

# **Středoškolská odborná činnost 2010/2011**

## **Obor 4 – biologie**

### **Vývoj arbuskulárně mykorhizní symbiózy v závislosti na stanovištních podmínkách u druhu *Plantago lanceolata* L.**

Autorka práce:

Eva Trčková  
Gymnázium a SOŠ Úpice, Havlíčkova 812  
542 32 Úpice  
královéhradecký kraj  
ročník 8/8

Konzultantka:

doc. RNDr. Marie Šmilauerová, Ph.D.  
Přírodovědecká fakulta Jihočeské univerzity,  
České Budějovice

**Prohlášení:** Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracovala samostatně pod vedením doc. RNDr. Marie Šmilauerové Ph.D. a s použitím citované literatury.

.....

V Úpici dne 16.3.2011

Eva Trčková

## Anotace

Zkoumání vlivu stanovištních podmínek na míru arbuskulárně mykorhizní infekce u druhu *Plantago lanceolata* L. jsem prováděla ve východních Čechách v okolí města Úpice. Na 15 lokalitách jsem odebrala vzorky na půdní analýzu, změřila vlhkost, dále udělala fytoocenologické snímky vegetace. Z každé lokality jsem odebrala vždy 3 jedince a po obarvení jejich kořenů jsem kvantifikovala míru arbuskulárně mykorhizní infekce. Získaná data jsem statisticky zpracovala.

Výsledky výzkumu ukázaly, že míra vezikulární infekce rostla s hodnotou pH. Dále míra celkové arbuskulárně mykorhizní infekce rostla s množstvím živé a celkové nadzemní biomasy, podobně jako míra arbuskulární infekce. Míra arbuskulární infekce klesala s rostoucím počtem reprodukčních orgánů a naopak rostla s délkou nejdelšího listu. Relativní podíl arbuskulární infekce klesal s rostoucím průměrem kaudexu.

**Poděkování:** Na tomto místě bych chtěla nejvíce poděkovat mojí konzultantce Majce Šmilauerové především za to, že se mi - i přes značnou vzálenost našich působišť - rozhodla pomáhat při tvorbě celé této práce. Také bych ráda poděkovala Katce Štajerové a Martině Lokvencové za velkou pomoc při tvorbě fytoocenologických snímků a za komentáře Katky k samotnému textu práce. Velmi děkuji Petru Šmilauerovi za pomoc se statistickým zpracováním dat. Poděkovat bych chtěla i rodičům a sestře Bjětě, kteří mi se vším vyšli vstříct. Dík patří i Tomíku Hrabánkovi a Honzíku Sirkovi za jejich neocenitelnou fyzickou pomoc při odběru jedinců jitrocele. Nesmím opomenout moji třídní učitelku Blanku Reichertovou a učitelku biologie Jaroslavu Vlčkovou, které mi tolerovaly „pracovní volno“ a podporovaly můj zájem. Nakonec děkuji majitelům pozemků, na kterých byl výzkum uskutečněn.

# Obsah

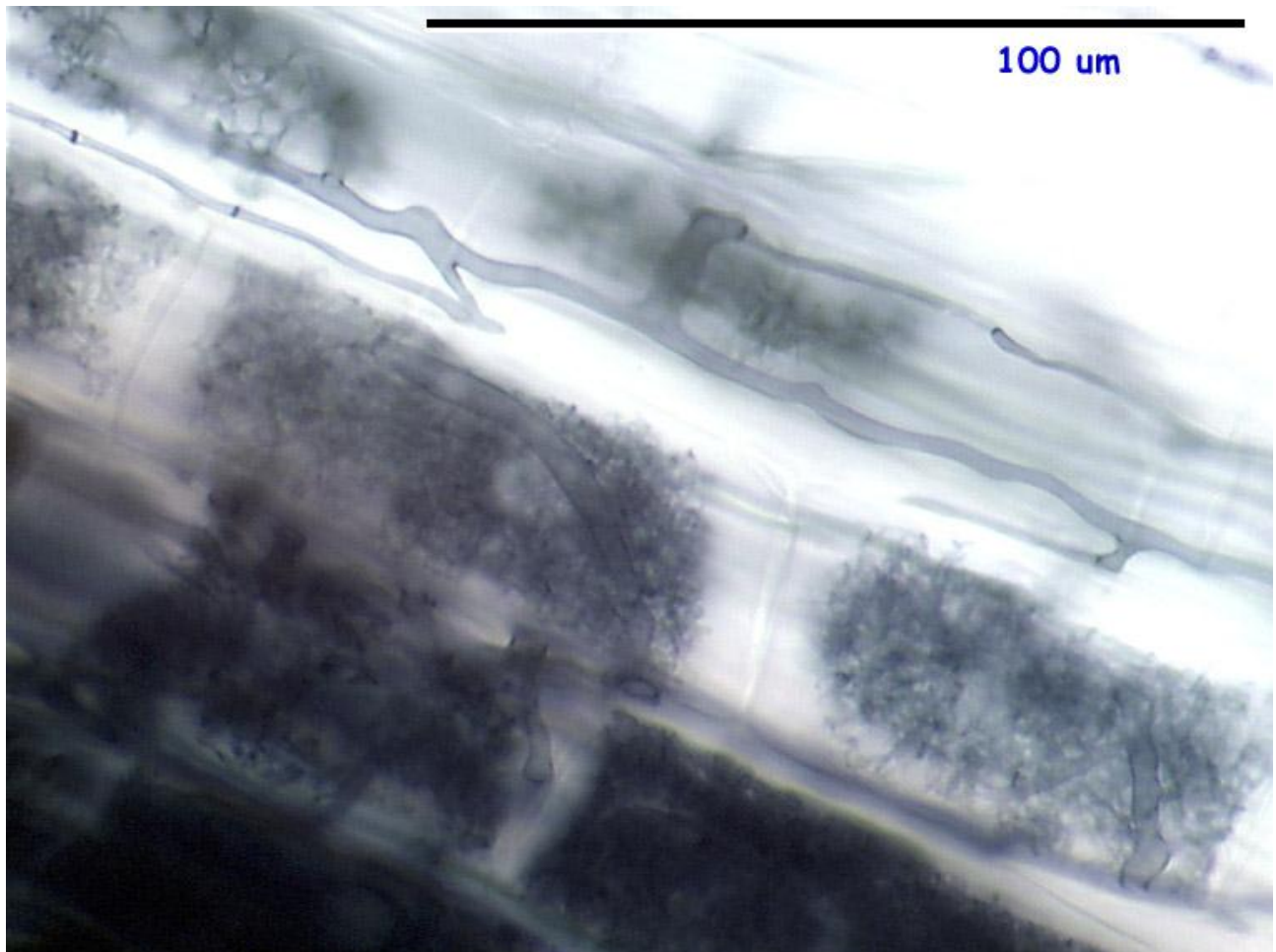
1. Úvod .....	5
2. Metodika .....	9
2.1 Výběr lokalit .....	9
2.2 Měření vlhkosti .....	9
2.3 Odběr a zpracování vzorků půdy na půdní analýzu .....	9
2.4 Měření pH .....	9
2.5 Fytcenologický snímek .....	10
2.6 Biomasa .....	10
2.7 Odběr jedinců jitrocele .....	10
2.8 Charakteristiky rostlin jitrocele a zpracování kořenů .....	10
2.9 Barvení kořenů .....	10
2.10 Tvorba preparátů .....	11
2.11 Kvantifikace mykorhizní infekce .....	11
2.12 Statistické zpracování dat .....	12
3. Výsledky .....	13
3.1 Vliv stanovištních podmínek na intenzitu AM infekce .....	13
3.1.1 Vliv koncentrací živin na intenzitu AM infekce .....	13
3.1.2 Vliv půdního pH na AM infekci .....	13
3.1.3 Vliv půdní vlhkosti na AM infekci .....	13
3.1.4 Míra AM infekce v závislosti na množství biomasy okolního společenstva .....	13
3.2 Vliv druhové bohatosti lučního společenstva na míru AM infekce .....	14
3.3 Závislost AM infekce na velikosti nebo počtu rostlinných orgánů .....	14
3.3.1 Závislost AM infekce na počtu listů rostlin .....	14
3.3.2 Závislost AM infekce na počtu reprodukčních orgánů rostlin .....	15
3.3.3 Závislost AM infekce na délce a šířce nejdelšího listu .....	15
3.3.4 Závislost AM infekce na velikosti kaudexu .....	16
4. Diskuze .....	18
4.1 VLIV STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK NA INTENZITU AM INFEKCE .....	18
4.1.1 Vliv koncentrací živin na intenzitu AM infekce .....	18
4.1.2 Vliv půdního pH na AM infekci .....	18
4.1.3 Vliv půdní vlhkosti na AM infekci .....	18
4.2 MÍRA AM INFEKCE V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ BIOMASY OKOLNÍHO SPOLEČENSTVA... ..	19
4.3 VLIV DRUHOVÉ BOHATOSTI LUČNÍHO SPOLEČENSTVA NA MÍRU AM INFEKCE .....	19
4.4 ZÁVISLOST AM INFEKCE NA VELIKOSTI NEBO POČTU ROSTLINNÝCH ORGÁNŮ .....	19
4.4.1 Závislost AM infekce na počtu reprodukčních orgánů rostlin .....	19
4.4.2 Závislost AM infekce na délce a šířce nejdelšího listu .....	19
4.4.3 Závislost AM infekce na velikosti kaudexu .....	20
5. Závěr .....	21
6. Literatura .....	22
7. Přílohy .....	26

# 1 Úvod

Ač by se mohlo zdát, že jsou rostlinná společenstva stálá a neměnná, při bližším pohledu zjistíme, že se jedná o vysoce variabilní ekosystémy, jejichž chod je ovlivňován nejen abiotickými faktory, ale také samotnými rostlinami, které se snaží co nejintenzivněji využít dostupné zdroje. Jedním ze zásadních vztahů ovlivňujících chod řady terestrických společenstev je mykorhizní symbióza, která se dle odhadů formuje u téměř 80% druhů cévnatých rostlin (Wang a Qiu 2006).

Arbuskulárně mykorhizní symbióza (dále jen AM symbióza) je vztahem mezi cévnatou rostlinou a arbuskulárně mykorhizní houbou (dále jen AMF) z kmene *Glomeromycota*. AMF proniká z půdy do primární kůry kořene kolonizované rostliny, kde vytváří specializované útvary – vnitrokořenové mycelium, arbuskuly a vezikuly (Gryndler et al. 2004).

Vnitrokořenové mycelium je tvořeno silnými hyfami, které prorůstají mezibuněčnými prostory kořene a pronikají do buněk, kde se silně větví. Tento větvený útvar se nazývá arbuskula (Obr.1).



Obr.1 Arbuskuly v kořeni *Plantago lanceolata* L. Foto P. Šmilauer

Důležité je, že cytoplazmatická membrána hostitelské rostliny zůstává neporušena – dojde pouze

k jejímu vchlípení kolem větvící se hyfy a jejímu funkčnímu přebudování (označuje se poté periarbuskulární membrána). Arbuskuly hrají zásadní roli při transportu fosforu z AMF do rostliny. Dalším útvarem je vezikula, která vzniká rozšířením hyf kořenového mycelia (Obr. 2).



Obr. 2 Velké kulovité útvary, tzv. vezikuly. Foto P. Šmilauer

Její funkce není přesně známá, předpokládá se však, že má zásobní funkci.

Nejstarší spóry AMF z kmene *Glomeromycota* jsou datovány do ordoviku (Redecker et al. 2000), vnitrokořenové struktury odpovídající dnešním arbuskulám do devonu (Remy et al. 1994), z čehož dnes usuzujeme, že AM symbióza sehrála rozhodující roli při přechodu rostlin z vodního prostředí na souš (Brundrett 2002). Tehdejší rostlinám, které ještě neměly kořenový systém v pravém slova smyslu, ale jen rhizomy a rhizoidy, pomáhala především se získáním málo mobilního fosforu (Helgason a Fitter 2009).

Význam AM symbiózy pro houby je především v příjmu fixovaného (asimilovaného) uhlíku od rostliny. AMF může naopak dodávat své hostitelské rostlině fosfor, ale i dusík, zinek nebo draslík. Množství fixovaného uhlíku, který rostlina poskytuje AMF, se pohybuje kolem 10–20 %, avšak záleží na individuální kombinaci AMF a hostitelské rostliny (Schweiger a Jakobsen 1999). Vztah obou partnerů

může být tedy podle přínosů symbiontům nejen mutualistický, ale i parazitický (Johnson et al. 1997). Při asociaci s AMF zvyšuje rostlina příjem fosforu skrze houbového symbionta a naopak snižuje jeho přímý příjem kořeny (Smith et al. 2004, 2009). Přenos fosforu z AMF do rostliny probíhá zejména pomocí arbuskul, avšak exprese transportních proteinů pro fosfor byla identifikována i v hyfových „coils“ – smotcích (Karandashov et al. 2004). Na rozdíl od fosforu je dusík ve formě  $\text{NO}_3^-$  v půdě více mobilním prvkem – z toho důvodu se jeho vyčerpaná zóna dá měřit v centimetrech (u fosforu jde pouze o milimetry), ale jeho zásoba je difúzí rychle obnovována. Předpokládalo se tedy, že rostlina nemá potřebu získávat  $\text{NO}_3^-$  od AMF. Nyní je ale jisté, že externí hyfy AMF získávají anorganický dusík ve formě  $\text{NO}_3^-$ , ale i  $\text{NH}_4^+$  (Bago et al. 1996, Govindarajulu et al. 2005, Jin et al. 2005) a organický dusík ve formě aminokyselin (Hawkins et al. 2000). Část z tohoto množství dusíku může být transportována do rostliny. Pokud je však zdroj dusíku limitující i pro růst AMF, množství, které získá rostlina, závisí na relativních potřebách obou symbiontů (Read a Perez-Moreno 2003, Leigh et al. 2009). Ekologický význam transportů tohoto prvku do rostliny je ale stále nejasný.

Živiny jsou v půdě rozmístěny nerovnoměrně, vyskytují se v „shlucích“, jejichž rozmístění i koncentrace se neustále mění v prostoru i čase. Navíc problém, který musí rostlina při získávání živin z půdy řešit, je jejich vyčerpání z bezprostředního okolí kořene a vytvoření tzv. vyčerpané zóny. Rostliny, které vstupují do AM symbiózy, řeší tento problém právě pomocí AMF, a to hlavně díky tomu, že houbové mycelium roste až 100 krát rychleji než kořenové vlásky (Jakobsen, Abbott a Robson 1992, Bates a Lynch 1996), a tak AMF rychleji reaguje na změny koncentrace fosforu a jiných prvků v půdě. Houbové hyfy jsou navíc mnohem tenčí než kořeny, takže mohou prorůst i do malých pórů, kam se kořeny nedostanou. Laboratorní pokusy však ukázaly, že když měla rostlina přímý přístup k organickým živinám, AMF k těmto zdrojům neprorůstala (Hodge 2001, 2003). K prorůstání hyf docházelo pouze tehdy, když měla z obou symbiontů pouze AMF přístup ke zdroji živin (Joner a Jakobsen 1995, Hodge et al. 2001). Pokud však roste rostlina v půdě s dostatkem živin, tedy hlavně fosforu a dusíku, dochází k celkovému snížení AM infekce<sup>1</sup> (Javot et al. 2007). Míra AM infekce je také závislá na poměru N:P v půdě. Pokud je pro růst rostliny hladina fosforu v půdě příliš nízká (tedy je vysoký poměr N:P), dojde po pohnojení dusíkem ke zvýšení AM infekce. Naopak při dostatku fosforu v půdě (tedy při nízkém poměru N:P) způsobí pohnojení dusíkem snížení AM infekce (Smith et al. 1986, Bååth a Spokes 1989, Sylvia a Neal 1990, Liu et al. 2000). Tento jev je zapříčiněn tím, že pokud pohnojíme půdu s vysokým poměrem N:P dusíkem, zvětšíme tak nedostupnost fosforu. Rostlina zareaguje zvýšením AM infekce za účelem vyššího příjmu fosforu (Johnson et al. 2003). Ekologickým přínosem AM symbiózy je mimo jiné fakt, že louky, ve kterých se vyskytují AMF, ztrácejí vyplavováním až o 60 % fosforu a o 7,5 % dusíku méně v porovnání s loukami bez AMF (van der Heijden 2010).

---

<sup>1</sup> Infekce – tento termín se v odborné literatuře zaměřuje s termínem kolonizace. Termín infekce není v tomto případě vnímán negativně.

Důsledkem přílišného hnojení luk je snížení množství AMF v půdě, což vede následně k eutrofizaci vod.

Při studiu významu AMF pro hostitelské rostliny a vytváření celého rostlinného společenstva se ukazuje, že zásadní roli hraje nejen celková kolonizace kořenů AMF, ale i složení společenstva AMF, dokonce konkrétní kombinace jednotlivých rostlinných druhů a houbových kmenů (Munkvold et al. 2004, Klironomos 2003). Na složení AMF společenstva mají kromě živinových poměrů na stanovišti vliv i další abiotické faktory jako půdní vlhkost nebo půdní reakce (pH). König et al. (2010) zjistili, že z půdních charakteristik měla právě vlhkost vliv nejen na druhovou bohatost AMF společenstva (počet druhů na experimentálních loukách), ale i na diverzitu tohoto společenstva (beroucí kromě počtu druhů v úvahu i jejich relativní zastoupení). Půdní vlhkost ovlivňuje také rozvoj hyf a to rozdílně u různých AMF druhů (Egerton-Warburton et al. 2007), např. zástupci čeledí Gigasporaceae a Acaulosporaceae byly hojně zastoupeni na vlhkých, ale ne na suchých půdách. Půdní pH ovlivňuje nejen složení rostlinného společenstva, ale také společenstva houbových symbiontů. Některé AMF jsou schopny nadále růst i po změně pH půdy, některé naopak tolerují pouze malé kolísání pH. An (2008) ve své práci na extrémě kyselých půdách považuje půdní pH za hlavní řídicí element nově vznikajícího rostlinného společenstva. Půdní pH ovlivňuje mobilitu minerálů v půdě a tak i jejich dostupnost nebo toxicitu (Haynes 1990, Marschner 1995). V závislosti na pH půdy, ve které symbionti žijí, se mění i kolonizace kořenů rostliny AMF a schopnost formovat mimokořenové mycelium (Abbot a Robson 1985, Porter et al. 1987).

Pro svou práci jsem zvolila druh *Plantago lanceolata* L., který je schopen růst v půdách s různým minerálním složením, ale i s různým pH a půdní vlhkostí (Slavík et al. 2000), a zároveň jde o druh silně mykorrhizní (Wang a Qiu 2006). Zkoumala jsem AM symbiózu u dospělých jedinců přibližně stejného stáří rostoucích na lokalitách lišících se půdními podmínkami. Kladla jsem si zejména tyto otázky:

Ovlivňuje chemické složení, pH a vlhkost půdy intenzitu AM infekce?

Liší se míra AM infekce jitrocele v lučních společenstvech s různou druhovou bohatostí?

Souvisí míra AM infekce s velikostí asimilačního aparátu rostliny nebo její investicí do reprodukčních orgánů?



## 2 Metodika

### 2.1 VÝBĚR LOKALIT

V dubnu roku 2010 jsem v okolí Havlovic nad Úpou, Úpice, Batňovic a Suchovršic ve východních Čechách vybrala celkem 15 lokalit s luční vegetací. Hlavním kritériem pro jejich výběr byla přítomnost jitrocele kopinatého (*Plantago lanceolata*), zároveň jsem se snažila vybírat lokality lišící se nabídkou živin a půdní vlhkostí. Jednotlivé lokality jsem zaznačila do detailní letecké mapy území a označila pomocí čísel od 1 do 15 (Příloha 1).

### 2.2 MĚŘENÍ VLHKOSTI

Na každé lokalitě jsem změřila půdní vlhkost ve svrchních 8 cm půdy, a to pomocí přístroje HHZ Moisture meter (Delta - T - device ltd.). Na každé louce jsem provedla celkem 5 měření na různých místech, která byla od sebe vzdálena cca 2 metry. Z těchto měření jsem spočítala aritmetický průměr, který charakterizoval každou lokalitu v statistických analýzách dat.

### 2.3 ODBĚR A ZPRACOVÁNÍ VZORKŮ PŮDY NA PŮDNÍ ANALÝZU

Na jednotlivých lokalitách jsem odebrala vždy 5 vzorků půdy. Odběr jsem provedla pomocí půdní sondy o průměru 4,5 cm a k dalšímu zpracování jsem použila vrchních 10 cm půdy z této sondy. Vzorky z jedné lokality jsem smíchala – vznikl tedy jeden směsný vzorek, který charakterizuje celou lokalitu. Tuto půdu jsem nechala usušit za pokojové teploty a bez přístupu slunečního světla.

Usušené vzorky půdy jsem přesála přes síto s velikostí ok 2mm. Část půdy jsem oddělila pro analýzu fosforu a pH a menší část (asi 50 g) jsem rozetřela v achátové misce a přesála přes síto s velikostí ok 0,1 mm k analýze obsahu uhlíku a dusíku.

Vzorky pro analýzu fosforu, uhlíku a dusíku jsem poslala do Botanického ústavu AVČR v Průhonicích, do laboratoře vedené dr. Albrechtovou. Koncentrace C a N v půdě byla stanovena na CHN analyzátoru, obsah celkového P v půdě fotometricky po předchozí mineralizaci vzorků.

### 2.4 MĚŘENÍ pH

Od každého vzorku z lokality jsem navážila 10 g jemnozeme a přidala 25 ml destilované vody. Takto připravený vzorek jsem nechala intenzivně třepat a poté 2 hodiny stát. pH jsem měřila skleněnou elektrodou na pH-metru WTW multi 340i (WTW, Německo). Stanovení půdní reakce je podle ISO/DIS 10390 (1992).

Půdní charakteristiky lokalit jsou shrnuty v Příloze 2.

## 2.5 FYTOCENOLOGICKÝ SNÍMEK

Fytoocenologické snímkování se provádělo na konci května 2010 standardním způsobem. Velikost snímkové plochy byla 16 m<sup>2</sup>. Pro každý snímek byla zaznamenána celková pokrývnost (pokrývnost patra E<sub>1</sub>) a pokrývnost všech druhů cévnatých rostlin přítomných v daném snímku, dále sklon svahu, jeho orientace vůči světovým stranám a maximální výška vegetace. Snímek nebyl proveden u lokality č.4 z důvodu kosení louky. Nomenklatura byla sjednocena podle Kubát et al. 2002. Snímky jsou sepsány v Příloze 3.

## 2.6 BIOMASA

Z plochy 50×50 cm jsem na každé lokalitě odebrala veškerou nadzemní biomasu cévnatých rostlin. Dále jsem oddělila stařinu a nechala vše usušit (nejdříve rozložené do tenké vrstvy při pokojové teplotě, posléze dosušené v sušárně při 80°C po 24 hodin). Poté jsem usušenou biomasu zvažila (odděleně usušenou živou nadzemní biomasu a stařinu). Pro analýzy jsem použila hodnoty usušené živé nadzemní biomasy a usušené celkové nadzemní biomasy (sečtené hodnoty pro usušenou živou nadzemní biomasu a usušenou stařinu z téže odběrové plochy). Biomasa nebyla odebrána na lokalitě č.4 z důvodu kosení louky. Hodnoty sušiny celkové a živé biomasy z jednotlivých lokalit jsou v Příloze 4.

## 2.7 ODBĚR JEDINCŮ JITROCELE

V červnu 2010 jsem odebrala jitrocel na všech lokalitách (min. 3 jedinci / lokalita). Jednotlivé rostliny jsem vybrala náhodně v oblasti snímkové plochy (zároveň tedy v oblasti, kde jsem odebrala půdu na analýzy a měřila vlhkost).

## 2.8 CHARAKTERISTIKY ROSTLIN JITROCELE A ZPRACOVÁNÍ KOŘENŮ

Jedince jsem označila číslem lokality a písmenem (např. 1A, 2A atd.) a zaznamenala si počet listů a reprodukčních orgánů. Dále jsem změřila šířku a délku nejdelšího listu a šířku a délku kaudexu (bazální část zkráceného stonku nesoucí listové stopy po odumřelých listech). Naměřené charakteristiky jednotlivých rostlin jsou v Příloze 5. Tyto údaje jsem dále využila při výběru jedinců k barvení. Vyloučila jsem tak příliš mladé nebo naopak staré jedince s rozpadajícím se kaudexem. Odebrané kořenové systémy jsem důkladně vymyla pod tekoucí vodou od zbytků zeminy a odstranila kořeny jiných druhů rostlin.

## 2.9 BARVENÍ KOŘENŮ

Z kořenového systému jedinců určených k barvení jsem vybrala po deseti kořenech a barvila postupem podle Štajerová et al. (2009). Tyto kořeny jsem na 16 hodin ponořila do 10% KOH. Poté jsem kořínky důkladně vypláchla pod vodou a zalila je 1% roztokem HCl, ve kterém jsem je nechala asi 2 minuty. Tím jsem kořeny zneutralizovala. K barvení jsem použila barvivo Chlorazol Black E

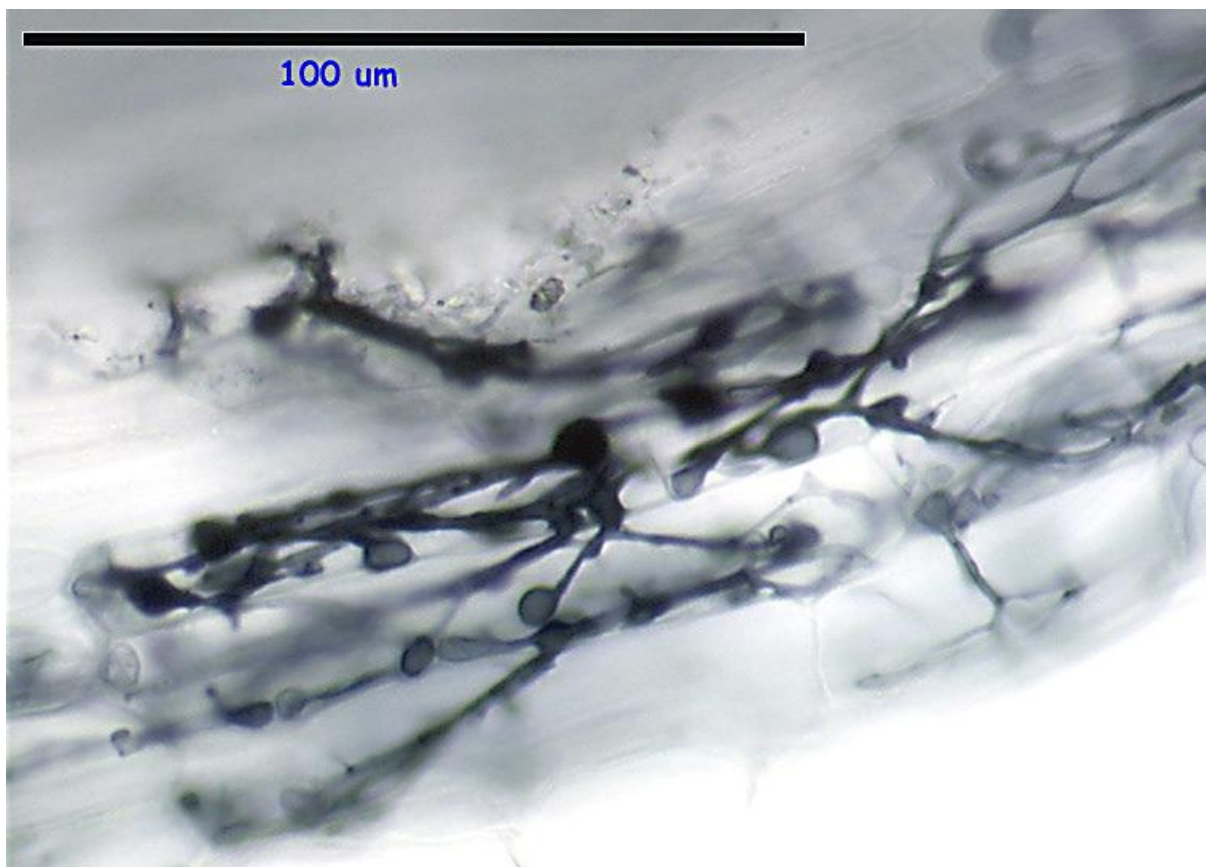
v roztoku kyseliny mléčné (35 ml), glycerolu (2,5 ml) a destilované vody (2,5 ml) – barviva postačila malá špetka. V tomto roztoku se kořínky nechaly jednu hodinu ve vodní lázni, při teplotě 90 °C. Potom jsem vzorky vyjmula z roztoku s barvivem a přenesla je do roztoku kys. mléčné, glycerolu a destilované vody (ve stejném poměru jako v barvicím roztoku). V tomto roztoku byly kořínky ponechány v lednici několik dní, aby se vyplavilo přebytečné barvivo.

## 2.10 TVORBA PREPARÁTŮ

Na sklíčko jsem umístila 10 kořínků podobné tloušťky a délky (cca 2 cm) a překryla je krycím sklíčkem. Kořínky bylo potřeba rozmáčknout, aby šlo pozorovat houbové struktury v kořeni. Jedná se tedy o roztakový preparát. Okraje krycího skla jsem přetřela průhledným lakem, aby se omezilo odpařování uchovávacího roztoku.

## 2.11 KVANTIFIKACE MYKORHIZNÍ INFEKCE

Kvantifikaci přítomných houbových struktur jsem prováděla pomocí mikroskopu Olympus BX50 při zvětšení 200×. Odhadovala jsem následující kategorie: **celkovou infekci AMF** (procento délky kořene obsahující jakékoli struktury AMF), **arbuskulární** a **vezikulární infekci** (procento délky kořene obsahující dané struktury) a **zastoupení morfortypu „fine endophyte“** (procento délky kořene obsahující tento morfortyp). Zastoupení morfortypu „fine endophyte“ jsem odhadovala, protože to byl jediný z přítomných morfortypů AMF, který jsem byla schopná bezpečně rozpoznat (obr. 3). Protože jsem ale nenašla závislost jeho zastoupení ve vzorcích s žádným mnou sledovaným stanovištním faktorem ani charakteristikou hostitelské rostliny, ve výsledcích ho již neuvádím. U arbuskulární a vezikulární infekce jsem navíc vypočítala jejich podíly z celkové AMF infekce a dále je uvádím jako **relativní podíl arbuskulární nebo vezikulární infekce**.



Obr.3 Hyfy s vezikulami u morfotypu fine endophyte. Foto P. Šmilauer

Před vlastní kvantifikací jsem provedla u 7 vzorků pokus, jak klesá přesnost odhadu s klesajícím podílem prohlédnuté délky kořenů. Protože se mé odhady téměř nelišily od kvantifikace celého vzorku i v případě, že jsem odhad provedla jen na třetině obarvených kořenů (na každém 3. zorném poli), použila jsem tento přístup na celý soubor mých vzorků. U každého preparátu jsem ohodnotila kvalitu obarvení, která může ovlivnit hodnověrnost odhadu AM infekce. Hodnoty celkové AM infekce, arbuskulární a vezikulární infekce a infekce morfotypem „fine endophyte“, vzniklé zprůměrováním hodnot infekcí jednotlivých jedinců z jedné lokality, spolu s hodnotou charakterizující kvalitu preparátu, jsou shrnuty v Příloze 6.

## 2.12 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ DAT

Závislost mykorhizní infekce (celková, arbuskulární, vezikulární, „fine endophyte“ a také jejich relativní podíly na celkové infekci) na vlastnostech hostitelské rostliny a na vlastnostech stanoviště byla studována pomocí vážené přímkové regrese, kde váhou byla kvalita vzorku, ovlivňující rozlišitelnost mykorhizní infekce v kořenech a tedy i spolehlivost vysvětlované proměnné v regresi. V případě modelů popisujících závislost na stanovištních podmínkách byly vždy zprůměrovány hodnoty mykorhizní infekce pro všechny rostliny z určité lokality a také váhy vzorků. Průkaznost vztahu byla odhadována testem hypotézy o nulovém sklonu regresní přímky za použití testu založeného na t statistice. Velikost a povaha závislostí (pozitivní vs. negativní) byla vyjádřena odhadem regresního koeficientu odpovídajícího sklonu přímky. Dle Lepš 1996.

## 3 Výsledky

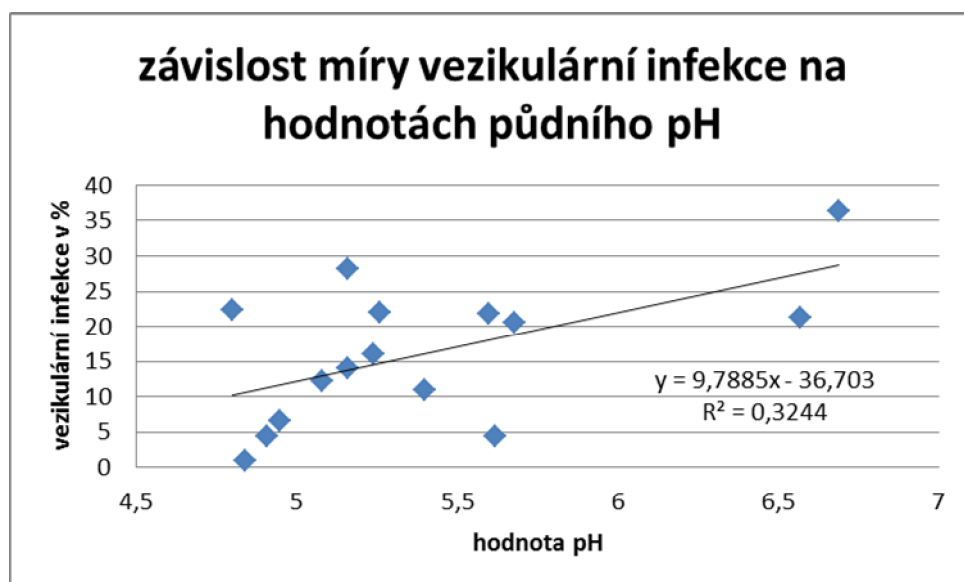
### 3.1 VLIV STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK NA INTENZITU AM INFEKCE

#### 3.1.1 Vliv koncentrací živin na intenzitu AM infekce

Koncentrace dusíku, uhlíku a fosforu v půdě neměly u zkoumaných rostlin prokazatelný vliv na míru celkové, arbuskulární a vezikulární infekce. Stejně tak neměly vliv na relativní podíl arbuskulární a vezikulární infekce.

#### 3.1.2 Vliv půdního pH na AM infekci

Na míru celkové AM a arbuskulární infekce nemělo pH půdy prokazatelný vliv, avšak míra vezikulární infekce i relativní podíl vezikulární infekce rostly s hodnotou půdního pH ( $t=2,6$ ,  $p=0,022$  pro míru vezikulární infekce a  $t=2,5$ ,  $p=0,026$  pro její relativní podíl). Obr. 4 uvádí graf závislosti vezikulární infekce na půdním pH.



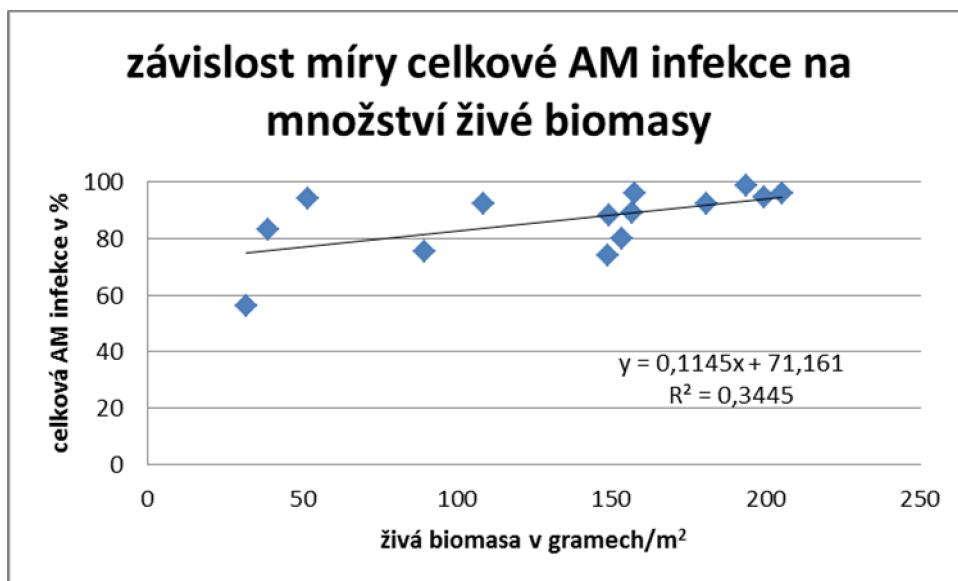
Obr. 4 Závislost vezikulární infekce na půdním pH

#### 3.1.3 Vliv půdní vlhkosti na AM infekci

Půdní vlhkost neměla prokazatelný vliv na míru AM infekce (jak na celkovou, tak arbuskulární a vezikulární infekci, ani na relativní podíl vezikulární a arbuskulární infekce).

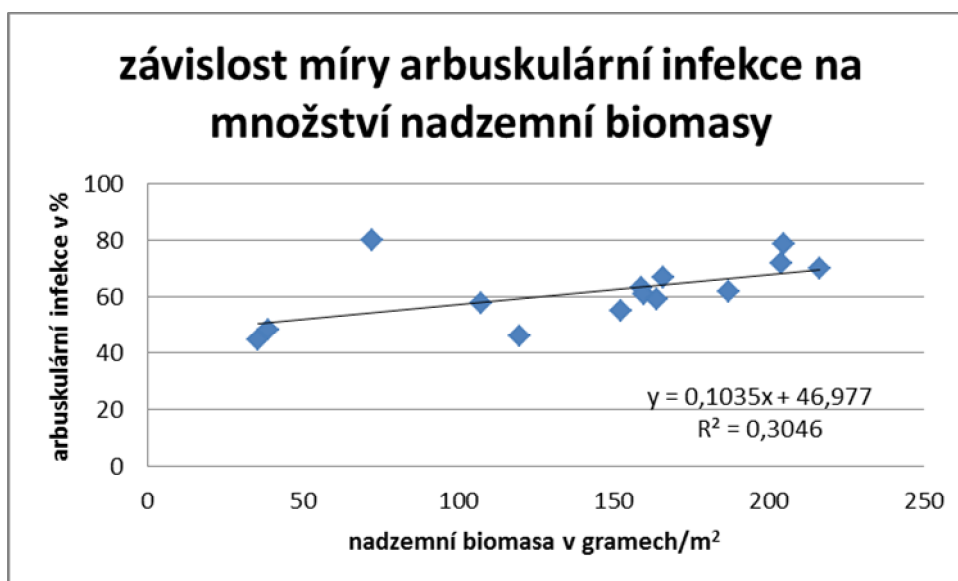
#### 3.1.4 Míra AM infekce v závislosti na množství biomasy okolního společenstva

Celková AM infekce se zvyšovala s rostoucí hodnotou živé nadzemní biomasy ( $t=2,33$ ,  $p=0,038$ ) i celkové nadzemní biomasy okolního společenstva ( $t=2,42$ ,  $p=0,032$ ). Obě závislosti byly podobné, proto pro ilustraci uvádím pouze graf závislosti pro živou nadzemní biomasu (Obr. 5).



Obr. 5 Závislost celkové AM infekce na množství živé biomasy

Arbuskulární infekce rostla s rostoucí hodnotou nadzemní biomasy ( $t=2,18$ ,  $p=0,050$ ; Obr. 6).



Obr. 6 Závislost arbuskulární infekce na množství nadzemní biomasy

### 3.2 VLIV DRUHOVÉ BOHATOSTI LUČNÍHO SPOLEČENSTVA NA MÍRU AM INFEKCE

Druhá bohatost společenstva neměla prokazatelný vliv na žádnou sledovanou charakteristiku AM infekce.

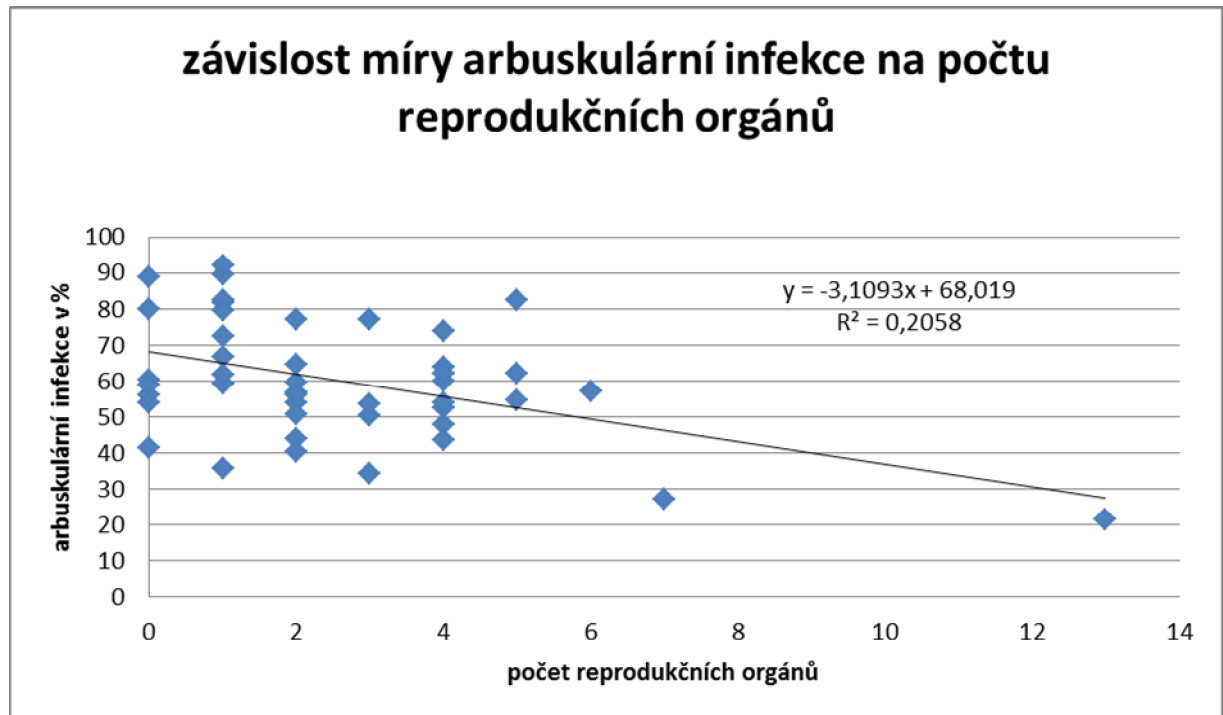
### 3.3. ZÁVISLOST AM INFEKCE NA VELIKOSTI NEBO POČTU ROSTLINNÝCH ORGÁNŮ

#### 3.3.1 Závislost AM infekce na počtu listů rostlin

Žádná se zjišťovaných charakteristik AM infekce neměla prokazatelnou závislost na počtu listů zkoumaných rostlin.

### 3.3.2 Závislost AM infekce na počtu reprodukčních orgánů rostlin

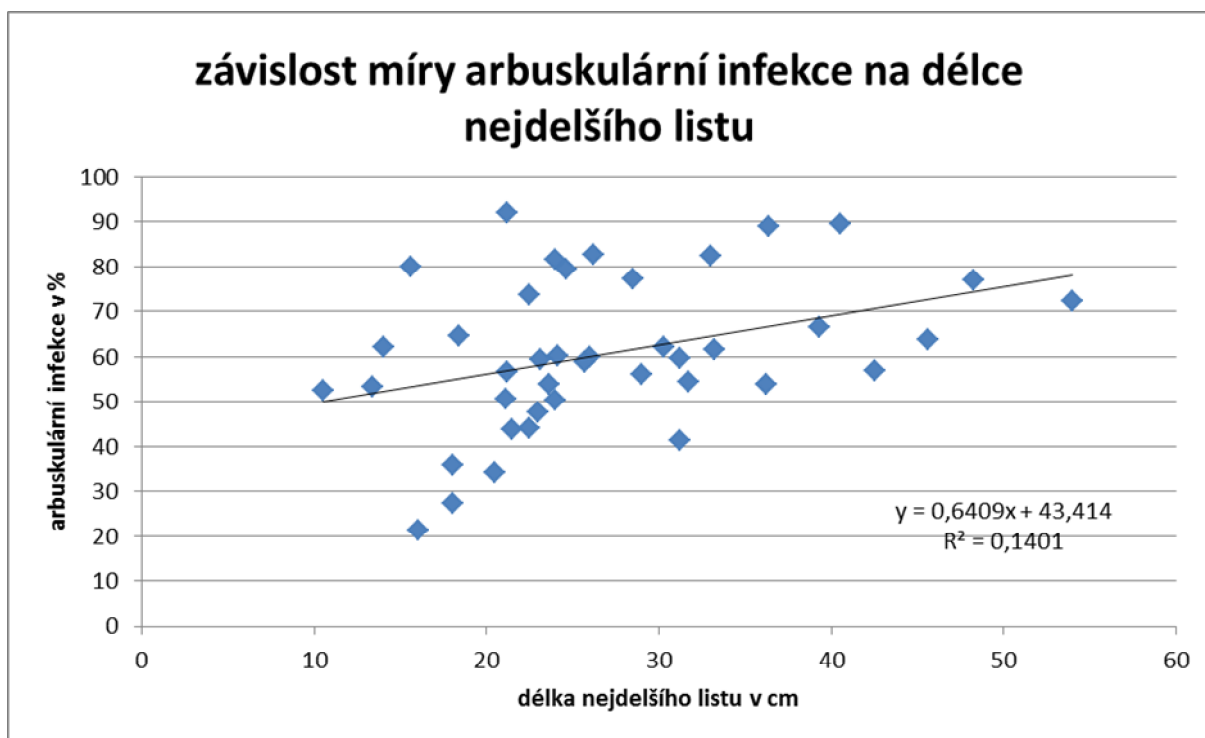
Míra arbuskulární infekce klesala s rostoucím počtem reprodukčních orgánů ( $t=-3,18$ ,  $p=0,003$ ; obr. 7). Ostatní sledované charakteristiky AM infekce neměly průkaznou závislost na počtu reprodukčních orgánů.



Obr. 7 Závislost míry arbuskulární infekce na počtu reprodukčních orgánů

### 3.3.3 Závislost AM infekce na délce a šířce nejdelšího listu

Míra arbuskulární infekce rostla s délkou nejdelšího listu hostitelské rostliny ( $t=2,491$ ,  $p=0,017$ ; Obr. 8). Jiné charakteristiky AM infekce se s délkou nejdelšího listu průkazně neměnily.



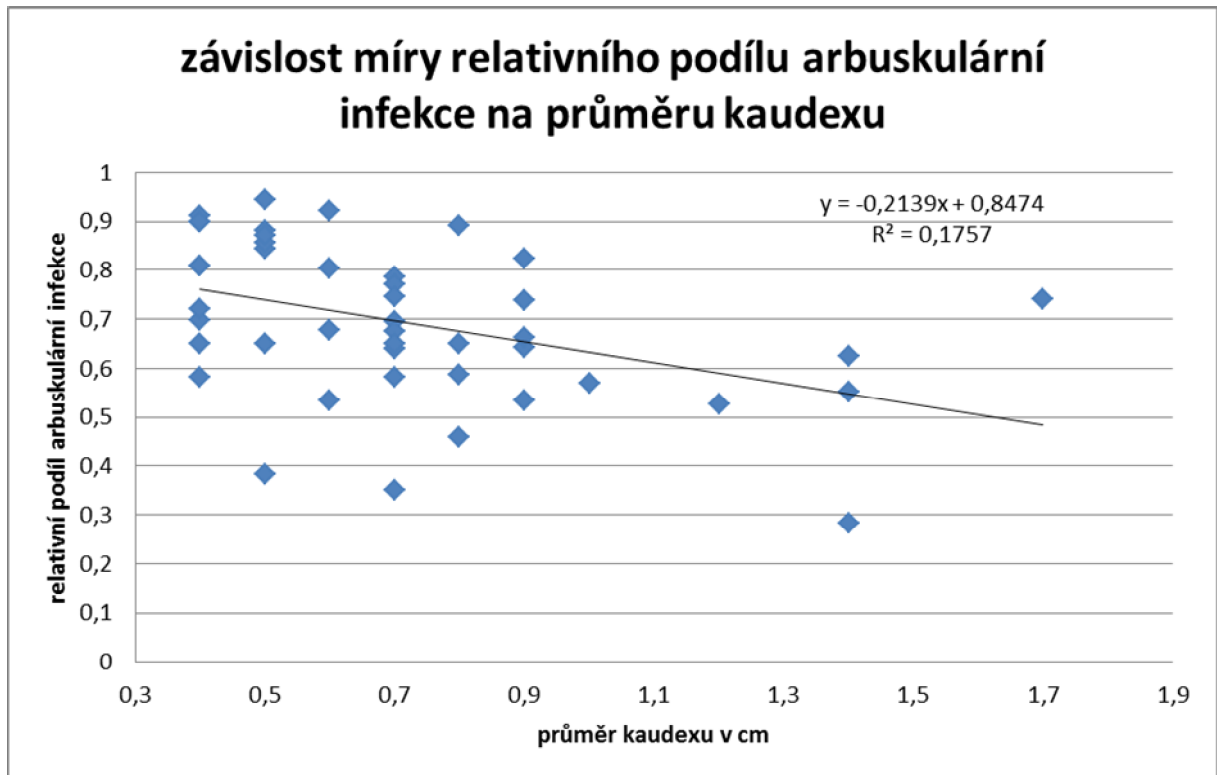
Obr. 8 Závislost míry arbuskulární infekce na délce nejdelšího listu

Žádná ze sledovaných charakteristik AM infekce neměla prokazatelnou závislost na šířce nejdelšího listu zkoumaných rostlin.

#### 3.3.4 Závislost AM infekce na velikosti kaudexu

Relativní podíl arbuskulární infekce klesal s rostoucím průměrem kaudexu ( $t=-2,88$ ,  $p=0,006$ ; Obr. 9). Žádná další sledovaná charakteristika AM infekce neměla prokazatelnou závislost na průměru nebo délce kaudexu zkoumaných rostlin.





Obr. 9 Závislost míry relativního podílu arbuskulární infekce na průměru kaudexu.

## 4 Diskuze

### 4.1 VLIV STANOVIŠTNÍCH PODMÍNEK NA INTENZITU AM INFEKCE

#### 4.1.1 Vliv koncentrací živin na intenzitu AM infekce

Předpokládala jsem, že míra AM infekce bude klesat se zvyšující se koncentrací dusíku a fosforu v půdě. Mykorhizní infekce sice zvyšuje příjem fosforu rostlinou skrze houbového symbionta, ale při vysoké koncentraci tohoto prvku v půdě dochází naopak ke snížení AM infekce (Newman et al. 1981). Také v pokusech, prováděných na loukách v USA, vedlo obohacení půdy dusíkem často ke snížení AM infekce (Johnson et al. 2003), i když pro směřování odezvy byl zásadní poměr N:P v půdě. Ke zmíněnému poklesu AM infekce po aplikaci N došlo na plochách, kde byl původní poměr N:P nízký, kdežto pokud byl dusík dodán do půdy s vysokým poměrem N:P, došlo naopak ke zvýšení míry AM infekce (protože se tím ještě zvýšila limitace rostlin P). Já jsem se zabývala AM infekcí u dospělých rostlin na stanovištích, kam jsem sama experimentálně živiny nedodávala (i když nemohu vyloučit aplikaci hnojiva na produkčních loukách a lokální obohacení živinami na pastvinách). V mé práci se závislost AM infekce na hodnotách koncentrací fosforu a dusíku prokazatelně neprojevila. Jedním s možných důvodů, proč míra AM infekce nekorelovala s hodnotami koncentrací dusíku a fosforu, může být fakt, že aktuální hodnoty koncentrací těchto prvků dostatečně nereflektují dlouhodobý minerální status půdy v místě rostlinného společenstva (An et al. 2008). Druhé vysvětlení může být, že v literatuře často uváděné negativní korelace pocházejí z pokusů se semenáčky, kde se teprve AM symbióza vytváří a je mnohem citlivější k dodání živin, než je tomu u dospělých rostlin ve stadiu ustáleného symbiotického vztahu.

#### 4.1.2 Vliv půdního pH na AM infekci

Předpokládala jsem, že míra AM infekce bude klesat se zvyšujícím se pH, tak jako při pokusech s *Glomus intraradices* a *Scutellospora calospora* kolonizujícími kořeny jitrocele (van Aarle et al. 2002). U druhu *G. intraradices* také s rostoucím pH klesala tvorba arbuskulů a vezikulů. van Aarle et al. (2002) dále pozorovali pomalý růst extraradikálního mycelia v půdě s nízkou hodnotou pH a Siqueira et al. (1984) uvádějí, že kyselá půda má inhibiční účinek a zároveň fungistatický efekt na spory hub. Siqueira et al. (1984) žádnou korelaci mezi celkovou AM infekcí v kořenech a hodnotou pH nenalezli. V mé práci pozitivně korelovala míra vezikulární infekce s hodnotami pH (viz Obr. 4). Možnou příčinou této korelace by mohl být fakt, že, na rozdíl od laboratorního pokusu provedeného van Aarle, v mých vzorcích se vyskytovaly AM houby v přirozené směsi. Pokud byla, ve shodě s výsledky van Aarle, při nižších hodnotách pH vyšší kolonizace rodem *Scutellospora*, který nevytváří vezikuly, s jeho úbytkem vlivem rostoucího pH se mohly více uplatnit zástupci jiných rodů tvořících vezikuly.

#### 4.1.3 Vliv půdní vlhkosti na AM infekci

Půdní vlhkost je jednou z charakteristik, které ovlivňují druhové složení nejen rostlinného, ale i houbového společenstva (König et al., 2010). V mé práci nebyla prokazatelně zjištěna závislost míry AM infekce a půdní vlhkosti. Většina experimentálních studií zabývajících se vlivem vlhkosti na AM infekci uvažuje extrémní podmínky – dlouhodobé zaplavení (Escudero a Mendoza, 2005, Miller, 2000), které snižuje AM infekci, a sucho (Augé, 2001), kde naopak dochází k zvýšení AM infekce. Ve své práci jsem se snažila vybrat ekosystémy s rozdílnou půdní vlhkostí (viz např. lokalita č.2 a č.3 – viz Příloha č. 7), ale extrémních hodnot jsem jistě nedosáhla (už proto, že jitrocel na příliš vlhkých

stanovištích neroste). Závislost na vlhkosti se také nemusela projevit vzhledem k proměnlivosti vlhkosti v průběhu dní a pouze jednorázovému měření půdní vlhkosti.

#### 4.2 MÍRA AM INFEKCE V ZÁVISLOSTI NA MNOŽSTVÍ BIOMASY OKOLNÍHO SPOLEČENSTVA

Nejen druhové složení rostlinného společenstva, ale i množství biomasy reflektuje úživnost půdy. Předpokládala jsem, že společenstva na živinově bohatších půdách vyprodukují větší množství biomasy a tedy, že AM infekce bude klesat se vzrůstajícím množstvím biomasy. Ve své práci jsem však zjistila pozitivní závislost na množství živé nebo celkové biomasy jak u celkové, tak arbuskulární infekce (viz Obr. 5 a 6). Tato závislost je zřejmě výsledkem kompetice jedinců, kdy AM infekce může zvýhodnit infikované jedince oproti ostatním jedincům společenstva (Scheublin et al. 2007).

#### 4.3 VLIV DRUHOVÉ BOHATOSTI LUČNÍHO SPOLEČENSTVA NA MÍRU AM INFEKCE

V literatuře se objevují jak práce ukazující negativní vztah mezi intenzitou AM infekce a diverzitou rostlinného společenstva (např. Hartnett a Wilson 1999), tak vztah pozitivní (např. Eriksson 2001). Negativní vztah se zdůvodňuje tím, že AM symbióza „zahluje“ rozdíly v získávání živin a tak snižuje kompetici jedinců. Tím je ve společenstvu méně druhů, než ve společenstvu, kde byly AMF např. uměle odstraněny fungicidy (Hartnett a Wilson 1999). Zastánci druhé možnosti naopak poukazují na výsledky pokusů, kdy druhově bohatá dlouhodobě tradičně obhospodařovaná společenstva vykazovala vyšší míru AM infekce (Eriksson 2001), ale i diversity AMF společenstva (van der Heijden et al. 1998). V mé práci se neprojevil žádný vztah mezi druhovou bohatostí rostlinného společenstva a mírou AM infekce. Může to být způsobeno tím, že druhová bohatost je příliš hrubým měřítkem druhové diverzity, aby se její vliv projevil na mém poměrně malém souboru dat.

#### 4.4 ZÁVISLOST AM INFEKCE NA VELIKOSTI NEBO POČTU ROSTLINNÝCH ORGÁNŮ

##### **4.4.1 Závislost AM infekce na počtu reprodukčních orgánů rostlin**

Závislost AM infekce na počtu reprodukčních orgánů zachycuje Obr. 7. Nejvyšší hodnoty AM infekce byly zaznamenány u rostlin s 0 nebo 1 reprodukčním orgánem. Domnívám se, že se mohlo jednat o poměrně mladé jedince, kde počet reprodukčních orgánů odráží spíše ontogenetický stav jedince (nezačal ještě kvést a plodit) než jeho živinový statut (protože nemá dost živin, nemůže investovat do reprodukce). AM infekce umožňuje lepší uchycení semenáčků a pomáhá mladým jedincům kompetovat ostatním rostlinám ve společenstvu (van der Heijden, 2004, van der Heijden a Horton, 2009).

##### **4.4.2 Závislost AM infekce na délce a šířce nejdelšího listu**

Pozitivní korelace AM infekce a délky nejdelšího listu je dle mého názoru ovlivněna okolním společenstvem – konkrétně výškou okolních rostlin, které způsobují zástin rostlin v podrostu. Stejně jako v práci Newmana (1981) rostli na některých lokalitách odebrání jedinci jitrocele ve vysoké okolní vegetaci. Jejich listy pak rostly víceméně vertikálně. Vyšší míra AM infekce tedy nejspíše podporuje rostlinu v růstu listů do délky z důvodu velké kompetice o světlo.

#### **4.4.3 Závislost AM infekce na velikosti kaudexu**

Podle rozměru kaudexu lze přibližně určit stáří rostliny. Šmilauer (2001) našel pozitivní vztah mezi velikostí kaudexu jitrocele a diverzitou AMF společenstva, ale o celkové intenzitě mykorhizní infekce se nezmiňuje. Podle mých výsledků se domnívám, že AM infekce klesá se stářím rostliny, což koresponduje i s negativním vztahem mezi mírou arbuskulární infekce a počtem reprodukčních orgánů (Obr. 7).

## 5 Závěr

V mém výzkumu, který zahrnoval 15 lokalit s různou nabídkou živin a různou vlhkostí půdy

- jsem neprokázala vztah charakteristik mykorhizní infekce jitrocele kopinatého (*Plantago lanceolata*) a živinové nabídky ani půdní vlhkosti na stanovištích
- míra vezikulární infekce stoupala se vzrůstajícími hodnotami pH
- míra celkové AM infekce i arbuskulární infekce vzrůstala s produkcí společenstva (s množstvím nadzemní živé biomasy a/nebo celkové nadzemní biomasy)
- jsem nenašla průkazný vztah žádné sledované charakteristiky AM infekce a druhové bohatosti lučního společenstva.

Dále jsem zjistila, že intenzita AM infekce má souvislost s reprodukčním úsilím, délkou nejdelšího listu a věkem hostitelské rostliny:

- míra arbuskulární infekce klesala se vzrůstajícím počtem reprodukčních orgánů, ale naopak vzrůstala se zvětšující se délkou nejdelšího listu
- míra relativního podílu arbuskulární infekce klesala se zvětšujícím se průměrem kaudexu, který charakterizuje stáří rostliny

## 6 Literatura

**An, GH., Miyakawa, S., Kawahara, A., Osaki, M., & Ezawa, T., 2008.** Community structures of arbuscular mycorrhizal fungi associated with pioneer grass species *Miscanthus sinensis* in acid sulfate soils : habitat segregation along pH gradients. *Soil Science & Plant Nutrition* **54**: 517-528.

**Abbott, L. K., & Robson, A. D., 1985.** Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* **99**: 245–255.

**Augé, RM., 2001.** Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* **11**: 3- 42.

**Bååth, E., & Spokes, J., 1989.** The effect of added nitrogen and phosphorus on mycorrhizal growth response and infection in *Allium schoenoprasum*. *Canadian Journal of Botany*, **67**: 3227–3232.

**Bago, B., Vierheilig, H., Piche, Y., & AzconAguilar, C., 1996.** Nitrate depletion and pH changes induced by the extraradical mycelium of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* grown in monoxenic culture. *New Phytologist* **133**: 273-280.

**Bates, T. R., & Lynch, JP., 1996.** Stimulation of root hair elongation in *Arabidopsis thaliana* by low phosphorus availability. *Plant, Cell and Environment* **19**: 529–538.

**Brundrett, M. C., 2002.** Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist* **154**: 275–304

**Egerton-Warburton, LM., Querejeta, JI., & Allen, MF., 2007.** Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants. *Journal of Experimental Botany*. **58**: 1473-83.

**Escudero, V., & Mendoza, R., 2005.** Seasonal variation of arbuscular mycorrhizal fungi in temperate grasslands along a wide hydrologic gradient. *Mycorrhiza* **15**: 291- 299.

**Eriksson, A., 2001.** Arbuscular mycorrhiza in relation to management history, soil nutrients and plant species diversity. *Plant Ecology* **155**: 129-137.

**Govindarajulu, M., Pfeffer, PE., Jin, HR., Abubaker, J., Douds, DD., Allen, JW., Bucking, H., Lammers, PJ., & Shachar-Hill, Y., 2005.** Nitrogen transfer in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Nature* **435**: 819-823.

**Gryndler, M., Baláž, M., Hřselová, H., Jansa, J., & Vosátka, M., 2004.** Mykorhizní symbióza: o soužití hub s kořeny rostlin. Praha, ČR: Academia.

**Hartnett, DC., & Wilson, GWT., 1999.** Mycorrhizae influence plant community structure and diversity in tallgrass prairie. *Ecology* **80**: 1187- 1195.

**Haynes, RJ., 1990.** Active ion uptake and maintenance of cation-anion balance: a critical examination of their role in regulation rhizosphere pH. *Plant and Soil* **126**: 247-264.

**Hawkins, HJ., Johansen, A., & George, E., 2000.** Uptake and transport of organic and inorganic nitrogen by arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* **226**: 275-285.

- Helgason, T., & Fitter, AH., 2009.** Natural Selection and the evolutionary ecology of the Arbuscular Mycorrhizal fungi (Phylum Glomeromycota). *Journal of Experimental Botany* **60**: 2465-2480.
- Hodge, A., 2001.** Arbuscular mycorrhizal fungi influence decomposition of, but not plant nutrient capture from, glycine patches in soil. *New Phytologist* **151**: 725-734.
- Hodge, A., 2003.** Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonisation. *New Phytologist* **157**: 303-314.
- Jakobsen, I., Abbott, LK., & Robson, AD., 1992.** External hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi associated with *Trifolium subterraneum* L. 1. Spread of hyphae and phosphorus inflow into roots. *New Phytologist* **120**: 371-380
- Javot, H., Pumplin, N., & Harrison, MJ., 2007.** Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant, Cell and Environment* **30**: 310-322.
- Jin, H., Pfeffer, PE., Douds, DD., Piotrowski, E., Lammers, PJ., & Shachar-Hill, Y., 2005.** The uptake, metabolism, transport and transfer of nitrogen in an arbuscular mycorrhizal symbiosis. *New Phytologist* **168**: 687-696.
- Johnson, NC., Rowland, DL., Corkidi, L., Egerton-Warburton, LM., & Allen, EB., 2003.** Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semiarid grasslands. *Ecology* **84**: 1895-190.
- Johnson, NC., Graham, JH., & Smith, FA., 1997.** Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism–parasitism continuum. *New Phytologist* **135**: 575-585
- Joner, EJ., & Jakobsen, I., 1995.** Growth and extracellular phosphatase activity of arbuscular mycorrhizal hyphae as influenced by soil organic matter. *Soil Biology & Biochemistry* **27**: 1153-1159.
- Kubát, K., Hrouda, L., Chrtek, J. jun., Kaplan, Z., Kirschner, J., Štěpánek, J. (eds.), 2002.** Klíč ke květeně České republiky. Praha, ČR: Academia.
- Karandashov, V., Nagy, R., Wegmüller, S., Amrhein, N., & Bucher, M., 2004.** Evolutionary conservation of phosphate transport in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **101**: 6285-6290.
- Klironomos, JN., 2003.** Variation in plant response to native and exotic arbuscular mycorrhizal fungi. *Ecology and Evolution* **12**: 139-143.
- König, S., Tesfaye, W., Carsten FD., Hempel, S., Renker, C., & Buscot, F., 2010.** TaqMan Real-Time PCR Assays To Assess Arbuscular Mycorrhizal Responses to Field Manipulation of Grassland Biodiversity: Effects of Soil Characteristics, Plant Species Richness, and Functional Traits. *Applied and Environmental Microbiology* **76**: 3765-3775.
- Leigh, J., Hodge, A., & Fitter, AH., 2009.** Arbuscular mycorrhizal fungi can transfer substantial amounts of nitrogen to their host plant from organic material. *New Phytologist*, **181**: 199-207.
- Lepš, J., 1996.** Biostatistica. České Budějovice, ČR: Biologická fakulta Jihočeské univerzity v ČB.
- Liu, A., Hamel, C., Hamilton, RI., & Smith, DL., 2000.** Mycorrhizae formation and nutrient uptake of new corn (*Zea mays* L.) hybrids with extreme canopy and leaf architecture as influenced by soil N and P levels. *Plant and Soil* **221**: 157–166.

- Marschner, H., 1995.** Mineral nutrition of higher plants. second edition. 889pp. London: Academic Press
- Miller, SP., 2000.** Arbuscular mycorrhizal colonization of semi-aquatic grasses along a wide hydrologic gradient. *New Phytologist* **145**: 145-155.
- Munkvold, L., Kjølner, R., Vestberg, M., Rosendahl, S., & Jakobsen, I., 2004.** High functional diversity within species of arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* **164**: 357–364.
- Newman, El., Heap, AJ., & Lawley, RA., 1981.** Abundance of mycorrhizas and root-surface micro-organisms of *Plantago lanceolata* in relation to soil and vegetation: a multi-variate approach. *New Phytologist* **89**: 95-108.
- Olsson, PA., & Jakobsen, HW., 2002.** Foraging and resource allocation strategies of mycorrhizal fungi in patchy environment. In: van der Heijden MGA, Sanders IR, eds. *Mycorrhizal ecology*. Berlin, Německo: Springer, 93-110.
- Porter, W.M., Robsen, A.D., & Abott, L.K., 1987.** Field survey of the distribution of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in relation to soil pH. *Journal of Applied Ecology* **24**: 659-662.
- Read, DJ., & Perez-Moreno, J., 2003.** Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance? *New Phytologist* **157**: 475–492.
- Redecker, D., Kodner, R., & Graham, LE., 2000.** Glomalean fungi from the Ordovician. *Science* **289**: 1920-1921.
- Remy, W., Taylor, TN., Hass, H., & Kerp, H., 1994.** Four hundred million year-old vesicular-arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **91**: 11841-11843.
- Scheublin, TR., van Logtestijn, RSP., & van der Heijden, MGA., 2007.** Presence and identity of arbuscular mycorrhizal fungi influence competitive interactions between plant species. *Journal of Ecology* **95**: 631–638.
- Schweiger, PF., & Jakobsen, I., 1999.** The role of mycorrhizas in plant P- nutrition: Fungal uptake kinetics and genotype variations. In: Gissel- Nielsen G, Jensen A, eds. *Plant nutrition – molecular biology and genetics*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer. Academic Publishers, 277– 289.
- Siqueira, JO., Rocha, WF., Oliveira, E., & Colozzi-Filho, A., 1984.** The relationship between vesicular-arbuscular mycorrhiza and lime: Associated effects on the growth and nutrition of *Brachiaria decumbens*. *Biology and Fertility of Soils* **10**: 65-71.
- Slavík, B., 2000.** Květena České republiky 6. Praha : Academia.
- Smith, SE., Smith, FA., & Jakobsen, I., 2004.** Functional diversity in arbuscular mycorrhizal (AM) symbioses: the contribution of the mycorrhizal P uptake pathway is not correlated with mycorrhizal responses in growth or total P uptake. *New Phytologist* **162**: 511-524.



- Smith, FA., Grace, EJ., & Smith, SE., 2009.** More than a carbon economy: nutrient trade and ecological sustainability in facultative arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist* **182**: 347-358.
- Smith, SE., St. John, BJ., & Smith, F. A., 1986.** Effects of mycorrhizal infection on plant growth, nitrogen and phosphorus nutrition in glasshouse-grown *Allium cepa* L. *New Phytologist* **103**:359–373.
- Sylvia, DM., & Neal, LH., 1990.** Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytologist* **115**: 303–310.
- Šmilauer, P., 2001.** Communities of arbuscular mycorrhizal fungi in grassland: seasonal variability and effects of environment and host plants. *Folia Geobotanica* **36**: 243-263.
- Štajerová, K., Šmilauerová, M., & Šmilauer, P., 2009.** Arbuscular mycorrhizal symbiosis of herbaceous invasive neophytes in the Czech Republic. *Preslia* **81**: 341–355.
- van Aarle, IM., Olsson, PA., & Söderström, B., 2002.** Arbuscular mycorrhizal fungi respond to the substrate pH of their extraradical mycelium by altered growth and root colonization. *New Phytologist* **155**: 173-182
- van der Heijden, MGA., Klironomos, JN., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Wiemken, A., & Sanders, IR., 1998.** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* **396**: 69–72.
- van der Heijden MGA., 2004.** Arbuscular mycorrhizal fungi as support systems for seedling establishment in grassland. *Ecology Letters* **7**: 293- 303.
- van der Heijden, MGA., 2010.** Mycorrhizal fungi reduce nutrient loss from model grassland ecosystems. *Ecology* **91**: 1163–1171.
- van der Heijden, MGA., & Horton, TR., 2009.** Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of Ecology* **97**: 1139–1150
- Wang, MY., Hu, LB., Wang, WH., Liu, ST., Li, M., & Liu, RJ., 2009.** Influence of long-term fixed fertilization on diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Pedosphere* **19**: 663-672.

## 7 Přílohy

### Příloha 1 Mapa lokalit



**Příloha 2 Půdní charakteristiky**

lokality	pH	N %	C %	P mg/1000g	vlhkost průměr %
1	5,24	0,328	4,40	13,78	27,7
2	5,26	0,291	3,21	13,65	50
3	5,08	0,330	4,10	7,93	7,1
4	5,16	0,205	2,15	6,09	44,32
5	5,68	0,206	2,42	36,86	25,46
6	5,6	0,257	2,65	53,44	20,82
7	5,16	0,236	2,64	5,54	10,48
8	5,62	0,351	3,29	36,97	22,78
9	4,84	0,186	2,04	19,11	22,24
10	6,69	0,183	2,16	10,97	15,48
11	4,95	0,177	1,97	35,31	21,78
12	6,57	0,230	2,10	20,60	53,48
13	5,4	0,362	3,76	17,01	32,1
14	4,8	0,167	1,87	33,67	31,62
15	4,91	0,297	3,32	17,08	29,32

### Příloha 3 Fytocenologické snímky

číslo lokality	1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
inklinace (°)	3	0	7	0	0	45	1	2	0	10	0	12	16	0
expozice	JZ		J			JV	J	V		V		JZ	JV	
datum	29-5	29-5	29-5	29-5	29-5	29-5	29-5	29-5	30-5	30-5	30-5	30-5	30-5	30-5
výška vegetace (cm)	45	80	50	60	70	45	35	50	70	30	70	40	80	60
plocha (m <sup>2</sup> )	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	2 x 8	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4	4 x 4
celková pokryv. E1 patra (%)	98	90	92	99	99	85	70	98	97	98	97	70	93	100
počet druhů v E1patře	19	31	31	17	24	33	16	21	26	27	23	26	24	22
druhy (rody) E <sub>1</sub> patra														
bedrník obecný	Pimpinella saxifraga		0.1			0.1		0.1	1	3		0.1	0.5	
bika bělavá (hajní)	Luzula luzuloides				1									
bika ladní	Luzula campestris	0.5	6			3		20	1	10			10	
bojínek luční	Phleum pratense										1	2		
bolševník obecný	Heracleum sphondylium	1							1	2				
bršlice kozí noha	Aegopodium podagraria								10					
dub zimní (juv.)	Quercus petraea		1											
hluchavka bílá	Lamium album				0.5									
hořčík jestřábníkovitý	Picris hieracioides												2	
hrachor luční	Lathyrus pratensis	2							1					
huseník chlupatý	Arabis hirsuta					0.5								
chrastavec rolní	Knautia arvensis		2										2	
chrpa sp.	Centaurea sp.									5				
jahodník obecný	Fragaria vesca												5	
jestřábník chlupáček agg.	Hieracium pilosella			20		15								
jetel luční	Trifolium pratense	60	0.5		20	15	15	40	5	10		1	2	3
jetel plazivý	Trifolium repens			15					1			4	6	

jetel pochybný	Trifolium dubium						1		20		2				
číslo lokality		1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
jetel prostřední	Trifolium medium									0.1					
jílek cf. mnohokvětý	Lolium cf. multiflorum					25									
jitrocel kopinatý	Plantago lanceolata	5	2	7	2	4	6	3	10	1	5	2	3	15	2
jitrocel prostřední	Plantago media														
jitrocel větší	Plantago major											0.5	8		0.1
kakost luční	Geranium pratense									20		2			1
kmín kořený	Carum carvi	1													
kokoška pastuší tobolka	Capsella bursa-pastoris					0.1									
kontryhel sp.	Alchemilla sp.							0.5					0.1		
kopretina bílá	Leucanthemum vulgare					1							1		2
kostřava červená agg.	Festuca rubra agg.					0.1	7				1				
kostřava luční	Festuca pratensis		3				2				50			30	
kozí brada luční	Tragopogon pratensis		4									2			1
krabilice zápašná	Chaerophyllum aromaticum													0.1	
krvavec menší	Sanguisorba minor									2		1			
krvavec toten	Sanguisorba officinalis						1								
lipnice luční	Poa pratensis		0.5							0.1			0.1		
lipnice obecná	Poa trivialis	7	5		5	10	4			20			10	5	15
lipnice oddálená	Poa remota											1			
lipnice roční	Poa annua											20			
máchelka podzimní	Leontodon autumnalis						1	2					40		
máchelka srstnatá	Leontodon hispidus			1			3								
mateřídouška sp.	Thymus sp.		10	1		1			3					0.5	
medyněk vlnatý	Holcus lanatus														1
mochna husí	Potentilla anserina		1												
orzej jarní hlíznatý	Ficaria verna subsp. bulbifera						0.5								
osívka jarní	Erophila verna			1											
ostřice chlupatá	Carex pilosa			0.1											

ostřice nízká	Carex humilis										1				
ostřice sp.	Carex sp.		0.5	20		5	4		10	30		1		6	1
číslo lokality		1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ovsík vyvýšený	Arrhenatherum elatius	0.1		4			1		2		1		2		
pelyněk černobýl	Artemisia vulgaris	10	3	8	3	2				2				15	
pcháč oset	Cirsium arvense									0.5					
pcháč zelinný	Cirsium oleraceum														0.1
popenec břechťanolistý	Glechoma hederacea		1												
prasetník kořenatý	Hypochaeris radicata											1			
pryskyřník hlíznatý	Ranunculus bulbosus										2		1		
pryskyřník plazivý	Ranunculus repens							0.1	0.1						
pryskyřník prudký	Ranunculus acris		4					1			1	3	4	1	5
prýšec chvojka	Euphorbia cyparissias	5	2		0.1	0.5	1			2		5	3	2	2
přeslička rolní	Equisetum arvense			3											
psárka luční	Alopecurus pratensis		1	0.1			1					0.5			
psineček cf. obecný	Agrostis cf. capillaris	10	35	2	8	4		10	5	15		2	5	2	40
psineček sp.	Agrostis sp.												2		
ptačinec mokřadní	Stellaria alsine										15				
ptačinec trávovitý	Stellaria graminea		1												
ptačinec velkokvětý	Stellaria holostea						0.1		1		0.5			2	
pýr plazivý	Elytrigia repens										0.1				
rdesno hadí kořen	Bistorta major												10		
rozchodník šestiřadý	Sedum sexangulare														
rozrazil douškolistý	Veronica serpyllifolia						1								
rozrazil lékařský	Veronica officinalis						5								
rozrazil lesklý	Veronica polita						1						0.1		0.1
rozrazil rezekvítek	Veronica chamaedrys			3											
rožec obecný luční	Cerastium holosteoides subsp. triviale	2			0.1	0.5		0.5							
rožec rolní pravý	Cerastium arvense subsp. arvense	5		3		0.1	0.1	0.1	1		0.5		1		1

řebříček obecný agg.	Achillea millefolium agg.	25	1		5	0.1	0.5	4		0.1		0.1	0.5		1
řeřišnice luční	Cardamine pratensis			2					4		1				
sedmikráska obecná	Bellis perennis	10		0.1	30	3	5	20	5	2	4			5	7
číslo lokality		1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
silěnka široolistá bílá	Silene latifolia subsp. alba									0.1			7		
skřípina lesní	Scirpus sylvaticus	1										1			
smetánka sp.	Taraxacum sp.											70			
smilka tuhá	Nardus stricta	5	3		20	15		5	1	1	1	4	0.1		5
smolníčka obecná	Lychnis viscaria			1											
srha laločnatá	Dactylis glomerata			1			0.1								
sveřep měkký	Bromus hordeaceus	2	3	0.1	5	6	1	3	4	35	1		2	3	3
svízel bahenní agg.	Galium palustre agg.				5	1		2							
svízel přítula	Galium aparine		0.5												
svízel syřišťový	Galium verum		1									0.5			
štírovník růžkatý	Lotus corniculatus						1								
šťovík menší	Rumex acetosella			1							1		0.5		
šťovík cf. tupolistý	Rumex cf. obtusifolius			0.5			1						0.1	1	
šťovík kadeřavý	Rumex crispus		1		5										3
šťovík kyselý	Rumex acetosa											0.1			
tolice dětelová	Medicago lupulina	5	5	0.5	10	7	0.5	1	7	1	1	1			7
tolice vojtěška	Medicago sativa		2												
tomka vonná	Anthoxanthum odoratum				1										
trojštět žlutavý	Trisetum flavescens		2	10	1	1	1		10	5	7			2	
truskavec ptačí	Polygonum aviculare	10	3		40			5	1	1	1			10	3
třeslice prostřední	Briza media			1											
třezalka skvrnitá	Hypericum maculatum										5			4	
třezalka tečkovaná	Hypericum perforatum		1												
violka sp.	Viola sp.			0.1			1							0.1	
vítod obecný	Polygala vulgaris			2											
vrtič obecný	Tanacetum vulgare										0.1				

vrbka sp.	Epilobium sp.		0.1												
zběhovec plazivý	Ajuga reptans	0.1													
zvonek rozkladitý	Campanula patula		0.1			0.5	0.1		10	0.1	1			1	



#### Příloha 4 Hodnoty sušiny živé a celkové nadzemní biomasy

lokality	biomasa živá	biomasa stařina
	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
1	156,84	2,32
2	199,58	5,58
3	108,48	11,36
4	/	/
5	205,36	11,18
6	149,1	3,38
7	180,94	6,28
8	32,04	3,32
9	149,02	10,8
10	193,62	10,64
11	89,58	17,9
12	157,48	8,8
13	38,86	/
14	51,66	20,78
15	153,34	10,66

Pozn.: Odběr biomasy na lokalitě č.4 nebyl proveden z důvodu kosení louky. Vzorek z lokality č.13 obsahoval zanedbatelné množství stařiny.

## Příloha 5 Charakteristiky jednotlivých rostlin

lokality	vzorek	počet listů	počet RO <sup>2</sup>	List - délka	List - šířka	délka kaudexu	průměr kaudexu
				cm	cm	cm	cm
1	A	13	4	22,5	3,1	2,4	0,7
1	C	12	2	21,2	2,1	1,3	0,7
1	D	13	1	23,1	3	2,1	0,8
2	B	9	1	40,5	2,4	2,3	0,4
2	C	7	0	36,4	1,9	1,8	0,5
2	D	12	6	42,5	2,6	2,1	1,4
3	C	6	2	36,2	2,8	2,8	0,7
3	D	13	4	23	1,3	2,4	1,2
3	F	4	1	18	1,8	1,5	0,5
4	A	10	2	22,5	2,6	1,9	0,6
4	B	12	3	20,5	1,8	2	0,7
4	D	10	3	24	2	2	0,9
5	A	19	1	54	2,4	2,7	1,7
5	B	7	4	26	2,8	2,4	0,7
5	D	7	3	28,5	2,5	3	0,6
6	A	14	2	/	/	1,5	1,4
6	B	5	0	24,1	2,1	0,8	0,5
6	C	17	4	45,6	2,6	1	0,9
7	B	16	4	21,5	1,8	1,3	0,8
7	C	14	5	14	0,9	0,7	0,7
7	D	11	0	15,6	1,4	1,9	0,4
8	A	17	7	18	2,2	1,6	0,9
8	D	6	3	13,4	1,6	1,6	0,4
8	E	5	4	10,5	0,9	1	0,5
9	A	7	0	/	/	1,9	0,4
9	B	9	1	39,3	1,7	1,9	0,5
9	C	10	4	30,3	2,7	1,9	0,8
10	B	11	2	48,3	2,4	1,4	0,7
10	D	3	0	/	/	1,4	0,4
10	E	15	5	33	3,5	1,3	0,9
11	A	7	1	24	1,8	1,2	0,4
11	D	5	2	21,1	1	2,2	0,4
11	E	5	0	31,2	1,8	2,3	0,4
12	A	20	4	23,6	2,9	1,1	0,8

<sup>2</sup> Počet RO – počet reproduktivních orgánů

12	C	4	1	21,2	2,3	2,7	0,6
12	D	12	5	31,7	3,3	1,9	1
13	A	5	0	25,7	2,1	3,1	0,6
13	C	22	13	16	2,2	1,4	1,4
13	D	6	2	18,4	1,8	1,1	0,9
14	B	6	1	26,2	1,4	0,8	0,5
14	D	5	1	24,6	1,6	0,4	0,4
14	X	/	/	/	/	/	/
15	A	7	2	31,2	1,9	1,5	0,7
15	C	6	1	33,2	2,4	1,9	0,7
15	D	5	2	29	1	1,5	0,5

Pozn.: Data u vzorku 6A nebyla zaznamenána z důvodu poškození jedince náseldkem pokosení louky. Ostatní chybějící data (vzorky 9A, 10D a 14X) nebyla zaznamenána z důvodu přílišného poškození rostliny při odběru z půdy a převozu.

#### Příloha 6 Průměrné hodnoty AM infekce na lokalitu

lokalita	Kvalita	celková	arbuskulární	vezikulární	fine endophyte
	%	%	%	%	%
1	87,6	88,9	63,3	16,0	39,1
2	96,2	94,5	78,5	22,0	22,7
3	100,0	92,2	45,8	12,3	18,3
4	100,0	91,4	42,9	28,2	59,0
5	99,4	95,9	69,9	20,6	83,2
6	98,8	88,3	54,8	21,8	41,3
7	92,5	92,1	61,9	14,0	47,1
8	74,4	56,6	44,5	4,4	27,9
9	95,4	74,2	60,8	0,9	64,1
10	97,0	98,8	71,9	36,4	36,2
11	90,1	75,4	57,9	6,6	46,5
12	96,8	95,8	66,8	21,2	30,3
13	92,5	83,3	48,3	11,0	62,0
14	94,3	94,1	80,0	22,3	40,4
15	98,6	79,8	59,2	4,3	39,8

**Příloha 7 Fotografie lokalit**



Lokalita č.2 (v popředí snímku) – druhá nejvlhčí lokalita





Lokalita č.3 – nejsušší lokalita