

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

Katedra environmentálního inženýrství a ochrany prostředí

**Progresivní technologie biotransformace zemědělského  
odpadu a možnosti využití mykorhizy při intenzifikaci růstu  
fytosanací**

Diplomová práce

**Vedoucí práce:** doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.

**Autor:** Filip Slovák

**2011**



Fakulta životního  
prostředí

Zadání diplomové práce

Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra: Katedra environmentálního inženýrství a ochrany prostředí

Fakulta životního prostředí

Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: Filip Slovák

obor: RES

Název tématu: Progresivní technologie biotransformace zemědělského odpadu a možnosti využití mykorrhízy při intenzifikaci růstu rostlin při fytosanaci

Název tématu v anglickém jazyce: Progressive biotransformation technology of agricultural waste and utilization of intensification of mycorrhiza in plant growth in phytoremediation

### Zásady pro vypracování:

Diplomant v rámci diplomové práce zobecní význam mykorrhízy pro inicializaci růstu vybraných druhů rostlin a dále popíše ekologická rizika přemnožení vybraných plžů a posoudí možnost jejich využití při biotransformaci zemědělských odpadů v rámci ekologického zemědělství.

Práce bude rozdělena na:

1. Úvod
2. Metodika
3. Zhodnocení současného stavu
4. Výsledky
5. Statistické vyhodnocení
6. Diskuze
7. Závěry a doporučení





Rozsah grafických prací: cca 10

Rozsah průvodní zprávy: 40

Seznam odborné literatury:

Diplomant provede analýzu odborných článků z báze Scholar Gogole, Science Direct.

Vedoucí diplomové práce: Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.


Konzultant diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: 13.8.2010


Termín odevzdání rešerše: 31.12.2010

Termín odevzdání I. verze práce : 28.2. 2011

Termín odevzdání diplomové práce: 25.4. 2011

  
Vedoucí katedry  
Doc. RNDr. Ing. Ivan Landa, DrSc.



  
Děkan  
Prof. Ing. Petr Sklenička, CSc.

V Praze dne ..... 20.9.2010 .....

Prohlašuji, že jsem uvedenou práci zpracoval samostatně, pouze s využitím odborných zdrojů.

V ..... dne.....

Jméno: Filip Slovák

Podpis:

## ABSTRAKT

Práce je zaměřena na shrnutí současných poznatků, týkajících se mykorhizy, jakožto mutualistického vztahu mezi rostlinou a mykorhizními houbami. V literárním přehledu jsou podrobně charakterizovány jednotlivé typy mykorhiz, včetně druhů rostlin, u kterých byly pozorovány. Část literárního přehledu je také věnována fytoremediacím a rostlinným druhům, které s v biotechnologiích tohoto typu používají. Jedna z kapitol teoretické části je zaměřena na charakteristiku jednoho z nejrozšířenějších zemědělských škůdců, plzáka španělského, jako potenciálního biotransformačního druhu.

Praktická část, je rozdělena na dvě části. První část je věnována metodice chovu plzáka španělského, který měl být zkoumán z pohledu biotransformačních schopností. Druhá část výzkumu byla zaměřena na posouzení vlivu mykorhizního přípravku Symbivitu na vybrané druhy rostlin. U slunečnice roční byl navíc posuzován i vliv přípravku Ectovitu, který je primárně určen ke zlepšení růstu jehličnanů a některých druhů listnatých stromů.

Byl potvrzen pozitivní vliv mykorhizních přípravků na růst vybraných rostlin. Výsledky práce by mohly posloužit jako podklady pro další výzkum. Biotransformační schopnosti plzáka španělského ověřeny nebyly, ale byla navržena metodika chovu tohoto plže, která by mohla usnadnit další výzkumy, týkající se jeho biotransformačních schopností.

**Klíčová slova:** mykorhiza, fytoremediace, plzák španělský, mykorhizní houby, Symbivit

## **ABSTRACT**

This theses is aimed to summarize current knowledges about mycorrhiza as mutualistic relationship between plant and mycorrhizal funghi. The review is characterized in detail the different types of mycorrhiza, including species of plants, which have been observed. A part of review is also given to phytoremediation and plant species, which are used in these biotechnologies . One chapter of review is focused to the description of one of the most common pests, the Spanish slug, as a potencial biotransformation species.

The practical part is divided into two parts. The first part is devoted to the methodology of breeding Spanish slug, which should be studied from the perspective of biotransformation ability. The second part was aimed at assessing the impact of mycorrhizal product Symbivit on selected plant species. The sunflower was also assessed the influence of Ectovit, which is primarily intended to improve the growth of some species of conifers and deciduous trees.

The positive influence of mycorrhizal products on plants was confirmed. The results of the work could serve as a basis for further research. Biotransformation ability have not been verified by the Spanish slug, but the proposed method of snail breeding, which could facilitate further research on the biotransformation ability.

**Keywords:** mycorrhiza, phytoremediation, Spanish slug, mycorrhizal fungi, Symbivit

## OBSAH

Úvod .....	8
<b>I. LITERÁRNÍ PŘEHLED .....</b>	<b>9</b>
<b>1. Mykorhiza jako mutualistický vztah.....</b>	<b>9</b>
<b>2. Typy mykorhizy .....</b>	<b>11</b>
2.1 Ektomykorhiza .....	11
2.2 Endomykorhiza .....	13
2.2.1 Arbuskulární mykorhiza .....	13
2.2.1.1 Životní cyklus arbuskulárních mykorhizních hub .....	16
2.2.2 Orchideoidní mykorhiza .....	17
2.2.3 Erikoidní mykorhiza.....	19
2.2.4 Arbutoidní mykorhizní symbióza .....	21
2.2.5 Monotropoidní mykorhiza .....	21
<b>3. Organismy a xenobiotika.....</b>	<b>22</b>
3.1 Rostliny a xenobiotika.....	22
3.1.1 Rostliny a těžké kovy.....	22
3.1.2 Fytoremediace .....	26
3.1.2.1 Rostliny využívané při fytoremediacích .....	30
3.1.2.1.1 Slunečnice roční ( <i>Helianthus annuus</i> ) .....	30
3.1.2.1.2 Hrách setý rolní - peluška ( <i>Pisum sativum</i> ).....	32
3.1.2.1.3 Vojtěška setá ( <i>Medicago lupulina</i> ) .....	33
3.1.2.2 Charakteristika některých netradičních plodin využitelných pro fytoremediace .....	34
3.1.2.2.1 Světlice barvířská - saflor ( <i>Carthamus tinctorius</i> ) .....	34
3.1.2.2.2 Komonice jednoletá ( <i>Melilotus alba</i> ) .....	34
3.1.2.2.3 Pískavice řecké seno ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ) .....	35
3.1.2.2.4 Mokřadní rostliny .....	35
3.3 Živočichové a xenobiotika .....	36
3.3.1 Plzák španělský ( <i>Arion vulgaris</i> ) .....	36
3.3.1.1 Metody boje proti invazi.....	38
<b>4. Mykorhiza a geobiochemické cykly .....</b>	<b>41</b>
<b>5. Mykorhizní přípravky .....</b>	<b>44</b>
5.1 SYMBIVIT .....	44
5.2 ECTOVIT .....	44
<b>II. PRAKTICKÁ ČÁST.....</b>	<b>46</b>
<b>6. Chov plzáka španělského (<i>Arion lusitanicus</i>).....</b>	<b>46</b>
6.1 MATERIÁL .....	46
6.2 METODIKA CHOVU .....	46
<b>7. Účinky Symbivitu a Ectovitu na růst vybraných rostlin.....</b>	<b>48</b>
7.1 HYPOTÉZY:.....	48
7.2 MATERIÁL .....	48
7.3 METODIKA .....	48
<b>8. Výsledky .....</b>	<b>50</b>
<b>Diskuze .....</b>	<b>55</b>
<b>Závěr .....</b>	<b>56</b>
<b>Použitá literatura .....</b>	<b>57</b>
<b>Seznam tabulek grafů .....</b>	<b>63</b>
<b>Seznam příloh .....</b>	<b>63</b>
<b>Přílohy .....</b>	<b>i</b>

## Úvod

Antropogenní činnosti jako jsou těžba rud, uhlí, těžký průmysl, chemický průmysl, zahrnující farmaceutické a kosmetické společnosti a vůbec všechny možné typy výrob obrovským způsobem zatěžují životní prostředí. Postižena je jak pedosféra, tak hydrosféra a atmosféra. Pryč jsou ovšem ty doby, kdy měla průmyslová činnost „zelenou“ a s přibývajícím znečištěním životního prostředí se lidé začínají zabývat otázkou, jak se kontaminantů v prostředí šetrně zbavit a opět tak zúrodnit naši zemi. Jednou velice účinnou zbraní proti znečištění životního prostředí jsou rostliny. Ať už dřeviny nebo byliny, ukázalo se, že pro účely čištění životního prostředí jsou přímo předurčeny. Každý týden vychází v prestižních vědeckých časopisech další a další články o tom, jak se v některé části světa využilo rostlin k odstranění kontaminantů z prostředí. Rostliny samy o sobě by to ovšem zcela jistě nedokázaly, kdyby neexistovala mykorhiza.

Mykorhiza – tento mutualistický bilaterální vztah mezi rostlinou a houbovým organismem byl po dlouhá léta podceňován. Na důležitosti nabyl v době, kdy se vědci začali zabývat otázkou, jaký význam má tento vztah z evolučního hlediska. Dnešní názory na toto unikátní propojení dvou organismů, které u mnoha druhů rostlin přerostlo v jeden organismus, dokonce nabízí hypotézu o nezastupitelnosti mykorhizních hub při přesunu rostlin z vodního prostředí na souš, ke kterému došlo zhruba před 400 miliony let.

Ve své práci bych se rád zaměřil na význam mykorhizy jako mutualistického vztahu a jeho potenciálním využitím při intenzifikaci růstu rostlin, využívajících se pro fytofarmaceutické. Objasnění vztahů mezi rostlinami a houbovými organismy má za úkol zpřístupnit tuto problematiku i laické veřejnosti. Fytofarmaceutické jsou totiž v současnosti velice aktuálním tématem z hlediska šetrného odstraňování kontaminantů z prostředí.

**Cílem práce je ověření účinků Symbivitu jakožto mykorhizního přípravku a podrobně charakterizovat mykorhizu jako mutualistický vztah pomocí analýzy odborné literatury.**



# I. LITERÁRNÍ PŘEHLED

## 1. Mykorhiza jako mutualistický vztah

Mykorhiza je mutualistický vztah mezi kořeny rostlin a podhoubím hub. Termín mykorhiza, vznikl z řečtiny spojením slov *mykes* (houba) a *rhiza* (kořen). Tento přirozený způsob získávání živin je charakteristický pro více než 80 % rostlin, většina rostlin tedy tímto způsobem získává živiny a vodu z půdy. U některých druhů rostlin hovoříme až o mykorhizní symbióze. Jedná se o takové spojení kořenů rostlin s hyfami hub, které je pouhým okem téměř nerozlišitelné. Rostlina a houba tvoří doslova jeden organismus.

Mutualismem rozumíme vzájemnou prospěšnost dvou organismů. Mykorhizní houby dodávají rostlině živiny z půdy a zabezpečují také minerální výživu a vodní režim. Rostlina jim na oplátku poskytuje uhlíkaté sloučeniny, konkrétně cukry, které vyprodukuje fotosyntézou. Výzkum mykorhizy v posledních desetiletích jednoznačně ukázal, že skýtá ohromný potenciál pro zemědělskou, zahradnickou i lesnickou produkci. Kolonizace kořenů mykorhizními houbami může přirozeným způsobem zvýšit biomasu produkovaných rostlin, zvýšit kvalitu plodů, či četnost kvetení.

Je dokázáno, že mykorhiza u rodu *Musa sp.* zvyšuje produkci banánů až o 30%. Na přírodovědecké fakultě Univerzity Karlovy probíhá v současnosti projekt, který je zaměřen na využití mykorhizní technologie při pěstování zemědělských plodin, konkrétně rajčete a póru. Již první výsledky jsou velmi pozitivní. Hovoří se např. o zvýšení antioxidantů u póru na dvojnásobek běžného množství, zjistilo se také, že mykorhiza je velmi významným zásobníkem uhlíku v půdě, což je vzhledem ke globálním klimatickým změnám velmi užitečná vlastnost.<sup>1</sup>

Mykorhiza umí také zvýšit přirozenou ochranu rostlin, zlepšit příjem živin, zvýšit odolnost vůči suchu, těžkým kovům a také vůči patogenům. Existuje několik typů mykorhiz, existují ovšem znaky, které jsou pro všechny typy společné:

---

<sup>1</sup> Albrechtová J. Užitečná mykorhiza. [Online] [31.1.2011] Dostupné na: < [www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz) >

1. Rozšíření: Jak již bylo uvedeno výše, mykorhiza je charakteristická pro většinu suchozemských rostlin.
2. Fylogenetické stáří: Vznik mykorhizy je odhadován zhruba na 350-460 milionů let zpátky, což odpovídá přechodu rostlin z vodního prostředí na souš. Za nejstarší typ mykorhizy je považována arbuskulární mykorhiza<sup>2</sup>
3. Kolonizace hostitelské rostliny maximálně v rámci apoplastu primární kůry kořene. Ve středním válci se mykorhizní houby nikdy nevyskytují a také nikdy nepenetrují plazmalemu hostitelských buněk, přestože je nacházíme i jako vnitrobuněčné struktury, jsou vždy v apoplastickém prostoru.<sup>3</sup>
4. Mimokořenové mycelium v půdě zabezpečující transport látek do vnitrokořenových mykorhizních struktur.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> Simon et al. Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363, 1993 s. 67-69.

<sup>3</sup> Kyjovská. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí. 2007, s. 3

<sup>4</sup> Smith and Read. *Mycorrhizal Symbiosis*, 1997

## 2. Typy mykorhizy

V závislosti na druhu mykorhizní houby a hostitelské rostliny a na základě typických morfologických znaků lze rozlišovat několik odlišných typů mykorhizní symbiózy:

- a) ektotrofní
- b) arbuskulární
- c) orchideoidní
- d) erikoidní
- e) arbutoidní
- f) DSE
- g) monotropoidní

Rostliny několika málo čeledí mykorhizu nevytvářejí. Jedná se například o zástupce z čeledi brukvovitých, mečíkovitých, sítinovitých, šáchorovitých, okřehkovitých nebo hvozdíkovitých.<sup>5</sup>

Většina mechů, kapradin, plavuní, nahosemenných i krytosemenných obsahuje pletiva, která jsou více méně protkána myceliem houby a všechny dominantní rostliny hlavních vegetačních typů na světě – lesní stromy, trávy a keře jsou tvůrci mykorhizy

Pro nahosemenné rostliny je charakteristická spíše ektomykorhiza a ektoendomykorhiza, vzácněji arbuskulární, například u tisu červeného. Krytosemenné rostliny se účastní všech typů mykorhiz.<sup>6</sup>

### 2.1 Ektomykorhiza

Ektomykorhiza se vyskytuje pouze asi u 3 % druhů rostlin na Zemi a je typická pro zástupce čeledi *Pinaceae* a *Fagaceae*.<sup>7</sup>

---

<sup>5</sup> Harley and Halley. A checklist of mycorrhiza in the British Flora. *New Phytologist* 105: 1-102, 1987

<sup>6</sup> Kyjovská, Z. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, 2007, s. 4

<sup>7</sup> Smith et Read. *Mycorrhizal Symbiosis*, 1997

Ektomykorhiza je tzv. obalující forma mykorhizy a objevuje se nejčastěji na kořenech stromů, zejména konifer. Infikované kořeny jsou obvykle soustředěny ve vrstvě půdního humusu a mycelium prorůstá opadankou a vytváří nad zemí plodnice, které uvolňují obrovské množství anemochoricky roznášených výtrusů. Houba vytváří pletivový obal kořene a vyvolává morfogenetické změny. Kořeny jsou krátké a silné a přestávají růst apikálně (obr. 1). Charakteristické je také dichotomické větvení. Kořeny, které jsou umístěny hlouběji. V organicky méně bohatých vrstvách půdy nejsou houbou zasaženy a zachovávají normální apikální růst a prodlužují se.<sup>8</sup>



Obr. 1 Ektomykorhiza (www.mykorhizy.webpark.cz)

Intraradikální mycelium prorůstá pouze mezibuněčné prostory kořenových buněk. Rozsáhlá síť extraradikálního mycelia mnohonásobně zvětšuje objem substrátu, ze kterého mohou hostitelské rostliny aktivně čerpat živiny a vodu. Zároveň dochází k inhibici tvorby kořenového vlášení, takže mykorhizní kolonizace kořenů je dobře patrná již pod lupou tvorbou charakteristických útvarů - ektomykorhiz.<sup>9</sup>

Houby, které vytvářejí mykorhizní pláště, vyžadují jako zdroj uhlíku rozpustné glycidy a v tomto ohledu se liší od většiny nesymbiotických, volně žijících příbuzných, kteří rozkládají celulózu. Mycelium přijímá minerální látky z půdy a

<sup>8</sup> Begon, Harper, Townsend. Ekologie. Jedinci, populace a společenstva, 1997, s. 449

<sup>9</sup> Vohník, M. Mykorhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz >

zároveň jimi rostlinu zásobuje. Je dokázáno, že fosfor, dusík a vápník se mohou pohybovat hyfami do kořenů hostitele a posléze do nadzemních systémů. Je překvapivé, že mykorrhiza pracuje stejně účinně i bez hyf, jež vyčnívaly z obalu.<sup>10</sup>

Mykorrhizní houby dále chrání kořenový systém hostitelské rostliny před patogenními infekcemi a v neposlední řadě umožňují výměnu látek a informací mezi rostlinami, napojenými na síť půdního mycelia. Předpokládá se také, že mykorrhizní kolonizace rostlinu brání před inhibičním účinkem alelopatických látek přítomných v opadu, nebo vznikajících při jeho dekompozici.<sup>11</sup>

Podle posledních výzkumů je patrné, že ektomykorrhizní mycelium se neomezuje svým výskytem pouze na nejsvrchnější část půdního profilu - vrstvu opadu - ale bylo prokázáno i v minerálním horizontu půdy, který se nachází bezprostředně nad horninovým podložím. Z toho důvodu nás ani nemůže překvapit fakt, že mycelium ektomykorrhizních hub je přímo zapojeno do zvětrávání a transformace minerálů. Podíl hub na zvětrávání minerálů se odhaduje až na 0,5 % vzhledem k ostatním faktorům.<sup>12</sup>

## 2.2 Endomykorrhiza

Při endomykorrhize neboli endotrofní mykorrhize pronikají houbová vlákna dovnitř do kořenových buněk rostliny. Známe několik druhů endomykorrhizy. Jejich názvy jsou často odvozené od skupiny rostlin, v níž se daná mykorrhiza vyskytuje. Nejčastější houboví symbionti jsou z oddělení *Glomeromycota*.<sup>13</sup>

### 2.2.1 Arbuskulární mykorrhiza

Arbuskulární mykorrhiza je nejstarším typem mykorrhizy a je také nejrozšířenější. Vyskytuje se zhruba u 225 000 druhů, což je asi 95% druhů cévnatých rostlin.<sup>14</sup> Přítomnost arbuskulárních mykorrhizních hub v půdě či kořenech

---

<sup>10</sup> Begon, Harper, Townsend. Ekologie. Jedinci, populace a společenstva, 1997, s. 449

<sup>11</sup> Vohník, M. Mykorrhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz>

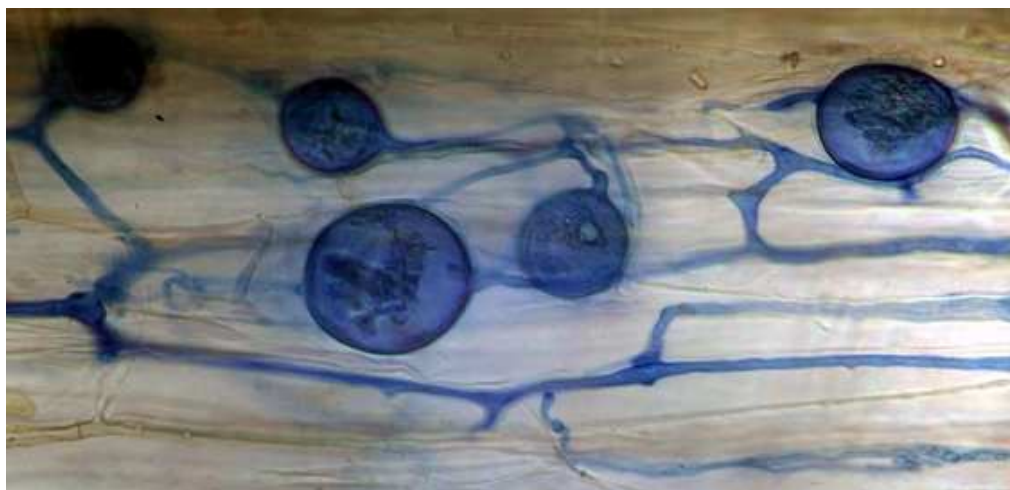
<sup>12</sup> Vohník, M. Mykorrhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz>

<sup>13</sup> Vohník, M. Mykorrhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz>

<sup>14</sup> Gryndler, M. Mykorrhizní symbiózy, 2004.

není na rozdíl od ektomykorhizy rozpoznatelná pouhým okem. K jejímu rozeznání je třeba využít mikroskopických metod.<sup>15</sup> Arbuskulární mykorhiza nevytváří obal, ale proniká do buněk hostitele a nemá morfogenetický vliv. Zdálo se, že houby, které v tomto vztahu nacházíme, patří jednomu rodu *Endogone*. Avšak podle dnešního pojetí arbuskulární mykorhizy nevytváří a u některých z nich byla prokázána pouze ektomykorhiza. Arbuskulární mykorhizní houby byly vyčleněny jako samostatný řád Glomales, který byl vyčleněn z oddělení *Zygomycota* a zařazen do samostatného oddělení *Glomeromycota*. Taxonomické členění arbuskulárních mykorhizních hub se zakládá zejména na morfologických a fytochemických vlastnostech spor a také na analýze DNA<sup>16</sup>

Zdá se, že spory hub jsou striktně nepohlavní a nejčastěji se nachází ve formě exospor, méně často pak jako endospory. Někdy jsou tvořeny v komplexněji organizovaných sporokarpech.<sup>17</sup>



Obr. 2 Arbuskulární mykorhiza – patrné modře obarvené arbuskuly (www.mykorhizy.webpark.cz)

Kořeny se infikují myceliem přítomným v půdě, anebo zárodečnými vlákny, která se vyvíjí z velkých spor. Zdá se, že největší výhodou arbuskulární mykorhizy pro hostitelskou rostlinu je to, že mycelium dokáže získat fosforečnan z větších vzdáleností, než kam dosáhne neinfikovaný kořen či kořenové vlášení.<sup>18</sup>

<sup>15</sup> Vohník, M. Mykorhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz>

<sup>16</sup> Gryndler, M. Mykorhizní symbiózy, 2004

<sup>17</sup> Kyjovská, Z. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, 2007

<sup>18</sup> Begon, Harper, Townsend. Ekologie. Jedinci, populace a společenstva, 1997

Pro tento typ mykorhizy je charakteristický mezibuněčný i vnitrobuněčný růst hyf a specifické bohatě větvené útvary – arbuskuly (obr. 2).<sup>19</sup> Dříve se pro tuto mykorhizu používal název vezikulo-arbuskulární, dle charakteristických útvarů vezikul. Později se ovšem zjistilo, že ne u všech druhů, u kterých se vyskytují arbuskuly, jsou přítomny též vezikuly, proto se v současnosti používá pouze označení arbuskulární.

Arbuskuly společně s kořenovým myceliem jsou útvary, které houba vytváří uvnitř primární kůry hostitele. Arbuskuly nebo také stromečky jsou krátkověké, vidličnatě větvené útvary vzniklé penetrací a rozvětvením houbových hyf do hostitelské buňky. Arbuskuly jsou místem intenzivní výměny živin mezi hostitelskou rostlinou a houbovým symbiontem.<sup>20</sup> I přes jejich intenzivní intracelulární růst nedochází nikdy k perforaci cytoplazmatické membrány rostlinné buňky. Cytoplazmatická membrána se naopak ještě více vchlipuje a vytváří tzv. periarbuskulární membránu. Prostředí z jedné strany ohraničené arbuskulami a ze strany druhé periarbuskulární membránou se označuje jako mezilehlý prostor nebo také interfaciální matrix a obsahuje velké množství látek rostlinného původu.<sup>21</sup>

Interfaciální prostor je charakteristický kyselostí, která je nižší než pH ve vakuolách.<sup>22</sup> Je to způsobeno aktivitou H<sup>+</sup>-ATPázy přítomné v periarbuskulární membráně, která čerpá do interfaciálního prostoru vodíkové kationty.<sup>23</sup> Energie ukládající se tímto způsobem do koncentračního spádu vodíkových kationtů by mohla být využita mykorhizní houbou. H<sup>+</sup>-ATPáza je také přítomna ve všech metabolicky aktivních částech houby, včetně mimokořenových hyf. Přítomnost transportního mechanismu v podobě ATPáz dokládá fakt, že přenos látek mezi houbou a rostlinou se děje na rozhraní intaktních struktur houby, nikoliv prostřednictvím jejího rozkladu rostlinnou buňkou.<sup>24</sup>

Vezikuly neboli měchýřky jsou dlouhověké kulovité až oválné útvary, které vznikají rozšířením hyf kořenového mycelia, od něhož nebývají nijak odděleny. Tím

---

<sup>19</sup> Gryndler, Mykorhizní symbiózy, 2004

<sup>20</sup> Vohník, M. Mykorhiza. [Online] [14.2.2011] Dostupné na: < www.ibot.cas.cz >

<sup>21</sup> Balestrini et al. Differential localization of carbohydrate epitopes in plant cell walls in the presence and absence of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Physiology* 111: 203-213, 1996

<sup>22</sup> Guttenberger. Arbuscules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi inhabit an acid compartment within plant roots. *Planta* 211: 299-304, 2000

<sup>23</sup> Kyjovská. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí. 2007

<sup>24</sup> Kyjovská. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí. 2007

se dají odlišit od spor, které se kolem kořenových pletiv mohou také vytvořit.<sup>25</sup>Vezikuly plní zásobní funkci<sup>26</sup>

Vnitrokořenové struktury arbuskulárních mykorhiz mohou vytvořit dva odlišné monotypy, Arum a Paris, podle hostitelských rostlin, u kterých byly poprvé popsány. Typ Arum je pravděpodobně běžnější a jednoznačně lépe prozkoumaný a vyskytuje se u rostlin s velkými mezibuněčnými prostory v primární kůře kořenů. Vnitrokořenové hyfy se jimi šíří převážně růstem ve vnitřních vrstvách primární kůry podél kořene. Pronikají rovněž do přilehlých buněk, kde se několikanásobně větví a vytvářejí velké, celý prostor buněk vyplňující arbuskuly. Pokud jsou přítomny vezikuly, jsou vnitrobuněčné i mezibuněčné. Typ Paris charakterizuje hyfy, které se uvnitř buněk stáčí do klubiček a mohou se větvit do malých arbuskul a které se šíří přímo z buňky do buňky<sup>27</sup>

Mycelium arbuskulárních mykorhizních hub je cenocytické, tvoří tedy nepřehrádkované mnohojaderné hyfy. Extraradiální mycelium prorůstá půdou s cílem vytvořit kontakt s kořeny hostitelské rostliny. Pokud ke kontaktu nedojde, nastane programovaná zástava růstu, která je doprovázená stahováním cytoplazmy stávajících hyf zpět do starších částí mycelia. Stahováním cytoplazmy vznikají na cenocytickém myceliu konvexní přepážky a některé druhy hub jsou schopny vytvářet i spoje mezi hyfami – anastomózy. Tímto způsobem vzniká síťovitá struktura, která usnadňuje transport látek cytoplazmou. Anastomózy jsou důležité pro udržení genetické homogenity. Anastomózy pravděpodobně zajišťují mísení jaderných subpopulací větví mycelia a je možné, že zde dochází i k výměně genetické informace mezi mycelii původem z rozdílných spor téhož druhu houby<sup>28 29</sup>

### 2.2.1.1 Životní cyklus arbuskulárních mykorhizních hub

Hyfy mycelia v půdě a vytváří při kontaktu s kořenem rostliny terček – apresorium, který pevně přiléhá k povrchu kořene. Terček je také místo, ze kterého

---

<sup>25</sup> Gryndler, Mykorhizní symbiózy, 2004

<sup>26</sup> Vohník, M. Mykorhiza. [Online] [14.2.2011]Dostupné na: < www.ibot.cas.cz>

<sup>27</sup> Smith F.A., Smith S.E. 1997. Structural diversity in (vesicular-)arbuscular mycorrhizal symbioses. *New Phytologist* 137: 373-88.

<sup>28</sup> Giovannetti. Survival strategies in arbuscular mycorrhizal symbionts. In: Seckbach J.,ed. *Symbiosis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 293-307 pp., 2001

<sup>29</sup> Kyjovská. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, 2007



vyrůstá jedna nebo více hyf, které přes rhizodermis pronikají do primární kůry kořene.<sup>30</sup> Místo v kořenové kůře, které je kolonizováno prostřednictvím jiného apesoria se nazývá kolonizační nebo infekční jednotka.<sup>31</sup>

Celý proces kolonizace kořenů je výsledkem soustavy geneticky řízených pochodů na straně rostliny i houby. Obranné reakce hostitele musí být při vzniku mykorhizy jemně potlačeny, aby jimi nebyla ohrožena mykorhizní houba, ale aby zůstala zachována ochrana kořene proti půdním mikroorganismům. Odolnost vůči patogenům se díky mykorhize může ještě zvýšit. V obranných reakcích proti houbám, využívají rostliny chitinázy, které jsou schopny lyticky rozložit hyfy hub. Arbuskulární mykorhizní houby tomuto rozkladu podléhají také. Lyzí chitinové buněčné stěny mykorhizní houby se uvolňují chitinové štěpy, které dále podporují rostlinnou obrannou reakci. Tímto způsobem mykorhizní houba zvyšuje obranyschopnost rostlinného organismu.<sup>32</sup>

Kolonizace kořene hostitelské rostliny je často usnadněna nedostatkem fosforu v půdě. Deficit fosforu vždy vyvolává specifickou fyziologickou reakci kořene. Pokud se arbuskulární mykorhizní houba vyhne obranné reakci rostliny, začne v primární kůře kořene vytvářet první arbuskuly a následně také vezikuly. V jedné buňce se mohou nacházet arbuskuly funkční i senescenční. Díky větvené struktuře arbuskul se zvětšuje sorpční povrch, což ještě více zefektivňuje látkovou výměnu. Arbuskuly v senescenci snižují svoji aktivitu a nakonec jsou rozpuštěny rostlinnými enzymy. Zbytek houbového materiálu je uzavřen ve vakuole.<sup>33</sup>

### 2.2.2 Orchideoidní mykorhiza

Jak již napovídá sám název, orchideoidní mykorhiza se vyskytuje pouze u zástupců čeledi *Orchidaceae*. Tato čeleď zahrnuje více než 25 000 druhů a je tedy nejpočetnější čeledí na Zemi. Je také považována za vývojově nejmladší a první popisy orchideoidních mykorrhiz pocházejí již z 19. století. Orchideoidní mykorhiza je vysoce specifická endomykorhizní asociace, charakteristická extenzivním

---

<sup>30</sup> Gryndler. Mykorhizní symbioza, 2004. s. 43

<sup>31</sup> Kyjovská. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, 2007

<sup>32</sup> Dumas-Gadot et al. Modulation of host defense systems. In: Douds D., Kapulnik Y., eds. *Arbuscular mycorrhizas: molecular biology and physiology*. Dordrecht: Kluweij, 2000

<sup>33</sup> Gryndler. Mykorhizní symbioza, 2004

intracelulárním růstem mycelia. Jedná se o mykorrhizu, která má zcela nepostradatelnou funkci pro životní cyklus hostitelských rostlin. Orchideje jsou na tomto vztahu plně závislé a nedokázaly by bez něj přežít.<sup>34</sup> Většina druhů orchidejí je sice v dospělosti autotrofní, ale v raných vývojových stádiích nejsou fotosynteticky aktivní a tudíž jsou z hlediska získávání uhlíku zcela závislé na houbovém symbiontovi.<sup>35</sup>

Zvláště důležitý je výzkum orchideoidní mykorrhizy u ohrožených druhů, u kterých je mykorrhiza rozhodujícím faktorem pro přežití. Různé vývojové fáze orchidejí mohou požadovat různé druhy hub.<sup>36</sup>

Pro orchideje je charakteristické anemochorické šíření semen, které jsou velmi malé, málo diferencované a disponují velmi omezeným množstvím zásobních látek. Množství zásobních látek stačí pouze na iniciaci klíčení vedoucí ke vzniku tzv. protokormu.<sup>37</sup>

Většina půdních hub schopných tvořit mykorrhizu s orchidejemi jsou všeobecně rozšířené saprotrofní organismy, ale kromě nich najdeme mezi orchideoidními mykorrhizními houbami i houby schopné tvořit ektomykorrhizy.<sup>38</sup> Orchideoidní mykorrhizy nezelených druhů se vyskytují vždy v těsné blízkosti ektomykorrhiz a oba typy mykorrhiz mohou být tvořeny stejnou houbou, která transportuje energií bohaté organické látky z autotrofní ektomykorrhizní rostliny do orchideje.<sup>39</sup>

Orchideoidní mykorrhiza je charakteristická přítomností pelotonů, čili klubíček uvnitř buněk primární kůry kořene hostitele. Pelotony se nikdy nevyskytují u volně nebo paraziticky žijících hub, které jinak vytváří orchideoidní mykorrhizu. Pokožkou kořene houba pouze proniká.<sup>40</sup>

---

<sup>34</sup> Gryndler. Mykorrhizní symbioza, 2004

<sup>35</sup> Smith et Read. Mycorrhizal Symbiosis. In: Academic Press, London, 1997

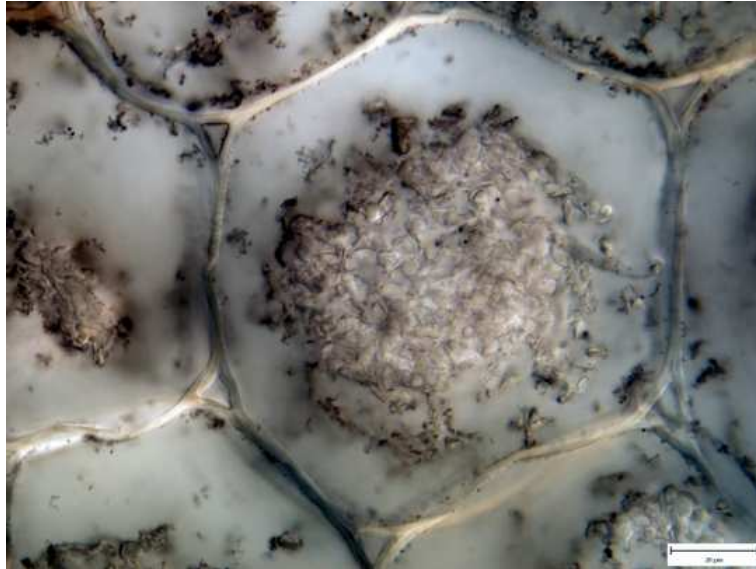
<sup>36</sup> Rasmussen *Terrestrial orchids from seed to mycotrophic plant*. Cambridge: Cambridge University Press, 1995

<sup>37</sup> Rasmussen *Terrestrial orchids from seed to mycotrophic plant*. Cambridge: Cambridge University Press., 1995

<sup>38</sup> McKendrick et al. The Effects of Herbivory and Vegetation on Laboratory-Raised *Dactylorhiza Praetermissa* (Orchidaceae) Planted Into Grassland in Southern England. *Biological Conservation*, 2002

<sup>39</sup> Leake. The biology of myco-heterotrophic (‘saprophytic’) plants. Tansley review No. 69. *New Phytologist* 127.p.171-216, 1994

<sup>40</sup> Gryndler., M. Mykorrhizní symbioza. s. 80, 2004



Obr. 4 Orchideoidní mykorhiza – patrné pelotony (www.myorhizy.webpark.cz)

Většina hub vytvářejících symbiózu s orchidejemi se řadí do rodu *Rhizoctonia*. čistou kulturu jako první izoloval Bernard (1904) a ten také popsal tři druhy tohoto rodu *R. mucoroides*, *R. repens*, *R. lanuginosa*. V průběhu dalších let byly izolovány ještě další druhy rhizoktonií, *R. solani* nebo *R. goodyerae-repentis*.<sup>41</sup>

Anamorfní rod *Rhizoctonia* v jeho širším pojetí, který zde souhrnně nazýváme rhizoktonie nebo rhizoktoniové izobáty, i dnes můžeme označit za skupinu, do níž patří nejvíce druhů hub vytvářejících orchideoidní mykorhizu. Na základě morfologických znaků vegetativního mycelia byl později tento rod rozdělen do několika opět anamorfních rodů, například *Epulorhiza*, *Ceratorhiza* nebo *Moniliopsis*.<sup>42</sup>

### 2.2.3 Erikoidní mykorhiza

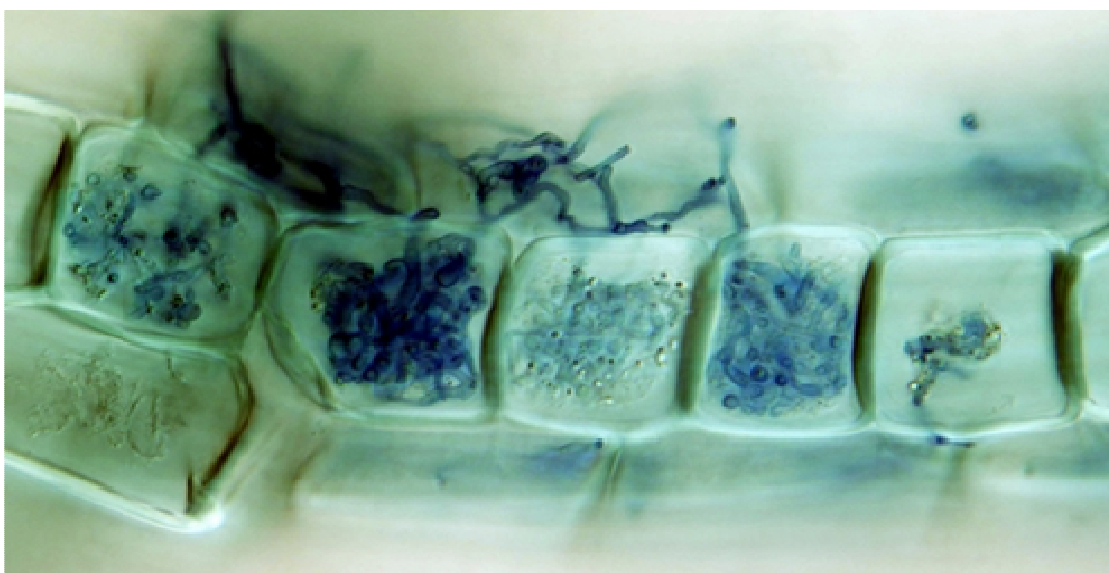
Erikoidní mykorhiza je zvláštním typem endomykorhizy, vyskytující se u zástupců čeledí *Ericaceae* a *Epacridaceae*. Zástupci čeledi *Ericaceae* jsou dominantními rostlinami na rozsáhlých územích severní polokoule, zatímco zástupci čeledi *Epacridaceae* jsou významnou komponentou flóry jižní polokoule.<sup>43</sup>

<sup>41</sup> Kyjovská, Z. Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, 2007

<sup>42</sup> Gryndler, M. Mykorhizní symbioza. s. 80, 2004

<sup>43</sup> Gryndler, M. Mykorhizní symbioza. s. 102, 2004

Charakteristickou anatomickou strukturou erikoidní mykorhizy jsou jemné kořínky erikoidních rostlin, tzv. vlasové kořeny (hair roots). Tyto anatomicky velmi jednoduché efemérní orgány se vyskytují u všech erikoidně mykorhizních rostlin. Mají typicky pouze ve středním válci typickou jednu nebo dvě tracheidy, jednu sítkovici a jednu doprovodnou buňku. Kortex kořene je dvouvrstvý, tvořený ke střednímu válci endodermis a jednou vrstvou hypodermis. Rhizodermis je pouze jednovrstevná, tvořená několika řadami ztlustlých buněk, které nevytvářejí kořenové vlásky. Tyto epidermální buňky jsou kolonizovány mykorhizní houbou, přičemž každá z epidermálních buněk je samostatnou infekční jednotkou, iniciovanou penetrací hyfy mimokořenového mycelia.<sup>44</sup> Erikoidně mykorhizní houby kolonizují rhizodermální buňky těchto kořenů a tvoří v nich typické útvary - klubka (coils) a smyčky (loops) (obr. 3). Klubka a smyčky jsou místem látkového metabolismu.



Obr. 3 Erikoidní mykorhiza – patrná klubíčka (www.mykorhizy.webpark.cz)

Erikoidně mykorhizní houby mají značné saprotrofní schopnosti, a dlouhou dobu mohou přežívat bez rostlinného symbionta. Produkují speciální enzymy, např. protézy a chitinázy, které jim umožňují čerpat látky z komplexních organických zdrojů pro rostliny nepřístupných.<sup>45</sup>

<sup>44</sup>Vohník, M. Mykorhiza [online] [14. 2. 2011] Dostupné na:<<http://www.ibot.cas.cz/mykosym/mykorhiza.html>>

<sup>45</sup>Vohník, M. Mykorhiza [online] [14. 2. 2011] Dostupné na:<<http://www.ibot.cas.cz/mykosym/mykorhiza.html>>

Erikoidní rostliny dominují na rašeliništích, slatinách, vřesovištích. Mezi faktory, které negativně ovlivňují dynamiku rostlinného společenstva v těchto habitatech, patří nízká dostupnost živin, vysoký poměr uhlík:dusík v opadu a s tím související pomalý koloběh živin v půdě nebo nízké pH způsobující vysokou hladinu volných iontů těžkých kovů. Právě erikoidní mykorhiza umožňuje erikoidním rostlinám vyrovnat se s těmito nepříznivými podmínkami a úspěšně obstát v kompetici s ostatními rostlinami.<sup>46</sup>

#### 2.2.4 Arbutoidní mykorhizní symbióza

Arbutoidní mykorhiza je endomykorhizní symbióza. Tvar kořene je podobný ektomykorhiza. Arbutoidní mykorhiza se vyskytuje u některých zástupců řádu Ericales a lze ji charakterizovat jako ektendomykorizu erikoidních rostlin. Houba vytváří Hartigovu síť a vyplňuje buňky rhizodermis a povrchových buněk kořenové kůry. Hyfy mohou do buněk proniknout a dále se již nerozvíjet. Protože jsou arbutoidní mykorhizy způsobeny houbami, které s jinými hostiteli tvoří ektomykorhizy, mohou v ekosystému tvořit zásobu živých mykorhizních hub, například po vykácení ektomykorhizních dřevin.<sup>47</sup>

#### 2.2.5 Monotropoidní mykorhiza

Skupina rostlin z čeledi *Ericaceae* a podčeledi *Monotropoideae* je tvořena nefotosyntetizujícími druhy, které získávají výživu prakticky výhradně od symbiotických hub. Mykorhizní houby v monotropoidních mykorhizách tvoří hyfový plášť a Hartigovu síť. Do vnitřního prostoru buněk zasahují krátkými výrůstky hyf, které se uvnitř rostlinných buněk dále nerozrůstají. Tyto hyfové výrůstky jsou někdy označovány jako kolíčkovitá haustoria a jsou nejcharakterističtější strukturou monotropoidních symbióz.<sup>48</sup>

---

<sup>46</sup> Vohník, M. Mykorhiza [online] [14. 2. 2011] Dostupné na: <<http://www.ibot.cas.cz/mykosym/mykorhiza.html>>

<sup>47</sup> Gryndler, M. Mykorhizní symbióza. s. 114, 2004

<sup>48</sup> Gryndler, M. Mykorhizní symbióza. s. 116, 2004

## 3. Organismy a xenobiotika

### 3.1 Rostliny a xenobiotika

Rozvoj vědy a techniky dal vznik látkám, které svým původem přirozeně nepatří do životního prostředí a byly uměle vytvořeny člověkem. Tyto látky nazýváme xenobiotiky.

Řada těchto sloučenin (polychlorované bifenyly, polyjaderné aromáty, chlorované alifatické uhlovodíky) ještě před nedávnem patřila díky svým výhodným fyzikálním a chemickým vlastnostem mezi látky průmyslově významné. Mnohem později bylo zjištěno, že se jedná o perzistentní a toxické látky, které se hromadí v životním prostředí, mohou pronikat do potravního řetězce, a tak ohrožovat i lidské zdraví. Vzhledem k velkému rozšíření v prostředí je v dnešní době celosvětově věnována pozornost možnosti odstraňování těchto látek z životního a dekontaminaci zasažených ploch.<sup>49</sup>

#### 3.1.1 Rostliny a těžké kovy

Těžké kovy jsou prvky v periodické soustavě, jejichž hustota přesahuje 5 g.cm<sup>-3</sup>. Radíme zde tedy na 40 prvků, z nichž nejdiskutovanějšími z hlediska fytořemediací jsou Zn, Cr, Co, Mn, Ni, Cu, Cd, Hg, Ag, Au, Fe, Pb a As. Těžké kovy jsou nejvýznamnější anorganické kontaminanty půdy.<sup>50</sup>

Některé kovy jsou z fyziologického hlediska pro rostliny nezbytné. Takové kovy nazýváme esenciální a jsou součástí komplexů metaloenzymů, například superoxiddismutáza nebo kataláza. Železo a mangan řadíme u rostlin mezi mikroprvky. Zinek, chrom, kobalt, měď a nikl mezi stopové prvky. U ostatních jmenovaných prvků nejsou jejich funkce v rostlině příliš známé. Dokonce se přepokládá, že příjem těchto prvků vznikl jako fyziologická adaptace na prostředí, ve kterém rostliny žijí.

---

<sup>49</sup> Kučerová, Macková, Macek. Perspektivy fytořemediace při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního. 8 s., 1999

<sup>50</sup> Badalíková, Bartlová, Hrubý. Fytořemediační postupy s využitím netradičních plodin, 2009

Těžké kovy se ve volné přírodě nacházejí buď ve formě volných radikálů, nebo jsou součástí půdních komplexů.<sup>51</sup> Obsah těžkých kovů v půdě je hodnocen podle vyhlášky č. 13/1994.<sup>52</sup>

Fytotoxicita u některých kovů spočívá v jejich chemické podobnosti s esenciálními, tedy nezbytnými prvky (např. Cd – Zn, As – P, Se - S). Snadno dochází k záměně esenciálních kovů za toxické v proteinech nebo enzimech a je tak znemožněna jejich správná funkce. Dále může být toxicita způsobena vazbou kovu v proteinech na – SH skupinu, S – můstky nebo skupinu NH<sub>3</sub>, což vede k porušení jejich struktury a tím k inhibici aktivity.<sup>53</sup>

Nadbytek těžkých kovů může způsobit vznik ROS - volných kyslíkových radikálů (singletový kyslík - O<sub>2</sub>·, anion superoxidu - O<sub>2</sub><sup>-</sup>, peroxid vodíku - H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, hydroxylové radikály OH·). ROS způsobují změny v proteinových komplexech a peroxidaci lipidů v membránách vedoucí k porušení membránového systému buňky. Reakce volných kyslíkových radikálů s DNA vede ke vzniku mutací, často je v souvislosti s těmito radikály používáno označení oxidativní stres. Naproti kyslíkovým radikálům stojí antioxidanty, které se v rostlině nacházejí v podobě enzymů. Nejvýznamnějším antioxidantem je superoxiddismutáza (SOD), která má schopnost přeměnit superoxid, vzniklý činností ROS na peroxid vodíku, který je následně zpracováván dalšími antioxidanty, jako jsou glutathion (GSH), askorbát (ASC) a katalázami.<sup>54</sup>

Některé rostlinné druhy jsou adaptovány na půdy s vysokým obsahem těžkých kovů, tzv. metalofyta. Různé mechanismy detoxifikace umožňují odolnost rostlin vůči stresu vyvolanému působením těžkých kovů.<sup>55</sup>

Ekosystémy mohou být díky různým antropogenním, ale i přirozeným geobioaktivitám kontaminovány těžkými kovy. Zdroje těžkých kovů jsou velmi různorodé. Zahrnují spalování fosilních paliv, těžbu a zpracování železných rud, obecní odpad, hnojiva, pesticidy, kaly odpadních vod, barviva a baterie.

Migrace těchto kontaminantů do nekontaminovaných půd se děje například ve formě prachu nebo výluhů a má za následek znečištění celých ekosystémů.

---

<sup>51</sup> Krpeš, Kincl. Fyziologie rostlin, 2007

<sup>52</sup> Badalíková, Bartlová, Hrubý. Fytoremediační posupy s využitím netradičních plodin, 2009

<sup>53</sup> Otradovcová, M.. Fytoremediace s. 7, 2010

<sup>54</sup> Otradovcová, M.. Fytoremediace s. 7, 2010

<sup>55</sup> Hall, Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. Journal of Experimental Botany. [Review]. 2002 Jan;53(366):1-11, 2002

Je velmi dobře známo, že těžké kovy nejsou chemicky odbouratelné a k jejich degradaci a imobilizaci je zapotřebí fyzikálních metod. Klasická remediace těžkých kovů, je založena na „on-site“ managementu nebo exkavaci. Tyto metody ovšem pouze odsouvají problém na druhou kolej. Vymývání půd pro odstranění kontaminant je alternativa k exkavaci a hodí se pro skládky. Většina nemediálních metod je navíc velmi nákladná. Dalším problémem jsou rezidua toxikantů bohatá právě na těžké kovy.

Fytoremediace ovšem k odstranění kontaminant z prostředí využívají rostlin a ukázalo se, že pro odstranění těžkých kovů jsou velmi účinné. Základem je vytvoření stabilního rostlinného, konkrétně bylinného pokryvu, který by byl aktivní ve fytoremediačních procesech, disponoval bohatou kořenovou sítí a produkoval velký objem biomasy, čímž by se zabránilo větrné erozi. Vyprodukovaná biomasa se dá také dále využívat jako zdroj energie. Tomu by měla být nápomocna právě mykorhizní symbióza. Rostliny, které se spontánně objeví na stanovištích bohatých na těžké kovy a postrádají mykorhizní symbiózu, mají špatně rozvinuté kořeny a produkce biomasy je velmi omezená. Nedostatek mykorhizních symbióz může také brzdit revegetaci půd poškozených těžbou nebo těžkými kovy.<sup>56</sup>

Pokud by se tedy spojily rostliny, které disponují přirozenou schopností osídlovat například těžbou poškozené lokality s mykorhizními houbami, mohlo by bez problémů dojít jak k intenzifikaci růstu rostlin, tak k objemově větší dekontaminaci půd. Dekontaminace by přitom byla zprostředkována jak kořeny rostlin, tak hyfami hub. Některé studie již nyní uvádějí, že množství vychytaných těžkých kovů je díky symbióze vyšší.

Druhy mykorhizních hub se navíc dají izolovat z míst, kde je přirozeně vyšší množství těžkých kovů v půdě nebo z lokalit, kde se dříve těžilo a přenést na lokality jiné.

Největší objem těžkých kovů se ukládá v kořenech rostlin, sporách hub a také přímo v hyfách hub. Například tkáň *Glomus mosseae* dokáže pojmout přes 1200 mg .kg<sup>-1</sup> Zn a *Glomus versiforme* přes 600 mg .kg<sup>-1</sup>.

Gildon a Tinker (1981), izolovali vlákna hub, které tolerovaly 100 mg .kg<sup>-1</sup> Zn. Značná část arbuskulárních mykorhizních hub byla rovněž objevena na půdách extrémně zamořených Cd. Koncentrace Cd zde přesahovala 300 mg .kg<sup>-1</sup> Sambandan

---

<sup>56</sup> Abdul, R. Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. Environ Sci Pollut Res, 2009, 16: 162-175



(1992) také publikoval objev 15 druhů hub, které byly nalezeny na kontaminovaných půdách v Indii. Nejčastějším druhem byl *Glomus geosporum*. Procentuálně se kolonizace pohybovala mezi 22 až 71 % a počet spor byl v počtu kolem 600 na 100 g půdy.<sup>57</sup>

Turnau (2001) zase analyzoval osídlení *Fragaria vesca*, rostoucí na zinkem kontaminované půdě, kde bylo zhruba 70% jedinců kolonizováno druhem *Glomus mosseae*. Dalším unikátem je *Agrostis capillaris* rostoucí v okolí zinkových rafinérií v Nizozemí.<sup>58</sup>

Mykorhizní houby mohou být asociovány také s již výše uvedenými metalofytními rostlinami rostoucími na těžce narušených půdách, kde mohou růst jen vysoce specializované rostliny jako například *Viola calaminaria*. Tato žlutofialová květina je popisována jako absolutně metalofytní rostlina, která obvykle roste na zinkem a olovem bohatých, či zamořených půdách, ale neakumuluje nebo akumuluje pouze velmi malé množství těžkých kovů. *Glomus* sp. izolované z kořenů této fialkové rostliny ovšem zlepšovaly růst kukuřice na znečištěných půdách.<sup>59</sup>

Tonin *et al.* (2001) zkoumal spory hub z rhizosféry *Viola calaminaria* a analyzoval je pomocí PCR a následně pomocí analýzy polymorfismů délky restričních fragmentů vymezil 4 odlišné druhy rodu *Glomus*. Další významná kolonizace mykorhizními houbami byla objevena v Polsku, a sice u rostlin rostoucích na kalamínových půdách, které jsou bohaté na Zn, Cd a Pb. Bylo uvedeno, že mykorhizní kolonizace byla ve srovnání s *Biscutella laevigata* vyšší u *Plantago lanceolata*.<sup>60</sup>

Arbuskulární mykorhizní houby asociované s metalofyty mohou zvyšovat účinnost fytořemediací, přestože metalofyty k vychytávání těžkých kovů mykorhizu

---

<sup>57</sup> Turnau, K. Role of Arbuscular Mycorrhiza and Associated Microorganisms in phytoremediation of Heavy Metal- Polluted Sites. Trace elements in the Environment. Biochemistry, Biotechnology and Bioremediation.

<sup>58</sup> Turnau, K. Role of Arbuscular Mycorrhiza and Associated Microorganisms in phytoremediation of Heavy Metal- Polluted Sites. Trace elements in the Environment. Biochemistry, Biotechnology and Bioremediation.

<sup>59</sup> NATO Advanced Research Workshop, Kulakow Peter A. Application of phytotechnologies for cleanup of industrial, agricultural and wastewater contamination. Springer In cooperation with NATO Public Diplomacy Division c2010

<sup>60</sup> S. Gianinazzi (2002): Mycorrhizal Technology in Agriculture. From genes to bioproducts. Birkhauser. 296 s.

nepotřebují, protože jsou adaptovány na vysoké koncentrace kovů v půdách. Jedná se například o rostliny: *Viola calaminaria* a *Berkhleya coddii*.<sup>61</sup>

Akumulace těžkých kovů do houbových struktur může způsobit biologickou bariéru. Snížená translokace Cd z kořenů do výhonků byla pozorována například u jetele *Trifolium* sp.

### 3.1.2 Fytoremediace

Existuje mnoho metod, které se uplatňují v procesu odstraňování škodlivých látek z prostředí, ale mnohdy jsou to metody nešetrné a nákladné. Jak se ukázalo, je výhodné využívat k sanačním metodám rostlin, které mají schopnost na sebe některé škodliviny vázat.

Toho se také využívá při fytosanačních metodách. Fytosanace (phytoremediation) zahrnují metody spočívající v extrakci xenobiotik (PCB, DDT, dioxiny, pesticidy, herbicidy), těžkých kovů, radioaktivních sloučenin atd. z půdy nebo vody za pomoci rostlin. Principem je navázání škodlivin rostlinnými organismy, které jsou schopny tyto látky v sobě kumulovat a přeměňovat na jednodušší sloučeniny. Příkladem využití tohoto principu jsou kořenové čistírny. Díky průniku kořenového systému do větších hloubek dochází i k transformaci některých organických látek např. slupiny NEL i Cl-U, včetně pesticidů na neškodlivé produkty.

Postup by měl vést až k mineralizaci organických sloučenin s hlavním cílem, zabránit migraci toxických látek zejména do míst, kde by mohlo dojít k ohrožení života.<sup>62</sup> Nejdůležitějším úkolem fytoremediací ovšem není pouze odstranění toxické sloučeniny, ale také informace o produktech, které následně vznikají. Na kontaminovaná území je třeba nahlížet jako na *in vitro* systémy a brát v potaz všechny souvislosti a děje, které na dané ploše probíhají, včetně potenciálních negativních vlivů na mikroorganismy, živočichy i člověka.<sup>63</sup>

---

<sup>61</sup> Gaur and Adholeys. Prospects of arbuskular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. 7s. Current Science, Vol. 86, No. 4, 2004

<sup>62</sup> Macková, Macek. Využití rostlin k eliminaci xenobiotik z životního prostředí, s. 5, 2005

<sup>63</sup> Ryšlavá, Krejčík, Macek. Study of PCB biodegradation in real contaminated soil. Fresenius Environ Bull 2003, 12: 296-301, 2003

Fytosanační účinek je obecně znám u rychle rostoucích dřevin *Populus* sp., *Salix* sp., které účinně extrahují polychlorované uhlovodíky, ale například také u bylin - slunečnice, laskavce a vojtěšky (NEL).

Mezi fytoremediační postupy patří fytotransformace, rhizosferní biodegradace, fytostabilizace, fytoextrakce a fytovolatilizace.

Fytotransformace je proces, kdy prostřednictvím enzymů v rostlině i mikroorganismech dochází k přeměně xenobiotika, kterému byl daný organismus vystaven. Produktem této přeměny tedy může být látka, která je lépe rozpustná a obvykle i méně toxická.

Rhizosferní biodegradace zahrnuje účast rostlin na mikrobiální transformaci v rhizosféře.<sup>64</sup>

Fytostabilizace je metoda využívání specifických rostlinných druhů k imobilizaci polutantů. Účinně brání migraci škodlivin do hlubších vrstev půdy či spodních vod a tím zabraňuje vniknutí škodlivin do potravního řetězce. Vhodnými rostlinnými druhy pro tento typ fytoremediace jsou tzv. rostlinné hyperakumulátory.

Fytovolatilizace je přesun kontaminantů z půdy a vody do atmosféry, přičemž stupeň akumulace polutantů ze vzduchu závisí na typu polutantu, rostlinném druhu atd. Pro záchyt těchto polutantů se využívá listové plochy rostlin. Důležitou roli zde kromě rozdělovacího koeficientu vodné a plynné fáze, hraje i obsah lipidů v pokožce listů.

Mezi nejrozšířenější polutanty patří polycyklické aromatické uhlovodíky – PAH's (polycyclic aromatic hydrocarbons), které jsou díky své perzistenci v životním prostředí a mutagenními až karcinogenními účinky. Vznikají především díky činnosti ropného průmyslu a spalováním fosilních paliv. Produkce PAH's je obrovská.<sup>65</sup>

Remediační snahy o navrácení rovnováhy v narušených ekosystémech do původních hodnot tak získávají na důležitosti, pokud jsou zvoleny tak, aby byly šetrné vůči životnímu prostředí. Jedním z experimentů, který byl prováděn pro zjištění vlivů mykorrhizních hub na účinnost fytosanací bylo studium vztahu rostlina-houba-PAH's.<sup>66</sup>

---

<sup>64</sup> Susadla, Medina, McCutcheon. Phytoremediation. An ecological solution to organic chemical contamination. Ecological engineering, 2002, 18, s. 647-658, 2002

<sup>65</sup> Wilson & Jones, Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons. Environmental Pollution 81:229-249

<sup>66</sup> Veselá, M. Mykorrhizní symbióza rostlin na stanovištích kontaminovaných PAH's . 34 s., 2009

Půdy kontaminované PAH mají hydrofobní charakter a nízký redoxní potenciál, růst rostlin může být tedy limitován jak příjmem vody, tak nemožností přijímat minerální látky, které jsou rozpuštěny právě v půdní vodě.<sup>67 68</sup>

Škodliviny mají tendenci se hromadit ve svrchních vrstvách půdy a vytváří tzv. hydrofobní krustu, která snižuje dostupnost vody a brání výměně vody a plynu mezi půdou a prostředím.<sup>69</sup> Sorpcí PAH's na půdní částice vzrůstá objem půdy a snižuje se transport živin půdou a dostupnost kontaminantu pro degradaci organismy.<sup>70</sup> Vlastnosti PAH's korelují s jejich molekulovou hmotností. Nerozpustnost ve vodě, hydrofobní a sorpční vlastnosti vzrůstají se zvyšujícím se počtem aromatických kruhu, kdy PAH se třemi a více kruhy jsou již pevně sorbovány na půdu.<sup>71</sup>

Mimo schopnosti vytvářet hydrofobní krustu a bránit výměně látek mezi rostlinou a prostředím mají PAH's ještě jednu negativní vlastnost. Čím déle totiž v půdě zůstávají, tím více se stávají odolnějšími vůči desorpci a biodegradaci.

To je patrné na půdách dlouhodobě znečišťovaných, kdy se chemické sloučeniny dostávají do kontaktu s půdními částicemi na delší dobu, pevněji se na ně vážou a interagují s nimi. Kontaminace PAH ovlivňuje také organismy žijící v půdě a to jak přímo kontaktem se zamořenou půdou, tak nepřímo kontaminací spodních vod, což má za následek vznik genotoxických či strukturálních změn organismu.<sup>72</sup>

Disturbované plochy jsou na jedné straně typické nízkou diverzitou nebo vysokou specializací díky extinkci populací, které postrádají dostatečnou toleranci k nastalým změnám, a na straně druhé, selektivnímu obohacení o organismy, které dokáží tyto podmínky tolerovat nebo jim dokonce prospívají.<sup>73</sup>

Z výše uvedených důvodů vyplývá důležitost bioremediačních procesů. Možností bioremediace je hned několik: *in situ* (kontaminované půdy jsou ošetřeny

---

<sup>67</sup> Joner & Leyval, Influence of arbuscular mycorrhiza on clover and ryegrass grown together in a soil spiked with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Mycorrhiza* 10: 155–159, 2001

<sup>68</sup> Robertson. Petroleum hydrocarbon contamination in boreal forest soils: a mycorrhizal ecosystems perspective. *Biological Reviews* 82: 213–240, 2007

<sup>69</sup> Robertson. Petroleum hydrocarbon contamination in boreal forest soils: a mycorrhizal ecosystems perspective. *Biological Reviews* 82: 213–240, 2007

<sup>70</sup> Blakely Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology* 21: 71–8, 2002

<sup>71</sup> Robertson. Petroleum hydrocarbon contamination in boreal forest soils: a mycorrhizal ecosystems perspective. *Biological Reviews* 82: 213–240, 2007

<sup>72</sup> Harrison. Pollution: Causes, Effects and Control, Fourth Edition. The Royal Society of Chemistry, UK

<sup>73</sup> Díaz . Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolite versatility. *International Microbiology* 7: 173–180, 2004

na místě, přidáním živin a někdy specificky adaptovaných organismu), *on site* (přemístění kontaminované půdy na jiná úložiště, kde degradace probíhá), bioreaktory (přesun půdy do specifických reaktorů pro kultivaci).<sup>74</sup>

PAH's mohou být prostřednictvím fytoimediačních procesů degradovány několika způsoby. Jednak mohou být degradovány mikroorganismy v rhizosféře, ale mohou také interagovat s vegetací akumulací v rostlinných pletivech nebo adsorpcí na povrch kořenu.

Osázení kontaminovaných půd rostlinami může být vhodné například k redukci větrné eroze nebo ke zvýšení degradace organických polutantů díky rozvinutí kořenového systému, který zlepšuje půdní provzdušnění a odvodňování.<sup>75</sup>

Přítomnost PAH's v substrátu ovlivňuje vývoj mykorhizy a její morfologické změny. Zamoření půd polycyklickými aromatickými uhlovodíky negativně působí především na kolonizaci kořenu AM houbou, což bylo sledováno například u čekanky při kolonizaci houbou *Glomus intraradices* při kontaminaci antracem, a to i při velmi nízkých koncentracích. I přes negativní účinky polutantů přímo na mykorhizní houbu jsou tyto schopny dokončit svůj životní cyklus. Kontaminace PAH's potlačuje také tvorbu a klíčení spor mykorhizních hub.<sup>76</sup>

Vliv PAH's na rozvoj mykorhizy může být pro různé druhy rostlin i hub různý a záleží také na konkrétní stavbě polycyklického aromatického uhlovodíku. Z těchto předpokladů se také vychází při výběru mutualistických partnerů. Vybírají se ti, kteří dokáží na kontaminované půdě prosperovat a navíc ji zbavovat škodlivin.

Dle výzkumů Volante et al. (2005) vykazovaly arbuskulární mykorhizní houby *Glomus mosseae* a *Gigaspora rosea* na substrátech s PAH's největší kolonizaci kořenů zatímco kolonizace dosažená pomocí *Gigaspora margarita* byla vždy velmi malá.<sup>77</sup>

Leyval a Binet (1998) zase pozorovali různou mykorhizní kolonizaci čtyř sledovaných rostlin, kdy pro jetel (*Trifolium subterraneum*) a pór (*Allium porrum*) klesla po přidání kontaminované půdy, zatímco kolonizace kukuřice (*Zea mays*) a jílku (*Lolium perene*) nebyla ovlivněna.<sup>78</sup>

---

<sup>74</sup> Veselá, M. Mykorhizní symbióza rostlin na stanovištích kontaminovaných PAH's . 34 s., 2009

<sup>75</sup> Veselá, M. Mykorhizní symbióza rostlin na stanovištích kontaminovaných PAH's . 34 s., 2009

<sup>76</sup> Verdin. Effects of anthracene on development of an arbuscular mycorrhizal fungus and contribution of the symbiotic association to pollutant dissipation. *Mycorrhiza* 16: 397–405, 2006

<sup>77</sup> Volante et al. Influence of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on the persistence of aromatic hydrocarbons in contaminated substrates. *Mycorrhiza* 16: 43–50, 2005

<sup>78</sup> Veselá, M. Mykorhizní symbióza rostlin na stanovištích kontaminovaných PAH's . 34 s., 2009

Velice významnou roli ve fytoanačnických procesech hrají rychle rostoucí dřeviny, které jsou v současnosti velice diskutované zejména z pohledu využití rostlinné biomasy jako biopaliva. Mezi rychle rostoucí dřeviny patří například japonské topoly nebo vrby, které mají schopnost velmi rychlého růstu.

### 3.1.2.1 Rostliny využívané při fytoremediacích

#### 3.1.2.1.1 Slunečnice roční (*Helianthus annuus*)

Pro mladou rostlinu je typický heliotropismus, její květ míří vzhůru a otáčí se za sluncem, později se tato vlastnost vytrácí. To je způsobeno zvětšením hmotnosti rostliny díky dozrávání semen.<sup>79</sup> Slunečnice patří mezi jednoleté byliny a její stavba je velmi rozmanitá. Některé slunečnice mohou dosahovat výšky až 4 metrů a přitom se pyšní pouze jedním květem nebo naopak velmi nízké s několika stonky a mnoha květy. Některé květní úbory dosahují šířky až 40 cm a mohou být jednoduché nebo plnokvěté. Plnokvěté odrůdy se na první pohled zdají efektivnějšími, ale produkují méně semen.<sup>80</sup>

Téměř na celém světě se pěstuje řada odrůd, které se liší zejména výškou rostliny a barvou květů od smetanové, přes žlutou, oranžovou až po tmavě červenou. Klasické odrůdy slunečnic uvolňují velké množství pylu, oproti nově vyšlechtěným hybridům, které pyl netvoří. Mezi takové hybridy patří např. Lemon Aura nebo Prado Gold, která je oblíbená u pěstitelů květin, neboť se rozvětňuje, dorůstá do výšky 90 cm a může mít až 5 tmavě žlutých květů, které mají v průměru 15 cm.<sup>81</sup>

Co se týče podmínek k pěstování, je zapotřebí vybrat slunné stanoviště s orientací na jih nebo jihozápad. Co se týče typu půdy, vhodné jsou jak hnědozemě, tak černozemě. Slunečnice je ovšem poměrně náročná na vodu, nicméně nesnese vysokou hladinu spodní vody. V dobře vyhnojené půdě narůstá do větší výšky a také květy mají větší průměr. Rostlina nezakořeňuje hluboko, proto ke stonku raději stavíme oporu, abychom předešli polámání.

---

<sup>79</sup> Krpeš, Kincl. Fyziologie rostlin, 2007

<sup>80</sup> Slunečnice roční. [online] [cit. 10.3. 2011] Dostupné na: <<http://www.slunecnice.cz/texty/slunecnice-rocni>>

<sup>81</sup> Slunečnice roční. [online] [cit. 10.3. 2011] Dostupné na: <<http://www.slunecnice.cz/texty/slunecnice-rocni>>

V souvislosti s mykorhizní symbiózou je třeba říci, že je zde velmi vhodná právě proto, že slunečnice nekoření do hloubky. Mykorhiza je zde vhodná i z důvodu ochrany rostlin vůči patogenům, protože úbory slunečnice jsou velmi náchylné vůči houbovým patogenům, zejména vůči plísni šedé a hlízence obecné.

Co se týče využití v zemědělství, používá se slunečnice jako pícnina pro krmení dobytka a jako olejnina.

V Japonsku byla zkoumána fytořediční aktivita slunečnice roční, přičemž fytořediace byly testovány na půdách kontaminovaných arsenem. Vzorokly byly uchovávány v rhizoboxech po dobu 6 týdnů a lišily se v přítomnosti či nepřítomnosti arbuskulárních mykorhizních hub a fosforu. Čili, v některých boxech byla pouze rostlina s mykorhizní houbou, jinde pouze rostlina a přídavek fosforu a v dalších boxech byla jak mykorhiza, tak fosfor. Největší růst byl zaznamenán v boxu, kde byl růst podpořen jednak fosforem a jednak zde byla provedena inokulace arbuskulární mykorhizní houby, konkrétně se jednalo o druh *Glomus aggregatum*.

Fytořediční schopnosti slunečnice roční jsou nejčastěji testovány a aplikovány na půdy bohaté niklem. Nikl je esenciální mikroprvek rostlin a nachází se v nich v rozmezí hodnot od 0,5 -1 mg.m<sup>-3</sup>. Jeho nadbytek způsobuje těžká fyziologická poškození, jako je inhibice růstu kořene, listová chloróza nebo ukládání škrobu v chloroplastech. Hyperakumulující rostliny jako je slunečnice, penízeck rolní (*Thlaspi arvense*) nebo *Sebertia* dokáží díky své fyziologické specializaci snášet pro jiné druhy toxické koncentrace Ni. U spousty hyperakumulátorových druhů je Ni ukládán ve vakuolách a transportován skrze cytoplazmu za vzniku komplexů s organickými kyselinami jako jsou např. kyselina malátová a citronová a aminokyselinami histidinem a glutaminem.<sup>82</sup>

Jak uvádí Saber, po expozici sazenic slunečnice vysokým koncentracím Cd, Al a Zn, došlo v rostlinách k nárůstu malátu a citrátu, což dokazuje, jak důležité tyto sloučeniny pro rostlinu jsou.<sup>83 84</sup>

Potenciál těchto rostlin pro fytořediace tedy bezpochyby existuje, avšak je limitován řadou faktorů jako je např. pomalá rychlost růstu a nízký nárůst biomasy.

---

<sup>82</sup> Keomany Ker. Nickel remediation by AM-colonized sunflower. Mykorhiza (2010) 20: 399-406. Springer.

<sup>83</sup> Keomany Ker. Nickel remediation by AM-colonized sunflower. Mykorhiza (2010) 20: 399-406. Springer.

<sup>84</sup> Saber NE, Abdel-Moneim AM, Barakat SY (1999) Role of organic acids in sunflower tolerance to heavy metals. Biol Planta 42:65-73

### 3.1.2.1.2 Hrách setý rolní - peluška (*Pisum sativum*)

S rozvojem pěstování plodin pro energetické účely se objevují nové možnosti využití některých doposud méně využívaných druhů plodin. Hrách setý byl v našich podmínkách doposud vcelku málo využíván. Odrůdy tohoto druhu byly využívány spíše v Německu nebo v Maďarsku. Tato odrůda hrachu má většinou nižší nebo srovnatelnou úrodu jako jarní forma a můžeme jej vysévat na podzim i na jaře.

Souborně zpracované materiály dokazují u botanického druhu *Pisum sativum* L. existenci minimálně 42 kombinací poddruhů a variet. V uvedeném výčtu se nacházejí některé názvy jako synonyma. Teprve v současné době dochází prostřednictvím molekulárních metod identifikace DNK k úpravám systematiky. Rod *Pisum* zahrnuje 2 botanické druhy, *Pisum sativum* L. a *Pisum fulvum* Sibth. a Sm.<sup>85</sup>

Botanický druh *Pisum fulvum* se vyskytuje pouze jako planá forma, která nemá významnější hospodářské využití, jsou u ní však uváděna zjištění některých významných zdrojů rezistencí k houbovým chorobám, nacházející využití zejména ve šlechtění. Botanický druh *Pisum sativum* L. bývá dále členěn na subspecie (poddruhy) a variety. Zde se již pracuje s několika schématy a dochází k určitým diferencím. Není zpochybněna existence dvou botanických subspecií v rámci rodu *Pisum* – *Pisum sativum* subsp. *sativum* (hrách setý - polní) a *Pisum sativum* subsp. *arvense* syn. *P. arvense* (hrách rolní - peluška). Druh *Pisum sativum* zahrnuje botanickou subspecii *sativum* se 3 varietami: *sativum*, *medullare* a *saccharatum*.<sup>86</sup>

Hospodářský význam mají všechny výše uvedené variety, které vykazují i odlišné využití. Hrách rolní - peluška je jediným zástupcem subsp. *Arvense* - u kterého jsou využívány celé rostliny formou píce ke krmení hospodářských zvířat, může být pěstován ve směsce s obilninami. Je vhodný ke konzervaci silážováním. Suchá semena jsou hořké chuti.

Mezi hlavní přínosy pelušky tedy patří:

- a) poskytuje dobrou úrodu semen se zajímavým ekonomickým využitím
- b) protože se vyznačuje velmi rychlým počátečním růstem, poskytuje velmi brzy na jaře úrodu pro zkrmování nebo pro výrobu siláže
- c) chrání půdu v mezidobí pěstování hlavních plodin proti erozi a vysychání

<sup>85</sup> Botanická charakteristika a hospodářský význam luskovin. [online] [10.3.2011] <http://www.agromanual.cz/images/product/download/luskoviny-ukazka.pdf>

<sup>86</sup> Botanická charakteristika a hospodářský význam luskovin [online] [10.3.2011] <http://www.agromanual.cz/images/product/download/luskoviny-ukazka.pdf>



- d) udržuje dobrou strukturu půdy
- e) udržuje půdu stále zelenou a biologicky aktivní
- f) váže živiny v půdě a omezuje jejich vyplavování do spodních vrstev půdy
- g) v mimovegetačním období zabraňuje vyplavování nitrátů, což má velký význam v ochraně životního prostředí
- h) obohacuje půdu vázaným dusíkem a organickou hmotou a vytváří příznivé mikroklima pro následné rostliny
- i) při podzimním výsevu pelušky jako meziplodiny není již potřebná další ochrana vůči plevelům<sup>87</sup>

### 3.1.2.1.3 Vojtěška setá (*Medicago lupulina*)

Vojtěška je vytrvalá, vícesečná plodina s mohutným, 1 – 2 m dlouhým hlavním kořenem, který může dosáhnout až 10 m hloubky. Zařazuje se v osevním postupu s odstupem minimálně 5 let po sobě. Při výběru pozemků je nutno věnovat pozornost reziduí herbicidů použitých u předplodin a vybírat pozemky nezaplevelené vytrvalými plevely (pýr, pcháč, šťovík, lopuch, kokotice). Vojtěška setá v prvních deseti dnech zakořeňuje pomalu a rostliny jsou citlivé na přisušky, málo vzdorují zaplevelení a nedostatku světla. Později se růst kořenů zrychluje, takže kulový kořen dosahuje v prvním roce hloubky 1 – 2 m podle způsobu založení.<sup>88</sup>

Vojtěška je vytrvalá bylina dorůstající do výšky 30 až 100 cm. Lodyha je přímá a hranatá. Pro vojtěšku jsou charakteristické trojčetné řapíkaté listy, obvejčité až obkopinaté. Květenství se skládá až z 30 květů a je dlouho zhruba do 7 cm, květy jsou modrofialové barvy.<sup>89</sup>

Vojtěška kvete od května do října. Pro zajímavost je nutno dodat, že většina dnešních vojtěšek vznikla křížením *Medicago sativa* a *Medicago falcata*.

Rod *Medicago* patří mezi rostliny hojně pěstované. Často je nacházíme podél cest a na loukách. Co se týče typu půdy, roste na výhřevných, vápnatých a kyprých půdách typicky v nížinách ale i v podhorských oblastech. Vojtěška pochází z Malé

<sup>87</sup>Nasepole.sk. Peluška ozimá – nový fenomén ornej pode. [online] [31.8.2007] [cit. 10.3.2011] Dostupné na <<http://www.asz.cz/cs/zpravy-z-tisku/roslinna-vyroba-puda/peluska-ozimna-novy-fenomen-na-ornej-p-de.html>>

<sup>88</sup>Agrogen. Vojtěška setá. [online] [cit. 10.3. 2011] Dostupné na: <<http://www.agrogen.cz/inpage/vojteska-seta/>>

<sup>89</sup>Herbář Wendys. Tolice setá. [online] [cit. 10.3. 2011] Dostupné na:<<http://botanika.wendys.cz/kytky/K570.php>>

Asie a Zakavkazí. U nás se pěstuje, ale často zplaňuje. V současnosti je celosvětově nejrozšířenější pícninou, protože má vysoký podíl bílkovin a dá se sklízet několikrát do roka. Navíc je odolná vůči suchu i mrazu.<sup>90</sup>

### **3.1.2.2 Charakteristika některých netradičních plodin využitelných pro fytofarmacie**

#### **3.1.2.2.1 Světlice barvířská - saflor (*Carthamus tinctorius*)**

Světlice barvířská je jednou z nejstarších kulturních plodin. Z nažek se lisuje olej, který se používá jak v potravinářství, tak také v barvířském a kosmetickém průmyslu. Rostlina se v minulosti využívala jako tzv. nepravý šafrán, tedy náhražka skutečného šafránu, kterého bylo vždy nedostatek.<sup>91</sup> Její květy se hojně využívaly k barvení látek.

Tato rostlina patří do čeledi hvězdnicovitých a pochází ze stepních a polostepních oblastí. Vzhledem připomíná bodlák. Nemá moc velké nároky na půdu, je velmi vhodná pro vápnité a suché půdy. Kořeny světlice dosahují do hloubky zhruba 3 cm, čímž využívají živiny splavené do těchto hloubek. Má velmi příznivé fytofarmaceutické účinky. Hlavní výhodou pěstování této rostliny je její rychlý nárůst v letních měsících.<sup>92</sup>

#### **3.1.2.2.2 Komonice jednoletá (*Melilotus alba*)**

Komonice jednoletá, jak už název vypovídá, je jednoletá forma populace komonice dvouleté. Dorůstá zhruba do výšky 15 cm. Výhodou jejího pěstování nenáročnost, co se půdy týče. Roste i na neúrodných nebo málo úrodných lokalitách.

---

<sup>90</sup> Herbář Wendys. Tolice setá. [online] [cit. 10.3. 2011] Dostupné na:<<http://botanika.wendys.cz/kytky/K570.php>>

<sup>91</sup> Kocián, P. Světlice barvířská [online] [2008] [cit. 10.3.2011] Dostupné na:<<http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=704>>

<sup>92</sup> Badalíková, Bartlová, Hrubý. Fytofarmaceutické postupy s využitím netradičních plodin, 2009

Nesnese pouze zamokřené a velmi těžké půdy. Využívá se jako pícina, ale tak jako meliorační plodina. Je dobrá také jako zelené hnojení.<sup>93</sup>

#### **3.1.2.2.3 Pískavice řecké seno (*Trogonella foenum-graecum*)**

Pískavice řecké seno je jednoletá bylina. Patří k nejstarším kulturním plodinám. Původem je ze Středomoří. Náleží do čeledi bobovitých. Co se týče nároků na půdu, roste na hlinitopísčítých půdách s dostatkem živin a spodní vláhou.<sup>94</sup>

#### **3.1.2.2.4 Mokřadní rostliny<sup>95</sup>**

Využití mokřadů pro remediace znečištěných půd a vody prostřednictvím rhizofiltrace, fytostabilizace a fytoextrakce je dalším velmi perspektivním způsobem, jak šetrně odstranit z prostředí nežádoucí látky. Asi nejvíce prozkoumanou metodou a využívanou metodou využívání mokřadních rostlin je rhizofiltrace.

Mokřady na znečištěných půdách a sedimentech jako je například důlní hlušina jsou stabilizovány prostřednictvím fytostabilizace. Fytostabilizace je však méně používaná než rhizofiltrace, bezpochyby z důvodu, že škála využití je více limitována ve srovnání s rhizofiltrací. Jak už sám název napovídá, rhizofiltrace se účastní zejména kořeny rostlin, celkově jde ovšem o interakci mezi rostlinou jako celkem a substrátem a tímto způsobem se dá odstranit velké množství kontaminantů. Ne všechny kontaminanty se dají odstranit všemi typy mokřadů. Záleží jak na typu znečištění, tak na druhu aplikované rostliny. Posledním metodou aplikovanou v souvislosti s mokřadními remediacemi je fytoextrakce, kde se využívá odstraňování polutantů skrze rostliny, jak již bylo uvedeno v některé z předchozích kapitol.

Mokřady obecně jsou podmáčená území. Protože kyslík proudí vodou 10 000 x pomaleji než vzduchem, zásobování mokřadních substrátů je pomalejší než na souši. Tyto anaerobní podmínky nevyžadují pouze speciální adaptace rostlin a půdních živočichů, ale také mikrobiálních společenstev. V závislosti na chemickém

---

<sup>93</sup> Badalíková, Bartlová, Hrubý. Fytoremediační postupy s využitím netradičních plodin, 2009

<sup>94</sup> Badalíková, Bartlová, Hrubý. Fytoremediační postupy s využitím netradičních plodin, 2009

<sup>95</sup> Marinus, L. Jakob, O. and D. Constructed wetlands for phytoremediation. Phytoremediation, rhizoremediation. Focus on Biotechnology. Volume 9A. Springer, 2006

složení substrátu, je při respiraci organismů využíváno kromě kyslíku ještě několik dalších typů terminálních elektronových akceptorů. Výsledky mokřadních fytoremediací jsou vesměs pozitivní, u Cr, Cu, Pb, Ni a Zn, ale negativní odstranění pro Fe a Mn.

### 3.3 Živočichové a xenobiotika

#### 3.3.1 Plzák španělský (*Arion vulgaris*)

Plzák španělský (obr. 4) patří do čeledi plzákovitých a jeho druhového jméno je často modifikováno na portugalský, lusitanský či rezavý. Plzák lusitanský (*Arion lusitanicus*) je původní označení, které je dnes na základě molekulárně-genetických metod již považováno za nesprávné. *A. lusitanicus* a *A. vulgaris* jsou tedy dva odlišné druhy. Je dokázáno, že liší mimo jiné i v počtu chromozomů.<sup>96</sup> Původní výskyt je zasazen na Pyrenejský poloostrov, do Anglie a Francie.



Obr. 4 Plzák španělský (*Arion lusitanicus*)<sup>97</sup>

Za hranice svého výskytu se začal invazivně šířit zhruba před 50 lety. Jako první se objevil ve Švýcarsku (1955), následovalo rozšíření do Německa, Itálie a Rakouska, a poté již se proces změnil v masivní invazi napříč celou Evropou. V

<sup>96</sup> Dvořák, L. Gastropods in subterranean shelters of the Czech Republic. *Malacologica Bohemoslovaca*, 2005 4: 10-16. 7 s.

<sup>97</sup> Bohdal, J. *Arion lusitanicus*. Naturfoto. [online] [2006] [cit. 14.3.2011] Dostupné na: <<http://www.naturfoto.cz/plzak-spanelsky-fotografie-1592.html>>

posledních letech byl potvrzen výskyt i v Severní Americe. Přemnožení značného rozsahu, která již nelze brát jako lokální a jsou doprovázena rozsáhlými ekonomickými škodami, se v současné době objevují ve Skandinávii, Beneluxu a na severu Německa.<sup>98</sup> V České republice byl poprvé pozorován v 90. letech minulého století. Jedná se o jednoho ze 100 světově nejvýznamnějších škůdců.

Co se velikosti těla týče, délka se pohybuje mezi 8 až 12 cm. Hmotnost se pohybuje mezi 3-27 g.<sup>99</sup> Plzák španělský je druhým největším plzákem u nás. Tělo je válcovitého tvaru a má schopnost polokulovitě stahování. Konec nohy je zaoblený. Barva dospělce je nabývá různých odstínů oranžovohnědé barvy. Plzák španělský bývá často zaměňován s plzákem lesním (*Arion rufus*), ten však dorůstá do větších rozměrů a co se zbarvení týče, charakteristické je zbarvení více do červena.

Plzák španělský patří mezi hermafrodity. V podmínkách středoevropského klimatu má plzák španělský jednu generaci do roka s tím, že ke kopulaci dochází také jednou ročně na konci června. Klazení vajíček probíhá od poloviny srpna do poloviny prosince, s vrcholem na přelomu srpna a září. Jeden plž může naklást 4 až 7 snůšek, dohromady až 225 vajíček. První mláďata se líhnou už po 1 měsíci po naklazení vajíček, většinou po 38 až 43 dnech, přibližně ze 76 % se vylíhnou mladí jedinci, zbytek snůšky je ztrátový.<sup>100</sup> Vajíčka kladená v září a později přezimují a líhnou se příští jaro. Platí ovšem, že při nízkých teplotách se jejich vývoj prodlužuje. Jedinci v délce do 1,5 cm, kteří přezimují, mohou za určitých podmínek vylézat již na začátku nového roku. Z většiny ozimých vajíček se mladí jedinci líhnou obvykle od prvních dubnových dnů. Maximální početnosti dosahují plzáci španělští v květnu až červnu, kdy jsou zaznamenávány nejmasovější výskyty.

Pro mláďata plzáka španělského je charakteristický vejčitý tvar těla a pestré zbarvení v odstínech žluté až hnědé, na hřbetě mají dva ostře vyznačené žluté proužky. Spolu s dospíváním jedinců toto zbarvení postupně mizí.<sup>101</sup>

Početné výskyty jsou kolem míst prvotního zavlečení a tam, kde je dostatek synantropních stanovišť nebo v jinak člověkem významněji pozměněné krajině. Během posledních let bylo i na našem území zaznamenáno mnoho případů silného

---

<sup>98</sup> Mañas, M. Plzák španělský [online] [2006] [cit. 10.3.2011]Dostupné na:<<http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2898/>>

<sup>99</sup> Mañas, M. Plzák španělský [online] [2006] [cit. 10.3.2011]Dostupné na:<<http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2898/>>

<sup>100</sup> Horský M. Komentovaný seznam měkkýšů zjištěných ve volné přírodě České a Slovenské republiky. Malacologica Bohemoslovaca , 2010, Suppl. 1: 1-37.

<sup>101</sup> Dvořák, L. Gastropods in subterranean shelters of the Czech Republic. Malacologica Bohemoslovaca, 2005 4: 10-16. 7.s.

lokálního přemnožení. Plzák španělský obsazuje především kulturní plochy, kde se stává díky opakovanému přemnožení častým škůdcem. Přednost dává drobným zahrádkám nebo zapleveleným a hustě zarostlým neudržovaným plochám ve větších sídlech. Vyhledává zastíněná místa porostlá vysokou vegetací a za deštivého počasí proniká do zemědělské půdy. Přes noc je schopen urazit až 50 m. Při přemnožení může způsobit nevyčíslitelné škody, zejména na polích řepky olejné (*Brassica oleracea*).<sup>102</sup>

Plzák španělský je schopen se přizpůsobit nejrozličnějším typům stanovišť. Je schopen velice efektivně využívat volnou (uvolněnou) část ekologické niky. Proto ke kalamitnímu přemnožení dochází zpravidla v silně změněné a narušené krajině, kde je více či méně porušena ekologická stabilita a rovnováha. To znamená, že se zde vyskytují náhradní, nestabilní a často výrazně ochuzená rostlinná a živočišná společenstva, kde po druzích, které vlivem změn vymizely, zůstalo volné místo. Druhy, jež jsou schopny se přizpůsobit, pak mohou toto volné místo rychle zaplnit. Druhým a velice důležitým aspektem přemnožení plzáků je skutečnost, že nejsou na našem území původním druhem, nemají zde tedy přirozené nepřátele – predátory. Jediným přirozeným predátorem, který zde připadá v úvahu je kos černý (*Turdus merula*). Plzáka španělského neohrožuje v našich zeměpisných souřadnicích ani žádný druh parazita.<sup>103</sup>

### 3.3.1.1 Metody boje proti invazi

Způsobů, jak bojovat proti plzákovi španělskému je několik:

1. mechanický
2. chemický
3. biologický

Mechanickým bojem proti plzákům obecně je ruční sběr, který je na malých pozemcích nejefektivnější metodou. Na postižených plochách by se měly odstranit

---

<sup>102</sup> Gall, J. Slimáci a nový škůdce – plzák španělský[online] [22.3.2006] [cit. 10.3.2011] Dostupné na: <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/slimaci-a-novy-skudce-plzak-spanelsky-1.html>>

<sup>103</sup> Gall, J. Slimáci a nový škůdce – plzák španělský[online] [22.3.2006] [cit. 10.3.2011] Dostupné na: <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/slimaci-a-novy-skudce-plzak-spanelsky-1.html>>

veškeré potenciální úkryty – větší kameny, dřeva atd. Kompost by měl být co nejdál od výnosové plochy, protože teplá a vlhká místa jsou pro plzáky optimálním místem pro kladení vajíček.

Co se chemických zbraní týče, na našem trhu existuje hned několik preparátů, které jsou účinné. Jsou to preparáty buď na bázi nervového jedu – Methiocarb. Ty ale patří mezi velmi jedovaté a je dokázáno, že hubí i jiné organismy. Druhou skupinou preparátů jsou preparáty s účinnou látkou metaldehyd, který působí jako dotykový a požerový jed. Ten způsobuje ochrnutí plžů s nadměrnou sekrecí slizu a má za následek jejich dehydrataci. Tyto přípravky jsou méně jedovaté a více selektivní na plže, jsou tedy šetrnější k životnímu prostředí. Obecně však platí, že každá chemikálie, navíc pokud se jedná o jed, má negativní vliv na životní prostředí.<sup>104</sup>

Jako biologická zbraň proti těmto škůdcům slouží některé komerční přípravky. Již dlouho je známa hlístice *Phasmarhabditis hermaphrodita* jako parazit, který je schopen tlumit přemnožení nežádoucích nahých plžů. Tento přípravek zavádí na trh firma BIOCONT Laboratory. Hlavní výhodou tohoto přípravku je, že je šetrný k životnímu prostředí a nehubí potenciální predátory. Nevýhodou je ovšem pomalejší účinek oproti jednorázovému použití chemického postřiku. Další nevýhodou může být, hlístice útočí především na juvenilní stádia plzáka, zatímco na dospělé je jejich účinek minimální. Pro maximální efektivitu přípravku je tedy nutná velmi dobrá znalost životního cyklu plzáka španělského.

V živočišné říši je mnoho predátorů a parazitů měkkýšů. Dokonce existují celé taxonomické skupiny, kde jsou druhy, které se specializují pouze na měkkýše (tzv. malakofágní). Z parazitů to jsou například již zmiňované hlístice, nebo larvy malakofágní čeledi *Sciomyzidae* (vláhomilkovití), která patří mezi dvoukřídly hmyz (mouchy). Zde jsou druhy, které se specializují pouze na nahé plže (u nás např. druh *Tetanocera elata*).<sup>105</sup>

Z malakofágních predátorů můžeme jmenovat několik čeledí brouků: *Lampyridae* (světluškovití), *Homalidae*, *Lycidae*. Z predátorů, u kterých zpravidla měkkýši tvoří pouze část jídelníčku, to jsou zástupci čeledi *Carabidae* (střevlíkovití) nebo *Staphylinidae* (drabčíkovití). I mezi samotnými měkkýši jsou druhy, které se mohou živit snůškami vajíček plzáka španělského. Jedná se o ulitnaté plže skelnatku

---

<sup>104</sup> Dvořák, L. Plzák španělský – nejzávažnější škůdce mezi měkkýši. [online] [17.12.2002] [cit. 10.3.2011] Dostupné na: <<http://mollusca.sav.sk/malacology/Dvorak/lusitanicus2002.htm>>

<sup>105</sup> Dvořák, L. Plzák španělský – nejzávažnější škůdce mezi měkkýši. [online] [17.12.2002] [cit. 10.3.2011] Dostupné na: <<http://mollusca.sav.sk/malacology/Dvorak/lusitanicus2002.htm>>

západní (*Oxychilus draparnaudi*) a skelnatku drnovou (*O. cellarius*). Z obratlovců mohou plže požírat například kachny a ježci.<sup>106</sup>

---

<sup>106</sup> Dvořák, L. Plzák španělský – nejzávažnější škůdce mezi měkkýši. [online] [17.12.2002] [cit. 10.3.2011] Dostupné na: <<http://mollusca.sav.sk/malacology/Dvorak/lusitanicus2002.htm>>



## 4. Mykorhiza a geobiochemické cykly

Mycelia hub mají schopnost vytvářet hmotu – glomalin, která stabilizuje půdní strukturu a vytváří kompaktní formu, která drží půdní částice pohromadě.

Houbová mycelia se současně účastní také mobilizace a imobilizace anorganických látek v půdě, zvětrávání a rozpouštění půdních částic a hornin. K těmto pochodům dochází díky synergickému účinku biochemického a biomechanického působení hub na anorganickou složku půdy. Při mechanickém působení se uplatňuje schopnost vytvářet vysoce turgescencí hyfy, které penetrují póry a praskliny na povrchu hornin. Další fyzikální mechanismus souvisí s erozí střížnými silami, vznikajícími při vysychání (a smršťování) a rehydrataci kolonií a produkovaných exopolycharidů adheřujících na pevných površích.<sup>107</sup>

Jsou ovšem známy i případy, kdy biologické aktivity hub vedou k imobilizaci iontů kovů akumulací pletivy hub nebo precipitací v půdě ve formě sekundárních minerálů (biominerálů). Je zřejmé, že tyto aspekty fyziologie (především mykorhizních) hub je třeba uvažovat při návrzích bioremediačních procesů, zvláště těch, které uvažují fytoremediace. Zvětrávání a solubilizace hornin je významnou složkou biogeochemických cyklů nejen těžkých kovů, ale především dalších prvků (uhlík, dusík, síra nebo fosfor). Akvizice biologicky dostupných forem nekovových prvků a esenciálních kovů z hornin je ve skutečnosti hlavní motivací mykotransformace hornin. Procesy biochemického zvětrávání hornin a solubilizace sloučenin kovů houbami obecně zahrnují heterotrofní loužení lokálním snížením pH, produkcí komplexotvorných ligandů, nebo redoxní transformací, a případně i aktivní akumulaci mobilních forem kovů v myceliích a plodnicích. Tyto mechanismy se zároveň uplatňují i při mobilizaci iontů kovů sorbovaných nebo nelatovaných půdními komponentami. Kyselá hydrolýza je iniciována exkrecí protonů přes plazmatickou membránu prostřednictvím H<sup>+</sup>-ATPase a v důsledku sekundárního aktivního transportu, do určité míry respirační produkcí CO<sub>2</sub> a tudíž H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> a exkrecí organických kyselin. V případě ektomykorhizních hub byly popsány až milimolární

---

<sup>107</sup> Osobová, Sácký a Kotrba. Role hub v geobiochemických cyklech kovů a implikace pro fytoremediace. Listy cukrovarnické a řepařské, s. 404, 2010

koncentrace organických kyselin v okolí hyf, což vede i k vytváření pórů o průměru 3–10 mm v hornině jimiž mohou hyfy „prorůst“.<sup>108</sup>

Do celkové bilance akumulace kovů houbami lze zahrnout biosorpci iontů na biopolymery buněčných stěn hyf (pasivní proces nezávislý na metabolismu) a aktivní intracelulární bioakumulaci. Podmínkou bezpečné akumulace těžkých kovů je jejich efektivní detoxikace. Jako intracelulárními ligandy, inaktivující toxické ionty kovů, jsou u multiceulárních hub popisovány především metalothioneiny a glutathion (GSH). Kov může být také transportován do buněčných kompartmentů (vakuol) ať už volný nebo vázaný na GSH. GSH se navíc účastní eliminace volných kyslíkových radikálů, které mohou vznikat i působením těžkých kovů. Imobilizace kovů (Ca, Mg, Cd, Co, Cu, Pb, Sr a Zn) řadou hub ve formě sekundárních minerálů je založena především na tvorbě nerozpustných (krystalických)

oxalátů. V případě kovů alkalických zemin je současně významná mykogenní transformace na nerozpustné uhličitany, případně sírany. V modelových studiích s *B. caledonica* byla mykogenní mobilizace Cd, Cu, Zn a Pb následována tvorbou odpovídajících krystalických oxalátů v blízkosti hyf i přímo na jejich povrchu. Konverze nerozpustných fosforečnanů Zn a Cu na odpovídající oxaláty jsou ve zvýšené míře schopny i ektomykorhizní producenti oxalátu, např. *Rhizopogon rubescens*, *R. raseolus* a *Suillus colimitus*.<sup>109</sup>

Imobilizace iontů těžkých kovů ve formě sekundárních metabolitů představuje nepřímý mechanismus tolerance k těžkým kovům a umožňuje tak určitým druhům proliferovat i na kontaminovaných lokalitách.

Řada studií cílených na využití mykorhizních hub pro fytoremediace ukazuje, že hlavním přínosem mykorhizy je posílení fytostabilizačního efektu a houby, nepředstavují komponentu, která by svou schopností mobilizovat kovy významně posilovala fytoextrakci kovů. Těžké kovy se navíc zpravidla akumulují právě v myceliích a plodnicích hub a poté jsou dále metabolizovány.

Je ovšem třeba zmínit, že v rámci fytosanací rychle rostoucími dřevinami mohou mykorhizní houby ještě zintenzivnit růst těchto dřevin.

Zejména arbuskulární a erikoidní endomykorhiza, ale i ektomykorhizní houby představují bariéru akumulace těžkých kovů v pletivech rostlin a umožňují tak růst

---

<sup>108</sup> Osobová, Sáčký a Kotrba. Role hub v geobiochemických cyklech kovů a implikace pro fytoremediace. Listy cukrovarnické a řepařské, s. 404, 2010

<sup>109</sup> Kučerová, Macková, Macek. Perspektivy fytoremediace při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního. 8 s., 1999

rostlin a stabilizaci kontaminovaných lokalit vegetací. Mykorhiza může posílit fytoextrakční potenciál rostlin nepřímo, podporou tvorby rostlinné biomasy, která je vedle ochrany před toxickým účinkem kovů dána i mobilizací esenciálních prvků v biologicky dostupné formě a dalšími pozitivními efekty symbiotického vztahu. Z hlediska fytoextrakce i fytostabilizace je pak významnou komponentou erikoidní mykorhiza, schopná růst a mobilizovat anorganické živiny i na chudých půdách.<sup>110</sup>

V procesech zmírňujících stres na kontaminovaných půdách, přeměně organického

polutantů a dalších účinků mykorhizy hrají roli především enzymy a kořenové exsudáty. Mycelia arbuskulárních mykorhizních hub vylučují např. glykoprotein glomalin, který stabilizuje pudní agregáty a tím zlepšuje vlastnosti půdy.<sup>111</sup>

Například transformace PAH's rostlinami a mikroorganismy je katalyzována oxidoreduktázami jako jsou peroxidázy, laktázy, dioxygenázy a monofenol monooxygenázy.<sup>112</sup>

---

<sup>110</sup> Kučerová, Macková, Macek. Perspektivy fytoremediace při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního. 8 s., 1999

<sup>111</sup> Gryndler et al. Mykorhizní symbioza, 2004

<sup>112</sup> Criquet et al. Anthracene and mycorrhiza affect the activity of oxidoreductases in the roots and the rhizosphere of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Biotechnology Letters* 22: 1733-1737, 2002

## 5. Mykorhizní přípravky

### 5.1 Symbivit

Symbivit je mykorhizní přípravek pro využití mykorhizních hub. Jedná se o přípravek ve formě granulí s obsahem 6 druhů mykorhizních hub, přírodních složek podporujících mykorrhizu a přírodního jílového nosiče.

Symbivit je vhodný pro zlepšení výživy, růstu a zdravotního stavu rostlin, pro lepší tvorbu květů a plodů. Díky Symbivitu není třeba rostliny tolik hnojit a navíc se zvyšuje jejich odolnost vůči stresu, patogenům a jiným nepříznivým vlivům. Použití Symbivitu je vhodné i pro rostliny rostoucí ve svahu, protože se díky němu zpevňuje půda.

Symbivit je vhodný pro většinu pokojových rostlin, včetně truhlíkových, pěstovaných na balkonech, dále pak pro popínavé rostliny, okrasné jehličnany, stromy a keře, na zeleninu, ovoce a také se hodí pro ošetření trávníků.

Symbivit není vhodný pro brukvovité, merlíkovité a laskavcovité rostliny. Pro vřesovcovité rostliny je lepší použít přípravek Rhodonit a pro jehličnany a některé listnaté stromy Ectovit.<sup>113</sup>

### 5.2 Ectovit

Jedná se o přípravek založený na využití vlastností specifických druhů mykorhizních hub speciálně určených pro jehličnaté a některé listnaté stromy.

Ectovit je tekutý přípravek určený pro zlepšení výživy a zdravotního stavu stromů, pro snížení odumírání stromků po přesazení a zvýšení odolnosti vůči stresu. Základem Ectovitu jsou 4 druhy hub na tekutém nosiči a 2 druhy hub na rašelínovém nosiči s obsahem přírodních látek podporujících mykorrhizu, jako jsou např. humáty. Mykorhizní houby obsažené v Ectovitu se napojí na s kořeny Vašich stromů a budou růst, čerpat živiny z půdy a podporovat je po celý jejich život. Díky mykorrhize dochází také ke zlepšení výživy fosforem a stromy celkově vykazují zlepšení růstu.

---

<sup>113</sup> Symbiom. [online] [cit. 19.4.2011] Dostupné na:  
<[http://www.symbiom.cz/index.php?p=symbivit&site=default&set\\_menu=hobby](http://www.symbiom.cz/index.php?p=symbivit&site=default&set_menu=hobby)>

Jak již bylo zmíněno výše, Ectovit je určen primárně pro jehličnaté stromy některé druhy listnatých, pro okrasné jehličnany se ovšem lépe hodí Symbivit.<sup>114</sup>

---

<sup>114</sup> Symbiom. [online] [cit. 19.4.2011] Dostupné na:  
<[http://www.symbiom.cz/index.php?p=ectovit&site=default&set\\_menu=hobby](http://www.symbiom.cz/index.php?p=ectovit&site=default&set_menu=hobby)>

## II. PRAKTICKÁ ČÁST

### 6. Chov plzáka španělského (*Arion lusitanicus*)

#### 6.1 Materiál

- černý PE kontejner
- průhledná fólie
- 9 zavařovacích sklenic
- zemina, tráva a další rostliny
- 2 dřevěné bedýnky
- voda

#### 6.2 Metodika chovu

Výzkum začal 13. 9. 2010. Pro jeho uskutečnění bylo nachytáno 200 plzáků španělských. Vzhledem k tomu, že byla polovina září, bylo slimáků již podstatně méně než začátkem léta a často byli nalezeni jedinci o hmotnosti od 2 do 10 g, přičemž maximální hmotnost dospělého jedince je udávána až kolem 30 g.

Plzáci byli umístěni do černých PE kontejnerů o objemu 60 litrů, přičemž dno kontejneru bylo zhruba do výšky 10 cm vyplněno zeminou, na kterou byla poté naskládána ještě posekaná tráva, listí, hosty a další typy rostlin. Celá tato hmota byla zvlhčena vodou a zakryta průhlednou fólií. Fólie byla perforována a celá nádoba umístěna do stínu, aby nedošlo k přehřívání a popálení plzáků.

Takto připravená nádoba byla ponechána venku, což se ale později ukázalo jako chyba. S prvními mrazíky (- 2 °C ve výšce 1,5 m nad zemí) začali plzáci černat, hlavně v okolí dýchacího otvoru. V tomto stavu již plzáci nepřijímají potravu.

Proto byli 22. 9. nachytáni další plzáci, kteří se před mrazem dokázali schovat, ale bylo jich pouze 100 kusů. Celý pokus byl zopakován znova, pouze s tím rozdílem, že kontejner byl umístěn do tepla domova tak, aby na ně nedopadalo přímé sluneční záření. Teplota v místnosti, kam byl kontejner uložen, byla mezi +16 až +19 °C. Plzáci se živili uhynulými jedinci. Některým se ale podařilo utéct. Ani takto připravený pokus tedy nebyl úspěšný.

Proto jsem přeživší jedince, kteří stále přijímali potravu přenesl do 9ti zavařovacích sklenic o objemu 0,7 l v počtu 1, 2 a 5 jedinců na sklenici. Takto bylo možné pozorovat hmotnostní přírůstky, jak je vidět ze záznamové tabulky (Tab. 1).

Nádoba (počet)	Datum					
	2.10.	4.10.	6.10.	8.10.	10.10.	12.10.
1 (1)	8 g	10 g	10 g SN	6 g SN	úhyn	úhyn
2 (1)	8 g	6 g SN	6 g SN	4 g	úhyn	úhyn
3 (1)	4 g	4 g	4 g	6 g SN	2 g	úhyn
4 (1)	4 g	4 g	4 g	2 g SN	2 g	úhyn
5 (1)	10 g	11 g	12 g	8 g SN	8 g	8 g
6 (2)	6 g	7 g	4 g SN	4 g	2 g	úhyn
7 (5)	12 g	13 g	12 g SN	6 g (-2)	úhyn	úhyn
8 (5)	20 g	22 g	36 g SN	16 g (-2)	úhyn	úhyn
9 (5)	22 g	23 g	26 g SN	12 g (-2)	8 g	úhyn

Tab. 1 Záznamová tabulka hmotnostních přírůstků plzáka španělského  
Vysvětlivky: SN – snůška, (-2) označuje počet uhynulých jedinců

Vajíčka (viz Příloha 1) byla ponechána ve sklenicích a byl k nim přidán mech a 4. 11. se z nich začali líhnout malí plzáci o délce asi 3 mm. Líhnutí probíhalo postupně a poslední jedinec se vylíhnul 16. 12. (viz Příloha 2). Po konzultaci s odborníkem jsem plzáky přemístil do 2 dřevěných beden. Jedna měla plochu zhruba 0,4 m<sup>2</sup> a druhá 0,1 m<sup>2</sup>. Větší bedna byla umístěna do stejných podmínek jako zavařovací sklenice, tedy do stínu a teploty 16 – 19 °C, menší byla umístěna do tmy při teplotě 10 – 14 °C (viz Příloha 3). Na dně beden byla opět položena zemina do výšky cca 7 cm. Přenos plzáčků do dřevěných beden byl uskutečněn z důvodu možného výskytu houbových organismů v zavíčkovaných, i když perforovaných sklenicích. Navíc byla přímo do výběhu vyseta řepkohořčičná směs, aby byl zajištěn dostatečný přísun potravy. Ke krmení byly navíc použity také živočišné zbytky. Metodika chovu plzáčků španělských v dřevěných bednách se ukázala jako vhodná.

## **7. Účinky Symbivitu a Ectovitu na růst vybraných rostlin**

### **7.1 Hypotézy:**

Hypotéza 1: Rostliny ošetřené Symbivitem budou dosahovat větších výšek

Hypotéza 2: Rostliny ošetřené Symbivitem budou vykazovat rychlejší růst

Hypotéza 3: Slunečnice roční ošetřená Ectovitem nebude růst rychleji než slunečnice roční ošetřená Symbivitem

Hypotéza 4: Kopretina bílá ošetřená Symbivitem bude růst rychleji než kopretina bílá bez přítomnosti Symbivitu

### **7.2 Materiál**

- Symbivit
- Ectovit
- Sadbovače
- Zemina pro výsev ASB Greenworld
- Voda

### **7.3 Metodika**

Pro výzkum bylo vyseto 7 druhů rostlin:

- peluška – hrách setý rolní – 54 ks bez, 54 ks se Symbivitem
- ostrožka stračka – 27 ks bez, 27 ks se Symbivitem
- světlice barvířská – 27 ks bez, 27 ks se Symbivitem
- kopretina bílá – 27 ks bez, 27 ks se Symbivitem
- vojtěška setá – 54 ks bez, 54 se Symbivitem
- slunečnice roční – 27 ks bez, 27 ks se Symbivitem, 27 ks s Ectovitem
- lichořeřišnice větší – 15 ks bez, 15 ks se Symbivitem

Každý druh byl vyset do dvou sadbovačů ve stejném množství, v jednom sadbovači se vyvíjely rostlinky bez účasti Symbivitu a v druhém v jejich přítomnosti. U slunečnice byl pro zajímavost navíc použit i Ectovit. Poté byly sadbovače umístěny do místnosti s teplotou 15 – 19 °C a pravidelně zalévány.



Výsledky růstu byly zaznamenávány do archů a poté porovnány. Rostliny byly zasévány postupně v průběhu února 2011. Fotky rostlinek, pořízené v průběhu jejich růstu jsou přiloženy v přílohách (Příloha 4 - 9).

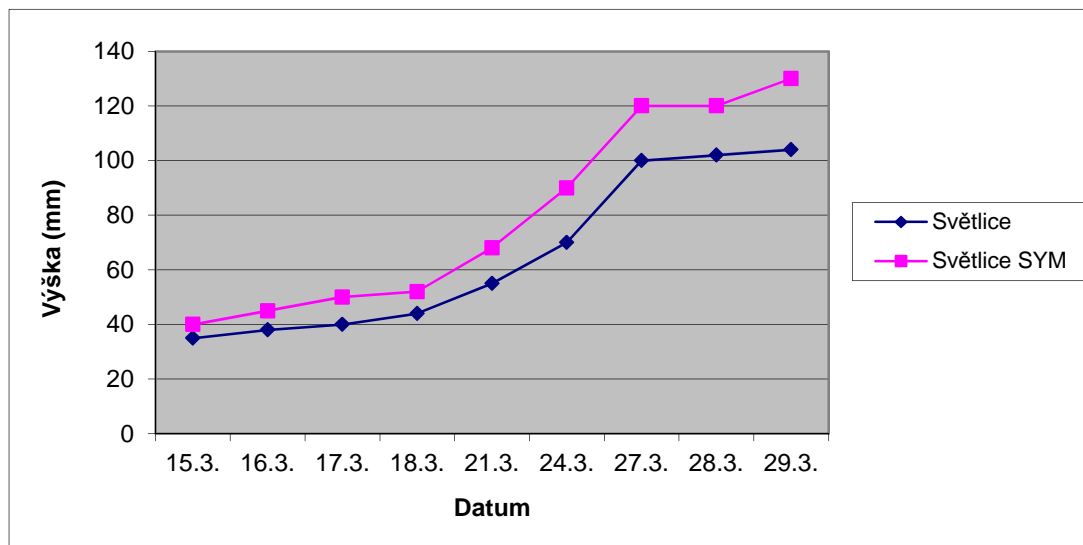
## 8. Výsledky

Co se týče chovu plzáků španělských, jako nejvhodnější metodika chovu se ukázal chov v dřevěných bedýnkách (viz Příloha 2). Jednotlivé druhy rostlin byly zasety ve stejný den ve druhé polovině února a pravidelně zalévány a pozorovány.

Co se týče ostrožky, ta vzcházela velmi pomalu. Po celou dobu pozorování v podstatě nevykazovala žádné přírůstky, až v poslední den pozorování byly konečně možné rostlinky změřit, i přesto se však jejich průměrný výška nepřehoupla přes 10 mm a to pouze v případě sady ošetřené Symbivitem. Nízký vzrůst ostrožky by mohl být vysvětlen delší dobou vzcházení ostrožky, oproti ostatním druhům rostlin.

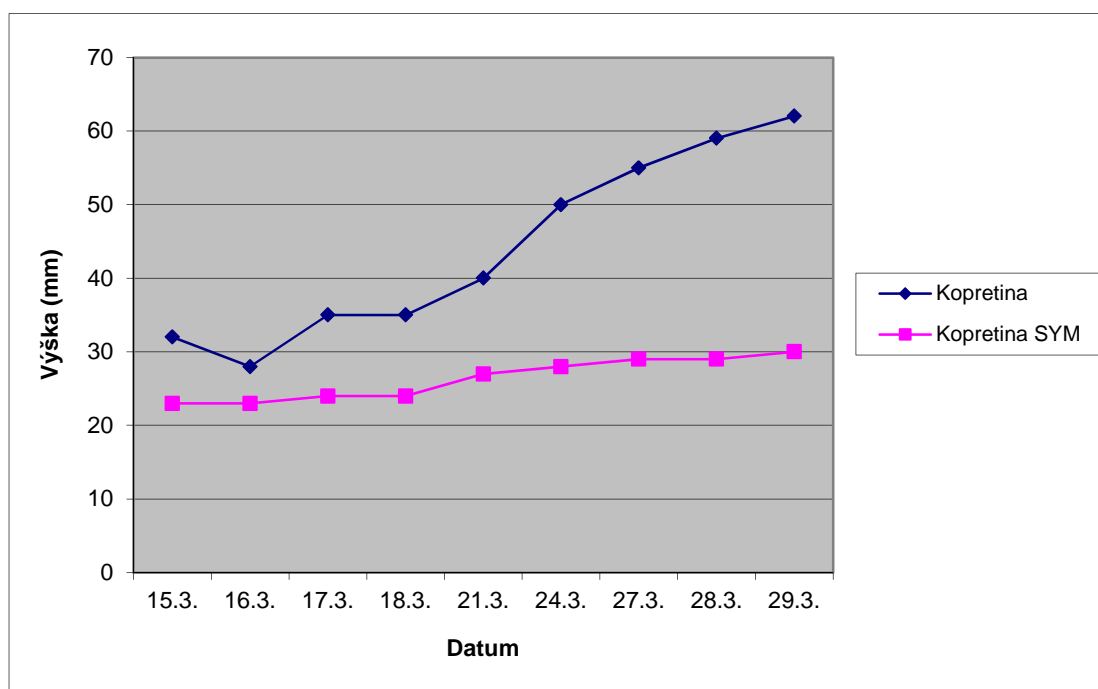
Co se týče světlice barvířské, z grafu (Graf 1) je pěkně vidět postupný růst, nicméně sada ošetřená Symbivitem vykazovala rozhodně intenzivnější růst. Průměrný přírůstek sady bez Symbivitu byl 7,4 mm, u sady ošetřené Symbivitem 10 mm. Světlice ošetřená Symbivitem měla podstatně větší listy než světlice neošetřená.

Graf 1: Růst světlice barvířské bez účinků Symbivitu a se Symbivitem



Oproti tomu kopretina bílá, vykazovala aktivnější růst bez přídavku Symbivitu, jak je vidět z dalšího grafu (Graf 2). Kopretina ošetřená Symbivitem dokonce neměla ani listy, zatímco kopretina Symbivitem neošetřená ano.

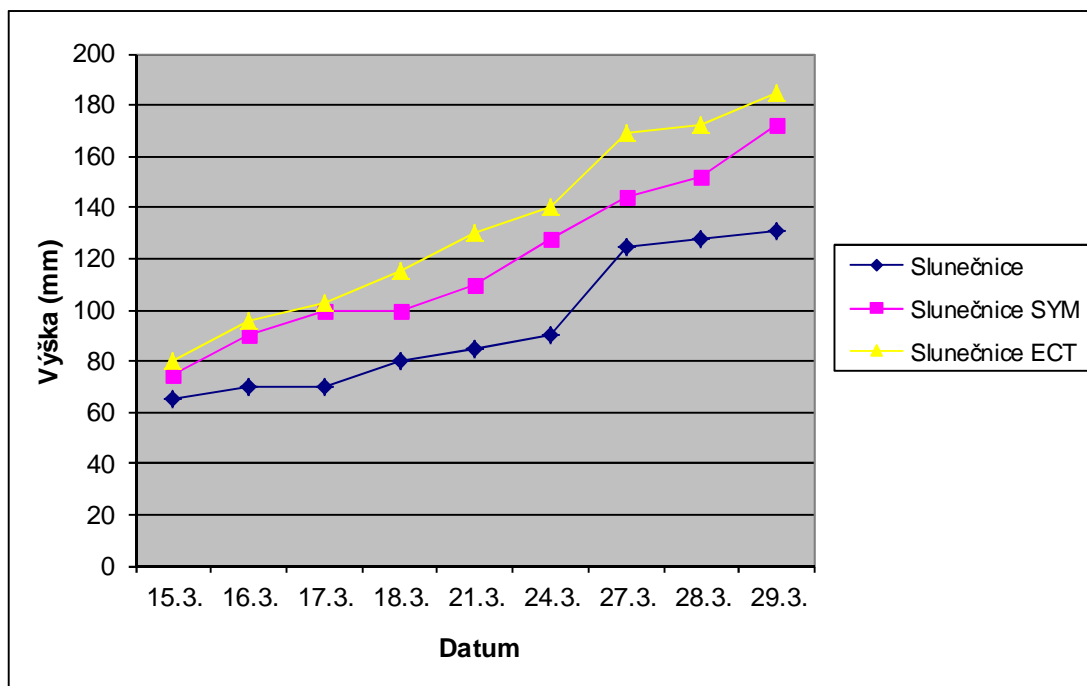
Graf 2: Růst kopretiny bíle bez účasti Symbivitu a v jeho přítomnosti



Velice zajímavé výsledky poskytla slunečnice roční, která byla vysazena do tří sadbovačů, v jednom bez mykorrhizního přípravku, do druhého sadbovače byl navíc přidán Symbivit a do třetího Ectovit, který je vhodný spíše pro jehličnaté a některé listnaté stromy. Jak je ovšem vidět z grafu (Graf 3), Ectovit byl pro intenzifikaci růstu rostliny lepší, předčil tedy i Symbivit, od kterého bychom očekávali, že bude pro rostlinu vhodnější. U všech jedinců slunečnice ošetřené Ectovitem se navíc vyskytly listy, zatímco u slunečnice ošetřené symbivitem pouze v 50 % případů. U slunečnice, která nebyla ošetřena žádným mykorrhizním přípravkem, se navíc objevily mšice.

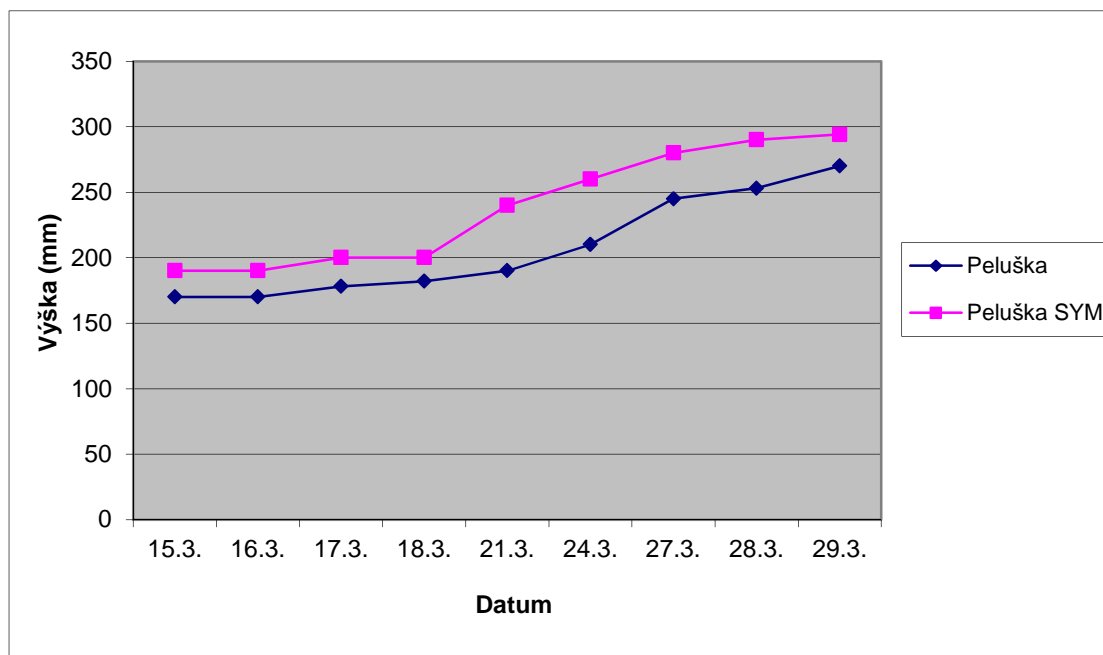
Hypotéza 3 tedy nebyla potvrzena. Průměrný přírůstek u rostlin bez mykorrhizních přípravků za období od 15. 3. do 28. 3. byl 7,3 mm. Průměrný přírůstek u rostlin ošetřených Symbivitem byl 10,7 mm a u rostlin ošetřených Ectovitem 11,6 mm.

Graf 3: Růst slunečnice roční bez účasti mykorrhizních přípravků a za přítomnosti Symbivitu a Ectovitu



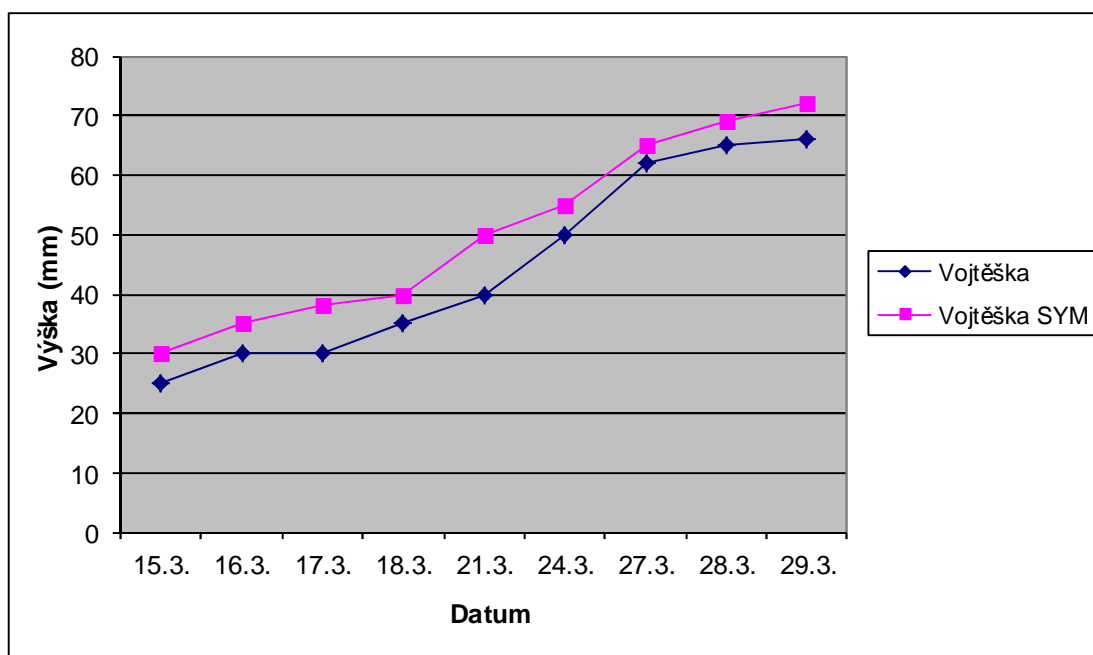
U pelušky byla také prokázána pozitivní aktivita mykorrhizního přípravku Symbivitu. Jak je vidět z grafu (Graf 4), peluška ošetřená Symbivitem dorostla do větší výšky, průměrný přírůstek byl 11,1 mm v sadě bez Symbivitu, v sadě ošetřené Symbivitem průměrný přírůstek dosáhl hodnoty 11,5 mm.

Graf 4: Růst pelušky bez a v přítomnosti Symbivitu



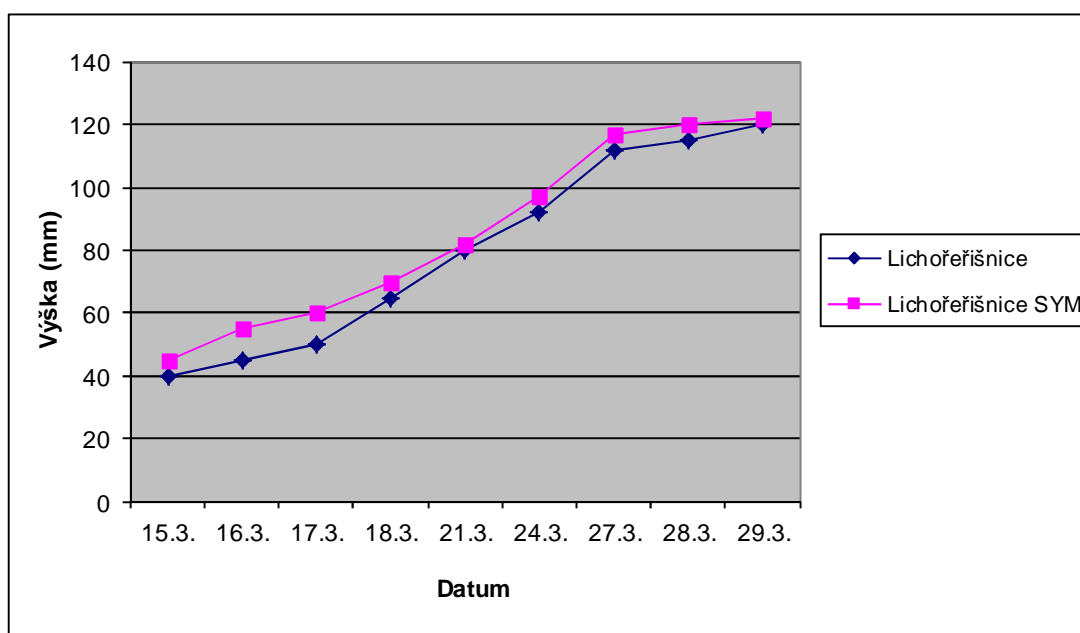
U vojtěšky byly průměrné přírůstky podstatně nižší než u předchozích druhů. V sadě bez Symbivitu byl průměrný přírůstek roven 4,11 mm, v sadě ošetřené Symbivitem 4,6 mm. Jak je ovšem patrné z grafu (Graf 5), rostliny v kombinaci s přípravkem vykazovaly vyšší vzrůst.

Graf 5: Růst vojtěšky bez účasti Symbivitu a v jeho přítomnosti



U lichořeřišnice byl také prokázán pozitivní vliv Symbivitu na růst. Průměrný přírůstek u rostlin sady bez Symbivitu byl 7,7 mm, u rostlin ošetřených Symbivitem byl průměrný přírůstek 8,5 mm. Jak je opět vidět z grafu (Graf 6), rostliny v kombinaci se Symbivitem dosahovaly větší výšky.

Graf 6: Růst lichořeřišnice bez Symbivitu a v jeho přítomnosti



## Diskuze

Rostliny ošetřené Symbivitem vypadaly na první pohled mnohem lépe, než rostliny mykorrhizním přípravkem neošetřené, čímž se potvrdil pozitivní vliv mykorrhizních hub na růst a vývoj rostlin. Téměř nulové výsledky ostrožky by mohly být vysvětleny tím, že pomaleji vzchází, a aby byl vliv mykorrhizních přípravků znatelný, bylo by potřeba více času.

Oproti tomu snížená aktivita růstu kopretiny bílé v přítomnosti Symbivitu mohla být způsobena nesprávnou skladbou mykorrhizních hub obsažených v Symbivitu. Kopretina bílá je totiž dle výsledků dalších výzkumů rostlinou vhodnou pro fytořemediace, konkrétně pro odstraňování těžkých kovů z půdy. V přítomnosti niklu a mědi byla pozorována zvýšená hustota kořenů kopretiny bílé<sup>115</sup>. Je tedy možné, že skladba mykorrhizních hub obsažených v Symbivitu není pro kopretinu vhodná, ale pokud bychom jí poskytli jiné mykorrhizní druhy, k mutualismu by dojít mohlo a následné fytořemediace by tím pádem mohly být intenzivnější.

Velmi zajímavé výsledky poskytla slunečnice roční, na kterou byl aplikován jak Symbivit, tak Ectovit, který je vhodný spíše pro jehličnaté stromy a některé druhy listnatých Ectovit jednoznačně zlepšil růst slunečnice a předčil i Symbivit, od kterého bychom očekávali, že bude pro rostlinu vhodnější. U všech jedinců slunečnice ošetřené Ectovitem se navíc vyskytly listy, zatímco u slunečnice ošetřené Symbivitem pouze v 50 % případů. U slunečnice, která nebyla ošetřena žádným mykorrhizním přípravkem, se objevily mšice, což se u ošetřených rostlin nevyskytovalo. Bylo by tedy vhodné dále zkoumat vlivy jednotlivých mykorrhizních přípravků a ještě více upřesnit seznam rostlin, pro které jsou přípravky určeny. Slunečnice rozhodně je rostlinou vhodnou pro fytořemediace<sup>116</sup>, dá se tedy očekávat, že v přítomnosti mykorrhizních přípravků by fytořemediace mohly být intenzivnější.

Peluška, vojtěška a světlíce se také dají využívat pro účely fytořemediací a v přítomnosti Symbivitu byl jejich růst intenzivnější.

---

<sup>115</sup> Ryser, Emerson (2007)

<sup>116</sup> V.U. Ultra (2007)

## Závěr

Cílem práce bylo ověření účinků Symbivitu jakožto mykorhizního přípravku a podrobně charakterizovat mykorhizu jako mutualistický vztah pomocí analýzy odborné literatury.

Rostliny ošetřené Symbivitem dorůstaly obecně do větších rozměrů než rostliny bez ošetření. Jedinou výjimkou byla kopretina bílá, které ošetření mykorhizním přípravkem neprospívalo. Stejně tak, Symbivit neměl u kopretiny žádný pozitivní vliv na rychlost růstu, kopretina neošetřená Symbivitem prospívala daleko lépe, ke konci sledování byl již stav kopretiny Symbivitem ošetřené velmi špatný. U ostatních druhů rostlin byl zaznamenán intenzivnější růst. Hypotéza 1 a 2 tedy díky výsledkům kopretiny potvrzeny nebyly, hypotéza 4 naopak ano.

Snížená aktivita růstu kopretiny bílé v přítomnosti Symbivitu mohla být způsobena nesprávnou skladbou mykorhizních hub obsažených v Symbivitu. Kopretina bílá je totiž dle výsledků dalších výzkumů rostlinou vhodnou pro fytoremediace, konkrétně pro odstraňování těžkých kovů z půdy. V přítomnosti niklu a mědi byla pozorována zvýšená hustota kořenů kopretiny bílé. Je tedy možné, že skladba mykorhizních hub obsažených v Symbivitu není pro kopretinu vhodná, ale pokud bychom jí poskytli jiné mykorhizní druhy, k mutualismu by dojít mohlo a následné fytoremediace by tím pádem mohly být intenzivnější.

Velmi zajímavé výsledky poskytla slunečnice roční, na kterou byl aplikován jak Symbivit, tak Ectovit, který je vhodný spíše pro jehličnaté stromy a některé druhy listnatých. U všech druhů testovaných rostlin, kromě kopretiny a ostrožky byl potvrzen pozitivní vliv mykorhizních přípravků na jejich růst a vývoj. V podstatě mimo cíle diplomové práce byla také navržena metodika chovu plzáka španělského (*Arion lusitanicus*) jako potenciálně biotransformačního druhu, čehož by mohlo být využito v dalším výzkumu.



## Použitá literatura

Abdul, R. (2009): Implications of metal accumulation mechanisms to phytoremediation. *Environ Sci Pollut Res*, 16: 162-175

Agrogen. Vojtěška setá. [online] [cit. 10. 3. 2011] Dostupné na: <<http://www.agrogen.cz/inpage/vojteska-seta/>>

Albrechtová J. Užitečná mykorhiza. [Online] [31.1.2011] Dostupné na: <[www.enviweb.cz](http://www.enviweb.cz)>

Badalíková, B., Bartlová, J., Hrubý, J. (2009): Fytoremediační postupy s využitím netradičních plodin. (Phytoremedial proceeding with utilize of non-traditional crops). Uplatněná certifikovaná metodika 7/09 14 s. ISBN 978–80–86908–13–7

Balestrini et al. (1996): Differential localization of carbohydrate epitopes in plant cell walls in the presence and absence of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Physiology* 111: 203-213

Begon, M., Harper, J. L., Townsend, C. R. (1997): Ekologie. Jedinci, populace a společenstva, Vydavatelství Univerzity Palackého, Olomouc, s. 449

Blakely K. Julie et al (2002): Soil invertebrate and microbial communities, and decomposition as indicators of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination. *Applied Soil Ecology* 21: 71-8

Bohdal, J. Arion lusitanicus. Naturfoto. [online] [2006] [cit. 14. 3.2011] Dostupné na: <<http://www.naturfoto.cz/plzak-spanelsky-fotografie-1592.html>>

Botanická charakteristika a hospodářský význam luskovin. [online] [10. 3. 2011] Dostupné na: <<http://www.agromanual.cz/images/product/download/luskoviny-ukazka.pdf>>

Criquet et al. (2002): Anthracene and mycorrhiza affect the activity of oxidoreductases in the roots and the rhizosphere of lucerne (*Medicago sativa* L.). *Biotechnology Letters* 22: 1733-1737,

Díaz, E. (2004): Bacterial degradation of aromatic pollutants: a paradigm of metabolit versatility. *International Microbiology* 7: 173-180

Dumas-Gadot et al.(2000): Modulation of host defense systems. In: Doude D., Kapulnik Y., eds. *Arbuscular mycorrhizas:molecular biology and physiology*. Dordrecht: Kluwey.

Dvořák, L. (2005): Gastropods in subterranean shelters of the Czech Republic. *Malacologica Bohemoslovaca* , 4: 10-16. 7. s

Gall, J. Slimáci a nový škůdce – plzák španělský[online] [22. 3. 2006] [cit. 10. 3. 2011]. Dostupné na: <<http://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/skudci/slimaci-a-novy-skudce-plzak-spanelsky-1.html>>

Gaur and Adholeys (2004): Prospects of arbuskular mycorrhizal fungi in phytoremediation of heavy metal contaminated soils. 7 s. *Current Science*, Vol. 86, No. 4.

Giovannetti, M. (2001): Survival strategies in arbuscular mycorrhizal symbionts. In: Seckbach J.,ed. *Symbiosis*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 293-307 pp.

Guttenberger, M. (2000): Arbuscules of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi inhabit an acidit compartment within plant roots. *Planta* 211: 299-304.

Gryndler, M., Baláž, M., Hřelová, H., Jansa, J., Vosátka, M. (2004): Mykorhizní symbiózy. Praha. Academia. 366 s.

Hall (2002): Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*. [Review]. 2002 Jan; 53 (366): 1-11

Harley and Halley (1987): A checklist of mycorrhiza in the British Flora. *New Phytologist* 105: 1-102.

Harrison M. Roy (2001): *Pollution: Causes, Effects and Control*, Fourth Edition. The Royal Society of Chemistry, UK

Herbář Wendys. Tolice setá. [online] [cit. 10. 3. 2011] Dostupné na:  
<<http://botanika.wendys.cz/kytky/K570.php>>

Horsák M. (2010): Komentovaný seznam měkkýšů zjištěných ve volné přírodě České a Slovenské republiky. *Malacologica Bohemoslovaca*, Suppl. 1: 1-37.

Joner & Leyval (2001): Influence of arbuscular mycorrhiza on clover and ryegrass grown together in a soil spiked with polycyclic aromatic hydrocarbons. *Mycorrhiza* 10: 155–159

Keomany Ker (2010): Nikel remediation by AM-colonized sunflower. *Mykorrhiza* 20: 399-406. Springer.

Kocián, P. Světlice barvířská [online] [2008] [cit. 10. 3. 2011] Dostupné na:  
<<http://www.kvetenacr.cz/detail.asp?IDdetail=704>>

Krpeš, V., Kincl, M. (2006): *Základy fyziologie rostlin*, Tiskárna Baloušek, Ostrava 2006

Kučerová, P., Macková, M., Macek, T. (1999): Perspektivy fytořemediace při odstraňování organických polutantů a xenobiotik z životního prostředí. 8 s.

Kyjovská, Z. (2007): Role mykorhizní symbiozy v minerální výživě a kompetičních vztazích temperátních terestrických orchidejí, s. 3

Leake, J. R. (1994): The biology of myco-heterotrophic (‘saprophytic’) plants. Tansley review No. 69. *New Phytologist* 127. p. 171-216.

Macková, M., Macek, T. (2005): Využití rostlin k eliminaci xenobiotik z životního prostředí, s. 5

Mañas, M. Plzák španělský [online] [2006] [cit. 10. 3. 2011] Dostupné na:  
<<http://www.biolib.cz/cz/taxon/id2898/>>

Marinus, L. Jakob, O. and D. Constructed wetlands for phytoremediation. Phytoremediation, rhizoremediation. Focus on Biotechnology. Volume 9A. Springer, 2006

McKendrick et al. (2002): The Effects of Herbivory and Vegetation on Laboratory-Raised *Dactylorhiza-Praetermissa* (Orchidaceae) Planted Into Grassland in Southern England. *Biological Conservation*.

Nasepole.sk. Peluška ozimá – nový fenomén ornej pode. [online] [31. 8. 2007] [cit. 10.3.2011] Dostupné na <<http://www.asz.cz/cs/zpravy-z-tisku/roslinna-vyroba-puda/peluska-ozimna-novy-fenomen-na-ornej-p-de.html>>

NATO Advanced Reserch Workshop, Kulakow Peter A. Application of phytotechnologies for cleanup of industrial, agricultural and wastewater contamination. Springer In cooperation with NATO PublicDiplomacy Division c2010

Osobová, M., Sácký, J., Kotrba, P. (2010): Role hub v geobiochemických cyklech kovů a implikace pro fytoremediace. *Listy cukrovarnické a řepařské*, s. 404

Rasmussen, H. N. (1995): *Terrestrial orchids from seed to mycotrophic plant*. Cambridge, Cambridge University Press.

Robertson et al. (2007): Petroleum hydrocarbon contamination in boreal forest soils: a mycorrhizal ecosystems perspective. *Biological Reviews* 82: 213–240

Ryser, P. Emerson, P. (2007): Growth, root and leaf structure, and biomass allocation in *Leucanthemum vulgare* Lam. (Asteraceae) as influenced by heavy-metal-containing slag. *Plant and Soil* 301: 315-324.

Ryšlavá, E., Krejčík, Z., Macek, T. (2003): Study of PCB biodegradation in real contaminated soil. *Fresenius Environ Bull*, 12: 296-301

Saber N. E, Abdel-Moneim A. M, Barakat S. Y. (1999): Role of organic acids in sunflower tolerance to heavy metals. *Biol Planta* 42:65–73

Simon et al. (1993): Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature* 363, s. 67-69.

Slunečnice roční. [online] [cit. 10. 3. 2011] Dostupné na:<<http://www.slunecnice.cz/texty/slunecnice-rocni>>

Smith S. E. and D. J. Read. (1997): *Mycorrhizal Symbiosis* . Second Edition. Academic Press. 605 s.

Susarla, Medina, McCutcheon (2002): Phytoremediation. An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological engineering*, 18, s. 647-658

Symbiom. [online] [cit. 19.4.2011] Dostupné na: <[http://www.symbiom.cz/index.php?p=symbivit&site=default&set\\_menu=hobby](http://www.symbiom.cz/index.php?p=symbivit&site=default&set_menu=hobby)>

Turnau, K. (1996): Role of Arbuscular Mykorrhiza and Associated Microorganisms in phytoremediation of Heavy Metal- Polluted Sites. *Trace elements in the Environment. Biochemistry, Biotechnology and Bioremediation*

Ultra, V.U. et al (2007): Effect of arbuscular mykorrhiza and phosphorus application on arsenik toxicity in sunflowers (*Helianthus annuus*) and on the transformation of arsenik in the rhizosphere. *Plant Soil* (2007) 290:29-41

Veselá, M. (2009): Mykorhizní symbióza rostlin na stanovištích kontaminovaných PAH', Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 34 s.

Vohník, M. Mykorhiza [online] [14. 2. 2011] Dostupné na:

<<http://www.ibot.cas.cz/mykosym/mykorhiza.html>>

Wilson, S. C., Jones, K. C. Bioremediation of soil contaminated with polynuclear aromatic hydrocarbons (PAHs)(1993): A review. *Environmental pollution*, 1993, 81, s. 229- 249.

Lhotský, J. (1994): Kultivace a rekultivace pud. Výzkumný ústav meliorací a ochrany pudy, Praha.

Rezek, J., Wiesche, C., Mackova, M., Zadrazil, L., F. & Macek, T. (2008): The effect of ryegrass (*Lolium perenne*) on decrease of PAH content in long term contaminated soil. *Chemosphere* 70: 1603–1608

Verdin A. et al (2006): Effects of anthracene on development of an arbuscular mycorrhizal fungus and contribution of the symbiotic association to pollutant dissipation. *Mycorrhiza* 16: 397–405

Volante et al. (2005): Influence of three species of arbuscular mycorrhizal fungi on the persistence of aromatic hydrocarbons in contaminated substrates. *Mycorrhiza* 16: 43–50

## Seznam tabulek grafů

Tabulka: Tab. 1 Záznamová tabulka hmotnostních přírůstků plzáka španělského Vysvětlivky: SN – snůška, (-2) označuje počet uhynulých jedinců .....	47
Graf 1: Růst světlice barvířské bez účinků Symbivitu a se Symbivitem .....	50
Graf 2: Růst kopretiny bílé bez účasti Symbivitu a v jeho přítomnosti .....	51
Graf 3: Růst slunečnice roční bez účasti mykorhizních přípravků a za přítomnosti Symbivitu a Ectovitu .....	52
Graf 4: Růst pelušky bez a v přítomnosti Symbivitu .....	53
Graf 5: Růst vojtěšky bez účasti Symbivitu a v jeho přítomnosti .....	54
Graf 6: Růst lichořeřišnice bez Symbivitu a v jeho přítomnosti .....	54

## Seznam příloh

Příloha 1: Plzák španělský – snůška .....	i
Příloha 2: Plzák španělský – mladý jedinec .....	i
Příloha 3: Plzák španělský – dřevěný kontejner .....	ii
Příloha 4: Peluška bez Symbivitu .....	ii
Příloha 5: Peluška se Symbivitem .....	iii
Příloha 6: Světlice bez Symbivitu .....	iii
Příloha 7: Světlice se Symbivitem .....	iv
Příloha 8: Vojtěška bez Symbivitu .....	iv
Příloha 9: Vojtěška se Symbivitem .....	v

## Přílohy

Příloha 1: Plzák španělský – snůška



Příloha 2: Plzák španělský – mladý jedinec





Příloha 3: Plzák španělský – dřevěný kontejner



Příloha 4: Peluška bez Symbivitu



Příloha 5: Peluška se Symbivitem



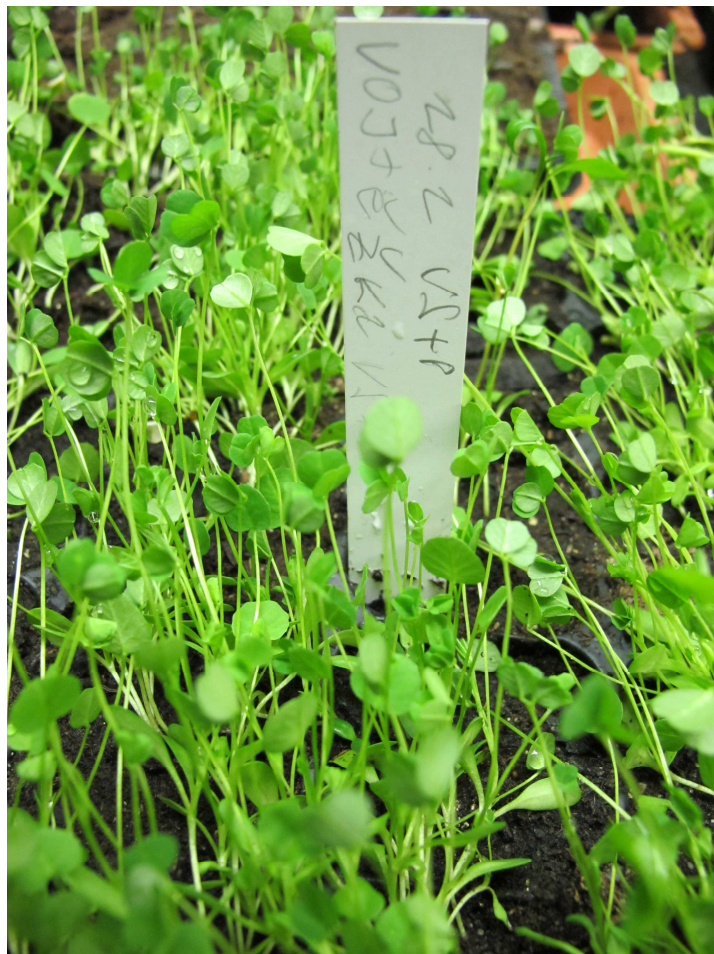
Příloha 6: Světlice bez Symbivitu



Příloha 7: Světlice se Symbivitem



Příloha 8: Vojtěška bez Symbivitu



Příloha 9: Vojtěška se Symbivitem

