

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



**Diplomová práce**

**PLASTICITA FUNKČNÍCH  
CHARAKTERISTIK (*TRAITS*)  
LUČNÍCH ROSTLIN**

**Tomáš Havlík**

**Školitelka: RNDr. Marie Šmilauerová, Ph.D.**

**České Budějovice**

**2010**

**Havlík T.** (2010): Plasticita funkčních charakteristik (*traits*) lučních rostlin. [Functional trait plasticity in grassland plant species.] Mgr. Thesis, in Czech - 77 pp., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

**Annotation:**

Plant functional traits (plant height, aboveground biomass, R/S ratio, specific leaf area, leaf dry matter content, specific root length and arbuscular mycorrhizal infection) were measured for several grassland plant species growing under different soil fertility conditions in a greenhouse and a field experiments. Traits' response to nutrient addition and the differences in traits among species and between forbs and grasses were studied. Results from the greenhouse and the field experiment were compared.

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, pouze s použitím citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě Přírodovědeckou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 5.1. 2010

.....

Tomáš Havlík

***"For everything there is a purpose - for every blade of grass  
and every leaf on every tree."***

Annie Lennox - Pavement cracks - album Bare

**Poděkování:**

Za výborné, trpělivé, starostlivé a spravedlivé vedení děkuji své školitelce Majce.

Za vždy okamžitou, ochotnou a nezištnou pomoc, konzultace a neopakovatelný humor děkuji Petru Šmilauerovi.

Blance Divišové a Majce děkuji za obrovské množství pomoci při náročném zakládání a zpracovávání skleníkového pokusu. Petrovi a Šuspovi za víkendy strávené nad mými daty při skvělém kurzu Praktikum mnohorozměrných metod.

Děkuji také RNDr. Svatavě Křivancové z ČHMU za poskytnutí klimatických dat pro České Budějovice za léto 2006 a Tomáši Hauerovi za pomoc s daty z data-loggeru.

Za trpělivost, obrovskou podporu a povzbuzování během celého studia děkuji svým rodičům.

Děkuji všem svým blízkým za povzbuzování, podporu a ochotu vyslechnout.

A několika přátelům za ty roky strávené v ČB.

*For those who care* ♥

1.	ÚVOD.....	1
1.1	Úvod do problematiky.....	1
1.2	Popis druhů.....	6
2.	MATERIÁL A METODY.....	12
2.1	Skleníkový pokus.....	12
2.1.1	Použité druhy a původ semen.....	12
2.1.2	Experimentální uspořádání.....	12
2.1.3	Pěstební substrát.....	12
2.1.4	Klíčení semen pro výsadby, výsadba.....	13
2.1.5	Hnojení pokusu.....	14
2.1.6	Odběry.....	14
2.1.7	Měřené funkční charakteristiky.....	15
2.2	Terénní pokus.....	16
2.2.1	Použité druhy.....	16
2.2.2	Popis lokality.....	16
2.2.3	Experimentální uspořádání pokusu.....	17
2.2.4	Hnojení pokusu.....	17
2.2.5	Odběr rostlin.....	17
2.2.6	Měřené funkční charakteristiky.....	18
2.3	Vybrané funkční charakteristiky.....	19
2.3.1	Výška rostliny.....	19
2.3.2	Nadzemní a podzemní biomasa.....	19
2.3.3	Poměr podzemní a nadzemní biomasy (R/S poměr).....	19
2.3.4	Specifická listová plocha.....	19
2.3.5	Obsah sušiny listu.....	20
2.3.6	Specifická délka kořenů.....	21
2.3.7	Arbuskulární mykorhiza.....	22
2.4	Statistické zpracování dat.....	23
3.	VÝSLEDKY.....	27
3.1	Výsledky skleníkového pokusu.....	27
3.1.1	Vliv pořadí odběru na sledované funkční charakteristiky.....	28
3.1.2	Rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy.....	31
3.1.3	Rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení.....	35
3.1.4	Vliv příslušnosti ke druhu a hnojení na arbuskulární mykorhizu (AM) rostlin ve 3. odběru skleníkového pokusu.....	38
3.1.5	Rozdíly mezi skupinami druhů (trávy/dvouděložné) ve skleníkovém pokusu.....	39
3.1.6	Rozdíly v arbuskulární mykorhize (AM) mezi skupinami ve 3. odběru skleníkového pokusu.....	42
3.2	Výsledky terénního pokusu.....	43
3.2.1	Rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy.....	43
3.2.2	Rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení.....	47
3.2.3	Rozdíly mezi skupinami druhů (trávy/dvouděložné) v terénním pokusu.....	50
3.3	Rozdíly ve funkčních charakteristikách LDMC a SLA v závislosti na typu pokusu.....	51
4.	DISKUZE.....	56
4.1	Srovnání naměřených hodnot funkčních charakteristik s publikovanými daty.....	56
4.2	Diskuze rozdílů mezi odběry skleníkového pokusu.....	59
4.3	Diskuze rozdílů mezi druhy.....	61
4.4	Diskuze rozdílů ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení.....	63
4.5	Diskuze rozdílů mezi skupinami.....	65
4.6	Diskuze porovnání výsledků skleníkového a terénního pokusu.....	66
5.	ZÁVĚRY.....	70
6.	LITERATURA.....	72
	PŘÍLOHY	

# 1. ÚVOD

## 1.1 Úvod do problematiky

Na rostlinách, ale i živočiších je možno měřit mnoho charakteristik či vlastností v angličtině nazývaných "*traits*" nebo také "*attributes*". Z definice je charakteristika "dobře definovaná charakteristika organismu obvykle měřená na individuu a používaná k porovnáním napříč druhy" (McGill *et al.*, 2006). Přesnější definici (pro rostliny) nabízejí Violle *et al.* (2007): "Charakteristika je jakýkoli morfologický, fyziologický nebo fenologický rys organismu měřený na individuu - od úrovně buňky k úrovni celého organismu bez odkazu k prostředí nebo jinému stupni organizace." Znamená to, že ke zjištění nebo změření konkrétní charakteristiky je zapotřebí pouze měřené individuum, nikoli informace o jeho prostředí nebo o vyšším stupni organizace - jeho populaci, společenstvu, ekosystému apod. (Violle *et al.*, 2007).

Pro rostliny jsou to charakteristiky tak triviální jako je např. výška rostliny, její nadzemní nebo podzemní biomasa, velikost listů i složitější jako např. obsah různých látek, poměry plochy a hmotnosti biomasy orgánů apod. - tedy různé číselně udané charakteristiky organismu, ze kterých je dále možno zjišťovat poměry, jejich korelace apod.

Dále je organismy možno třídit do skupin podle jejich charakteristik - tedy kategoriálně např. podle typu klonality, přítomnosti či nepřítomnosti charakteristik (např. odění) nebo například podle jejich odolnosti vůči mrazu či ohni a jiných environmentálních přízpůsobení (Cornelissen *et al.*, 2003a). Některé z těchto charakteristik jsou měřeny po staletí, jiné jsou relativně nové.

Ke zjištění těchto charakteristik slouží běžné nástroje až složitější techniky a přístroje. Objevuje se proto poněkud umělé rozdělení na tzv. snadné "*soft*" a složité "*hard*" charakteristiky (Hodgson *et al.*, 1999). Složité charakteristiky mají přímější ekologickou interpretaci. Dělení se děje na základě časové a finanční náročnosti měření charakteristik nebo dostupnosti vhodných přístrojů a složitosti metod. Tato náročnost brání změření složitých charakteristik u většího množství druhů a jedinců. Snadné charakteristiky mají sloužit jako náhrada a analogy složitých charakteristik, které se snadnými charakteristikami mohou být dobře korelovány. Relativní subjektivnost

a umělost a nejasnost tohoto rozdělení a ne vždy jednoznačnou korelaci snadných a složitých charakteristik vytykají Violle *et al.* (2007) a navrhují jej nepoužívat.

Znalost mnoha těchto charakteristik rostlin může být sama o sobě užitečná, ale užitečnějšími se charakteristiky stanou, když jsou spjaty s některou ekologickou funkcí. Definici funkční charakteristiky nabízí opět McGill *et al.* (2006): "Funkční charakteristika je taková, která silně ovlivňuje výkonnost organismu." Má být měřena na kontinuální škále v dobře definovaných jednotkách, měřena přímo a umožňující porovnání napříč organismy. Protože definice McGill *et al.* (2006) podle Violle *et al.* (2007) není dostatečná kvůli ostatnímu výskytu měření v literatuře, které s touto definicí nesouvisí, nabízejí přesnější definici funkční charakteristiky: "Funkční charakteristika je taková, která nepřímo ovlivňuje *fitness* organismu svým vlivem na růst, reprodukci a přežití." Ovlivnění *fitness* se má dít přes celkovou výkonnost rostliny, ta je ovlivněna jednotlivými funkčními charakteristikami.

Dle Cornelissen *et al.* (2003a) se funkční charakteristiky základně dělí na funkční charakteristiky vegetativní a regenerační. Vegetativní funkční charakteristiky týkající se vegetativních částí rostliny zahrnují funkční charakteristiky celé rostliny, listů, stonků a podzemních orgánů. Regenerační funkční charakteristiky zahrnují funkční charakteristiky spojené s pohlavní reprodukcí, především semeny.

Měření funkčních charakteristik rostlin slouží k mnoha účelům v biologických vědách, především v ekologii. V posledních desetiletích s příchodem funkční ekologie se využívá funkčních charakteristik rostlin k charakteristikám vegetace na všech škálách od globální, přes regionální až k lokální škále. Časté je jejich použití především pro porovnávání a hledání spjitostí, rozdílů a podobností jak v měřítku prostorovém (Díaz *et al.*, 1999), tak časovém např. v sukcesi a změně managementu (Díaz *et al.*, 1999, Lavorel *et al.*, 1999, Verheyen *et al.*, 2003). Použití funkčních charakteristik je na velké škále zvláště výhodné, jedná se o tak zvaný přístup založený na funkčních charakteristikách (*trait-based approach*) - definování vegetace na funkční typy pomocí sdílených funkčních charakteristik a jeho výhody převládají nad přístupem založeném na taxonomické (také "nomenklatorické", McGill, 2006) příbuznosti druhů (Lavorel *et al.*, 1997, Westoby & Leishman, 1997, Lavorel *et al.*, 1999, Weiher *et al.*, 1999, Gondard *et al.*, 2003, McGill, 2006) nebo nižších taxonomických jednotek.

Skupiny druhů definované přístupem založeném na základě funkčních charakteristik jako funkční typy sdílejí podobné funkční charakteristiky a tudíž i podobné fungování na úrovni jedince a podobnou funkci v ekosystému včetně odpovědi

na podmínky v ekosystému a jejich změny (Lavorel *et al.*, 1997, Cornelissen *et al.*, 2003a, Gondard *et al.*, 2003, Verheyen *et al.*, 2003, Wright *et al.*, 2005, Ackerley & Cornwell, 2007, Gross *et al.*, 2007, Pakeman *et al.*, 2009). V časovém měřítku je srovnávání změn funkčních skupin rostlin, rozdělených podle jejich funkčních charakteristik, interpretovatelnější než srovnávání více se měnícího druhového složení, které je na každé lokalitě potencionálně jiné.

Dalším krokem ve výzkumu funkčních charakteristik je hledání spojitostí, korelací a skupin funkčních charakteristik, které jsou interpretovatelné na úrovni klasifikace vegetace, jejich změn nebo její reakce na zásahy (např. kosení), environmentální podmínky a jejich změny (např. McIntyre *et al.*, 1999, Tjoelker *et al.*, 2005, Klimešová *et al.*, 2008, Kühner & Kleyer, 2008). Problémem je tyto funkční charakteristiky a jejich spojitosti správně identifikovat (McGill *et al.*, 2006) a nezdá se, že by existoval jeden vztah mezi funkčními charakteristikami, který by byl globální (Craine, 2001).

Pokusy popisované v této práci byly provedeny s cílem dozvědět se více o druzích, které rostou na lokalitě Zvíkov (viz kap. 2. 2. 2). V roce 2003 zde Petr a Marie Šmilauerovi založili pokus o následujícím uspořádání: v 10 úplně znáhodněných blocích, v každém se 4 čtverci o rozměrech 1x1 m jsou prováděny různé druhy zásahů. V jednom typu čtverců jsou manuálně odstraňovány všechny druhy trav a nemykorhizních rostlin, z dalšího typu čtverců jsou odstraňovány všechny dvouděložné druhy rostlin a rostliny nemykorhizní. Další jsou čtverce kontrolní, ze kterých jsou odstraňovány nemykorhizní rostliny a dále čtverce tzv. "referenční", ve kterých není prováděn žádný zásah.

Cíly pokusu je pozorovat změny vegetace po provedených zásazích, reakci jednotlivých funkčních skupin definovaných zde jako trávy a dvouděložné rostliny a jednotlivých druhů na odstranění komplementární funkční skupiny a vliv těchto zásahů na změny v kompetičních vztazích těchto skupin, v jejich vegetačním složení, dopady na jejich arbuskulární mykorhizu, posuny v dynamice živin, fenologii, ovlivnění klíčivosti semenáčků, ovlivnění vertikálního rozmístění podzemních orgánů jednotlivých funkčních skupin apod.

Od založení experimentu jsou monitorovány změny ve složení vegetace a nadzemní biomase, od roku 2009 také pomocí různých zásahů zkoumány další hypotézy. Plánované je sledování odezvy druhů a funkčních skupin v pokusu na pohnojení. Reakce vybraných druhů na pohnojení vyjádřená ve sledovaných funkčních charakteristikách byla sledována v této práci. Druhy, jejichž funkční charakteristiky byly měřeny v této práci jsou druhy,

kteřé přispívají majoritně svou biomasou ke složení rostlinné biomasy na zásahových čtvercích a na provedené zásahy zareagovaly změnou biomasy.

Pro odpovědi na otázky týkající se pokusů a cílů této práce byly vybrány k měření na rostlinném materiálu funkční charakteristiky, o kterých je známo z literatury, že mají ekologickou interpretovatelnost - že přímo souvisejí s výživou rostlin nebo kompeticí, které jsou také významným zájmem pokusů na lokalitě Zvíkov (traits - Cornelissen *et al.*, 2003a a další citace - Ackerly *et al.*, 2002). Jedná se o funkční charakteristiky, které jsou relativně jednoduše měřitelné na větší škále druhů.

Výška rostliny je funkční charakteristika asociovaná s kompetitivní silou rostliny (Westoby, 1998, Cornelissen *et al.*, 2003a). Rostliny z úživnějších stanovišť mají tendenci být vyšší a tedy úspěšnější v kompetici o světlo oproti ostatním druhům.

Specifická listová plocha (SLA) se stanoví jako podíl plochy listu a jeho suché hmotnosti. Tato funkční charakteristika a hodnoty, kterých nabývá poskytují představu o biomase investované do fotosynteticky aktivních pletiv a také bývá pozitivně korelovaná s relativní růstovou rychlostí (RGR) druhů. Vysoké hodnoty SLA mají listy tenké s menší hustotou listových pletiv, které zároveň mají kratší životnost a rychlejší metabolismus vztažený na jednotku biomasy. Naopak nízké hodnoty SLA mají rostliny vždyzelené s pomalejším metabolismem, ale účinnějším využitím živin a hospodařením s vodou a také listy s investicemi do obranných struktur (Cornelissen *et al.*, 2003a, Ackerly & Cornwell, 2007).

Obsah sušiny listu (LDMC) je podílem suché hmotnosti biomasy listu a hmotnosti jeho čerstvé biomasy (vodou saturované). Obsah sušiny listu negativně koreluje s relativní růstovou rychlostí a pozitivně koreluje s životností listu. Listy s vysokou hodnotou LDMC jsou tuhé a tedy (pravděpodobněji) odolnější k podmínkám prostředí. Druhy s nízkou hodnotou LDMC jsou častěji asociovány s produkčními a často narušovanými stanovišti. Vyšší hodnoty LDMC mají druhy v živinově chudších a sušších stanovištích (Cornelissen *et al.*, 2003a).

Specifická délka kořenů (SRL) se spočte jako podíl jemných absorpčních kořenů rostliny a jejich suché hmotnosti. SRL popisuje množství biomasy investované na jednotku délky kořenů, je podzemním analogem SLA. Rostliny s vysokými hodnotami SRL jsou schopné s malými investicemi do biomasy postavit dlouhé a jemné kořeny, které rostlině poskytují vyšší absorpční plochu a rychlejší a účinnější využití dostupných živin a vody, jsou méně trvanlivé (mají rychlejší obrat) a jsou s menší pravděpodobností asociovány s arbuskulárně mykorhizními houbami. Na druhé straně silnější kořeny, jejichž výstavba



je náročnější na investice do biomasy, lépe pronikají do půdy, lépe snášejí sucha a vykazují vyšší míru transportu vody v kořeni (Cornelissen *et al.*, 2003a). Rostliny rostoucí v podmínkách s vyšší dostupností živin mají sklon tvořit kořeny s vyššími hodnotami SRL než rostliny z méně úživných stanovišť (Shippers & Olf, 2000).

Asociace rostlin s arbuskulárními mykorhizními houbami (AM) ovlivňuje zásobení rostlin živinami, především se prokázala účinnou při získávání fosforu rostlinami, ale také dusíku a jiných látek. Vztah jednotlivých druhů rostlin s AM houbami je různý v závislosti na druhu rostliny, ontogenetickém stupni vývoje, lokálních podmínkách a roční době (Titus & Lepš, 2000, Gryndler *et al.*, 2004, Lokvencová, 2007). Tyto vztahy se liší také u funkčních skupin rostlin. Dvouděložné rostliny jsou obvykle více závislé na AM houbách a mají tedy kořeny více kolonizované než travní druhy (Wilson & Harnett, 1998). Některé druhy nebo (taxonomické) skupiny rostlin AM vztahy tvoří velmi omezeně nebo vůbec. V živinami dobře zásobených místech, především s dobrou dostupností fosforu se snižuje závislost rostlin na vztazích s AM houbami a ty mají tedy míru kolonizace kořenů nižší (Gryndler *et al.*, 2004).

Nadzemní biomasa je silně ovlivňována podmínkami prostředí (množství dostupných živin, kompetice apod.). Rostliny z míst dobře zásobených živinami mají vyšší nadzemní biomasu. Tato charakteristika je také korelována s jinými funkčními charakteristikami, například pozitivně s výškou. Poměr R/S je podílem hmotnosti kořenů a nadzemní biomasy. Při hodnotách větších než 1 investuje rostlina více do tvorby podzemních orgánů určených k vyhledávání živin a jejich uskladňování a k šíření pomocí podzemních vegetativních orgánů. Hodnoty nižší než 1 znamenají větší investice rostliny do nadzemní biomasy zajišťující fotosyntézu, vegetativní i pohlavní rozmnožování. Tento poměr se mění jak v závislosti na nabídce živin, tak v ontogenezi rostliny (Grime, 2001).

U popsanych charakteristik byly pozorovány změny v reakci na hnojení nebo jiný zásah na úrovni společenstev, lokalit nebo gradientů (např. Shippers & Olf, 2000, Craine *et al.*, 2001, Ackerly & Cornwell, 2007, Gross *et al.*, 2007, Violle *et al.*, 2009).

Ve své práci jsem si položil tyto otázky:

- Jak se liší vybrané funkční charakteristiky sledovaných druhů?
- Jak se mění tyto funkční charakteristiky v průběhu ontogeneze u semenáčků pěstovaných ve skleníkovém pokusu?
- Jak se liší funkční charakteristiky hnojených a nehnojených rostlin?
- Jak se funkční charakteristiky liší mezi sledovanými dvouděložnými a trávními druhy?
- Jak se liší funkční charakteristiky naměřené na stejných druzích rostlin (u hnojených a nehnojených jedinců) ve skleníkovém pokusu a v terénu?

## 1. 2 Popis druhů

Informace k popisu druhů jsem čerpal z následujících zdrojů: Grime *et al.* (1987), Dostál (1950, 1989), Slavík (1995, 2000), Slavík & Štěpánková (2004), Kubát *et al.* (2002). Nomenklatura druhů je podle Kubát *et al.* (2002). V dostupné literatuře a v internetových databázích jsem vyhledal známé hodnoty některých funkčních charakteristik pro druhy, které jsem měřil v této práci, a uvádím je za popisem druhů s citacemi zdrojů. Pokud byly specifikovány podmínky měření, uvádím je také. Dále jsou uvedeny hodnoty funkčních charakteristik druhů naměřené na lokalitě Zvíkov v roce 2005 v rámci mé bakalářské práce (Havlík, 2007).

### *Anthoxanthum odoratum*

Trsnatá tráva s početnými nekvetoucími růžicemi, s četnými přímými, (10)-20-50-(100) cm dlouhými hladkými stébly. Čepel listu přímá, 2-10-(30) cm dlouhá, 2-6 mm široká, jazýček až 4 mm, lysá až hustě chlupatá. Klas - lata, 2 - 8 cm dlouhá, hustá, stažená. Je to nejčasněji kvetoucí běžná tráva na pastvinách. Kvete od dubna do června (-července), semena uzrávají od června do srpna. Hojná na loukách, pastvinách, ve světlých lesích, na mezích. Preferuje vlhké, v létě vysychavé nevápenné, neutrální až kyselé, humózní, rašelinné i písčitohlinité půdy.

### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Anthoxanthum odoratum*

**Specifická listová plocha** (dále jen **SLA**): 27363 - 42803 mm<sup>2</sup>/g (průměrně 32555 mm<sup>2</sup>/g) (Knevel *et al.*, 2003); 28000 ± 7000 mm<sup>2</sup>/g (Al Haj Khaled *et al.*, 2005), Schippers & Olf (2000) udávají 17000 - 20000 mm<sup>2</sup>/g pro rostliny ze skleníkového pokusu; 27957 ± 914 mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**Obsah sušiny listu** (dále jen **LDMC**): 209,23 - 464,43 mg/g (průměrně 273,17 mg/g) (Knevel *et al.*, 2003), 223 ± 41 mg/kg (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); 247,68 ± 6,27 mg/g (Havlík, 2007).

**Specifická délka kořenů** (dále jen **SRL**): Fransen *et al.* (1999) stanovili následující hodnoty ze 3 kořenů rostlin pěstovaných ve skleníkovém pokusu 208 ± 14 m/g - bez přidání živin, 244 ± 15 m/g - se živinami; Schippers & Olf (2000) udávají 231 - 246 m/g pro rostliny ze skleníkového pokusu; 224,09 ± 11,14 m/g (Havlík, 2007).

### ***Holcus lanatus***

Hustě trsnatá šedozelená 30-100 cm vysoká travina. Pochvy listů pýřité až měkce chlupaté, čepele ploché, 4 - 8 mm široké, tence chlupaté, měkké, jazýček 2 mm dlouhý, dřipený. Lata vejčitá, zakvětu rozložená, posléze stažená, až 15 cm dlouhá. Na vlhčích loukách, travnatých svazích, lesních okrajích, pasekách, dosti hojný.

### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Holcus lanatus*

**SLA**: 33000 ± 5000 mm<sup>2</sup>/g (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); 33360 mm<sup>2</sup>/g ve směsi, 24330 mm<sup>2</sup>/g v monokultuře (Wacker *et al.*, 2009).

**LDMC**: 198 ± 23 mg/kg (Al Haj Khaled *et al.*, 2005).

### ***Avenula pubescens***

Vytrvalá, volně trsnatá travina, 30 - 70 cm vysoká, se vzpřímenými, hustě měkce chlupatými čepelemi 10 - 30 cm dlouhými, 2-6 mm širokými. Stéblo 30-110 cm vysoké, hladké. Pochvy uzavřené, krátce chlupaté, jazýček uťatý 0,5 - 1 mm dlouhý. Kvete od června do července. Dostí hojný druh rostoucí na loukách, křovinatých stráních, lesních světlinách. Půdy vlhké, v létě sušší, středně živné se zásaditou až kyselou reakcí, písčitohlinité.

### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Avenula pubescens*

**SLA:** 21808 mm<sup>2</sup>/mg (Knevel *et al.*, 2003), 21000 ± 4000 mm<sup>2</sup>/g (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); 13339 ± 623 mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**LDMC:** 250 ± 38 mg/kg (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); 344,68 ± 9,14 mg/g (Havlík, 2007).

**SRL:** 52,33 ± 3,06 m/g (Havlík, 2007).

### ***Alopecurus pratensis***

Vytrvalá, krátce výběžkatá travina. Stéblo s květenstvím je 30-80(-120) cm vysoké, nevětvené, lysé. Kvete od dubna do června, semena dozrávají v červnu a červenci. Květenstvím je válcovitý hustý lichoklas. Listová čepel plochá, dlouhá 6 - 40 cm, 3-8(-20) mm široká, z obou stran lysá, drsná. Jazyček blanitý, 1 - 2,5 mm dlouhý. Listové pochvy jsou jemně rýhované, hladké a lysé. Vyskytuje se na vlhčích loukách, pastvinách, březích vod, na pustých místech. Preferuje půdy vlhké, propustné, živné, neutrálních až kyselé, humózních, písčité nebo hlinité, někdy zasolené. Jedná se o na jaře rychle rostoucí druh, po *Anthoxanthum odoratum* je to druhý nejčasněji kvetoucí z běžných druhů trav.

### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Alopecurus pratensis*

**SLA:** 21883 mm<sup>2</sup>/g (Knevel *et al.*, 2003), 31240 mm<sup>2</sup>/g - ve směsi, v monokultuře 26550 mm<sup>2</sup>/g (Wacker *et al.*, 2009); 21733 ± 991 mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**LDMC:** 424,4 - 491,7 mg/g (průměrně 455,9 mg/g) pro listy bez rehydratace (Knevel *et al.*, 2003); 278,68 ± 6,34 mg/g (Havlík, 2007).

**SRL:** 133,36 ± 11,13 m/g (Havlík, 2007).

### ***Centaurea jacea***

Vytrvalá bylina s tlustým tuhým větvenitým kořenem a obvykle větvenou kořenovou hlavou. Lodyhy (30)-50-110 cm dlouhé jsou na bázi vystoupavé až přímé, olistěné. Přízemní listy v nebohaté růžici, za květu často odumřelé. Listy drsné, pýřité nebo tence přitiskle pavučinatě chlupaté a olysávající. Lodyžní listy celistvé nebo peřenolaločné. Úbory 4 - 4,5 cm v průměru, světle až sytě růžovofialové. Roste na suchých i vlhčích loukách, pastvinách, lesních lemech, pasekách, ruderalizovaných trávnících. Je světlomilná

a dobře snáší přesušení pravidelné obhospodařování luk a pastvin. Roste na půdách středně až čerstvě vlhkých, nejčastěji hlinitých, živinami bohatých, slabě kyselých.

#### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Centaurea jacea*

**SLA:** 21320 mm<sup>2</sup>/kg ve směsi, 24640 mm<sup>2</sup>/g v monokultuře (Wacker *et al.*, 2009).

### ***Plantago lanceolata***

Vytrvalá trsnatá bylina s krátkým, často větveným oddenkem a zpravidla s několika přízemními růžicemi. Kořeny tenké, četné, nepřesahující 1 mm v průměru. Listy přízemní růžice vystoupavé až vzpřímené, čepel kopinatá, (2-)5-15(-30) cm dlouhá, 0,5-2,0(-4,5) cm široká, na vrcholu špičatá, celokrajná, někdy mělce zubatá, olysá až hustě chlupatá, do velikosti 6000 mm<sup>2</sup>. Stvolý přímé, 3-7(-15) na jedné rostlině, až 30(-70) cm vysoké. Kvete od dubna do srpna, klasy jsou husté, válcovité, mnohdy až kulovité. Plodem tmavě hnědá 1 - 2 semenná tobolek. Tento druh je jeden z nejhojnějších v naší květeně. Roste v travnatých porostech, na loukách, mezích, pastvinách, výslunných stráních, trávnicích, ruderálních stanovištích, podél komunikací, v lomech, zahradách, parcích, na slaných půdách, jako polní plevel apod. Dává přednost vlhčím, hlubším, hlinitým až hlinitopísčítým půdám, ale najdeme jej i na mělkých, písčítých, kamenitohlinitých až štěrkovitých půdách převážně zásadité reakce. Přestože mnoho kořenů je mělkých, některé kořeny hluboce a jsou zodpovědné za odolnost vůči suchu v suchých trávnicích a na severně orientovaných svazích.

#### Známé hodnoty funkčních charakteristik *Plantago lanceolata*

**SLA:** průměrně 19173 mm<sup>2</sup>/g (Knevel *et al.*, 2003), 20000 ± 4000 mm<sup>2</sup>/g (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); Schippers & Olf (2000) uvádějí v datech ze skleníkového pokusu rozmezí 13000 - 19000 mm<sup>2</sup>/g, vyšší hodnoty pro hnojené rostliny, do tohoto rozmezí spadají i data Heinemeyer & Fitter (2004) pro experiment při teplotě 20 °C; Wacker *et al.* (2009) udávají 20160 mm<sup>2</sup>/g pro druh pěstovaný ve směsi a 22060 mm<sup>2</sup>/g v monokultuře; Janeček (nepublikovaná data) uvádí průměrně 24785 mm<sup>2</sup>/g pro rostliny z nekosené lokality a průměrně 22255 mm<sup>2</sup>/g pro rostliny kosené; 18237 ± 854 mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**LDMC:** 100,4 - 124,8 mg/g (průměrně 123,3 mg/g) (Knevel *et al.*, 2003), 156 ± 25 mg/kg (Al Haj Khaled *et al.*, 2005); Janeček (nepublikovaná data) udává pro nekosenou část

louky 183,3 - 506,1 mg/g (průměrně 297,8 mg/g), v kosené části louky 153,6 - 341,7 mg/g (průměrně 231,1 mg/g);  $167,81 \pm 5,78$  mg/g (Havlík, 2007).

**SRL:** Schippers & Olf (2000) 73 - 114 m/g (vyšší hodnoty SRL při nízké hladině živin ve skleníkovém pokusu); Hodge (2003) 170 m/g v monokultuře a 162 m/g ve směsi s *Lolium perenne*; Heinemeyer & Fitter (2004) 90,8 m/g v experimentu při teplotě 20 °C;  $98,56 \pm 5,50$  m/g (Havlík, 2007).

### ***Veronica chamaedrys***

Vytrvalá bylina (10-)15-30(-40) cm vysoká, která má oblou plazivou lodyhu. Lodyha je přímá, jen na bázi vystoupává se dvěma řadami dlouhých odstálých chlupů, obvykle s ojedinelými chlupy i na ploše mezi nimi. Listy jsou tmavě zelené, obvykle menší než 500 mm<sup>2</sup>, vstřícné, přisedlé nebo krátce řapíkaté s řapíkem dlouhým 1 - 3 mm, široce vejčité, často poloobjímavé, na líci roztroušeně dosti dlouze chlupaté, na rubu s delšími chlupy zejména na žilkách a při okraji. Kvete od dubna do července, květy jsou uspořádány v postranních hroznech. Plodem je v obrysu obsrdčitá tobolka, semena myrmekochorní. Oddenek je plazivý, horizontální, okrový až hnědý, s krátkými tenkými podzemními i nadzemními výběžky. Druh je mělce kořenící. V nízké vegetaci rostou stolony přitisklé k povrchu země a koření podél většiny své délky, ve vyšší vegetaci vykazuje vzpřímenější růstovou formu. Druh je velmi hojný na loukách, pastvinách, mezích, ve světlých listnatých i smíšených lesích. Roste na vlhkých až vysychavých, živinami bohatých, humózních, hlinitých, písčitých i štěrkovitých půdách s bazickou až mírně kyselou reakcí.

#### Znamé hodnoty funkčních charakteristik *Veronica chamaedrys*

**SLA:** 29044 mm<sup>2</sup>/g (Knevel *et al.*, 2003);  $24862 \pm 1248$  mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**LDMC:** v rozmezí 185,2 - 274,8 mg/g (průměrně 227,9 mg/g) (Knevel *et al.*, 2003);  $247,52 \pm 9,51$  mg/g (Havlík, 2007).

**SRL:**  $174,07 \pm 13,41$ m/g (Havlík, 2007).

## *Sanguisorba officinalis*

Vytrvalá 30 - 120 cm vysoká, lysá bylina se zdřevnatělým monopodiálním oddenkem. Oddenek je horizontální, často velmi dlouhý, asi 1 cm tlustý, tmavě hnědé barvy s několika mm tlustými, svislými, tmavě hnědými kořeny, odumřelými bázemi řapíků a lodyh a s přízemní růžicí listů. Lodyha přímá, jemně rýhovaná až oblá, dutá, v horní části zpravidla větvená. Listy lichozpeřené, o 4 - 7 jařmech, nejhořejší lodyžní jen (1-)2-3jařmé, na líci tmavě zelené, na rubu sivozelené, s vyniklou síťovitou žilnatinou, přízemní s dlouhým řapíkem na bázi pochvovitě rozšířeným, lodyžní s 2 nesouměrnými palisty, lístky 10-60 mm dlouhé (u přízemních listů větší), obvykle kopinaté až vejčité, kratčeji řapíkaté. Květenství je hustý, od vrcholu rozkvétající klas, plodem češule, za zralosti suché, zdřevnatělé s 1 hnědou, hladkou nažkou. Tento světломilný druh je hojný na svěžích a vlhkých loukách a pastvinách, ve vyšších polohách v travinných porostech, podél komunikací. Roste na půdách hlubokých, střídavě vlhkých, vlhkých nebo mírně kyselých, spíše chudších na dusík.

### Znamé hodnoty funkčních charakteristik *Sanguisorba officinalis*

**SLA:** 15584 mm<sup>2</sup>/g (Knevel *et al.*, 2003); Janeček (nepublikovaná data) udává pro rostliny hnojené rostoucí v přirozených podmínkách 23247 - 41637 mm<sup>2</sup>/g (průměrně 31135 mm<sup>2</sup>/g), v kosené části louky 20539 - 37727 mm<sup>2</sup>/g (průměrně 27880 mm<sup>2</sup>/g), v nekosené části louky 23135 - 35323 mm<sup>2</sup>/g (průměrně 27899 mm<sup>2</sup>/g); 13150 ± 804 mm<sup>2</sup>/g (Havlík, 2007).

**LDMC:** v hnojené části louky 190,89 - 372,75 mg/g (průměrně 318,5 mg/g), v kosené části louky 260,58 - 457,60 mg/g (průměrně 348,87 mg/g), v nekosené části louky 313,42 - 444,45 mg/g (průměrně 375,37 mg/g) (Janeček, nepublikovaná data); 343,40 ± 13,90 mg/g (Havlík, 2007).

## 2. MATERIÁL A METODY

### 2. 1 Skleníkový pokus

Na jaře roku 2006 byl založen pokus ve skleníku Biologického centra AV ČR v Českých Budějovicích v ulici Na sádkách. Jde o skleník bez regulace teploty, vzdušné vlhkosti a světla.

#### 2. 1. 1 Použité druhy a původ semen

Semena druhů pěstovaných v pokusu pocházela ze dvou zdrojů: z lokality Zvíkov a od firmy Planta naturalis, Markvartice u Sobotky. Semena zakoupená u firmy Planta naturalis jsem použil pouze v případě, kdy jsem neměl dostatek klíčivých semen odebraných na lokalitě Zvíkov.

V pokusu jsem pracoval s následujícími druhy:

*Centaurea jacea* (Zvíkov), *Plantago lanceolata* (Zvíkov), *Sanguisorba officinalis* (Zvíkov), *Veronica chamaedrys* (Planta naturalis), *Anthoxanthum odoratum* (Planta naturalis), *Avenula pubescens* (Planta naturalis), *Holcus lanatus* (Zvíkov).

#### 2. 1. 2 Experimentální uspořádání

Pokus jsem založil v sedmi opakováních (na sedmi stolech). Na každém stole bylo 42 květináčů: 7 druhů po 6 jedincích (dva na každý odběr, jeden hnojený a jeden kontrolní). Uspořádání květináčů na stolech bylo úplně znáhodněno pro druh, hnojení i pořadí odběru (viz Příloha I).

#### 2. 1. 3 Pěstební substrát

Aby se v substrátu nacházely přirozené složky půdy (edafon včetně spor mykorhizních hub, živiny) a aby výsledky byly porovnatelné s daty z pokusné lokality, vysadil jsem rostliny do směsi luční půdy a písku v poměru 1:5. Směsný poměr byl vyzkoušen předem



a ze dvou variant (1:3 a 1:5) zvolena ta, při níž kontrolní rostliny měly množství živin umožňující počáteční růst a zároveň semenáčky ve hnojené variantě netrpěly nadbytkem živin.

Luční půda byla přivezena z lokality Zvíkov, kde byl 25. 5. 2006 odebrán blok půdy o rozměrech 1 x 0,5 x 0,2 m i s vegetací. Blok byl vybrán tak, aby se na něm vyskytovaly i druhy rostlin pěstované v pokusu, a odvezen z lokality v igelitovém pytli. Ve dnech 26. a 27. 5. 2006 byla luční půda důkladně zhomogenizována – byla odstraněna nadzemní vegetace a oddenky, a půda s kořeny byla důkladně ručně promíchána a rozmělněna, delší kořeny byly nastříhány nůžkami. Půdu jsem po částech důkladně promíchal s pískem (suchdolským plaveným říčním, firma Palstav České Budějovice) v poměru 1:5 a plnil jí květináče (o objemu 1,5 l) asi 1 cm pod okraj. Po naplnění jsem substrát zvlhčil a květináče překryl obrácenou podmiskou, aby substrát neproschl a edafické složky půdy neuhynuly.

Celý pokus byl shora i ze stran chráněn před přílišným osluněním a ptáky bílou netkanou textilí. Teplota vzduchu byla zaznamenávána data-loggerem M4016 (firmy Fiedler-Mágr, České Budějovice) po většinu doby trvání pokusu. Porovnání průměrných denních teplot uvnitř skleníku během trvání pokusu a průměrných teplot venkovních z meteorologické stanice v Rožnově (městské části Českých Budějovic) ukazují grafy v Příloze II.

#### **2. 1. 4 Klíčení semen pro výsadby, výsadba**

Před vlastním založením pokusu jsem provedl test klíčení, abych zhruba odhadl potřebný počet vysetých semen a dobu nutnou pro vyklíčení jednotlivých druhů (z důvodu synchronizace výsadby). Test klíčivosti probíhal v místnosti s regulovanou délkou osvětlení a teplotou (teplota 19 °C, světelná perioda 12 hodin). Na základě výsledků tohoto testu jsem na jaře 2006 ve skleníku vysel semena pokusných druhů do velkých Petriho misek s pískem tak, aby klíčila přibližně ve stejnou dobu. Jelikož nastala extrémní horka, semena klíčila špatně a po jiné době, než při testu klíčivosti, nevysazoval jsem nakonec semenáčky všech druhů současně, ale v časových odstupech podle úspěšnosti vyklíčení (*Sanguisorba officinalis* a *Holcus lanatus* 30. 5. 2006, *Anthoxanthum odoratum* 31. 5. 2006, *Centaurea jacea* 1. 6. 2006, *Plantago lanceolata* 2. 6. 2006, *Avenula pubescens* a *Veronica chamaedrys* 3. 6. 2006). Semenáčky jsem vysazoval ve stadiu vyvinutých

děložních listů. V případě, že některý semenáček uhynul během prvních dnů po výsadbě, nahradil jsem ho semenáčkem stejného druhu, který jsem pěstoval ve stejných podmínkách jako pokusné rostliny (ve skleníku ve stejném typu květináče a stejném substrátu).

Květináče jsem pravidelně zaléval a rosil. Vodu do podmisek jsem doplňoval tak, aby nepřetékala a nevyplavovala živiny rozpuštěné ve vodě pod květináčem. Dále jsem při každém zalévání postřikovačem porosil povrch půdy a rostliny (důležité zejména v prvních týdnech po výsadbě). Zaléval jsem ve večerních hodinách nebo brzy ráno.

## **2. 1. 5 Hnojení pokusu**

Polovinu rostlin (jejichž pozice byla náhodně určena předem, příklad - viz Příloha I) každého druhu jsem pohnojil třikrát v průběhu pokusu. Hnojl jsem 100% Rorisonovým roztokem (Hendry & Grime, 1993). Do každého hnojeného květináče jsem přidal 1 dl Rorisonova roztoku tak, abych jím nepotřísnil listy rostliny. Kontrolní rostliny byly zalaty stejným objemem vodovodní vody. Pokus jsem hnojl 9. 6. 2006, 12. 7. 2006 a 13. 8. 2006.

## **2. 1. 6 Odběry**

Odběry jsem prováděl zhruba po jednom, dvou a třech měsících. Odebíral jsem přednostně rostliny ze stolů 2 až 6; rostliny ze stolů 1 a 7 jsme použil pouze v případě, že v některém ze stolů 2 až 6 semenáček uhynul nebo byl poškozen (plísň - semenáčky *Sanguisorba officinalis*, rzí – semenáčky *Veronica chamaedrys*). Z každého stolu jsem odebral vždy dvě rostliny od každého druhu – jednu hnojenou, druhou nehnojenou. Protože odebrané rostliny musely být okamžitě dále zpracovány (provedena měření vybraných funkčních charakteristik), odběry vždy probíhaly několik dní. První odběr probíhal od 3. 7. 2006 do 9. 7. 2006, druhý odběr proběhl ve dnech 31. 7. až 7. 8. 2006 a třetí odběr ve dnech 30. 8. až 14. 9. 2006. Odběry jsem vždy začínal stolem 2 a končil stolem 6.

Před třetím odběrem byly rostliny druhu *Sanguisorba officinalis* napadeny houbou *Sphaerotheca ferruginea* (ústní sdělení Dr. Kavkové), proto byly postřikány přírodním prostředkem NEEM proti houbovým onemocněním, vyráběným z ořechů. Postřik obsahoval směs prostředku NEEM a smáčedla.

## 2. 1. 7 Měřené funkční charakteristiky

V skleníkovém pokusu jsem měřil následující funkční charakteristiky:

- nadzemní biomasa
- poměr podzemní a nadzemní biomasy (R/S)
- specifická listová plocha (SLA)
- obsah sušiny listu (LDMC)
- specifická délka kořenů (SRL)
- arbuskulární mykorhizní infekce.

Způsob jejich měření je uveden v kapitole 2.3.

## 2. 2 Terénní pokus

### 2. 2. 1 Použité druhy

V tomto pokusu jsem pracoval s těmito druhy:

*Centaurea jacea*, *Plantago lanceolata*, *Sanguisorba officinalis*, *Veronica chamaedrys*, *Anthoxanthum odoratum*, *Alopecurus pratensis*, *Avenula pubescens*, *Holcus lanatus*.

### 2. 2. 2 Popis lokality

Měření rostlin v terénu a jejich odběr pro pozdější měření v laboratoři byly prováděny na oligotrofní, tradičně obhospodařované louce v blízkosti obce Zvíkov (přibližně 10 km východně od Českých Budějovic, 48°59' severní šířky, 14°36' východní délky, 500 m n. m.). Dlouhodobá průměrná roční teplota v Českých Budějovicích je 8,2 °C a průměrný roční dlouhodobý úhrn srážek 582,8 mm (průměr za roky 1961 - 1990, zdroj: Český hydrometeorologický ústav, www.chmu.cz, ke dni 11. 11. 2009). Srovnání dlouhodobých průměrných teplot a průměrných měsíčních teplot let 2007 a 2008 pro České Budějovice a dlouhodobých průměrných úhrnů srážek a měsíčních úhrnů srážek let 2007 a 2008, ve kterých pokus běžel, nabízí grafy v Příloze III.

Louka je situována na mírném jihozápadním svahu, je jedenkrát ročně kosena, většinou koncem června. Podle Curyšsko-Montpelliérské klasifikace rostlinných společenstev odpovídá lokalita směsi typů společenstev zahrnující vlhkou mezotrofní louku (svaz *Alopecurion pratensis* PASSARGE), mezotrofní louku (svaz *Arrhenatherion* KOCH) a oligotrofní louku (svaz *Violion caninae* SCHWICKERATH) (Šmilauer & Šmilauerová, 2000).

Pokus byl založen v dolní části lokality, která je v sušší části louky (Haraštová, 1999), má průměrné pH půdy = 6,23 (Lokvencová, 2007) a mělčí půdní profil (Marie Šmilauerová, ústní sdělení). Průměrný obsah živin v půdních vzorcích z blízkosti pokusné plochy měřený v roce 2009 byl:  $\text{NH}_4^+ = 13,188 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{NO}_3^- = 0,402 \text{ mg/kg}$ ,  $\text{PO}_4^{3-} = 15,808 \text{ mg/kg}$  a poměr C:N = 10,66 (Šmilauerová, nepublikovaná data).

### 2. 2. 3 Experimentální uspořádání pokusu

27. 4. 2007 byla v dolní části lokality Zvíkov založena trvalá plocha pro můj pokus. Plocha byla umístěna v takové části louky, aby se na ní vyskytovaly všechny cílové druhy. Tato plocha byla tvořena 24 čtverci (obdélník 4 x 6 čtverců) o rozměrech 1 x 1 m, polovina jich byla hnojena a druhá polovina byla ponechána jako kontrolní (uspořádání hnojených a kontrolních čtverců bylo šachovnicové, viz Příloha IV). Vodorovné i svislé řady čtverců byly od sebe odděleny půlmetrovou pufrovací zónou, která měla minimalizovat vliv hnojení jednoho čtverce na čtverce sousední a byla používána jako cestička mezi čtverci při provádění zásahů a při odběrech.

### 2. 2. 4 Hnojení pokusu

Hnojení probíhalo již jeden rok před zahájením odběrů, v roce 2007 jsem plochy hnojił dvakrát, v roce 2008 jednou. Použil jsem komerční hnojivo Cererit firmy Agro a. s. Česká Skalice (obsah živin: celkový N 8 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> rozpustný 11 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> nerozpustný 13 %, K<sub>2</sub>O 11 %, MgO 2 %, S 15 %, B 0,06 %, Mb 0,01 %, Cu 0,008 %, Zn 0,016 %, Cl max. 1 %) v dávce 50 g/m<sup>2</sup> na jaře (9. 5. 2007 a 26. 3. 2008) a 15 g/m<sup>2</sup> na podzim (2. 10. 2007). Dávku hnojiva jsem rovnoměrně rozsypal po hnojených čtvercích bez následné zálivky, neboť v průběhu hnojení nebo následující den pršelo a hnojivo se samo rozpustilo.

Všechny plochy byly 20. 6. 2007 a 25. 6. 2008 pokoseny křovinořezem.

### 2. 2. 5 Odběr rostlin

Odběry rostlin proběhly ve dvou fázích. V první fázi jsem odebíral druhy, které již po seči většinou nestihnou podruhé vykvést. Byly to druhy *Anthoxanthum odoratum* (odběr 21. 5. 2008), *Alopecurus pratensis* (odběr 30. 5. 2008), *Veronica chamaedrys* (odběr 2. 6. 2008), *Avenula pubescens* (odběr 18. 6. 2008), *Holcus lanatus* (odběr 25. 6. 2008).

Druhy kvetoucí až po seči v druhé polovině vegetační sezóny jsem odebíral po kosení. Jednalo se o druhy *Plantago lanceolata* (odběr 1. 9. 2008), *Centaurea jacea* (odběr 3. 9. 2008), a *Sanguisorba officinalis* (odběr 5. 9. 2008).

Odebíral jsem celé rostliny s částí kořenového balu z hnojených i kontrolních čtverců trvalé plochy. Vybíral jsem dobře vyvinuté, co nejméně zastíněné kvetoucí

rostliny, které nebyly vážně poškozeny herbivory a patogeny. Snažil jsem se odebrat vždy 20 rostlin každého druhu (polovinu z hnojených a polovinu z kontrolních čtverců), vždy jednoho jedince z každého čtverce, přednostně ze čtverců A-D 2 až A-D 6 (viz Příloha IV). Sloupec čtverců A-D 1 byl viditelně nejsušší, což se odráželo ve složení vegetace a absenci některých odebíraných druhů, proto byly rostliny z těchto čtverců odebírány, až když se nevyskytovaly v jiných čtvercích.

Pokud jsem nenašel 20 rostlin daného druhu (s přihlédnutím k požadavku stejného počtu hnojených a kontrolních jedinců a jednoho jedince na plochu), je skutečný počet odebraných hnojených a nehnojených jedinců uveden v tabulce v Příloze VI pod názvem druhu. Po odběru na lokalitě byly rostliny převezeny v igelitových sáčkích do laboratoře, kde byly uchovávány až do dalšího zpracování v chladícím boxu při teplotě do 7 °C.

## **2. 2. 6 Měřené funkční charakteristiky**

V tomto pokusu jsem měřil následující funkční charakteristiky:

- výška rostliny
- specifická listová plocha (SLA)
- obsah sušiny listu (LDMC).

Způsob jejich měření je uveden v kapitole 2.3.

## **2. 3 Vybrané funkční charakteristiky**

Dále uvádím funkční charakteristiky, které jsem sledoval alespoň v jednom z experimentů a jejich popis a způsob měření podle Cornelissen *et al.* (2003a). Případné modifikace použité pro každý z experimentů (závislé např. na stáří použitých rostlin) jsou blíže specifikovány.

### **2. 3. 1 Výška rostliny**

Výšku rostliny jsem měřil jako svislou vzdálenost mezi nejvyšším listem rostliny a povrchem země (bez natahování listu). Jednalo se o listy v přízemní růžici (u druhu *Veronica chamaedrys* o listy na vystoupavých částech plazivé lodyhy), ne o listy na lodyhách nesoucích květenství. Měření jsem prováděl skládacím metrem s přesností na milimetry těsně před odběrem rostliny.

### **2. 3. 2 Nadzemní a podzemní biomasa**

Nadzemní biomasu jsem stanovil jako suchou hmotnost všech nadzemních částí rostliny, podzemní biomasu pak jako suchou hmotnost všech kořenů. Biomasa byla sušena 24 hodin při 80 °C a zvážena s přesností na 0,0001 g.

### **2. 3. 3 Poměr podzemní a nadzemní biomasy (R/S poměr)**

R/S poměr jsem spočítal jako podíl suché podzemní a nadzemní biomasy.

### **2. 3. 4 Specifická listová plocha**

Specifická listová plocha (SLA, *specific leaf area*) je podíl plochy jedné strany čerstvého listu s řápkem a hmotnosti sušiny tohoto listu.

Ve skleníkovém pokusu jsem listy na měření specifické plochy listu odebral z rostlin, které byly po odběru a vymytí kořenového balu uchovávány v kelímku s vodou v chladícím boxu (teplota do 7 °C). Z každého jedince jsem odstříhl všechny vhodné listy

(minimálně 2), které byly zdravé, dobře vyvinuté, s řapíkem. Po odstřížení jsem listy umístil do kelímku s vodou do doby dalšího zpracování. Vždy jsem používal pouze pravé listy, nikoli děložní. Zvláště u prvního odběru byl počet vhodných listů rostlin malý (hlavně u dvouděložných druhů a u trávy *Avenula pubescens*).

V terénním pokusu jsem listy odebíral z rostlin, které jsem z lokality přivezl i s kořenovým balem a uchovával v chladícím boxu (teplota do 7 °C) v igelitovém sáčku a zpracoval je do 48 hodin po odběru. Z každého jedince jsem odstříhl většinu vhodných listů (minimálně 2), které byly zdravé, dobře vyvinuté s řapíkem u dvouděložných, u trav s jazýčkem bez listové pochvy. Upřednostňoval jsem listy z trsu či růžice před listy z kvetoucích lodyh, pokud splňovaly daná kritéria. Před dalším zpracováním jsem listy umístil do kelímku s vodou.

Listy byly rozloženy na sklo nebo mezi dvě skla tak, aby byly maximálně rozvinuty a zároveň nepoškozeny (rozdrcením či roztrháním), a nasnímány odrazovou metodou při rozlišení 300 dpi jako černobílá fotografie (8 bitové stupně šedi) na skeneru Epson Perfection<sup>TM</sup> 4990 Photo a uloženy ve formátu JPEG. Nasnímaný obraz byl v programu Adobe® Photoshop® Elements 2.0 (Adobe Systems Incorporated, San Jose, U.S.A.) převeden do černobílého (jednobitového) formátu. Plochu listu jsem vypočítal jako podíl počtu bodů černé barvy a počtu bodů na jeden palec čtverečný, získanou hodnotu (plocha ve čtverečných palcích) jsem pak převedl na centimetry čtverečné.

Po nasnímáním jsem listy sušil v papírových sáčcích při teplotě 80 °C po dobu 24 hodin. Suché listy byly zváženy s přesností na 0,0001 g. Sáčky se suchými listy jsem v době mezi usušením a vážením uchovával v exikátoru se silikagelem

### **2. 3. 5 Obsah sušiny listu**

Obsah sušiny listu (LDMC, *leaf dry matter content*) je podíl hmotnosti suchého listu s řapíkem a jeho čerstvé hmotnosti. Pro stanovení obsahu sušiny listu jsem použil stejné listy jako pro měření specifické plochy listu.

Ve skleníkovém pokusu byly rostliny po odběru a vymytí kořenového systému uchovávány v kelímcích s vodou a v chladícím boxu (teplota do 7 °C). Listy jsem z rostliny odstříhl těsně před vážením, jemně osušil filtračním papírem a zvážil s přesností na 0,0001 g.



Protože rostliny odebrané v terénním pokusu prodělaly před měřením cestu z lokality na místo zpracování (několik hodin byly v igelitových sáčcích v okolní teplotě), byly odstřižené listy přivezených rostlin před vážením několik hodin (minimálně 6, maximálně 12 hod) rehydratovány v kelímku s vodou v chladicím boxu. Těsně před vážením jsem listy vyňal z vody a opatrně osušil filtračním papírem a zvážil s přesností na 0,0001 g.

Jako hmotnost suchého listu jsem použil hodnoty zjištěné pro specifickou plochu listu (viz výše).

### **2. 3. 6 Specifická délka kořenů**

Specifická délka kořenů (SRL, *specific root length*) je podíl délky kořenů a hmotnosti jejich sušiny. Délka kořenů je dle Cornelissen *et al.* (2003a) uvažována jako délka absorpčních kořenů rostliny. Za absorpční kořeny jsou pro zjednodušení považovány jemné kořeny (s průměrem do 2 mm), které mají zachováno kořenové vlášení a kořenovou špičku.

Kořeny rostliny, kterou jsem vyňal z květináče, jsem opatrně a pečlivě vymyl pod tekoucí vodou a do dalšího zpracování je skladoval v kelímcích s vodou při teplotě do 7 °C. Před dalším zpracováním jsem z každého kořenového systému odebral 2-3 kořínky, které jsem použil na barvení arbuskulárních mykorhiz. U malých rostlin s tenkými kořeny jsem nasnímal celý kořenový systém. U rostlin se silnějšími kořeny jsem na podnosu ve vodě kořenový systém rozložil a vybral z něj 4-5 kořenů, které jsem oddělil. Vybíral jsem kořeny s takovou architekturou, která odpovídala ostatním kořenům (např. 4 hodně větvené, 1 méně, když se kořeny méně větvené objevily). Kořeny byly poté rozloženy na sklo a nasnímány černobíle průsvitovou metodou při rozlišení 600 dpi na skeneru Epson Perfection<sup>TM</sup> 4990 Photo a uloženy ve formátu JPEG. Délku kořenů jsem vyhodnotil v programu WinRhizo<sup>TM</sup> (Régent Instruments, Inc., Quebec City, Quebec, Canada). Kořeny jsem sušil 24 hodin při teplotě 80 °C a potom byly zváženy s přesností na 0,0001 g.

### 2. 3. 7 Arbuskulární mykorrhiza

Harley & Harley (1987) všechny mnou studované druhy uvádějí jako arbuskulárně mykorrhizní. V kořenech studovaných druhů jsem se soustředil na zastoupení arbuskulů (podíl délky kořenů s vyvinutými arbuskuly) - houbových útvarů, ve kterých zřejmě dochází k předávání živin hostitelské rostlině (Gryndler *et al.*, 2004).

Barvení mykorrhizních hub bylo provedeno postupem podle Vierheilig *et al.* (2005). Z každé odebrané rostliny jsem oddělil 2-3 jemné kořeny z různých částí kořenového systému a do barvení je uchovával ve vodě. Vybrané opláchnuté kořeny jsem při pokojové teplotě inkuboval v 10% KOH po různě dlouhou dobu podle příslušnosti druhu rostliny k travám či dvouděložným a pořadí odběru. Jemné kořeny trav byly v KOH vždy 6 hodin, zatímco kořeny dvouděložných druhů v prvním odběru 6 hodin, ve druhém 15 hodin a ve třetím 16 hodin. Po vyjmutí z KOH byly kořeny důkladně propláchnuty na sítku pod tekoucí vodou a vloženy na 1 - 2 minuty do 1% HCl, bez proplachování přemístěny do zkumavek a zality barvicím roztokem (70 ml 85% kyseliny mléčné + 5ml glycerolu + 5 ml destilované vody + na špičku nože barvivo Chlorazol Black E). Inkubace kořenů v barvicím roztoku ve vodní lázni o teplotě 90 °C byla pro všechny druhy shodná - 60 minut.

Kořeny byly ze zkumavek slity přes sítko bez proplachování vodou a přemístěny do lahviček s projasňovacím roztokem (laktoglycerolem), ve kterém byly uchovávány v chladničce. Obarvené kořeny byly po projasnění přeneseny na podložní sklo do kapky laktoglycerolu, překryty krycím sklem a byl připraven roztakový preparát zarámovaný bezbarvým lakem na nehty. Kořeny na podložních sklech jsem prohlédl pod mikroskopem Olympus BX50 při zvětšení 200x až 400x a následně při zvětšení 100x odhadl v každém zorném poli podíl délky kořenů s celkovou infekcí AMF houbami (AMF) (zahrnující hyfy, arbuskuly a vezikuly uvnitř kořenů) a podíl délky kořene s vyvinutými arbuskuly. Délku kořenů ( $x$ ) jsem odhadl jako počet zorných polí v okuláru (při zvětšení 100x) a poté jsem vypočítal procento infekce kořenů AMF a délky kořenů s vyvinutými arbuskuly ( $P$ ) na délku kořene podle vzorce:  $P = [(\sum p)/x] * 100$ , kde  $p$  je odhadnutý podíl délky kořenů s celkovou infekcí AMF nebo s vyvinutými arbuskuly. Pro každý preparát jsem ohodnotil jeho kvalitu (0,01 - 1), ovlivňující možnost úspěšné kvantifikace.

## 2. 4 Statistické zpracování dat

Všechny změřené a vypočtené hodnoty funkčních charakteristik byly před použitím v analýzách logaritmičticky transformovány (dekadickým logaritmem), protože jsem předpokládal násobné efekty studovaných faktorů na hodnoty funkčních charakteristik. Touto transformací došlo také ke zvýšení symetričnosti distribuce a eliminaci průkazné negativní šikmosti dat některých funkčních charakteristik. Veškeré popisované jednorozměrné analýzy byly provedeny v programu STATISTICA (StatSoft, Inc. 2008).

Testoval jsem vliv několika faktorů na funkční charakteristiky. V případě skleníkového pokusu to byly tyto faktory: pořadí odběru, příslušnost ke druhu a hnojení. Pro terénní pokus faktory příslušnost ke druhu a hnojení. Také byly testovány některé interakce těchto faktorů.

V analýzách, ve kterých jsem netestoval rozdíly mezi druhy samotnými (nebo jejich skupinami) jsem použil fylogenetickou korekci, abych odstranil vliv fylogenetické přízříznosti druhů na analýzy. Při použití fylogenetické korekce se před samotnou analýzou z dat odstraní variabilita, kterou lze vysvětlit jejich příbuzností (Desdevises *et al.*, 2003). Z údajů o fylogenetické příbuznosti druhů v tzv. CAIC formátu získaných v databázi BiolFlor ([www.ufz.de/biolflor](http://www.ufz.de/biolflor), ke dni 21. 11. 2009) byl sestaven fylogenetický strom pro sledované druhy a byla spočtena matice fylogenetických distancí mezi jednotlivými druhy a poté v programu PrCoord (ter Braak & Šmilauer, 2002) spočteny souřadnice fylogenetických os. Pro každou funkční charakteristiku jsem metodou mnohonásobné regrese s postupnou selekcí (užívající Bonferroniho korekci) vybral průkazné fylogenetické osy a ty dále použil v analýze dané charakteristiky jako kovariáty.

Při testu rozdílů mezi druhy byl faktor příslušnosti ke druhu použit jako faktor s pevným efektem (*fixed effect*). Pro testování rozdílů mezi druhy jsem použil jednocestnou analýzu variance (*one-way ANOVA*, bez fylogenetické korekce).

Závislost každé funkční charakteristiky (kromě arbuskulární mykorhizy testované zvlášť, viz níže) na jednotlivých faktorech byla testována analýzou kovariance (metoda ANCOVA). Jako závislá proměnná byla zadána log-transformovaná testovaná funkční charakteristika a kategoriální proměnné byly příslušnost ke druhu, hnojení a pořadí odběru (pouze pro skleníkový pokus). Jako kovariáty (continuous predictors) byla použita v této analýze pro danou funkční charakteristiku vybraná průkazná skóre fylogenetických os. Za průkazné byly považovány výsledky na hladině významnosti  $p < 0,05$ .

Pro zjištění vlivu testovaných faktorů na průměry charakteristik funkčních skupin, definovaných jako trávy a dvouděložné rostliny, byla v datech zavedena další kategoriální proměnná (skupina) identifikující příslušnost druhu ke skupině. K testování byla použita metoda obecných lineárních modelů (GLM) a každá funkční charakteristika byla testována zvlášť. Faktor druhu byl vnořen (*nested in*) do faktoru skupina. Byly testovány rozdíly v jednotlivých funkčních charakteristikách mezi skupinami a mezi jednotlivými druhy v rámci skupin a definovány interakce faktorů. Pro test rozdílů mezi skupinami byl faktor druhu považován za faktor s náhodným efektem (*random effect*). Fylogenetické korekce nebyly zahrnuty.

Pro testování vlivu faktoru hnojení a interakce faktorů hnojení\*druh na intenzitu arbuskulární mykorhizní infekce kořenů jsem použil metodu obecných lineárních modelů (*general linear models*). Zahrnul jsem pouze data ze třetího odběru skleníkového pokusu, protože byla úplná, a testoval jsem vlivy všech faktorů na procento délky kořenů s vyvinutými arbuskuly (je to menší hodnota nežli celková AM infekce a je přísnějším hodnocením infekce kořenů AM houbami). Procentické hodnoty délky kořene s vyvinutými arbuskuly (p) byly vyděleny 100 a transformovány arcsinovou transformací podle vzorce  $p' = \arcsin(\sqrt{p})$  (Lepš, 1996) pro přiblížení Gaussově distribuci a dále váženy váhou vzorku (0,01 - 1) (viz výše). Jako kovariáty byla použita skóre druhů na průkazných fylogenetických osách získaných výše popsanou metodou.

Pro testování rozdílů v procentu délky kořenů s vyvinutými arbuskuly mezi druhy byla použita metoda obecných lineárních modelů podle stejného zadání, ale bez zahrnutí fylogenetické korekce.

K porovnání hodnot funkčních charakteristik měřených ve skleníkovém i terénním pokusu jsou použil metodu obecných lineárních modelů. Byl testován vliv jednotlivých faktorů (příslušnost ke druhu, hnojení, typ experimentu) a jejich interakcí zvlášť na funkční charakteristiky specifická listová plocha a obsah sušiny listu - na stejných družích (druh *Alopecurus pratensis* měřený pouze v terénním pokusu byl vyloučen). V této analýze byl druh považován za faktor s náhodným efektem (*random effect*).

Ke zjištění toho, pro které jednotlivé druhy, hladiny faktorů a jejich interakcí, v průkazných celkových analýzách, byly rozdíly průkazné, jsem použil mnohonásobná porovnání, metodu *Tukey HSD* pro skleníkový pokus a pro terénní pokus s nestejným počtem pozorování ve skupinách metodu *Unequal N HSD*. V těchto metodách byly výsledky za průkazné považovány opět na hladině průkaznosti  $p < 0,05$ .

Ve veškerých analýzách jsem pracoval s transformovanými daty. Výsledné prezentované obrázky jednorozměrných metod, pokud není uvedeno jinak, byly sestrojeny zvláště s netransformovanými hodnotami funkčních charakteristik pro zlepšení jejich čitelnosti. V některých obrázcích jsou doplněny výsledky mnohonásobných porovnání vycházející z původních analýz s transformovanými daty a jsou v nich prezentovány pomocí písmenek. Shodná písmena u průměrů umístěná nad nebo pod jejich konfidenčními intervaly značí neprůkazné rozdíly mezi těmito průměry.

Mnohorozměrné metody vyhodnocení dat byly provedeny v programu CANOCO (ter Braak & Šmilauer, 2002). Před analýzami byla data skleníkového pokusu balancována (u dvou jedinců dvou druhů v prvním odběru a jednoho jedince v třetím odběru byly chybějící hodnoty jedné funkční charakteristiky vypočteny jako průměr ostatních hodnot daného druhu a dané funkční charakteristiky).

K vyhodnocení dat byla použita mnohorozměrná lineární přímá ordinační metoda - redundanční analýza (RDA). Analýzy byly provedeny zvláště pro jednotlivé faktory. V případě skleníkového pokusu to byly pořadí odběru, příslušnost ke druhu a hnojení, v terénním pokusu pak faktory příslušnost ke druhu a hnojení. Hodnoty jednotlivých funkčních charakteristik byly použity jako druhová data a byly před importem do programu logaritmicky transformovány (dekadickým logaritmem).

Jako environmentální proměnné byly použity testované faktory (viz výše), kódované jako tzv. *dummy variables*. V environmentálních datech skleníkového pokusu byly zahrnuty hodnoty prvních pěti průkazných os fylogenetických skóre druhů získané z výpočtů fylogenetických korekcí. V terénním pokusu to byla skóre prvních šesti průkazných os fylogenetických korekcí. Tyto osy byly vybrány postupným výběrem s Bonferroniho korekcí v samostatné analýze RDA. V testu faktoru příslušnost ke druhu tato skóre fylogenetických os zahrnuta nebyla.

Škálování bylo nastaveno na *inter-sample distances* a druhová data byla centrována a standardizována. Jako kovariáty u každého testu byly použity všechny environmentální proměnné, kromě testovaného faktoru. Statistická významnost byla otestována Monte-Carlo permutačním testem se 499 náhodnými permutacemi (*model-based permutations*). Efekt byl považován za průkazný, pokud bylo  $p < 0,05$ .

Dále byla provedena RDA analýza, ve které jsem srovnal jednotlivé odběry skleníkového pokusu s terénním pokusem. Jako druhové proměnné byly zadány funkční charakteristiky měřené v obou pokusech (SLA a LDMC), jako environmentální proměnné byly zadány tři odběry skleníkového pokusu a terénní data - ta byla považována za jeden

odběr. Tyto proměnné byly kódovány jako tzv. *dummy variables*. Jako kovariáty tohoto testu byly zadány všechny ostatní faktory - příslušnost ke druhu a hnojení.

Výsledky analýz jsem vynesl do ordinačních diagramů s druhy a charakteristikami prostředí v programu CanoDraw (ter Braak & Šmilauer 2002). Druhová data (funkční charakteristiky) jsem zobrazil jako šipky a environmentální data (jednotlivé faktory) jako centroidy. V ordinačních diagramech jsem zvýraznil funkční charakteristiky, které byly pro daný testovaný faktor průkazné v provedených jednorozměrných analýzách.

### 3. VÝSLEDKY

Průměrné hodnoty naměřených funkčních charakteristik hnojených a nehnojených rostlin ze třetího odběru skleníkového a terénního pokusu a střední chyby průměru těchto hodnot jsou uvedeny v tabulkách v Příloze V a VI.

#### 3.1 Výsledky skleníkového pokusu

Výsledky jednorozměrných analýz testujících rozdíly ve funkčních charakteristikách na úrovni druhů shrnuje Tabulka 1.

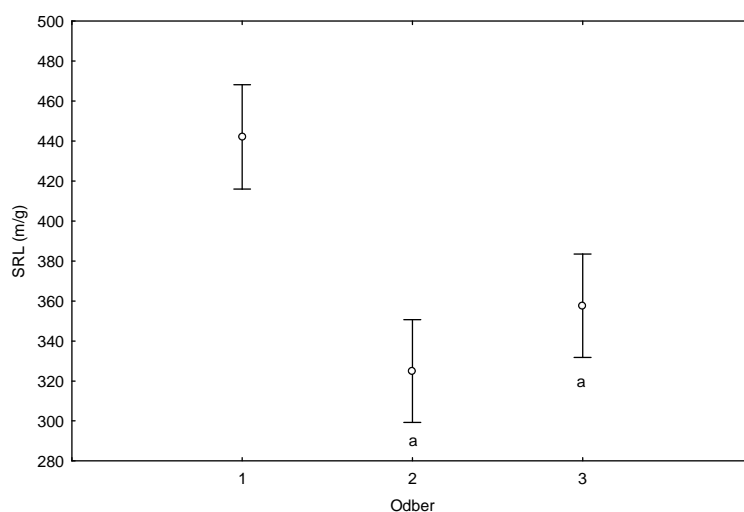
**Tabulka 1:** Výsledky jednorozměrných statistických metod testujících vliv jednotlivých faktorů a jejich interakcí na funkční charakteristiky ve skleníkovém pokusu. V analýzách byly použity logaritmované hodnoty všech funkčních charakteristik. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti pro  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek. Nadz. biomasa = nadzemní biomasa, R/S = poměr podzemní a nadzemní biomasy, SLA = specifická listová plocha, SRL = specifická délka kořenů, LDMC = obsah sušiny listu. Šipka u průkazného faktoru hnojení ukazuje směr změny hodnot funkční charakteristiky u hnojených rostlin. Šipka u průkazného faktoru odběru ukazuje směr změny hodnot funkční charakteristiky v čase - od prvního ke třetímu odběru.

Funkční char.	Faktor	df	F	p
Nadz. biomasa	druh	6, 201	7.89	<0.001
	odběr	2, 166	948.08	<0.001 ↑
	hnojení	1, 166	41.32	<0.001 ↑
	druh*odběr	12, 166	4.90	<0.001
	druh*hnojení	6, 166	0.77	n. s.
	odběr*hnojení	2, 166	4.30	0.015
	druh*odběr*hnojení	12, 166	0.79	n. s.
R/S	druh	6, 201	3.7990	0.001
	odběr	2, 166	271.83	<0.001 ↑
	hnojení	1, 166	6.37	0.013 ↓
	druh*odběr	12, 166	12.28	<0.001
	druh*hnojení	6, 166	1.41	n. s.
	odběr*hnojení	2, 166	0.09	n. s.
	druh*odběr*hnojení	12, 166	0.39	n. s.
SLA	druh	6, 201	7.7	<0.001
	odběr	2, 166	38.63	<0.001 ↓
	hnojení	1, 166	6.53	0.012 ↓
	druh*odběr	12, 166	2.02	0.025
	druh*hnojení	6, 166	1.35	n. s.
	odběr*hnojení	2, 166	0.03	n. s.
	druh*odběr*hnojení	12, 166	1.19	n. s.
SRL	druh	6, 200	46.32	<0.001
	odběr	2, 165	21.86	<0.001 ↓
	hnojení	1, 165	0.49	n. s.
	druh*odběr	12, 165	17.03	<0.001
	druh*hnojení	6, 165	1.23	n. s.
	odběr*hnojení	2, 165	1.31	n. s.
	druh*odběr*hnojení	12, 165	0.87	n. s.
LDMC	druh	6, 201	37.93	<0.001
	odběr	2, 166	254.61	<0.001 ↑
	hnojení	1, 166	1.02	n. s.
	druh*odběr	12, 166	14.24	<0.001
	druh*hnojení	6, 166	0.86	n. s.
	odběr*hnojení	2, 166	2.32	n. s.
	druh*odběr*hnojení	12, 166	1.11	n. s.

### 3. 1. 1 Vliv pořadí odběru na sledované funkční charakteristiky

Všechny sledované funkční charakteristiky se průkazně lišily mezi třemi odběry skleníkového pokusu (viz Tab. 1). Hodnoty funkčních charakteristik nadzemní biomasa, R/S poměr a LDMC stoupaly od prvního ke třetímu odběru a průkazně se mezi všemi odběry lišily.

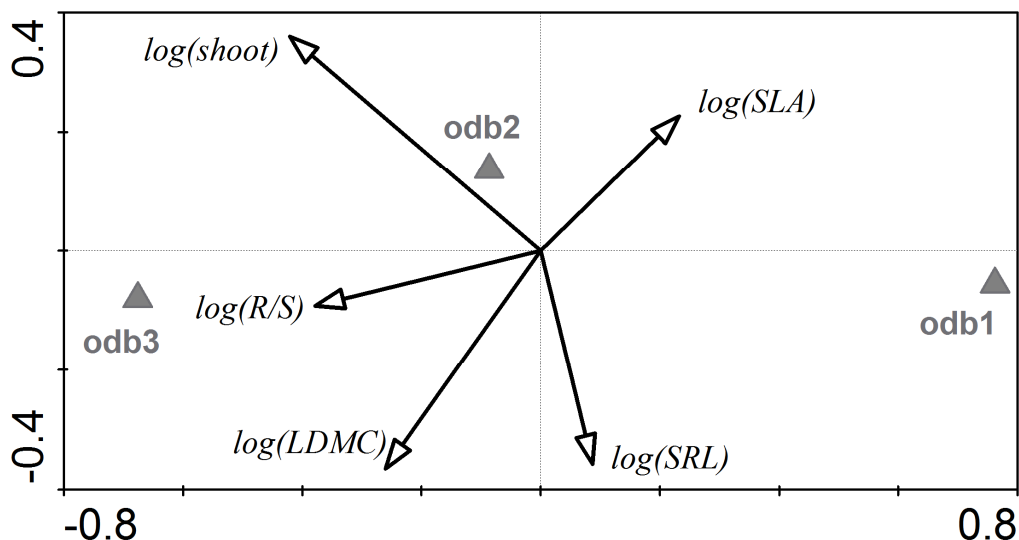
Hodnoty SLA od prvního ke třetímu odběru klesaly a hodnoty SRL byly nejvyšší u prvního odběru, mezi prvním a druhým odběrem klesly a mezi druhým a třetím odběrem se průkazně nelišily (Obr. 1).



**Obrázek 1:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující vliv pořadí odběru na specifickou délku kořenů (SRL). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Odběr 1, 2, 3 - první, druhý a třetí odběr. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané odběry od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ .

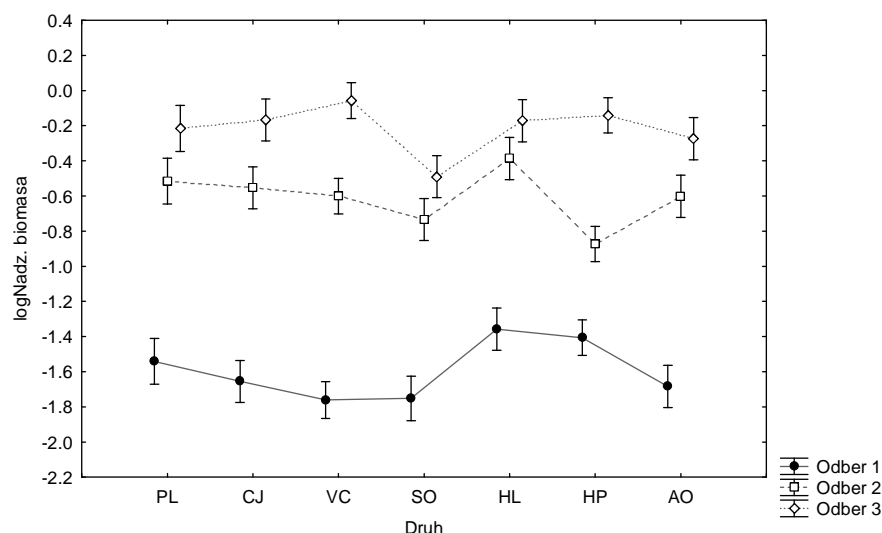
Popsané vztahy dobře ilustruje ordinační diagram výsledků RDA analýzy vlivu pořadí odběru na funkční charakteristiky (Obr. 2). První kanonická osa této analýzy vysvětlila 51,9 % a první dvě osy celkově 53,3 % variability zbylé po odečtení vlivu kovariát a tento efekt byl průkazný (pseudo F statistika = 114,2,  $p = 0,002$ , 499 permutací).





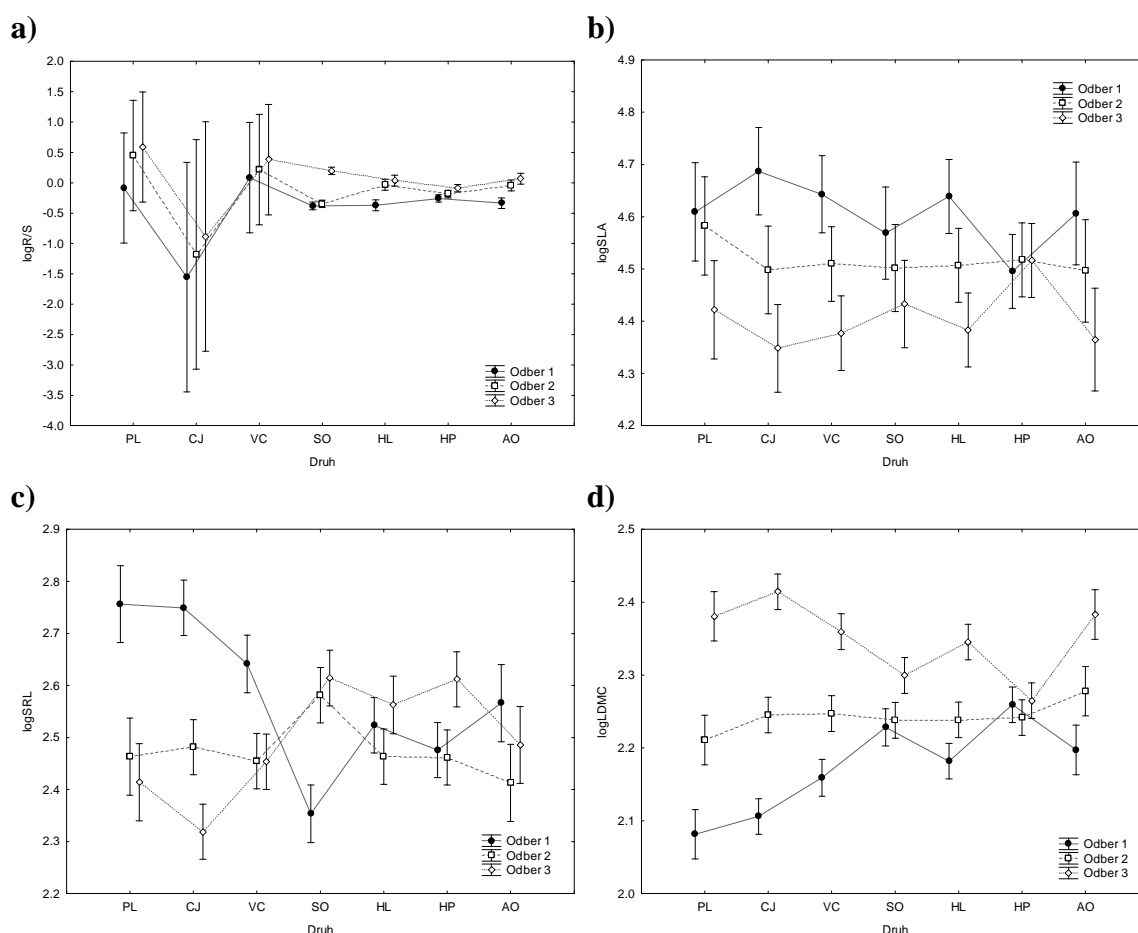
**Obrázek 2:** Ordinační diagram výsledků RDA analýzy vlivu pořadí odběru na funkční charakteristiky. Odb1, Odb2, Odb3 = první, druhý a třetí odběr,  $\log(\text{shoot})$  = nadzemní biomasa,  $\log(R/S)$  = poměr nadzemní a podzemní biomasy,  $\log(\text{SLA})$  = specifická plocha listu,  $\log(\text{LDMC})$  = obsah sušiny listu,  $\log(\text{SRL})$  = specifická délka kořenů. Zvýrazněné šipky znamenají, že daná funkční charakteristika se průkazně lišila mezi odběry při testu jednorozměrnými metodami na hladině do  $p < 0,05$ .

Pro všechny funkční charakteristiky byla průkazná interakce faktorů druh\*pořadí odběru (Tab. 1). Na Obr. 3, na kterém je znázorněn tento vztah pro nadzemní biomasa, je vidět, že druhy *Sanguisorba officinalis* a *Holcus lanatus* rostly pomaleji než ostatní druhy mezi druhým a třetím odběrem a druh *Avenula pubescens* rostl pomaleji než ostatní druhy mezi prvním a druhým odběrem.



**Obrázek 3:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující vliv interakce faktorů příslušnost ke druhu a pořadí odběru na nadzemní biomasa rostlin ( $\log\text{Nadz. biomasa}$ ). V grafu byly použity logaritmované hodnoty nadzemní biomasy. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Čáry spojující body spojují průměry ze stejného odběru. Odběr 1 - 3 = první, druhý a třetí odběr. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Obrázky 4 a - d znázorňují tento vztah pro další funkční charakteristiky. Na Obr. 4a je vidět, že poměr R/S se průkazně mezi odběry měnil jen pro druhy *S. officinalis*, *H. lanatus* a *A. odoratum*, u kterých mezi některými odběry stoupal. Obr. 4b ukazuje, že mezi odběry u všech druhů SLA klesala. Nejmenší rozdíly mezi odběry v průměrné SLA jsou u druhů *Avenula pubescens* a *Sanguisorba officinalis*. Na Obr. 4c je vidět, že SRL se u druhů mezi odběry měnila různě. U dvouděložných kromě *S. officinalis* klesala k pozdějšímu odběru, u trav rozdíly byly neprůkazné, jen SRL *A. pubescens* vzrostla mezi druhým a třetím odběrem. Na Obr. 4d jsou vidět tyto změny pro obsah sušiny listu, který se zvyšoval od prvního ke třetímu odběru pro většinu druhů. Nejmenší změny v LDMC mezi odběry byly pro *S. officinalis* (pro 1. a 2. odběr) a *A. pubescens* (všechny odběry).



**Obr. 4 a - d:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující vliv interakce faktorů odběr (1, 2, 3 = první, druhý a třetí odběr) a příslušnost ke druhu na:

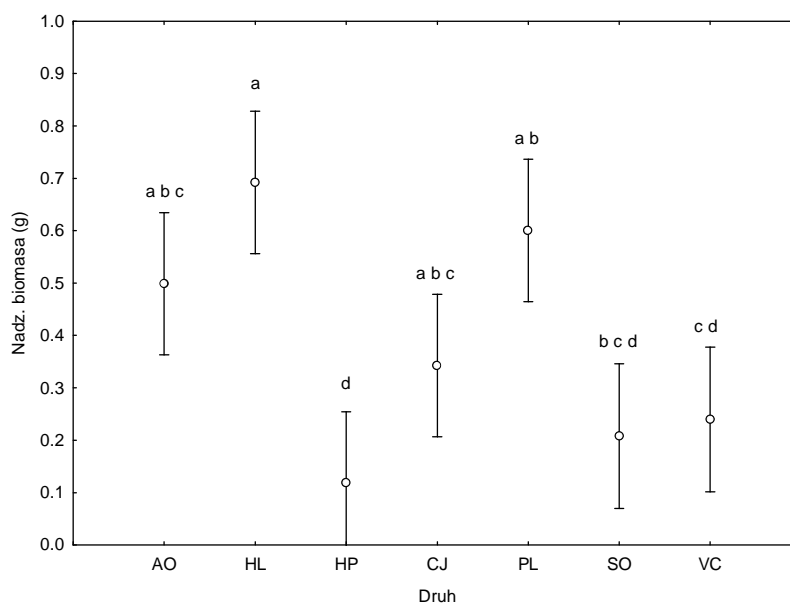
**a)** poměr podzemní a nadzemní biomasy ( $\log R/S$ ), **b)** specifickou listovou plochu ( $\log SLA$ ), **c)** specifickou délkou kořenů ( $\log SRL$ ), **d)** obsah sušiny listu ( $\log LDMC$ ).

V grafech byly použity logaritmované hodnoty funkčních charakteristik. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Čáry spojující body spojují průměry ze stejného odběru. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

### 3. 1. 2 Rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy

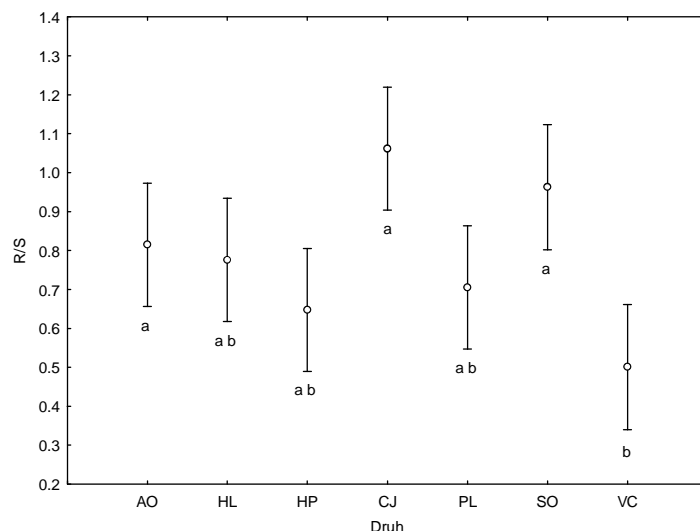
Všechny sledované funkční charakteristiky se průkazně lišily mezi měřenými druhy (Tab. 1). Rozdíly mezi druhy v jednotlivých funkčních charakteristikách jsou znázorněny na Obr. 5 - 10.

Nejvyšší hodnoty nadzemní biomasy dosáhl druh *Holcus lanatus*, dále v průměru také druhy *Plantago lanceolata* a *Anthoxanthum odoratum* (Obr. 5). Nejnižší nadzemní biomasu měl druh *Avenula pubescens*.



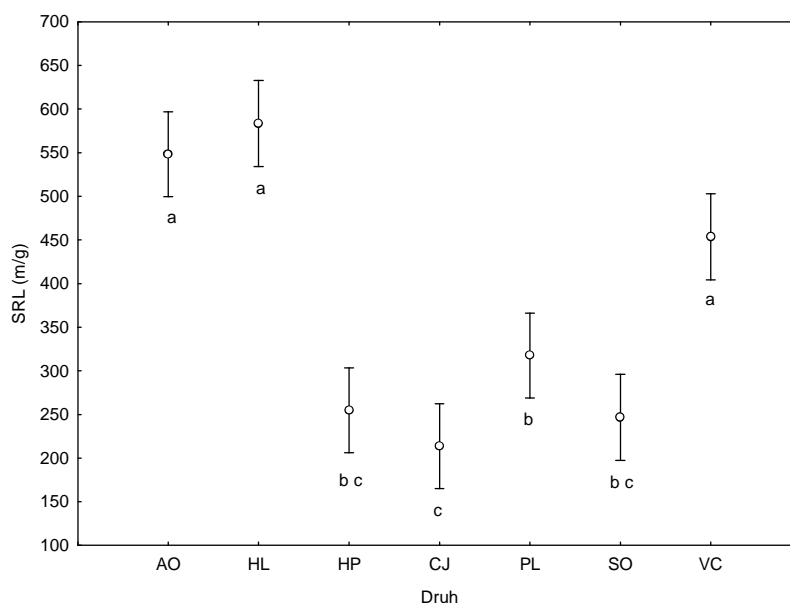
**Obrázek 5:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way ANOVA*) testující rozdíly mezi druhy v nadzemní biomase. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Tyto druhy měly průměrně nižší hodnoty R/S poměru (Obr. 6). V průměru nejvyšší hodnoty R/S poměru měly druhy *Sanguisorba officinalis* a *Centaurea jacea* a průkazně se tak lišily od *Veronica chamaedrys* s průměrně nejnižším R/S poměrem.



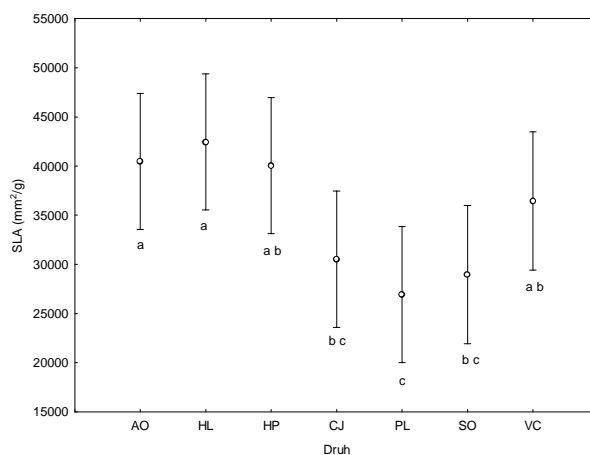
**Obrázek 6:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way* ANOVA) testující rozdíly mezi druhy v poměru podzemní a nadzemní biomasy (R/S). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Obr. 7 ukazuje, že dvě ze tří trav - *Anthoxanthum odoratum* a *Holcus lanatus* měly nejvyšší hodnoty specifické délky kořenů (průměrně 550 - 600 m/g sušiny kořenů). Ostatní druhy kromě *Veronica chamaedrys* měly specifickou délku kořenů podstatně nižší (průměrně 210-300 m/g).



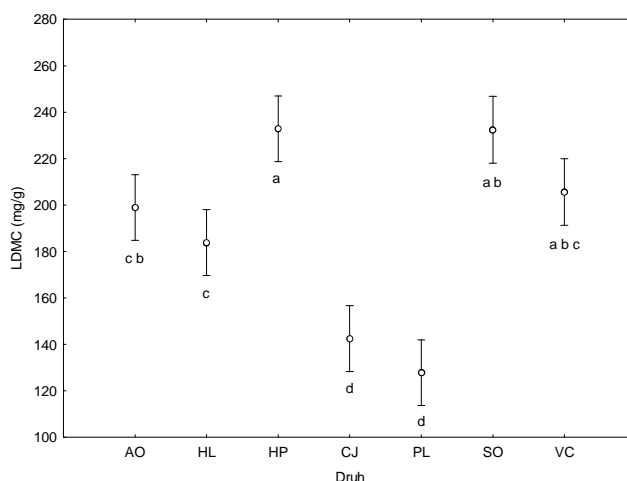
**Obrázek 7:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way* ANOVA) testující rozdíly mezi druhy ve specifické délce kořenů (SRL). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Obr. 8 s hodnotami specifické listové plochy pro jednotlivé druhy ukazuje, že tři sledované druhy trav měly vyšší průměrnou SLA než ostatní druhy, jejich hodnotám se přiblížil druh *V. chamaedrys*.



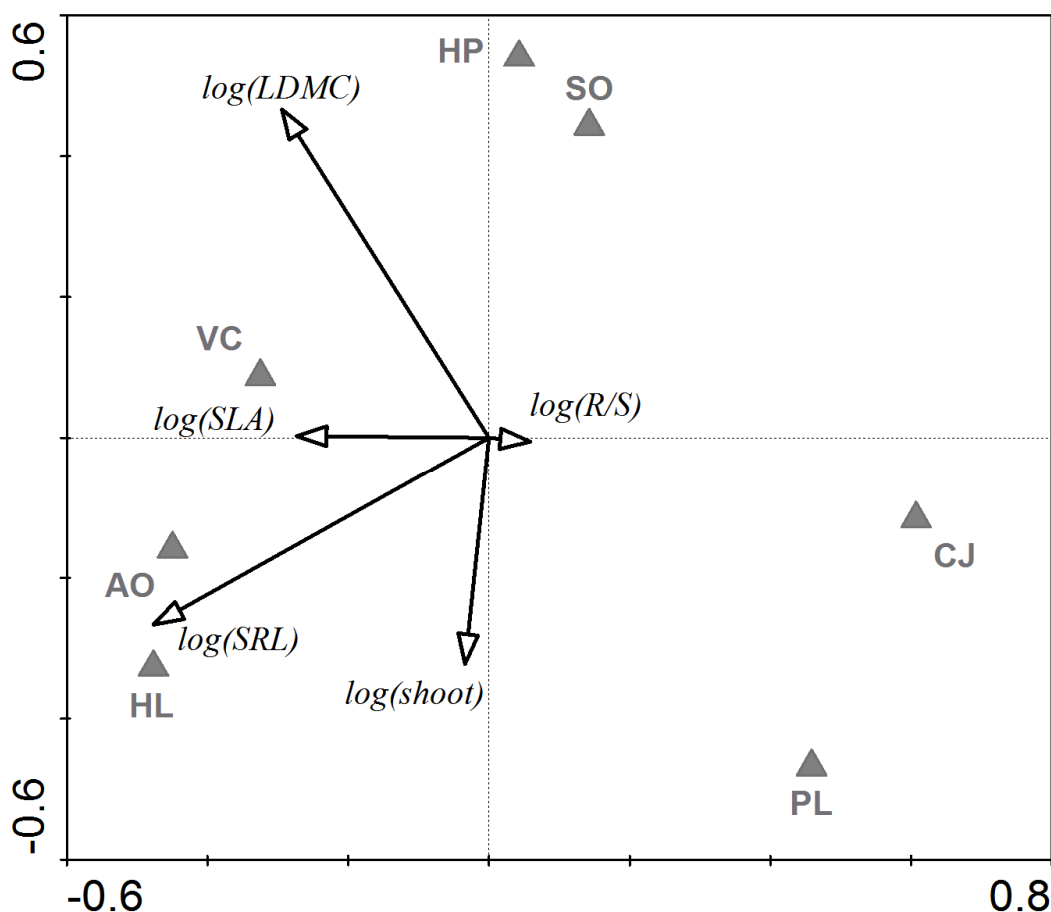
**Obrázek 8:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way* ANOVA) testující rozdíly mezi druhy ve specifické listové ploše (SLA). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Rozdíly mezi druhy v obsahu sušiny v listu jsou na Obr. 9. Je vidět, že na rozdíl od ostatních měly druhy *Sanguisorba officinalis* a *Avenula pubescens* vyšší hodnoty obsahu sušiny listu. Dobře se odlišily druhy *Centaurea jacea* a *Plantago lanceolata*, které měly nižší obsah sušiny listu než všechny ostatní druhy.



**Obrázek 9:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way* ANOVA) testující rozdíly mezi druhy v obsahu sušiny listu (LDMC). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

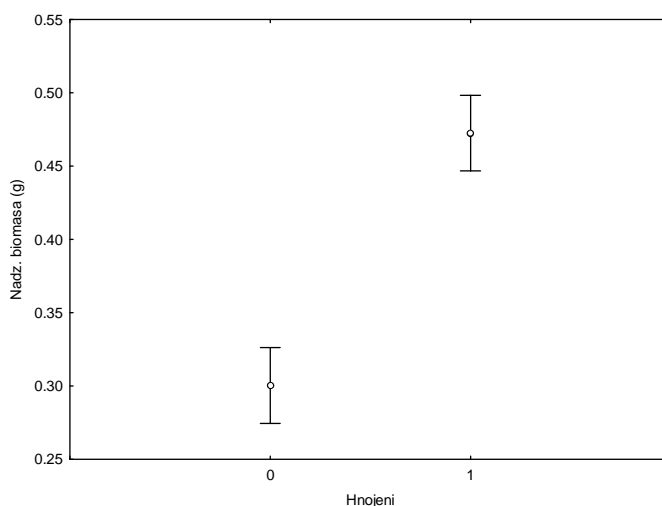
Tyto rozdíly opět dobře shrnuje ordinační diagram RDA analýzy testující rozdíly mezi funkčními charakteristikami v závislosti na příslušnosti ke druhu (Obr. 10). První kanonická osa této analýzy vysvětlila 25,6 % a první dvě osy celkově 45 % variability zbylé po odečtení vlivu kovariát a tento efekt byl průkazný - Monte-Carlo permutační test signifikance všech kanonických os: pseudo F statistika = 68,8,  $p = 0,002$  (499 permutací).



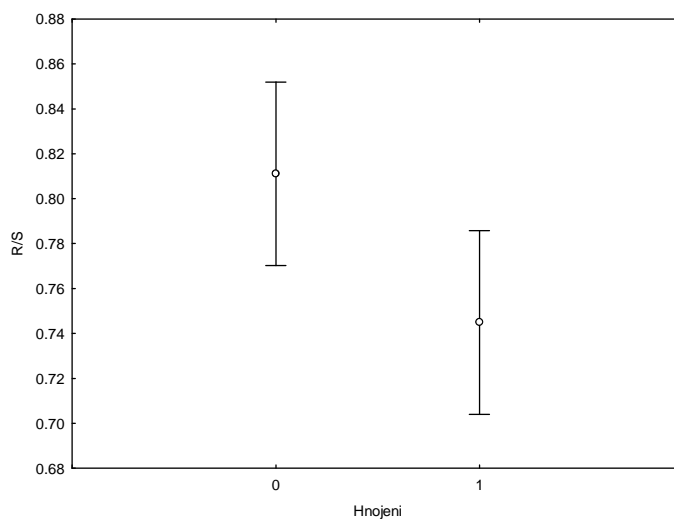
**Obrázek 10:** Ordinační diagram výsledků RDA analýzy vlivu příslušnosti ke druhu na funkční charakteristiky. Log(shoot) = nadzemní biomasa, log(R/S) = poměr nadzemní a podzemní biomasy, log(SLA) = specifická plocha listu, log(LDMC) = obsah sušiny listu, log(SRL) = specifická délka kořenů. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*. Zvýrazněné šipky znamenají, že daná funkční charakteristika byla pro daný faktor průkazná při testu jednorozměrnými metodami na hladině do  $p < 0,05$ .

### 3. 1. 3 Rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení

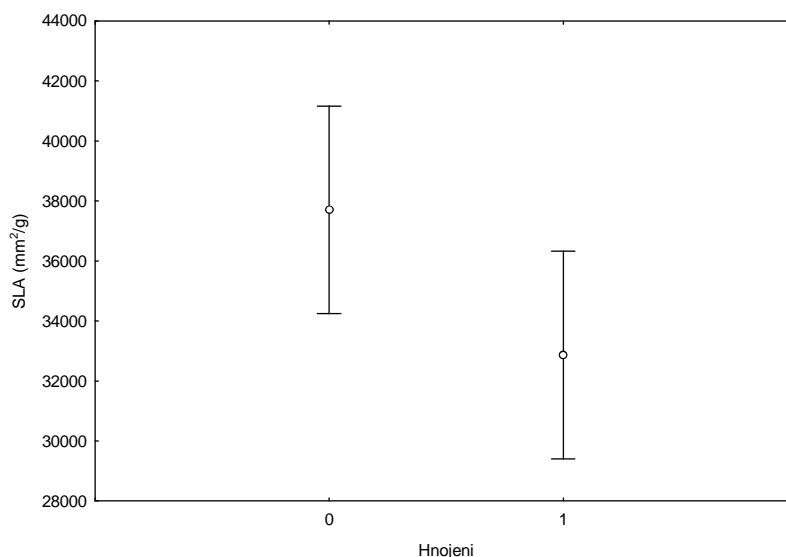
Hnojení mělo průkazný vliv jen na některé funkční charakteristiky (nadzemní biomasa, R/S poměr a SLA). Hnojené rostliny měly průkazně vyšší nadzemní biomasa (Obr. 11) a průkazně nižší R/S poměr a specifickou listovou plochu (Obr. 12, Obr. 13).



**Obrázek 11:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly v nadzemní biomase (Nadz. biomasa) v závislosti na hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

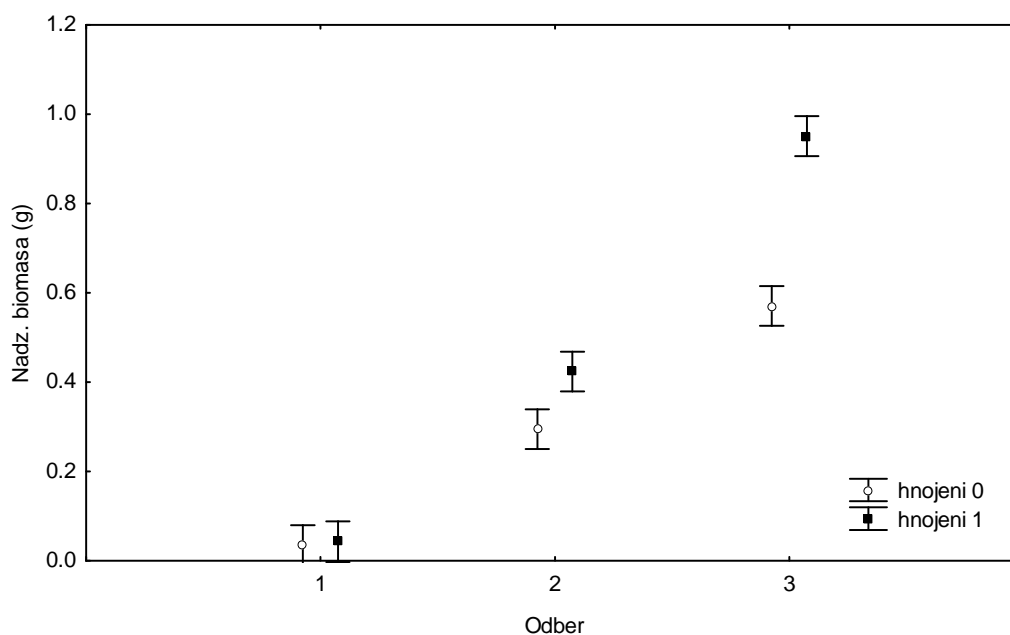


**Obrázek 12:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly v poměru podzemní a nadzemní biomasy (R/S) v závislosti na hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.



**Obrázek 13:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly ve specifické listové ploše (SLA) v závislosti na hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

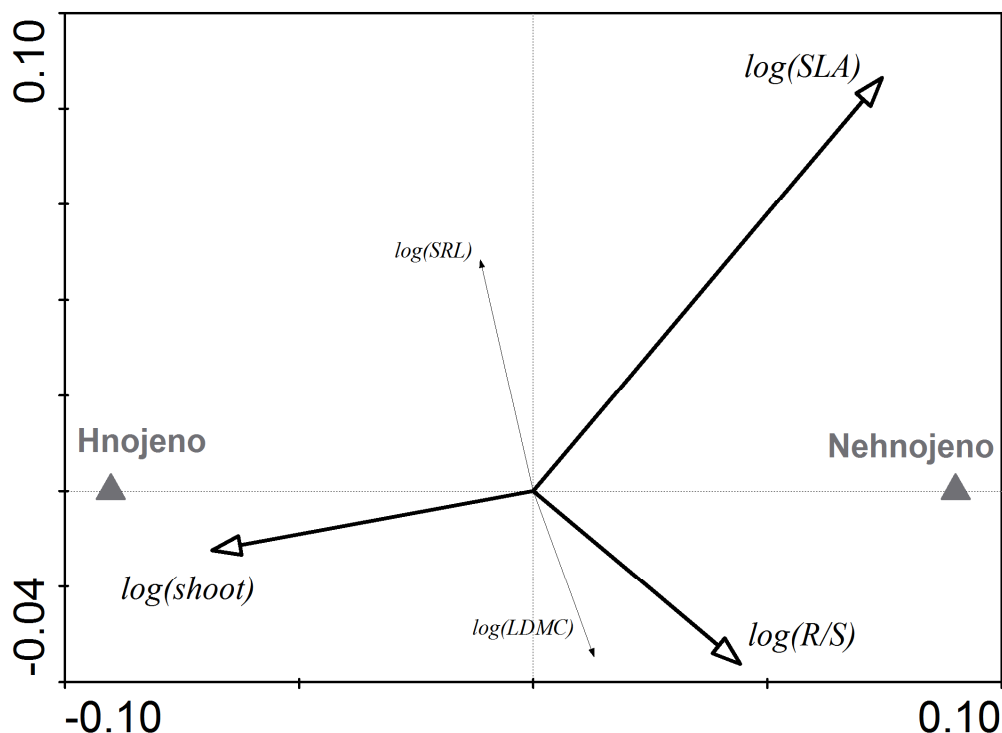
Interakce faktorů odběr\*hnojení vyšla průkazná pouze pro nadzemní biomasu (Tab. 1). Z mnohonásobných porovnáání vyplývá, že hnojení mělo přes všechny druhy průkazný vliv na zvýšení nadzemní biomasy ve druhém ( $p < 0.001$ ) a třetím odběru ( $p < 0.001$ ), rozdíl mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami v prvním odběru nebyl průkazný (Obr. 14). Pro ostatní funkční charakteristiky byla tato interakce neprůkazná (Tab. 1).



**Obrázek 14:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující vliv interakce pořadí odběru a hnojení na specifickou nadzemní biomasu rostlin (Nadz. biomasa). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Odběr 1, 2, 3 - první, druhý a třetí odběr, hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno.



Výsledky jsou souhrnně znázorněny v ordinačním diagramu analýzy RDA testující vliv hnojení na dané funkční charakteristiky (Obr. 15). Jediná kanonická osa představující vliv hnojení vysvětluje 2,5 % z celkové variability ve funkčních charakteristikách po odečtení vlivu kovariát. Tento efekt byl průkazný - Monte-Carlo permutační test signifikance první kanonické osy: pseudo F statistika = 5,190,  $p = 0,0020$  (499 permutací).



**Obrázek 15:** Ordinační diagram výsledků analýzy RDA testující vliv hnojení na dané funkční charakteristiky. Log(shoot) = nadzemní biomasa, log(R/S) = poměr nadzemní a podzemní biomasy, log(SLA) = specifická plocha listu, log(LDMC) = obsah sušiny listu, log(SRL) = specifická délka kořenů. Zvýrazněné šipky znamenají, že daná funkční charakteristika byla pro daný faktor průkazná při testu jednorozměrnými metodami na hladině  $p < 0,05$ .

### 3. 1. 4 Vliv příslušnosti ke druhu a hnojení na arbuskulární mykorhizu (AM) rostlin ve 3. odběru skleníkového pokusu

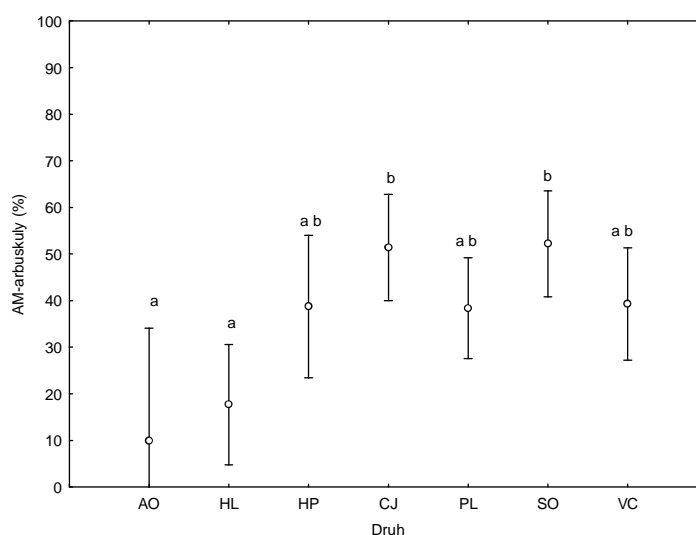
Výsledky analýzy vlivu příslušnosti ke druhu a hnojení na podíl kořenů rostlin 3. odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů shrnuje Tab. 2.

**Tabulka 2:** Výsledky obecných lineárních modelů testujících vliv příslušnosti ke druhu a hnojení na podíl kořenů rostlin 3. odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů. V analýze byly hodnoty AM infekce transformovány arcsinovou transformací. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti, n. s. = neprůkazný výsledek, neprůkazné výsledky blízke hranici průkaznosti jsou také uvedeny číselně.

AM	df	F	p
druh	6, 36	4.85	<b>0.001</b>
hnojení	1, 36	3.24	<b>0.080</b>
druh*hnojení	6, 36	0.51	<b>n. s.</b>

Z výsledků obecného lineárního modelu pro rozdíl mezi druhy plyne, že druhy se mezi sebou průkazně lišily v intenzitě jejich arbuskulární mykorhizy (vyhodnocené jako podíl úseků kořenů s přítomností arbuskulů) v kořenech (Tab. 2, Obr. 16).

Na hladině průkaznosti  $p = 0,080$  vyšel vliv hnojení na intenzitu AM infekce (Tab. 2). Nehnojené rostliny měly vyšší podíl arbuskulů v kořenech. Interakce faktorů druh\*hnojení nebyla průkazná (Tab. 2).



**Obrázek 16:** Výsledky obecného lineárního modelu, ve kterém byl testován vliv příslušnosti ke druhu na procentický podíl kořenů rostlin 3. odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů (AM-arbuskuly). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena nad úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

### 3. 1. 5 Rozdíly mezi skupinami druhů (trávy/dvouděložné) ve skleníkovém pokusu

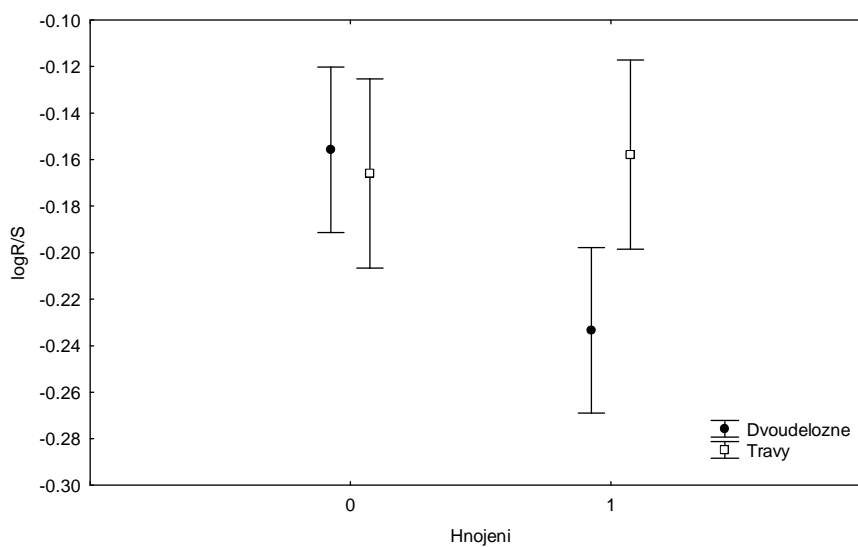
Tabulka 3 shrnuje výsledky analýz testujících vliv příslušnosti druhů ke skupině (trávy/dvouděložné) a reakci těchto skupin na hnojení.

**Tabulka 3:** Výsledky obecného lineárního modelu s hierarchickým uspořádáním testujícího rozdíly mezi druhy vnořenými do faktoru skupina (trávy/dvouděložné), reakci skupin na hnojení a interakce těchto faktorů ve skleníkovém pokusu. V analýze byly použity logaritmované hodnoty všech funkčních charakteristik. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti pro  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek, neprůkazné výsledky blízke hranici průkaznosti jsou uvedeny číselně. Šipka u průkazného faktoru hnojení ukazuje směr změny hodnot funkční charakteristiky u hnojených rostlin, u průkazného faktoru odběr ukazuje směr změny od prvního ke třetímu odběru.

Funkční char.	Faktor	df	F	p
<b>Nadz. biomasa</b>	druh(skupina)	5, 191	89,6	<b>&lt;0.001</b>
	skupina	1, 5	0.06	<b>n. s.</b>
	odběr	2, 191	778.10	<b>&lt;0.001</b> ↑
	hnojení	1, 191	35.90	<b>&lt;0.001</b> ↑
	odběr*skupina	2, 191	4.81	<b>0.009</b>
	odběr*hnojení	2, 191	2.94	<b>0.055</b>
	skupina*hnojení	1, 191	0.00	<b>n. s.</b>
<b>R/S</b>	druh(skupina)	5, 191	14.18	<b>&lt;0.001</b>
	skupina	2, 191	0.20	<b>n. s.</b>
	odběr	1, 5	175.70	<b>&lt;0.001</b> ↑
	hnojení	1, 191	3.21	<b>n. s.</b>
	odběr*skupina	2, 191	14.10	<b>&lt;0.001</b>
	odběr*hnojení	2, 191	0.03	<b>n. s.</b>
	skupina*hnojení	1, 191	4.90	<b>0.028</b>
<b>SLA</b>	druh(skupina)	5, 191	6.06	<b>&lt;0.001</b>
	skupina	1, 5	5.21	<b>n. s.</b>
	odběr	2, 191	33.34	<b>&lt;0.001</b> ↓
	hnojení	1, 191	6.36	<b>0.012</b> ↓
	odběr*skupina	2, 191	1.18	<b>n. s.</b>
	odběr*hnojení	2, 191	0.06	<b>n. s.</b>
	skupina*hnojení	1, 191	0.01	<b>n. s.</b>
<b>SRL</b>	druh(skupina)	5, 191	49.78	<b>&lt;0.001</b>
	skupina	1, 5	1.76	<b>n. s.</b>
	odběr	2, 191	11.76	<b>&lt;0.001</b> ↓
	hnojení	1, 191	0.13	<b>n. s.</b>
	odběr*skupina	2, 191	11.03	<b>&lt;0.001</b>
	odběr*hnojení	2, 191	0.54	<b>n. s.</b>
	skupina*hnojení	1, 191	0.14	<b>n. s.</b>
<b>LDMC</b>	druh(skupina)	5, 191	96.84	<b>&lt;0.001</b>
	skupina	1, 5	1.09	<b>n. s.</b>
	odběr	2, 191	142.64	<b>&lt;0.001</b> ↑
	hnojení	1, 191	0.55	<b>n. s.</b>
	odběr*skupina	2, 191	12.99	<b>&lt;0.001</b>
	odběr*hnojení	2, 191	1.20	<b>n. s.</b>
	skupina*hnojení	1, 191	0.16	<b>n. s.</b>

Druhy se v rámci skupin mezi sebou průkazně lišily (Tab. 3). Skupiny se mezi sebou v žádné měřené funkční charakteristice nelišily (Tab. 3).

Hlavní efekt hnojení na R/S poměr byl neprůkazný, ale interakce faktorů skupina\*hnojení (Tab. 3) ukazuje, že alespoň jedna skupina reagovala na jednu hladinu hnojení. Hnojené dvouděložné měly průkazně nižší hodnoty R/S poměru než hnojené trávy (Obr. 17).



**Obrázek 17:** Výsledky obecného lineárního modelu testujícího vliv interakce faktorů hnojení a skupiny, ke které druhy příslušely (trávy/dvouděložné), na poměr podzemní a nadzemní biomasy (logR/S). V grafu byly použity logaritmované hodnoty SRL. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

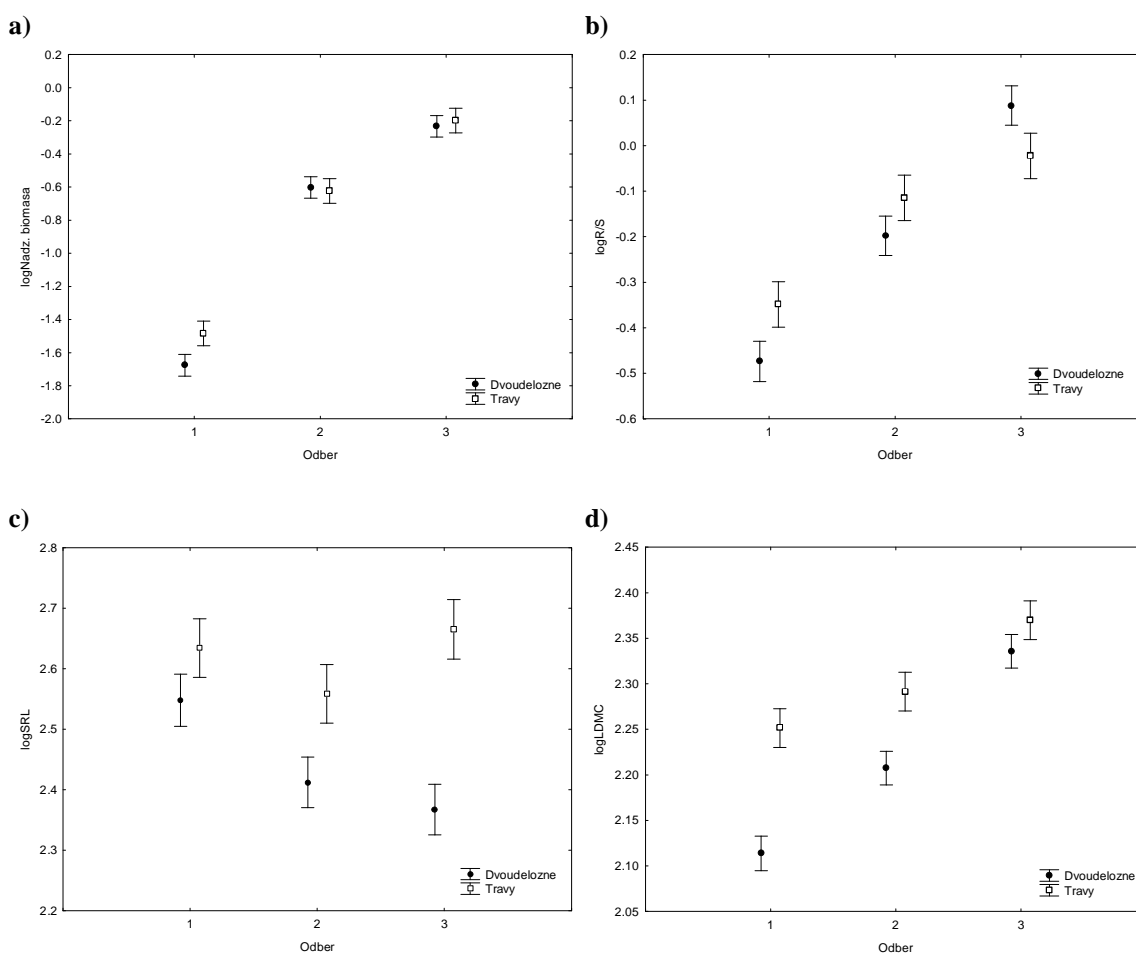
Hlavní efekt příslušnosti ke skupině byl na všechny funkční charakteristiky neprůkazný, ale průkazná interakce vlivu příslušnosti ke skupině a pořadí odběru pro všechny funkční charakteristiky kromě SLA značí, že skupiny se v těchto funkčních charakteristikách mezi sebou v některých odběrech lišily (Tab. 3, Obr. 18 a - d).

Nadzemní biomasa trav a dvouděložných v pokusu se lišila pouze v prvním odběru, v dalších odběrech už rozdíly ve skupinách nebyly (Obr. 18a). V prvním odběru měly trávy více nadzemní biomasy.

Poměr podzemní a nadzemní biomasy (R/S) skupin byl v prvním odběru průkazně vyšší u trav, ve druhém odběru rozdíl mezi skupinami průkazný nebyl, ale trávy měly průměrně vyšší poměr R/S. Ve třetím odběru měly průkazně vyšší R/S poměr dvouděložné (Obr. 18b).

Trávy měly ve všech odběrech vyšší specifickou délku kořenů (průkazně pro druhý a třetí odběr). U dvouděložných hodnoty SRL od prvního ke třetímu odběru klesaly, u trav se mezi odběry průkazně nelišily. (Obr. 18c).

Trávy měly v prvním a druhém odběru průkazně vyšší obsah sušiny listu (LDMC). Ve třetím odběru se již LDMC trav a dvouděložných nelišila. Je vidět, že průměrné hodnoty LDMC u trav byly především v prvním a třetím odběru vyšší než u dvouděložných (Obr. 18d).



**Obrázek 18 a - d:** Výsledky obecného lineárního modelu testujícího vliv interakce faktorů odběr (1, 2, 3 = první, druhý a třetí odběr) a skupiny, ke které druhy příslušely (trávy/dvouděložné), na:

- a) nadzemní biomasy (logNadz. biomasa)
- b) poměr podzemní a nadzemní biomasy (logR/S)
- c) specifickou délku kořenů (logSRL)
- d) obsah sušiny listu (logLDMC).

V grafu byly použity logaritmované hodnoty funkčních charakteristik. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

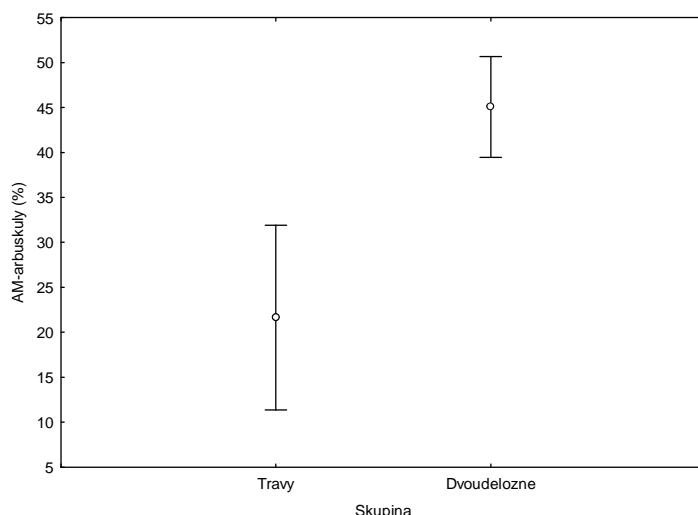
### 3. 1. 6 Rozdíly v arbuskulární mykorhize (AM) mezi skupinami ve 3. odběru skleníkového pokusu

Tab. 4 shrnuje výsledky obecného lineárního modelu testujícího rozdíly v podílu kořenů rostlin třetího odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů mezi skupinami, ve kterém byl faktor druhu vnořen do faktoru příslušnost ke skupině (trávy/dvouděložné).

**Tabulka 4:** Výsledky obecného lineárního modelu s hierarchickým uspořádáním testujícího vliv faktoru příslušnost druhů ke skupině (trávy/dvouděložné) a reakci skupin na hnojení a jejich interakci na podíl kořenů rostlin 3. odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů. V analýze byly hodnoty AM infekce transformovány arcsinovou transformací. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti pro  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek, neprůkazné výsledky blízké hranici průkaznosti jsou uvedeny číselně.

AM	df	F	p
druh(skupina)	5, 41	2.40	<b>0.053</b>
skupina	1, 7	9.98	<b>0.015</b>
hnojení	1, 41	3.62	<b>0.064</b>
skupina*hnojení	1, 41	0.32	<b>n.s.</b>

Skupiny druhů trávy a dvouděložné se mezi sebou průkazně lišily v podílu kořenů s přítomností arbuskulů (Tab. 4). Trávy měly nižší podíl kořenů s vyvinutými arbuskuly (Obr. 19). Neprůkazná interakce faktorů skupina\*hnojení znamená, že skupiny se v této charakteristice mezi sebou nelišily v reakci na hnojení.



**Obrázek 19:** Výsledky analýzy obecného lineárního modelu (GLM) s hierarchickým uspořádáním testujícího vliv faktoru příslušnost ke skupině (trávy/dvouděložné) na podíl kořenů rostlin 3. odběru skleníkového pokusu s přítomností arbuskulů (AM-arbuskuly). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

## 3. 2 Výsledky terénního pokusu

Tabulka 5 shrnuje výsledky jednorozměrných analýz testujících rozdíly ve funkčních charakteristikách na úrovni druhů.

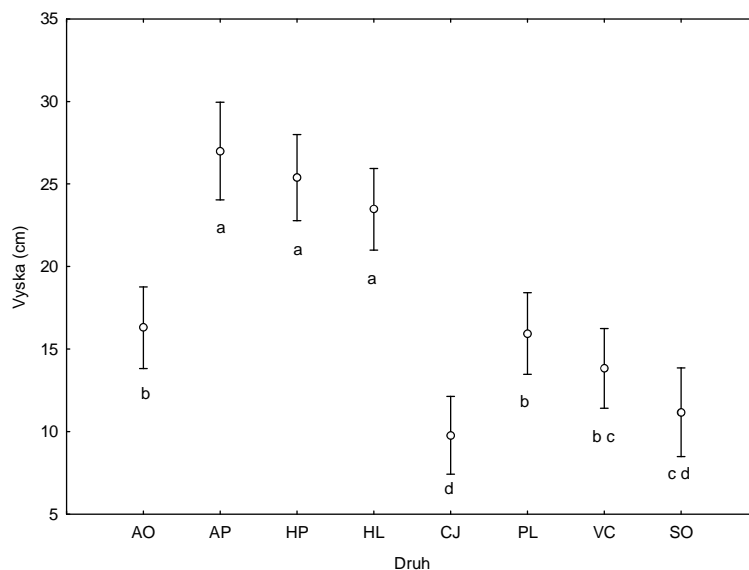
**Tabulka 5:** Výsledky jednorozměrných statistických metod testujících vliv jednotlivých faktorů a jejich interakcí na funkční charakteristiky měřené v terénním pokusu. V analýze byly použity logaritmované hodnoty všech funkčních charakteristik. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti pro  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek. SLA = specifická listová plocha, LDMC = obsah sušiny listu. Šipka u průkazného faktoru hnojení ukazuje směr změny hodnot funkční charakteristiky u hnojených rostlin.

Funkční char.	Faktor	df	F	p
Výška	druh	7, 144	29.93	<0.001
	hnojení	1, 136	33.68	<0.001 ↑
	druh*hnojení	7, 136	3.28	0.003
SLA	druh	7, 144	28.42	<0.001
	hnojení	1, 136	0.26	n. s.
	druh*hnojení	7, 136	2.27	0.032
LDMC	druh	7, 144	39.68	<0.001
	hnojení	1, 136	5.38	0.022 ↓
	druh*hnojení	7, 136	1.75	n. s.

### 3. 2. 1 Rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy

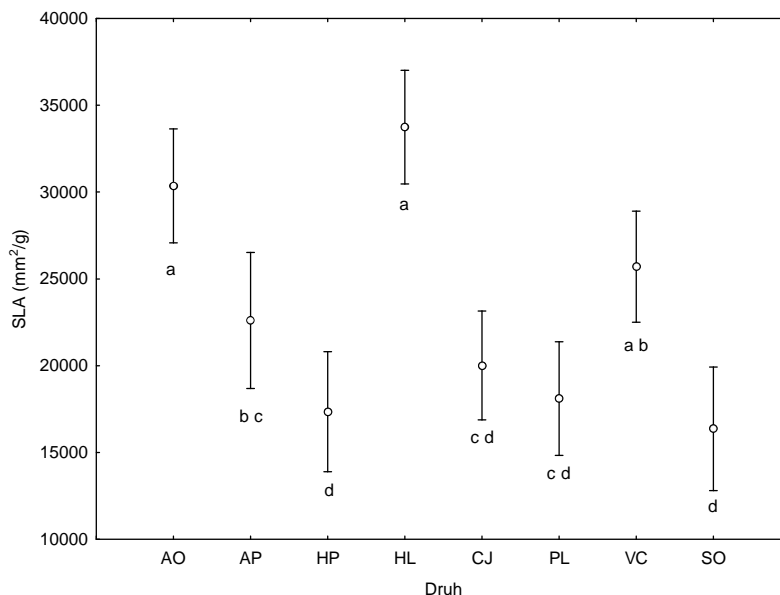
Všechny tři sledované funkční charakteristiky se průkazně lišily mezi druhy měřenými v terénním pokusu (Tab. 5). Rozdíly mezi druhy v jednotlivých funkčních charakteristikách zobrazují Obr. 20 - 23.

Nejvyšší výšky dosáhly tři druhy trav *A. pratensis*, *A. pubescens* a *H. lanatus*. Nejnižší výšku měly semirozetové druhy *S. officinalis* a *C. jacea* (Obr. 20).



**Obrázek 20:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way ANOVA*) testující rozdíly mezi druhy ve výšce. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

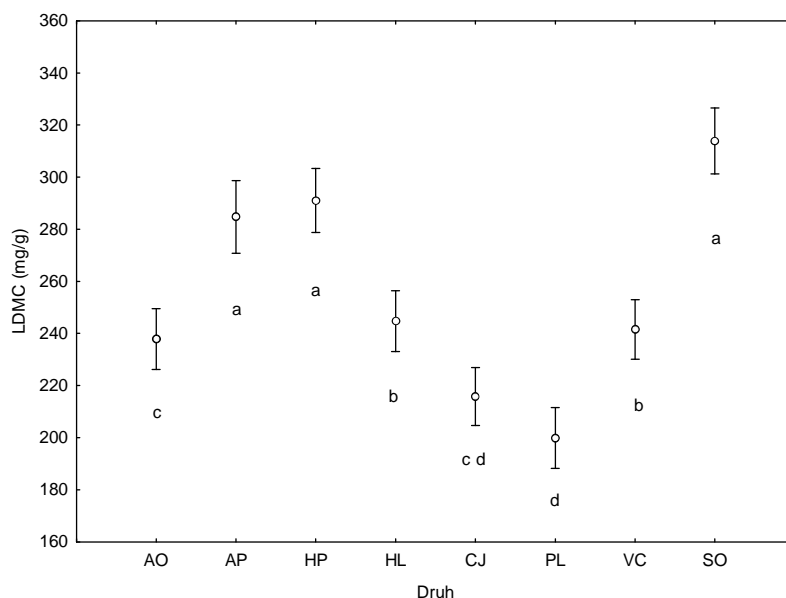
Nejvyšších hodnot specifické listové plochy dosáhly *A. odoratum* a *H. lanatus* (Obr. 21).



**Obrázek 21:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way ANOVA*) testující rozdíly mezi druhy ve specifické listové ploše (SLA). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

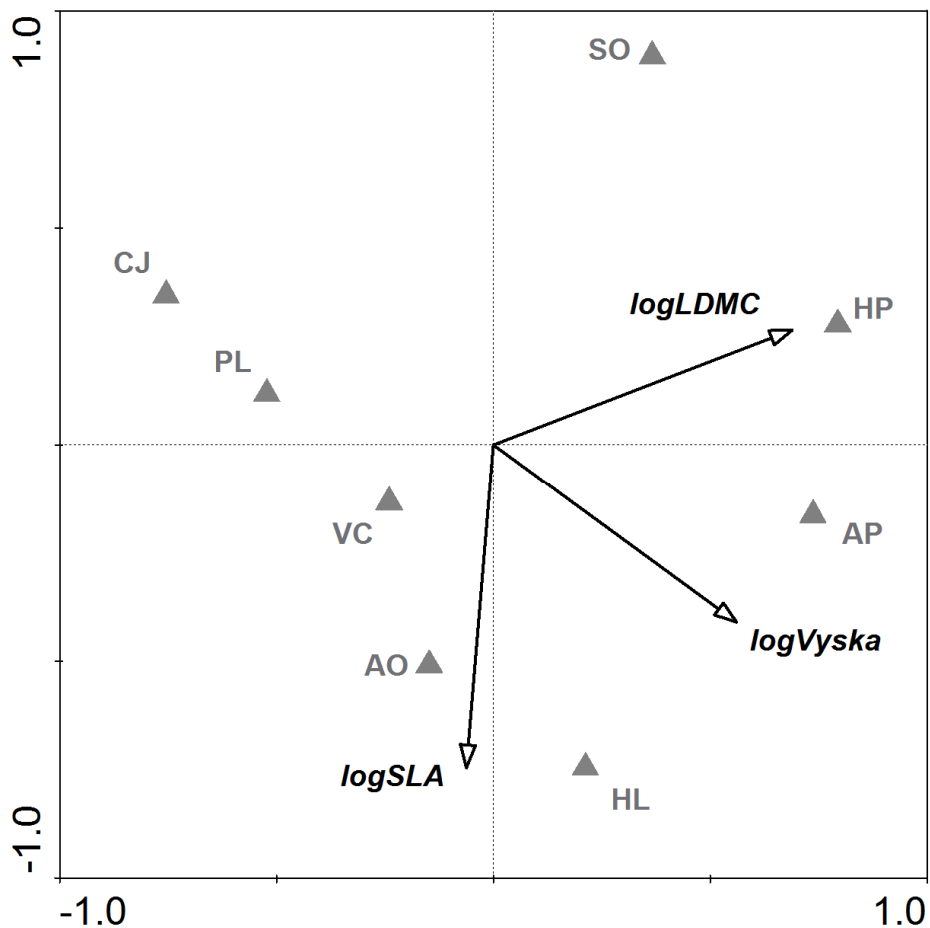


Nejvyšší hodnoty obsahu sušiny listu měly druhy *S. officinalis*, *A. pratensis* a *A. pubescens*. Nejnižší hodnoty měly *P. lanceolata* a *C. jacea* (Obr. 22).



**Obrázek 22:** Výsledky jednocestné analýzy variance (*one-way* ANOVA) testující rozdíly mezi druhy v obsahu sušiny listu (LDMC). Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. Shodná písmena pod úsečkami označují, že se dané dva druhy od sebe nelišily v mnohonásobných porovnáních na hranici průkaznosti  $p < 0,05$ . Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

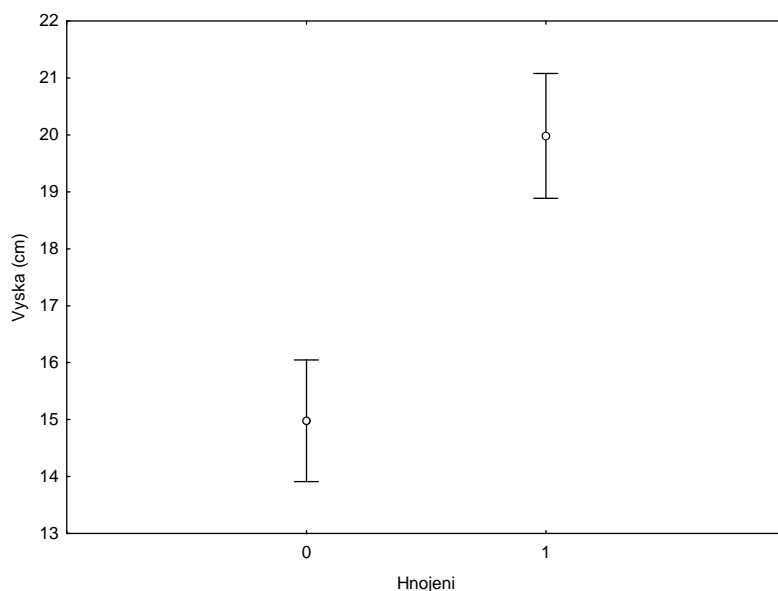
Dobře tyto výsledky souhrnně ilustruje následující ordinační diagram výsledků analýzy RDA (Obr. 23). V analýze byly testovány rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy. Dvě výrazné a nezávislé kanonické osy této analýzy vysvětlily dohromady 52,3 % variability zbylé po odečtení vlivu kovariát, z čehož první osa vysvětlila 28,4 % variability. Tyto výsledky jsou průkazné - Monte-Carlo permutační test signifikance všech kanonických os: pseudo F statistika = 34,1,  $p = 0,002$  (499 permutací).



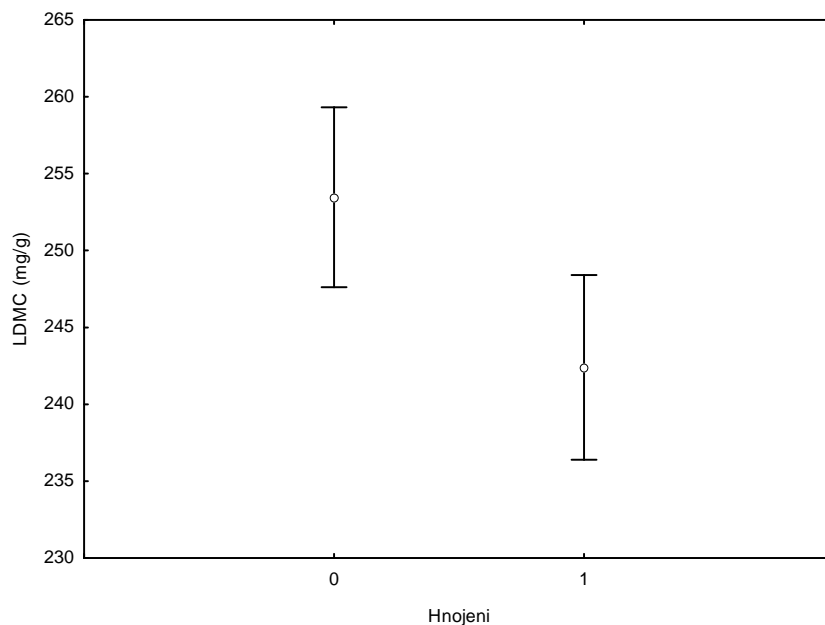
**Obrázek 23:** Ordinační diagram výsledků analýzy RDA. V analýze byly testovány rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi druhy. Šipky funkčních charakteristik, které se mezi druhy průkazně lišily v jednorozměrných metodách na hladině průkaznosti  $p < 0,05$ , jsou zvýrazněné. Funkční charakteristiky: LogVyska = výška rostliny, logSLA = specifická listová plocha, logLDMC = obsah sušiny listu. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

### 3. 2. 2 Rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení

Hnojené rostliny v terénním pokusu měly průkazně vyšší výšku a průkazně nižší obsah sušiny listu (Tab. 5, Obr. 24, Obr. 25). Na specifickou listovou plochu nemělo hnojení vliv.

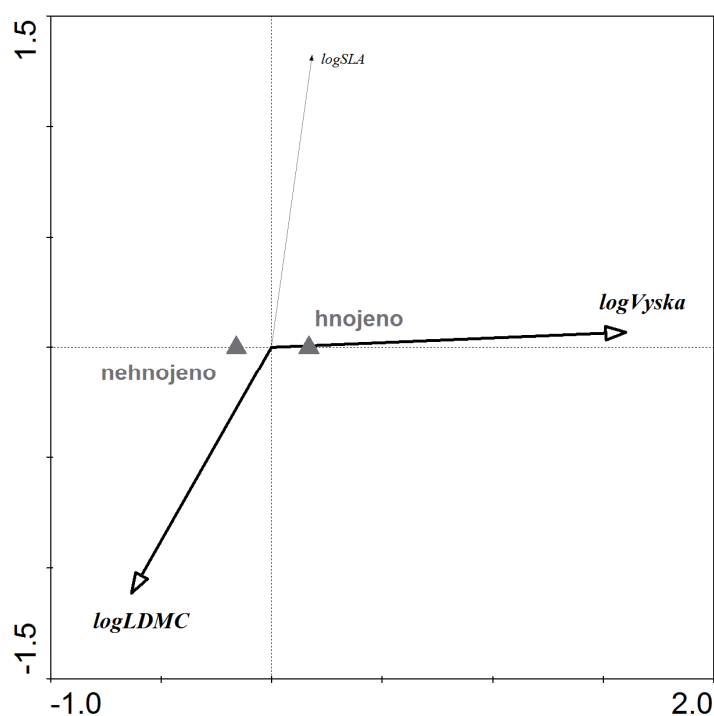


**Obrázek 24:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly ve výšce (Výška) v závislosti na hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.



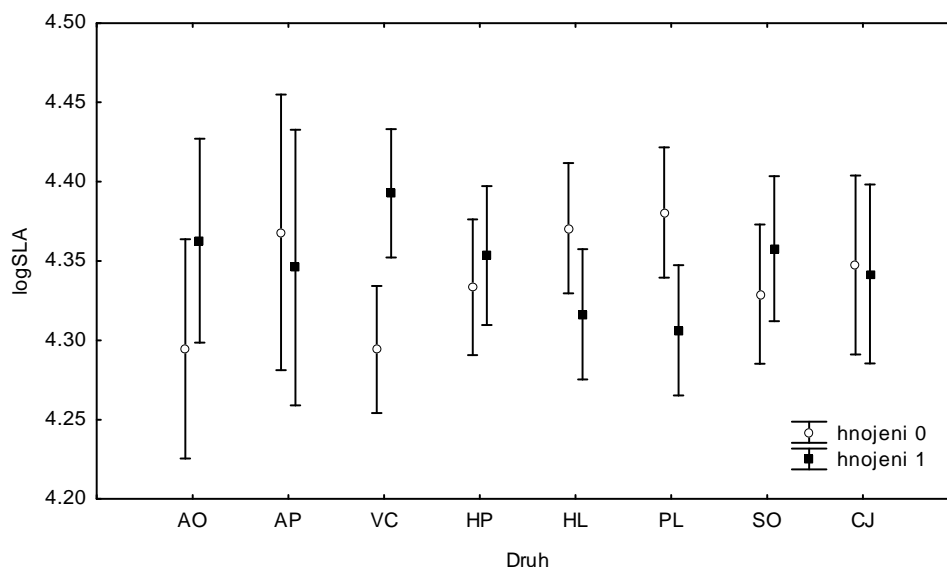
**Obrázek 25:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly v obsahu sušiny listu (LDMC) v závislosti na hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

Souhrnně tyto výsledky ukazuje ordinační diagram výsledků analýzy RDA (Obr. 26). V analýze byly testovány rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení. Jediná kanonická osa této analýzy vysvětlila 7 % z celkové variability po odečtení vlivu kovariát a tento efekt byl průkazný - Monte-Carlo permutační test signifikance první kanonické osy: pseudo F statistika = 10,70,  $p = 0,002$  (499 permutací). Je vidět, že výška rostliny je pozitivně korelovaná s hnojením a obsah sušiny listu je s hnojením korelovan negativně.



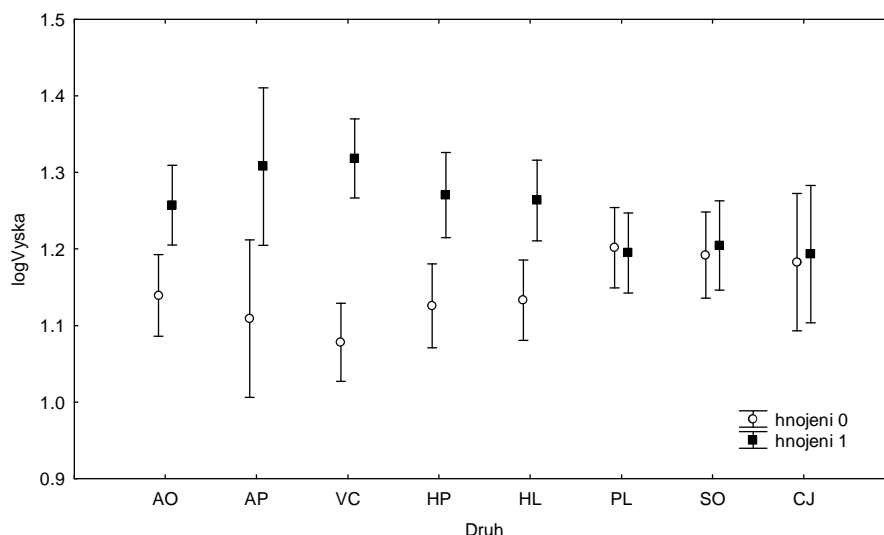
**Obrázek 26:** Ordinační diagram výsledků redundanční analýzy (RDA). V analýze byly testovány rozdíly ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení (hnojeno/nehnojeno). Funkční charakteristiky:  $\log Vyska$  = výška rostliny,  $\log SLA$  = specifická listová plocha,  $\log LDMC$  = obsah sušiny listu. Zvýrazněné šipky znamenají, že daná funkční charakteristika se průkazně lišila mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami při testu jednorozměrnými metodami na hladině průkaznosti  $p < 0,05$ .

Specifická listová plocha se nelišila mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami. Průkazná interakce faktorů druh\*hnojení (Tab. 5) však naznačuje, že by se SLA mohla měnit při pohnojení alespoň u některých druhů. Mnohonásobná porovnání ale nepotvrdila průkazný efekt hnojení na SLA ani pro druh *V. chamaedrys* s nejvýraznější reakcí (Obr. 27).



**Obrázek 27:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly ve specifické listové ploše (logSLA) v závislosti na interakci faktorů příslušnost ke druhu a hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. V grafu byly použity logaritmované hodnoty SLA. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

Interakce faktorů druh\*hnojení byla průkazná i pro výšku rostlin (Tab. 5, Obr. 28). Z mnohonásobných porovnání plyne, že tato interakce byla průkazná pouze pro druh *Veronica chamaedrys* ( $p < 0.001$ ) a na hranici průkaznosti pro druh *A. pubescens* ( $p < 0,065$ , v obrázku HP). Celkovou tendenci ke zvětšování výšky po přihnojení lze ale pozorovat u většiny druhů.



**Obrázek 28:** Výsledky analýzy kovariance (ANCOVA) testující rozdíly ve výšce (logVyska) v závislosti na interakci faktorů příslušnost ke druhu a hnojení. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval. V grafu byly použity logaritmované hodnoty výšky. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, AP = *Alopecurus pratensis*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*.

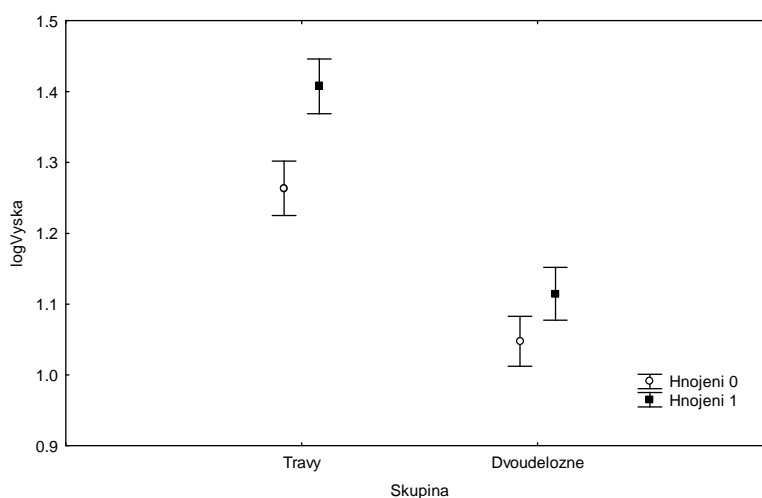
### 3. 2. 3 Rozdíly mezi skupinami druhů (trávy/dvouděložné) v terénním pokusu

Tabulka 6 shrnuje výsledky analýz testujících vliv příslušnosti druhů ke skupině (trávy/dvouděložné) a reakci těchto skupin na hnojení a interakci těchto faktorů.

**Tabulka 6:** Výsledky obecného lineárního modelu s hierarchickým uspořádáním testujících vliv příslušnosti druhů ke skupině (trávy/dvouděložné) a reakci skupin na hnojení ve skleníkovém pokusu. V analýze byla použita logaritmičsky transformovaná data a definovány interakce. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota F statistiky, p - dosažená hladina významnosti do  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek. Šipka u průkazného faktoru hnojení ukazuje směr změny hodnot funkční charakteristiky u hnojených rostlin.

Funkční char.	Faktor	df	F	p
Výška	druh(skupina)	6, 142	14.02	<0.001
	skupina	1, 6	12.98	0.011
	hnojení	1, 142	31.17	<0.001 ↑
	skupina*hnojení	1, 142	4.12	0.044
SLA	druh(skupina)	6, 142	25.05	<0.001
	skupina	1, 6	1.68	n. s.
	hnojení	1, 142	0.30	n. s.
	skupina*hnojení	1, 142	0.06	n. s.
LDMC	druh(skupina)	6, 142	41.38	<0.001
	skupina	1, 6	0.76	n. s.
	hnojení	1, 142	5.05	<0.001 ↓
	skupina*hnojení	1, 142	1.96	n. s.

Druhy se v rámci skupin mezi sebou průkazně lišily (Tab. 6). Skupiny se mezi sebou lišily pouze ve výšce, kdy trávy byly vyšší výšky a efekt hnojení na zvýšení výšky u trav byl výraznější (interakce faktorů skupina\*hnojení, Obr. 29).



**Obrázek 29:** Výsledky obecného lineárního modelu testujícího vliv interakce faktorů hnojení a skupiny, ke které druhy příslušely (trávy/dvouděložné), na výšku rostlin (logVyska). Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. V grafu byly použity logaritmované hodnoty výšky. Body znázorňují průměrnou hodnotu a svislé úsečky její 95% konfidenční interval.

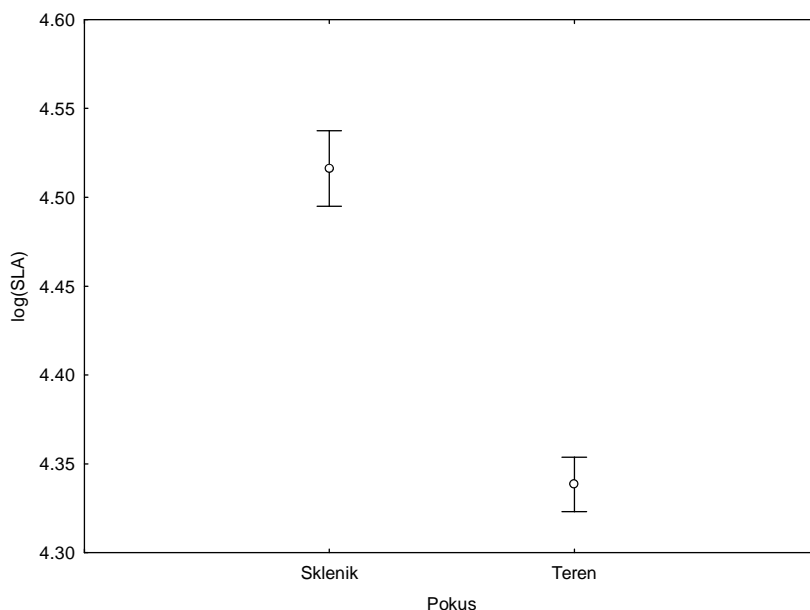
### 3. 3 Rozdíly ve funkčních charakteristikách LDMC a SLA v závislosti na typu pokusu

Tabulka 7 uvádí výsledky analýzy testující vliv faktoru typ pokusu (skleníkový/terénní) a dalších faktorů a jejich interakcí na funkční charakteristiky sledované ve skleníkovém i terénním pokusu - obsah sušiny listu a specifická listová plocha.

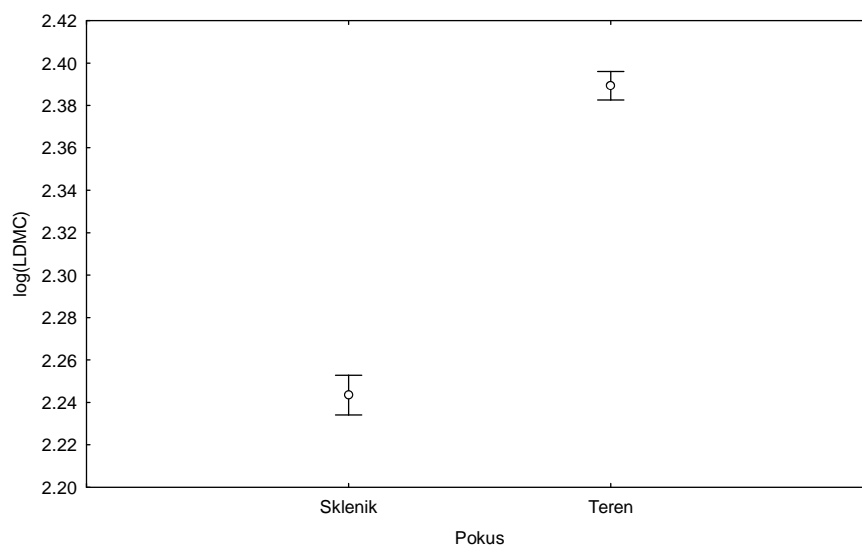
**Tabulka 7:** Výsledky obecného lineárního modelu testujícího vliv faktorů příslušnost ke druhu, hnojení, typ pokusu (skleníkový/terénní) a jejich interakcí na dvě funkční charakteristiky v obou experimentech sledovaných sedmi druhů. Hodnoty funkčních charakteristik v analýze byly logaritmicky transformovány. Df - první hodnota = stupně volnosti testovaného faktoru, druhá hodnota = reziduální stupně volnosti, F - hodnota testovacího kritéria, p - dosažená hladina významnosti pro  $p < 0,05$ , n. s. - neprůkazný výsledek, hodnoty blízké hladině průkaznosti jsou také zobrazeny číselně. LDMC = obsah sušiny listu, SLA = specifická listová plocha.

Funkční char.	Faktor	df	F	p
SLA	druh	6, 6	7.68	<b>0.013</b>
	hnojení	1, 6	1.40	n. s.
	pokus	1, 6	56.93	<b>&lt;0.001</b>
	druh*hnojení	6, 6	1.47	n. s.
	druh*pokus	6, 6	3.15	n. s.
	hnojení*pokus	1, 6	5.31	<b>0.061</b>
	druh*hnojení*pokus	6, 180	1.00	n. s.
LDMC	druh	6, 6	9.08	<b>0.007</b>
	hnojení	1, 6	0.20	n. s.
	pokus	1, 6	48.45	<b>&lt;0.001</b>
	druh*hnojení	6, 6	1.72	n. s.
	druh*pokus	6, 6	17.01	<b>0.002</b>
	hnojení*pokus	1, 6	6.91	<b>0.039</b>
	druh*hnojení*pokus	6, 180	0.76	n.s.

Hodnoty obou sledovaných funkčních charakteristik se lišily v závislosti na tom, zda byly měřeny ve skleníku nebo v terénu (Tab. 7, faktor pokus). Ve skleníkovém pokusu měly rostliny vyšší specifickou listovou plochu a nižší obsah sušiny listu než v pokusu terénním (Obr. 30 a Obr. 31).



**Obrázek 30:** Výsledky obecného lineárního modelu (GLM) testujícího vliv typu pokusu na specifickou listovou plochu =  $\log(\text{SLA})$ . Body ukazují průměrnou hodnotu SLA, svislé úsečky indikují její 95% konfidenční interval. Skleník = skleníkový pokus, terén = terénní pokus.



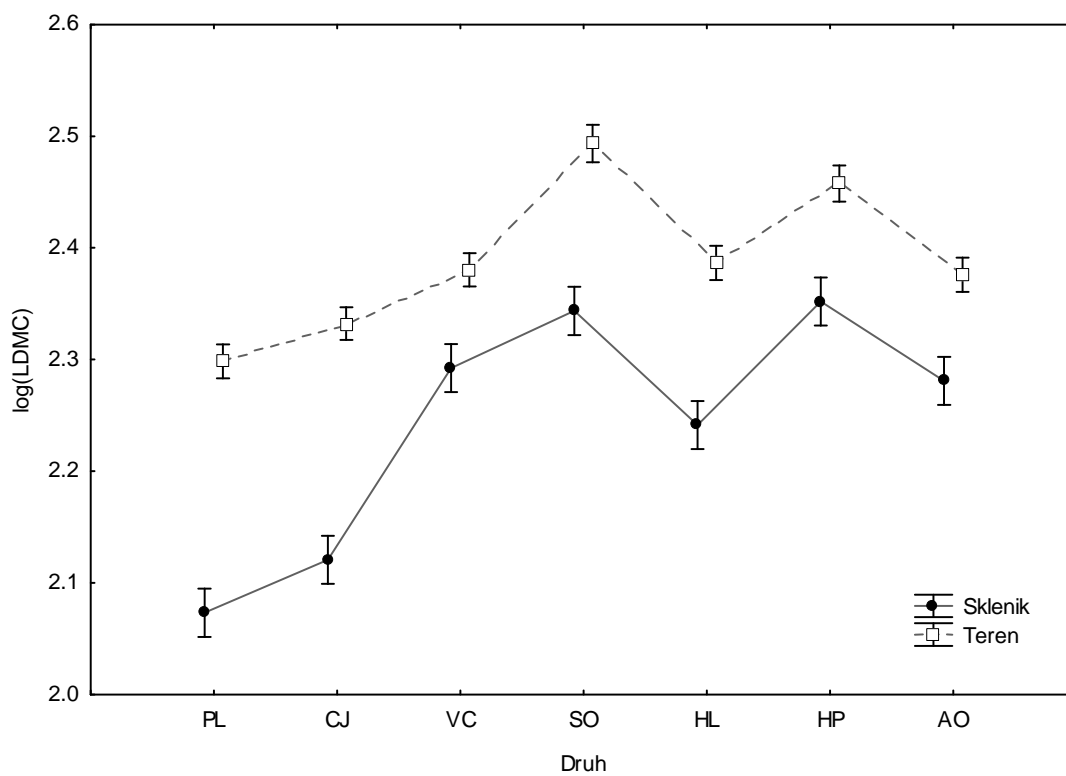
**Obrázek 31:** Výsledky obecného lineárního modelu (GLM) testujícího vliv typu pokusu na obsah sušiny listu =  $\log(\text{LDMC})$ . Body ukazují průměrnou hodnotu LDMC, svislé úsečky indikují její 95% konfidenční interval. Skleník = skleníkový pokus, terén = terénní pokus.

Obecně byla tedy SLA druhů měřená na rostlinách ze skleníku vyšší, ale neprůkazná interakce druh\*pokus (Tab. 7) ukazuje, že rozdíly mezi druhy ve specifické listové ploše nezávisely na tom, jestli byla specifická listová plocha stanovena v terénu na dospělých rostlinách nebo ve skleníku na pěstovaných semenáčcích.

V případě LDMC nabývaly vyšších hodnot rostliny z terénu (Obr. 31) a byly zároveň nalezeny průkazné rozdíly mezi druhy v závislosti na tom, zda rostliny pocházely z terénu nebo ze skleníku (Tab. 7, interakce faktorů druh\*pokus). Na Obr. 32 je vidět,



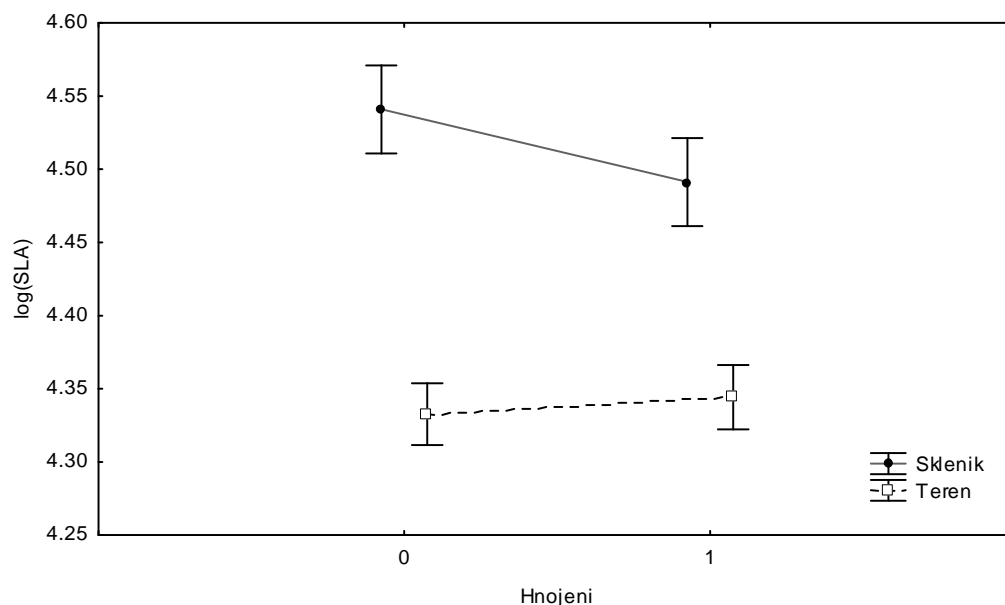
že druhy odebrané v terénním pokusu měly všechny vyšší hodnotu LDMC. Z mnohonásobných porovnáání plyne, že tyto rozdíly byly pro všechny druhy průkazné.



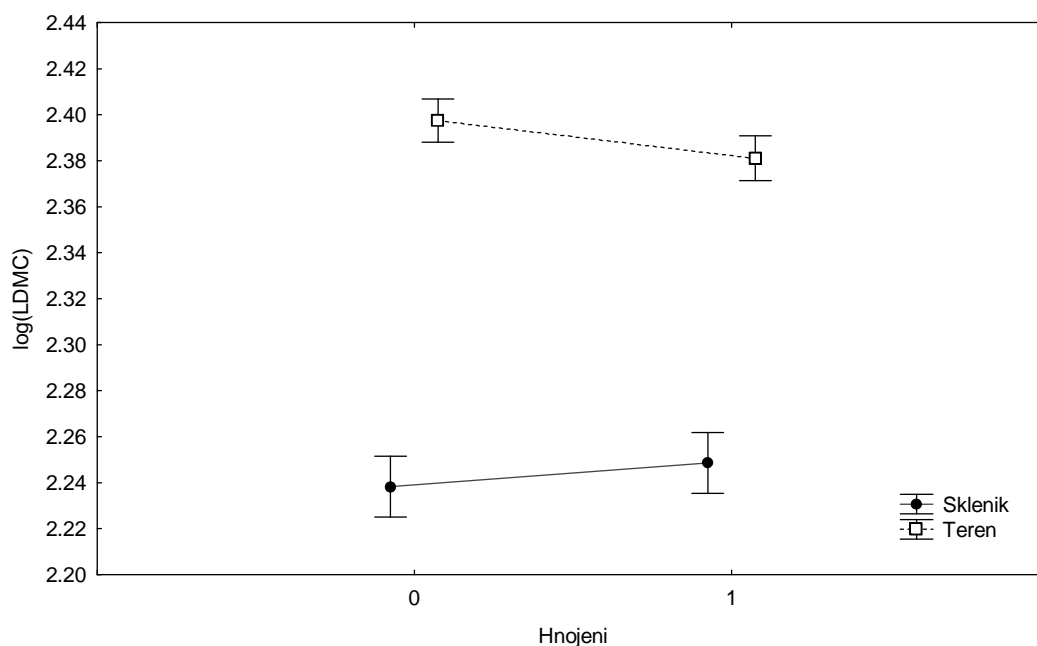
**Obrázek 32:** Výsledky obecných lineárního modelu (GLM) testujících vliv interakce druh\*typ pokusu (skleníkový, terénní) na obsah sušiny listu = log(LDMC). Body ukazují průměrnou hodnotu LDMC, svislé úsečky indikují její 95% konfidenční interval. Spojnice bodů spojují druhy ze stejného typu experimentu. Skleník = skleníkový pokus, terén = terénní pokus. Druhy: AO = *Anthoxanthum odoratum*, HP = *Avenula pubescens*, HL = *Holcus lanatus*, CJ = *Centaurea jacea*, PL = *Plantago lanceolata*, SO = *Sanguisorba officinalis*, VC = *Veronica chamaedrys*. Tyto rozdíly byly průkazné pro všechny druhy na hladině  $p < 0,05$ .

Průkazná interakce faktorů hnojení\*typ pokusu pro LDMC a na hranici průkaznosti pro SLA (Tab. 7) značí, že vliv hnojení na druhy se lišil mezi pokusy (Obr. 33, Obr. 34). Obr. 33 naznačuje, že hodnoty SLA v terénním pokusu nebyly hnojením ovlivněny, zatímco ve skleníku vedlo pohnojení k vývoji listů s nižší SLA. V samostatných analýzách testujících efekt hnojení na SLA byl ve skleníkovém pokusu tento efekt průkazný a vedl ke snížení SLA (Tab. 1) a v terénním pokusu byl neprůkazný (Tab. 5).

Obr. 34 ukazuje, že ve skleníku hnojení neovlivnilo LDMC, ale v terénu hnojené rostliny měly průkazně nižší LDMC (z mnohonásobných porovnáání:  $p = 0,0054$ ). V samostatných analýzách LDMC nebyla ovlivněna průkazně hnojením ve skleníku (Tab. 1), ale v terénu ano (Tab. 5), a u hnojených rostlin byla nižší.

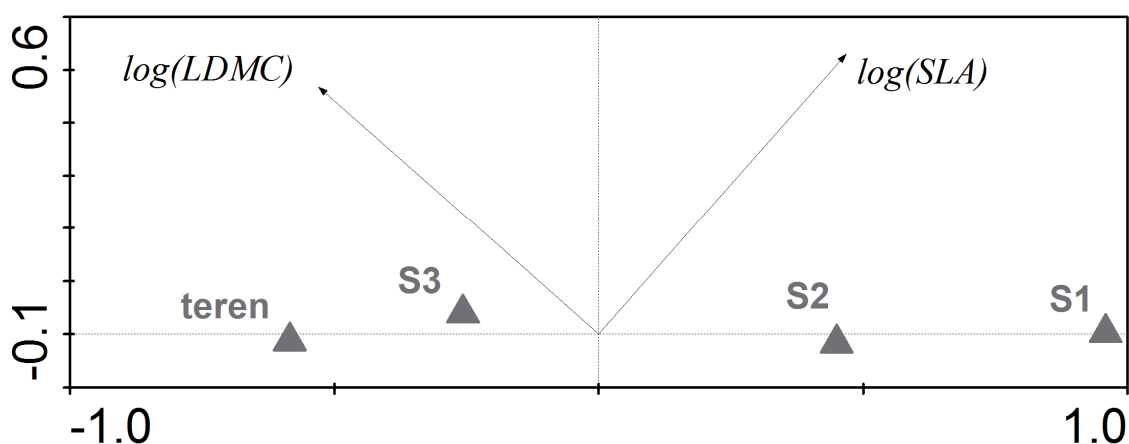


**Obrázek 33:** Výsledky obecného lineárního modelu (GLM) testujícího vliv interakce hnojení\* typ pokusu (skleníkový, terénní) na specifickou plochu listu =  $\log(\text{SLA})$ . Body ukazují průměrnou hodnotu SLA, svislé úsečky indikují její 95% konfidenční interval. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Spojnice bodů spojují průměry stejného typu experimentu.



**Obrázek 34:** Výsledky obecného lineárního modelu (GLM) testujícího vliv interakce hnojení\*typ pokusu (skleníkový, terénní) na obsah sušiny listu =  $\log(\text{LDMC})$ . Body ukazují průměrnou hodnotu LDMC, svislé úsečky indikují její 95% konfidenční interval. Hnojení 0 = nehnojeno, hnojení 1 = hnojeno. Spojnice bodů spojují průměry stejného typu experimentu.

Na ordinačním diagramu výsledků analýzy RDA srovnávající rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi jednotlivými odběry skleníkového pokusu a hodnotami naměřenými v terénním pokusu (Obr. 35) je patrné, že během růstu semenáčků ve skleníkovém pokusu se od prvního ke třetímu odběru hodnoty funkčních charakteristik přibližovaly hodnotám naměřeným na dospělých rostlinách v terénu (klesala SLA a rostl LDMC).



**Obrázek 35:** Ordinační diagram výsledků analýzy RDA srovnávající rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi jednotlivými odběry skleníkového pokusu a hodnotami naměřenými v terénním pokusu. První osa vysvětlila 53,4 % a druhá osa < 0.1 % variability zbylé po odečtení vlivu kovariát a tento efekt byl průkazný - Monte-Carlo permutační test signifikance všech kanonických os: pseudo F statistika = 128,4,  $p = 0,002$  (499 permutací). S1, 2 a 3 = první, druhý a třetí odběr skleníkového pokusu, teren = hodnoty terénního pokusu,  $\log(SLA)$  = specifická plocha listu,  $\log(LDMC)$  = obsah sušiny listu.

## 4. DISKUZE

### 4.1 Srovnání naměřených hodnot funkčních charakteristik s publikovanými daty

Hodnoty funkčních charakteristik specifická listová plocha, obsah sušiny listu a výška rostliny, které jsem naměřil v terénním pokusu (Příloha VI), je možné porovnat s hodnotami naměřenými na stejných druzích a stejné lokalitě v roce 2005 v rámci mé bakalářské práce (Havlík, 2007, kapitola 1.2, jedná se o průměrné hodnoty funkčních charakteristik naměřených na rostlinách ze dvou částí lokality lišících se vegetačním složením a dynamikou živin). Hodnoty obsahu sušiny listu naměřené v terénním pokusu u nehnojených rostlin jsou shodné (tj. spadající do rozmezí střední chyby průměru) s hodnotami naměřenými v roce 2005 u většiny druhů. U druhů *Avenula pubescens* a *Plantago lanceolata* byly v roce 2005 v terénu naměřeny vyšší hodnoty LDMC. Specifická listová plocha druhů měřená na rostlinách z terénu v roce 2005 (Havlík, 2007) byla u většiny druhů stejná nebo podobná s hodnotami naměřenými v terénním pokusu v této práci na nehnojených rostlinách (Příloha VI). SLA rostlin z terénu z roku 2005 byla nižší u druhů *Avenula pubescens* a *Sanguisorba officinalis*. U těchto druhů, které se v nehnojené variantě pokusu lišily v hodnotách SLA a LDMC od hodnot naměřených na stejné lokalitě v roce 2005, může jít o rozdíly způsobené např. tím, že rostliny měřené v roce 2005 byly odebírány ze dvou rozdílných částí louky a roky se lišily klimaticky (v době odběrů byl rok 2005 sušší). Při měření těchto funkčních charakteristik záleží také na výběru rostlin a listů použitých k měření (Garnier *et. al.*, 2001b). Výška rostlin měřená v terénním pokusu (Příloha VI) a v roce 2005 (Havlík, 2007) se většinou nelišila (především u rostlin z nehnojené varianty pokusu). Nižší výška byla naměřena v roce 2005 u *S. officinalis* a naopak vyšší výška byla v roce 2005 naměřena u *P. lanceolata* a *V. chamaedrys*. Tyto rozdíly mohlo zapříčinit i to, že v roce 2005 byly v terénu měřeny především dobře vyvinuté rostliny.

Dále je možno srovnat hodnoty specifické délky kořenů ze 3. odběru skleníkového pokusu (Příloha V) s hodnotami naměřenými na stejných druzích rostlin v terénu - na lokalitě Zvíkov v roce 2005 (Havlík, 2007). V terénu byly naměřeny u všech druhů podstatně nižší hodnoty SRL než ve skleníkovém pokusu. Je třeba ale vzít v úvahu, že SRL byla měřena na rostlinách rostoucích v odlišných podmínkách - semenáčcích pěstovaných

ve skleníku bez kompetice a v relativně dobře vymývatelném substrátu a dospělých rostlinách rostoucích v přirozeném lučním společenstvu na lokalitě Zvíkov. Samotné získání vhodných a dostatečně dlouhých jemných absorpčních kořenů k měření z rostlin z terénu bylo velmi obtížné a hodnoty tím mohly být ovlivněny. Navíc hodnoty SRL dospělých rostlin jsou nižší než u semenáčků (Cornelissen *et. al.*, 2003b). Informace o SRL měřené na rostlinách z terénu jsou v literatuře velmi omezené (Cornelissen *et. al.*, 2003a, Mokany & Ash, 2008) a pro dané druhy se je nepodařilo najít.

Hodnoty měřených funkčních charakteristik dále porovnávám s hodnotami nalezenými v literatuře a v internetových databázích uvedenými v kapitole 1. 2 pod popisem druhů. Data získaná z databáze LEDA Traitbase (Knevel *et. al.*, 2003) jsou aktuální ke konci roku 2006 (na konci roku 2009 databáze nebyla funkční). Pokud diskutuji výsledky skleníkového pokusu, jsou porovnávány hodnoty naměřené pouze ve třetím odběru pokusu (Příloha V), které se nejvíce přiblížily pokusu terénnímu (více viz Obr. 35 v kap. 3. 3).

Průměrná hodnota SLA druhu *Anthoxanthum odoratum* uvedená v databázi LEDA (Knevel *et. al.*, 2003) odpovídá průměru hnojených rostlin v terénním pokusu. Průměrná SLA nehnojených rostlin z databáze se shoduje s průměrnou SLA nehnojených rostlin terénního pokusu, ale hodnota uváděná v databázi pro hnojené rostliny (42803 mm<sup>2</sup>/g) je mnohem vyšší. Podstatně nižší hodnoty než byly naměřené v terénním i skleníkovém pokusu pro daný druh uvádějí Schippers & Olf (2000) pro rostliny ze skleníkového pokusu. S ostatními zdroji se naměřená hodnota a její rozmezí shoduje. Hodnoty LDMC pro *A. odoratum* odpovídají rozmezí udávanému Al Haj Khaled *et. al.* (2005), ale jsou nižší než průměrná hodnota uvedená v databázi LEDA (Knevel *et. al.*, 2003), přesto spadají do rozmezí hodnot uváděného v databázi. Specifická délka kořenů druhu *Anthoxanthum odoratum* uváděná v literatuře pro rostliny ze skleníkových pokusů je podstatně nižší než SRL naměřená ve skleníkovém pokusu v této práci. Uváděná SRL mohla být měřena na dospělých jedincích, neboť se shoduje s hodnotami naměřenými v terénu v roce 2005 na dospělých rostlinách (Havlík, 2007).

Průměrné hodnoty SLA naměřené u druhu *Holcus lanatus* se (v rámci střední chyby průměru) výrazně nelišily od hodnot známých z literatury ani ve skleníkovém ani v terénním pokusu. Nižší hodnoty uvádí Wacker *et. al.* (2009) pro rostliny pěstované v monokultuře. Hodnota LDMC udávané Al Haj Khaled *et al.* (2005) je nižší než mnou naměřené hodnoty.

Hodnoty SLA udávané v literatuře pro druh *Avenula pubescens* jsou vyšší než hodnoty naměřené v terénním pokusu v této práci, ale odpovídají hodnotám ze skleníkového pokusu, případně jsou nižší. LDMC naměřená ve skleníkovém pokusu je blízká hodnotám uváděným Al Haj Khaled *et al.* (2005), ale hodnoty z terénního pokusu jsou vyšší.

Hodnoty SLA naměřené pro hnojené rostliny *Alopecurus pratensis* (tento druh byl měřen pouze v terénním pokusu) jsou stejné u Knevel *et al.* (2003) a shodují se i s měřeními v terénu z roku 2005, nicméně jsou nižší než uvádí Wacker *et al.* (2009) pro rostliny pěstované v monokultuře i ve směsi. U LDMC se naměřené hodnoty shodují s daty z roku 2005, ale jsou nižší než uvádí databáze LEDA (Knevel *et al.*, 2003). To je zapříčiněno tím, že údaje v databázi jsou pro listy, které nebyly před měřením rehydratovány, a právě tato absence rehydratace by měla být důvodem podstatně rozdílných hodnot. Rehydratované listy mají obecně nižší hodnoty LDMC (podíl suché a čerstvé hmotnosti) (Garnier *et al.*, 2001b) a znalost podmínek způsobu měření funkčních charakteristik je při srovnávání velmi důležitá.

Hodnoty SLA naměřené u *Centaurea jacea* se shodují s hodnotami z literatury a i při porovnání skleníkového a terénního pokusu nabývají podobných hodnot.

Pro druh *Plantago lanceolata* je v literatuře více záznamů než pro jiné druhy a je možno je srovnat i s poskytnutými nepublikovanými daty Štěpána Janečka pro tento druh měřený v kosených a nekosených částech louky na lokalitě Ohrazení, která je v blízkosti lokality Zvíkov, i když podmínky na obou lokalitách se dosti liší. Průměrná hodnota SLA uváděná Janečkem (nepubl.) z kosené části lokality i další v literatuře uváděné průměrné hodny SLA *P. lanceolata* přibližně odpovídají hodnotám naměřeným ve skleníkovém pokusu i u nehnojených rostlin v terénu. Pro LDMC *P. lanceolata* byly v terénním pokusu naměřené hodnoty vyšší než průměrné hodnoty, které udávají zjištěné zdroje (ale zapadají do širokého rozmezí udávaného Janečkem (nepubl., viz kap. 1. 2). Hodnoty ze skleníkového pokusu odpovídají hodnotám Al Haj Khaled *et al.* (2005). Hodnoty SRL *P. lanceolata* udávané v literatuře jsou nižší než naměřené ve skleníkovém pokusu.

SLA druhu *V. chamaedrys* naměřená v hnojené variantě terénního pokusu a v nehnojené variantě skleníkového pokusu se shoduje s průměrnou hodnotou udávanou v databázi LEDA (Knevel *et al.*, 2003). Průměrná hodnota LDMC druhu *V. chamaedrys* udávaná v databázi LEDA (Knevel *et al.*, 2003) se opět shoduje s hodnotou zjištěnou v hnojené variantě terénního pokusu. Do rozmezí hodnot udávaných v této databázi se však vejdou hodnoty z obou pokusů, které jsou vyšší než udávaný průměr.

Průměrná hodnota SLA druhu *S. officinalis* v nehnojené variantě terénního pokusu odpovídá hodnotě z databáze LEDA (Knevel *et al.*, 2003). Janeček (nepubl.) uvádí hodnoty vyšší, které jsou blízké hodnotám naměřeným ve skleníkovém pokusu, ve kterém měl tento druh vyšší hodnoty SLA než v terénu. Hodnoty LDMC tohoto druhu z terénního pokusu odpovídají průměrné hodnotě uváděné Janečkem (nepubl.) z hnojené části louky.

Z porovnání funkčních charakteristik vyplývá, že se v mnohém shodují s dostupnými nalezenými údaji, ale je vždy nutné znát podmínky měření, informace o lokalitě původu měřených rostlin nebo podmínkách pokusu a neporovnávat pouhé průměry, ale nejlépe rozmezí hodnot četných pozorování, které může být i značně široké.

## 4. 2 Diskuze rozdílů mezi odběry skleníkového pokusu

Ve skleníkovém pokusu se sledované funkční charakteristiky měnily mezi odběry. Hodnoty nadzemní biomasy, poměru podzemní a nadzemní biomasy a obsahu sušiny listu od prvního ke třetímu odběru stoupaly. Rostoucí nadzemní biomasa je dána růstem všech semenáčků. Nejnižší hodnoty R/S poměru v prvním odběru znamenají, že rostliny tvořily více podzemní biomasy - kořenů - velmi důležitých v prvních fázích růstu k získávání živin pro růst. S časem druhy více investovaly do nadzemní biomasy a méně do kořenů. Rostoucí hodnoty LDMC souvisí s vývojem rostlin, které s časem tvořily odolnější, tužší listy s větším obsahem strukturních částí. Klesající hodnoty specifické listové plochy značí, že starší rostliny tvořily listy s nižší SLA, tedy listy méně fotosynteticky účinné, avšak odolnější vůči fyzikálním vlivům (Poorter & Garnier, 1999, Cornelissen *et al.*, 2003a)

Nejvyšších hodnot nabývala specifická délka kořenů v prvním odběru pokusu, u dalších dvou odběrů byla nižší. Kořeny mladých rostlin, především trav, jsou tenčí a mají nižší hustotu pletiv a tedy vysokou SRL (Craine *et al.*, 2001). Již po dvou měsících pěstování hodnota SRL klesla na úroveň, na které zůstala i ve třetím odběru pokusu (Obr. 1). Výsledky měření funkčních charakteristik kořenů a také listů mohou být ovlivněny tím, že ve třetím odběru pokusu už kořeny některých druhů vyplňovaly celý květináč a prorůstaly ven z květináče. Kořeny prorostlé z květináče do podmisky nebyly použity k měření SRL, ale byly započítány do biomasy kořenů. U druhů *V. chamaedrys* a *S. officinalis* se navíc před třetím odběrem objevila houbová onemocnění, viz kap. 2. 1. 6. Snažil jsem se pro měření vybrat co nejzdravější rostliny a z nich listy nejvhodnější pro

měření, ale nelze vyloučit, že tyto nemoci zasažených rostlin ovlivnily funkční charakteristiky ve třetím odběru.

Viditelně nejhůře prospívající byly ve skleníkovém pokusu druhy *Avenula pubescens*, *Sanguisorba officinalis* a *Veronica chamaedrys*. Těmto druhům pravděpodobně nevyhovovaly podmínky pěstování ve skleníku - vysoké teploty v červnu 2006 (Příloha II) v nejranějších stádiích růstu v kombinaci s hnojením. Ostatní druhy měly v prvním odběru více listů vhodných k měření, které navíc byly vyvinutější. Na Obr. 3 je možno vidět, že druhy trav měly v prvním odběru vyšší průměrnou biomasu než dvouděložné druhy. *S. officinalis* a *H. lanatus* rostly pomaleji než ostatní druhy mezi druhým a třetím odběrem. Druh *A. pubescens* rostl nejpomaleji mezi prvním a druhým odběrem, právě tento druh měl v prvním i druhém odběru méně listů vhodných k měření než ostatní druhy. Na Obr. 4 a - d jsou vidět změny ve funkčních charakteristikách mezi odběry pro sledované druhy. Nejmenší rozdíly v SLA mezi odběry měly druhy *A. pubescens* a *S. officinalis*, které, jak bylo výše zmíněno, očividně prospívaly z pěstovaných druhů nejhůře a rostly velmi pomalu. Specifická délka kořenů se mezi některými odběry měnila u dvouděložných druhů více než u trav, u kterých byly rozdíly neprůkazné. Nižší hodnota SRL u druhu *S. officinalis* v prvním odběru, ve kterém všechny ostatní druhy měly SRL vyšší nebo aspoň neprůkazně rozdílnou od dalších odběrů, je nejpravděpodobněji zapříčiněna metodou měření. V prvním odběru měly některé rostliny jen málo kořenů a byla měřena většina kořenů odebíraných druhů. U *S. officinalis* byly do měření v prvním odběru zahrnuty všechny kořeny kromě ztlustlého kořene hlavního. Tyto boční kořeny byly u báze napojující se na hlavní kořen poměrně silné, silnější než u ostatních druhů (stále však splňovaly podmínky zahrnutí do měření specifikované v metodice). V dalších odběrech už byl zahrnut jen podvzorek bočních kořenů, které již nebyly tak silné, pravděpodobně to zvýšilo jejich SRL. Obsah sušiny listu druhů mezi odběry vzrůstal od prvního ke třetímu odběru u většiny druhů. Neprůkazné změny mezi odběry byly u druhu *A. pubescens*, jehož produkce listů byla malá, rostl pomalu a listy byly tenké a jemné. Mezi prvním a druhým odběrem se nelišil LDMC ani u dalšího pomalu rostoucího druhu *S. officinalis* s jen několika malými pravými listy.



### 4. 3 Diskuze rozdílů mezi druhy

Všechny druhy sledované ve skleníkovém i terénním pokusu se mezi sebou průkazně lišily ve všech měřených funkčních charakteristikách. Jen pro některé jednotlivé druhy však byly tyto druhy průkazné v mnohonásobných porovnáních.

Nejnižších průměrných hodnot nadzemní biomasy ve skleníkovém pokusu dosáhly druhy *A. pubescens*, *S. officinalis* a *V. chamaedrys* (Obr. 5). Jak bylo zmíněno výše, jsou to druhy, které viditelně nejhůře prospívaly v květináčovém pokusu. Nejvyšších průměrných hodnot nadzemní biomasy dosáhly druhy *H. lanatus*, *P. lanceolata* a *A. odoratum*. Tyto druhy měly v průměru nižší hodnoty R/S poměru, což svědčí o jejich menších relativních investicích do kořenů.

Nejvyšší hodnoty specifické délky kořenů měly dva ze tří travních druhů *A. odoratum* a *H. lanatus* a s nimi ještě *V. chamaedrys*. Ostatní druhy měly hodnoty SRL průkazně nižší. O travách je známo, že mají tenčí kořeny s vyšší SRL než dvouděložné druhy (Craine *et al.*, 2001). Druh *V. chamaedrys* měl podobně jemné kořeny jako trávy, jemnější než další pěstované dvouděložné druhy.

Tři měřené druhy trav měly ze sledovaných druhů nejvyšší hodnoty specifické listové plochy. Průměrem se jim přiblížila ještě *V. chamaedrys*.

Nejnižší obsah sušiny listu měly druhy *P. lanceolata* a *C. jacea*. Naopak nejvyšších hodnot dosáhly druhy *S. officinalis* a *A. pubescens*. Další dvě trávy a *V. chamaedrys* měly průměrné hodnoty LDMC. Trávy a některé dvouděložné druhy jsou známy vyšším LDMC (Craine *et al.*, 2001).

V terénním pokusu se druhy mezi sebou také lišily ve všech třech měřených funkčních charakteristikách. Nejvyšší výšky dosáhly tři ze čtyř druhů trav *A. pubescens*, *A. pratensis*, *H. lanatus*, ostatní druhy měly nižší výšku včetně *A. odoratum*. Dvouděložné druhy byly rozetového nebo semirozetového typu nebo v případě *V. chamaedrys* plazivou rostlinou s vystoupavými lodyhami, tudíž nižšího vzrůstu než mají trávy. Výška rostliny je pozitivně korelována s její kompetitivní silou (Cornelissen *et al.*, 2003a). Dá se usuzovat, že vysoké druhy trav jsou kompetičně úspěšnější než *A. odoratum* s nízkým vzrůstem. Tuto vlastnost pravděpodobně odráží časná fenologie tohoto druhu (Grime *et al.*, 1987), která může být snahou o uniknutí vyšší kompetici v pozdějším období. Výška rostlin nebyla ve skleníkovém pokusu měřena, protože odebírané rostliny byly velmi mladé a nesrovnatelné s terénními jedinci, ale je známo, že v dostatečně dlouhém květináčovém

pokusu rostliny dosáhnou stejné nebo větší výšky než srovnávané rostliny v terénu (Mokany & Ash, 2008).

V popisovaných funkčních charakteristikách ve skleníkovém pokusu se druh *Avenula pubescens* choval jinak, než ostatní trávy. Naproti tomu v terénním pokusu bylo chování tohoto druhu kromě SLA podobné jako u ostatních tří trav. Tyto rozdíly jsou nejspíše způsobeny pěstováním druhu ve skleníkových podmínkách, které mu nemusely z různých vyhovovat. Na začátku pokusu, když byly semenáčky vysazeny byla velká horka a ta v kombinaci s prvním hnojením některým druhům viditelně nevyhovovala. Může se však jednat i o jiné zvláštní nároky druhu.

Nejvyšší hodnoty obsahu sušiny listu měly travní druhy *Alopecurus pratensis* a *Avenula pubescens*, s nimi druh *S. officinalis*, který měl listy tužší a tlustší v porovnání s ostatními měřenými druhy. Travní druhy jsou známy vyššími hodnotami LDMC (Craine *et al.*, 2001). Nejnižší hodnoty měly druhy *C. jacea* a *P. lanceolata* s relativně velkými a měkkými listy.

Při kvantifikaci arbuskulární mykorhizní infekce v kořenech rostlin pěstovaných ve skleníku se vyskytly problémy s úspěšnou kvantifikací vzorků, především travních druhů, prvního a druhého odběru. V těchto odběrech bylo odebíráno k barvení malé množství velmi jemných kořenů, aby nebylo příliš ovlivněno stanovení podzemní biomasy, a zvláště u jemných kořenů trav byly kořeny po barvení a vytvoření roztlakového preparátu značně poškozené. Jejich kořenová kůra se oddělila od středního válce a roztrhala, u některých již během barvení a u mnoha vzorků proto nebylo možné dostatečně přesně kvantifikovat míru AM infekce. Většina vzorků trav prvního a druhého odběru měla velmi malou úspěšnost vyhodnocení, a proto jsem použil k hodnocení vlivu faktorů na AM infekci kořenů pouze úplná data ze třetího odběru skleníkového pokusu, ve kterém na barvení bylo z kořenového systému odebráno větší množství méně jemných kořenů. Tato data byla vážena úspěšností vyhodnocení preparátu, která také byla u některých vzorků obarvených kořenů trav velmi malá. Pro testování vlivu faktorů na AM infekci kořenů jsem nepoužil hodnoty AM infekce celkové (zahrnující hyfy, arbuskuly a vezikuly), ale zaznamenané podíly kořenů s vyvinutými arbuskuly, které jsou pravděpodobným místem směny látek mezi houbami a rostlinami (Gryndler *et al.*, 2004). Tato hodnota je přísnějším kritériem hodnocení AM infekce.

Intenzita arbuskulární mykorhizy se průkazně lišila mezi sledovanými druhy. Na Obr. 16 je vidět, že dvouděložné druhy měly spolu s *A. pubescens* relativně vyšší hodnoty AM infekce než zbylé dvě trávy, ale rozdíly mezi druhy nebyly příliš průkazné.

Průkazně se od trav *A. odoratum* a *H. lanatus* lišily dvouděložné *C. jacea* a *S. officinalis* s vyšší intenzitou AM infekce. Při porovnání těchto výsledků s výsledky z terénního měření stejných druhů na lokalitě Zvíkov z roku 2005 (Havlík, 2007) je vidět, že rostliny pěstované ve skleníku měly většinou nižší průměrnou AM infekci měřenou jako podíl kořenů s vyvinutými arbuskuly. V roce 2005 bylo na lokalitě měřeno 5 druhů shodných s druhy ze skleníkového pokusu (ve skleníku byly navíc druhy *H. lanatus* a *S. officinalis*). Stejná průměrná AM infekce v terénu a ve skleníku byla nalezena u druhu *V. chamaedrys*, u kterého ale v terénu v roce 2005 byla zjištěna nižší AM infekce, než je obvyklé (Petr Šmilauer, ústní sdělení). Důvodem byla zhoršená kvalita vzorků tohoto druhu. Nejvyšších hodnot AM infekce v terénu dosáhly druhy *A. pubescens* a *P. lanceolata* (Havlík, 2007), tyto druhy měly poměrně vysokou průměrnou AM infekci i ve skleníkovém pokusu.

Rostliny byly ve skleníku pěstované v luční půdě přivezené z lokality Zvíkov naředěné s pískem, aby byla zaručena přítomnost přirozených edafických složek. Z výsledků je vidět, že symbiotické mykorhizní vztahy se vytvořily i ve skleníkovém pokusu u pěstovaných semenáčků, i když v nižší míře. Tento rozdíl ale může být způsoben tím, že jsou srovnávána měření na dospělých a mladých rostlinách.

Vliv hnojení na AM infekci sledovaných druhů vyšel na hranici průkaznosti a naznačuje, že hnojené rostliny měly nižší intenzitu AM infekce. Menší závislost rostlin na AM symbioze byla nalezena v úživných stanovištích nebo u hnojených rostlin v pokusech (např. Titus & Lepš, 2000, Johnson *et al.*, 2003, Gryndler *et al.*, 2004).

#### **4. 4 Diskuze rozdílů ve funkčních charakteristikách v závislosti na hnojení**

Ve skleníkovém pokusu se průkazně mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami lišily funkční charakteristiky nadzemní biomasy, poměr podzemní a nadzemní biomasy a specifická plocha listu. Hnojené rostliny měly větší nadzemní biomasu a z vyšších hodnot R/S poměru nehnojených rostlin vyplývá, že více investovaly do podzemní biomasy kořenů, které slouží k získávání živin. Nepotvrdilo se, že rostliny hnojené mají vyšší specifickou délku kořenů, tedy kořeny tenčí a delší (s malými investicemi biomasy na délku) a absorpčně účinnější (Cornelissen *et al.*, 2003a). SRL se v závislosti na hnojení nelišila. Vliv hnojení na nadzemní biomasu rostlin se lišil mezi odběry skleníkového pokusu. V prvním odběru se nadzemní biomasu hnojených a nehnojených rostlin nelišila, v dalších dvou odběrech měly hnojené rostliny vždy vyšší biomasu. Přidání hnojiva do

půdy se pravděpodobně nestihlo u malých semenáčků v prvním odběru ještě projevit ve zvýšení nadzemní biomasy.

Velmi překvapivá byla reakce specifické listové plochy rostlin na hnojení ve skleníkovém pokusu. Hnojené rostliny měly průkazně nižší SLA než nehnojené. V literatuře nebyl nalezen záznam dokládající tento vztah. Jediným udávaným případem, kdy rostliny z živinově chudých stanovišť mají vysokou SLA jsou stínomilné rostliny lesního podrostu (Cornelissen *et al.*, 2003a). Mnoho dalších prací naopak dokládá vyšší SLA u rostlin z živinově bohatých stanovišť a průkazné zvýšení SLA po pohnojení (Poorter & de Jong, 1999, Garnier *et al.*, 2001b, Cornelissen *et al.*, 2003a, Al Haj Khaled *et al.*, 2005). Nebyla nalezena práce srovnávající SLA hnojených a nehnojených semenáčků a zvýšení SLA u nehnojených rostlin v pokusu může souviset právě s měřením na semenáčcích. Vyšší SLA nehnojených rostlin může indikovat efektivnější využití dané biomasy nehnojených rostlin, které z menšího množství biomasy tvořily listy s větší plochou a vyšší SLA.

V terénním pokusu se mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami průkazně lišily funkční charakteristiky výška rostliny a obsah sušiny listu. Obsah sušiny listu ve skleníkovém pokusu se nelišil mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami. V terénním pokusu tomu bylo naopak. Hnojené rostliny měly nižší obsah sušiny listu. LDMC většinou lépe než SLA odráží živinové poměry pěstovaných i přirozeně rostoucích rostlin (Wilson *et al.*, 1999, Al Haj Khaled *et al.*, 2005), to se ve skleníkovém pokusu nepotvrdilo. Nižší obsah sušiny listu u rostlin z úživnější části lokality Zvíkov, na které probíhal terénní pokus, byl nalezen i v předchozím měření v roce 2005 (Havlík, 2007).

Ze srovnání výšky druhů mezi hnojenými a nehnojenými druhy je vidět, že mezi druhy odebíranými v druhé fázi odběrů po regeneraci vegetace po kosení (*Plantago lanceolata*, *Centaurea jacea*, *Sanguisorba officinalis*) už není tak výrazný rozdíl mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami. Je ale třeba si uvědomit, že se jedná o samé dvouděložné druhy s odlišnou růstovou formou (rozetové nebo semirozetové druhy) než mají trávy, jejichž reakce na hnojení byla shledána nižší. Zásoba dodaných živin byla pravděpodobně již z velké části vyčerpána - odezva nebyla tak výrazná. Jednorázové dodání živin vydrží v půdě řádově týdny (Šmilauerová, nepubl.). V tomto pokusu bylo ale hnojení provedeno třikrát, v roce předcházejícím odběrům (50 g na jaře + 15 g hnojiva na podzim na 1 m<sup>2</sup>) a v roce odběrů (2008) v dávce 50 g na 1 m<sup>2</sup> hnojených čtverců na jaře, to je poměrně vysoká dávka hnojiva. To mělo zajistit spolehlivější odpověď vegetace na hnojení. Je však možné, že vliv hnojení byl v odběrech probíhajících několik

měsíců po hnojení z větší části setřen. Letní měsíce roku 2008 byly také oproti dlouhodobému normálu výrazně sušší (Příloha III), to prodloužilo čas regenerace druhů po pokosení.

## 4. 5 Diskuze rozdílů mezi skupinami

Kromě arbuskulární mykorhizy ve skleníkovém pokusu a výšky rostlin v pokusu terénním nebyly nalezeny průkazné rozdíly mezi skupinami druhů definovanými jako trávy a dvouděložné.

Trávy měly nižší míru AM infekce kvantifikované jako podíl kořenů s vyvinutými arbuskuly. Nižší míra AM infekce u trav je známa z literatury (Wilson & Harnett, 1998).

Trávy jsou skupina s podobnou vzpřímenou růstovou formou a byly také skupinou s větší naměřenou výškou a vliv hnojení na zvětšení výšky byl u nich výraznější než u dvouděložných druhů. Po pohnojení došlo ke zvýšení kompetice druhů o světlo a dvouděložné i trávy zvětšily svou výšku. Trávy však dokázaly svou výšku zvětšit efektivněji než dvouděložné. Dosáhly toho pravděpodobně kvůli své růstové formě odlišné od sledovaných dvouděložných druhů. Výška je spjata s kompetiční silou druhu (Cornelissen *et al.*, 2003a), v travinných ekosystémech jsou trávy úspěšnější a dominující skupinou.

Hnojené dvouděložné rostliny měly ve skleníkovém pokusu nižší hodnoty poměru R/S než nehnojené. R/S poměr vyjadřuje investice do podzemní a nadzemní biomasy. Nižší hodnoty R/S znamenají, že hnojené dvouděložné investovaly více do nadzemní biomasy než hnojené trávy. Hnojené trávy měly R/S poměr stejný jako nehnojené.

Jisté rozdíly byly mezi skupinami nalezeny mezi jednotlivými odběry skleníkového pokusu. V prvním odběru vyprodukovaly trávy více nadzemní biomasy. V dalších odběrech už rozdíly v této charakteristice ve skupinách nebyly. Po vysazení narůstaly tedy semenáčky trav více a rychleji než semenáčky dvouděložných.

Na srovnání hodnot R/S poměru skupin mezi odběry je vidět, že trávy měly v prvním odběru vyšší R/S poměr než dvouděložné druhy. Ačkoliv tedy v prvním odběru převýšily trávy dvouděložné v nadzemní biomase, investovaly více do kořenů. Ve třetím odběru v R/S poměru převýšily dvouděložné trávy, tedy měly více biomasy v kořenech než v nadzemí.

Kořeny s vysokou specifickou délkou jsou charakterizovány nízkými náklady biomasy na jednotku délky kořene, jsou tedy tenké a dlouhé s nízkou hustotou pletiv. To jim zajišťuje větší účinnost při absorpci živin, na druhé straně mají tenké kořeny kratší životnost. Je známo, že tenčí kořeny s nízkou hustotou pletiv mají většinou trávy. Naproti tomu dvouděložné rostliny tvoří silnější kořeny s vyšší hustotou pletiv a tedy nižší SRL (Craine *et al.*, 2001). Rozdíly v SRL na úrovni skupin nebyly nalezeny. Stejně výsledky uvádí Tjoelker *et al.*, (2005). Byly nalezeny rozdíly v SRL mezi skupinami mezi odběry skleníkového pokusu. Dvouděložné druhy měly ve druhém a třetím odběru nižší hodnoty SRL. V prvním odběru nebyl rozdíl mezi skupinami průkazný, ale v průměru měly dvouděložné rostliny nižší SRL.

V raných stádiích ontogeneze se listy trav a dvouděložných lišily v obsahu sušiny listu. V prvním a druhém odběru pokusu byly trávy skupinou s průkazně vyšším LDMC, ve třetím odběru byly hodnoty jejich LDMC také průměrně vyšší než u dvouděložných. Trávy jsou skupinou s tužšími listy s hustějšími pletivy (Craine *et al.*, 2001) a listy s vyšší koncentrací sekundárních metabolitů nebo škrobu (Waring *et al.*, 1985), to způsobuje jejich vyšší hodnoty LDMC.

Pro lepší porovnání rozdílů mezi skupinami druhů trav a dvouděložných by bylo vhodné měřit funkční charakteristiky na více druzích z každé skupiny.

## **4. 6 Diskuze porovnání výsledků skleníkového a terénního pokusu**

Při srovnávání funkčních charakteristik ze skleníkového a terénního pokusu je potřeba si uvědomit, že se srovnávají hodnoty naměřené na stejných druzích, které však rostou ve velmi rozdílných podmínkách. Semenačky pěstované a měřené ve skleníkovém pokusu byly mladé rostliny, které rostly samostatně v květináčích bez vlivu kompetice a v relativně stálých podmínkách (např. měly vždy dostatek vláhy). V terénním pokusu byly funkční charakteristiky měřeny na dospělých jedincích rostoucích v přirozeném lučním společenstvu vystavené všem vlivům okolního prostředí - jak klimatickým, tak kompetici a ve větší míře než rostliny ve skleníkovém pokusu také herbivorům, symbiontům, patogenům apod. Pro přiblížení skleníkového pokusu přirozeným podmínkám byly rostliny ve skleníkovém pokusu pěstovány v půdě z lokality Zvíkov naředěné pískem a semena pokud možno pocházela z téže lokality (viz kap. 2. 1. 1).

Srovnávané hodnoty SLA i LDMC měřené ve 3. odběru skleníkového pokusu (dále jen skleníkový pokus) a v terénním pokusu se lišily. Ve skleníkovém pokusu měly rostliny vyšší SLA a nižší LDMC než v pokusu terénním (Obr. 30 a Obr. 31). Vyšší hodnoty SLA naměřené ve skleníkovém pokusu se dají vysvětlit tím, že měřené rostliny byly rostliny mladé, které většinou mají vyšší SLA (Poorter & Garnier, 1999). SLA je funkční charakteristika, která ovlivňuje fotosyntetickou účinnost listů a skrze ni je spjata s relativní růstovou rychlostí (Poorter & Garnier, 1999, Cornelissen *et. al.*, 2003a). K tomu, aby mladé rostliny dosáhly potřebné vysoké rychlosti růstu, musí nejprve dosáhnout vysoké rychlosti asimilace listů s malými investicemi do strukturních látek (Reich *et al.*, 1998, Poorter & Garnier, 1999) a toho dosáhnou tvorbou listů s vysokou specifickou plochou listu, proto mají listy mladších rostlin vyšší SLA než listy rostlin starších. Starší a dospělé rostliny (ty byly odebírané v terénním pokusu) tvoří listy tlustší a odolnější s nižšími hodnotami SLA a delší životností listu (*leaf lifespan*) (Diemer *et al.*, 1992, Reich *et al.*, 1992, Ryser, 1996, Cornelissen *et. al.*, 2003a).

Obsah sušiny listu souvisí s průměrnou hustotou pletiv listu. Níže hodnoty LDMC naměřené ve skleníkovém pokusu je možno do značné míry vysvětlit stářím rostlin. Listy s vysokým LDMC jsou spíše tuhé, odolnější k fyzikálnímu poškození a mají delší životnost (Diemer *et al.*, 1992, Ryser, 1996, Reich *et al.*, 1992, Cornelissen *et. al.*, 2003a). Tyto charakteristiky odpovídají rostlinám odebíraným v terénu (zejména na sušších stanovištích). Listy semenáčků jsou naopak jemné, méně odolné a mají nižší hodnoty LDMC (Cornelissen *et. al.*, 2003a,b).

Pro LDMC byly nalezeny průkazné rozdíly v chování druhů ve skleníkovém a terénním pokusu. Všechny druhy měly vyšší LDMC v terénu. Posuny hodnot LDMC druhů v terénním pokusu oproti těm ve skleníku byly podobné pro všechny sledované druhy (Obr. 32). Uspořádání hodnot druhů v terénu a ve skleníku zůstalo zachováno, jen hodnoty druhů *V. chamaedrys* a *H. lanatus* si byly v terénním pokusu více blízké než ve skleníku. Posuny hodnot LDMC u druhů *P. lanceolata* a *C. jacea* byly větší, než u ostatních druhů.

Vliv hnojení na obě sledované funkční charakteristiky se měnil v závislosti na typu pokusu. Ve skleníku hnojení neovlivnilo LDMC, ale v terénu byly hodnoty LDMC nižší u hnojených rostlin. Pro SLA platí opačný vztah - v terénu se hodnoty naměřené na hnojených a nehnojených rostlinách nelišily, ale ve skleníku měly hnojené rostliny neočekávaně vyšší SLA (viz výše). Vliv hnojení se nelišil mezi pokusy selektivně pro

jednotlivé druhy. Tyto rozdíly ve vlivu hnojení na funkční charakteristiky v obou pokusech jsou způsobeny několika faktory.

Měření ve skleníkovém pokusu bylo prováděno na semenáčcích, které mohou reagovat jinak, než dospělé rostliny v terénním pokusu. Také složení použitého hnojiva se lišilo mezi pokusy a jeho dávkování bylo rozdílné. Rostliny 3. odběru skleníkového pokusu byly během růstu třikrát pohnojeny plným Rorisonovým roztokem s přesným složením (v přesné dávce 1 dl na květináč). Rostliny v terénním pokusu byly hnojeny průmyslově vyráběným hnojivem Cererit, jehož aplikace proběhla ve dvou dávkách v roce předcházejícím odběru (50 g na jaře a 15 g na podzim) a v roce odběrů jedenkrát na jaře v dávce 50 g, což je relativně vysoká dávka na 1 m<sup>2</sup> (Jan Lepš, ústní sdělení). Odběry probíhaly během celé sezóny, kdy se u pozdějších odběrů některých druhů vliv jarního hnojení už nemusel projevit (viz výše) a některé druhy byly odebírány až po seči, která také mohla funkční charakteristiky ovlivnit a dále setřít vliv hnojení.

Existuje omezený počet studií srovnávajících funkční charakteristiky měřené na druzích pěstovaných v laboratorních či skleníkových podmínkách (s případnými zásahy) a stejných druzích rostoucích v přirozených podmínkách. Některé z těchto prací se zabývají vztahem mezi funkčními charakteristikami semenáčků a dospělých rostlin dřevin (Cornelissen *et al.*, 2003b, Reich *et al.*, 1998). Další tři práce tyto rozdíly srovnávají u bylinných druhů travinných ekosystémů. Mokany & Ash (2008) měřili 17 funkčních charakteristik na 14 australských druzích a Al Haj Khaled *et al.* (2005) měřili SLA a LDMC na 24 evropských druzích. V obou případech byly rostliny pěstované v květináčích při dvou hladinách živin. Poorter & de Jong (1999) zkoumali tyto vztahy pro SLA bylinných druhů měřených na 15 nizozemských stanovištích s různou nabídkou živin a pěstovaných rostlinách. Ve shodě se zde prezentovanými výsledky se ve všech těchto studiích hodnoty většiny funkčních charakteristik naměřených v přirozených podmínkách a v květináčovém experimentu lišily. Opět ve shodě s touto prací pro případ LDMC (nikoli pro SLA, u níž tyto rozdíly byly neprůkazné) pořadí hodnot funkčních charakteristik měřených druhů v citovaných pracích zůstávalo konzistentní a to i mezi hnojenými a nehnojenými rostlinami z květináčových pokusů. To potvrzují i Garnier *et al.* (2001a) pro čtyři listové funkční charakteristiky rostlin, mezi nimi i SLA a LDMC, ze tří mediteránních lokalit. Mokany & Ash (2008) specifikují, že toto uspořádání druhů bylo nejsilněji korelováno mezi rostlinami z terénu a nehnojenými rostlinami stejných druhů z květináčového pokusu a týkalo se především měřených listových funkčních charakteristik (včetně SLA a LDMC).



Uvedené práce se shodují v tom, že rozdíly ve funkčních charakteristikách mezi pokusy nebo hladinami hnojení jsou nejvíce konzistentní u obsahu sušiny listu (kromě Poorter & de Jong, 1999 - měřili pouze SLA druhů). Právě proto je obsah sušiny listu v porovnání s SLA považován za méně variabilní funkční charakteristiku a díky tomu i lepší prediktor úživnosti stanoviště i v mnoha jiných pracích (např. Wilson *et al.*, 1999, Garnier *et al.*, 2001a, Al Haj Khaled *et al.*, 2005, Gross *et al.*, 2007). Al Haj Khaled *et al.* (2005) dále upřesňují, že tento vztah není stejný pro všechny růstové formy a je vždy méně variabilní u trav a doporučují, zvláště pro použití LDMC jako indikátoru úživnosti stanoviště, přednostně měřit travní druhy, které jsou navíc v travinných ekosystémech dominantami. LDMC je také funkční charakteristika, která je na jednodušeji změřitelná (Garnier *et al.*, 2001b, Al Haj Khaled *et al.*, 2005).

Všechny výše citované studie se shodují v tom, že extrapolace hodnot funkčních charakteristik měřených v květináčových pokusech by měla být prováděna s maximální opatrností (Poorter & de Jong, 1999, Garnier *et al.*, 2001a, Cornelissen *et al.*, 2003b, Al Haj Khaled *et al.*, 2005, Mokany & Ash, 2008). Mokany *et al.* (2008) upozorňuje, že tzv. ideální podmínky často nastavené v květináčových pokusech mohou zvláště stran vysokého obsahu živin (ale i vláhý apod.) značně ovlivnit plasticitu funkčních charakteristik. Podmínky pěstování druhů ke srovnávání v květináčových pokusech by se měly co nejvíce blížit podmínkám, které panují na porovnávané přirozené lokalitě, zejména se zřetelem na živinové poměry.

## 5. ZÁVĚRY

Sledované druhy se mezi sebou průkazně lišily ve všech sledovaných funkčních charakteristikách v terénním i skleníkovém pokusu.

Všechny funkční charakteristiky, měřené na sledovaných druzích ve skleníkovém pokusu, kromě specifické kořenové délky, se měnily mezi třemi odběry pokusu. Funkční charakteristiky se u jednotlivých druhů mezi odběry měnily různě.

Hnojení průkazně ovlivnilo některé funkční charakteristiky sledovaných druhů měřené v terénním a skleníkovém pokusu.

Ve skleníkovém pokusu měly hnojené rostliny více nadzemní biomasy, nižší poměr podzemní a nadzemní biomasy a nižší specifickou listovou plochu. Funkční charakteristiky obsah sušiny listu a specifická délka kořenů nebyly hnojením ovlivněny.

V terénním pokusu mělo hnojení průkazný vliv na výšku rostlin, která byla větší u hnojených rostlin, a na obsah sušiny listu, který byl hnojením snížen. Na specifickou listovou plochu nebyl vliv hnojení pozorován.

Míra arbuskulární mykorhizní infekce rostlin ze třetího odběru skleníkového pokusu měřená jako podíl délky kořenů s vyvinutými arbuskuly byla na hranici průkaznosti ovlivněna hnojením. Nehnojené rostliny měly vyšší míru takto měřené arbuskulární mykorhizní infekce.

Skupiny druhů definované jako dvouděložné a travní druhy se mezi sebou v obou typech pokusů nelišily v měřených funkčních charakteristikách kromě výšky měřené v terénním pokusu, kde trávy měly větší výšku. Trávy měly také ve třetím odběru skleníkového pokusu průkazně nižší podíl kořenů s arbuskulární mykorhizní infekcí měřenou jako podíl délky kořenů s vyvinutými arbuskuly.

Z porovnání výsledků terénního a skleníkového pokusu vyplývá, že funkční charakteristiky specifická listová plocha a obsah sušiny listu se lišily v závislosti na tom, ve kterém pokusu byly měřeny. Ve skleníkovém pokusu měly mladé rostliny vyšší specifickou listovou plochu a nižší obsah sušiny listu než dospělé rostliny v pokusu terénním.

Rozdíly v hodnotách obsahu sušiny mezi sledovanými druhy závisely na tom, zda byla měřena na mladých rostlinách ve skleníkovém pokusu nebo na dospělých rostlinách v terénu, ačkoli pořadí druhů zůstalo u většiny druhů zachováno při měření v terénním a skleníkovém pokusu.

Rozdíly v hodnotách specifické listové plochy mezi sledovanými druhy nezávisely na tom, jestli byla tato funkční charakteristika měřena v terénu na dospělých rostlinách nebo semenáčcích ve skleníkovém pokusu.

Vliv hnojení na sledované druhy se lišil mezi pokusy. Obsah sušiny listu sledovaných druhů nebyl hnojením ovlivněn ve skleníkovém pokusu, ale v terénním pokusu měly hnojené rostliny průkazně nižší obsah sušiny listu. Specifická listová plocha nebyla hnojením ovlivněna v terénním pokusu, ale ve skleníku měly hnojené rostliny nižší specifickou listovou plochu.

## 6. LITERATURA

- Ackerly DD, Knight CA, Weiss SB, Barton K, Starmer KP. 2002.** Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of woody plants in California chaparral: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia* **130**: 449-457.
- Ackerly DD, Cornwell WK. 2007.** A trait based approach to community assembly: partitioning of species trait values into within- and among-community components. *Ecology Letters* **10**: 135-145.
- Al Haj Khaled R, Duru M, Theau JP, Plantureux S, Cruz P. 2005.** Variation in leaf traits through seasons and N-availability levels and its consequences for ranking grassland species. *Journal of Vegetation Science* **16**: 391-398.
- Cornelissen JHC, Lavorel S, Garnier E, Diaz S, Buchmann N, Gurvich DE, Reich PB, ter Steege H, Morgan HD, van der Heijden MGA et al. 2003a.** A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide. *Australian Journal of Botany* **51**: 335-380.
- Cornelissen JHC, Cerabolini B, Castro-Díez P, Villar-Salvador P, Montserra-Martí G, Puyravaud JP, Maestro M, Werger MJA, Aerts R. 2003b.** Functional traits of woody plants: correspondence of species rankings between field adults and laboratory-grown seedlings? *Journal of Vegetation Science* **14**: 311-322.
- Craine JM, Froehle J, Tilman DG, Wedin DA, Chapin FS. 2001.** The relationships among root and leaf traits of 76 grassland species and relative abundance along fertility and disturbance gradients. *Oikos* **93**: 274-285.
- Craine JM. 2005.** Reconciling plant strategy theories of Grime and Tilman. *Journal of Ecology* **93**:1041–1052.
- Desdevises Y, Legendre P, Azouzi L, Morand S. 2003.** Quantifying phylogenetically structured environmental variation. *Evolution* **57**: 2647–2652.
- Díaz S, Cabido M, Zak M, Martínez C, Aranibar J. 1999.** Plant functional traits, ecosystem structure and land-use history along a climatic gradient in central-western Argentina. *Journal of Vegetation Science* **10**: 651-660.
- Diemer M, Körner Ch, Prock S. 1992.** Leaf life spans in wild perennial herbaceous plants: a survey and attempts at a functional interpretation. *Oecologia* **89**: 10-16.

- Dostál J. 1950.** *Květena ČSR a ilustrovaný klíč k určení všech cévnatých rostlin, na území Československa planě rostoucích nebo běžně pěstovaných*. Svazek II. Praha, ČR: Přírodovědecké nakladatelství.
- Dostál J. 1989.** *Nová květena ČSSR*. 2. díl. Praha, ČR: Academia.
- Fransen B, Blijenberg J, de Kroon H. 1999.** Root morphological and physiological plasticity of perennial grass species and the exploitation of spatial and temporal heterogeneous nutrient patches. *Plant and Soil* **211**: 179-189.
- Garnier E, Cortez J, Billes G, Navas ML, Roumet C, Debussche M, Laurent G, Blanchard A, Aubry D, Bellmann A et al. 2004.** Plant functional markers capture ecosystem properties during secondary succession. *Ecology* **85(9)**: 2630-2637.
- Garnier E, Laurent G, Bellmann A, Debain S, Berthelie P, Ducout B, Roumet C, Navas ML. 2001a.** Consistency of species ranking based on functional leaf traits. *New Phytologist* **152**: 69-83.
- Garnier E, Shipley B, Roumet C, Laurent G. 2001b.** A standardized protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. *Functional Ecology* **15**: 688-695.
- Gondard H, Jauffret S, Aronson J, Lavorel S. 2003.** Plant functional types: a promising tool for management and restoration of degraded lands. *Applied Vegetation Science* **6**:223-234.
- Grime JP, Hodgson JG, Hunt R. 1987.** *Comparative Plant Ecology: A Functional Approach to Common British Species*. London, UK: Unwin Hyman.
- Grime JP. 2001.** *Plant strategies, vegetation processes and ecosystem properties*. 2nd edition. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd.
- Gross N, Suding KN, Lavorel S. 2007.** Leaf dry matter content and lateral spread predict response to land use change for six subalpine grassland species. *Journal of Vegetation Science* **18**: 289-300.
- Gryndler M, Baláž M, Hršelová H, Jansa J, Vosátka M. 2004.** *Mykorhizní symbióza. O soužití hub s kořeny rostlin*. Praha, ČR: Academia.
- Harley JL, Harley EL. 1987.** A check-list of mycorrhiza in the British flora. *New Phytologist* **105**: 1-102.
- Havlík T. 2007.** *Významné funkční charakteristiky lučních rostlin sdílejících stanoviště*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita, České Budějovice, ČR.

- Heinemeyer A, Fitter AH. 2004.** Impact of temperature on the arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis: growth responses of the host plant and its AM fungal partner. *Journal of Experimental Botany* **55**: 525-534.
- Hendry GAF, Grime JP, eds. 1993.** *Methods in comparative plant ecology : A laboratory manual*. London, UK: Chapman and Hall.
- Hodge A. 2003.** Plant nitrogen capture from organic matter as affected by spatial dispersion, interspecific competition and mycorrhizal colonization. *New Phytologist* **157**: 303-314.
- Hodgson JG, Wilson PJ, Hunt R, Grime JP, Thompson K. 1999.** Allocating C-S-R plant functional types: a soft approach to a hard problem. *Oikos* **85**: 282-294.
- Johnson NC, Rowland DL, Corkidi L, Egerton-Warburton LM, Allen EB. 2003.** Nitrogen enrichment alters mycorrhizal allocation at five mesic to semiarid grasslands. *Ecology* **84**(7): 1895-1908.
- Klimešová J, Latzel V, de Bello F, van Groenendael JM. 2008.** Plant functional traits in studies of vegetation changes in response to grazing and moving: towards a use of more specific traits. *Preslia* **80**: 245-253.
- Knevel IC, Bekker RM, Bakker JP, Kleyer M. 2003.** Life-history traits of the Northwest European flora: The LEDA database. *Journal of Vegetation Science* **14**: 611- 614. Dostupné na: [www.leda-traitbase.org](http://www.leda-traitbase.org), ke dni 29. 11. 2006.
- Kubát K, Hrouda L, Chrtek J jun., Kaplan Z, Kirschner J, Štěpánek J, eds. 2002.** *Klíč ke květeně České republiky*. Praha, ČR: Academia.
- Kühner A, Kleyer M. 2008.** A parsimonious combination of functional traits predicting plant response to disturbance and soil fertility. *Journal of Vegetation Science* **19**: 681-692.
- Lavorel S, McIntyre S, Landsberg J, Forbes TDA. 1997.** Plant functional classifications: from general groups to specific groups based on response to disturbance. *Trends in Ecology and Evolution* **12**: 474-478.
- Lepš J. 1996.** *Biostatistika*. České Budějovice, ČR: Biologická fakulta Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.
- Lokvencová M. 2007.** *Mykorhizní infekce semenáčků Plantago lanceolata na obhospodařované louce*. Bakalářská práce, Jihočeská univerzita, České Budějovice, ČR.
- McGill BJ, Enquist BJ, Weiher E, Westoby M. 2006.** Rebuilding community ecology from functional traits. *Trends in Ecology and Evolution* **21**: 178-185.

- McIntyre S, Lavorel S, Landsberg J, Forbes TDA. 1999.** Disturbance response in vegetation towards a global perspective of functional traits. *Journal of Vegetation Science* **10**: 621-630.
- Mokany K, Ash J. 2008.** Are traits measured on pot grown plants representative of those in natural communities? *Journal of Vegetation Science* **19**: 119-126.
- Pakeman RJ, Lepš J, Kleyer M, Lavorel S, Garnier E et al. 2009.** Relative climatic, edaphic and management controls of plant functional trait signatures. *Journal of Vegetation Science* **20**: 148-159.
- Poorter H, Garnier E. 1999.** The ecological significance of variation in relative growth rate and its components. In: Pugnaire FI, Valladares F, eds. *Handbook of Plant Functional Ecology*. New York, USA: Marcel Dekker, 81-120.
- Poorter H, de Jong R. 1999.** A comparison of specific leaf area, chemical composition and leaf construction costs of field plants from 15 habitats differing in productivity. *New Phytologist* **143**: 163-176.
- Reich PB, Walters MB, Ellsworth DS. 1992.** Leaf lifespan in relation to leaf, plant and stand characteristics among diverse ecosystems. *Ecological Monographs* **62**: 365-392.
- Reich PB, Tjoelker MG, Walters MB, Vanderklein DW, Buchena C. 1998.** Close association of RGR, leaf and root morphology, seed mass and shade tolerance in seedling of nine boreal tree species grown in high and low light. *Functional Ecology* **12**: 327-338.
- Ryser P. 1996.** The importance of tissue density for growth and life span of leaves and roots: a comparison of five ecologically contrasting grasses. *Functional ecology* **10**: 717-723.
- Schippers P, Olf H. 2000.** Biomass partitioning, architecture and turnover of six herbaceous species from habitats with different nutrient supply. *Plant Ecology* **149**: 219-231.
- Slavík B, editor. 1995.** *Květena České republiky*. 4. svazek. Praha, ČR: Academia.
- Slavík B, editor. 2000.** *Květena České republiky*. 6. svazek. Praha, ČR: Academia.
- Slavík B, Štěpánková B, eds. 2004.** *Květena České republiky*. 7. svazek. Praha, ČR: Academia.
- StatSoft, Inc. 2008.** STATISTICA (data analysis software system), version 8.0. [www.statsoft.com](http://www.statsoft.com).
- Šmilauer P, Šmilauerová M. 2000.** Effect of AM symbiosis exclusion on grassland community composition. *Folia Geobotanica* **35**: 13-25.

- ter Braak CJF, Smilauer P. 2002.** *CANOCO reference manual and CanoDraw for Windows user's guide: software for canonical community ordination*. Version 4.5. Ithaca, NY, USA: Microcomputer Power.
- Titus JH, Lepš J. 2000.** The response of arbuscular mycorrhizae to fertilization, mowing, and removal of dominant species in a diverse oligotrophic wet meadow. *American Journal of Botany* **87**: 392-401.
- Tjoelker MG, Craine JM, Wedin D, Reich PB, Tilman D. 2005.** Linking leaf and root trait syndromes among 39 grassland and savannah species. *New Phytologist* **167**: 493-508.
- Verheyen K, Honnay O, Motzkin G, Hermy M, Foster DR. 2003.** Response of forest plant species to land-use change a life history trait-based approach. *Journal of Ecology* **91**: 563-577.
- Vierheilig H, Schweiger P, Brundrett M. 2005.** An overview of methods for the detection and observation of arbuscular mycorrhizal fungi in roots. *Physiologia Plantarum* **125**: 393-404.
- Violle C, Navas ML, Vile D, Kazakou E, Fortunel C, Hummel I, Garnier E. 2007.** Let the concept of trait be functional! *Oikos* **116**: 882-892.
- Violle C, Garnier E, Lecoœur J, Roumet C, Podgeur C, Blanchard A, Navas ML. 2009.** Competition, traits and resource depletion in plant communities. *Oecologia* **160**: 747-755.
- Wacker L, Baudois O, Eichenberger-Glinz S, Schmid B. 2009.** Diversity effects in early- and mid-successional species pools along a nitrogen gradient. *Ecology* **90**: 637-648.
- Waring RH, McDonald AJS, Larsson S, Ericsson T, Wiren A, Arwidsson E, Ericsson A, Lohammar T. 1985.** Differences in chemical composition of plants grown at constant relative growth rates with stable mineral nutrition. *Oecologia* **66**: 157-160.
- Weiher E, van der Werf A, Thompson K, Roderick M, Garnier E, Eriksson O. 1999.** Challenging Theophrastus: A common core list of plant traits for functional ecology. *Journal of Vegetation Science* **10**: 609-620.
- Westoby M, Leishman M. 1997.** Categorizing plant species into functional types. In: Smith TM, Shugart HH, Woodward FI, eds. *Plant functional types: their relevance to ecosystem properties and global change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 66-90.
- Westoby M. 1998.** A leaf-height-seed (LHS) plant ecology strategy scheme. *Plant and Soil* **199**: 213-227.



- Wilson GWT, Harnett DC. 1998.** Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. *American Journal of Botany* 85(12): 1732-1738.
- Wilson JP, Thompson K, Hodgson GJ. 1999.** Specific leaf area and leaf dry matter content as alternative predictors of plant strategies. *New Phytologist* 143: 155-162.
- Wright IJ, Reich PB, Cornelissen JHC, Falster DS, Garnier E, Hikosaka K, Lamont BB, Lee W, Oleksyn J, Osada N et al. 2005.** Assessing the generality of global leaf trait relationships. *New Phytologist* 166: 485-496.

## **Přílohy**

**Příloha I** Ukázka úplně náhodného uspořádání květináčů na jednom ze stolů ve skleníkovém pokusu

**Příloha II** Porovnání průměrných celodenních teplot venkovních a naměřených ve skleníku

**Příloha III** Porovnání dlouhodobých průměrných měsíčních teplot a průměrných měsíčních teplot v letech 2007 a 2008 pro území Českých Budějovic

**Příloha IV** Experimentální design terénního pokusu

**Příloha V** Tabulka hodnot funkčních charakteristik naměřených ve skleníkovém pokusu

**Příloha VI** Tabulka hodnot funkčních charakteristik naměřených v terénním pokusu

## Příloha I

### Ukázka úplně náhodného uspořádání květináčů na jednom ze stolů ve skleníkovém pokusu

D 1 - D 7 - sedm vysazených druhů rostlin.

H = hnojené květináče, N = nehnojené.

1, 2, 3 - pořadí odběru.

D1-N-1	D2-H-2			
D1-H-2	D3-H-2	D7-N-3	D7-N-1	D6-N-2
D7-H-2	D3-N-1	D2-H-3	D6-H-3	D7-H-1
D4-N-2	D2-N-3	D5-N-2	D4-H-3	D7-H-3
D5-N-1	D4-H-1	D2-L-H-3	D1-L-H-1	D7-N-2
D5-H-3	D3-N-2	D4-N-1	D3-H-1	D4-H-2
D3-H-3	D6-H-1	D6-N-3	D5-N-3	D6-N-1
D2-N-2	D3-N-3	D5-H-2	D6-H-2	D1-N-3
D2-N-1	D4-N-3	D5-H-1	D1-N-2	D2-H-1

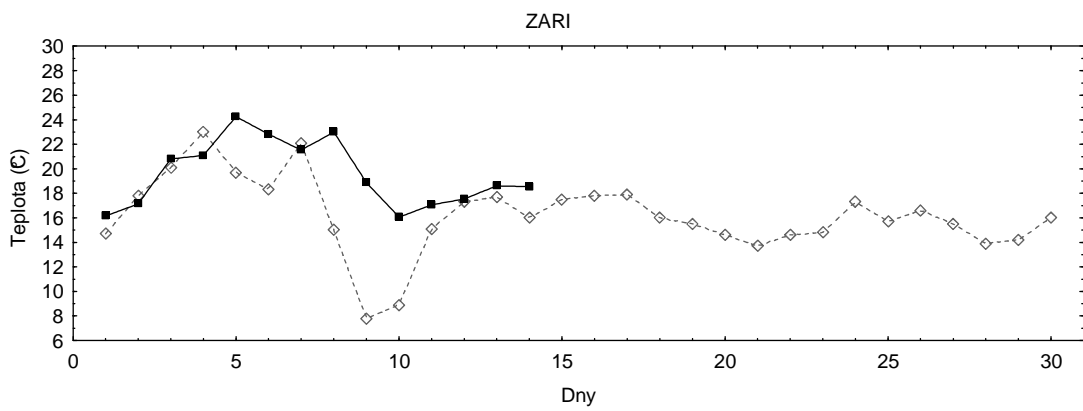
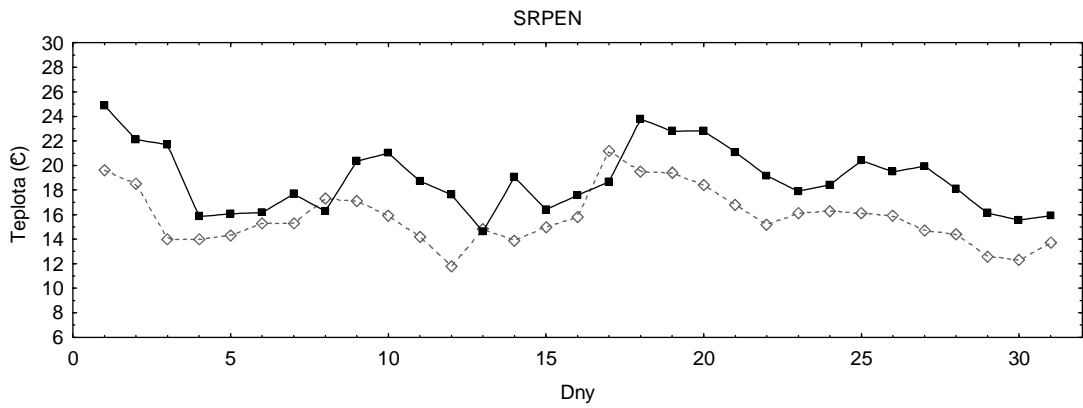
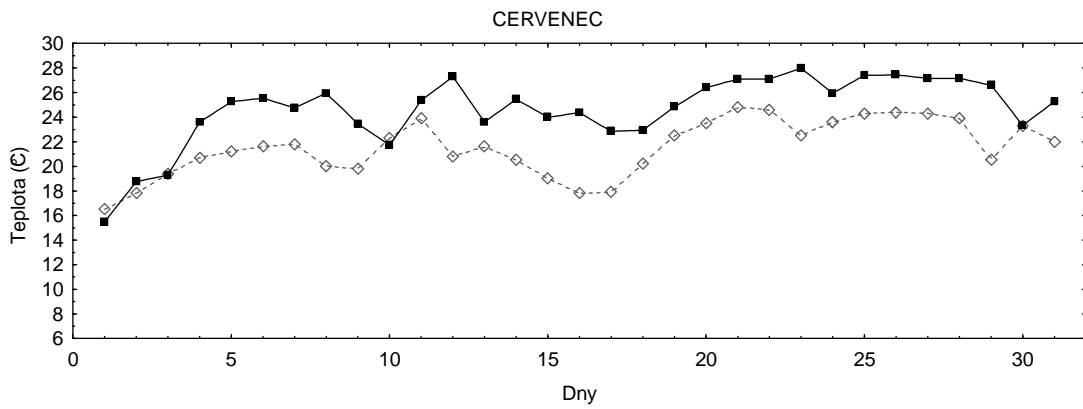
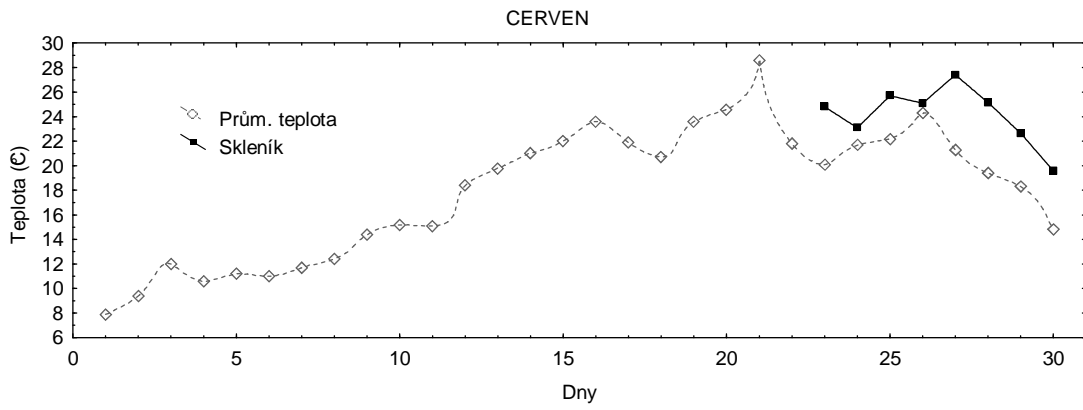
## **Příloha II**

### **Porovnání průměrných celodenních teplot venkovních a naměřených ve skleníku**

V následujících grafech jsou vyneseny průměrné celodenní teploty z meteorologické stanice Rožnov (městská část Českých Budějovic) za měsíce červen až září 2006 (označené: Prům. teplota) získané z Českého hydrometeorologického ústavu v Českých Budějovicích a průměrné celodenní vzdušné teploty z interiéru skleníku zaznamenané data-loggerem umístěným ve skleníku po většinu doby trvání skleníkového pokusu (označené: Skleník).

Elektroda data-loggeru zaznamenávající teplotu ve skleníku byla umístěna ve výšce asi 2 m nad zemí nad jedním ze sedmi stolů. Pokus probíhal od 30. 5. 2006 a ukončen byl 14. 9. 2006. Teplota byla zaznamenávána od 23. 6. 2006. Průměrné denní teploty ze stanice Rožnov byly spočítány jako celodenní průměr teplot zaznamenaných každých 10 minut a průměrné denní teploty ze skleníku byly spočítány jako celodenní průměr teplot zaznamenaných každých 15 minut.

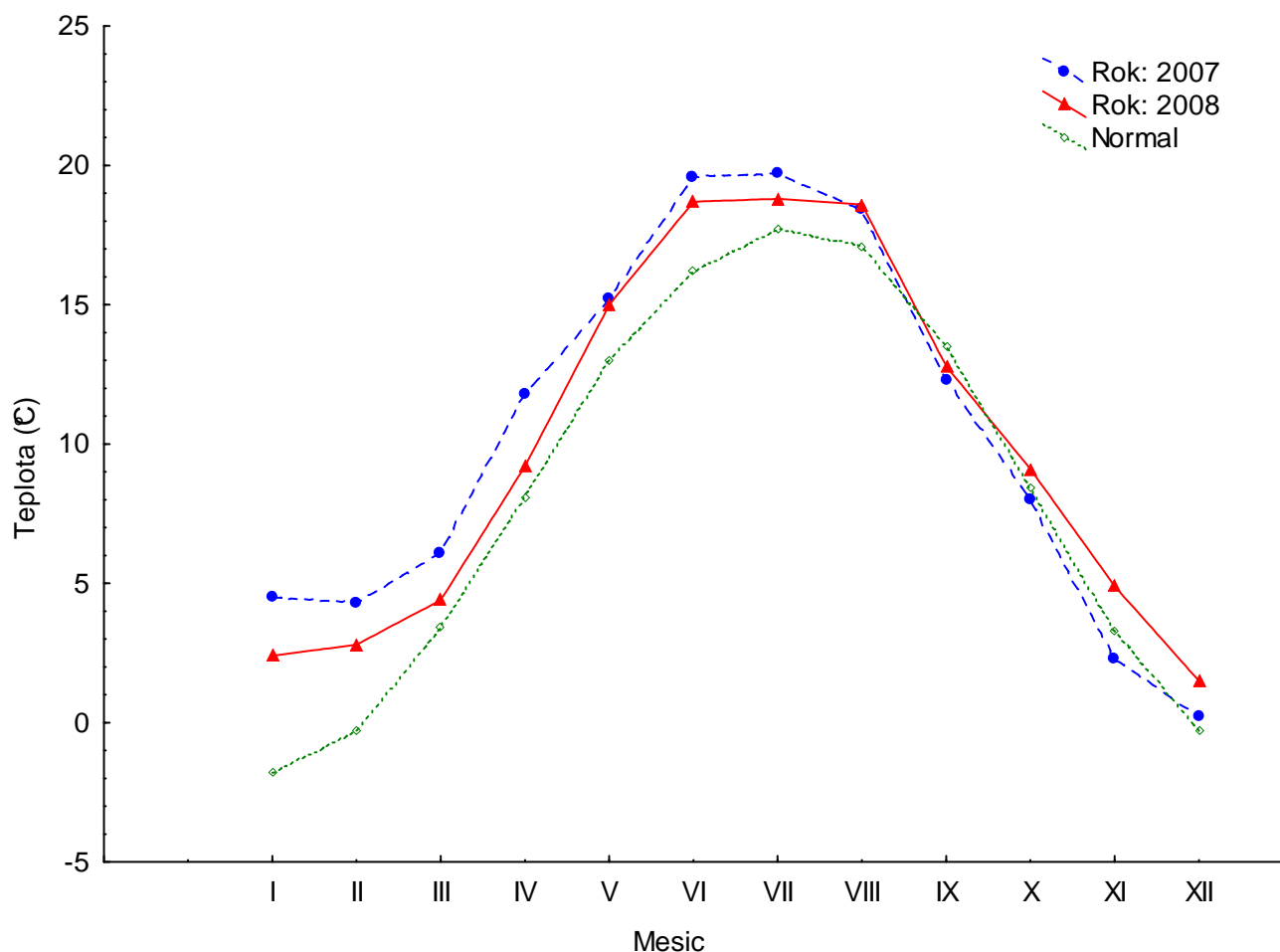
Minimální teplota naměřená za dobu sledování teplot ve skleníku byla 6,1 °C a minimální teplota za dobu trvání pokusu naměřená na meteorologické stanici Rožnov byla 4,2 °C. Maximální teplota ve skleníku za stejné období byla 45,0 °C a na meteorologické stanici 33,9 °C.



### Příloha III

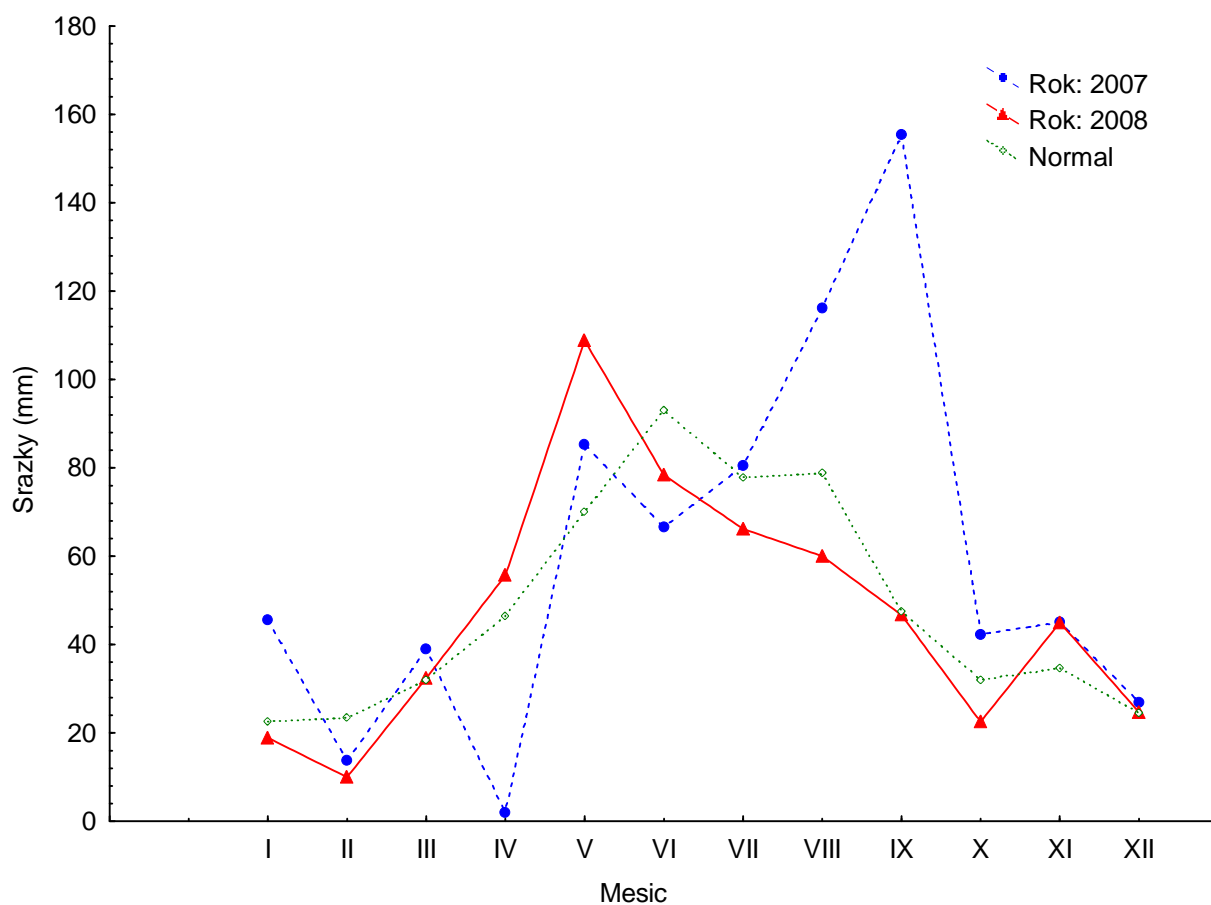
#### Porovnání dlouhodobých průměrných měsíčních teplot a průměrných měsíčních teplot v letech 2007 a 2008 pro území Českých Budějovic

V grafu jsou vyneseny průměrné měsíční teploty pro území Českých Budějovic (388 m. n. m., 48° 57' 42" severní šířky 14° 28' 05" východní délky) v letech 2007 a 2008, ve kterých běžel terénní pokus, a dlouhodobé průměrné měsíční teploty pro stejné území za období let 1961 - 1990 (Normal). Zdroj: <http://www.chmu.cz>, k datu 7. 12. 2009.



## Porovnání dlouhodobých průměrných měsíčních úhrnů srážek a měsíčních úhrnů srážek v letech 2007 a 2008 pro území Českých Budějovic

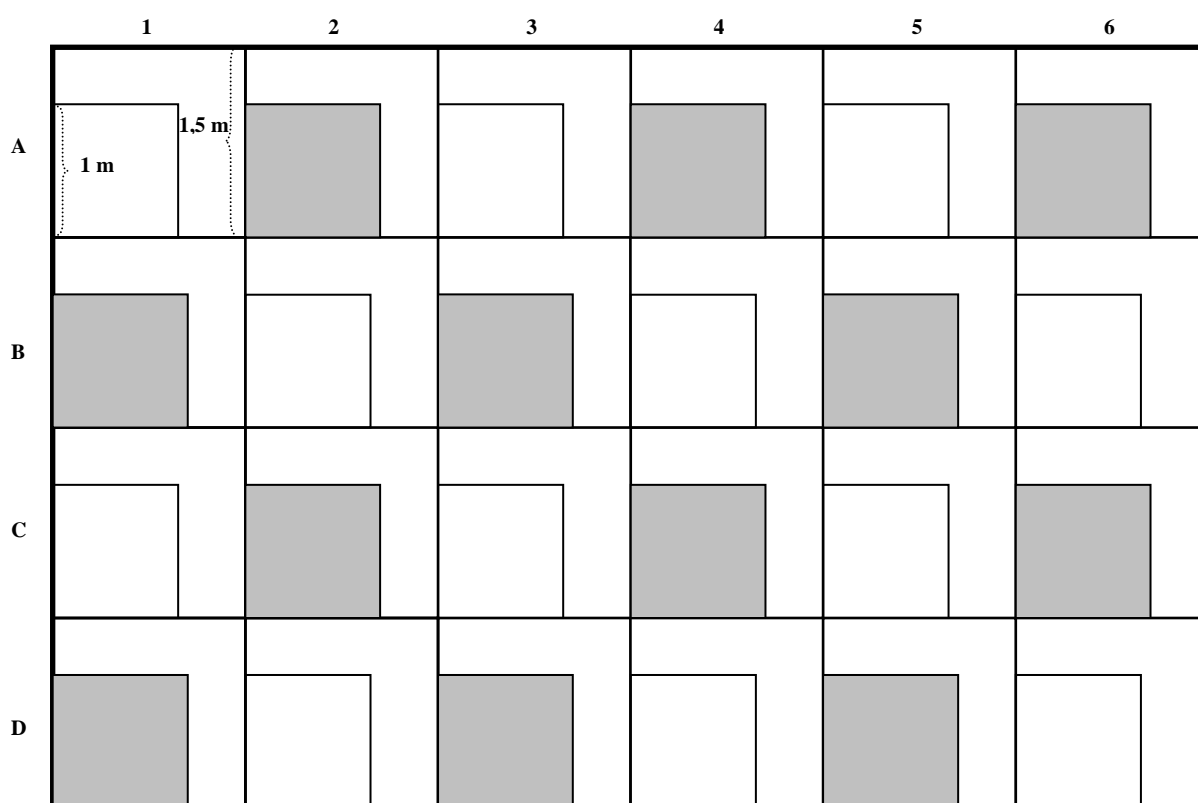
V grafu jsou vyneseny měsíční úhrny srážek pro území Českých Budějovic (388 m. n. m., 48° 57' 42" severní šířky 14° 28' 05" východní délky) v letech 2007 a 2008, ve kterých běžel terénní pokus, a dlouhodobé průměrné měsíční úhrny srážek pro stejné území za období let 1961 - 1990 (Normal). Zdroj: <http://www.chmu.cz>, k datu 7. 12. 2009.



## Příloha IV

### Experimentální design terénního pokusu

Rozmístění hnojených a kontrolních čtverců v trvalé ploše. Vybarvené čtverce byly hnojeny, prázdné čtverce byly kontrolní.





## Příloha V

Tabulka hodnot funkčních charakteristik naměřených ve 3. odběru skleníkového pokusu. Jsou uvedeny průměrné hodnoty funkčních charakteristik pro jednotlivé druhy  $\pm$  jejich střední chyby průměru. Hodnoty jsou uvedeny zvlášť pro hnojené (1) a nehnojené (0) rostliny. Každá funkční charakteristika byla u všech druhů měřena na stejném množství opakování (5 hnojených a 5 nehnojených rostlin). Nad. biomasa = nadzemní biomasa, R/S poměr = poměr podzemní a nadzemní biomasy, LDMC = obsah sušiny listu, SLA = specifická plocha listu, SRL = specifická délka kořenů, AM = arbuskulární mykorhiza, podíl délky kořene s vyvinutými arbuskuly (nevážené hodnoty). Druhy: *Anthoxanthum odoratum*, *Avenula pubescens*, *Holcus lanatus*, *Centaurea jacea*, *Plantago lanceolata*, *Sanguisorba officinalis*, *Veronica chamaedrys*.

Funkční charakteristika (průměr $\pm$ střední chyba průměru)	Druh							
	Hnojení	<i>A. odoratum</i>	<i>A. pubescens</i>	<i>H. lanatus</i>	<i>C. jacea</i>	<i>P. lanceolata</i>	<i>S. officinalis</i>	<i>V. chamaedrys</i>
Nad. biomasa (g)	1	1.12 $\pm$ 0.16	0.35 $\pm$ 0.07	1.56 $\pm$ 0.09	0.87 $\pm$ 0.06	1.47 $\pm$ 0.06	0.54 $\pm$ 0.11	0.74 $\pm$ 0.09
	0	0.85 $\pm$ 0.11	0.23 $\pm$ 0.10	0.95 $\pm$ 0.15	0.55 $\pm$ 0.06	0.84 $\pm$ 0.04	0.23 $\pm$ 0.05	0.32 $\pm$ 0.02
R/S poměr	1	1.08 $\pm$ 0.09	0.81 $\pm$ 0.07	0.80 $\pm$ 0.21	1.73 $\pm$ 0.16	1.09 $\pm$ 0.07	1.75 $\pm$ 0.23	0.66 $\pm$ 0.06
	0	1.15 $\pm$ 0.07	0.78 $\pm$ 0.10	1.15 $\pm$ 0.10	2.11 $\pm$ 0.25	1.16 $\pm$ 0.08	1.91 $\pm$ 0.21	0.70 $\pm$ 0.07
LDMC (mg/g)	1	236.13 $\pm$ 13.24	240.43 $\pm$ 12.59	223.41 $\pm$ 5.62	220.67 $\pm$ 30.12	171.65 $\pm$ 10.50	238.37 $\pm$ 25.34	256.15 $\pm$ 10.25
	0	256.26 $\pm$ 22.86	235.95 $\pm$ 7.18	224.28 $\pm$ 11.55	177.92 $\pm$ 5.59	181.66 $\pm$ 12.70	279.57 $\pm$ 9.46	252.85 $\pm$ 5.18
SLA (mm <sup>2</sup> /g)	1	29938 $\pm$ 1902	24815 $\pm$ 1285	29941 $\pm$ 863	19291 $\pm$ 1046	18923 $\pm$ 1037	24586 $\pm$ 1485	24059 $\pm$ 1422
	0	29445 $\pm$ 2320	27881 $\pm$ 927	32004 $\pm$ 3086	20607 $\pm$ 808	18254 $\pm$ 1735	24994 $\pm$ 1810	28766 $\pm$ 754
SRL (m/g)	1	551.78 $\pm$ 48.59	323.63 $\pm$ 30.65	708.23 $\pm$ 39.19	121.16 $\pm$ 8.55	211.82 $\pm$ 13.93	289.15 $\pm$ 24.89	383.85 $\pm$ 32.90
	0	513.01 $\pm$ 34.45	300.89 $\pm$ 39.41	550.95 $\pm$ 38.38	127.35 $\pm$ 7.48	223.20 $\pm$ 14.99	299.60 $\pm$ 28.54	393.54 $\pm$ 32.21
AM (%)	1	20.84 $\pm$ 10.06	50.78 $\pm$ 13.40	19.58 $\pm$ 6.15	31.90 $\pm$ 7.87	37.02 $\pm$ 10.15	54.58 $\pm$ 4.41	24.70 $\pm$ 7.77
	0	23.88 $\pm$ 7.41	51.90 $\pm$ 11.79	19.34 $\pm$ 5.32	61.38 $\pm$ 8.47	39.74 $\pm$ 4.31	41.06 $\pm$ 10.28	42.92 $\pm$ 6.46

## Příloha VI

Tabulka hodnot funkčních charakteristik naměřených v terénním pokusu. Jsou uvedeny průměrné hodnoty funkčních charakteristik pro jednotlivé druhy  $\pm$  jejich střední chyby průměru. Hodnoty jsou uvedeny zvlášť pro hnojené (1) a nehnojené (0) rostliny. Číslo v závorce pod názvem druhu uvádí počet rostlin hnojených/nehnojených, na kterých byla daná funkční charakteristika měřena. LDMC = obsah sušiny listu, SLA = specifická plocha listu. Druhy: *Anthoxanthum odoratum*, *Alopecurus pratensis*, *Avenula pubescens*, *Holcus lanatus*, *Centaurea jacea*, *Plantago lanceolata*, *Sanguisorba officinalis*, *Veronica chamaedrys*.

Funkční charakteristika (průměr $\pm$ střední chyba průměru)	Druh (počet opakování: hnojeno/nehnojeno)								
	Hnojení	<i>A. odoratum</i> (11/9)	<i>A. pratensis</i> (7/7)	<i>A. pubescens</i> (8/10)	<i>H. lanatus</i> (10/10)	<i>C. jacea</i> (11/11)	<i>P. lanceolata</i> (10/10)	<i>S. officinalis</i> (7/10)	<i>V. chamaedrys</i> (10/11)
Výška (cm)	1	18.36 $\pm$ 1.51	32.86 $\pm$ 2.99	30.50 $\pm$ 3.01	26.85 $\pm$ 2.02	9.91 $\pm$ 0.89	15.80 $\pm$ 0.98	11.43 $\pm$ 1.02	17.70 $\pm$ 1.50
	0	13.78 $\pm$ 0.94	21.14 $\pm$ 2.45	21.30 $\pm$ 1.08	20.10 $\pm$ 1.96	9.64 $\pm$ 0.91	16.10 $\pm$ 1.09	11.00 $\pm$ 0.63	10.32 $\pm$ 0.99
LDMC (mg/g)	1	228.60 $\pm$ 6.92	278.20 $\pm$ 14.29	275.05 $\pm$ 13.93	243.78 $\pm$ 8.57	214.90 $\pm$ 5.53	208.66 $\pm$ 7.58	301.57 $\pm$ 4.86	231.81 $\pm$ 5.96
	0	249.27 $\pm$ 7.99	291.37 $\pm$ 13.83	303.89 $\pm$ 10.78	245.78 $\pm$ 7.97	216.63 $\pm$ 6.92	191.26 $\pm$ 5.61	322.62 $\pm$ 5.59	250.32 $\pm$ 6.73
SLA (mm <sup>2</sup> /g)	1	32511 $\pm$ 1229	21880 $\pm$ 1230	17842 $\pm$ 1241	30504 $\pm$ 2719	19926 $\pm$ 1097	16602 $\pm$ 782	17027 $\pm$ 590	28732 $\pm$ 907
	0	27724 $\pm$ 970	23314 $\pm$ 1838	16964 $\pm$ 885	36970 $\pm$ 7899	20099 $\pm$ 933	19611 $\pm$ 751	15902 $\pm$ 275	22936 $\pm$ 720