomenklatura.

Experimentální část práce se zaměřuje na pokus s několika druhy arbuskulárních mykorhizních hub a jejich kombinacemi. Hodnocení morfologie sadby póru a polně pěstovaných rostlin se zaměřilo na porovnání délky a hmotnosti rostlin. Při hodnocení nutričních vlastností polně pěstovaných rostlin se práce zaměřila především na hodnocení vitamínu C, celkovou antioxidační kapacitu, obsah celkového fosforu a dusíku v pletivech a obsah nežádoucích dusičnanů.

Na základě dosažených výsledků je možné konstatovat, že určité kombinace arbuskulárních mykorhizních hub pozitivně ovlivnily výšku předpěstované sadby póru, pozitivní trend byl potvrzen i u obsahu celkových antioxidantů. Kombinace hub *R. intraradices* a *C. claroideum* snížila množství těžkých kovů v rostlinných pletivech. Pozitivní trend inokulace byl potvrzen v roce 2014 při snížení obsahu dusičnanů v rostlinách.

Celkově lze konstatovat, že použití arbuskulárních mykorhizních hub při pěstování póru pravého (*Allium porrum* L.) může vést k pozitivnímu ovlivnění rostlin a výnosu, a to především v letech s extrémními povětrnostními podmínkami v rámci vegetačního období.

ABSTRACT

This dissertation deals with the use of arbuscular mycorrhizal fungi in vegetable production. The completion of knowledge and confirmation of scientific hypothesis in practise is necessary to be done for each vegetable species. For these reasons the dissertation establishes the entire growing process of the leek (*Allium porrum* L.). The experiment explores the influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the physiological, nutritional and yield parameters of the leek crop.

The literary review focuses on the mycorrhizal symbiosis as entire complex and shows an arbuscular mycorrhizal symbiosis, its basic function, usage and impact on plants. Several parts of literary review mention the transfer of elements from the soil to the roots of plants by arbuscular mycorrhizal fungi and currently valid nomenclature is also listed.

The experimental part is focused on a trial with several species of arbuscular mycorrhizal fungi and their combinations. The morphological evaluation of pre-cultivated leeks and also field grown plants was focused on the comparison of length and weight of the plants. Nutritional assessments are focused primarily on the vitamin C, total antioxidant capacity, content of nitrates, content of phosphorus and nitrogen in plant tissues.

In the pursuance to our results, it is possible to say, that certain variants of arbuscular mycorrhizal fungi had positive influence on the height of pre-cultivated leeks, and a positive trend was also confirmed during the evaluation of the content of antioxidants. The amount of heavy metals in plant tissues was reduced by combination of fungi *R. intraradices* and *C. claroideum*. The positive influence of inoculation was also observed at the reduction of nitrates in 2014.

Overall, we can say that using of arbuscular mycorrhizal fungi in the cultivation of leeks (*Allium porrum* L.) contribute to a positive effect on plants and yield, especially in the years with extreme weather conditions during growing season.

OBSAH

1. ÚVOD.....	10
2. CÍL PRÁCE.....	11
3. PRACOVNÍ HYPOTÉZA	12
4. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....	13
4.1. Mykorhizní symbióza	13
4.2. Arbuskulární mykorhizní symbióza.....	14
4.2.1. Základní principy fungování arbuskulární mykorhizní symbiózy	15
4.2.2. Vývojové fáze arbuskulární mykorhizní symbiózy	16
4.2.3. Morfologie arbuskulárních mykorhizních struktur	18
4.3. Nejvýznamnější skupiny mykorhizních hub, fylogenetické třídění	21
4.4. Pohyby prvků mezi houbou a rostlinou	25
4.4.1. Uhlík	25
4.4.2. Fosfor.....	27
4.4.3. Dusík.....	28
4.4.4. Ostatní prvky	29
4.5. Interakce mezi mykorhizními houbami a dalšími mikroorganismy	31
4.6. Využití AM hub v praxi.....	35
4.7. Vyhodnocování mykorhizní symbiózy	38
4.7.1. Mikroskopické metody pro detekci endomykorhizních symbióz	38
4.7.2. Barvení endomykorhizních symbióz	39
4.7.3. Molekulární metody pro detekci endomykorhizních symbióz	40
4.8. Aplikace a druhy mykorhizních inokul	41
5. MATERIÁL A METODIKA	42
5.1. Charakteristika prostředí.....	42
5.2. Technologické zabezpečení experimentu	43
5.2.1. Přípravky	43
5.2.2. Rostlinný materiál.....	45
5.2.3. Rozložení a agrotechnika experimentu.....	45
5.3. Hodnocení rostlin před výsadbou	47
5.3.1. Metody stanovení hospodářských vlastností	48
5.4. Hodnocení rostlin po sklizni	49
5.4.1. Metody stanovení nutričních hodnot	49
5.1. Použité statistické metody	54

6. VÝSLEDKY	55
6.1. Vliv mykorhizní symbiózy na sadbu póru pravého (<i>A. porrum</i> L.)	55
6.1.1. Kolonizace kořenů sadby póru	55
6.1.2. Výška nadzemní části sadby póru.....	57
6.1.3. Hmotnost sadby póru.....	59
6.2. Vliv mykorhizní inokulace na morfologii rostlin póru pravého (<i>A. porrum</i> L.)	60
6.2.1. Kolonizace kořenů rostlin.....	60
6.2.2. Výška nadzemní části rostlin	64
6.2.3. Hmotnost rostlin	65
6.2.4. Délka konzumní části rostlin	66
6.2.5. Hodnocení jakosti póru z polního pěstování.....	67
6.3. Vliv mykorhizní symbiózy na nutriční parametry póru pravého (<i>A. porrum</i> L.)	69
6.3.1. Sušina.....	70
6.3.2. Hrubá vláknina	71
6.3.1. Celkový dusík.....	72
6.3.2. Celkový fosfor	73
6.3.3. Celková antioxidační kapacita.....	74
6.3.4. Vitamin C	76
6.3.5. Těžké kovy (Zn, Cd, Pb, Cu).....	77
6.3.6. Obsah dusičnanů.....	80
6.4. Vliv mykorhizní inokulace na ekonomiku pěstování póru (<i>A. porrum</i> L.)	82
7. DISKUSE	85
7.1. Vliv mykorhizní inokulace na sadbu póru pravého (<i>A. porrum</i> L.)	85
7.2. Vliv mykorhizní inokulace na morfologii póru pravého (<i>A. porrum</i> L.).....	87
7.3. Vliv inokulace na nutriční parametry póru pravého (<i>A. porrum</i> L.).....	91
8. ZÁVĚR.....	99
9. SHRUTÍ.....	101
10. SUMMARY	102
11. BIBLIOGRAFIE	103
12. PŘÍLOHY	124
12.1.1. Seznam tabulek	124
12.1.2. Seznam obrázků a fotografií.....	125
12.1.3. Seznam grafů.....	125

1. ÚVOD

Zájem spotřebitelů o kvalitu produkce a způsoby jejího pěstování v současné době stále roste. Velká většina spotřebitelů, pokud má možnost, dává přednost plodinám z ekologické nebo integrované produkce. Tyto důvody nutí pěstitele využívat stále nové biologické přípravky při pěstování zeleniny, protože v konvenčních pěstebních systémech jsou základní živiny jako dusík a fosfor, přidávány do půdního profilu často ve formě průmyslových hnojiv. Tento způsob udržování dobré zásoby živin v půdě má negativní vliv nejen na půdní strukturu, obsah mikroorganismů, ale i na celkovou kvalitu půdního profilu. Avšak povědomí o různých možnostech využívání bioaditiv jsou stále nedostatečné. Proto je nutné testování různých bioaditiv přímo pro jednotlivé plodiny a získání přehledu o jejich účincích. Disertační práce, pro toto praktické vyhodnocení vlivu přidaných bioaditiv, byla zaměřena na arbuskulární mykorhizní houby.

Arbuskulární mykorhizní houby (AMH) a jimi vytvářená symbióza s rostlinami je známá již několik desetiletí. Tyto houby tvoří symbiózu s velkým počtem rostlinných druhů a můžeme je nalézt v mnoha ekosystémech. Jejich využití je v dnešní době poměrně běžné při kontejnerové produkci okrasných dřevin, dále v květinářství, například pro lepší zakořeňování rostlinných řízků nebo pro ovlivnění kompaktnosti některých balkónových rostlin atd. Jejich plošné využívání v polním pěstování není časté, protože výsledky jejich použití nejsou konstantní. Disertační experiment byl založen na běžně dostupných druzích arbuskulárních mykorhizních hub a měl za úkol porovnat jejich vliv nejen na morfologické a výnosové parametry, jak je to u množství současných studií, ale i na nutriční vlastnosti rostlin. Jako modelová rostlina byl vybrán pór pravý (*Allium porrum* L.) odrůda ‚Terminal‘.

2. CÍL PRÁCE

Cílem disertační práce bylo studium pozitivního vlivu arbuskulárních mykorhizních hub, především hub rodu *Glomus* při zakořeňování sadby a následném pěstování póru pravého (*Allium porrum* L.) v polních podmínkách.

Dále byla disertační práce zaměřena na sledování efektu arbuskulárních mykorhizních hub na jakostní, hospodářské a především nutričními parametry u póru pravého, jakož to vybrané modelové plodiny. Práce kladla důraz na možnosti využití mykorhizní symbiózy v polních podmínkách a její následnou introdukci do zahradnické praxe.

3. PRACOVNÍ HYPOTÉZA

Hlavní pracovní hypotézou disertační práce byl předpokládáný pozitivní vliv inokulace vybranými druhy arbuskulárních mykorhizních hub na samotný růst a vybrané morfologické, nutriční a hospodářské parametry póru pravého (*Allium porrum* L.).

Z této hypotézy vyplývá, že rostliny po inokulaci arbuskulárními mykorhizními houbami budou vykazovat vyšší výnos a mohou vykazovat zvýšení obsahu nutričních parametrů, jako je obsah vitamínu C, sušina, celková antioxidační kapacita, snížený obsah dusičnanů a těžkých kovů apod.

Experiment by měl upřesnit a doporučit vhodné varianty a způsob inokulace arbuskulárními mykorhizními houbami pro předpěstování zeleninové sadby a pěstování zeleniny v polních podmínkách.

4. LITERÁRNÍ REŠERŠE

4.1. MYKORHIZNÍ SYMBIÓZA

Mykorhizní symbióza je termín označující vztah mezi rostlinou a houbou. Mykorhizní symbióza je obvykle typem mutualistické symbiózy, což znamená, že oba organismy (rostlina i houba) mají ze vzájemné spolupráce určité výhody. Mykorhizní vztahy mezi houbami a rostlinami jsou v přírodě běžné. Houba pomáhá rostlině absorbovat anorganický fosfor a dusík z půdy, na druhou stranu jsou rostliny schopny houbám dodávat organické látky (Baum et al. 2015; Varma a Kharkwal 2009; Bartha 1984; Mosse et al. 1973). Existuje jen velmi malé procento rostlinných druhů, které netvoří některý z typů mykorhizních symbióz (Smith a Read 2008). Mezi tyto druhy patří rostliny čeledí *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae*, *Proteaceae* a *Cyperaceae*. Některé studie rovněž prokázaly negativní vliv kořenových exudátů, které tyto rostliny uvolňují do půdy, na růst a tvorbu hyf arbuskulárních mykorhizních hub (AMH). Exudáty těchto rostlin mohou zpomalit tvorbu mykorhiz i u následně pěstovaných hostitelských rostlin (Baum et al. 2015; Bartha 1984).

Rozeznáváme dvě základní skupiny mykorhizních symbióz, endomykorhizní a ektomykorhizní skupinu a na jednu skupinu přechodnou, ektendomykorhizní symbiózu (Smith 2009; Smith a Read 1997; Gryndler et al. 2004; Bartha 1984).

Endomykorhizní symbiózy se vyznačují tím, že hyfy hub vstupují do intracelulárního prostoru buněk kořene rostlin. Skupina endomykorhizních symbióz se dále dělí na **arbuskulární mykorhizní symbiózu**, **erikoidní mykorhizní symbiózu** a **orchideoidní mykorhizní symbiózu**. Každá z těchto symbióz má svá specifika a vyskytuje se u odlišných skupin rostlin. Erikoidní mykorhizní symbióza byla prokázána u čeledí *Ericoideae*, *Cassipoideae*, *Vaccinioideae* a *Styphelioideae* všechny tyto čeledi náleží do řádu *Ericales* (Smith a Read 2008; Gryndler et al. 2004).

Ektomykorhizní symbiózy se od endomykorhizních symbióz odlišují tím, že hyfy hub nepronikají přes buněčnou stěnu do vnitřního prostoru buněk kořene, na povrchu kolonizovaného kořene tvoří Hartigovu síť a množství hyf tzv. hyfový plášť (Gryndler et al. 2004).

Na orchideoidní mykorhizní symbióze jsou závislé v rané fázi vývoje všechny rostliny čeledi *Orchidaceae*. Mykorhizní houba poskytuje orchidejím organické látky a další živiny pro jejich raný vývoj. Velká většina z těchto druhů se s dalšími fázemi vývoje stane fotosynteticky aktivní a spolupráci s mykorhizní houbou úplně zastaví nebo ji omezí (Bartha 1984). Avšak asi 250 druhů rostlin z této čeledi je obligátně mykoheterotrofních. To znamená, že nemají žádnou nebo velmi omezenou schopnost fotosyntézy a jsou nuceni v symbióze setrvávat po celou dobu svého životního cyklu (Bougoure et al. 2009; Leake 1994).

Přechodný ektendomykorhizní typ mykorhizní symbiózy se vyskytuje u některých dřevin, jako jsou *Larix*, *Pinus*, *Shorea parvifolia* a další (Yu et al. 2001). Společně s **arbutoidní mykorhizní symbiózou** a **monotropoidní mykorhizní symbiózou** jsou typem přechodu mezi endo a ektomykorhizními symbiózami (Smith 2009; Gryndler et al. 2004).

4.2. ARBUSKULÁRNÍ MYKORHIZNÍ SYMBIÓZA

Arbuskulární mykorhizní (AM) symbióza je jedním z typů endomykorhizních symbióz. Jedná se typicky o mutualistickou symbiózu, pro houbu i rostlinu prospěšnou (Gryndler et al. 2004). V přírodě je nejrozšířenější a vývojově nejstarším, nejméně specifickým typem mykorhizní symbiózy. Existuje jen několik rostlinných čeledí, které AM symbiózu netvoří. U některých z těchto rostlinných druhů byly pozorovány AM struktury na kořenech, ale jejich tvorba a vliv na rostlinu nebyla důkladně prozkoumána. Mezi rostlinné čeledi, které netvoří AM symbiózu, náleží čeledi *Chenopodiaceae*, *Brassicaceae*, *Caryophyllaceae*, *Polygonaceae*, *Juncaceae* a *Proteaceae* (Bartha 1984). Název arbuskulární je odvozen od charakteristických struktur vytvářených při kolonizaci kořenů - **arbuskul**. AM symbióza byla popsána Nägelim již před rokem 1842 u kosatců (*Iris*), ale hlubších poznatků dosáhla věda v tomto oboru až okolo roku 1950, díky studiím Barbary Mosse (Koide a Mosse 2004). Díky těmto výzkumům byl zjištěn významný ekologický vliv arbuskulární mykorhizní symbiózy na rostliny (Smith a Read 2008; Gryndler et al. 2004).

4.2.1. Základní principy fungování arbuskulární mykorhizní symbiózy

Arbuskulární mykorhizní houby (AMH) jsou obligátní biotrofové. Obligátně biotrofní způsob výživy znamená, že AM houby jsou schopny získávat organické a anorganické látky výhradně z kořenů hostitelských rostlin. Oproti tomuto způsobu výživy poskytují i AM houby rostlinám výhody, a to hned několika způsoby lepšího příjmu různých minerálních prvků. Obecně jsou tyto výhody umožněny díky kolonizaci kořenů AM houbou a následnému vytvoření sítě mimokořenového mycelia v půdě (Mosse et al. 1973).

Kolonizace kořenů rostlin AM houbami může být iniciována třemi základními zdroji infekčních částic AM hub v půdě. Jedná se o spory, infikované fragmenty kořenů rostlin a hyfy AM hub. Spory AM hub mohou iniciovat rozvoj AM symbiózy v půdě po dlouhou dobu od inokulace substrátu. Spory mohou být distribuovány vodou, větrem nebo pomocí zvířat (Gemma et al. 1989; Bartha 1984).

Nezbytným předpokladem pozitivního ovlivnění rostlin je mimokořenové mycelium, které AM houby vytvářejí. Mimokořenové mycelium AM hub zvětšuje objem půdy, kde může prostřednictvím AM houby hostitelská rostlina pro svou potřebu čerpat živiny. Rozvoj mycelia je podmíněn teplotou, nejvyšší nárůst mycelia pozorujeme v rozmezí od 20 °C do 30 °C (Barrett et al. 2014; Matsubara a Harada 1996; Zhang 1995).

AM houba jako symbiont využívá jako zdroj své výživy organický uhlík z autotrofně se vyživujících hostitelských rostlin (Jakobsen a Rosendahl 1990), na oplátku poskytuje hostitelské rostlině některé velmi důležité minerální látky z půdy, především fosfor, který je v půdě málo pohyblivý (Ning a Cumming 2001), a také minerální dusík (Bago et al. 1996).

Ošetření rostlin AM houbami však neovlivňuje pouze příjem fosforu a dusíku, inokulace rostlin má vliv i na příjem dalších minerálních živin, které bývají rostlinám z půdy hůře přístupné (Ca, Mg, K a Na) (Hart a Forsythe 2012; Gryndler et al. 2004). Problematika transportu živin z půdního prostředí přes extraradikální mycelium do kořenů rostlin a zpět do půdy je blíže popsána v kapitole 4.4.

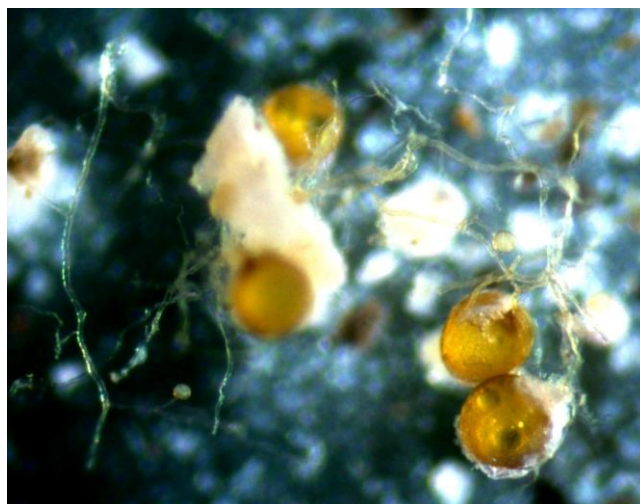
4.2.2. Vývojové fáze arbuskulární mykorhizní symbiózy

Arbuskulární mykorhizní symbióza je obvykle iniciována klíčením spor AM hub, pro které je velmi důležitá teplota, vlhkost a pH substrátu. Některé AM houby potřebují pro své klíčení klidové (dormantní) období, většinou za snížené teploty 2 – 5 °C, aby následně při zvýšení teplot mohly vyklíčit (Juge et al. 2002).

Dormance spor byla studována již od 60. let 20. století, protože se výrazně týká klíčení a rozvoje AM hub. Dormantní (spící) spora je charakterizována jako spora neschopná klíčení. Pokud jsou zajištěny fyzikální a chemické podmínky, které naruší tuto dormanci je spora schopna vyklíčit (Smith 2001). Podmínky dormance se liší mezi jednotlivými druhy AM hub. Například bylo pozorováno, že čerstvě odebrané spory *F. mosseae* klíčí pomaleji s porovnáním spor skladovaných v 5 °C po dobu 6 týdnů. Oproti tomu AM houba *Gigaspora gigantea* vykazuje nejvyšší rychlost klíčení nejpozději jeden den od jejího získání z půdy (Smith 2001; Koske 1981).

Teplota je limitujícím faktorem pro překlenutí dormantního období. Rozmezí ideálních teplot pro klíčení spor AM hub je závislé na klimatických podmínkách jednotlivých ekosystémů. Teplotní limity pro klíčení se liší v závislosti na druhu AM houby: *Gigaspora calospora* klíčí mezi 10 – 30 °C, *G. caledonium* v rozmezí 10 – 25 °C. Ideální teplota klíčení závisí na původu AM hub, některé izoláty *G. coralloidea* a *G. heterogama* nalezené na Floridě nejlépe klíčí při 34 °C a izoláty *F. mosseae* ze severních ekosystémů klíčí nejlépe při 20 °C (Smith 2001; Bartha 1984).

Rozdíly v klíčení spor AM v půdách jsou ovlivněny různým pH a jsou rozdílné mezi jednotlivými rody i druhy AM hub. Každá z AM hub je propojena s prostředím, kde se vyskytuje přirozeně. Většina izolátů asi 88,5 % druhu *Acaulospora* žije v půdách s pH nižším jak 6,0, izoláty *F. mosseae* klíčí v půdách s pH 6,0 – 9,0 a některé z nich nejsou schopny se adaptovat a rozvíjet v půdách s pH nižším jak 5,5. Pro většinu rodů je ideálním pH půdy rozmezí od 6,0 – 7,5 (Smith a Read 2008; Smith 2001).



Obrázek 1. Fotografie spor a mycelia AM houby *F. mosseae*, 20x (Kučová, 2014)

Vlhkost půdy má různý vliv na klíčení spor jednotlivých druhů AM hub. Některé izoláty *Gigaspora marginata* klíčí nezávisle na půdní vlhkosti. Klíčení a vývoj izolátů *R. intraradices* a *F. mosseae* je často silně ovlivněno nedostatkem půdní vláhy, v rozmezí vodního potenciálu mezi 0,50 - 2,20 MPa. Například další tři druhy AM hub rodu *Glomus*: *G. macrocarpum*, *G. clarum* a *G. etunicatum* jsou velmi tolerantní k nízké půdní vlhkosti a jsou schopny klíčit i v podmínkách vodního potenciálu okolo 0,01 MPa. Všechny parametry (teplota, pH a vlhkost půdy) ovlivňující klíčení spor jsou ovlivňovány nejenom druhem AM houby, ale i prostředím na které jsou dané druhy AM hub adaptovány. Důležité je mít na paměti, že se tyto parametry mohou výrazně lišit v závislosti na druhu mykorhizní houby (Smith a Read 2008; Smith 2001).

Po klíčení spor následuje rozvoj pre-symbiotického mycelia a růst hyf. Růst hyf AM hub je velmi rychlý. Rychlost růstu hyf může být až 20 – 30 mm za den. Pokud houba nenalezne v půdě kořen hostitelské rostliny do doby 15 až 20 dnů, hyfa přestane růst a odumře. Klíční hyfy AM hub, rozrůstající se ze spor, se rozvíjejí v půdě všemi směry s výraznou apikální dominancí a v případě setkání s kořeny rostlin je kolonizují (Willis et al. 2013; Bartha 1984). Pokud se hyfa dostane do kontaktu s kořenem hostitelské rostliny, vznikne na povrchu kořene struktura nazývaná terček (apresorium). Následuje kolonizace kořene AM houbou, která proniká do primární kořenové kůry rostliny přes rhizodermis. AM houba, která pronikla do kořenové kůry hostitelské rostliny, tvoří uvnitř tři pro arbuskulární mykorhizní houby charakteristické typy struktur: arbuskuly, vezikuly a intraradikální kořenové mycelium (Gryndler et al. 2004; Smith a Read 1997; Bartha 1984).

Při průniku hyf do rostlinné buňky nedochází k perforaci cytoplazmatické membrány hostitelské buňky, díky tomu zůstává cytoplazma hostitele (rostliny) oddělena a cytoplazmatická membrána rostlinné buňky se před větvicí se hyfou AM houby vychlipuje. Některé druhy AM hub jsou schopny po dobu růstu hyf tvořit hyfové spoje – **anastomózy**. Ty propojují jednotlivé části cenocytického mycelia AM hub a tvoří jeho síťový charakter, díky němuž jsou AM hub schopny rychleji transportovat látky cytoplazmou (Gryndler et al. 2004). Procento tvorby anastomóz se pohybuje od 35 % do 69 % u hyf jednoho druhu AM houby a v rozmezí od 34 % do 90 % u různých druhů AM hub. Tvorba anastomóz byla potvrzena u druhů *F. mosseae*, *C. caledonium* a *R. intraradices*, avšak nebyla například prokázána u *G. rosea* a *Scutellspora castanea* (Smith 2001; Bartha 1984).

4.2.3. Morfologie arbuskulárních mykorhizních struktur

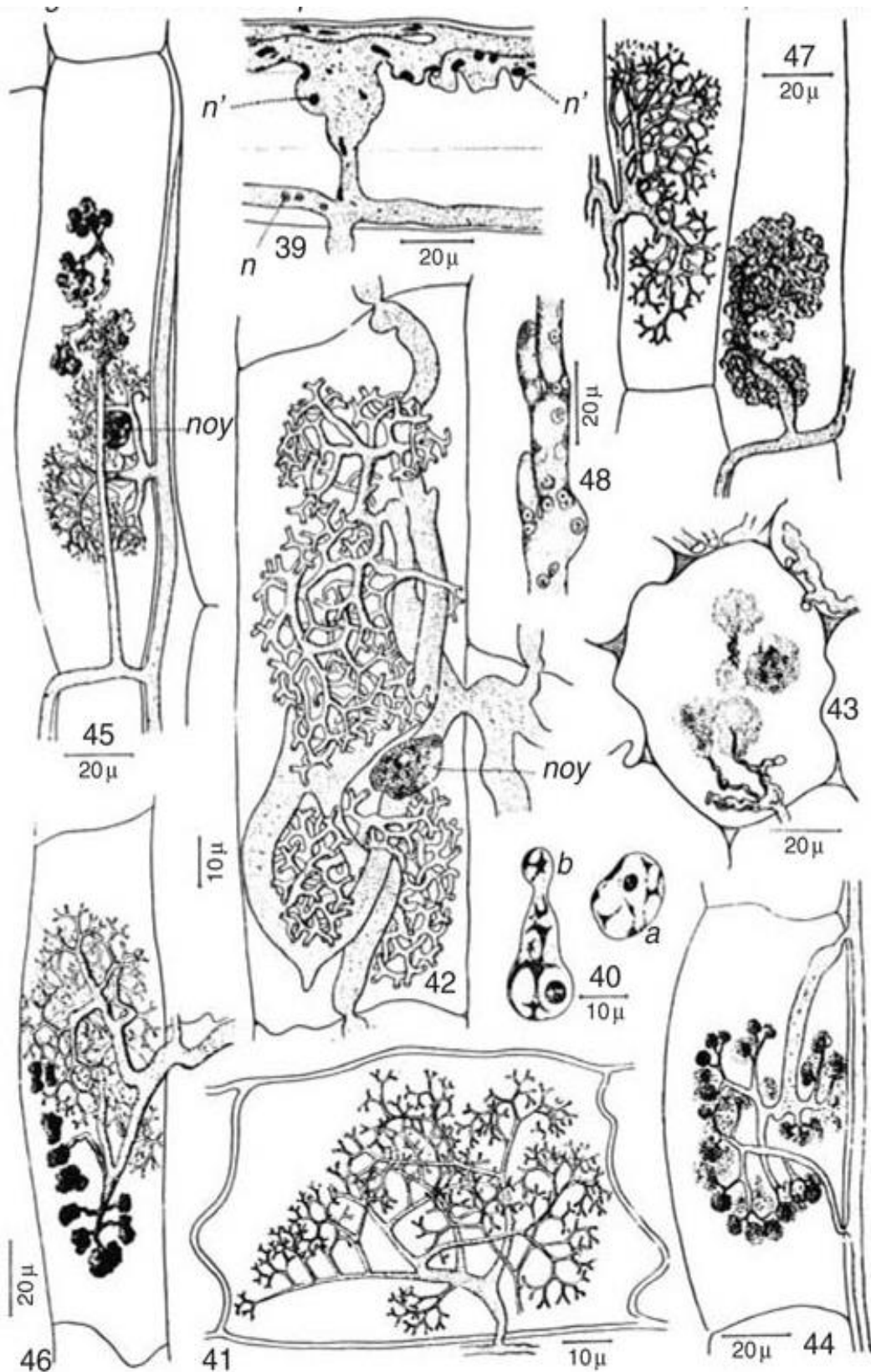
Mycelium u AM hub je mnohoaderné, nepřehrádkované (cenocytické) s velmi krátkou životností. Staré hyfy jsou rychle nahrazovány hyfami novými (Smith 2009; Gryndler et al. 2004; Staddon et al. 2003).

Dle způsobu šíření houby v kořenové kůře, rozlišujeme dva morfologické typy arbuskulárních mykorhizních symbióz typ **Arum** a typ **Paris** (Gallaud 1905).

- U typu **Arum** se AM houba šíří převážně mezibuněčnými prostory, tvoří se vezikuly (měchýřky), které jsou často vnitrobuněčné i mezibuněčné. Typ **Arum** tvoří velké arbuskuly (stroměčky), které se nachází v hlubších vrstvách buněk kořenové kůry rostlin.
- U typu **Paris**, který je u AM symbióz planých druhů rostlin častější než typ **Arum**, se nenachází mezibuněčné hyfy a AM houba se šíří přímo z buňky do buňky, kde tvoří množství vnitrobuněčných závitů (smotků) hyf a malých arbuskul (Smith 2009; Gryndler et al. 2004; Smith a Read 1997; Bartha 1984). I v tomto případě jsou však houbová vlákna oddělena od cytoplazmy hostitelské buňky modifikovanou cytoplazmatickou membránou, tzv. perifungální nebo periarbuskulární membránou. Struktury AM hub se tedy vždy nacházejí v apoplastu. Náčrtky **Arum** a **Paris** morfotypů znázorňuje Obrázek 2. Typ **Paris** se může objevovat i u nezelených rostlin.

Arbuskuly jsou dichotomicky několikanásobně větvené hyfy, které AM houba vytváří uvnitř buněk primární kůry kořene hostitelské rostliny. Arbuskuly se uvnitř buněk vytvářejí v průběhu 1 – 6 dnů, po proniknutí do buňky. Po jejich plném vyvinutí mohou zaujímat až 34 – 36 % velikosti rostlinné buňky (J. L. Harley and S. E. Smith 1983 in Willis et al. 2013; Smith a Read 2008). Arbuskuly degenerují v rozmezí 4 až 15 dnů a rostlinná buňka se následně vrací do původního stavu.

Vezikuly jsou dle svého názvu odvozeného z latinského slova *vesicula* - měchýřek. Vezikuly jsou především kulovité, ale i nepravidelné útvary. Vznikají rozšířením hyf, od kterých nejsou nijak odděleny, slouží jako zásobní struktury AM hub (Gryndler et al. 2004). Obsahují lipidy a množství jader. Vezikuly tvoří většina druhů AM hub v různých pozicích, jak v intercelulárních, tak intracelulárních prostorech primární kůry kořenů rostlin. Houby čeledi *Gigasporaceae* (rody *Gigaspora* a *Scutellospora*) vezikuly netvoří, namísto toho tvoří tzv. externí vezikuly (syn. auxilární buňky) na extraradikálním myceliu (Smith a Read 1997).



Obrázek 2. Náčrtek morfologických struktur AM hub uvnitř kořene rostlin

Náčrtek *Arum* – typu intracelulárních arbuskuly (41,45, 46, 47). Náčrtek struktur *Paris* typu (42), zobrazení degradace arbuskul (43,44,47) (Gallaud 1905 in Smith a Read 2008)

4.3. NEJVÝZNAMNĚJŠÍ SKUPINY MYKORHIZNÍCH HUB, FYLOGENETICKÉ TŘÍDĚNÍ

Klasifikace mykorhizních hub začala v roce 1887, kdy Frank rozlišil ekto a endotrofní mykorhizní symbiózy. V tomto období byla také prvně popsána arbuskulární mykorhizní symbióza, ale hlubších poznatků bylo dosaženo až v polovině 50. let 20. století (Bartha 1984). Strukturní diverzitu jednotlivých AM hub popsal na začátku 20. století Gallaud a AM houby byly fylogeneticky rozděleny dle svých morfologických vlastností. Poměrně nedávno byla celá taxonomie pozměněna a založena na znalosti SSU rRNA genu. Molekulární data odhalila, že původní taxonomické pojetí rodu *Glomus* neodráží přirozené vztahy mezi AM houbami (Imhof 2009; Schwarzott et al. 2001).

Značnou dobu byla fylogeneze oddělení *Glomeromycota* publikována po částech. Po nástupu molekulární biologie byl celý řád *Glomales* pozměněn (Stürmer 2012).

Všechny AM houby jsou řazeny do oddělení *Glomeromycota*, které zahrnuje obligátně symbiotické houby (Schüßler et al. 2001). Řád je nyní rozdělen do dvou čeledí *Glomeraceae* (*Glomus sensu stricto*) a *Claroideoglomeraceae*. První z čeledí je založena na druhu AM houby *Glomus macrocarpum*, druhá je založena na druhu *Claroideoglomus claroideum* (syn. *Glomus claroideum*) (Itoh et al. 2015).

Čeď *Glomeraceae* zahrnuje rody: *Glomus*, *Funneliformis*, *Sclerocystis* a *Rhizophagus*. Do rodu *Glomus* zařazujeme významné mykorhizní houby jako *Glomus macrocarpum* Tul. & C. Tul., *Glomus aggregatum* N. C. Schenck & G. S. Sm., *Glomus canum* McGee, in McGee & Trappe, *Glomus versiforme* (P. Karst.) S. M. Berch, in Berch & Fortin a další. Spory AM hub rodu *Glomus* se tvoří nejčastěji jednotlivě jak v půdě, tak na kořenech. Povrch spor tvoří často 1 až 4 vrstvy (Itoh et al. 2015; Oehl et al. 2011b).

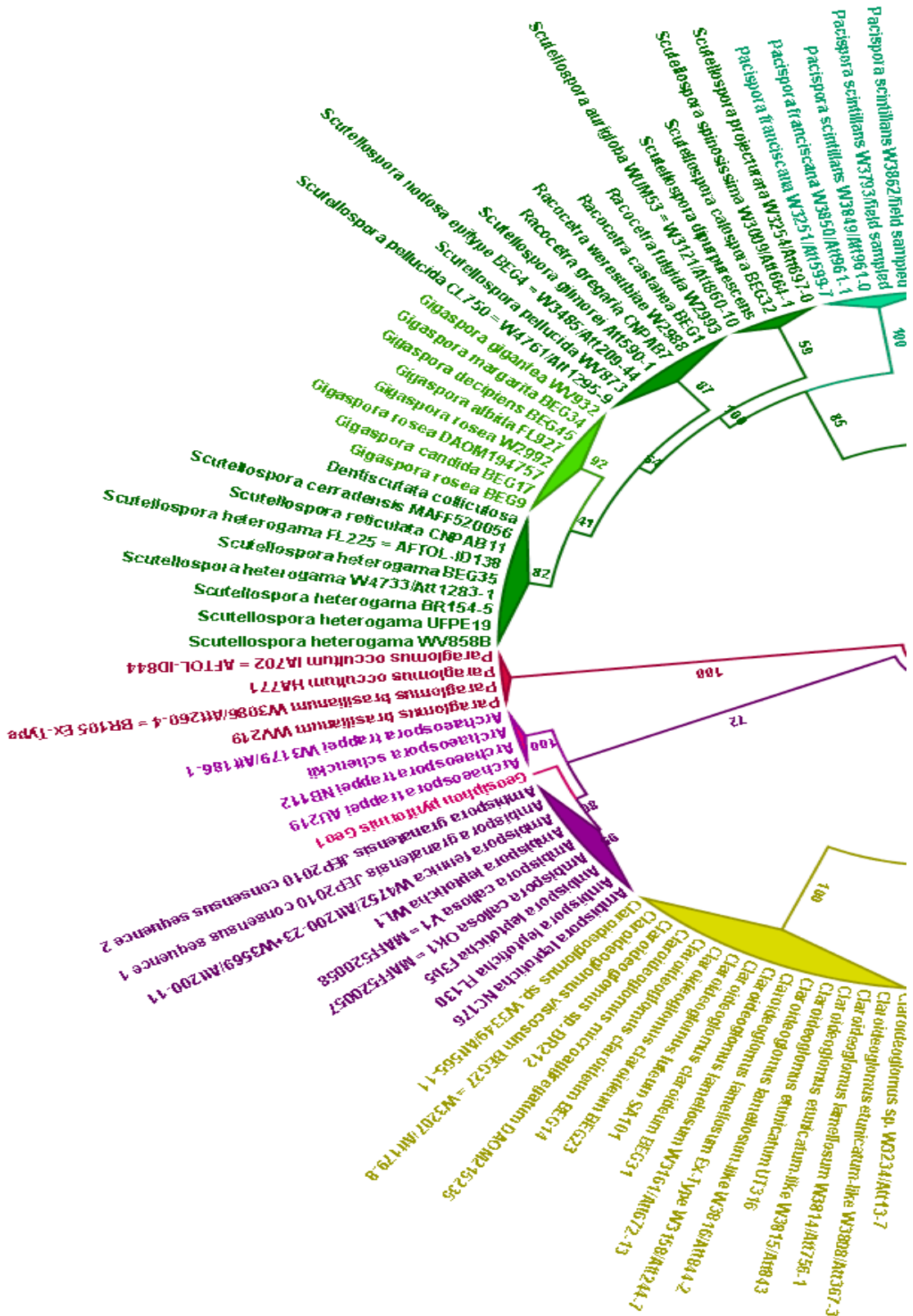
Údaje a poznatky pro oddělení rodu *Funneliformis* od rodu *Glomus* byly známe již dříve, bylo zřejmé, že houba *Funneliformis mosseae* má zcela odlišné vlastnosti od houby *Glomus macrocarpum*, ale až po prozkoumání pomocí molekulární detekce bylo možné tyto houby s odlišnými vlastnostmi oddělit a vytvořit nový rod *Funneliformis*. Hlavním zástupcem tohoto rodu je velmi rozšířená AM houba *Funneliformis mosseae* (T. H. Nicolson & Gerd.) C. Walker & A. Schüßler comb. nov., synonymum *Glomus mosseae* (Itoh et al. 2015). Rod *Funneliformis* tvoří spory častěji v půdě než přímo na kořenech. Spory jsou tvořeny jednotlivě i ve sporokarpech,

velikost spor je poměrně velká (150 – 400 μm), na povrchu mají 1 až 5 vrstev (Oehl et al. 2011b).

Rod *Rhizophagus* byl dlouhou dobu synonymem pro rod *Glomus*, avšak při testování druhu *R. populinus* bylo zjištěno, že tvoří hojně spory v kořenech rostlin, které nejsou totožné s houbami zařazenými do rodu *Glomus*. Nejznámějším zástupcem rodu *Rhizophagus* je druh *Rhizophagus intraradices* (N. C. Schenck & G. S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler comb. nov., synonymum *Glomus intraradices*.

Posledním rodem čeledi *Glomeraceae* je rod *Sclerocystis*. Tento rod AM hub vytváří speciální útvary (sporokarpy), které jsou tvořeny glebou, což je síť velmi hustě propletených hyf. V glebě jsou obsaženy chlamydo-spory, celá gleba je uzavřena do obalu složeného z kompaktně uspořádaných plochých hyf, tento obal sporokarpu se nazývá peridium. Peridia mohou tvořit i některé AM houby skupiny *Glomus sensu stricto*, například i *F. mosseae* (Itoh et al. 2015; Gryndler et al. 2004). Rod *Sclerocystis* tvoří vysoce organizované sporokarpy s často i více než 50 sporami v jednom sporokarpu. Jednotlivé spory mají na svém povrchu 1 – 2 vrstvy (Oehl et al. 2011b).

Druhou čeledí náležící do řádu *Glomales* je čeleď *Claroideoglomeraceae*. Čeleď byla vytvořena v roce 2001 a zahrnuje pouze jeden rod *Claroideoglossum* (Itoh et al. 2015). Některé studie uvádějí i další rod náležící do této čeledi a to rod *Viscospora* (Oehl et al. 2011b). Tato čeleď zahrnuje například významný druh AM houby *Claroideoglossum claroideum* (N. C. Schenck & G. S. Sm.) C. Walker & A. Schüßler comb. nov. (syn. *Glomus claroideum*), dále *C. luteum*, *C. lamellosum*, *C. candidum* a další. AM houby této čeledi tvoří spory především jednotlivě, zřídka ve skupinách. Skupiny spor obsahují malé množství spor, častěji je můžeme nalézt přímo v půdě, méně se vyskytují přímo na kořenech rostlin. Spory mají na povrchu 1 až 4 vrstvy (Itoh et al. 2015; Oehl et al. 2011b). Další významné AM houby jako *Gigaspora gigantea* (T. H. Nicolson & Gerd.) Gerd. & Trappe a *Gigaspora rosea* T. H. Nicolson & N. C. Schenck, jsou dle nového botanického členění zařazeny do řádu *Diversisporales* a do čeledi *Gigasporaceae* (Itoh et al. 2015; Oehl et al. 2011b). Podrobnější rozdělení oddělení *Glomeromycota* znázorňuje Obrázek 3 a Obrázek 4. Taxonomie AM hub se stále vyvíjí, proto existují i podrobnější fylogenetická třídění jednotlivých řádů a čeledí (Oehl et al. 2011b).



Obrázek 3. Současné rozdělení oddělení Glomeromycota 1. část (Itoh et al. 2015), viz <http://schuessler.userweb.mwn.de/amphylo/>

4.4. POHYBY PRVKŮ MEZI HOUBOU A ROSTLINOU

Rostliny ke svému správnému růstu potřebují přístup k minerálním látkám, které jsou pro jejich životní cyklus nezbytné. Tyto prvky získávají z půdy a závisí na jejich mobilitě v půdním prostředí, zda jsou přijímány rostlinou snadno nebo obtížně. Jednotlivé prvky rozdělujeme na skupinu makroelementů, kde řadíme uhlík, kyslík, vodík, dusík, draslík, vápník, hořčík, fosfor, sodík a síru. Druhou skupinou jsou mikroprvky (stopové prvky). Pro rostliny jsou důležité sice v menším množství, ale jsou pro rostliny esenciální, řadíme zde například měď, mangan, železo, zinek, kobalt, a křemík. (Dinant et al. 2013).

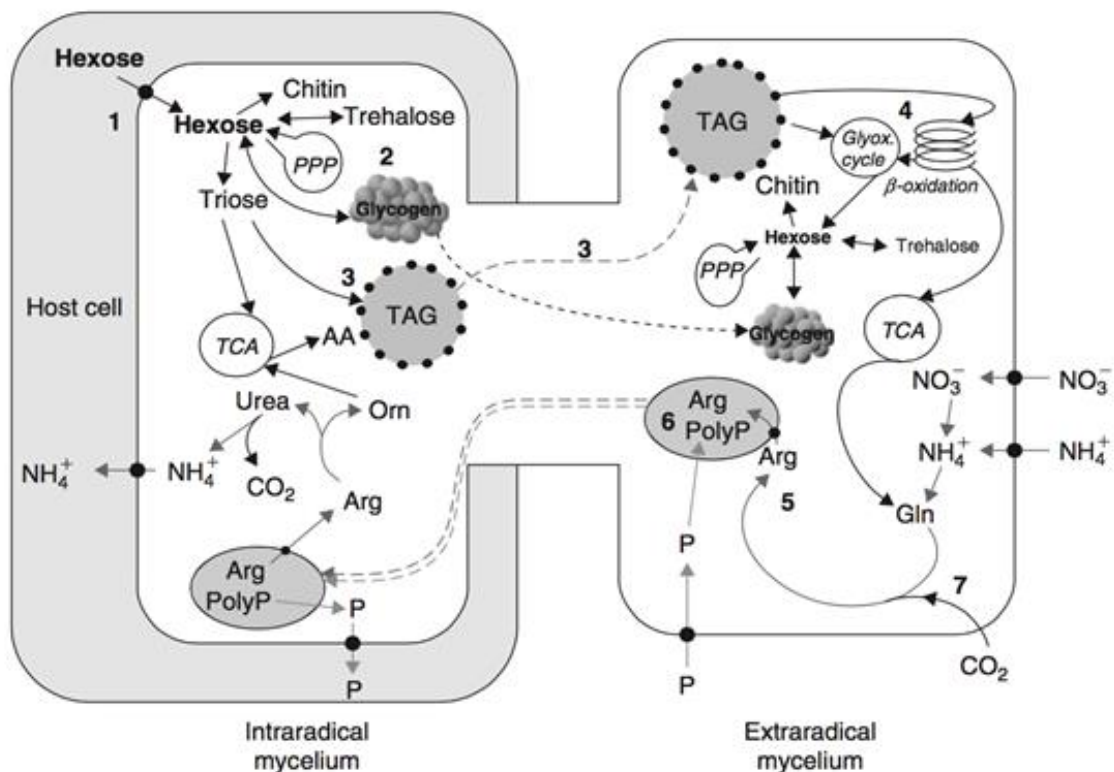
U rostlin, u kterých probíhá kolonizace kořenů AM houbami, jsou nejvíce sledovanými a studovanými živinami fosfor a dusík, které jsou základními minerálními živinami nezbytnými pro růst rostlin. Vliv AM hub na jejich příjem rostlinou je úzce spjatý s půdou a dostupností jednotlivých prvků v půdním prostředí (Smith 2009; Smith a Read 2008; Bartha 1984).

4.4.1. Uhlík

Aby se mohla mykorhizní symbióza nazývat mutualistickou, musí i rostlina přispívat do tohoto symbiotického vztahu. Pro AM houby jako obligátní saprotrofy je velmi důležitý zpětný transport organického uhlíku (C_{org}) z rostlin k AM houbám, bez kterého nejsou AM houby schopny dokončit svůj vývojový cyklus a nejsou samostatně bez svého hostitele schopny syntetizovat lipidy (Smith 2001; Bartha 1984). Mutualistická symbióza závisí na množství vzájemných interakcí mezi rostlinou a AM houbou, environmentálních podmínkách a dalších parametrech a může velmi snadno přejít z mutualismu do parazitismu. AM houby jsou zcela závislé na příjmu organického uhlíku z autotrofních rostlin. Transport hexózy (organického uhlíku) z rostliny k AM houbě probíhá skrz mycelium AM hub podobně, jako transport minerálních látek opačným směrem k rostlinám (Bartha 1984). Samotné mycelium AM hub funguje jako zásobárna organického uhlíku v půdě. Studie uvádějí, že hyfy AM hub tvoří 20 – 30 % půdní mikrobiální biomasy, mají tedy významnou roli v globálním terestrickém cyklu uhlíku v půdě (Leake et al. 2004).

Samotný příjem organického uhlíku (hexózy) AM houbou znázorňuje Obrázek 5. Sama hexóza je přijímána uvnitř buněk kořene v intraradikálním myceliu AM hub, kde je dále rychle přeměněna na glykogen, threalos a triacylglyceridy (TAG), které jsou hlavním

úložištěm tuků pro AM houby. Tato přeměna je hlavní hnací silou transportu uhlíku z rostlin do AM hub. Glykogen je společně s triacylglyceridy transportován do extraradikálního mycelia, kde je TAG oxidována v glykoxylovém cyklu zpět na hexózu, která je nezbytná pro další metabolické procesy a pro získávání energie. Uhlík transportovaný do extraradikálního mycelia je AM houbami využíván pro chitinizaci buněčné stěny, ukládání lipidů, rozvoj výtrusů a pro tvorbu proteinů (např. glomalin) (Smith 2001), viz Obrázek 5.



Obrázek 5 Schéma metabolismu C, P, N mezi intraradikálním a extraradikálním myceliem AM hub (Smith a Read 2008)

1 – příjem hexózy pomocí intraradikálního mycelia AM houby, **2** – tvorba glykogenu a threalózy uvnitř kořene rostlin, **3** – místo tvorby TAG v intraradikálním myceliu uvnitř kořene rostlin, **4** – glyoxylový cyklus, syntéza TAG, v tomto cyklu se následně syntetizuje hexóza, **5** – následuje syntéza argininu, **6** – přenos argininu a s poly-fosforečnanů do buněk intraradikálního mycelia uvnitř kořene rostlin, kde je postupně uvolňován, **7** – temnostní fáze fixace CO₂ u AM hub

4.4.2. Fosfor

Fosfor (P) je jedním z nejvýznamnějších makroelementů nezbytných pro výživu rostlin. Rostlinami je fosfor získáván z půdy výhradně jako disociovaný fosforečnanový aniont (H_2PO_4^- nebo HPO_4^{2-}). Často je množství fosforu přijímaného rostlinami nedostačující a musí se doplňovat v podobě minerálních hnojiv (superfosfátů). Fosfor je vyžadován rostlinami ve velkém množství, bohužel je prvkem velmi málo pohyblivým v půdním prostředí. Obsah v půdě není velký a bývá velmi rychle fixován ve formě fosfátů (Al, Fe, Ca fosfáty) (Bartha 1984).

AM symbióza je uznávaná pro své schopnosti zvyšovat příjem pomalu rozpustných živin rostlinami, tedy i fosforu (Smith 2001; Bartha 1984). Fosfor (P) je prvkem účastnícím se metabolických procesů v rostlině, je složkou nukleových kyselin, koenzymů nikotinamidadeninukleotidu (NAD), nikotinamidadeninukleotidfosfátu (NADP), fosfolipidů a adenosintrifosfátu (ATP). Rostliny potřebují značné množství fosforu už v počátečních fázích vývoje rostlin. Deficience P se projevuje zpomaleným růstem, protáhlými menšími listy (často načervenalá až nafialovělá barva), opožděným rašením pupenů, kvetením a nedostatečným vývojem plodů (Petříková a Hlušek 2012).

Fosfor v půdě je přenášen houbou k rostlině přes mimokořenové mycelium ve formě polyfosfátu a ve intraradikálním myceliu je hydrolyzován a připraven pro rostlinu (Hodge et al. 2010). Přenos polyfosfátu pomocí mimokořenového mycelia je možný na velké vzdálenosti (více než 100 mm v okolí kořenů). Přenos a příjem P mezi AM houbou a rostlinou je závislý na koncentraci fosforu v půdním prostředí, protože tato koncentrace ovlivňuje samotný vznik mykorhizní symbiózy. Pokud je v půdním prostředí dostatek dostupného P, rostlina AM houbu nepotřebuje (Bartha 1984). Tento proces podrobně znázorňuje Obrázek 5.

Dostatečné množství fosforu v půdě může pozitivní efekt AM symbiózy snižovat a vliv na rostlinu může být až negativní, dochází k přeměně mutualistické symbiózy na parazitickou. Je časté, že u mykorhizních rostlin je množství P v sušině vyšší než u nemykorhizních, ale jeho využití pro růst rostliny je nižší než u nemykorhizních rostlin (Smith 2001; Marschner a Dell 1994).

Některé studie prokazují, že kořeny rostlin kolonizované AM houbami jsou schopny lépe využít nerozpustné formy fosforu v substrátu (Smith 2009; Antunes et al. 2007; Bartha 1984). Při experimentech sledujících distribuci prvků pomocí spor AM hub bylo

zjištěno, že fosfor je prvkem s nejvyšší akumulací ve sporách AM hub v porovnání s koncentrací fosforu v experimentálním médiu. Tyto hodnoty byly stanoveny PIXE analýzou (radioaktivní částicová indukovaná emise) (Olsson et al. 2008).

4.4.3. Dusík

Dusík (N) je významným prvkem pro všechny rostliny, je součástí aminokyselin, chlorofylu, bílkovin, enzymů a dalších biologicky aktivních látek. Rostlina přijímá dusík ve formách NH_4^- a NO_3^- . Obě formy jsou mobilní a rychle metabolicky využitelné rostlinami. Deficience N u rostlin se projevuje nejdříve u starších listů, vznikají chlorózy a rostlina má zpomalený růst (Petříková a Hlušek 2012).

AM houby jsou schopny zpřístupňovat dusík rostlinám z rozsáhlejšího objemu půdy, a to díky rozložení jejich extraradikálního mycelia (Tibbett 2000). AM houby urychlují rozklad a zachycování dusíku z organické hmoty. Dokonce i růst hyf je při vyšší koncentraci organického materiálu v půdě rychlejší. Některé studie se stále v závěrech ohledně role AM v příjmu dusíku rozcházejí (Hodge et al. 2001; Hawkins 2000; Bartha 1984).

Experimenty ukazují, že AM houby přijímají N nejen v anorganických formách (NH_4^- , NO_3^-), ale i v podobě organických sloučenin (kyselina glutamová, glycin), tyto formy N jsou běžně rostlinám nedostupné. Příjem organických sloučenin AM houbami byl potvrzen u množství izolátů druhů *F. mosseae* a *R. intraradices* (Hawkins 2000).

Samotný princip přenášení organického N přes extraradikální mycelium AM hub není dostatečně prozkoumán, více informací je známo u přenosu anorganického N (NH_4^+) přes hyfy AM hub. Tento přenos pravděpodobně zprostředkovává transportér kódovaný genem *GintAMT1*, který se nachází přímo v extraradikálním mycelium AM hub (López-Pedrosa et al. 2006). Přijatý NH_4^+ je pomocí glutamin syntetázy zabudován do glutaminu, který jen následně uvnitř extraradikálního mycelia přeměňován na arginin. Arginin je transportován do intraradikálního mycelia buď samostatně, nebo vázaný na polyfosfát. V intraradikálním myceliu se rozkládá a je zpřístupněn rostlině (Jin et al. 2005; Bartha 1984). Podrobné procesy znázorňuje Obrázek 5.

4.4.4. Ostatní prvky

Mezi ostatní prvky, jež může rostlina pomocí AM houby lépe přijímat, patří zinek a měď a draslík. Příjem těchto prvků je zprostředkován pomocí mimokořenového mycelia (Marschner a Dell 1994). AM houby ovlivňují i příjem toxických prvků z půdního prostředí (Bartha 1984).

4.4.4.1. Draslík

Draslík (K) ve v rostlině velmi pohyblivým prvkem, K^+ ionty jsou charakteristické rychlým průnikem přes buněčné stěny. Hladina K v buňkách je poměrně vysoká, vyplavuje se při stresových situacích (sucho, nízké teploty). Draslík má velmi dobrou reutilizační schopnost, proto se příznaky deficiencie projevují nejdříve na starších listech. Draslík se účastní v rostlině především fotosyntézy, dýchání a metabolismu dusíku v rostlině. Jeho deficiencie se projevuje pomalejší syntézou organických látek: omezená tvorba bulev, řídkší pletiva, chlorózy pletiv, nekrózy listů (Petříková a Hlušek 2012; Lambers et al. 2008). Experimenty například s *F. mosseae* prokázaly při kolonizaci kořenů zvýšení příjmu K rostlinou. Tato závislost není stále prozkoumána, ale je známo že akumulace K rostlinou je silně podmíněna přístupností dusíku v půdním prostředí, který ovlivňuje mobilitu K (Bartha 1984). Zvýšení obsahu K, P a N prokázal například experiment s *G. fasciculatum* a mátou (*Mentha arvensis* L.), kdy byl obsah K zvýšen i z půd o nízkém obsahu K. Zvýšení příjmu všech prvků vedlo k lepším výnosům u inokulovaných variant (Gupta et al. 2002).

4.4.4.2. Měď

Měď (Cu) je významným mikroprvkem pro rostliny, nejvyšší procento Cu se vyskytuje v chloroplastech (až 70% z celkového obsahu Cu v rostlině) a hraje významnou roli v syntéze chlorofylu a dalších rostlinných barviv. Při deficienci Cu dochází k odumírání apikálních listů, ke chlorózám, listy získávají výrazný žlutý odstín a následně zasychají. Často jsou nejdříve postiženy staré listy, protože Cu je ze starých listů transportována do mladých (Petříková a Hlušek 2012; Yruela 2009). Z tohoto důvodu je využití AM hub pro zvýšení příjmu Cu rostlinami vhodné. Zvýšený příjem Cu byl pozorován napříč rostlinnými druhy i AM houbami, například u kukuřice (*Zea mays* L.) ovsu setého (*Avena sativa* L.), fazolu obecného (*Phaseolus vulgaris* L.), póru pravého (*Allium porrum* L.) a dalších. (Bartha 1984). Příjem Cu rostlinou pomocí symbiózy

s AM houbami je často velmi malý, ale i přes tento fakt má kladný vliv na výživu rostlin.

4.4.4.3. Zinek

AM houby mají vliv na příjem zinku (Zn) rostlinou, stejně jako fosfor je zinek málo pohyblivým prvkem v půdním prostředí (Bartha 1984). Vodorozpustná (mobilní) forma Zn se v půdním prostředí nachází maximálně do 1 %. Častější formou Zn v půdě je zinek vázaný, v podobě nerozpustných sloučenin: fosforečnanů, křemičitanů a uhličitanů. Pro rostlinu je Zn důležitým prvkem pro správnou funkci fyziologických procesů, jako je fotosyntéza, metabolismus cukrů a syntéza proteinů. Nedostatek Zn se projevuje především na mladých listech a juvenilních částech rostlin, ke kterým není díky své nízké mobilitě transportován. Deficience Zn se projevuje chlorózami, odumíráním listů a slabým vývojem (Petříková a Hlušek 2012; Mousavi 2011). Příjem Zn rostlinami pomocí AM hub je závislý na silných interakcích s příjmem fosforu. Rané stádia mykorhizní kolonizace zvyšují příjem Zn rostlinou na velké vzdálenosti od kořenů rostlin. Tento fakt byl potvrzen u různých hub rodu *Glomus*. Transport Zn je ve výrazné korelaci k transportu P, transport Zn je avšak pomalejší, záleží na délce mimokořenového mycelia a obsahu obou prvků v půdním prostředí. Z tohoto poznatku vyplývá využití AM kolonizace na snížení toxicity Zn v rostlinných pletivech v půdách s nadbytkem Zn (Bartha 1984).

4.4.4.4. Toxické prvky

Mnoho prvků rostlina potřebuje jen ve velmi malém množství, při jejich vyšších koncentracích dochází k jejich akumulaci v rostlině a stávají se prvky toxickými. Tato toxicita může vznikat u nadměrného příjmu Zn, Cu, Fe a Co, jakož i u dalších prvků, které jsou za toxické běžně považovány (Pb, Cd, Cr, Ni, Ti, Ba a As). Výsledky různých studií vlivu AM hub na příjem toxických prvků nejsou vždy shodné. Byl například zjištěn jak zvýšený příjem Cu, Ni, Pb a Zn, tak některé studie prokázaly snížení jejich příjmu rostlinami (Bartha 1984). Nadbytečný, tím neprospěšný příjem živin pomocí AM hub byl potvrzen u experimentu s *G. fasciculatum*, v půdním prostředí s nízkým pH, které tento příjem ovlivňuje. Při pH 3,0 a 4,0 byl signifikantně zvýšen příjem Cu, Ni, Pb, Zn inokulovanými rostlinami (Killham a Firestone 1983).

Na druhou stranu AM houby mohou zvyšovat schopnost růstu hostitelských rostlin v prostředí zamořeném těžkými kovy. AM houby snižují stres vyvolaný těžkými kovy v půdním prostředí, například hyfy AM hub jsou schopny akumulovat Cd ve svých buňkách, a tím snižovat jeho přístupnost rostlinám (Miransari 2011). Podobné závěry prokázala studie s *F. mosseae*. Inokulace AM houbou umožňovala testovaným rostlinám přežít v půdě s vyšším obsahem Zn a Cd (Galli et al. 1994).

4.5. INTERAKCE MEZI MYKORHIZNÍMI HOUBAMI A DALŠÍMI MIKROORGANISMY

Interakce mezi půdními mikroorganismy a rostlinami jsou v dnešní době často studovány pro jejich velmi velký význam nejen při pěstování zeleniny, ale obecně na růst rostlin. Mikroorganismy nacházející se v rhizosféře jsou schopny vylučovat různé organické látky do prostředí, například karboxylovou kyselinu, kterou jsou schopny snižovat pH vápnatých půd a zpřístupňovat pro rostliny obtížně rozpustné fosfáty, jako je fosforečnan vápenatý (Ca_3PO_4)₂ a mobilizovat P v půdě. Použití těchto mikroorganismů jako bioaditiv může částečně nahrazovat použití drahých fosfátových hnojiv v zemědělství (Afzal a Bano 2008).

Arbuskulární mykorhizní symbióza hraje v přírodě velmi významnou roli. Prospěšné vztahy mezi rostlinami a mikroorganismy na úrovni rhizosféry mají vliv nejenom na zdravotní stav a vývin rostlin, ale také na celkovou půdní úrodnost. AM houby reagují v rhizosféře s velkým spektrem dalších mikroorganismů. Výsledky jejich vzájemných interakcí mohou být jak pozitivní, neutrální, ale i negativní (Varma a Kharkwal 2009).

Pozitivní efekt inokulace substrátu půdními mikroorganismy byl prokázán například u experimentů s jahodníkem (*Fragaria x ananasa* Weston.). Inokulace rostlin v této studii probíhala nejen AM houbami, ale i různými druhy půdních bakterií (*Pseudomonas* ssp., *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*). Tato dvojité inokulace pěstebního substrátu měla za následek zvýšený růst výhonů u jahodníku a vyšší výnosy (Vestberg et al. 2004).

Experimenty s *Trichoderma harzianum* a AM houbami rodu *Glomus* probíhaly například na vodním melounu (*Cucumis melo* L., cv. 'Giotto'), u kterého byl sledován vliv AM hub na velikost plodů a celkový růst rostlin a možnost snižování dávek hnojiv. Tento experiment sledoval celkovou dostupnost prvků v půdě pro rostliny a jejich využití v rámci jednotlivých variant.

Výsledky ukázaly negativní vliv vyšších dávek N a P v půdě na kolonizaci kořenů rostlin AM houbami, kolonizace kořenů byla menší než u variant s nižším množstvím N a P v půdě (Martínez-Medina et al. 2011). Jiné studie uvádí, zvýšení výnosu rajčat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) při použití dvojí inokulace *Trichoderma harzianum* a přípravku Biocult[®], obsahujícího 40 spor·g⁻¹ *F. mosseae*). Prodejní výnos dvojitě ošetřené varianty byl o 79,8 % vyšší než u kontrolní neošetřené varianty (Nzanza et al. 2012). Další studie na rajčatech testovaly vliv inokulace AM houbami, *Trichoderma harzianum* a *Pseudomonas* proti působení patogenní houby *Fusarium oxysporum* f. ssp. *lycopersici* (Sacc.), kdy trojkombinace prokázala snížení napadení rostlin rajčat o 74 % a zvýšení výnosu o 33 % (Srivastava et al. 2010). Kombinace různých AM inokul může poskytnout účinnou ochranu proti některým patogenům. Účinek těchto několikanásobných ošetření je závislý na synergickém či antagonistickém vztahu jednotlivých mikroorganismů a je nutné tyto vztahy hlouběji prozkoumat (Green et al. 1999; Bartha 1984). Antagonistický vliv některých izolátů *Trichoderma pseudokoningii*, na klíčení *F. mosseae* a *Gigaspora rosea* byl prokázán jak v *in vitro* podmínkách, tak ve skleníkovém experimentu se sójou luštinatou (*Glycine max* L.) (Martinez et al. 2004).

Mnohočetné inokulace rostlin nemusí působit pouze jako ochrana proti patogenům, mohou být využívány pro lepší příjem prvků. Například dusík a jeho přístupnost je stejně významná pro rostliny jako příjem fosforu. Příjem N mohou zaštiťovat nejen AM houby, ale i půdní bakterie, často to jsou v půdě volně žijící fixátoři dusíku (*Azolla*, *Frankia*, *Azospirillum* a další). Tyto bakterie jsou schopny fixovat N₂ z ovzduší. Množství dostupné literatury se zabývá především fixací dusíku mezi rostlinami volně žijícími fixátory a symbiotickými fixátory dusíku rodu *Rhizobium*, protože tento druh symbiózy má nejvýznamnější účinek a je velmi vhodný pro kombinaci s AM houbami při využití v zemědělské praxi (Veresoglou et al. 2012). Právě pozitivní výsledky různých experimentů prokázaly, že nitrogenázová aktivita bakterií rodu *Rhizobium* je schopna stimulovat růst rostlin v různých substrátech (Höflich et al. 1995).

N₂ bakterie podporují absorpci dusíku a zpřístupňují jej rostlinám (Lalitha et al. 2011). N₂ fixující bakterie řadíme do čtyř základních skupin: do skupiny *Cyanobacteria* (sinice) s nejznámějším zástupcem z rodu *Azolla*.

Dále do skupiny **Aktinomycet**, zastoupené převážně druhy *Frankia*, které tvoří symbiózu s některými tropickými rostlinami.

Do třetí skupiny řadíme rody **Klebsiela** a **Azotobacter**. Tuto skupinu zastupuje množství asociativních mikroorganismů jako je *Azospirillum* a *Herbaspirillum*. Mezi nejznámější druhy této skupiny patří *Azospirillum brasilense*, *Azospirillum lipoferum* a *Azospirillum amazonense*.

Poslední skupinou N₂ fixujících bakterií schopných poutat vzdušný dusík jsou bakterie z rodu **Rhizobium**, které jsou schopny vytvářet symbiózu s rostlinami rodu *Fabaceae* a jsou nejvýznamnější skupinou dusík fixujících bakterií u rostlin využívaných v zemědělství (Lalitha et al. 2011; Kahindi a Woomer 1997).

Nejen bakterie jsou schopny poskytovat rostlinám dusík. Existují experimenty například s kukuřicí (*Zea mays* L.) a AM houbami, u kterých byl prokázán zvýšený příjem N. Především u variant ošetřených *F. mosseae*, a to i ve sterilních substrátech (Miransari et al. 2009). Inokulace kukuřice (*Zea mays* L. odrůda 'Potro') bakteriemi *Azospirillum brasilense* Sp245, *Pseudomonas fluorescens* WCS365 a *Trichoderma harzianum* T12 ukázaly signifikantní vliv na růst rostlin u variant ošetřených *G. deserticola*. Studie Vázquez et al. (2000) neprokázala vliv těchto *free-living* bakterií na zvýšení kolonizační schopnosti AM hub. Některé z mikroorganismů, například *Pseudomonas putida* stimuluje fosfatázovou aktivitu extraradikálního mycelia AM hub (*G. fistulosum*) u inokulovaných rostlin kukuřice (*Zea mays* L.), tato aktivita nebyla navýšena u rostlin bramboru (*Solanum tuberosum* L.), kde ale *P. putida* zvýšila inokulační schopnost AM houby (Vosátka a Gryndler 1999). Tyto volně žijící (*free-living*) bakterie s pozitivním vlivem na rostliny jsou často zařazovány do skupiny s názvem PGPR (plant growth promoting rhizobacteria) nebo do skupiny s názvem YIB (yield increasing bacteria). Skupina PGPR bakterií zahrnuje již zmíněné druhy jako *Azotobacter*, *Azospirillum*, pseudomonády, *Acetobacter* a *Burkholderia*. Jejich vliv na růst rostlin může být přímý i nepřímý. Přímý vlivem je označováno zvýšení výnosu a lepší růst rostlin, nepřímý vliv je ochrana proti fytopatogenům, zvyšování syntetázové aktivity rostlin a další (viz výše) (Glick 1995).

Pro sledování interakcí v rhizosféře jsou využívány i sekundární metabolity vytvářené rostlinami. Mezi tyto sekundární metabolity, které jsou rostlinou vylučovány jako kořenové exudáty, patří strigolaktony a flavonoidy. Strigolaktony jsou odvozeny

od dvou plevelných rostlinných druhů *Striga* a *Orobancha*, které mohou parazitovat na kořenech řady kulturních rostlin a výrazně snižovat jejich výnos (Vos et al. 2014).

Strigolaktony jsou látky seskviterpenové povahy, syntetizované v kořenech a některých částech stonku, které jsou vylučovány do půdy ve velmi malém množství. Kořenové exudáty ovlivňují větvení hyf AM hub (Koltai et al. 2011). Strigolaktony byly nalezeny například v exudátech vylučujících kukuřici, čirokem, hrachem, tabákem, rajčaty, tolicí vojtěškou a dalšími druhy. Indukce větvení hyf AM hub je předpokladem pro úspěšnou kolonizaci kořene rostlin. Aktivní signály rostlin pro větvení hyf jsou stále předmětem studií, i přesto, že byly strigolaktony detekovány jako faktory pro větvení hyf uvnitř kořenových exudátů, mají větší vliv na fyziologie. Například u *R. intraradices* a *C. claroideum* bylo stimulováno klíčení spor. Vlastnosti strigolaktonů a jejich vliv na větvení hyf AM hub se ve studiích neshodují (Koltai et al. 2011; Steinkellner et al. 2007). Další složkou kořenových exudátů jsou flavonoidy, které signalizují často interakce mezi rostlinou a půdními mikroorganismy. Jsou známé jako složka signalizačních látek pro interakci mezi rostlinami a bakteriemi rodu *Rhizobium*. Pro AM houby jsou flavonoidy obsažené v kořenových exudátech důležité v raném stádiu vývoje klíčení spor AM hub a vývoje mycelia (Steinkellner et al. 2007). Nejenom rostliny vylučují do půdního prostředí různé látky, AM houby v půdě produkují glykoprotein glomalin, který je akumulován v půdě. Studie prokazují jeho vliv na stabilitu půdních agregátů a strukturu půdního profilu (Miransari et al. 2009; Gosling et al. 2006; Rillig a Mummey 2006). Studie zabývající se glomalinem a jeho vlastnostmi se stále zcela neshodují a poskytují různé výsledky (Gosling et al. 2006).

Hlavním cílem většiny studií je praktický význam a využití pozitivních interakcí mezi mikroorganismy a rostlinami. Nejzajímavějšími interakcemi jsou především mobilizace minerálních prvků z půdy, fixace vzdušného dusíku u leguminóz a ochrana rostlin proti kořenovým patogenům (Smith 2009; Smith a Read 1997; Bartha 1984). Při fixaci vzdušného dusíku jsou hojně sledovány interakce mezi hlízkovými bakteriemi (např. rod *Rhizobium*) a AM houbami, kde obě symbiózy působí synergicky, což vede k většímu obsahu N a P u inokulovaných rostlin, především u luštěnin (Varma a Kharkwal 2009). Synergické efekty různých druhů půdních bakterií jsou stále předmětem testování (Glick 1995).

4.6. VYUŽITÍ AM HUB V PRAXI

Spojení půdních mikroorganismů s kořeny rostlin má velký vliv na výživu rostlin a samozřejmě i na jejich odolnost vůči chorobám a škůdcům. Struktura a funkce rhizosféry samotné je určena různými rostlinnými druhy, jejich genotypy a také charakteristickými vlastnostmi samotného půdního profilu (Smith a Read 1997; Bartha 1984). Současné systémy zemědělské produkce jsou výrazně zaměřeny pouze na zvyšování výnosů a problémem se stává udržitelnost půdní úrodnosti a kvality půdy (Azcón-Aguilar et al. 2009).

Problémem konvenčních zemědělských systémů je především pěstování monokultur, využívání minerálních hnojiv, špatné orební postupy a další agrotechnologické zásahy, které jsou škodlivé nejen pro nativní druhy AM hub v půdě, ale i pro celkový stav půdního profilu. Půda při konvenčních způsobech pěstování je chudá na mikrobiální život a na přirozeně se vyskytující druhy AM hub. Bylo dokázáno, že průměrná dávka P hnojiv na hektar ($45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$) po dobu pěti let, sníží počet spor v půdě o 50 %. Z těchto důvodů je využití AM hub vhodné pro ekologické způsoby pěstování (Gosling et al. 2010, 2006). Úspěšné zvládnutí inokulační technologie AM hub je tedy nutné pro zlepšení stávající zemědělské praxe. Množství praktických studií prokazuje pozitivní vliv AM hub na výnosové a nutriční parametry zemědělských plodin (Gryndler et al. 2004).

Řada experimentů prokazuje pozitivní vliv nativních druhů AM hub na výnos u různých druhů rostlin. Například použití inokula složeného z 20 nativních druhů AM hub, zvýšilo výnos u rajčat o 26 % a u mrkve o 300 % při porovnání s nemykorhizními variantami (Affokpon et al. 2010). Navýšení výnosu a počtu plodů při inokulaci rostlin (*R. intraradices*, *F. mosseae*) u rajčat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) potvrdily různé studie (Nzanza et al. 2012; Mueller et al. 2009; Makus 2004; Khaliel a Elkhider 1987), i když například studie Srivastava (2010) potvrdila zvýšení výnosu u rajčat o 20 % pouze u varianty v kombinaci s *T. harzianum*. Navýšení biomasy bylo prokázáno i u rostlin cibule kuchyňské (*Allium cepa* L.) inokulovaných *R. intraradices* a *G. vesiforme*, v nádobovém experimentu s minerálním substrátem. Cibule rostlin byly o 25 mm větší v porovnání s neinokulovanými rostlinami, a to již po 2-3 týdnech pěstování. Samotná tuhost suknic cibule byla větší u inokulovaných rostlin

(Charron et al. 2001b, 2001a). Zvýšení výnosu cibule o 22 % potvrzuje i studie Torres-Barragán (1996).

AM houby jsou testovány na širokém spektru rostlin. Existuje množství testů na zahradnických plodinách. Využití mykorhizních hub se testuje i v bezsubstrátových pěstebních systémech. Inokulace zvýšila sušinu u paprik, rajčat, dále výnosy u polního pěstování cibule a mrkve a dalších (Wang et al. 2011; Mueller et al. 2009; Ikiz et al. 2008). Pozitivně byl potvrzen výnos a sušina u čekanky (*Cichorium intybus* L.), i přes pěstování v toxicky zamořeném substrátu, rostliny čekanky byly kolonizované AM houbou (*R. irregularis*). Tento experiment potvrdil využitelnost AM hub v půdách zamořených toxickými prvky (Rozpádek et al. 2014).

AM houby je možné využít při předpěstování zeleninové sadby. Různé druhy rostlin vykazují lepší vzrůst, příjem prvků a samotná sadba má lepší kvalitu. AM inokulum je vhodné aplikovat přímo při výsevu. Předpěstovaná sadba bývá často odolnější vůči patogenům. Tyto závěry potvrzuje například studie s předpěstovanou sadbou rajčat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a lilkem (*Solanum melongena* L.), kdy inokulované rostliny napříč nevyrovnané kolonizaci (u rajčat v rozmezí 26 - 49 %) vykazovaly vyšší vzrůst a větší množství sušiny. Také varianty ošetřené patogenní houbou (*Verticillium dahliae*) prokázaly lepší vzrůst v porovnání s kontrolními variantami. Vyšší příjem minerálních prvků (P, N, K, Ca, Mg, B) byl prokázán u mykorhizních variant ošetřených patogenní houbou, avšak u kterých mykorhizní kolonizace v kombinaci s patogenem snížila příjem ostatních mikroprvků (Zn, Mn, Fe, Cu) (Karagiannidis et al. 2002).

Využití AM hub při zlepšení odolnosti rostlin proti působení patogenních organismů bylo testováno dalšími studiemi. Využití AM houby *R. intraradices* společně s dalšími mikroorganismy (*Trichoderma harzianum*, *Pseudomonas*) proti fusáriovému vadnutí u rajčat, které je způsobenou patogenní houbou *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.). Použité mikroorganismy snížily v této studii projevy napadení na rostlině v rozmezí 37 – 47 % (Srivastava et al. 2010). AM houby u rajčat signifikantně snížily napadení kořenovým hád'átkem (*Meloidogyne incognita*) (Vos et al. 2013). Již zmíněná studie s rajčaty prokázala maximální potlačení negativního vlivu *Fusarium oxysporum* o 56 % (Srivastava et al. 2010). Tyto možnosti využití AM hub a dalších

mikroorganismů nacházejí své uplatnění při omezování chemické ochrany rostlin při ekologické produkci zelenin. Potvrzeny byly účinky na kořenovou spálu způsobenou patogenem *Rhizoctonia solani*, která napadá fazole v tropických a subtropických oblastech, například v Brazílii snižuje výnosy až o 60 % (Srivastava et al. 2010).

Inokulace rostlin fazolí směsí různých AM hub signifikantně zvýšila růst, výnos, obsah minerálních látek u ošetřených variant i přes napadení kořenovou spálou (Abdel-Fattah et al. 2011). Pozitivní účinky na rostliny chřestu (*Asparagus officinalis* L.) prokázala inokulace houbou *R. intraradices*, rostliny odrůdy 'Welcome' byly prokazatelně méně poškozené kořenovou hnilobou. Aleopatické účinky AM hub jsou ovlivněny také v závislosti na použité odrůdě a druhu houbového inokula. Studie prokázala výrazné rozdíly v rezistenci mezi testovanými odrůdami 'Welcome' a 'Mary Washington 500W' (Nahiyani a Yagi 2009). Tyto i jiné studie využívaly pre-emergentní kolonizaci kořenů rostlin před aplikací patogenů, přičemž tato aplikace se projevila jako nejúčinnější (Gosling et al. 2006).

Výsledky zmíněných studií potvrzují myšlenku o využití AM hub jako biokontrolního, ekologického a cenově relativně dostupného prvku využitelného v ochraně rostlin, který má pozitivní vliv na růstové parametry rostlin (Abdel-Fattah et al. 2011; Afzal a Bano 2008; Azcón-Aguilar a Barea 1997).

AM houby jsou, jak již bylo zmíněno, mají pozitivní vliv u širokého spektra rostlin. Jiný experiment s AM houbami rodu *Glomus* a datlovými palmami (*Phoenix dactylifera* L.). Semena datlových palm byla dva týdny předpěstována ve vlhkém písku. Následně byla přesazena a inokulována třemi různými druhy AM hub (*G. clarum*, *G. deserticola*, *G. monosporus*). Po 8 měsících pěstování prokázaly inokulované varianty výrazně větší biomasu u obou variant (varianta stresovaná přísušky i nestresovaná). Ošetřené varianty obsahovaly více živin jako Ca, Mg, P, K a Na, než varianty bez přidání AM hub (Faghire et al. 2010). Další pozitivní využití AM hub u ovocných druhů zaznamenal Vestberg et al. (2004), a to při zvýšení rychlosti růstu oddenků jahodníku díky inokulaci AM houbou *F. mosseae*, i když kolonizace kořenů jahodníku byla nízká (2 -10 %, zapříčiněná nevhodným výběrem pěstebního substrátu).

AM houby je možné použít i při nepřímém *in vitro* množení rostlin. Jejich použití je v různých stádiích množení, například přímo při zakořeňování *in vitro* rostlin, další možností jejich využití je po zakořeňování rostlin, nebo ve fázi aklimatizace. Záleží

na druhu zvoleného média a množství živin. Testovány byly různé rostlinné druhy: réva vinná, banánovník, ostružiník, olivovník, jahodníky, podnože pro ovocné dřeviny a další (Smith a Read 2008).

Studie prokázaly, že spory klíčící ve sterilních podmínkách klíčí lépe v substrátech s nižším množstvím živin, než v dostatečně zásobených. Vyšší koncentrace inhibuje jejich klíčení a následný růst mycelia. Dalším problémem využití AM hub v *in vitro* kulturách je značné omezení houbových druhů, které je možné produkovat ve sterilním prostředí (Azcón-Aguilar a Barea 1997).

4.7. VYHODNOCOVÁNÍ MYKORHIZNÍ SYMBIÓZY

Pro experimentální vyhodnocení vlivu AM hub na rostliny je důležité správně kvantifikovat kolonizaci kořenů. Nejpoužívanější kvantifikační metodou je mikroskopie. Pomocí mikroskopie je možné zjistit přibližné procento kolonizace kořenů rostlin. Pro mikroskopickou kvantifikaci je nejdůležitější částí obarvení kořenů rostlin a buněk intraradikální mycelia AM hub, a zviditelnění vláken mykorhizních hub v pletivech kořene rostlin. Pro přesnou kvantifikaci je ovšem možné použít metody molekulárně biologické, které jsou přesnější než samotná mikroskopie (Gryndler et al. 2004; Smith a Read 1997; Bartha 1984).

4.7.1. Mikroskopické metody pro detekci endomykorhizních symbióz

Nejpoužívanější metodou pro kvantifikaci kolonizace AM hub je metoda Grid Line Intersected Method (Giovannetti a Mosse 1980). Tato metoda využívá odhadu a propočtu kolonizovaných kořenů v poměru k jejich celkové délce. Obarvené kořeny jsou rozprostřeny v Petriho misce s mřížkou. Rozměr mřížky je důležitý pro upřesnění celkové délky kořenů rostlin. V mřížce pozorovatel určuje kolonizované a nekolonizované kořeny. Míra kolonizace je následně vyjádřena v procentech (Smith 2009; Bartha 1984; Giovannetti a Mosse 1980).

Některé ze studií se pokoušely přijít na odlišný druh vizuálního hodnocení kolonizace kořenů, například pomocí množství žlutého pigmentu v kořenových buňkách, protože mykorhizní kořeny mají kontrastní (žlutou) barvu oproti nemykorhizním kořenům. Žlutou barvu způsobuje chitin v buňkách. Tato metoda byla ověřena na houbě *G. fasciculatus* a autoři ji doporučují pouze pro krátkodobé experimenty.

Tato metoda byla testována v historii a dnes se ve většině případů již nevyužívá (Becker a Gerdemann 1977; Hepper 1977).

4.7.2. Barvení endomykorhizních symbióz

Nutným předpokladem pro kvantifikaci kolonizace kořenů AM houbami je jejich obarvení. Nejrozšířenější metodou barvení je barvení pomocí trypanové modři, dle (Phillips a Hayman 1970). Používají se různé modifikace této metody, které snižují či zvyšují koncentraci používaných chemikálií, prodlužují či zkracují dobu barvení nebo používají jiné druhy chemikálií (kyselina mléčná a glycerol nahrazují toxický laktofenolem). V minulosti byly vyvinuty různé metody, které barví kořeny AM hub a nepoužívají k tomu karcinogenní trypanovou modř. Jedná se například o barvicí metodu využívající chlorazolovou čern E (karcinogen), fuchsin, anilinovou modř a další. Tyto metody stále využívají poměrně nebezpečné chemikálie (Grace a Stribley 1991).

Existují však metody využívající netoxický inkoust pro barvení kořenů, toto barvení je současnou nejšetrnější používanou metodou. Při tomto metodickém postupu jsou kořeny namáčené do roztoku KOH (10 %), pro rozpuštění buněčné stěny, dále jsou kořeny namáčeny do roztoku inkoustu a kyseliny octové. Pro barvení kořenů inkoustem bylo testováno několik druhů inkoustů černých, modrých i červených. Nejlepší viditelnost houbových struktur byla zjištěna u černého inkoustu (Vierheilig et al. 1998).

Všechny metody barvení endomykorhizních symbióz jsou založeny na principu omytí, projasnění. Projasňování znamená rozpuštění cytoplazmatické membrány všech buněk kořene rostlin. Po následném vymytí projasňujícího roztoku, často hydroxid, je nutné promýt kořeny vodou, poté ve vzorcích rostlin zůstávají jen buněčné stěny rostlin a AM hub (Gryndler et al. 2004).

4.7.3. Molekulární metody pro detekci endomykorhizních symbióz

Pro určení AM hub v kořenech rostlin bylo vyvinuto několik dalších metod odlišných od barvení a následného stanovení kolonizace kořenů pomocí průsečíkové metody, například stanovení pomocí lipidových proteinů, izozymových vzorů a molekulární techniky založené na polymerázové řetězové reakci (PCR). PCR techniky jsou nejcitlivější metodou detekce AM hub v kořenech, kvantitativní PCR reakce je schopna určit i množství daného druhu AM houby v kořenech. Ve všech případech u použití PCR metod pro detekci hub závisí na druhu specifického primeru, který je použit. Primery mohou být jak druhově nebo rodově specifické, tzn., určují v kořenech přítomnost AM hub daného druhu/rodu. Bohužel stále nejsou vytvořeny druhově specifické primery pro veškeré druhy AM hub (Smith 2009; Ishii a Loynachan 2004; Bartha 1984).

Rozvoj molekulárních metod pro určování AM hub uvnitř kořenů rostlin byl výrazným krokem kupředu k jejich rychlejší a přesnější detekci. Molekulární detekce AM hub je využívána nejen samostatně, ale i v kombinacích s různými typy klasického barvení kořenů (Pitet et al. 2009). Metody kombinující jak mikroskopii i PCR detekci jsou vhodné pro přesné určení množství kolonizace a druhu AM houby, která rostlinu kolonizuje. Pro samotnou extrakci DNA AM hub mohou být použity i již obarvené kořeny rostlin, ale extrakce houbové DNA bývá slabá. Pro extrakci DNA jsou používány speciální extrakční kity, následně je DNA AM hub amplifikována pomocí PCR reakce za použití reakčních primerů pro specifické druhy AM hub. (Ishii a Loynachan 2004).

Tvorba specifických primerů je v současnosti velmi diskutovaným tématem. Většinu AM hub nelze kultivovat v in vitro podmínkách a při klasické kultivaci v nádobách často dochází ke kontaminaci kořenů i jinými druhy AM hub. Proto je možné využít specifické primery i pro detekci AM hub z jejich spor získaných z půdy. Spory AM hub obsahují velké množství látek, které inhibují extrakci DNA a následnou purifikaci při PCR reakci, při použití správné metody extrakce a určeného specifického primeru, je kvantifikace AM hub uvnitř kořenů rostlin nejpřesnější (Redecker 2000).

4.8. APLIKACE A DRUHY MYKORHIZNÍCH INOKUL

Protože jsou AM houby obligátní symbionti jejich množení a produkce spor vázaná na žijící kořeny rostlin. Jen několik druhů je možné produkovat v *in vitro* podmínkách. Tento druh množení AM hub je základním problémem masové produkce AM inokul. Inokula na půdní bázi je možné relativně snadno získat, bohužel manipulace a využití v agronomii je složité. Proto jsou nejvíce využívány inokula na bázi expandovaného jílu. Tento materiál je velmi pórovitý, lehký a snadno oddělitelný od mykorrhizních kořenů. Další možností je využití inokul na bázi roztoku, gelu, kořenových kultur a dalších (Azcón-Aguilar a Barea 1997). Bližší rozdělení viz Tabulka 1.

Tabulka 1 Využití různých typů AM inokul (Azcón-Aguilar a Barea 1997; Smith 2001)

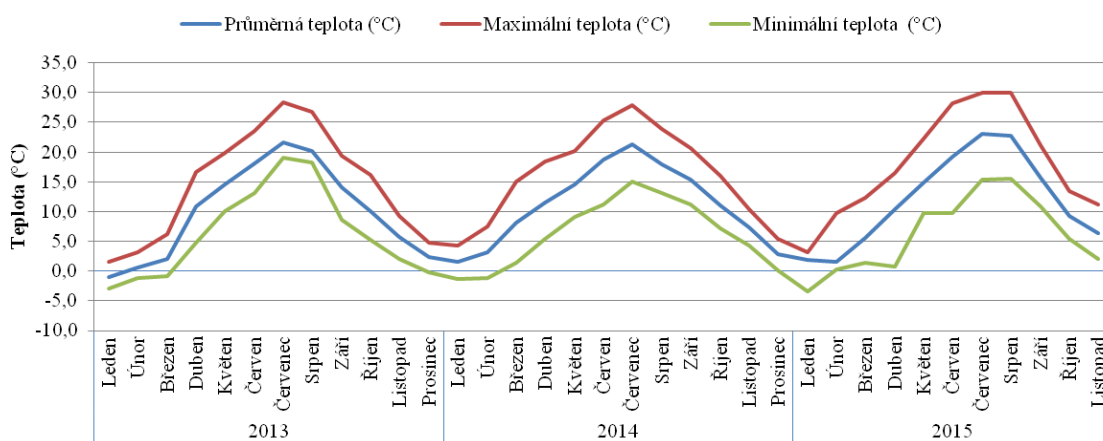
Typ inokula	Nevýhody použití	Výhody použití	Aplikace
Inokulum na bázi půdy	Často nedefinovaný substrát, rozměrný, těžký, nutná sterilizace substrátu	Možnost uskladnění po několik měsíců/let, využití při přesazování matečných rostlin	Zahradnictví, ovocnictví, lesnictví, krajinářství
Bez substrátové inokulum (expandovaný jíl, vermikulit, perlit, písek)	Nutná kontrola a přesná zálivka, substrát přesychá. Náročný na hnojení	Lehčí než půdní substrát, uniformní struktura, možnost vysušení a skladování	Zahradnictví, ukázkové kultury, květinářství, zelinářství, lesnictví, krajinářství
Povrchově sterilované spory AM hub aplikované v podobě polymerovaného gelu, hydrogelu, roztoku	Nejdražší typ substrátu, náročná technologie výroby	Udržení sterility substrátu, možnost využití, aeroponicky vyvinutých kořenů, možnost vysušení a skladování	Výzkum – testování vlivu různých mikroorganismů na AM houby, předpěstování sadby, hydro-osivo, hydroponie

5. MATERIÁL A METODIKA

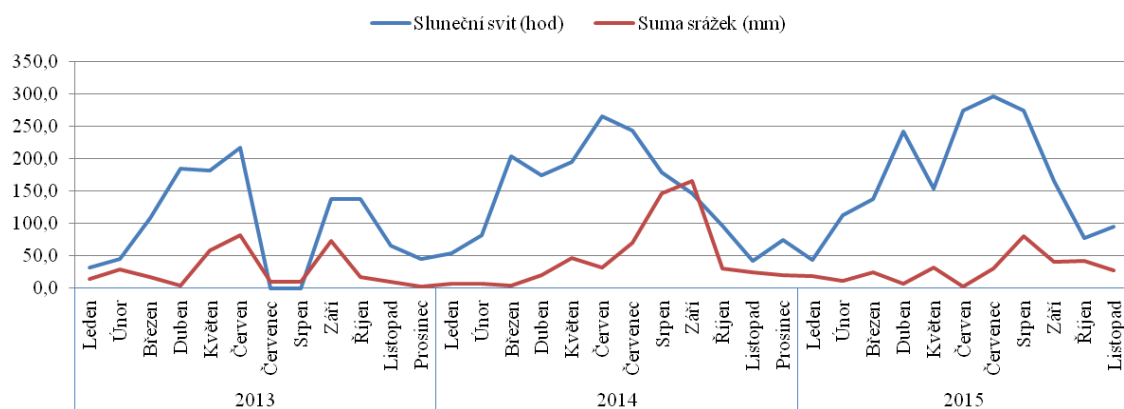
5.1. CHARAKTERISTIKA PROSTŘEDÍ

Disertační experiment probíhal v letech 2013 – 2015 na pozemcích Zahradnické fakulty v Lednici, Mendelovy univerzity v Brně. V roce 2014 a 2015 byly odebrány půdní vzorky a byl stanoven obsah živin v pokusném pozemku, viz Tabulka 2.

Obec Lednice se nachází v Jihomoravském kraji, v nadmořské výšce okolo 200 m. n. m. celá oblast se řadí do mírného klimatického pásma. Dle agroklimatické rajonizace se jedná o oblast teplou se sumou aktivních teplot přesahujících 2800 °C. Záznam z meteorologické stanice v průběhu disertačního experimentu zobrazují grafy na straně 42. Měsíc před samotnou výsadbou rostlin byl pozemek vyhnojen na 70 kg dostupného dusíku ledkem amonným. Pro celý pozemek bylo použito 0,8 kg přípravku.



Graf 1: Průběh teplot v Lednici v letech 2013 – 2015



Graf 2: Suma srážek a průměrný sluneční svit v Lednici v letech 2013 – 2015

Tabulka 2: Obsah živin v experimentálním pozemku 2014 a 2015, Chemická laboratoř Velké Bílovice (2014), Litolab-Chudobín (2015)

2014			2015		
Parametr	Jednotka	Hodnota	Parametr	Jednotka	Hodnota
NH ₄	mg·kg ⁻¹	3,64	NH ₄	mg·kg ⁻¹ suš.	1,01
NO ₂	mg·kg ⁻¹	0,03	NO ₂	mg·kg ⁻¹ suš.	-
NO ₃	mg·kg ⁻¹	1,20	NO ₃	mg·kg ⁻¹	4,61
N _{min.}	mg·kg ⁻¹	4,87	N _{min.}	mg·kg ⁻¹ suš.	5,61
P	mg·kg ⁻¹	113	P	mg·kg ⁻¹	178
C _{ox}	%	1,02	C _{ox}	%	-
Humus	%	1,75	Humus	%	1,61
Mg	mg·kg ⁻¹	440	Mg	mg·kg ⁻¹	421
K	mg·kg ⁻¹	280	K	mg·kg ⁻¹	410
Ca	mg·kg ⁻¹	2930	Ca	mg·kg ⁻¹	4200
pH		6,44	pH		6,83

5.2. TECHNOLOGICKÉ ZABEZPEČENÍ EXPERIMENTU

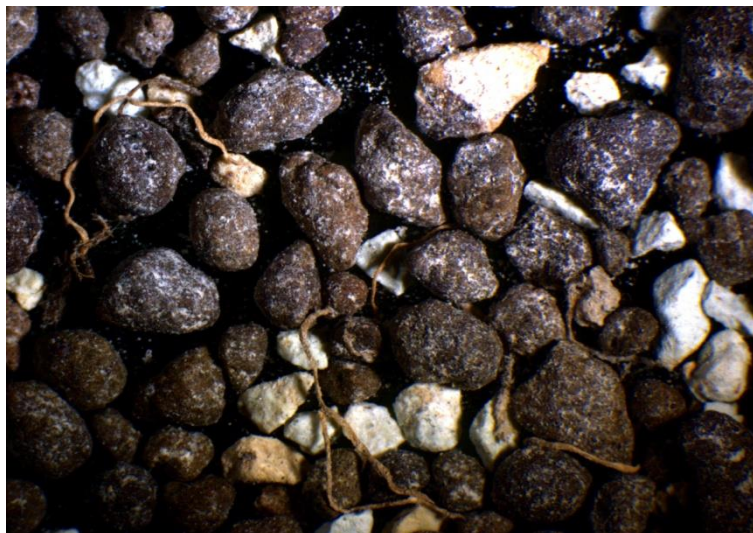
5.2.1. Přípravky

Arbuskulární mykorhizní houby (AMH) použité pro inokulaci rostlin byly dodány firmou Symbiom s.r.o., Lanškroun. Dávkování jednotlivých AM inokul bylo vypočteno z množství 0,015 g houbového inokula na 1 cm³ substrátu. Tato dávka aplikace je doporučeného výrobcem (Symbiom.cz 2015). Přesná hmotnost přidaného inokula byla 0,6 g pro jednodruhové varianty a 0,3 + 0,3 g pro kombinované varianty

Přesné označení AMH (Symbiom s. r. o.)

- *Rhizophagus intraradices* BEG 140
- *Funneliformis mosseae* BEG 95
- *Claroideoglossum claroideum* BEG 210

Každá z testovaných variant byla vyseta do sadbovače se 160 buňkami. Testovány byly 3 varianty jednodruhového AM inokula, označené: RI (*Rhizophagus intraradices*), CC (*Claroideoglossum claroideum*), FM (*Funneliformis mosseae*) a 3 varianty smíšené, označené: RI+CC, CC+FM, RI+FM. K těmto ošetřeným variantám byla vyseta kontrolní varianta (K), která nebyla ošetřena žádným z AM inokul.



Obrázek 6: Mycelium AM hub v zeolitovém substrátu (Symbiom.cz, Kučová, 2014)

Před vlastní inokulací rostlin póru bylo důležité zjistit, jaký je přibližný obsah živých spor v houbovém inokulu. Hodnocení spor probíhá po odvážení 1 g inokula a jeho namočení v destilované vodě. Dále byly spory kvantifikovány vizuálně. Obsah spor v AM inokulech znázorňuje Tabulka 3. Tento obsah může určit kvalitu AM inokul, avšak samotná kolonizace kořenů rostlin nemusí být na tomto údaji závislá.

Tabulka 3 Množství spor v 1 g inokula arbuskulárních mykorhizních hub

Druh inokula	Počet spor v 1 g inokula		
	2013	2014	2015
<i>Claroideoglossum claroideum</i> BEG 210	19	23	25
<i>Funneliformis mosseae</i> BEG 95	9	15	17
<i>Rhizophagus intraradices</i> BEG 140	16	28	23

5.2.2. Rostlinný materiál

Pro disertační experiment byla vybrána jako modelová rostlina pór pravý (*Allium porrum* L.) odrůda ‚Terminal‘. Jedná se o poloranou odrůdu, určenou pro letní a podzimní sklizně. Rostlina je středně vysoká až vysoká, se vzpřímenými středně až tmavě šedozelenými listy. Listy mají silnou voskovou vrstvu. Vhodným obdobím pro předpěstování sadby je konec ledna až druhá polovina dubna. Délka konzumní části se pohybuje okolo 300 – 350 mm (Moravoseed.cz 2015).

5.2.3. Rozložení a agrotechnika experimentu

5.2.3.1. Pěstební technologie

Pór pravý je možné pro komerční produkci pěstovat z přímého výsevu i předpěstované sadby. Ideální teplotou pro předpěstování je 18 °C. Tato teplota je důležitá, jinak může dojít k nechtěné jarovizaci rostlin. Po dosažení výšky cca 50 mm, je nutné teplotu snížit na 15 °C. Kvalitní sadba póru by měla mít průměr kořenového krčku cca 5 – 6 mm (Petříková a Hlušek 2012). Znakem kvalitní sadby jsou dostatečně vyvinuté 2 – 4 listy. Existuje možnost zkrácení listů na polovinu, před výsadbou, které omezí nadměrný výpar přes listy (Petříková 2006). Pro předpěstování póru pravého jsou ideální sadbovače o rozměru buňky 20 x 20 mm.

Pro experiment byly použity sadbovače s 160 buňkami a objemem buňky 20 cm³. Celková doba předpěstování póru se pohybuje od 80 – 100 dní. Rostliny byly vysazeny na konci dubna v obou letech. Pro klíčení je ideální teplota 18 °C, kdy pór klíčí v době od 8 do 20 dnů. Zálivku s obsahem hnojiv je ideální přidávat 1 až 2x za týden po celou dobu předpěstování (Pokluda a Kobza 2011). Následná výsadba probíhá v období, 1. - 20. 6. ve sponu 0,5 x 0,1 m (Petříková a Hlušek 2012). Experimentální rostliny byly vysazeny v 1. polovině června. Výsadba proběhla na dno předem připravených rýh, do hloubky 0,1-0,12 m. Vzhledem k tomu, že se vysazuje v 1. polovině června pro podzimní odrůdu ‚Terminal‘, je nutné ihned aplikovat závlahu. V průběhu pěstování se pór 2 – 3 x zahrne, aby se docílilo maximálního vybělení konzumní části (Petříková 2006). Sklizeň obvykle nastává v období 1. 9. – 30. 11. (Petříková a Hlušek 2012). Samotná sklizeň v obou experimentálních letech proběhla na konci října.

Pro předpěstování sadby a dopěstování sazenic do konzumní velikosti v kontejnerech byl použit substrát *Klasmann TS 3 STANDARD*, určený pro růst zeleninové sadby. Tento substrát složený z 80 % z bílé rašeliny a z 20 % z rašeliny černé byl použit nejen pro předpěstování sadby a i jako mix 1:1 s ornici pro dopěstování sadby póru v kontejnerech. Substrát *Klasmann TS 3 STANDARD* má velkou pórovitost, jemnou a stabilní strukturu, vysokou vodní kapacitou a již upravené pH na 5,5 – 6,5. Elektrická vodivost substrátu je $30 \text{ mS}\cdot\text{m}^{-1}$. Hnojivo přidané v substrátu je v poměru $1 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, poměr N:P:K (14:16:18). Přesný obsah jednotlivých prvků v substrátu je následující: $100 - 240 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ N, $70 - 150 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ P_2O_5 , $140 - 300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ K_2O , $60 - 100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ Mg (Pasic.cz 2015).

5.2.3.2. Rozložení experimentu

2013

Při prvotním návrhu disertační práce bylo počítáno pouze s experimentem s předpěstovanou sadbou póru pravého (*Allium porrum* L.) odrůdy ‘Terminal’. Měly být testovány přípravky nejen na bázi AM hub, ale i další mikroorganismy (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*). Bohužel nebylo možné po každý experimentální rok zabezpečit dané množství a stejný typ mikroorganismů, proto byl experiment změněn a oborovou radou schválen, na experiment s předpěstovanou sadbou s následným dopěstováním do konzumního stavu, při použití pouze AM houbových inokul a jejich kombinací.

2014 a 2015

V roce 2014 již bylo postupováno dle nového zadání práce. Rostliny póru byly vysety společně s přesným množstvím inokula (0,6 g) do sadbovače se 160 buňkami, vždy jeden sadbovač pro jednu variantu ošetření. Každý sadbovač byl izolován, aby nedošlo ke kontaminaci variant při záливce. Po následném minimálně dvouměsíčním předpěstování ve skleníku, proběhla výsadba rostlin na pokusný pozemek do 7 řádků s náhodně vygenerovanými bloky pro jednotlivé varianty (7 řádků x 5 opakování,

20 rostlin v opakování). Spon výsadby 0,1*0,5 m, rozměr pozemku 45 m², pozemek byl zavlažován mikropostřikem. ¹

Dále byly předpěstované rostliny v letech 2014 a 2015 vysazeny do kontejnerů o objemu 2 l s různě ošetřeným pěstebním substrátem. A - sterilní podmínky, B - nesterilní podmínky. Kontejnery byly umístěny v otevřeném pařeništi, s automatickou kapkovou závlahou. Typ kontejneru BCS 2l, výška 170 mm. Pro každou z variant ošetření rostlin a substrátu bylo vysazeno 5 rostlin (A varianta 7*5rostlin, B varianta 7*5 rostlin, celkem 70 ks). Substrát byl vysterilován pomocí gama záření ve firmě Bioster a.s., Veverská Bítýška. Kontejnery byly zavlažovány automatickou kapkovou závlahou.

- **A Varianta** - sterilní substrát kontejnery, 2 l kontejner, 1/2 sterilní substrát z pozemku, 1/2 sterilní substrát TS 3, tzn. 70 l půdy a přidání 70 l zahradnického substrátu, 5 rostlin pro variantu.
- **B Varianta** - 2 l kontejner, 1/2 substrát z pozemku, 1/2 substrát TS 3, tzn. odběr 70 l půdy a přidání 70 l zahradnického substrátu, 5 rostlin pro variantu.²

5.3. HODNOCENÍ ROSTLIN PŘED VÝSADBOU

V termínu výsadby rostlin na pole, proběhlo hodnocení předpěstované sadby rostlin póru. U každé ze 7 variant se hodnotilo:

- **hodnocení kolonizace kořenů AMH**
- **délka rostlin** (nadzemní i kořenové části)
- **hmotnost** (nadzemní i kořenové části)
- **počet listů**, 7 variant, 20 rostlin

¹ Viz přílohy Obrázek 7, Obrázek 8, Obrázek 9

² Viz přílohy:

Obrázek 10, Obrázek 11, Obrázek 12, Obrázek 13

5.3.1. Metody stanovení hospodářských vlastností

Veškeré hodnocení velikosti rostlin nebo jejich jednotlivých částí probíhalo pomocí přesného technického měřidla s digitálním zaznamenáváním. Pro mikroskopování byl použit mikroskop LEICA CTR5000 s programem Leica application Suit. Laboratorní stanovení obsahových látek probíhalo dle níže uvedených modifikovaných metodik.

5.3.1.1. Stanovení hmotnosti a morfologických znaků rostlin

Hodnocení hmotnosti rostlin a morfologických znaků proběhlo vždy před výsadbou rostlin a ihned po sklizni rostlin. Hmotnost po sklizni rostlin se stanovovala u rostlin upravených odstraněním kořenového systému. Listová plocha byla ponechána. Hodnotila se délka rostlin (mm), výška konzumní části (mm), hmotnost rostlin (g) a zařazení do jakostní třídy dle normy ČSN 46 3163.

5.3.1.2. Jakostní třízení dle normy ČSN 46 3163

Pór pravý (*Allium porrum* L.) se třídil dle doporučené jakostní normy ČSN 46 3163. Tato norma rozděluje třídění póru do dvou skupin: I. a II. jakost. Mezi minimální požadavky normy patří především vzhled, nevybělenost celkové konzumní části. Pór musí být zdravý, nedovolují se výrobky napadené hnilobou nebo plísní. Musí být čerstvého vzhledu, zbavený zavadlých a poškozených listů. Není povolena nadměrná povrchová vlhkost, cizí pach či chuť.

Pór zařazený do I. jakostní skupiny splňuje výše zmíněné požadavky, dovolují se lehké povrchové vady, které ale nesmí zhoršovat celkový vzhled rostliny. Bílá část tvoří minimálně $\frac{1}{3}$ celkové délky nebo $\frac{1}{2}$ zavinuté části.

Ve II. jakostní skupině jsou zařazeny rostliny, které nelze zařadit do první, ale stále odpovídají minimálním požadavkům. Bílá nebo nazelenale bílá část tvoří $\frac{1}{4}$ z celkové délky póru nebo $\frac{1}{3}$ ze zavinuté části. Dovoluje se lehce křehký květní stvol, pokud je uvnitř zavinuté části, dále i lehké otlaky, rzivé skvrny na listech a lehké vady vybarvení a stopy zeminy uvnitř zavinuté části.

5.4. HODNOCENÍ ROSTLIN PO SKLIZNI

U každé z variant byly laboratorně stanovovány tyto obsahové látky:

- Hodnocení procenta kolonizace kořenů rostlin AMH
- Sušina (%)
- Hrubá vláknina (%)
- Celkový obsah dusíku (%)
- Celkový obsah fosforu ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
- Celková antioxidační kapacita - TAC ($\text{mM Trolox}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
- Vitamin C ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
- Těžké kovy: Zn ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
Cd ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
Pb ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
Cu ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty
- Dusičnany ($\text{NO}_3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) čerstvé hmoty

5.4.1. Metody stanovení nutričních hodnot

Stanovení nutričních parametrů probíhalo u každé ošetřené varianty vždy v 5 opakováních, každé opakování bylo složeno z průměrného vzorku rostlin póru.

5.4.1.1. Barvení kořenů inokulovaných AM houbami

Pracovní postup: Barvení trypanovou modří, modifikace podle (Phillips a Hayman, 1970). Odebrané vzorky kořenů rostlin byly omyty ve vodě, následně namáčeny v 2% roztoku KOH. Při namáčení v KOH dochází k zmydelnění cytoplazmatické membrány všech buněk vzorku. Doba namáčení je závislá od stáří rostlin. Pohybuje se cca od 6 do 24 hodin, dobu je možné zkrátit krátkým povařením nebo autoklávováním (15 – 20 min, 121°C). V našem případě byly kořeny namáčeny po dobu 20 hodin. Povaření se nedoporučuje u mladých či jemných kořenů, např. okurky, pór, bazalka. Následně byly kořeny promyty ve vodě a namáčeny v 1% HCl, délka namáčení byla 5 – 10 min. Po vyjmutí kořenů z HCl již nebyly vzorky omyty a byly přelity trypanovou modří, znovu namáčeny (20 hodin). Po vyjmutí z trypanové modři bylo nutné kořeny důkladně promýt v tekoucí vodě, následně byly konzervovány v roztoku lactoglycerolu. Existuje možnost fixáže předem připravených mikroskopických preparátů, pomocí glycerželatiny.

Použité chemikálie: 2% KOH, 1% HCl, laktoglycerol (80% kyselina mléčná, glycerol, destilovaná voda 1.1:1), 0,05% trypanová modř, glycerželatina

5.4.1.2. Hodnocení rozsahu mykorhizní kolonizace

Samotné hodnocení kolonizace kořenů AM houbami bylo prováděno vizuálně. Jednotlivé kořeny byly rozděleny vždy na 10 segmentů o délce 10 mm. Je velmi důležité eliminovat ohyb kořenů pod krycím sklíčkem. Při vizuálním hodnocení je možné použít podložní sklíčko s naznačenými liniemi s rozstupem vždy 1 mm. Vždy v daném rozmezí ohodnotíme, zda byla nalezena kolonizace nebo ne, tím získáme procentuální údaj pro každý vzorek kořenů. Hodnocení bylo prováděnou klasickou průsečíkovou metodou (Grid line intersected method) vždy u 4 směsných vzorků od každé z variant.

Vzorec pro výpočet procenta kolonizace (%C): $\%C = 100\Sigma(+)/(\Sigma(+) + \Sigma(-))$

Tento druh hodnocení je technicky nenáročný, některé studie používají metodu objektivního hodnocení kolonizace, kterou popsali McGonigle et al. (1990).

5.4.1.3. Stanovení sušiny

Principem stanovení laboratorní sušiny je odstranění vody ze vzorků, kde se zastaví enzymatické pochody, které by mohly způsobovat změny složení vzorků a zároveň umožní následné pomletí a homogenizaci (Zbiral a kolektiv 2005).

Pracovní postup: Větší čisté nebo dekontaminované vzorky byly dle potřeby upraveny na menší části. Nutné bylo zvážit hmotnost vzorků před samotným sušením (m_1). V horkovzdušné sušárně byly vzorky sušeny při teplotě 65 °C a před mletím se krátce dosušily při teplotě 80 °C. Pokud to umožňuje charakter stanovení, pak se vzorky po pomletí dosuší při 105 °C. Následně byly vzorky zváženy (m_2) a výsledné množství sušiny v procentech bylo vypočteno pomocí vzorce:

$$M (\%) = (m_2 - m_1) * 100$$

5.4.1.4. Stanovení obsahu hrubé vlákniny

Hrubá vláknina je nerozpustná a po postupném vyluhování v kyselinách a hydroxidech zůstává. Hrubá vláknina se v zelenině stanovuje za použití sáčků FibreBag. Stanovení probíhá dle metodiky AOCS (AOCS 2006).

Pracovní postup: Sáčky FibreBag byly sušeny při 105 °C po dobu jedné hodiny.

Promývací fáze 1: Do kádinky s 360 ml H₂SO₄ je připojeno ruční nářadí na karusel a jemně ponořeno do kádinky. Přivedeme k varu, omezíme na 90 °C a udržujeme teplotu po dobu 30 minut. Nutné po uplynutí doby promýt v horké destilované vodě, ideálně ve dvou oddělených kádinkách.

Promývací fáze 2: Do kádinky s 360 ml KOH je připojeno ruční nářadí na karusel a jemně ponořeno do kádinky. Přivedeme k varu, omezíme na 90 °C a udržujeme teplotu po dobu 30 minut. Nutné po uplynutí doby promýt v horké destilované vodě, ideálně ve dvou oddělených kádinkách, necháme okapat.

Sušení FibreBag sáčků: Sáčky FibreBag byly vloženy do keramických kelímků, předem vyžehnaných na 600 °C. Poté byly kelímky se vzorky sušeny při 105 °C, hmotnost kelímků se sušenými vzorky je v protokolu zanesena jako hodnota χ . Následně sáčky zpopelníme při 600 °C po dobu 4 hodin.

$$\% \text{ hrubé vlákniny} = (((\chi - \alpha) - (\delta - \zeta)) * 100 / \beta)$$

$$\text{Slepý vzorek } \zeta = \delta - \psi$$

α	hmotnost sáčku (g)
β	hmotnost vzorku (g)
χ	hmotnost kelímku se sušeným vzorkem (g)
δ	hmotnost kelímku s popelem hmotnost slepého vzorku (g), samostatný sáček
ζ	hmotnost slepého vzorku (g), samostatný sáček bez vzorku
ψ	hmotnost kelímku hmotnost slepého vzorku (g), samostatný sáček

5.4.1.5. Stanovení dusičnanů

Dusičnany se v zelenině stanovují iontově selektivní elektrodou (ISE). Ve výluhu zelenin je měřen potenciál (pomocí ISE), který se porovnává s referenční merkurosulfátovou elektrodou. Měřeno je několik referenčních vzorků a dále je sestrojena kalibrační křivka. Změna koncentrace o řád by měla dopovídat změně elektrického potenciálu o 59,2 mV (Javorský et al. 1987).

Princip metody: Homogenizace vzorků probíhala v roztoku $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ z homogenizátu bylo odebráno 20 g směsi, následně přidáno 20 ml $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a 1 ml 30% H_2O_2 , následně se směs vaří po dobu 5 minut. Povařený vzorek se doplní na objem 100 ml $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Následně se měří potenciál dusičnanové ISE proti referenční merkurosulfátové elektrodě.

5.4.1.6. Stanovení celkového dusíku

Metodika využívá stanovení dle Kjeldahl (1883), tato metoda stanovuje koncentraci organického a amoniakálního dusíku ve vzorku po mineralizaci. Mineralizace se provádí kyselinou dusičnou (HNO_3). Stanoven je jednak amoniakální dusík a jednak dusík organicky vázaný.

5.4.1.7. Stanovení celkového fosforu

Celkový fosfor byl stanovován spektrofotometricky, před samotným stanovením je důležité mineralizovat vzorky. Samotná mineralizace probíhá z předem vysušených vzorků. Celkový fosfor byl hodnocen dle normy ČSN EN 1136.

Princip metody: Fosforečnany tvoří v kyselém prostředí v přítomnosti molybdenanu a vanadičnou žlutě zabarvenou heteropolykyselinu molybdátovanadátosfosforečnou. Intenzita jejího zabarvení se měří spektrofotometricky a její vyhodnocení se provádí metodou kalibrační křivky. Pro samotné stanovení je nutný roztok molybdenanu amonného, vanadičnou amonného, které se dále mísí s demineralizovanou vodou. Jako standardní roztok se používá $0,5 \text{ g} \cdot \text{l}^{-1}$ dihydrogenfosforečnanu draselného (KH_2PO_4).

5.4.1.8. Stanovení celkové antioxidační kapacity metodou DPPH

Metoda DPPH je založena na zhášení radikálového kationtu DPPH⁺ (2,2 – difenyl – 1 - pikrylhydrazyl) (Brand-Williams et al. 1995). Tento kationt má za normálních podmínek fialové zabarvení a po redukci vytváří zabarvení žlutavé. Reakčním roztokem tohoto stanovení je 100 $\mu\text{M}\cdot\text{l}^{-1}$ Troloxu. Reakce je nejčastěji sledována spektrofotometricky. Pokles absorbance při 517 nm se měří buď po uplynutí určitého konstantního času, nebo se pracuje v kinetickém režimu. Test lze provádět i na mikrotitračních destičkách. Reakci je možno sledovat i metodou elektronové spinové rezonance (ESR) nebo HPLC.

Princip metody: Absorbance u vzorků byla měřena po uplynutí 30 minut, při vlnové délce 517 nm. Jako standardizační roztok byl použit Trolox (6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-karboxylová kyselina). Výsledná antioxidační kapacita je vyjadřována jako mM ekvivalent Troloxu na 100 g sušiny ($\text{mM Trolox}\cdot 100\text{g}^{-1}$) následuje přepočítání na $\text{mM Trolox}\cdot\text{kg}^{-1}$ čerstvé hmoty. Extrakce rostlinného materiálu v 75% metanolu trvala 24 hodin.

5.4.1.9. Stanovení kyseliny askorbové metodou kapalinové chromatografie

Kyselina askorbová je jeden z nejdůležitějších vitaminů a v potravinách působí jako antioxidant. Kyselina askorbová je po předcházející úpravě vzorku stanovena přímou metodou vysoko účinné kapalinové chromatografie (HPLC) kdy je použit režim s obrácenými fázemi (RP), a detekce je prováděná v ultrafialové oblasti spektra. Kvalitativní určení je provedeno z retenčních dat, kvantitativní stanovení z plochy píku vzorku a standardu (Sawant et al. 2010).

Laboratorní prostředí analýzy: analytická kolona YMC – Triart C18 150 x 4,6 mm. D. S---5 μl 12nm TA12SO5 1546WT, předkolona CGC 3x30 Separon SGX 18,7 nm, izokratický režim mobilní fáze (tetrabutylamonium hydroxid), kyselina šťavelová, destilovaná voda, 10:20:70. Průtok kolonou 0,5 ml/min, objem nástřiku 20 μl , vlnová délka 254 nm.

5.4.1.10. Stanovení obsahu těžkých kovů

Zinek je významným antioxidantem, pro jeho stanovení se používá stejné metody jako pro stanovení těžkých kovů. Používá se průtoková rozpouštěcí chronopotenciometrie. Ionty kovů se elektrochemicky vyloučí na pracovní elektrodě jako základní kov. V dalším kroku se vyloučený depozit kovu v konstantním proudu rozpustí a zaregistruje se jeho signál do chronopotenciogramu, ze kterého se vypočte koncentrace kovu ve vzorku. Metodika tohoto stanovení je převzata od výrobce přístroje, firmy ISTRAN.SK

Princip metody: Mineralizovaný vzorek byl přenesen do PTFE odpařovací nádoby pod infralampu, odpařil se do sucha. Zbylá suchá hmota se rozpustila v $0,1 \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ HCl. V případě výskytu pevných částic bylo nutné vzorek přefiltrovat a nechat roztok usadit a pro analýzu odebírat pouze část vzorku nad usazeninou. Vzorky byly po analýze vyhodnocovány pomocí kalibrační křivky na přístroji EcaFlow, Istran.

5.1. POUŽITÉ STATISTICKÉ METODY

Výsledky experimentu byly zpracovány v programu Statistica CZ 12, pro parametrická data byla použita analýza rozptylu (ANOVA) s následným testováním dle Scheffeho ($p = 95 \%$), na hladině významnosti alfa 0,05. Pro neparametrická data byla použita neparametrická Kruskal-Wallisova analýza. Použitá metoda pro testování dat je vždy uvedena u daného grafu/tabulky. Svorcky zobrazené u jednotlivých grafů znázorňují směrodatnou odchylku.

6. VÝSLEDKY

Legenda: Použitý druh mykorhizní houby a označení v textu práce.

- *Rhizophagus intraradices* RI
- *Funneliformis mosseae* FM
- *Claroideoglobus claroideum* CC
- *Rhizophagus intraradices* + *Claroideoglobus claroideum* RI+CC
- *Claroideoglobus claroideum* + *Funneliformis mosseae* CC+FM
- *Rhizophagus intraradices* + *Funneliformis mosseae* RI+FM

Grafy v textu práce znázorňují průměrné stanovené hodnoty, úsečky ve sloupcích označují směrodatné odchylky.

6.1. VLIV MYKORHIZNÍ SYMBIÓZY NA SADBŮ PÓRU PRAVÉHO (*A. PORRUM* L.)

Část disertačního experimentu byla zaměřena na pozorování vlivu AMH na fyziologické vlastnosti předpěstované sadby póru pravého (*Allium porrum* L. odrůda 'Terminal'), sledovány byly především morfologické parametry jako je výška nadzemní části předpěstovaných rostlin a celková hmotnost rostlin, dále byla hodnocena míra kolonizace kořenů rostlin póru.

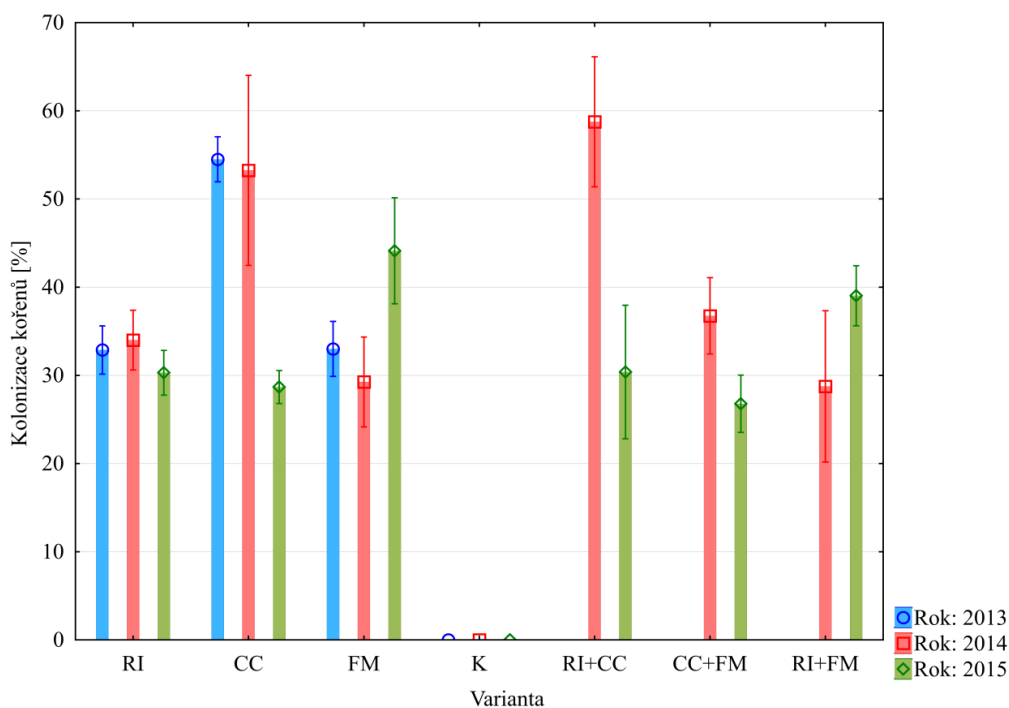
6.1.1. Kolonizace kořenů sadby póru

Při hodnocení kolonizace kořenů předpěstovaných rostlin póru vykazovala neošetřená, kontrolní varianta průměrnou míru kolonizace 0,0 % ve všech experimentálních letech (2013, 2014 a 2015). Tato nulová míra kolonizace byla způsobena pěstováním ve speciálním zahradnickém substrátu, při předpěstování rostlin bylo zabráněno kontaminaci substrátu (prostorová izolace) s ostatními variantami s přidavkem mykorhizních inokul. Nejvyšší míru kolonizace kořenů sadbových rostlin v roce 2013 vykazovala varianta *C. claroideum* (CC 54,5 %), v roce 2014 *R. intraradices* + *C. claroideum* (RI+CC 58,8 %) a v roce 2015 varianta *F. mosseae* (FM 44,1 %). V roce 2013 byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi kontrolní variantou (K 0,0 %) a variantou CC (54,5 %). Míra kolonizace předpěstovaných rostlin v roce 2013 byla sledována pouze u variant ošetřených jednotlivými druhy AMH a u kontrolní varianty, v tabulce na straně 57 nejsou zařazeny varianty ošetřené půdními bakteriemi.

Variety ošetřené houbou *C. claroideum* nebo jejími kombinacemi vykazovaly ve všech experimentálních letech vyšší míru kolonizace oproti ostatním variantám. Pouze v roce 2015 byla zjištěna nejvyšší kolonizace u ošetření s použitím houby *F. mosseae* (FM 44,1 %, rok 2015) a ne v kombinacích houby *C. claroideum*.

V roce 2014 byly statisticky významné rozdíly ověřeny pomocí Kruskal-Wallisovy analýzy. Rozdíly byly zjištěny mezi kontrolní variantou (K 0,0 %) a variantami CC (53,3 %) a RI+CC (58,8 %), v roce 2015 stejná analýza potvrdila statisticky významné rozdíly mezi kontrolou (K 0,0 %) a variantami *F. mosseae* (FM 44,1 %) a RI+FM (39,0 %). Jako houby nejvíce infikující kořeny rostlin póru se v experimentu s předpěstovanou sadbou projevíly *C. claroideum* a *F. mosseae*, a to nejen při jejich samostatném použití, ale i v kombinacích s dalšími druhy AMH.

Celkovou míru kolonizace kořenů AMH v průběhu všech experimentálních let znázorňuje Graf 3 a všechny hodnoty uvádí Tabulka 4.



Graf 3 Průměrná míra kolonizace předpěstované sadby

Tabulka 4 Průměrná míra kolonizace kořenů sadby

2013		2014		2015	
Varianta	Průměr (%) ± SD	Varianta	Průměr (%) ± SD	Varianta	Průměr (%) ± SD
RI	32,80±7,70 ^b	RI	34,00±6,8 ^{ab}	RI	30,30±5,10 ^b
CC	54,50±7,20 ^c	CC	53,25±21,5 ^b	CC	28,68±3,70 ^b
FM	33,00±8,80 ^b	FM	29,25±10,2 ^{ab}	FM	44,13±12,00 ^b
K	0,00±0,00 ^a	K	0,00±0,00 ^a	K	0,00±0,00 ^a
-	-	RI+CC	58,75±14,8 ^b	RI+CC	30,38±15,20 ^b
-	-	CC+FM	36,75±8,7 ^b	CC+FM	26,78±6,50 ^b
-	-	RI+FM	28,75±17,2 ^{ab}	RI+FM	39,03±6,80 ^b

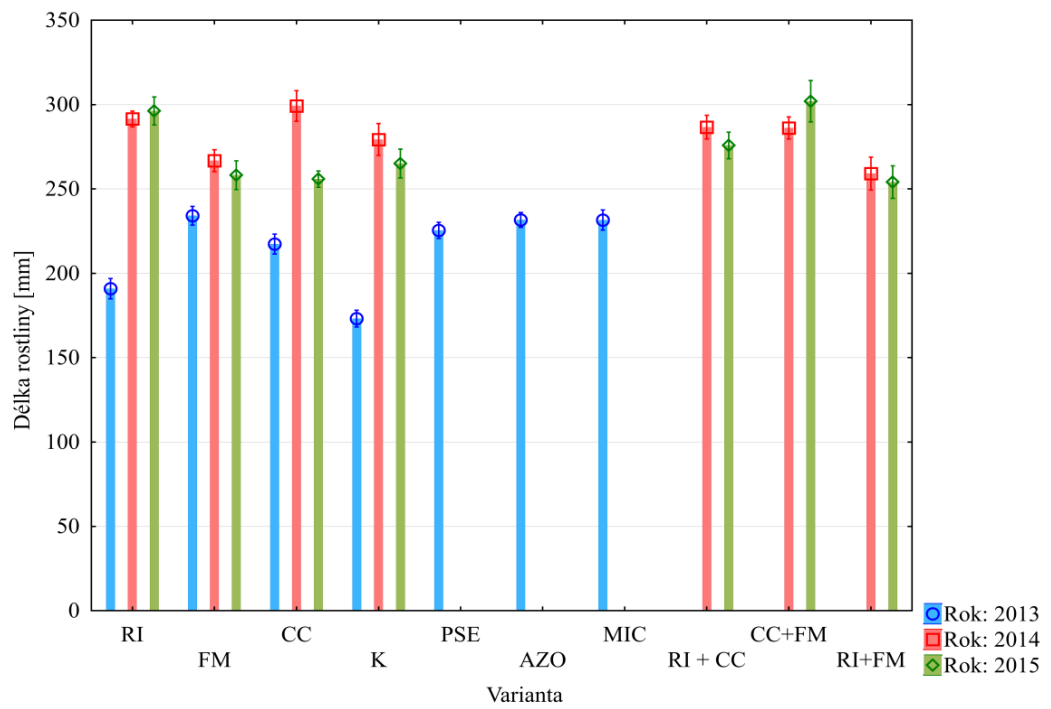
Rozdílné písmena (^{a,b,c...}) ve sloupcích značí rozdíl mezi variantami, ANOVA, Scheffeho test, $p < 0,05$, průměr ±SD (směrodatná odchylka)

6.1.2. Výška nadzemní části sadby póru

Jedním z důležitých fyziologických parametrů hodocených u předpěstované sadby zelenin byla i výška nadzemní části rostlin. Tento parametr byl sledován ve všech experimentálních letech, avšak pouze v roce 2013 byla výška nadzemní části rostlin u kontrolní neošetřené varianty nejnižší (173,2 mm), tento rozdíl byl statisticky průkazný na hladině významnosti $p < 0,05$ pomocí Kruskal-Wallisovy analýzy.

V letech 2014 a 2015 již nebyly ověřeny signifikantní rozdíly mezi kontrolní variantou (K 2014, 279,3 mm, K 2015 265,1 mm) a variantami inokulovanými AMH, i přesto, že většina variant ošetřená kombinací houby *C. claroideum* a dalšími druhy AMH vykazovaly průměrně nejdelší rostliny póru. Například v roce 2014 to byla varianta CC+FM 302,0 mm tzn., ošetření AM houbami v letech 2014 a 2015 potvrdilo vliv na výšku nadzemní části sadby póru. Podrobná data viz přílohy Tabulka 7.

Při porovnávání výšky nadzemní části předpěstovaných rostlin byl zjištěn signifikantní rozdíl mezi kontrolou a ošetřenými variantami pouze v roce 2013, a to u variant ošetřenými půdními bakteriemi typu *Azospirillum* (231,6 mm), *Pseudomonas* (225,4 mm) a *Micrococcus* (231,6 mm) viz Graf 4. Varianty *Azospirillum*, *Pseudomonas* a *Micrococcus* byly použity pouze v roce 2013, v letech 2014 a 2015 byly rozdíly mezi variantami dle Kruskal-Wallisovy analýzy statisticky neprůkazné i přes to, že varianty ošetřené kombinovanými AMH inokuly prokázaly zvýšený nárůst nadzemní části sadby póru. Grafické znázornění porovnání výšky nadzemní části viz Graf 4.

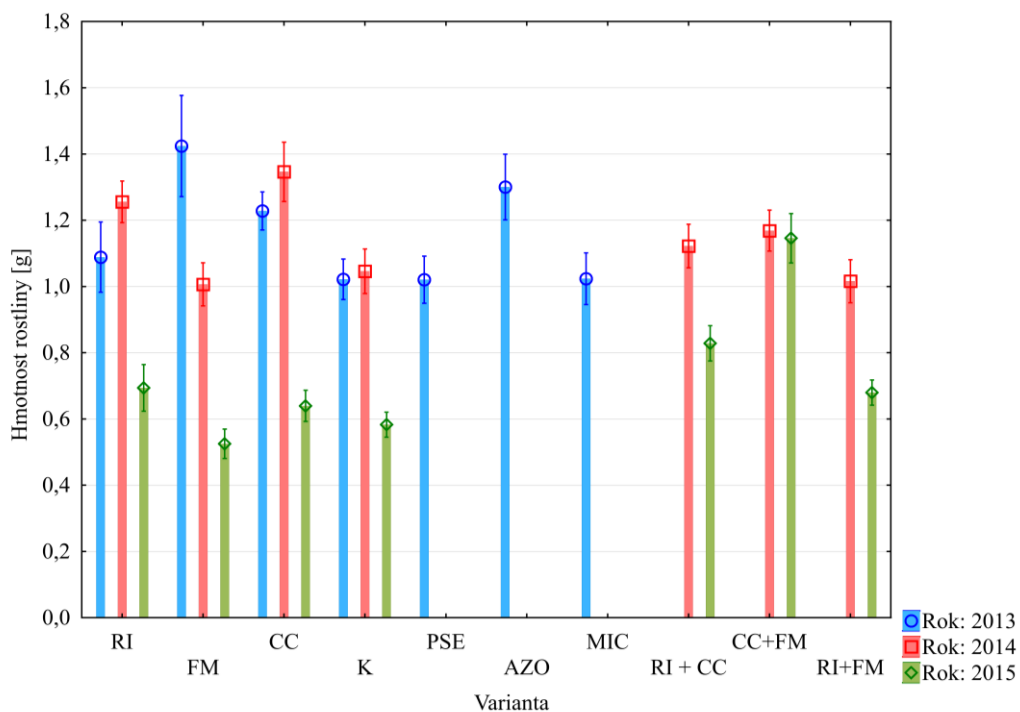


Graf 4 Výška nadzemní části předpěstovaných rostlin (mm), rok 2013 - 2015

6.1.3. Hmotnost sadby póru

Celková hmotnost rostlin sadby póru a jejich kořenové části nevykazovala v rámci pokusných let žádné statisticky významné rozdíly. Sledování vlivu inokulace AMH ověřilo, že kontrolní neošetřené varianty často vykazovaly jedny z nejnižších získaných hodnot hmotnosti rostlin (rok 2013 K 1,02 g, rok 2014 K 1,05 g, rok 2015 K 0,58 g). Nejvyšší hmotnost rostlin byla stanovena v roce 2015 u varianty ošetřené houbami *C. claroideum* a *F. mosseae* (CC+FM 1,15 g), v roce 2014 varianta s AM houbou *C. claroideum* (CC 1,35 g) a v roce 2013 varianta ošetřena AM houbou *F. mosseae* (FM 1,42 g).

V rámci variant a jednotlivých experimentálních let jsou rozdíly viditelné. Je zřejmé, že v roce 2015 byly hmotnosti předpěstovaných rostlin v porovnání s ostatními lety nejnižší. Roky 2013 a 2014 jsou ve výsledcích často podobné, například u variant RI, CC, K, CC+FM. Nejvyšší nárůst hmotnosti rostlin byl pozorován například v roce 2013 oproti ostatním experimentálním letem u varianty ošetřené houbou *F. mosseae*. Více výsledků zobrazuje Tabulka 6 (viz přílohy) a Graf 5.



Graf 5 Hmotnost předpěstovaných rostlin póru

6.2. VLIV MYKORHIZNÍ INOKULACE NA MORFOLOGII ROSTLIN PÓRU PRAVÉHO

(*A. PORRUM* L.)

Další částí disertačního experimentu bylo hodnocení fyziologických vlastností rostlin póru pěstovaného v polních podmínkách. Hodnoceny byly parametry jako celková délka rostlin (mm), hmotnost rostlin bez kořenového systému (g) a délka konzumní části rostlin póru (mm) u jednotlivých testovaných variant. Proběhlo stanovení kolonizace kořenů AMH v polních podmínkách a v nádobovém experimentu s odlišnými druhy substrátu.

6.2.1. Kolonizace kořenů rostlin

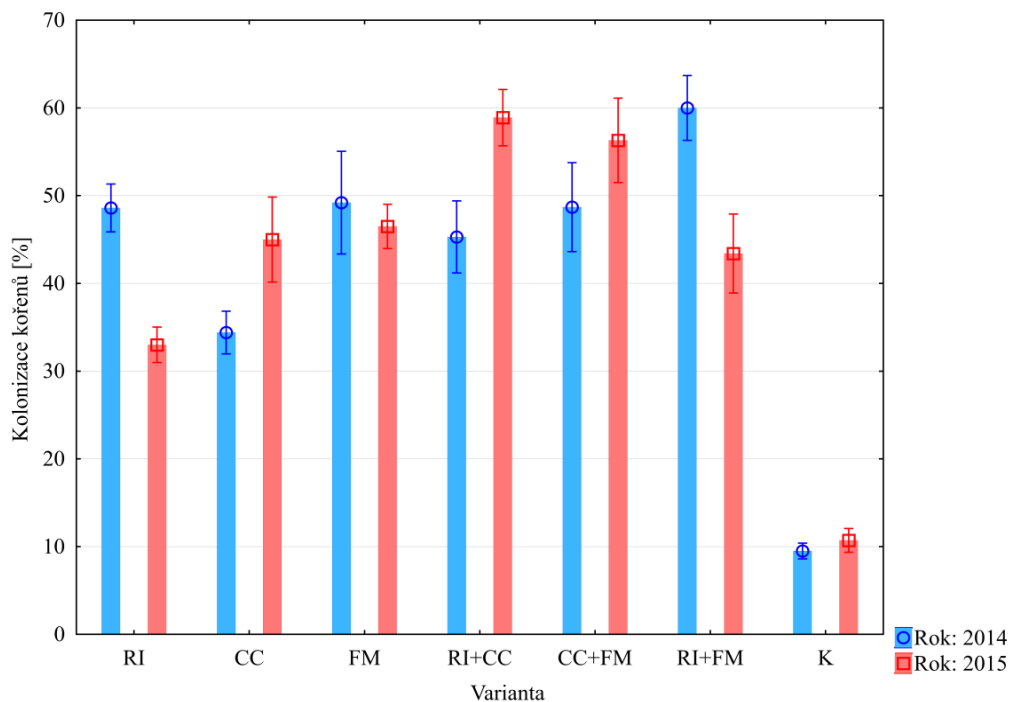
Hodnocení kolonizace kořenů mykorhizními houbami bylo prováděno v různých půdních podmínkách, protože cílem bylo porovnat míru kolonizace rostlin póru v polním experimentu a v nádobovém pokusu se sterilním substrátem (A) a nesterilním substrátem (B). Rozdílná míra kolonizace může pomoci k objasnění vlivu námi použitých AMH v polních podmínkách a jejich vlivu na dané růstové parametry.

Kolonizace kořenů rostlin póru se v polních podmínkách pohybovala u kontrolní varianty v obou letech v rozmezí 9,5 % (2014) a 10,7 % (2015).

Nejvyšší míra kolonizace v rámci testovaných variant polního experimentu byla v roce 2014 prokázána u varianty kombinující AMH *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM 60,0 %). Ostatní varianty vykazovaly míru kolonizace v rozmezí 45,0 % až 48,6 %. Nejnižší míra kolonizace u inokulovaných variant byla zjištěna u varianty ošetřené AM houbou *C. claroideum* (CC 34,4 %).

V roce 2015 byla míra kolonizace kořenů velmi podobná s rokem 2014, pouze několik hodnot se lišilo výrazněji. Nižší procento kolonizace kořenů než v roce 2014 bylo stanoveno u varianty RI (2015 33,0 % a 2014 48,6 %), která v roce 2015 vykazovala nižší míru kolonizace, a u varianty s mykorhizními houbami *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM 43,4 %) a i u varianty FM (46,5 %). Nejvyšší míra kolonizace v roce 2015 byla zjištěna u varianty kombinující *R. intraradices* a *C. claroideum* (RI+CC 58,9 %).

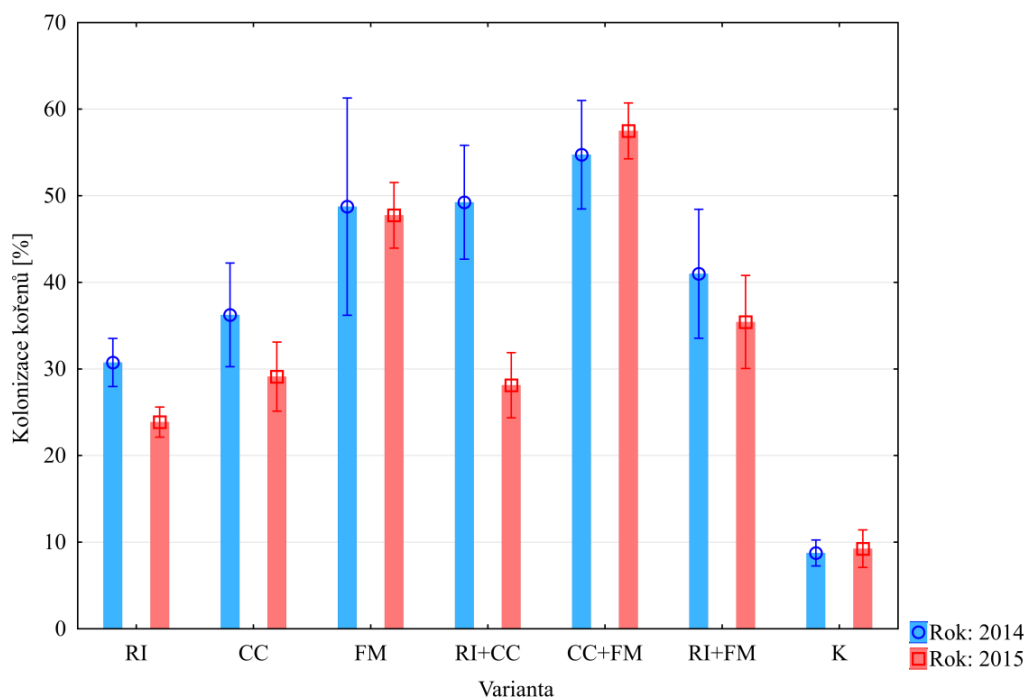
Rozdíly v polním experimentu mezi kontrolní neošetřenou variantou v obou experimentálních letech a variantami ošetřenými AMH byly potvrzeny, na hladině významnosti 95 %, pouze v roce 2014 nebyl statisticky potvrzen rozdíl mezi kontrolní variantou a variantou CC (34,4 %). Podobný výsledek v roce 2015 byl zjištěn mezi kontrolní variantou a variantou ošetřenou houbou *R. intraradices* (RI 33,0 %). Tento rozdíl nebyl potvrzen statistickou analýzou, viz Graf 6. Všechna získaná data ke kolonizaci kořenů rostlin zobrazuje Tabulka 15 v přílohách disertační práce.



Graf 6 Míra kolonizace kořenů rostlin póru v polních podmínkách (%)

Důležitým testovaným parametrem byla již zmíněná kolonizace kořenů rostlin ve dvou rozdílných půdních podmínkách (sterilní substrát – A, nesterilní substrát – B), toto rozdílné půdní prostředí bylo simulováno nádobovým pokusem v letech 2014 a 2015.

U sterilního substrátu (A) v obou experimentálních letech byla stanovena kolonizace u kontrolní varianty nižší než 10 % (A-K 2014 8,8 %, A-K 2015 9,3 %). Kruskal-Wallisův test potvrdil statisticky významný rozdíl u sterilního substrátu (A) v roce 2014 mezi kontrolní variantou (A-K 8,8 %) a variantou A-CC+FM (54,8 %), v roce 2015 byla statisticky prokázána zvýšená míra kolonizace oproti kontrolní variantě 9,3 % u variant A-CC+FM (56,5 %) a A-FM (47,8 %). Velikosti rozdílů míry kolonizace ve sterilním nádobovém experimentu v obou vegetačních obdobích zobrazuje Graf 7 a Graf 8. Více výsledků viz Tabulka 15.

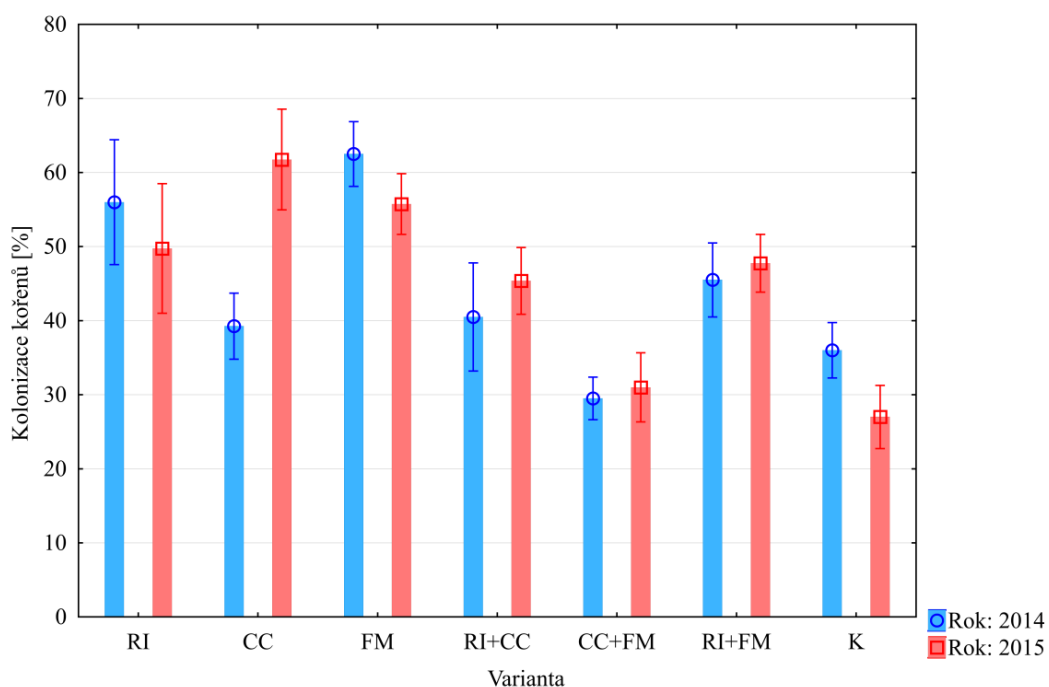


Graf 7 Míra kolonizace kořenů rostlin – sterilní substrát (A)

Porovnání míry kolonizace kořenů rostlin pěstovaných v sterilních i (A) a nesterilních (B) podmínkách byl důležitý parametr pro srovnání s míry kolonizace rostlin pěstovaných v kontejnerech a rostlin pěstovaných v polních podmínkách. Míra kolonizace kořenů u rostlin pěstovaných v kontejnerech s nesterilním substrátem (B) vykazovala celkově vyšší hodnoty, než u rostlin pěstovaných ve sterilních podmínkách (A).

Kolonizace kořenů rostlin kontrolní varianty pěstovaných v nesterilních podmínkách (B) byla v roce 2014 36,0 % a v roce 2015 27,0 %. V roce 2014 byl statisticky významný rozdíl potvrzen pouze mezi variantou B-CC+FM (29,5 %) a B-FM (62,5 %).

Rozdíl ve zvýšení míry kolonizace mezi kontrolní variantou (B-K 27,0 %) a variantou ošetřenou *C. claroideum* (B-CC 61,8 %) v roce 2015 byl potvrzen nejen výsledky, ale i statisticky, Kruskal-Wallisovým testem. Mezi ostatními testovanými variantami nebyl prokázán statisticky rozdíl. Míru kolonizace v obou experimentálních substrátech znázorňuje Graf 7 a Graf 8. Všechna stanovená data zobrazuje Tabulka 15 v přílohách disertační práce.



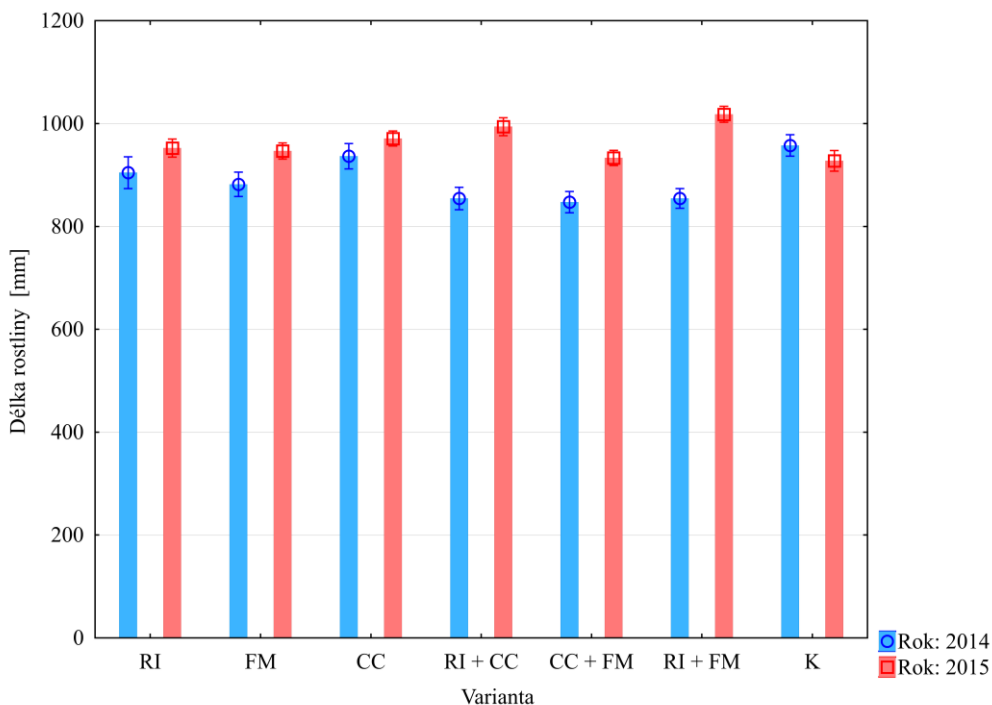
Graf 8 Míra kolonizace kořenů rostlin - nesterilní substrát (B)

6.2.2. Výška nadzemní části rostlin

Hlavním hodnoceným morfologickým parametrem v polním experimentu byla výška nadzemní části rostlin póru. Všechna morfologická hodnocení probíhala v obou letech vždy bezprostředně po sklizni rostlin z experimentálního pozemku.

V roce 2014 byly získány rostliny póru s nejdelší nadzemní částí u kontrolní varianty (K 957,5 mm). Statisticky průkazné rozdíly mezi kontrolní variantou a variantami ošetřenými AMH byly zjištěny pomocí Kruskal-Wallisova testu. Snížení bylo prokázáno u kombinací RI+CC (854,4 mm), CC+FM (847,2 mm), RI+FM (854,3 mm) které se lišily od vyšších rostlin kontrolní varianty (K 957,5 mm).

V roce 2015 byly u většiny testovaných variant stanoveny vyšší hodnoty u průměrné délky nadzemní části rostlin. Statistická Kruskal-Wallisova analýza potvrdila vyšší rozdíl mezi kontrolní variantou (K 927,5 mm) a variantou RI+FM (1018,0 mm). Statisticky nižší výška nadzemních částí rostlin byla pozorována mezi variantami RI+FM (1018,0 mm) a variantou CC+FM (933,1 mm). Mezi ostatními variantami již nebyly získané rozdíly statisticky významné. Viz Graf 9 a přílohy disertační práce Tabulka 16.



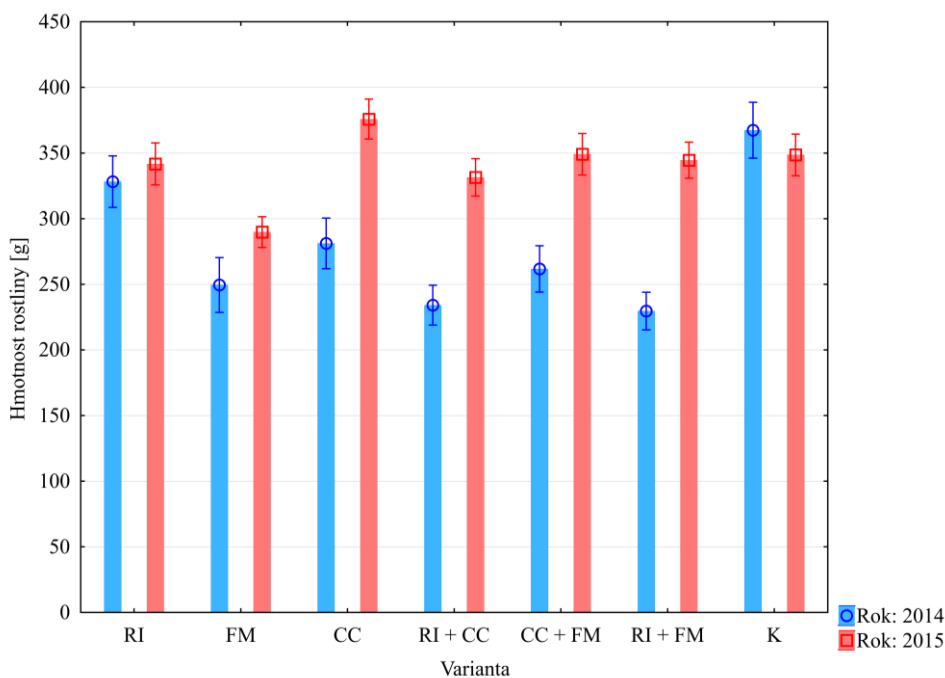
Graf 9 Průměrná výška nadzemní části rostlin (mm), polní experiment

6.2.3. Hmotnost rostlin

Hmotnost sklizených rostlin z polního experimentu byla v obou letech poměrně vyrovnaná. V roce 2015 statisticky nebyly prokázány žádné významné rozdíly mezi kontrolou a ošetřenými variantami. Tento jev může být způsobem vyrovnaností půdního profilu a dobrou zásobou živin v půdě. V roce 2014 bylo již několik významných rozdílů prokázáno. V roce 2014 byla průměrná hmotnost sklizených rostlin nejvyšší u kontrolní varianty (K 367,4 g), v roce 2015 byla variantou s nejvyšší hmotností rostlin varianta ošetřena houbou *C. claroideum* (CC 375,9 g).

V roce 2014 prokázaly všechny varianty ošetřené AMH inokuly nižší průměrnou hmotnost rostlin. Statisticky průkazné snížení hmotnosti rostlin v roce 2014 bylo zjištěno mezi kontrolní variantou (K 367,4 g) a variantami FM (249,5 g), RI+CC (234,2 g), CC+FM (261,7 g) a variantou RI+FM (229,7 g).

V roce 2015 byly statisticky lehčí rostliny zaznamenány u varianty obsahující AM houbu *F. mosseae* (FM 289,79 g). Nejtěžší a statisticky průkazný rozdíl k variantě FM (289,79 g) prokázala varianta inokulovaná houbou *C. claroideum* (CC 375,88 g). Průměrné hmotnosti sklizených rostlin znázorňuje Graf 10. Srovnání hmotnosti rostlin veškerých variant znázorňuje Tabulka 17 v přílohách disertační práce.



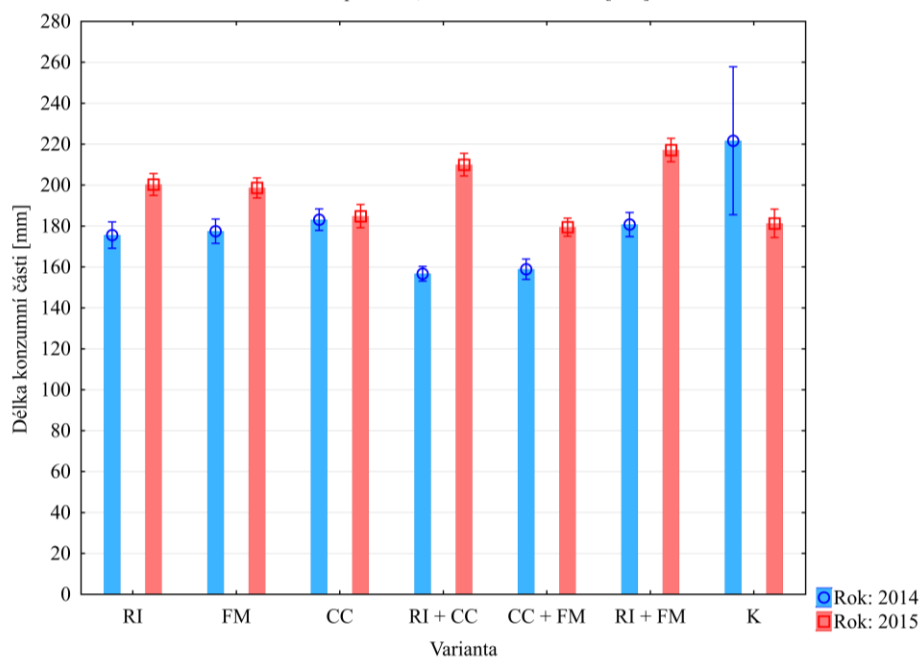
Graf 10 Hmotnost rostlin (g), polní experiment

6.2.4. Délka konzumní části rostlin

U hodnocení délky konzumní části rostlin byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly u polně pěstovaných rostlin mezi mnoha sledovanými variantami.

Délka konzumní části u kontrolní varianty (K 221,7 mm) v roce 2014 byla se svou nejvyšší hodnotou statisticky průkazně vyšší od variant CC+FM (158,9 mm) a RI+CC (156,7 mm). K ostatním ošetřeným variantám nebyly zjištěny oproti kontrole žádné statisticky významné rozdíly. Rok 2014 byl v rámci meteorologických podmínek po celé vegetační období průměrný, proto nemusí být výsledky ošetřených variant výrazně rozdílné od kontroly, i přes tyto meteorologické podmínky bylo pozorováno množství rozdílů.

V roce 2015 panovaly v průběhu vegetačního období vysoké teploty (viz str. 42). U většiny ošetřených variant byla délka vyšší než v roce 2014. Pouze u kontroly (K 221,70 mm) bylo zaznamenáno v roce 2015 snížení. Signifikantní difference ke kontrole byly zjištěny mezi variantami RI+FM (217,17 mm), CC+FM (179,43 mm) a RI+CC (210,00 mm). Nejdelší konzumní část rostlin póru vykazovala varianta RI+FM (217,17 mm), na hranici maximální hodnoty délky konzumní části se pohybovala i varianta RI+CC (210,00 mm). Jednotlivé varianty a jejich výsledky znázorňuje Graf 11 a Tabulka 18.

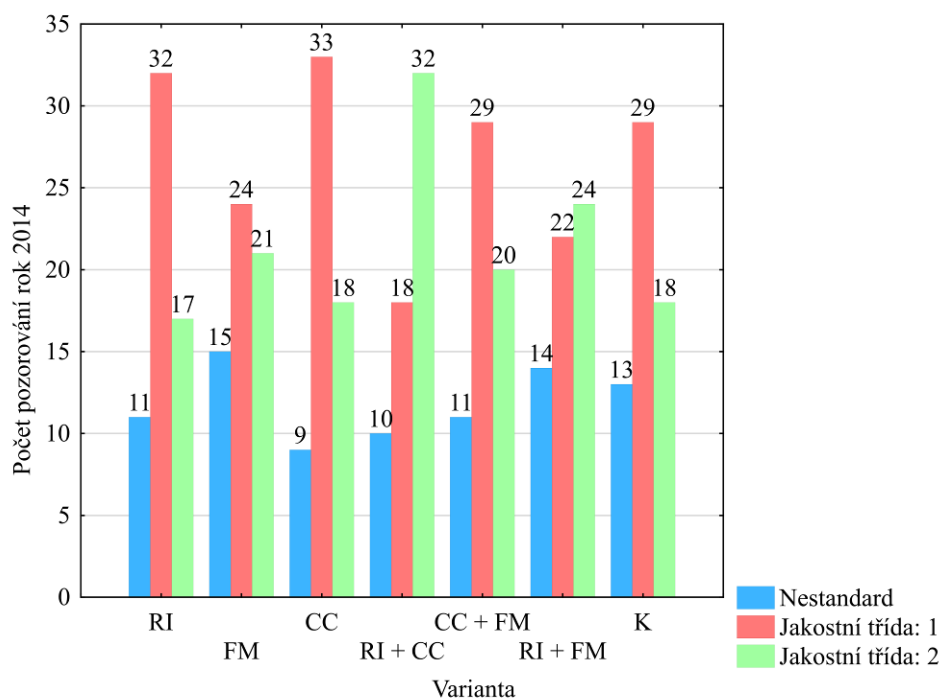


Graf 11 Délka konzumní části (mm), polní experiment

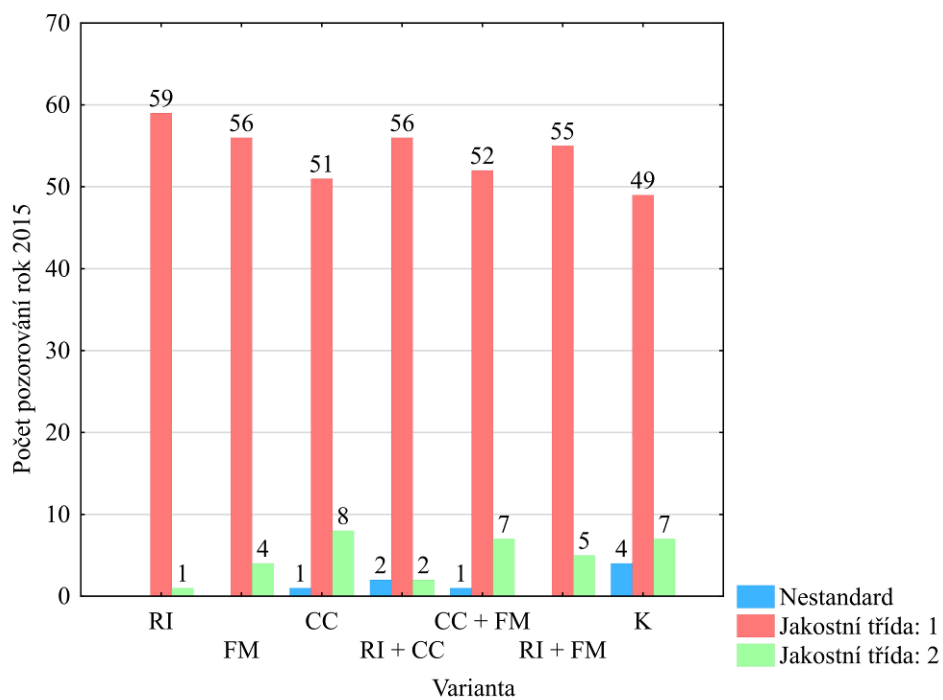
6.2.5. Hodnocení jakosti póru z polního pěstování

Rozdělení polně pěstovaných rostlin do jakostních tříd proběhlo vždy po sklizni rostlin. Pro hodnocení jakosti bylo náhodně vybráno 60 ks rostlin z každé varianty. Následně byly rostliny hodnoceny dle normy ČSN 46 3163. Rostliny byly rozděleny do třech jakostních tříd I. a II. a do třídy nestandard. Jak znázorňuje Graf 12 v roce 2014 nejvíce rostlin zařazených do I. jakostní třídy obsahovala varianta CC (33 rostlin I. jakost, 18 rostlin II. jakost, 9 rostlin nestandard). Nejméně rostlin v I. jakostní třídě obsahovala varianta RI+CC (18 rostlin I. jakost, 32 rostlin II. jakost, 10 rostlin nestandard). Statisticky nebyly prokázány rozdíly v navýšení počtu rostlin v jednotlivých jakostních třídách oproti kontrole (K 29 rostlin I. jakost, 18 rostlin II. jakost, 13 rostlin nestandard). Největší počet rostlin zařazených do kategorie nestandard obsahovala varianta inokulovaná mykorrhizní houbou *F. mosseae* (FM 24 rostlin I. jakost, 21 rostlin II. jakost, 15 rostlin nestandard).

V roce 2015 i přes suché a teplé povětrnostní podmínky v průběhu vegetace (viz Graf 1 a Graf 2), byla většina rostlin (z 60 hodnocených) zařazena do I. jakostní třídy. Rozdíly mezi lety jsou výrazné. V roce 2014 nebylo zařazeno více než 33 rostlin do I. jakostní třídy (varianta CC). Do I. jakostní třídy bylo v roce 2015 zařazeno až 59 rostlin z 60 hodnocených (například varianta RI obsahovala 1 rostlinu v II. jakosti). Velmi podobné výsledky dosahovaly v roce 2015 téměř všechny testované varianty (FM 56 rostlin I. jakost, 4 rostliny II. jakost, CC 51 rostlin I. jakost, 8 rostlin II. jakost, 1 rostlina nestandard). 49 rostlin kontrolní varianty bylo zařazeno do I. jakostní třídy, dále 7 rostlin do II. jakosti a 4 rostliny do nestandardní kategorie. Rozdíly mezi testovanými variantami nebyly statisticky prokázány, viz Graf 13.



Graf 12 Zařazení rostlin póru do jakostních tříd, rok 2014



Graf 13 Zařazení rostlin póru do jakostních tříd, rok 2015

6.3. VLIV MYKORHIZNÍ SYMBIÓZY NA NUTRIČNÍ PARAMETRY PÓRU PRAVÉHO (*A. PORRUM L.*)

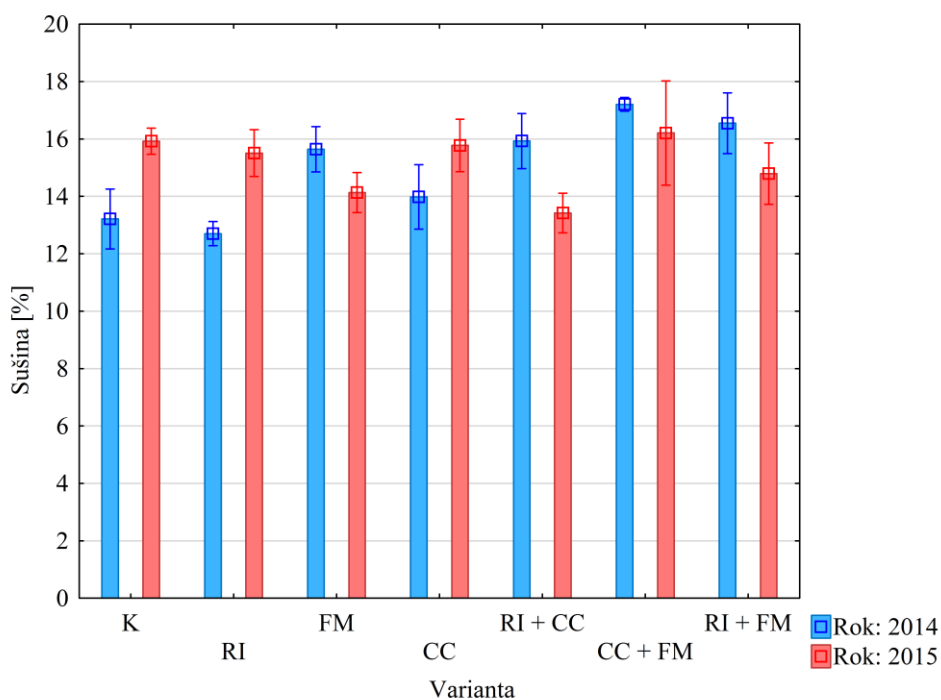
Hlavní myšlenkou disertační práce bylo ověření vlivu AMH na nutriční parametry zelenin. Jako modelová plodina byl vybrán pór pravý (*A. porrum L.*) pro svou dobrou interakci s mykorhizními houbami. U póru pravého byly testovány tyto nutriční parametry: sušina (%), hrubá vláknina (%), celková antioxidační kapacita (TAC, mM Trolox·kg⁻¹), celkový fosfor (mg·kg⁻¹), celkový dusík (mg·kg⁻¹), obsah těžkých kovů (Zn, Cu, Cd, Pb v µg·kg⁻¹) a obsah dusičnanů (mg·kg⁻¹) v čerstvé hmotě.

Nutriční parametry byly testovány v roce 2014 a 2015, pro přehlednost jsou jednotlivá experimentální období komentována zvlášť. Veškeré hodnoty a jejich statistické difference dle Kruskal-Wallisova testu uvádí Tabulka 20 a Tabulka 21 v přílohách disertační práce na stranách 139 a 140. Grafy v textu práce znázorňují průměrné stanovené hodnoty, úsečky v jednotlivých sloupcích označují směrodatné odchylky.

6.3.1. Sušina

Celková sušina sklizených rostlin z polního pěstování byla stanovována v obou experimentálních letech. V roce 2014 bylo zjištěno nejnižší procento sušiny u kontrolní varianty (K 13,21 %), varianty ošetřené vícedruhovými inokuly vykazaly zvýšené procento sušiny v rostlinách (RI+CC 15,9 %, CC+FM 17,2 %, RI+FM 16,6 %). Znovu byl zjištěn pozitivní vliv inokulace rostlin póru dvěma druhy AM inokul.

Nejvyšší procento celkové sušiny v roce 2015 vykazala varianta CC+FM (16,2 %), již jako druhá varianta s nejvyšším procentem sušiny byla kontrolní varianta (K 15,9 %). Ostatní varianty se výrazně od sebe nelišily, neparametrická statistická analýza neodhalila žádné signifikantní rozdíly mezi testovanými variantami. Nejnižší sušina byla stanovena u varianty RI+CC (13,4 %). Celkovou sušinu v obou experimentálních letech znázorňuje Graf 14 a tabulky na stranách 139 a 140.

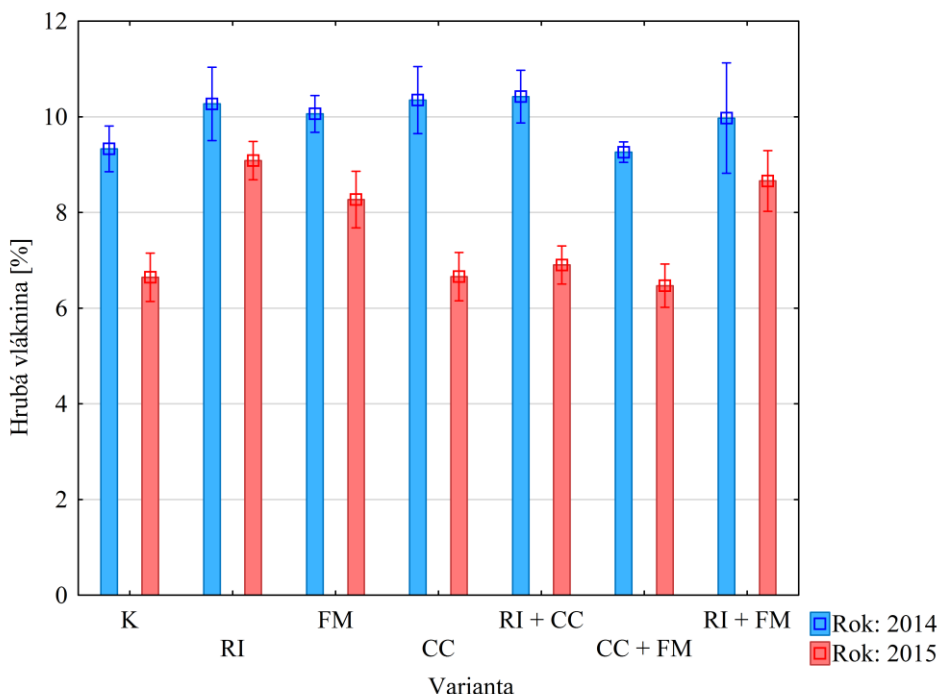


Graf 14 Obsah sušiny (%)

6.3.2. Hrubá vláknina

V roce 2014 nebyly Kruskal-Wallisovou analýzou potvrzeny žádné statisticky významné rozdíly v obsahu hrubé vlákniny mezi ošetřenými variantami a kontrolou. Nejnižší procento hrubé vlákniny bylo zjištěno u varianty CC+FM (9,3 %), následovala kontrolní varianta, která vykazovala nižší procento hrubé vlákniny v rostlinách póru (K 9,3 %). Vyšších hodnot v obsahu hrubé vlákniny dosahovaly varianty CC (10,4 %) a RI+CC (10,3 %), obě varianty obsahující AMH *C. claroideum*. Rozdíly mezi variantami v obsahu hrubé vlákniny znázorňuje Graf 15.

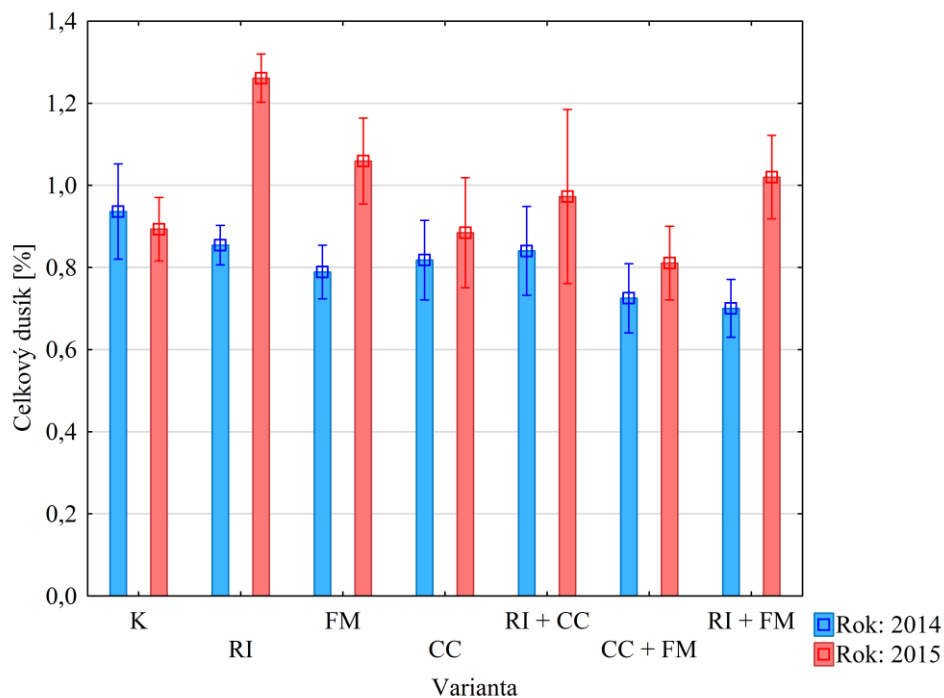
Použití neparametrické analýzy neprokázalo žádné signifikantní rozdíly mezi testovanými variantami a kontrolou v obsahu hrubé vlákniny ani v roce 2015. Nejnižší obsah hrubé vlákniny vykazovaly varianty CC+FM (6,5 %), K (6,7 %), CC (6,7 %). Oproti variantě ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 9,1 %) nebyl rozdíl statisticky významný. U hodnocení obsahu hrubé vlákniny se pozitivně prokázala inokulace AMH *R. intraradices* v různých kombinacích, například varianta RI+FM obsahovala hrubé vlákniny 8,7 %. Tyto a další rozdíly mezi variantami v roce 2014 a 2015 zobrazuje Graf 15.



Graf 15 Obsah hrubé vlákniny (%)

6.3.1. Celkový dusík

Obsah celkového dusíku byl hodnocen v % v konzumní části rostlin póru. Hodnocení získaných dat v roce 2014 probíhalo pomocí Kruskal-Wallisovy analýzy. V roce 2014 nebyly potvrzeny žádné signifikantní rozdíly. Nejnižší obsah celkového dusíku byl stanoven u variant RI+FM (0,7 %), další nižší hodnoty byly znovu získány u variant kombinující houbu *F. mosseae* (CC+FM 0,7 %, FM 0,8 %). Nejvyšší procento celkového dusíku v rostlinách obsahovala kontrolní varianta (K 0,9 %), viz Graf 16.

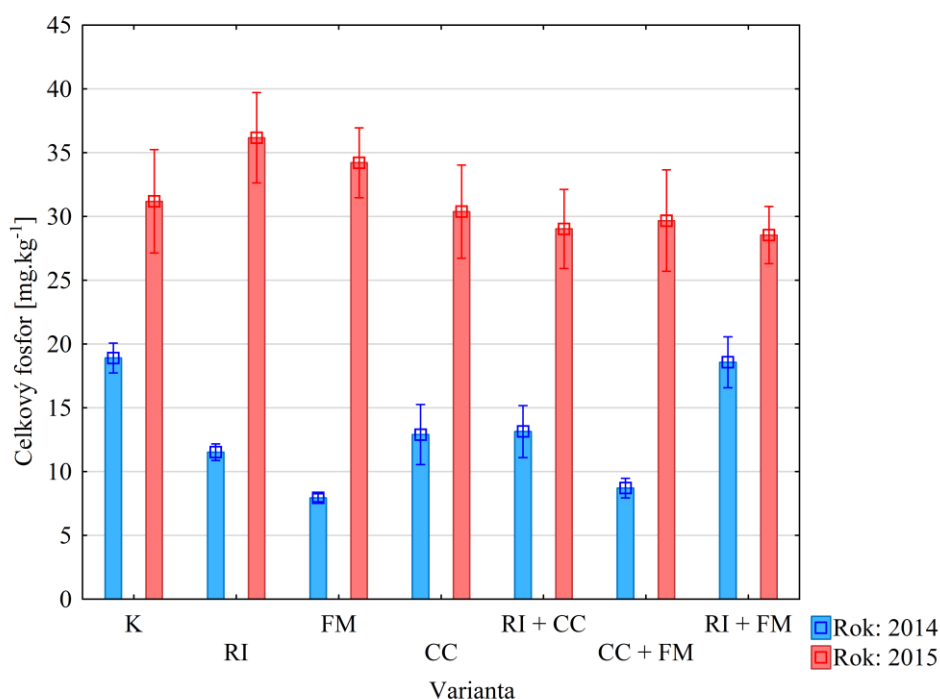


Graf 16 Obsah celkového dusíku v rostlinách (%)

V roce 2015 vykázaly některé varianty výrazný nárůst obsahu celkového dusíku, například varianty RI (1,3 %), FM (1,1 %), RI+FM (1,0 %). Nejnižší obsah celkového dusíku byl stanoven v roce 2015 u varianty CC+FM (0,8 %). Kontrolní varianta obsahovala 0,9 % celkového dusíku. Neparametrická analýza nepotvrdila žádné signifikantní statistické rozdíly mezi kontrolní variantou a variantami ošetřenými houbovými inkuly.

6.3.2. Celkový fosfor

Hodnocení obsahu fosforu v roce 2014 nepotvrdilo předpokládaný pozitivní vliv při inokulaci rostlin mykorhizními inokuly. Nejnižší obsah fosforu byl prokázán u varianty FM (7,9 mg·kg⁻¹), dále u varianty CC+FM (8,7 mg·kg⁻¹). Překvapivě, největší obsah fosforu byl stanoven u kontrolní neošetřené varianty (K 18,9 mg·kg⁻¹), následované variantou RI+FM (18,6 mg·kg⁻¹). Rozdíly mezi ošetřenými variantami a kontrolní variantou nebyly statisticky průkazné.



Graf 17 Obsah fosforu (mg·kg⁻¹)

V roce 2015 byl prokázán nárůst v obsahu celkového fosforu v póru, byl potvrzen pozitivní účinek inokulace AMH. Obsah fosforu v půdě byl dostatečný, viz Tabulka 2. Kontrolní varianta v roce 2015 obsahovala 31,19 mg·kg⁻¹ celkového fosforu. Varianty RI+CC (29,02 mg·kg⁻¹) a CC+FM (29,67 mg·kg⁻¹) obsahovaly méně fosforu než kontrolní varianta. Nejnižší obsah fosforu obsahovala varianta RI+FM (28,55 mg·kg⁻¹). Nejvyšší obsah fosforu byl stanoven u varianty ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 36,17 mg·kg⁻¹). Obsahy jednotlivých testovaných variant v průběhu obou let znázorňuje Graf 17.

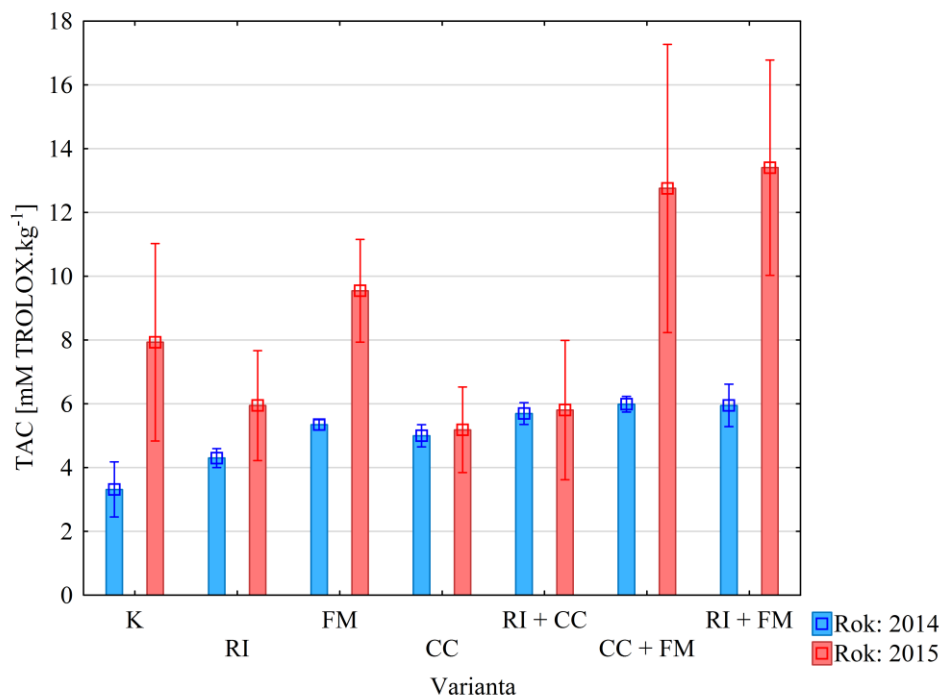
6.3.3. Celková antioxidační kapacita

Celková antioxidační kapacita (TAC) byla v rostlinách póru vyjádřena v jednotkách mM Trolox·kg⁻¹ čerstvé hmoty. Neparametrická Kruskal-Wallisova analýza získaných hodnot v roce 2014 prokázala statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou (K 3,3 mM Trolox·kg⁻¹) a variantou ošetřenou AM houbami *C. claroideum* a *F. mosseae* (CC+FM 5,99 mM Trolox·kg⁻¹). Mezi ostatními testovanými variantami statistická analýza neobjevila významné rozdíly, i přes zjevný pozitivní trend, zvýšení obsahu TAC v čerstvé hmotě. U ošetřených variant AM inokuly. Inokulované varianty se vyznačovaly poměrně podobnými obsahovými hodnotami antioxidantů v čerstvé hmotě. Například varianta ošetřena houbou *F. mosseae* (FM 5,35 mM Trolox·kg⁻¹), RI+CC (5,69 mM Trolox·kg⁻¹), RI+FM (5,95 mM Trolox·kg⁻¹). Nejvyšší obsah antioxidační kapacity byl zjištěn u varianty CC+FM (5,99 mM Trolox·kg⁻¹).

Vegetační sezona 2015, která se vyznačovala velmi vysokými teplotami a množstvím slunečných dnů (viz Graf 1 a Graf 2), mohla ovlivnit obsah TAC v pletivech. U srovnání celkové antioxidační kapacity byly naměřeny vyšší hodnoty u většiny testovaných variant oproti roku 2014. Například kontrolní varianta (K) obsahovala 7,93 mM Trolox·kg⁻¹ v čerstvé hmotě.

Nejnižší obsah celkových antioxidantů byl potvrzen u varianty CC (5,18 mM Trolox·kg⁻¹), nízký obsah byl prokázán i u varianty RI+CC (5,80 mM Trolox·kg⁻¹). Nejvyšší, avšak k ostatním variantám statisticky neprůkazný obsah celkových antioxidantů, vykázaly varianty CC+FM (12,76 mM Trolox·kg⁻¹) a RI+FM (13,41 mM Trolox·kg⁻¹). V případě hodnocení celkové antioxidační kapacity byl zjištěn pozitivní trend inokulace mykorhizními inokuly oproti neošetřené kontrolní variantě u variant ošetřených houbou *F. mosseae*.

Rozdíly mezi testovanými variantami a kontrolou v jednotlivých experimentálních letech znázorňuje Graf 18 na následující straně.



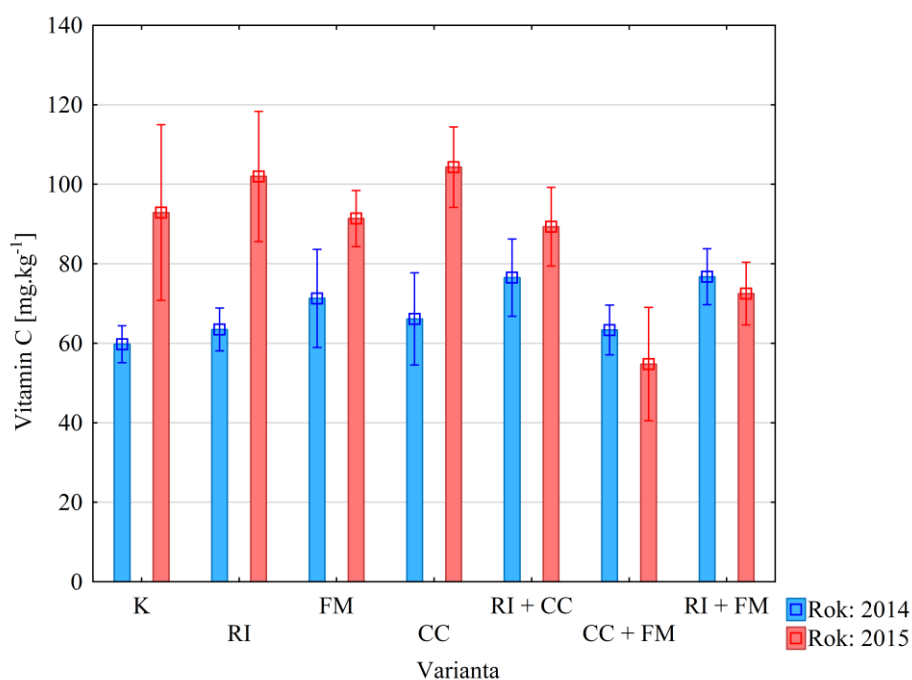
Graf 18 Celková antioxidační kapacita (mM Trolox·kg⁻¹)

6.3.4. Vitamin C

Obsah kyseliny askorbové v konzumní části póru byl stanovován na $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ vitamínu C čerstvé hmoty. Při hodnocení tohoto nutričního parametru v roce 2014 nebyly získány mezi inokulovanými variantami a kontrolou žádné statisticky významné rozdíly, i přes zjištěný pozitivní nárůst obsahu vitamínu C u inokulovaných variant.

Nejnižší obsah vitamínu C v roce 2014 byl stanoven u kontrolní varianty (K $59,77 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), nejvyšší obsah vitamínu C prokázala kombinovaná varianta využívající houby *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM $76,74 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), druhý nejvyšší obsah vitamínu C byl prokázán u varianty RI+CC ($76,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Taktéž u varianty obsahující pouze houbu *F. mosseae* bylo zjištěno zvýšené množství vitamínu C v rostlinách póru (FM $71,30 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$).

V roce 2015 nebyly Kruskal-Wallisovou analýzou potvrzeny žádné rozdíly mezi kontrolou a ošetřenými variantami. Nebyl potvrzen ani pozitivní trend inokulace AMH. Nejnižší obsah vitamínu C v čerstvé hmotě póru byl stanoven u varianty CC+FM ($54,76 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), dále ve variantě RI+FM ($72,50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), u kontrolní varianty byla stanovena hodnota $92,87 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, nejvyšší obsah kyseliny askorbové byl zjištěn u varianty CC ($104,31 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) viz Graf 19.



Graf 19 Obsah vitamínu C v čerstvé hmotě ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)

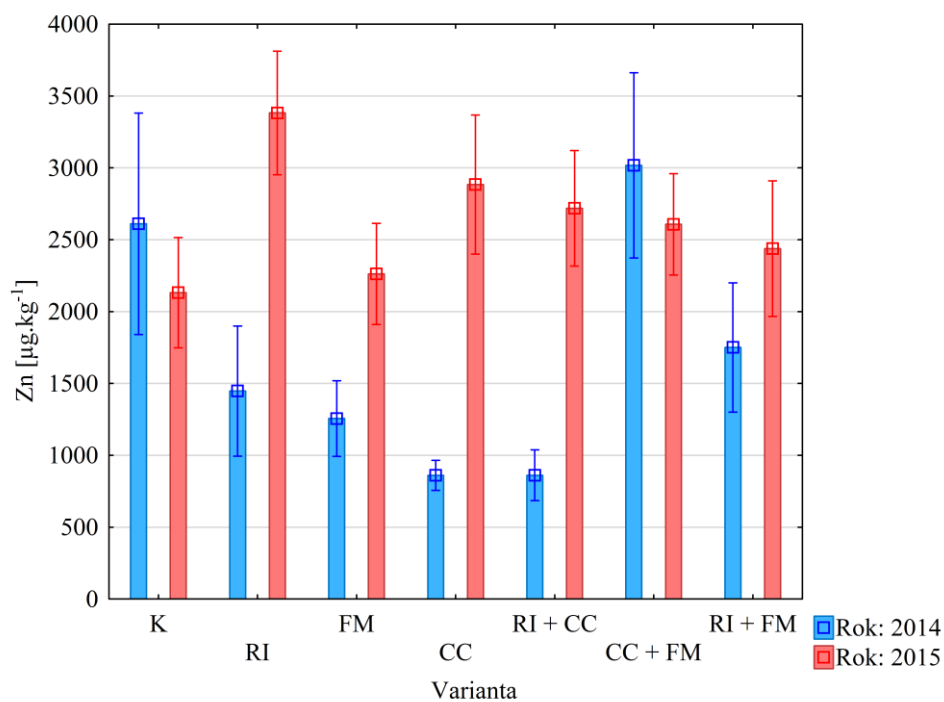
6.3.5. Těžké kovy (Zn, Cd, Pb, Cu)

Hodnocení obsahu těžkých kovů následovalo po mineralizaci suchých vzorků. Při tomto hodnocení akumulace těžkých kovů v rostlinách z polního pěstování nebyly v roce 2014 potvrzeny žádné signifikantní rozdíly mezi kontrolní neošetřenou variantou a variantami ošetřenými AM houbami. Jediný statisticky průkazný rozdíl v roce 2014 byl potvrzen při hodnocení kumulace kadmia v rostlinách, mezi variantou CC ($1,7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) a CC+FM ($18,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). U kontrolní varianty (K) byl zjištěn obsah kadmia v pletivech $8,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Kontrolní varianta dále obsahovala v rostlinných pletivech $2611,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ zinku, $16,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ olova a $160,7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi.

Nejvyšší obsah zinku v roce 2014 byl stanoven u varianty CC+FM ($3017,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), u této varianty bylo prokázáno i největší množství kadmia ($18,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Největší množství olova obsahovala varianta RI+FM ($45,1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) a největší množství mědi obsahovala varianta CC ($160,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

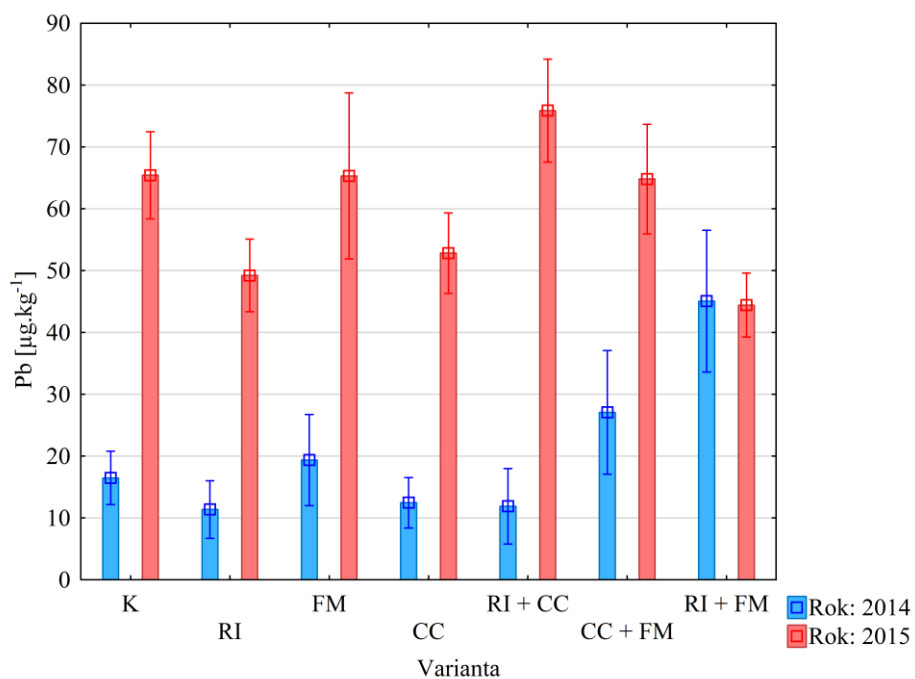
V roce 2015, po velmi vysokých teplotách v průběhu polního pěstování, byl prokázán nárůst kumulace těžkých kovů v rostlinách póru. V rámci hodnocení čtyř parametrů (zinek, kadmium, olovo a měď) byly Kruskal-Wallisovou analýzou potvrzeny statisticky významné rozdíly pouze u hodnocení mědi, a to mezi variantou FM, obsahující nejmenší množství mědi ($229,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) a mezi variantou RI, která obsahovala mědi nejvíce ($825,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). U kontrolní varianty bylo stanoveno $402,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi, $65,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ olova, $17,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmia a $2132,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ zinku.

V případě hodnocení obsahu zinku, bylo v roce 2015 stanoveno nejnižší množství u kontrolní varianty (K $2132,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), nejvíce zinku, který je jedním z významných antioxidantů, bylo stanoveno u varianty RI ($3382,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Obsah zinku v obou experimentálních letech znázorňuje Graf 20. U varianty kombinující houby *R. intraradices* a *C. claroideum* byl zjištěn nejvyšší obsah kadmia (RI+CC $21,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), viz Graf 20.

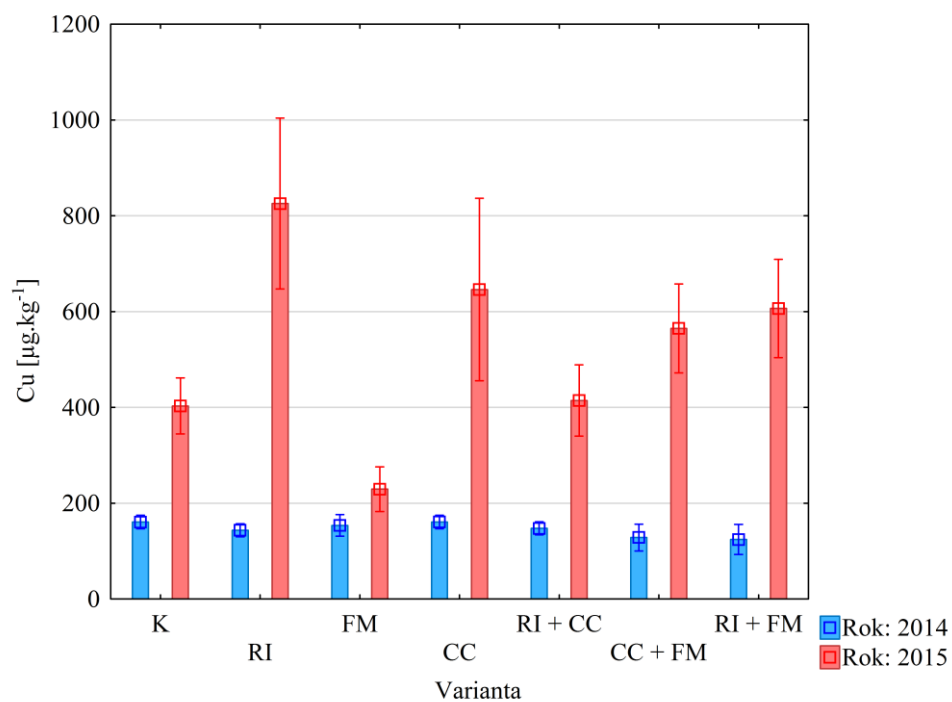


Graf 20 Obsah zinku v čerstvé hmotě ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)

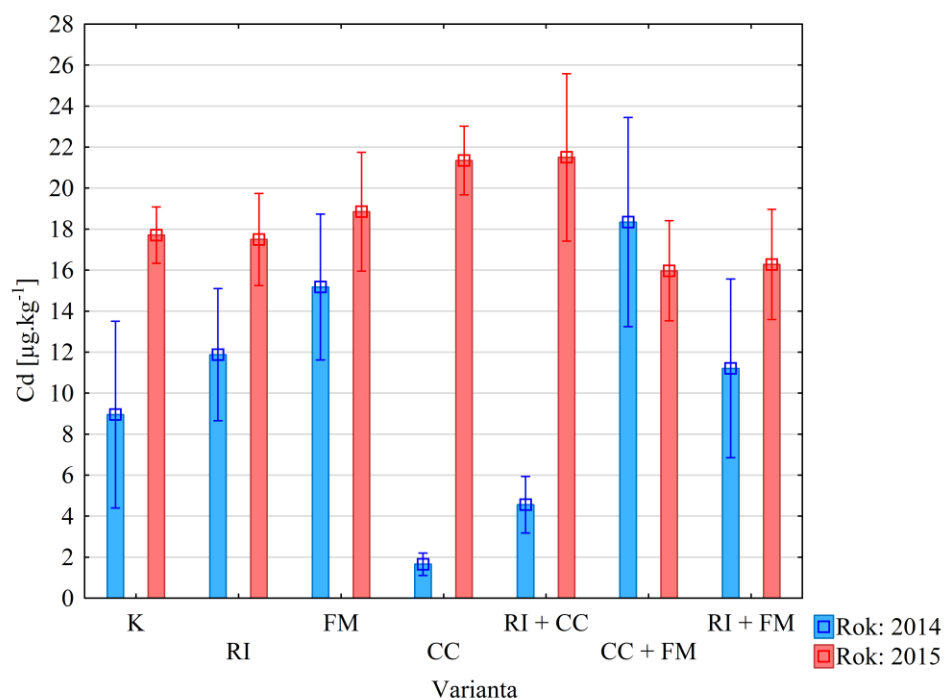
Následující grafy zobrazují množství jednotlivých těžkých kovů v čerstvé hmotě porů. Například u grafu znázorňující množství olova (str. 78) lze vidět nárůst akumulace v pletivech především v roce 2015.



Graf 21 Obsah olova v čerstvé hmotě ($\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)



Graf 22 Obsah mědi v čerstvé hmotě (µg·kg⁻¹)



Graf 23 Obsah kadmia v čerstvé hmotě (µg·kg⁻¹)

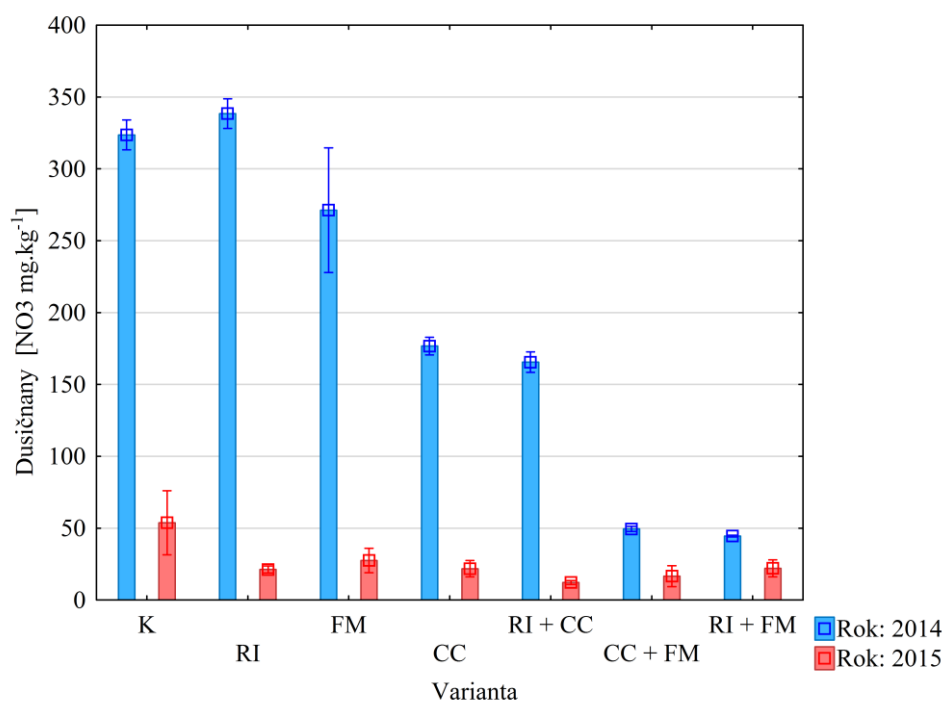
6.3.6. Obsah dusičnanů

Hodnocení obsahu nežádoucích dusičnanů v konzumní části rostlin póru, bylo jedním z důležitých sledovaných nutričních parametrů. I přes potvrzenou normalitu získaných dat ze stanovení dusičnanů v rostlinách póru, nebylo možné využít data pro parametrické statistické metody. Získaná data nebyla podpořena jejich homogenitou a vyloučení extrémních hodnot by ovlivnilo samotnou interpretaci výsledků.

V roce 2014 potvrdily výsledky nutričních testů naše očekávání. Nejvyšší nežádoucí obsah dusičnanů byl zjištěn u varianty ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 338,46 mg·kg⁻¹). Druhý nejvyšší obsah byl sledován u kontrolní neošetřené varianty (K 323,63 mg·kg⁻¹). U variant ošetřených kombinací dvou AM inokul obsah dusičnanů klesal (RI+CC 165,53 mg·kg⁻¹). Mezi touto variantou a variantami s jedním druhem AM inokula (CC, RI, FM) a kontrolou nebyl prokázán statisticky významný rozdíl. Významné statistické diference oproti kontrolní variantě byly prokázány u variant CC+FM (49,47 mg·kg⁻¹) a RI+FM (44,54 mg·kg⁻¹), obě tyto varianty využívají v kombinaci AMH *F. mosseae*. Při hodnocení v roce 2014 byl potvrzen pozitivní trend při použití AMH na snížení obsahu dusičnanů v rostlinách.

V roce 2015 byl celkový obsah dusičnanů v póru extrémně nízký, tuto hodnotu si lze vysvětlit extrémními teplotami po velmi dlouhou dobu vegetace při polním pěstování. Průběh teplot a srážek viz Graf 1 a Graf 2.

Všechny z testovaných variant dosahovaly hodnot pod 60 mg·kg⁻¹, i přes tyto extrémně nízké hodnoty byl znovu potvrzen pozitivní trend inokulace AM houbami a jejich kombinacemi. Kontrolní neošetřená varianta vykázala nejvyšší obsah dusičnanů v čerstvé hmotě póru (K 53,80 mg·kg⁻¹). Nejnižší obsah dusičnanů byl stanoven ve variantách RI+CC (12,23 mg·kg⁻¹) a CC+FM (16,59 mg·kg⁻¹), kombinující AMH *C. claroideum*. I přes tyto značné rozdíly ke kontrolní variantě nebyly tyto diference potvrzeny statistickou analýzou. Pro hodnocení byla použita Kruskal-Wallisova neparametrická analýza. Průměrné výsledky a srovnání obou experimentálních let znázorňuje Graf 24.



Graf 24 Obsah dusičnanů (mg·kg⁻¹) v čerstvé hmotě póru

6.4. VLIV MYKORHIZNÍ INOKULACE NA EKONOMIKU PĚSTOVÁNÍ PÓRU

(*A. PORRUM* L.)

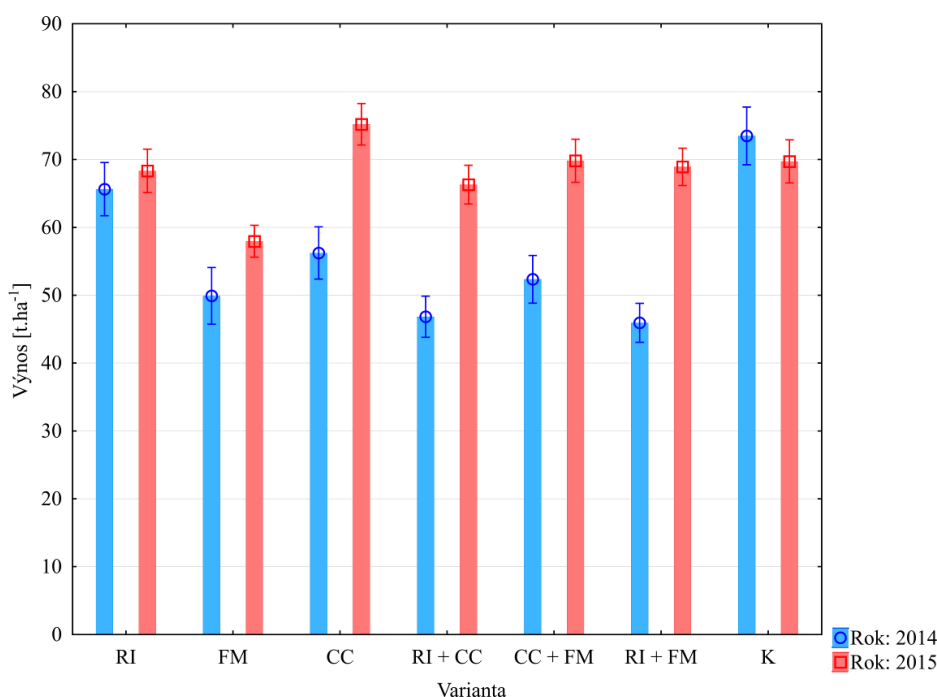
Při hodnocení ekonomiky pěstování póru pravého bylo srovnáno pěstování póru konvenčním způsobem a pěstování s pomocí arbuskulárních mykorhizních hub. Základním parametrem pro zhodnocení ekonomiky pěstování bylo zjistit celkový výnos z polního experimentu v obou letech.

Průměrný výnos byl počítán v $t \cdot ha^{-1}$ a byl propočten z hodnot hmotnosti rostlin jednotlivých variant. Při pěstování v obou experimentálních letech byl použit spon výsadby 0,5 x 0,1 m, což znamená, že na rozloze 1 ha bylo pěstováno 200 000 ks rostlin póru.

Po následném propočtu byl zjištěn v roce 2014 nejvyšší průměrný výnos v $t \cdot ha^{-1}$ u kontrolní varianty (K 73,5 $t \cdot ha^{-1}$), tato varianta prokázala signifikantní rozdíly společně s variantami FM (49,9 $t \cdot ha^{-1}$), RI+CC (46,8 $t \cdot ha^{-1}$), CC+FM (52,4 $t \cdot ha^{-1}$) a RI+FM (45,9 $t \cdot ha^{-1}$). Nejnižší dosažený výnos byl prokázán už u zmíněné varianty RI+FM (45,9 $t \cdot ha^{-1}$), kombinující houby *R. intraradices* a *F. mosseae*.

Rok 2015, kdy extrémní teplotní podmínky (viz Graf 1 a Graf 2) po celé vegetační období ovlivňovaly průběh růstu, byl potvrzen pozitivní trend při inokulaci rostlin póru AMH ve stresovaných podmínkách. Nejvyššího výnosu dosáhla varianta ošetřena houbou *C. clarioideum* (75,2 $t \cdot ha^{-1}$), kontrolní neošetřená varianta dosáhla průměrného výnosu 69,7 $t \cdot ha^{-1}$, jako statisticky průkazný rozdíl byl potvrzen Kruskal-Wallisovou analýzou pouze rozdíl mezi variantou CC (75,2 $t \cdot ha^{-1}$) a variantou FM (58,0 $t \cdot ha^{-1}$), mezi ostatními variantami nebyly rozdíly statisticky průkazné. Srovnání průměrných výnosů všech variant v obou experimentálních letech zobrazuje Graf 25.

Pozitivní vliv na výnosy například u rajčat potvrzuje výzkum sledující vliv aplikace hub rodu *Glomus* sp. Testovány byly rostliny v polních podmínkách a aplikace mykorhizního inokula zvýšila tržní výnos u obou testovaných variant (M1 73,2 $t \cdot ha^{-1}$, M2 72,5 $t \cdot ha^{-1}$) oproti kontrolní neošetřené variantě (M0 65,7 $t \cdot ha^{-1}$) (Candido et al. 2015). Pozitivního efektu dosáhl experiment s rajčaty, kdy inokulace kořenů rostlin signifikantně ovlivnila tvorbu plodů (2,2 ks plodu u kontrolní varianty a 5,8 plodu u ošetřené varianty) (Salvioli et al. 2012).



Graf 25 Srovnání průměrných výnosů v letech 2014 a 2015 (t·ha⁻¹)

Hodnocení ekonomické nákladnosti využití AMH inokul v praxi musí zohlednit fakt, že v disertačním experimentu byla použita jednodruhová houbová inokula, která nejsou běžně pro praktické využití dostupná. Všechna inokula byla dodána firmou Symbiom s.ro., která dodává na trh množství různých přípravků.

Pro zhodnocení ekonomiky je ideálním modelovým přípravkem Symbivit rajčata a papriky. Tento přípravek je pomocný rostlinný přípravek složený z různých hub rodu *Glomus*. Aplikační dávka tohoto přípravku je 15 g na jednu rostlinu při cílené aplikaci při výsevu rostlin, je možné i plošné zapravení do půdy v poměru 40 – 80 kg·ha⁻¹. Aktuální cena přípravku v 20 kg balení je 2908 Kč

Další možností je přípravek Symbivit, který je složený z šesti druhů mykorhizních hub, dále z humátů, přírodních bioaditiv a výtahů z mořských řas. Přípravek obsahuje biologicky rozložitelný polyakrylamidový gel. Aplikační dávka tohoto přípravku je 15 g na jednu rostlinu při cílené aplikaci při výsevu rostlin, je možné i plošné zapravení do půdy v poměru 40 – 80 kg·ha⁻¹.

Cena přípravku v 20 kg balení je 2908 Kč, multipack velkoobchodní balení 750 kg 60000 Kč bez DPH. Při této aplikační dávce je tedy nutné na 1 ha použít 40 – 80 kg·ha⁻¹ přípravku.

Tabulka 5 Propočty aplikačních dávek a nákladů

Druh přípravku	Aplikační dávka	SYMBIVIT® 20 kg balení (Kč) 750 kg balení	Celková cena (Kč·rostlina⁻¹, Kč·m², Kč·ha⁻¹)
Sadba přímá aplikace (g·rostlina⁻¹)	15 g·rostlina ⁻¹	2908 Kč (20 kg)	2,18 Kč·rostlina ⁻¹
Cílená aplikace pole (g·m⁻²)	4 – 8 g·m ⁻²	72600 Kč (750kg)	0,39 – 0,77 Kč·m ⁻² .
Cílená aplikace pole (kg·ha⁻¹)	40 – 80 kg·ha ⁻¹	72600 Kč (750kg)	3872 – 7744 Kč·ha ⁻¹

7. DISKUSE

7.1. VLIV MYKORHIZNÍ INOKULACE NA SADBU PÓRU PRAVÉHO (*A. PORRUM* L.)

Srovnání vlivu arbuskulárních mykorhizních hub u sadby rostlin póru s kontrolní neošetřenou variantou přineslo množství výsledků. Při hodnocení sadby póru byly sledovány parametry: výška nadzemní části, celková hmotnost rostlin a míra kolonizace kořenů rostlin póru.

Statisticky významné prodloužení rostlin sadby póru bylo v disertačním experimentu zjištěno u inokulovaných variant pouze v roce 2013. Nejkratší rostliny vykazovala v roce 2013 kontrolní varianta (2013 K 173,2 mm). Oproti tomu varianty inokulované arbuskulárními mykorhizními houbami prokazovaly rostliny vyšší (RI 190,9 mm až 234,1 varianta FM). V dalších experimentálních letech (2014 a 2015) nebyl nárůst délky předpěstovaných rostlin inokulovaných mykorhizními houbami oproti kontrolní variantě prokázán. Vliv ošetření arbuskulárními mykorhizními houbami často koreluje s množstvím dalších parametrů (zásoba živin v půdě, teplotní a vlhkostní podmínky, stresové faktory atd.) a z těchto důvodů nemusí být ověřování vlivu na délku rostlin průkazné ve všech letech.

Prodloužení nadzemní části sadby potvrzuje i podobný experiment s rostlinami rajčat. U varianty ošetřené inokulem složeným z hub *Glomus* sp. bylo zaznamenáno prodloužení nadzemní části rajčat o 39 mm oproti kontrolní variantě (K 75 mm). V druhém roce tohoto experimentu bylo u stejného experimentu zaznamenáno navýšení délky nadzemní části rajčat o 42 mm (varianta M1 112 mm, M2 113 mm) (Candido et al. 2015). Podobně hodnotí přínos inokulace arbuskulárními mykorhizními houbami i Salvioli et al (2012), kdy i přes prodloužení délky rostlin rajčat (odrůda 'Micro-Tom') nebyly získané výsledky statisticky průkazné, a to i při 73% míře kolonizace kořenů mykorhizními houbami (*F. mosseae*). Tento experiment avšak potvrdil průkazné navýšení výnosu ošetřených rostlin. Wertheim et al. (2014) v experimentu s polně pěstovaným pórem potvrzuje, ačkoliv ne na vysoké statistické úrovni, zvýšení hmotnosti i výšky rostlin u variant ošetřených mykorhizními přípravky (MycoGrowTM, MycoApplyTM, inokulum odebrané z půdy) oproti kontrolní neošetřené variantě.

Autor článku doporučuje vždy otestování jednotlivých inokul v konkrétních půdních podmínkách a specifikaci aplikace přípravků dle nároků jednotlivých rostlinných druhů. Nejen zvýšení výnosu rajčat a nižší mortalitu sadby při přesazování uvádí Salvioli et al. (2012). Autor zmiňuje i pozitivní vliv inokulace houbou *F. mosseae* na posklizňovou trvanlivost plodů rajčat.

V roce 2013 a 2014 nebylo prokázáno ovlivnění hmotnosti předpěstovaných rostlin při použití AM inokul. Mezi kontrolní variantou a ostatními variantami nebyly zjištěny žádné významné rozdíly v hmotnosti sadby póru. Pouze v roce 2015 bylo prokázáno zvýšení hmotnosti inokulovaných rostlin oproti kontrole (K 0,6 g), a to především u variant CC+FM 1,2 g a RI+CC 0,8 g. Ve všech experimentálních letech disertačního experimentu buď samotné ošetření houbou *C. claroideum* nebo její kombinace s dalšími mykorhizními houbami kladně ovlivňovalo hmotnost předpěstovaných rostlin. Zvýšenou hmotnost rostlin uvádí, Lone (2015). Hmotnost testované sadby cibule byla signifikantně navýšena u varianty ošetřené houbami *R. intraradices* a *F. mosseae*. Přestože, testované varianty cibule neprokázaly žádný viditelný morfologický nárůst v počátečních fázích vývoje, průměr jejich cibulí se zvýšil ke konci vegetační doby (80 dní). Míra kolonizace kořenů cibulí narůstala (23,1 % ve 20. dni, 32,7 % ve 40. dni, 54,2 % v 60. dni až 75,3 % po 80 dnech předpěstování). Galván (2009) uvádí, že druhy arbuskulárních mykorhizních hub jako *F. mosseae*, *G. coronatum*, *G. caledonium* a *G. geosporum* jsou nejvhodnějšími inokuly pro rostliny rodu *Allium* ssp. Tyto druhy mají i jeden z nejvyšších kolonizačních potenciálů u skupiny rostlin rodu *Allium* ssp. (Lone et al. 2015; Galván et al. 2009, 2011).

Míra kolonizace u inokulovaných rostlin póru v disertačním experimentu se pohybovala v průměru od 32,8 % do 54,5 % v roce 2013, v roce 2014 v rozmezí 29,3 % až 58,8 % a v roce 2015 mezi 28,7 % až 44,1 %. U kontrolních variant byla ve všech experimentálních letech prokázána nulová míra kolonizace kořenů. Stejně druhy mykorhizních inokul jako disertační experiment využíval v pokusu s pórem pravým Sorensen et al. (2008). U předpěstovaných rostlin póru byla hodnocena kolonizace před přesunem do polního pěstování. Rostliny ošetřené houbou *R. intraradices* dosahovaly míry kolonizace v roce 2000 asi 41 %, u varianty *C. claroideum* pouze 5 % a u poslední varianty *F. mosseae* 14 %.

Byla potvrzena hypotéza ohledně pozitivního ovlivnění růstu rostlin inokulovaných v průběhu výsevu (Baum et al. 2015; Sorensen et al. 2008).

7.2. VLIV MYKORHIZNÍ INOKULACE NA MORFOLOGII PÓRU PRAVÉHO

(*A. PORRUM* L.)

V obou experimentálních letech se celková výška rostlin (bez kořenové části) u kontrolní varianty pohybovala v rozmezí 927,5 – 957,5 mm. V roce 2014 byla výška 957,5 mm nejvyšší získanou hodnotou, v roce 2015 to bylo naopak a kontrolní varianta s 927,5 mm byla nejnižší ze všech testovaných variant. Rostliny kontrolní varianty (K 957,5 mm) v roce 2014 byly významně vyšší oproti rostlinám variant ošetřených mykorhizními inokuly (RI+FM 854,3 mm, CC+FM 847,22 mm a RI+CC 854,4 mm). Oproti tomu v roce 2015 byly rostliny kontrolní neošetřené varianty signifikantně nižší k rostlinám všech inokulovaných variant, až na variantu CC+FM (933,1 mm), kde nebyl prokázán žádný signifikantní statistický rozdíl oproti kontrolní variantě. Nejvyšší celé rostliny póru byly v roce 2015 naměřeny u varianty RI+FM (1018 mm). Prodloužení stonků rajčat v inokulovaných variantách M1 a M2 oproti kontrolní neošetřené variantě potvrzuje Candido et al. (2015). Rostliny v tomto experimentu byly hodnoceny uprostřed vegetačního období. Rozdíl oproti kontrole byl hodnocen v daném článku na úrovni $p < 0,01$.

Zvýšení hmotnosti sklizených rostlin z polního experimentu bylo v roce 2014 prokázáno u kontrolní neošetřené varianty (K 367,4 g) oproti ostatním ošetřeným variantám. Významné snížení hmotnosti oproti kontrolní variantě nebylo v roce 2014 prokázáno u varianty ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 328,2 g). U ostatních variant se pohybovala hmotnost sklizených rostlin v rozmezí 229,7 g (varianta RI+FM) až 281,2 g u varianty CC. Inokulace rostlin neprokázala zvýšenou hmotnost rostlin u variant ošetřených mykorhizními houbami. Tento jev mohl být způsoben dobrou zásobou živin v půdě a jejich dostupností pro rostliny. Podobný nevýrazný statistický rozdíl byl potvrzen i u rajčat, kdy nebyly prokázány signifikantní interakce mezi rokem a ošetřením houbovými inokuly (Candido et al. 2015; Baum et al. 2015). V roce 2015 byla nejvyšší hmotnost celých rostlin stanovena u varianty ošetřené houbou *C. claroideum* (CC 375,9 g) a nejnižší hmotnosti sklizených rostlin byly naměřeny u varianty inokulované mykorhizní houbou *F. mosseae* (FM 289,8 g).

Mezi těmito variantami bylo prokázáno statisticky významné navýšení hmotnosti testovaných rostlin. V celkovém srovnání hmotností rostlin sledovaných v roce 2015 byly vyšší, než hmotnost rostlin v roce 2014. Zvýšení hmotností rostlin v roce 2015 bylo zajímavé, protože po dobu vegetace nepanovaly standardní povětrnostní podmínky (viz Graf 1 a Graf 2 na straně 42), které pravděpodobně ovlivnily nejen míru kolonizace rostlin arbuskulárními mykorhizními houbami, a účinek AMH na rostliny. Podporu růstu rostlin a jejich výnos na základě inokulace různými druhy AM inokul zmiňuje řada studií (Baum et al. 2015; Candido et al. 2015; Affokpon et al. 2011; Smith 2009; Gryndler et al. 2004).

Pozitivní vliv na hmotnost plodů a výnos rajčat (o 26 %) zmiňuje Affokpon et al. (2011). Byl sledován pozitivní vliv inokulace přípravkem Micosat F[®] a PGPR na růst polně pěstovaných rajčat. Ošetření přípravkem prokázalo zvýšení produkce u ošetřených variant oproti neošetřené kontrole. Hmotnost plodů rajčat byla signifikantně ovlivněna u variant s mykorhizními přípravky, ale vždy pouze v daném experimentálním roce. Interakce rostlin mezi ošetření AM přípravky a závlahovým režimem nebyla prokázána. Interakce mezi všemi experimentálními lety a ošetřením AM inokuly nebyla opět statisticky průkazná (Candido et al. 2015; Baum et al. 2015). Pozitivní ovlivnění výnosu cibule (*Allium cepa* L.) bylo potvrzeno při inokulaci přípravky na bázi *R. intraradices* a *G. vesiforme*. Toto ošetření potvrdilo nejen dřívější dosažení prodejní velikosti, ale i zvětšení cibulí v průměru až o 25 mm (Baum et al. 2015; Charron et al. 2001a). O 19 % byla v dalším experimentu navýšena hmotnost a výnos vodního melounu (*C. lanatus*, odrůda 'Pegasus') ošetřeného AM houbami *R. intraradices* a *F. mosseae* (Omirou et al. 2013).

Při hodnocení délky konzumní části, která je pro spotřebitele velmi zajímavým parametrem, byly v roce 2014 zjištěny rostliny s nejdelší konzumní částí u kontrolní varianty (K 221,7 mm). Nejkratší konzumní část byla naměřena u varianty RI+CC 156,7 mm. Mezi těmito variantami byl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl, u ostatních variant nebyl rozdíl potvrzen.

V roce 2015 byly nalezeny rostliny s nejdelší konzumní částí u varianty ošetřené houbami *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM 217,2 mm). Mezi varianty patřící do skupiny s výrazně delšími konzumními částmi byly zařazeny varianty opět ošetřené houbou *R. intraradices* (RI+CC 210,0 mm, RI 200,3 mm, FM 198,7 mm). Rostliny s nejkratší délkou konzumní části byly naměřeny u varianty CC+FM 179,4 mm a dále pak u kontrolní neošetřené varianty (K 181,3 mm). Nárůst nadzemních částí rostlin popisuje ve svém článku Baum et al. (2015).

Tabulka efektů inokulace rostlin v článku potvrzuje pozitivní nárůst nadzemní části rostlin například u cibule (*Allium cepa* L.) ošetřené AMH *R. intraradices* (Gashaw Deressa a Schenk 2008), u papriky (*Capsicum annuum*) inokulované *G. fasciculatum*, kde byla inokulací podpořena i tvorba květů (Baum et al. 2015; Rajan et al. 2000; Bagyaraj a Sreeramulu 1982). U *Ipomea aquatica*, salátu a rajčete inokulovaných především *R. intraradices*, *F. mosseae* a *C. claroideum* byl potvrzen nárůst biomasy rostlin (Baum et al. 2015; Ortas a Ustuner 2014; Marulanda et al. 2003; Bagyaraj a Sreeramulu 1982).

Míra kolonizace rostlin byla hodnocena jak v polním experimentu, tak u dvou dalších variant, které byly vytvořeny pro srovnání účinku mykorhizních hub. Tyto varianty byly vytvořeny v kontejnerových podmínkách s rozdílným ošetřením substrátu (sterilní substrát – A, nesterilní substrát – B).

Nejvyšší míra kolonizace v rámci testovaných variant polního experimentu byla v roce 2014 prokázána u varianty kombinující AM houby *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM 60,0 %). Ostatní varianty vykazovaly míru kolonizace v rozmezí 45,0 % až 48,6 %. Nejnižší míra kolonizace u inokulovaných variant byla zjištěna u varianty ošetřené AM houbou *C. claroideum* (CC 34,4 %). U kontrolní neošetřené varianty byla míra kolonizace v roce 2014 9,5 %. V roce 2015 byla míra kolonizace kořenů velmi podobná s rokem 2014. Nižší procento kolonizace kořenů než v roce 2014 bylo prokázáno u varianty inokulované houbou *R. intraradices* (2015 RI 33,0 % a 2014 RI 48,6 %), která v roce 2015 vykázala nižší míru kolonizace. Nižší míra kolonizace byla stanovena i u varianty RI+FM 43,4 % a FM (46,5 %). Nejvyšší míra kolonizace v roce 2015 byla zjištěna u varianty inokulované AM houbami *R. intraradices* a *C. claroideum* (RI+CC 58,9 %).

Kontrolní neošetřená varianta vykazovala míru kolonizace kořenů rostlin 10,7 %. Na kolonizaci kořenů rostlin může mít vliv množství zahradnických postupů jako je úprava půdy, osevni postup a celkový management zahradnické produkce. Množství různých zahradnických postupů může negativně ovlivňovat množství AMH v půdě, může podporovat AM houby, které pozitivně neovlivňují výnos a kvalitu pěstovaných plodin (Rouphael et al. 2015; Gosling et al. 2006). V mnoha případech záleží na nejčastěji se přirozeně vyskytujících druzích arbuskulárních mykorhizních hub, především to jsou houby *Glomus* sp. (Rouphael et al. 2015; Oehl et al. 2011a).

Negativní vliv na AM houby v půdě mohou mít jak rostliny netvořící mykorhizní symbiózu, tak rostliny s nízkým kolonizačním potenciálem. Nízký kolonizační potenciál byl potvrzen u papriky (*Capsicum annuum*), salát (*Lactuca sativa*) a dalších druhů (Rouphael et al. 2015). Detailní vliv různých zemědělských postupů popisuje ve své práci Gosling et al. (2006). Kolonizace kořenů rostlin může být ovlivněna například i zasolením půdy. Na úrovni zasolení od 0,5 do 100 mM klesala míra kolonizace u rajčat z 55 %, přes 39 % až k 27 % (Abdel Latef a Chaoxing 2011).

U sterilního substrátu (A) byla stanovena míra kolonizace u kontrolní varianty v obou letech pod 10 % (A-K 2014 8,8 %, A-K 2015 9,3 %). Statisticky průkazné zvýšení míry kolonizace bylo potvrzeno mezi kontrolní variantou (A-K 8,8 %) a variantou A-CC+FM (54,8 %), v roce 2015 byla statisticky prokázána zvýšená míra kolonizace oproti kontrolní variantě 9,3 % u variant A-CC+FM (56,5 %) a A-FM (47,8 %).

U rostlin pěstovaných v nesterilních podmínkách (B) byla v roce 2014 stanovena míra kolonizace u kontrolních variant 36,0 % a v roce 2015 27,0 %. V roce 2014 byl statisticky významný rozdíl mezi kontrolou a inokulovanou variantou potvrzen u variant B-CC+FM (29,5 %) a B-FM (62,5 %). Zajímavé je, že varianta B-CC+FM (29,5 %), ve sterilních substrátech dosahovala vyšší míry kolonizace kořenů rostlin než v nesterilních podmínkách. Tento jev může být ovlivněn interakcí s nativně se vyskytujícími druhy AMH v půdě, které byly introdukované do kontejnerů společně s přídavkem zeminy.

Zvýšená míra kolonizace oproti kontrolní variantě (B-K 27,0 %) v roce 2015 byla potvrzena mezi variantou ošetřenou *C. claroideum* (B-CC 61,8 %). Mezi ostatními testovanými variantami nebylo prokázáno statisticky významné navýšení míry kolonizace kořenů rostlin (CC+FM 31,0 %, RI+CC 45,4 %, RI+FM 47,8 %, FM 55,8 %). Nízkou až žádnou míru kolonizaci popisuje Wertheim et al. (2014) při použití přípravku MycoGrowTM. U tohoto přípravku nebyla v roce 2010 přítomnost kolonizace kořenů potvrzena. Sazenice ošetřené polně odebraným inokulem vykazovaly v tomto experimentu míru kolonizace 35 ± 10 %. Další studie uvádí, že kořeny konvenčně pěstovaných cibulí v Nizozemí vykazovaly vyšší míru kolonizace (Zeeland 72 %, Fevoland 91 %) (Lone et al. 2015; Galván et al. 2009). Míra kolonizace kořenů rostlin je tedy velmi variabilní parametr.

7.3. VLIV INOKULACE NA NUTRIČNÍ PARAMETRY PÓRU PRAVÉHO (*A. PORRUM* L.)

Vliv ošetření rostlin arbuskulárními mykorhizními houbami na nutriční parametry rostlin potvrzuje množství studií. Vždy záleží na druhu hostitelské rostliny a na specifickém druhu mykorhizní houby. Aplikace mykorhizních hub často zvyšuje obsah fosforu, zinku, dusíku draslíku v rostlinných pletivech (Baum et al. 2015; Sorensen et al. 2002; Smith 2001; Charron et al. 2001b). Disertační experiment se zabýval hodnocením vybraných nutričních parametrů pletiv póru. Veškeré hodnocení probíhalo u rostlin z polního experimentu v letech 2014 a 2015.

- **Sušina**

Tabulky nutričních hodnot (Kopec 1998) uvádí průměrný obsah sušiny v rostlinách póru přibližně $123 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$. Disertační experiment stanovoval obsah sušiny v procentech. Nejnižší obsah sušiny v roce 2014 byl prokázán u kontrolní varianty (K 13,21 %), varianty ošetřené kombinacemi AM hub vykazovaly zvýšené procento sušiny v rostlinách (RI+CC 15,9 %, CC+FM 17,2 %, RI+FM 16,6 %). Mezi ošetřenými variantami nebylo potvrzeno statisticky průkazné zvýšení obsahu sušiny oproti kontrole.

V roce 2015 byl stanoven nejvyšší obsah sušiny u varianty CC+FM (16,2 %), druhý nejvyšší obsah byl stanoven u kontrolní varianty (K 15,9 %), ostatní varianty se výrazně nelišily od ostatních. Obsah sušiny v roce 2015 se pohyboval v rozmezí 13,4 % (RI+CC) až 16,2 % (CC+FM). Studie Ortas et al. (2011) také potvrzuje zvýšení obsahu sušiny u rostlin papriky, inokulované jak při výsevu, tak u předpěstovaných rostlin.

Nejvyšší obsah sušiny v zmíněném experimentu u rostlin inokulovaných při výsevu prokázala varianta *G. etunicatum* (19,3 g·rostlina⁻¹), *G. clarum* (19,1 g·rostlina⁻¹), a u kombinace všech pěti testovaných druhů hub (19,0 g·rostlina⁻¹). Navýšení obsahu sušiny v kukuřici (*Zea mays* L.) u variant ošetřených arbuskulárními mykorhizními houbami potvrzuje i studie Miransari et al. (2009).

- **Hrubá vláknina**

Nejnižší obsah hrubé vlákniny v roce 2014 byl stanoven u varianty CC+FM (9,3 %), i kontrolní varianta vykázala nižší množství hrubé vlákniny v rostlinách (K 9,3 %). Vyšších hodnot v obsahu hrubé vlákniny dosahovaly varianty ošetřené houbou *C. claroideum* (CC 10,4 % a RI+CC 10,3 %). Mezi variantami nebyl potvrzen statisticky průkazný rozdíl.

V roce 2015 nebyly prokázány žádné statisticky významné rozdíly mezi testovanými variantami a kontrolní neošetřenou variantou. Nejnižší obsah hrubé vlákniny vykazovaly varianty CC+FM (6,5 %), K (6,7 %) a CC (6,7 %), oproti variantě ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 9,1 %) která obsahovala nejvíce vlákniny. Jako pozitivní inokulace se prokázala inokulace AMH *R. intraradices* v různých kombinacích, například varianta RI+FM obsahovala hrubé vlákniny 8,7 %. Tabulka USDA pro rok 2016 uvádí obsah vlákniny v póru 20 g·kg⁻¹ čerstvé hmoty, což odpovídá asi 7 % denní doporučené dávky. V porovnání s těmito hodnotami tabulky nutričních hodnot uvádějí hodnotu 15 g·kg⁻¹ (Kopec 1998).

- **Celkový obsah dusíku**

V roce 2014 nebyly potvrzeny žádné významné rozdíly mezi kontrolou a ošetřeními variantami. Nejvyšší procento celkového dusíku v rostlinách bylo stanoveno u kontrolní varianty (K 0,9 %). Nejnižší obsah byl stanoven u variant RI+FM (0,7 %), další nízké hodnoty byly znovu získány u variant ošetřených mykorhizními houbami: CC+FM 0,7 %, FM 0,7 %, CC 0,8 %, RI+CC 0,8 %.

V roce 2015 vykázaly některé varianty nárůst obsahu celkového dusíku, například nejvyšší obsah u varianty RI (1,3 %), dále u variant FM (1,1 %) a RI+FM (1,0 %). Kontrolní varianta obsahovala 0,9 % celkového dusíku. Nejnižší obsah celkového dusíku byl stanoven v roce 2015 u varianty CC+FM (0,8 %).

Průkaznost rozdílů mezi kontrolní variantou a variantami ošetřenými AMH v obsahu makroprvků bývá často rozdílná. Například Lone et al. (2015) udává, že inokulace AMH nevykazovala významné rozdíly oproti kontrole. Tajini et al. (2012) potvrzuje, že ošetřením rostlin fazolu obecného AMH *G. intraradices* společně s *Rhizobium tropici* CIAT899 vzrostl obsah celkového dusíku v pletivech. Byla zvýšena i nodulace kořenů rostlin fazolu a živiny získané rostlinou ze substrátu byly efektivněji využívány.

- **Celkový obsah fosforu**

Hodnocení obsahu celkového fosforu v roce 2014 nepotvrdilo v disertačním experimentu předpokládaný pozitivní trend při inokulaci rostlin mykorrhizními houbami. Zásoba fosforu v půdě byla v obou experimentálních letech pro pěstování pórů dostatečná, viz Tabulka 2. Nejvyšší obsah celkového fosforu byl stanoven u kontrolní varianty (K 18,9 mg·kg⁻¹), následovala varianta RI+FM (18,6 mg·kg⁻¹). Nejnižší obsah fosforu byl prokázán u varianty FM (7,9 mg·kg⁻¹), dále u varianty CC+FM (8,7 mg·kg⁻¹) a RI (11,5 mg·kg⁻¹). Databáze USDA pro rok 2016 uvádí průměrné množství P v póru okolo 35 mg·kg⁻¹. Kopec (1998) pro obsah fosforu uvádí hodnotu 460 mg·kg⁻¹ v sušině, hodnoty disertačního experimentu jsou přepočteny na obsah prvků v čerstvé hmotě.

Proti roku 2014 byl v roce 2015 prokázán nárůst obsahu celkového fosforu v póru a byl potvrzen pozitivní efekt inokulace AM houbami. Nejvyšší obsah fosforu byl stanoven u varianty ošetřené houbou *R. intraradices* (RI 36,17 mg·kg⁻¹). Kontrolní varianta v roce 2015 obsahovala 31,19 mg·kg⁻¹ celkového fosforu. Varianty RI+CC (29,02 mg·kg⁻¹) a CC+FM (29,67 mg·kg⁻¹) obsahovaly méně fosforu než kontrola (K 31,2 mg·kg⁻¹). Nejnižší obsah fosforu obsahovala varianta RI+FM (28,55 mg·kg⁻¹). Lone et al. (2015) popisuje ve svém experimentu nárůst obsahu fosforu v cibuli u variant ošetřených AMH oproti kontrole. Autor dále uvádí, že zvýšení obsahu fosforu bylo signifikantní pouze u mladých rostlin, při sklizni již nebyl rozdíl oproti kontrole významný. Pozitivní ovlivnění obsahu fosforu v rostlinách fazolu (*Phaseolus vulgaris* cv. CocoT a Flamingo) zmiňuje Tajini et al. (2012). U ošetřených variant houbou *G. intraradices* vzrostl obsah P v pletivech o 40 %. A to i v substrátu s nedostatečnou zásobou dostupného fosforu.

- **Celková antioxidační kapacita (TAC)**

Aplikace mykorhizních hub do substrátu a jejich vliv na rostliny může způsobovat zvýšení aktivity antioxidačních enzymů například u salátu (*Lactuca sativa*) (Baslam et al. 2013b). V roce 2014 byl prokázán statisticky významný rozdíl mezi kontrolní variantou (K 3,3 mM Trolox·kg⁻¹) a variantou ošetřenou AM houbami *C. claroideum* a *F. mosseae* (CC+FM 5,99 mM Trolox·kg⁻¹). Mezi ostatními testovanými variantami nebyly prokázány významné rozdíly. U ošetřených variant AM inokuly bylo pozorováno navýšení obsahu TAC oproti kontrole. Inokulované varianty se vyznačovaly podobnými hodnotami. Například FM 5,35 mM Trolox·kg⁻¹, RI+CC 5,69 mM Trolox·kg⁻¹, RI+FM 5,95 mM Trolox·kg⁻¹. Nejvyšší obsah TAC byl stanoven u varianty CC+FM (5,99 mM Trolox·kg⁻¹).

Rok 2015, který se vyznačoval vysokými teplotami a množstvím slunečných dnů (viz Graf 1 a Graf 2) měl vliv na zvýšení obsahu TAC. Nejnižší obsah celkových antioxidantů byl stanoven u varianty CC (5,18 mM Trolox·kg⁻¹), nízký obsah byl prokázán u varianty RI+CC (5,80 mM Trolox·kg⁻¹), dále následovala kontrolní varianta (K 7,93 mM Trolox·kg⁻¹). Nejvyšší obsah TAC byl stanoven u variant CC+FM (12,76 mM Trolox·kg⁻¹) a RI+FM (13,41 mM Trolox·kg⁻¹). Inokulace mykorhizní houbou *F. mosseae* pozitivně ovlivnila obsah celkových antioxidantů v póru. Pozitivní ovlivnění celkové antioxidační kapacity nebo antioxidačních enzymů prokazuje například experiment s čekankou (*Cichorium intybus* L.). Inokulované rostliny AM houbou *R. irregularis* prokazatelně navyšovaly aktivitu chloramfenikol acetyl transferázy (CAT) enzymů. Tato peroxidázová aktivita byla u ošetřených rostlin vyšší oproti kontrolní variantě bez ošetření (Rozpádek et al. 2014).

- **Vitamin C**

Tabulky USDA pro rok 2016 uvádí průměrný obsah vitamínu C u póru okolo 120 mg·kg⁻¹. Obsah vitamínu C dle tabulek nutričních hodnot byl stanoven na 189 mg·kg⁻¹ (Kopecký 1998). Nejnižší obsah vitamínu C v roce 2014 byl stanoven u kontrolní varianty (K 59,8 mg·kg⁻¹). Nejvyšší obsah vitamínu C prokázala varianta využívající mykorhizní houby *R. intraradices* a *F. mosseae* (RI+FM 76,7 mg·kg⁻¹), dále varianty RI+CC (76,5 mg·kg⁻¹), FM (71,1 mg·kg⁻¹), CC (66,1 mg·kg⁻¹).

Mezi testovanými variantami nebyl potvrzen statisticky signifikantní rozdíl oproti kontrolní variantě. Žádná z testovaných variant nedosáhla v obsahu vitamínu C hodnot uváděných v literatuře.

Ani v roce 2015 nebyly potvrzeny signifikantní rozdíly mezi kontrolou a ošetřenými variantami. V roce 2015 nebyl potvrzen pozitivní trend inokulace AMH. Nejnižší obsah vitamínu C byl stanoven u variant CC+FM (54,8 mg·kg⁻¹), RI+FM (72,5 mg·kg⁻¹), u kontrolní varianty byla stanovena hodnota 92,9 mg·kg⁻¹, nejvyšší obsah kyseliny askorbové obsahovala varianta CC (104,3 mg·kg⁻¹).

Potvrzení vlivu mykorhizní inokulace na zvýšení obsahu vitamínu C potvrzuje například studie se salátem. Testovány byly 3 odrůdy salátu (*L. sativa* var. *kongifolia* ‘Cogollos de Tudela’, *L. sativa* var. *Capitata* cv. *batavia* ‘Rubia Munguía’ a *L. sativa* var. *capitata* cv. ‘Maravilla de Verano’). Při pěstování salátu v optimálním závlahovém režimu. Zvýšení obsahu vitamínu C bylo výraznější u ošetření houbou *G. fasciculatum* než u kombinace hub *R. intraradices* a *F. mosseae* (Baslam et al. 2013b; Smith 2001).

- **Těžké kovy (Zn, Cd, Pb, Cu)**

Jak je známo, AMH ovlivňují příjem mikroprvků a prvků s pomalou mobilitou v substrátu, například Fe, Zn a Cu. Efekt zvýšeného příjmu mikroprvků je závislý nejen na druhu rostlin, ale i na dostupnosti P z půdy (Baslam et al. 2013b, 2011a, 2011b; Clark a Zeto 2000; Kothari et al. 1991; Li et al. 1991). Vliv inokulace mykorhizními houbami na příjem zinku a železa popisuje i článek Lone et al. (2015). Navýšení obsahu Fe a Zn v pletivech cibule bylo prokázáno na konci vegetace.

Maximální limit obsahu olova a kadmia v póru upravuje Nařízení vlády č. 75/2015 Sb³. Maximální obsah olova je stanoven na 0,09 mg·kg⁻¹ a obsah kadmia a je stanoven na 0,045 mg·kg⁻¹.

V roce 2014 nebyly v rostlinách sklizených z polního experimentu potvrzeny žádné signifikantní rozdíly mezi kontrolní neošetřenou variantou a variantami ošetřenými AM houbami. Jediný statisticky průkazný rozdíl byl potvrzen při hodnocení akumulace kadmia v rostlinách, a to mezi variantami obsahující AM houbu *C. claroideum* (CC 1,7 μg·kg⁻¹ a CC+FM (18,3 μg·kg⁻¹).

³ Nařízení vlády č. 75/2015 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálně-klimatických opatření a o změně nařízení vlády č. 79/2007 Sb., o podmínkách provádění agroenvironmentálních opatření, ve znění pozdějších předpisů Příl.12

Kontrola obsahovala $8,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmia. Z dalších sledovaných těžkých kovů obsahovala kontrolní varianta $2611,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ zinku, $16,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ olova a $160,7 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi.

Nejvyšší obsah zinku v roce 2014 byl stanoven u varianty CC+FM ($3017,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$), tato varianta obsahovala nejvíce kadmia (CC+FM $18,3 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nejvyšší obsah olova byl stanoven u varianty RI+FM ($45,1 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Zvýšený obsah zinku v pletivech a nárůst obsahu fosforu a vyšší výnos u póru zmiňuje ve své studii Sorensen et al. (2005).

Podobné výsledky dosáhl i experiment s rostlinami papriky (*Capsicum annuum* L.). Zvýšení Zn a P nastalo i při pěstování papriky na půdách chudých na tyto prvky (Baum et al. 2015; Ortas 2012). Miransari et al. (2009) uvádí, že příjem Zn rostlinami kukuřice ošetřenými AM houbami je výrazně ovlivněn utužením půdy. Ošetření AM houbami prokázalo nejvyšší navýšení obsahu Zn o 48 % u varianty ošetřené houbou *G. etunicatum*. Podobný experiment prokázal u rostlin kukuřice zvýšení příjmu mědi některých ošetřených variant.

V roce 2015, po velmi vysokých teplotách v průběhu vegetace, byl sledován nárůst akumulace těžkých kovů v póru. Varianta obsahující houbu *F. mosseae* obsahovala nejméně mědi (FM $229,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi) a prokázala rozdíl oproti variantě RI, která obsahovala mědi nejvíce ($825,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$). Kontrolní varianta obsahovala $402,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi. Snížení obsahu mědi bylo sledováno v experimentu s cibulí (*Allium cepa* L.). Varianty ošetřené mykorrhizními inokuly prokázaly signifikantní snížení obsahu mědi v pletivech rostlin (Lone et al. 2015).

U kontrolní varianty v disertačním experimentu bylo stanoveno $402,9 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ mědi, $65,4 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ olova, $17,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ kadmia a $2132,2 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ zinku. Kontrola obsahovala nejnižší množství zinku ze všech testovaných variant. Nejvíce zinku obsahovala varianta RI ($3382,5 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$).

Použití mykorrhizních hub ovlivnilo nejen výnosové a morfologické parametry póru, arbuskulární mykorrhizní houby měly vliv i na zvýšení jednotlivých složek rostlinných pletiv.

- **Dusičnany**

Anorganický dusík je rostlinou z půdy přijímán ve dvou formách (NO_3^- , NH_4^+), při přítomnosti AM hub je absorbován v extraradikálním myceliu, kde je převeden na aminokyselinu arginin a transportován do intraradikálního mycelia (Behie a Bidochka 2014; Tian et al. 2010). Dusík může být v mnohých rostlinných druzích akumulován ve formě nežádoucích dusičnanů. Vědecký výbor pro potraviny (SCF) uvádí, že celkový příjem dusičnanů je obvykle nižší než přijatelný denní příjem (ADI) $3,7 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti spotřebitele. Nicméně se stále doporučuje snižovat denní příjem dusičnanů ve stravě.

Maximální limity pro obsah dusičnanů v zelenině jsou rozdílné dle druhu zeleniny a dle legislativy jednotlivých států EU. Například limity pro hlávkový salát se pohybují v rozmezí od $5820 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ do $6834 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ v UK, Nizozemí a Německu. V rostlinách póru udává vyhláška EU⁴ $240 - 570 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ dusičnanů. Dusičnany nejsou samy o sobě škodlivé, pokud se navážou na bakterie žijící uvnitř trávicího traktu člověka. Dusičnany jsou nebezpečné pro děti mladší 6 měsíců, u kterých se jako dusitany dostávají do krve a reagují s hemoglobinem a tvoří methemoglobin, ten není schopen transportu kyslíku a způsobuje dušení, tzv. modráni tkání – methemoglobinémie (Baslam et al. 2013a).

V roce 2014 potvrdily výsledky nutričních testů pracovní hypotézu (snížení obsahu dusičnanů v inokulovaných rostlinách) i přestože, nejvyšší obsah dusičnanů byl zjištěn u varianty ošetřené houbou *R. intraradices* ($338,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$). Druhý nejvyšší obsah dusičnanů byl stanoven u kontrolní varianty (K $323,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), kde byla vyšší koncentrace předpokládaná. Při hodnocení obsahu dusičnanů byl v roce 2014 potvrzen pozitivní trend při použití AMH na snížení obsahu dusičnanů v rostlinách. U variant ošetřených kombinací dvou AM hub obsah dusičnanů v rostlině výrazně klesal RI+CC ($165,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$), CC+FM ($49,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$) a RI+FM ($44,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$).

⁴ Zprávy Vědeckého výboru pro potraviny, rada 38, Stanovisko Vědeckého výboru pro potraviny o dusičnanech a dusitanu, s. 1–33, http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/reports/scf_reports_38.pdf, vyhláška viz NAŘÍZENÍ KOMISE (ES) č. 1881/2006, ze dne 19. prosince 2006, kterým se stanoví maximální limity některých kontaminujících látek v potravinách

V roce 2015 všechny z testovaných variant dosahovaly hodnot pod $60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, i přes tyto extrémně nízké hodnoty byl znovu potvrzen pozitivní trend inokulace AM houbami a jejich kombinacemi. Kontrola vykazala nejvyšší obsah dusičnanů (K $53,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Nejnižší obsah dusičnanů byl stanoven ve variantách RI+CC ($12,2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), CC+FM ($16,6 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), RI ($21,3 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) a CC ($21,8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). Výrazná redukce dusičnanů může být spojena s vyšší enzymatickou aktivitou a redukcí nitrátů. Enzymy nitrátreduktáza a nitritreduktáza jsou ovlivňovány především světlem (při nedostatečném osvětlení se nitráty akumulují). Tyto enzymy mohou být ovlivněny i teplem. Proto bylo možné, že při vyšším množství teplých dnů s vysokou sluneční aktivitou byly nitráty v pletivech redukovány (Sanmartín et al. 2014; Rios et al. 2010).

8. ZÁVĚR

V disertačním experimentu byl u póru pravého (*Allium porrum* L.) odrůdy ‘Terminal’ hodnocen vliv různých druhů arbuskulárních mykorhizních hub a jejich kombinací na morfologické, jakostní a nutriční parametry. Testované parametry byly hodnoceny jak u sadby póru, tak v polních podmínkách. Míra kolonizace kořenů u rostlin z polního pěstování byla porovnáována s rostlinami pěstovaných v kontejnerech.

Při hodnocení předpěstovaných rostlin póru nelze ze získaných výsledků vyvodit jednoznačný závěr, zda má inokulace rostlin při výsevu má signifikantní vliv na sadbu rostlin. Při porovnání výšky nadzemní části a hmotnosti sadby byl sledován v obou experimentálních letech nárůst u variant kombinující houby *R. intraradices* a *C. claroideum*. U těchto mykorhizních hub byl sledován nárůst míry kolonizace kořenů rostlin póru.

Sledování míry kolonizace u polně pěstovaných rostlin v roce 2014 prokázalo nejvyšší míru kolonizace u variant obsahující houbu *R. intraradices* nebo její kombinaci s *F. mosseae*. V roce 2015 byla nejvyšší míra kolonizace sledována podobně jako u předpěstované sadby u variant obsahující kombinaci mykorhizních hub *R. intraradices* a *C. claroideum*. Vyšší míra kolonizace byla naměřena i u varianty kombinující houby *C. claroideum* a *F. mosseae*. U stejné varianty v kontejnerové produkci byla v obou experimentálních letech sledována nejvyšší míra kolonizace při pěstování póru v sterilním substrátu. Nejvyšší míra kolonizace v nesterilním substrátu u kontejnerové produkce byla zaznamenána u variant využívající jednodruhová inokula jako *C. claroideum* a *F. mosseae*.

Výrazné změny u morfologie polně pěstovaných rostlin póru nebyly potvrzeny. Rozdíly mezi ošetřenými variantami a kontrolou nebyly signifikantně významné. Aplikací mykorhizních hub došlo k nárůstu příjmu živin dostupných z půdy, tento jev bylo možné sledovat při stanovení nutričních parametrů, které jsou příjmem živin ovlivněny. U mnoha parametrů ovlivňovala zvýšení obsahu nutričních látek varianta obsahující houbu *C. claroideum* a její kombinace, často s houbou *R. intraradices*. Vliv inokulace mykorhizními houbami byl sledován především v roce 2015, kdy byly po dobu vegetace extrémní podmínky. Byl zaznamenán například nárůst celkové antioxidační kapacity u variant obsahující arbuskulární mykorhizní houbu *F. mosseae*.

Předpokládaný zvýšený obsah vitamínu C v rostlinách byl signifikantně potvrzen oproti kontrolní variantě pouze v roce 2015, a to u variant ošetřených jedním druhem AM hub (*R. intraradices* a *C. claroideum*). Zlepšený příjem prvků ze substrátu byl potvrzen při stanovení obsahu celkového fosforu v listech. Všechny varianty obsahovaly v roce 2015 zvýšené množství fosforu v pletivech. Sledován byl i příjem těžkých kovů rostlinou, kdy nejnižší obsah kadmia byl zjištěn u varianty obsahující houby *R. intraradices* a *C. claroideum*.

Pro pozitivní ovlivnění růstu rostlin je důležitá nejen harmonická výživa a správný závlahový režim. Zapravování organické hmoty do půdy stimuluje růst hyf mykorhizních hub přirozeně se vyskytujících v půdním profilu. V zahradnické praxi je možné využít dostupných přípravků na bázi mykorhizních hub. Jejich přesná aplikace při výsevu nebo plošná při přípravě pozemku neznamena velkou finanční zátěž. Vložená investice se vrací s výnosem či lepší odolností rostlin v stresových podmínkách.

Využití arbuskulární mykorhizní symbiózy v zelinářské praxi by se mohlo stát zajímavou prioritou například v ekologické či integrované produkci. Oproti konvenčním systémům není možné v těchto pěstebních systémech využít systémové fungicidy, herbicidy a další přípravky, které mohou inhibovat rozvoj mykorhizních hub. Využití komerčních preparátů na bázi mykorhizních hub pro ochranu, zlepšení příjmu prvků, vyšší výnosy je zajímavou alternativou k obvykle používaným přípravkům.

9. SHRnutí

Název práce: Studium vlivu arbuskulárních mykorhizních hub na jakostní, hospodářské a nutriční parametry kultury póru pravého (*Allium porrum* L.)

V disertačním experimentu byl hodnocen vliv arbuskulárních mykorhizních hub na morfologické, jakostní a nutriční parametry póru pravého (*Allium porrum* L.) odrůdy ‘Terminal’. Disertační experiment probíhal na pozemcích Zahradnické fakulty, Mendelovy univerzity v Brně. Míra kolonizace kořenů a morfologie rostlin byla hodnocena nejen v polním experimentu, ale i u sadby póru. Nutriční parametry byly stanovovány pouze u polně pěstovaných rostlin.

Pozitivní vliv inokulace rostlin mykorhizními houbami byl zaznamenán u výšky a hmotnosti předpěstovaných rostlin, dále u zvýšení některých nutričních parametrů.

Pracovní hypotéza předpokládala pozitivní vliv na všechny sledované parametry. Tato hypotéza nebyla potvrzena. Toto stanovisko koresponduje se současnými výsledky podobných studií na téma mykorhizní symbiózy.

Klíčová slova:

pór pravý, arbuskulární mykorhizní houby, nutriční látky, morfologie, jakost, výnos, vitamin C

10.SUMMARY

Thesis title: The study of the influence of arbuscular mycorrhizal fungi on the quality, economic and nutritional parameters of the leek culture (*Allium porrum* L.)

The dissertation experiment evaluated effect of the arbuscular mycorrhizal fungi on morphological, quality and nutritional parameters of leek (*Allium porrum* L.), cultivar ‘Terminal’. Dissertation experiment was conducted at the Faculty of Horticulture, Mendel University in Brno. The rate of the root colonization and plant morphology was evaluated on the field grown plants and also on the seedlings. Nutritional parameters were determined only on the field grown plants.

The positive effect on the plants inoculated with mycorrhizal fungi was observed especially during the evaluation of height and weight of seedlings. Positive effect of the mycorrhizal inoculation was observed also as an increase of some nutritional parameters of the field grown plants.

The hypothesis of the thesis was a positive influence on all studied parameters. This hypothesis was not confirmed. These results correspond with the current results and scientific opinion of similar studies on mycorrhizal symbiosis.

Keywords:

Leek, arbuscular mycorrhizal fungi, nutritional parameters, plant morphology, quality parameters, yield, vitamin C

11. BIBLIOGRAFIE

ABDEL LATEF, Arafat Abdel Hamed a He CHAOXING, 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae* [online]. 1., roč. 127, č. 3, s. 228–233 [vid. 12. únor 2016]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2010.09.020

ABDEL-FATTAH, G.M., S.A. EL-HADDAD, E.E. HAFEZ a Y.M. RASHAD, 2011. Induction of defense responses in common bean plants by arbuscular mycorrhizal fungi. *Microbiological Research* [online]. B.m.: Elsevier GmbH., 20.5., roč. 166, č. 4, s. 268–281 [vid. 1. červen 2014]. ISSN 09445013. Dostupné z: doi:10.1016/j.micres.2010.04.004

AFFOKPON, Antoine, Danny L. COYNE, Cho Cho HTAY, Rufin Dossou AGBÈDÈ, Louis LAWOUIN a Jozef COOSEMANS, 2011. Biocontrol potential of native *Trichoderma* isolates against root-knot nematodes in West African vegetable production systems. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 3., roč. 43, č. 3, s. 600–608 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2010.11.029

AFFOKPON, Antoine, Danny L. COYNE, Louis LAWOUIN, Colette TOSSOU, Rufin DOSSOU AGBÈDÈ a Jozef COOSEMANS, 2010. Effectiveness of native West African arbuscular mycorrhizal fungi in protecting vegetable crops against root-knot nematodes. *Biology and Fertility of Soils* [online]. 7.12., roč. 47, č. 2, s. 207–217 [vid. 7. září 2015]. ISSN 0178-2762. Dostupné z: doi:10.1007/s00374-010-0525-1

AFZAL, A a A BANO, 2008. Rhizobium and phosphate solubilizing bacteria improve the yield and phosphorus uptake in wheat (*Triticum aestivum*). *International Journal of Agriculture and Biology* [online]. roč. 10, s. 85–88 [vid. 1. červenec 2014]. Dostupné z: http://www.fspublishers.org/published_papers/73012_..pdf

ANTUNES, Pedro M., Kim SCHNEIDER, Derek HILLIS a John N. KLIRONOMOS, 2007. Can the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* actively mobilize P from rock phosphates? *Pedobiologia* [online]. 10., roč. 51, č. 4, s. 281–286 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 00314056. Dostupné z: doi:10.1016/j.pedobi.2007.04.007

AOCS, 2006. *Crude fiber analysis in feeds filter bag technique* [online]. [vid. 29. listopad 2015]. Dostupné z: <https://www.ankom.com/sites/default/files/document->

files/Method_7_Crude_Fiber_A200_RevE_1_14_15.pdf

AZCÓN-AGUILAR, C. a J.M. BAREA, 1997. Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae* [online]. 3., roč. 68, č. 1-4, s. 1–24. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-4238(96)00954-5

AZCÓN-AGUILAR, Concepción, José Miguel BAREA, Silvio GIANINAZZI a Vivienne GIANINAZZI-PEARSON, 2009. *Mycorrhizas - Functional processes and ecological impact* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg [vid. 30. červěn 2014]. ISBN 9783540879770. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-87978-7

BAGO, B., H. VIERHEILIG, Y. PICHE a C. AZCON-AGUILAR, 1996. Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown in monoxenic culture. *New Phytologist* [online]. roč. 133, č. 2, s. 273–280. ISSN 0028-646X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.1996.tb01894.x

BAGYARAJ, D. J. a K. R. SREERAMULU, 1982. Preinoculation with VA mycorrhiza improves growth and yield of chilli transplanted in the field and saves phosphatic fertilizer. *Plant and Soil* [online]. 10., roč. 69, č. 3, s. 375–381 [vid. 14. květen 2016]. ISSN 0032-079X. Dostupné z: doi:10.1007/BF02372458

BARRETT, Gracie, Colin D. CAMPBELL a Angela HODGE, 2014. The direct response of the external mycelium of arbuscular mycorrhizal fungi to temperature and the implications for nutrient transfer. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 11., roč. 78, s. 109–117 [vid. 24. únor 2015]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2014.07.025

BARTHA, Richard, 1984. Mycorrhizal symbiosis. *Soil Science* [online]. third. B.m.: Elsevier Inc., 3., roč. 137, č. 3, s. 204 [vid. 1. červenec 2014]. ISSN 0038-075X. Dostupné z: doi:10.1097/00010694-198403000-00011

BASLAM, M, I PASCULA, M SÁNCHEZ-DÍAZ a N GOICOECHEA, 2013a. Can arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) be effective tools for improving the nutritional quality of crops? findings from a worldwide consumed vegetable. In: M Belén Rodelas GONZÁLEZ a Jesús GONZÁLEZ-LÓPEZ, ed. *Beneficial Plant-microbial Interactions* [online]. ISBN 9781466587175. Dostupné z: doi:10.1201/b15251-17

-
- BASLAM, Marouane, Idoia GARMENDIA a Nieves GOICOECHEA, 2011a. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) improved growth and nutritional quality of greenhouse-grown lettuce. *Journal of agricultural and food chemistry* [online]. B.m.: American Chemical Society, 25.5., roč. 59, č. 10, s. 5504–15 [vid. 8. květen 2016]. ISSN 1520-5118. Dostupné z: doi:10.1021/jf200501c
- BASLAM, Marouane, Idoia GARMENDIA a Nieves GOICOECHEA, 2013b. Enhanced accumulation of vitamins, nutraceuticals and minerals in lettuces associated with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF): A Question of interest for both vegetables and humans. *Agriculture* [online]. B.m.: Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 20.3., roč. 3, č. 1, s. 188–209 [vid. 8. květen 2016]. ISSN 2077-0472. Dostupné z: doi:10.3390/agriculture3010188
- BASLAM, Marouane, Inmaculada PASCUAL, Manuel SÁNCHEZ-DÍAZ, Javier ERRO, José María GARCÍA-MINA a Nieves GOICOECHEA, 2011b. Improvement of nutritional quality of greenhouse-grown lettuce by arbuscular mycorrhizal fungi is conditioned by the source of phosphorus nutrition. *Journal of agricultural and food chemistry* [online]. 26.10., roč. 59, č. 20, s. 11129–40 [vid. 17. květen 2016]. ISSN 1520-5118. Dostupné z: doi:10.1021/jf202445y
- BAUM, C., W. EL-TOHAMY a N. GRUDA, 2015. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae* [online]. 5., roč. 187, s. 131–141 [vid. 14. duben 2015]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.03.002
- BECKER, W. N. a J. W. GERDEMANN, 1977. Colorimetric quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in onion. *New Phytologist* [online]. roč. 78, č. 2, s. 289–295 [vid. 3. září 2015]. Dostupné z: <http://www.jstor.org/stable/2433353>
- BEHIE, Scott W a Michael J BIDOCHKA, 2014. Nutrient transfer in plant-fungal symbioses. *Trends in plant science* [online]. 8.7. [vid. 10. září 2014]. ISSN 1878-4372. Dostupné z: doi:10.1016/j.tplants.2014.06.007
- BOUGOURE, Jeremy, Martha LUDWIG, Mark BRUNDRETT a Pauline GRIERSON, 2009. Identity and specificity of the fungi forming mycorrhizas with the rare mycoheterotrophic orchid *Rhizanthella gardneri*. *Mycological research* [online]. 10., roč. 113, č. Pt 10, s. 1097–106 [vid. 27. červenec 2015]. ISSN 1469-8102. Dostupné z: doi:10.1016/j.mycres.2009.07.007

BRAND-WILLIAMS, W., M.E. CUVELIER a C. BERSET, 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* [online]. 1., roč. 28, č. 1, s. 25–30 [vid. 14. prosinec 2014]. ISSN 00236438. Dostupné z: doi:10.1016/S0023-6438(95)80008-5

CANDIDO, Vincenzo, Gabriele CAMPANELLI, Trifone D'ADDABBO, Donato CASTRONUOVO, Michele PERNIOLA a Ippolito CAMELE, 2015. Growth and yield promoting effect of artificial mycorrhization on field tomato at different irrigation regimes. *Scientia Horticulturae* [online]. 5., roč. 187, s. 35–43 [vid. 2. květen 2016]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.02.033

CLARK, R.B. a S.K. ZETO, 2000. Mineral acquisition by arbuscular mycorrhizal plants. *Journal of Plant Nutrition* [online]. B.m.: Taylor & Francis Group, 21.7., roč. 23, č. 7, s. 867–902 [vid. 17. květen 2016]. ISSN 0190-4167. Dostupné z: doi:10.1080/01904160009382068

DINANT, Sylvie, Julia KEHR a F MAATHUIS, 2013. *Plant mineral nutrients* [online]. Totowa, NJ: Humana Press. Methods in Molecular Biology [vid. 18. červen 2014]. ISBN 978-1-62703-151-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-62703-152-3

FAGHIRE, M, S SAMRI, A MEDDICH, M. BASLAM, N. GOICOECHEA a A. QADDOURY, 2010. Positive effects of arbuscular mycorrhizal fungi on biomass production, nutrient status and water relations in date palm seedlings under water deficiency. *Acta Horticulturae* [online]. 12., č. 882, s. 833–838 [vid. 31. červenec 2014]. ISSN 0567-7572. Dostupné z: doi:10.17660/ActaHortic.2010.882.95

GALLAUD, Ernest-Isidore. Auteur, 1905. *Études sur les mycorhizes endotrophes*. B.m.: Le Bigot frères. Lille.

GALLI, Ulrich, Hannes SCHUEPP a Christian BRUNOLD, 1994. Heavy metal binding by mycorrhizal fungi. *Physiologia Plantarum* [online]. 10., roč. 92, č. 2, s. 364–368 [vid. 1. září 2015]. ISSN 0031-9317. Dostupné z: doi:10.1111/j.1399-3054.1994.tb05349.x

GALVÁN, Guillermo A, István PARÁDI, Karin BURGER, Jacqueline BAAR, Thomas W KUYPER, Olga E SCHOLTEN a Chris KIK, 2009. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming

systems in the Netherlands. *Mycorrhiza* [online]. 6., roč. 19, č. 5, s. 317–28 [vid. 5. květen 2016]. ISSN 1432-1890. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-009-0237-2

GALVÁN, Guillermo, Thomas W KUYPER, Karin BURGER, L C Paul KEIZER, Rolf F HOEKSTRA, Chris KIK a Olga E SCHOLTEN, 2011. Genetic analysis of the interaction between *Allium* species and arbuscular mycorrhizal fungi. *TAG. Theoretical and applied genetics. Theoretische und angewandte Genetik* [online]. 3., roč. 122, č. 5, s. 947–60 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 1432-2242. Dostupné z: doi:10.1007/s00122-010-1501-8

GASHAW DERESSA, Tesfaye a Manfred K. SCHENK, 2008. Contribution of roots and hyphae to phosphorus uptake of mycorrhizal onion (*Allium cepa* L.)-A mechanistic modeling approach. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* [online]. 10., roč. 171, č. 5, s. 810–820 [vid. 14. květen 2016]. ISSN 14368730. Dostupné z: doi:10.1002/jpln.200700209

GEMMA, J.N., R.E. KOSKE a M. CARREIRO, 1989. Seasonal dynamics of selected species of V-A mycorrhizal fungi in a sand dune. *Mycological Research* [online]. 4., roč. 92, č. 3, s. 317–321 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 09537562. Dostupné z: doi:10.1016/S0953-7562(89)80072-3

GIOVANNETTI, M. a B. MOSSE, 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* [online]. 2.3., roč. 84, č. 3, s. 489–500 [vid. 13. srpen 2014]. ISSN 0028646X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x

GLICK, Bernard R., 1995. The enhancement of plant growth by free-living bacteria. *Canadian Journal of Microbiology* [online]. B.m.: NRC Research Press Ottawa, Canada, 10.2., roč. 41, č. 2, s. 109–117 [vid. 12. červenec 2015]. ISSN 0008-4166. Dostupné z: doi:10.1139/m95-015

GOSLING, P., A. HODGE, G. GOODLASS a G.D. BENDING, 2006. Arbuscular mycorrhizal fungi and organic farming. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 4., roč. 113, č. 1-4, s. 17–35 [vid. 23. červenec 2014]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2005.09.009

GOSLING, Paul, Ayako OZAKI, Julie JONES, Mary TURNER, Francis RAYNS a Gary D. BENDING, 2010. Organic management of tilled agricultural soils results in a rapid increase in colonisation potential and spore populations of arbuscular mycorrhizal

fungi. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 15.10., roč. 139, č. 1-2, s. 273–279 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/j.agee.2010.08.013

GRACE, Carol a David P. STRIBLEY, 1991. A safer procedure for routine staining of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research* [online]. 10., roč. 95, č. 10, s. 1160–1162 [vid. 3. září 2015]. ISSN 09537562. Dostupné z: doi:10.1016/S0953-7562(09)80005-1

GREEN, Helge, John LARSEN, Pal Axel OLSSON, Dan Funck JENSEN a Iver JAKOBSEN, 1999. Suppression of the biocontrol agent *Trichoderma harzianum* by mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* in root-free soil. *Applied and Environmental Microbiology* [online]. 1.4., roč. 65, č. 4, s. 1428–1434 [vid. 1. září 2015]. Dostupné z: <http://aem.asm.org/content/65/4/1428.full>

GRYNDLER, Milan, Milan BALÁŽ, Hana HRŠELOVÁ, Jan JANSKA a Miroslav VOSÁTKA, 2004. *Mykorhizní symbióza - O soužití hub s kořeny rostlin* [online]. 1. vyd. Praha: Academia [vid. 6. květen 2015]. ISBN 80-200-1240-0. Dostupné z: <http://knihy.abz.cz/prodej/mykorhizni-symbioza>

GUPTA, M.L, Arun PRASAD, Muni RAM a Sushil KUMAR, 2002. Effect of the vesicular–arbuscular mycorrhizal (VAM) fungus *Glomus fasciculatum* on the essential oil yield related characters and nutrient acquisition in the crops of different cultivars of menthol mint (*Mentha arvensis*) under field conditions. *Bioresource Technology* [online]. 1., roč. 81, č. 1, s. 77–79 [vid. 29. srpen 2015]. ISSN 09608524. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(01)00109-2

HART, Miranda M. a Jennifer A. FORSYTHE, 2012. Using arbuscular mycorrhizal fungi to improve the nutrient quality of crops; nutritional benefits in addition to phosphorus. *Scientia Horticulturae* [online]. 12., roč. 148, s. 206–214 [vid. 14. únor 2015]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2012.09.018

HAWKINS, Heidi-Jayne, 2000. No Title. *Plant and Soil* [online]. B.m.: Kluwer Academic Publishers, roč. 226, č. 2, s. 275–285 [vid. 24. květen 2015]. ISSN 0032079X. Dostupné z: doi:10.1023/A:1026500810385

HEPPER, Christine M., 1977. A colorimetric method for estimating vesicular-

arbuscular mycorrhizal infection in roots. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 1., roč. 9, č. 1, s. 15–18 [vid. 3. září 2015]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/0038-0717(77)90055-4

HODGE, A, C D CAMPBELL a A H FITTER, 2001. An arbuscular mycorrhizal fungus accelerates decomposition and acquires nitrogen directly from organic material. *Nature* [online]. 20.9., roč. 413, č. 6853, s. 297–9 [vid. 23. březen 2015]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/35095041

HODGE, a., T. HELGASON a a.H. FITTER, 2010. Nutritional ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Fungal Ecology* [online]. B.m.: Elsevier Ltd, 11., roč. 3, č. 4, s. 267–273 [vid. 28. květen 2014]. ISSN 17545048. Dostupné z: doi:10.1016/j.funeco.2010.02.002

HÖFLICH, G, Wolfgang WIEHE a C HECHT-BUCHHOLZ, 1995. Rhizosphere colonization of different crops with growth promoting *Pseudomonas* and *Rhizobium* bacteria. *Microbiological research* [online]. roč. 150, s. 139–147 [vid. 31. červenec 2014]. Dostupné z:

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501311800480>

CHARRON, G, V FURLAN, M BERNIER-CARDOU a G DOYON, 2001a. Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae: 2. Effects of nitrogen fertilization on biomass and bulb firmness. *Mycorrhiza* [online]. 8., roč. 11, č. 3, s. 145–50 [vid. 8. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s005720100122

CHARRON, G, V FURLAN, M BERNIER-CARDOU a G DOYON, 2001b. Response of onion plants to arbuscular mycorrhizae. *Mycorrhiza* [online]. 1.9., roč. 11, č. 4, s. 187–197 [vid. 8. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s005720100121

IKIZ, O, K ABAK, HY DAŞGAN a I ORTAŞ, 2008. Effects of mycorrhizal inoculation in soilless culture on pepper plant growth. ... *Protected Cultivation in Mild Winter* ... [online]. č. 2008 [vid. 31. červenec 2014]. Dostupné z: http://www.actahort.org/books/807/807_78.htm

IMHOF, Stephan, 2009. Arbuscular, ecto-related, orchid mycorrhizas—three independent structural lineages towards mycoheterotrophy: implications for classification? *Mycorrhiza* [online]. 8., roč. 19, č. 6, s. 357–363. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-009-0240-7

ISHII, Satoshi a Thomas E LOYNACHAN, 2004. Rapid and reliable DNA extraction techniques from trypan-blue-stained mycorrhizal roots: comparison of two methods. *Mycorrhiza* [online]. 8., roč. 14, č. 4, s. 271–5 [vid. 7. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-004-0316-3

ITOH, Takeshi, Tomoyuki NITTA, Hitomi NISHINAKAMURA, Daibo KOJIMA, Toshiyuki MERA, Junko ONO, Shohta KODAMA a Yohichi YASUNAMI, 2015. HMGB1-Mediated Early Loss of Transplanted Islets Is Prevented by Anti-IL-6R Antibody in Mice. *Pancreas* [online]. 1.1., roč. 44, č. 1, s. 166–171 [vid. 23. srpen 2015]. ISSN 0885-3177. Dostupné z: doi:10.1097/MPA.000000000000188

J. L. HARLEY AND S. E. SMITH, 1983. *Mycorrhizal Symbiosis*. [online]. London and New York: Cambridge University Press [vid. 8. květen 2015]. Dostupné z: http://journals.cambridge.org/abstract_S0014479700014113

JAKOBSEN, I. a L. ROSENDAHL, 1990. N₂ fixation and root respiration in pea: Effects of VAM and P. *Agriculture, Ecosystems & Environment* [online]. 2., roč. 29, č. 1-4, s. 205–209 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 01678809. Dostupné z: doi:10.1016/0167-8809(90)90278-L

JAVORSKÝ, P., F. KREČMER a J UHNÁK, 1987. *Chemické roz- bory v zemědělských laboratořích, II. [Chemical Analysis in Agricultural Laboratories, II.]* [online]. České Budějovice: Czech Ministry of Agriculture [vid. 29. listopad 2015]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=7&I=0&J=0&K=0

JIN, H, P E PFEFFER, D D DOUDS, E PIOTROWSKI, P J LAMMERS a Y SHACHAR-HILL, 2005. The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* [online]. 12., roč. 168, č. 3, s. 687–696 [vid. 31. srpen 2015]. ISSN 0028-646X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.2005.01536.x

JUGE, Christine, Julie SAMSON, Claudia BASTIEN, Horst VIERHEILIG, Andrew COUGHLAN a Yves PICHÉ, 2002. Breaking dormancy in spores of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*: a critical cold-storage period. *Mycorrhiza* [online]. 2.2., roč. 12, č. 1, s. 37–42 [vid. 20. březen 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-001-0151-8

KAHINDI, JHP a P WOOMER, 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and ecosystem function in the tropics: the role of nitrogen-fixing bacteria. *Applied Soil ...* [online]. roč. 6, s. 55–76 [vid. 1. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0929139396001515>

KARAGIANNIDIS, Nikitas, Fotios BLETOSOS a Nikolaos STAVROPOULOS, 2002. Effect of Verticillium wilt (*Verticillium dahliae* Kleb.) and mycorrhiza (*Glomus mosseae*) on root colonization, growth and nutrient uptake in tomato and eggplant seedlings. *Scientia Horticulturae* [online]. 5., roč. 94, č. 1-2, s. 145–156 [vid. 28. červen 2015]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/S0304-4238(01)00336-3

KHALIEL, A. S. a K. A. ELKHIDER, 1987. Response of tomato to inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Nordic Journal of Botany* [online]. 4., roč. 7, č. 2, s. 215–218 [vid. 8. září 2015]. ISSN 0107-055X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1756-1051.1987.tb00932.x

KILLHAM, K. a M. K. FIRESTONE, 1983. Vesicular arbuscular mycorrhizal mediation of grass response to acidic and heavy metal depositions. *Plant and Soil* [online]. 2., roč. 72, č. 1, s. 39–48 [vid. 1. září 2015]. ISSN 0032-079X. Dostupné z: doi:10.1007/BF02185092

KJELDAHL, J., 1883. *New method for the determination of nitrogen in organic substances - Zeitschrift für analytische Chemie* [online]. volume 22. B.m.: J. F. Bergmann [vid. 3. prosinec 2015]. Dostupné z: <https://books.google.com/books?id=6ePmAAAAMAAJ&pgis=1>

KOIDE, R T a B MOSSE, 2004. A history of research on arbuscular mycorrhiza. *Mycorrhiza* [online]. roč. 14, č. 3, s. 145–163. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-004-0307-4

KOLTAI, Hinanit, Maja COHEN a Ori CHESIN, 2011. Light is a positive regulator of strigolactone levels in tomato roots. *Journal of plant ...* [online]. B.m.: Elsevier GmbH., 1.11., roč. 168, č. 16, s. 1993–6 [vid. 31. červenec 2014]. ISSN 1618-1328. Dostupné z: doi:10.1016/j.jplph.2011.05.022

KOPEC, Karel, 1998. *Tabulky nutričních hodnot ovoce a zeleniny* [online]. Praha: ÚZPI - Ústav zeměděl. a potravin. informací [vid. 3. květen 2016]. ISBN 80-86153-64-9. Dostupné z: [http://www.cbdb.cz/kniha-105758-tabulky-nutricnich-hodnot-ovoce-a-zeleniny](http://www.cbdb.cz/kniha-105758-tabulky-nutricnich-hodnot-ovoce-a-zeleniny-tabulky-nutricnich-hodnot-ovoce-a-zeleniny)

-
- KOSKE, R. E., 1981. *Gigaspora gigantea*: observations on spore Germination of a VA-Mycorrhizal fungus. *Mycologia* [online]. 3., roč. 73, č. 2, s. 288 [vid. 20. srpen 2015]. ISSN 00275514. Dostupné z: doi:10.2307/3759650
- KOTHARI, S. K., H. MARSCHNER a V. RÖMHELD, 1991. Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant and Soil* [online]. 3., roč. 131, č. 2, s. 177–185 [vid. 17. květen 2016]. ISSN 0032-079X. Dostupné z: doi:10.1007/BF00009447
- LALITHA, S., K. RAJESHWARAN, P. SENTHIL KUMAR a S. DEEPA, 2011. Role of AM Fungi and Rhizobial inoculation for reclamation of phosphorus deficient soil. *Asian Journal of Plant Sciences* [online]. ISSN 16823974. Dostupné z: doi:10.3923/ajps.2011.227.232
- LAMBERS, Hans, F. Stuart CHAPIN a Thijs L. PONS, 2008. *Plant physiological ecology* [online]. New York, NY: Springer New York [vid. 11. červenec 2014]. ISBN 978-0-387-78340-6. Dostupné z: doi:10.1007/978-0-387-78341-3
- LEAKE, J. R., 1994. Tansley review No.69. The biology of myco-heterotrophic ('saprophytic') plants. *New Phytologist* [online]. roč. 127, č. 2, s. 171–216. ISSN 0028646X. Dostupné z: <http://www.scopus.com/inward/record.url?eid=2-s2.0-0027975307&partnerID=tZOtx3y1>
- LEAKE, Jonathan, David JOHNSON, Damian DONNELLY, Gemma MUCKLE, Lynne BODDY a David READ, 2004. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning. *Canadian Journal of Botany* [online]. B.m.: NRC Research Press Ottawa, Canada, 2.8., roč. 82, č. 8, s. 1016–1045 [vid. 1. září 2015]. ISSN 0008-4026. Dostupné z: doi:10.1139/b04-060
- LI, Xiao-Lin, Horst MARSCHNER a Eckhard GEORGE, 1991. Acquisition of phosphorus and copper by VA-mycorrhizal hyphae and root-to-shoot transport in white clover. *Plant and Soil* [online]. 9., roč. 136, č. 1, s. 49–57 [vid. 17. květen 2016]. ISSN 0032-079X. Dostupné z: doi:10.1007/BF02465219
- LONE, Rafiq, Razia SHUAB, K.A. WANI, Mohd Anis GANAIE, A.K. TIWARI a K.K. KOUL, 2015. Mycorrhizal influence on metabolites, indigestible oligosaccharides,

mineral nutrition and phytochemical constituents in onion (*Allium cepa* L.) plant. *Scientia Horticulturae* [online]. 9., roč. 193, s. 55–61 [vid. 19. červenec 2015]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.06.032

LÓPEZ-PEDROSA, Agustín, Manuel GONZÁLEZ-GUERRERO, Ascensión VALDERAS, Concepción AZCÓN-AGUILAR a Nuria FERROL, 2006. GintAMT1 encodes a functional high-affinity ammonium transporter that is expressed in the extraradical mycelium of *Glomus intraradices*. *Fungal genetics and biology: FG & B* [online]. 3., roč. 43, č. 2, s. 102–110 [vid. 31. srpen 2015]. ISSN 1087-1845. Dostupné z: doi:10.1016/j.fgb.2005.10.005

MAKUS, DJ, 2004. Mycorrhizal inoculation of tomato and onion transplants improves earliness. *Acta Horticulturae* [online]. B.m.: International Society for Horticultural Science - ISHS, 3., č. 631, s. 275–281 [vid. 31. červenec 2014]. ISSN 0567-7572. Dostupné z: doi:10.17660/ActaHortic.2004.631.34

MAR VÁZQUEZ, M, Sonia CÉSAR, Rosario AZCÓN a José M BAREA, 2000. Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and other microbial inoculants (*Azospirillum*, *Pseudomonas*, *Trichoderma*) and their effects on microbial population and enzyme activities in the rhizosphere of maize plants. *Applied Soil Ecology* [online]. 11., roč. 15, č. 3, s. 261–272 [vid. 2. září 2015]. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/S0929-1393(00)00075-5

MARSCHNER, H. a B. DELL, 1994. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* [online]. B.m.: Kluwer Academic Publishers, roč. 159, č. 1, s. 89–102 [vid. 27. srpen 2015]. ISSN 1573-5036. Dostupné z: doi:10.1007/BF00000098

MARTÍNEZ-MEDINA, Ainhoa, Antonio ROLDÁN a Jose A. PASCUAL, 2011. Interaction between arbuscular mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and *Fusarium* wilt biocontrol. *Applied Soil Ecology* [online]. roč. 47, č. 2, s. 98–105 [vid. 31. červenec 2014]. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsoil.2010.11.010

MARTINEZ, Alicia, Mariana OBERTELLO, Alejandro PARDO, Juan A OCAMPO a Alicia GODEAS, 2004. Interactions between *Trichoderma pseudokoningii* strains and the arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus mosseae* and *Gigaspora rosea*. *Mycorrhiza* [online]. 4., roč. 14, č. 2, s. 79–84 [vid. 1. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z:

doi:10.1007/s00572-003-0240-y

MARULANDA, Adriana, Rosario AZCON a Juan Manuel RUIZ-LOZANO, 2003. Contribution of six arbuscular mycorrhizal fungal isolates to water uptake by *Lactuca sativa* plants under drought stress. *Physiologia Plantarum* [online]. 12., roč. 119, č. 4, s. 526–533 [vid. 4. květen 2016]. ISSN 0031-9317. Dostupné z: doi:10.1046/j.1399-3054.2003.00196.x

MATSUBARA, Yoh-ichi a Takashi HARADA, 1996. Effect of Constant and Diurnally Fluctuating Temperatures on Arbuscular Mycorrhizal Fungus Infection and the Growth of Infected *Asparagus* (*Asparagus officinalis* L.) Seedlings. *Engei Gakkai zasshi* [online]. 15.5., roč. 65, č. 3, s. 565–570 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 1880-358X. Dostupné z: doi:10.2503/jjshs.65.565

MIRANSARI, M., H.a. BAHRAMI, F. REJALI a M.J. MALAKOUTI, 2009. *Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (Zea mays L.) nutrient uptake* [online]. květen 2009. [vid. 30. červen 2014]. Dostupné z: doi:10.1016/j.still.2008.10.015

MIRANSARI, Mohammad, 2011. Hyperaccumulators, arbuscular mycorrhizal fungi and stress of heavy metals. *Biotechnology advances* [online]. 1., roč. 29, č. 6, s. 645–53 [vid. 29. srpen 2015]. ISSN 1873-1899. Dostupné z: doi:10.1016/j.biotechadv.2011.04.006

MORAVOSEED.CZ, 2015. *Sortiment Pór pravý* [online] [vid. 1. červen 2015]. Dostupné z: <http://www.moravoseed.cz/index.php?stranka=sortiment&kategorie=1&druh=62>

MOSSE, B., D. S. HAYMAN a D. J. ARNOLD, 1973. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza v. Phosphate uptake by three plant species from p-deficient soils labelled with ³²P. *New Phytologist* [online]. roč. 72, č. 4, s. 809–815 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 0028-646X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.1973.tb02056.x

MOUSAVI, Sayed Roholla, 2011. Zinc in Crop Production and Interaction with Phosphorus. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* [online]. 1.1., roč. 5, č. 9, s. 1503–1509 [vid. 29. srpen 2015]. Dostupné z:

http://www.researchgate.net/publication/216472620_Zinc_in_Crop_Production_and_Interaction_with_Phosphorus

MUELLER, A, P FRANKEN a D SCHWARZ, 2009. Nutrient uptake and fruit quality of tomato colonised with mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* (BEG 12) under deficient supply of nitrogen and phosphorus. *Acta ...* [online]. roč. 12, č. Beg 12, s. 383–388 [vid. 31. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.cabdirect.org/abstracts/20093217205.html>

NAHIYAN, ASM a Y YAGI, 2009. Effect of Soil Amendments on Allelopathy and Tolerance to Violet Root Rot in Mycorrhizal Asparagus Plants. ... *and Non-Chemical Soil ...* [online]. s. 377–382 [vid. 5. leden 2015]. Dostupné z: http://www.actahort.org/books/883/883_47.htm

NING, J a J R CUMMING, 2001. Arbuscular mycorrhizal fungi alter phosphorus relations of broomsedge (*Andropogon virginicus* L.) plants. *Journal of experimental botany* [online]. 9., roč. 52, č. 362, s. 1883–91 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 0022-0957. Dostupné z: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11520877>

NZANZA, Bombiti, Diana MARAIS a Puffy SOUNDY, 2012. Yield and nutrient content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Glomus mosseae* inoculation. *Scientia Horticulturae* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 9., roč. 144, s. 55–59 [vid. 2. červen 2014]. ISSN 03044238. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scienta.2012.06.005](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.005)

OEHL, Fritz, Gladstone ALVES A SILVA, Bruno Tomio GOTO, Leonor COSTA MAIA a Ewald SIEVERDING, 2011a. *Glomeromycota*: two new classes and a new order. *Mycotaxon* [online]. B.m.: MYCOTAXON LTD, PO BOX 264, ITHACA, NY 14851-0264 USA, 1.4., roč. 116, č. 1, s. 365–379 [vid. 5. únor 2015]. ISSN 00934666. Dostupné z: [doi:10.5248/116.365](https://doi.org/10.5248/116.365)

OEHL, Fritz, Gladstone Alves da SILVA, Bruno Tomio GOTO a Ewald SIEVERDING, 2011b. *Glomeromycota*: three new genera and glomoid species reorganized. *Mycotaxon* [online]. B.m.: Mycotaxon, 1.4., roč. 116, č. 1, s. 75–120 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 00934666. Dostupné z: [doi:10.5248/116.75](https://doi.org/10.5248/116.75)

OLSSON, Pål Axel, Edith C HAMMER, Håkan WALLANDER a Jan PALLON, 2008. Phosphorus availability influences elemental uptake in the mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*, as revealed by particle-induced x-ray emission analysis. *Applied and*

Environmental Microbiology [online]. 1.7., roč. 74, č. 13, s. 4144–4148 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 0099-2240. Dostupné z: doi:10.1128/AEM.00376-08

OMIROU, Michalis, Ioannis M. IOANNIDES a Constantinos EHALIOTIS, 2013. Mycorrhizal inoculation affects arbuscular mycorrhizal diversity in watermelon roots, but leads to improved colonization and plant response under water stress only. *Applied Soil Ecology* [online]. B.m.: Elsevier B.V., 1., roč. 63, s. 112–119 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsoil.2012.09.013

ORTAS, Ibrahim, 2012. Do maize and pepper plants depend on mycorrhizae in terms of phosphorus and zinc uptake? *Journal of Plant Nutrition* [online]. B.m.: Taylor & Francis Group, 30.8., roč. 35, č. 11, s. 1639–1656 [vid. 14. květen 2016]. ISSN 0190-4167. Dostupné z: doi:10.1080/01904167.2012.698346

ORTAS, Ibrahim, Nebahat SARI, Çağdaş AKPINAR a Halit YETISIR, 2011. Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae* [online]. 3., roč. 128, č. 2, s. 92–98 [vid. 28. červen 2015]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2010.12.014

ORTAS, Ibrahim a Omer USTUNER, 2014. The effects of single species, dual species and indigenous mycorrhiza inoculation on citrus growth and nutrient uptake. *European Journal of Soil Biology* [online]. B.m.: Elsevier Masson SAS, 7., roč. 63, s. 64–69 [vid. 5. leden 2015]. ISSN 11645563. Dostupné z: doi:10.1016/j.ejsobi.2014.05.007

PASIC.CZ, 2015. *Substrát TS 3* [online] [vid. 19. červen 2015]. Dostupné z: <http://eshop.pasic.cz/substrat-ts-3-medium-basic-425-standard-ean21129-skup20201.php>

PETŘÍKOVÁ, Kristína, 2006. *Zelenina : pěstování, ekonomika, prodej*. 1. vydání. Praha: Profi Press. ISBN 80-86726-20-7.

PETŘÍKOVÁ, Kristína a Jaroslav HLUŠEK, 2012. *Zelenina - pěstování, výživa, ochrana a ekonomika*. 1. vydání. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-50-2.

PHILLIPS, J.M. a D.S. HAYMAN, 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* [online]. 8., roč. 55, č. 1, s.

158-IN18 [vid. 2. říjen 2014]. ISSN 00071536. Dostupné z: doi:10.1016/S0007-1536(70)80110-3

PITET, M, A CAMPRUBÍ, C CALVET a V ESTAÚN, 2009. A modified staining technique for arbuscular mycorrhiza compatible with molecular probes. *Mycorrhiza* [online]. 2., roč. 19, č. 2, s. 125–31 [vid. 2. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-008-0206-1

POKLUDA, Robert a František KOBZA, 2011. *Skleníky, fóliovníky, využití a pěstební technologie*. 1. vydání. Praha: Profi Press. ISBN 978-80-86726-46-5.

RAJAN, SK, BJD REDDY a DJ BAGYARAJ, 2000. Screening of arbuscular mycorrhizal fungi for their symbiotic efficiency with *Tectona grandis*. *Forest ecology and management* [online]. roč. 126, s. 91–95 [vid. 31. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112799000894>

REDECKER, D., 2000. Specific PCR primers to identify arbuscular mycorrhizal fungi within colonized roots. *Mycorrhiza* [online]. 25.8., roč. 10, č. 2, s. 73–80 [vid. 7. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s005720000061

RILLIG, Matthias C. a Daniel L. MUMMEY, 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytologist* [online]. 7., roč. 171, č. 1, s. 41–53 [vid. 19. září 2015]. ISSN 0028-646X. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x

RIOS, Juan J, Begoña BLASCO, Miguel A ROSALES, Eva SANCHEZ-RODRIGUEZ, Rocio LEYVA, Luis M CERVILLA, Luis ROMERO a Juan M RUIZ, 2010. Response of nitrogen metabolism in lettuce plants subjected to different doses and forms of selenium. *Journal of the science of food and agriculture* [online]. 30.8., roč. 90, č. 11, s. 1914–9 [vid. 26. květen 2016]. ISSN 1097-0010. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.4032

ROUPHAEL, Youssef, Philipp FRANKEN, Carolin SCHNEIDER, Dietmar SCHWARZ, Manuela GIOVANNETTI, Monica AGNOLUCCI, Stefania De PASCALE, Paolo BONINI a Giuseppe COLLA, 2015. Arbuscular mycorrhizal fungi act as biostimulants in horticultural crops. *Scientia Horticulturae* [online]. 11., roč. 196, s. 91–108 [vid. 12. únor 2016]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.09.002

ROZPADEK, P, K WĘŻOWICZ, A STOJAKOWSKA, J MALARZ, E SURÓWKA, Ł SOBCZYK, T ANIELSKA, R WAŻNY, Z MISZALSKI a K TURNAU, 2014.

Mycorrhizal fungi modulate phytochemical production and antioxidant activity of *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) under metal toxicity. *Chemosphere* [online]. 10., roč. 112, s. 217–24 [vid. 15. červenec 2015]. ISSN 1879-1298. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2014.04.023

SALVIOLI, Alessandra, Inès ZOUARI, Michel CHALOT a Paola BONFANTE, 2012. The arbuscular mycorrhizal status has an impact on the transcriptome profile and amino acid composition of tomato fruit. *BMC plant biology* [online]. B.m.: BioMed Central, 27.1., roč. 12, č. 1, s. 44 [vid. 5. květen 2016]. ISSN 1471-2229. Dostupné z: doi:10.1186/1471-2229-12-44

SANMARTÍN, Carmen, Idoia GARMENDIA, Beatriz ROMANO, Marta DÍAZ, Juan Antonio PALOP a Nieves GOICOECHEA, 2014. Mycorrhizal inoculation affected growth, mineral composition, proteins and sugars in lettuces biofortified with organic or inorganic selenocompounds. *Scientia Horticulturae* [online]. 12., roč. 180, s. 40–51 [vid. 6. leden 2016]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2014.09.049

SAWANT, Laxman, Bala PRABHAKAR a Nancy PANDITA, 2010. Quantitative HPLC analysis of ascorbic acid and gallic acid in *Phyllanthus emblica*. *Journal of Analytical & Bioanalytical Techniques* [online]. B.m.: OMICS International, 6.3., roč. 1, č. 3 [vid. 29. listopad 2015]. ISSN 21559872. Dostupné z: doi:10.4172/2155-9872.1000111

SCHÜBLER, Arthur, Hans GEHRIG, Daniel SCHWARZOTT a Chris WALKER, 2001. *Analysis of partial Glomales SSU rRNA gene sequences: implications for primer design and phylogeny* [online]. 2001. ISBN 0953-7562. Dostupné z: doi:10.1017/S0953756200003725

SCHWARZOTT, D, C WALKER a A SCHÜSSLER, 2001. *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic. *Molecular phylogenetics and evolution* [online]. 11., roč. 21, č. 2, s. 190–7 [vid. 9. květen 2015]. ISSN 1055-7903. Dostupné z: doi:10.1006/mpev.2001.1007

SMITH, Jane E., 2009. *Mycorrhizal Symbiosis (Third Edition)*. *Soil Science Society of America Journal* [online]. roč. 73, č. 2, s. 694. ISSN 1435-0661. Dostupné z: doi:10.2136/sssaj2008.0015br

SMITH, Sally, 2001. Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 9., roč. 33, č. 11, s. 1575–1576 [vid. 6. říjen 2014]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/S0038-0717(01)00097-9

SMITH, Sally E. a David READ, 2008. Mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. In: *Mycorrhizal Symbiosis* [online]. B.m.: Elsevier, s. 611–XVIII. ISBN 9780123705266. Dostupné z: doi:10.1016/B978-012370526-6.50019-2

SMITH, Sally E. a David J READ, 1997. *Mycorrhizal symbiosis* [online]. second. B.m.: Elsevier [vid. 30. červen 2014]. ISBN 9780126528404. Dostupné z: doi:10.1016/B978-012370526-6.50019-2

SORENSEN, J. N., J. LARSEN a I. JAKOBSEN, 2005. Mycorrhiza formation and nutrient concentration in leeks (*Allium porrum*) in relation to previous crop and cover crop management on high P soils. *Plant and Soil* [online]. roč. 273, č. 1-2, s. 101–114. ISSN 0032079X. Dostupné z: doi:10.1007/s11104-004-6960-8

SORENSEN, J. N., J. LARSEN a I. JAKOBSEN, 2008. Pre-inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi increases early nutrient concentration and growth of field-grown leeks under high productivity conditions. *Plant and Soil* [online]. 2.6., roč. 307, č. 1-2, s. 135–147 [vid. 8. květen 2016]. ISSN 0032-079X. Dostupné z: doi:10.1007/s11104-008-9591-7

SORENSEN, JN, J LARSEN a I JAKOBSEN, 2002. Management strategies for capturing the benefits of mycorrhizas in the production of field-grown vegetables. ... *for Field Vegetable Production ...* [online]. s. 65–71 [vid. 31. červenec 2014]. Dostupné z: http://www.actahort.org/books/627/627_7.htm

SRIVASTAVA, Rashmi, Abdul KHALID, U.S. SINGH a A.K. SHARMA, 2010. Evaluation of arbuscular mycorrhizal fungus, fluorescent *Pseudomonas* and *Trichoderma harzianum* formulation against *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* for the management of tomato wilt. *Biological Control* [online]. 4., roč. 53, č. 1, s. 24–31 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 10499644. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocontrol.2009.11.012

STADDON, Philip L, Christopher Bronk RAMSEY, Nick OSTLE, Philip INESON a Alastair H FITTER, 2003. Rapid turnover of hyphae of mycorrhizal fungi determined by AMS microanalysis of ¹⁴C. *Science (New York, N.Y.)* [online]. 16.5., roč. 300, č.

5622, s. 1138–40 [vid. 20. duben 2015]. ISSN 1095-9203. Dostupné z: doi:10.1126/science.1084269

STEINKELLNER, Siegrid, Venasius LENDZEMO, Ingrid LANGER, Peter SCHWEIGER, Thanasan KHAOSAAD, Jean-Patrick TOUSSAINT a Horst VIERHEILIG, 2007. Flavonoids and strigolactones in root exudates as signals in symbiotic and pathogenic plant-fungus interactions. *Molecules* [online]. B.m.: Molecular Diversity Preservation International, 5.7., roč. 12, č. 7, s. 1290–1306 [vid. 15. září 2015]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/12071290

STÜRMER, Sidney Luiz, 2012. A history of the taxonomy and systematics of arbuscular mycorrhizal fungi belonging to the phylum Glomeromycota. *Mycorrhiza* [online]. B.m.: SPRINGER, 233 SPRING ST, NEW YORK, NY 10013 USA, 6.3., roč. 22, č. 4, s. 247–258 [vid. 11. březen 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s00572-012-0432-4

SYMBIOM.CZ, 2015. *Symbiom - Dávkování přípravků* [online] [vid. 21. listopad 2015]. Dostupné z: <http://www.symbiom.cz/davkovani>

TAJINI, Fatma, Mustapha TRABELSI a Jean-Jacques DREVON, 2012. Combined inoculation with *Glomus intraradices* and *Rhizobium tropici* CIAT899 increases phosphorus use efficiency for symbiotic nitrogen fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences* [online]. B.m.: King Saud University, 4., roč. 19, č. 2, s. 157–63 [vid. 10. červen 2014]. ISSN 1319-562X. Dostupné z: doi:10.1016/j.sjbs.2011.11.003

TIAN, Chunjie, Beth KASIBORSKI, Raman KOUL, Peter J LAMMERS, Heike BÜCKING a Yair SHACHAR-HILL, 2010. Regulation of the nitrogen transfer pathway in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: gene characterization and the coordination of expression with nitrogen flux. *Plant Physiology* [online]. 1.7., roč. 153, č. 3, s. 1175–87 [vid. 15. květen 2015]. ISSN 1532-2548. Dostupné z: doi:10.1104/pp.110.156430

TIBBETT, M., 2000. Forum. *Functional Ecology* [online]. 6., roč. 14, č. 3, s. 397–399 [vid. 31. srpen 2015]. ISSN 0269-8463. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-2435.2000.00417.x

TORRES-BARRAGÁN, A., E. ZAVALA-MEJÍA, Carmen GONZÁLEZ-CHÁVEZ

a Ronald FERRERA-CERRATO, 1996. The use of arbuscular mycorrhizae to control onion white rot (*Sclerotium cepivorum* Berk.) under field conditions. *Mycorrhiza* [online]. roč. 6, č. 4, s. 253–257 [vid. 8. září 2015]. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s005720050133

VARMA, Ajit a Amit C. KHARKWAL, 2009. *Symbiotic Fungi* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Soil Biology [vid. 31. červenec 2014]. ISBN 978-3-540-95893-2. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-540-95894-9

VERESOGLOU, Stavros D., Baodong CHEN a Matthias C. RILLIG, 2012. Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 3., roč. 46, s. 53–62 [vid. 31. leden 2015]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2011.11.018

VESTBERG, M., S. KUKKONEN, K. SAARI, P. PARIKKA, J. HUTTUNEN, L. TAINIO, N. DEVOS, F. WEEKERS, C. KEVERS, P. THONART, M.-C. LEMOINE, C. CORDIER, C. ALABOUVETTE a S. GIANINAZZI, 2004. Microbial inoculation for improving the growth and health of micropropagated strawberry. *Applied Soil Ecology* [online]. 11., roč. 27, č. 3, s. 243–258 [vid. 30. červen 2014]. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsoil.2004.05.006

VIERHEILIG, H, Ap COUGHLAN, U WYSS a Y PICHE, 1998. Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular-mycorrhizal fungi. *Applied and environmental microbiology* [online]. 12., roč. 64, č. 12, s. 5004–7. ISSN 1098-5336. Dostupné z: <http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=90956&tool=pmcentrez&rendertype=abstract>

VOS, C., N. SCHOUTEDEN, D. VAN TUINEN, O. CHATAGNIER, A. ELSEN, D. DE WAELE, B. PANIS a V. GIANINAZZI-PEARSON, 2013. Mycorrhiza-induced resistance against the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* involves priming of defense gene responses in tomato. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. 5., roč. 60, s. 45–54 [vid. 3. srpen 2015]. ISSN 00380717. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2013.01.013

VOS, C.M., Y. YANG, B. DE CONINCK a B.P.A. CAMMUE, 2014. Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control. *Biological Control* [online]. 7., roč. 74, s. 65–81 [vid. 3. srpen 2015]. ISSN 10499644. Dostupné z: doi:10.1016/j.biocontrol.2014.04.004

-
- VOSÁTKA, Miroslav a Milan GRYNDRER, 1999. Treatment with culture fractions from *Pseudomonas putida* modifies the development of *Glomus fistulosum* mycorrhiza and the response of potato and maize plants to inoculation. *Applied Soil Ecology* [online]. 2., roč. 11, č. 2-3, s. 245–251 [vid. 3. září 2015]. ISSN 09291393. Dostupné z: doi:10.1016/S0929-1393(98)00151-6
- WANG, Shuguang, Zhaozhong FENG, Xiaoke WANG a Wenliang GONG, 2011. Arbuscular mycorrhizal fungi alter the response of growth and nutrient uptake of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to O₃. *Journal of Environmental Sciences* [online]. 6., roč. 23, č. 6, s. 968–974 [vid. 3. srpen 2015]. ISSN 10010742. Dostupné z: doi:10.1016/S1001-0742(10)60503-7
- WERTHEIM, F, D DOUDS, D HANDLEY a M HUTTON, 2014. Evaluating the potential of arbuscular mycorrhizal fungi to boost yields in field-grown leeks. *Journal of the NACAA* [online]. roč. 7, č. 1, s. 1–5 [vid. 1. červenec 2014]. Dostupné z: <http://www.nacaa.com/journal/index.php?jid=281>
- WILLIS, A., B. F. RODRIGUES a P. J. C. HARRIS, 2013. The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences* [online]. B.m.: TAYLOR & FRANCIS INC, 325 CHESTNUT ST, SUITE 800, PHILADELPHIA, PA 19106 USA, 1., roč. 32, č. 1, s. 1–20 [vid. 11. březen 2015]. ISSN 0735-2689. Dostupné z: doi:10.1080/07352689.2012.683375
- YRUELA, Inmaculada, 2009. Copper in plants: acquisition, transport and interactions. *Functional Plant Biology* [online]. B.m.: CSIRO PUBLISHING, 6.5., roč. 36, č. 5, s. 409 [vid. 29. červenec 2015]. ISSN 1445-4408. Dostupné z: doi:10.1071/FP08288
- YU, Trevor, Keith EGGER a Larry PETERSON, 2001. Ectendomycorrhizal associations - characteristics and functions. *Mycorrhiza* [online]. 1.9., roč. 11, č. 4, s. 167–177. ISSN 0940-6360. Dostupné z: doi:10.1007/s005720100110
- ZBÍRAL, Jiří a KOLEKTIV, 2005. *Analýza rostlinného materiálu : jednotné pracovní postupy* [online]. 2. vyd. Brno: Brno : Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský [vid. 3. květen 2016]. ISBN 80-86548-73-2. Dostupné z: <https://katalog.mendelu.cz/documents/103194?locale=cs>
- ZHANG, F, 1995. Root-zone temperature and soybean [*Glycine max.* (L.) merr.]

vesicular-arbuscular mycorrhizae: Development and interactions with the nitrogen fixing symbiosis. *Environmental and Experimental Botany* [online]. 7., roč. 35, č. 3, s. 287–298 [vid. 6. květen 2015]. ISSN 00988472. Dostupné z: doi:10.1016/0098-8472(95)00023-2