

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroekologie a biometeorologie**



**Vliv způsobů zpracování půdy a herbicidního ošetření na  
společenstvo střevlíkovitých brouků v porostu geneticky  
modifikované kukuřice tolerantní k herbicidům**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Jakub Němeček**

**Vedoucí práce: prof. Ing. Josef Soukup, CSc.**

**Konzultant: doc. RNDr. Pavel Saska, PhD.**

© 2013 ČZU v Praze

Vliv způsobů zpracování půdy a herbicidního ošetření na společenstvo střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice tolerantní k herbicidům

### Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci:

**" Vliv způsobů zpracování půdy a herbicidního ošetření na společenstvo střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice tolerantní k herbicidům "**

jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12. 4. 2013

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval své rodině, jmenovitě své manželce Dorotce a synovi Filipovi za trpělivost a podporu. Dále děkuji své mámě Šárce za odbornou pomoc při kompletaci a korekturách práce. Můj hlavní dík však patří vedoucímu práce a konzultantovi za odborné vedení a předání cenných zkušeností při sběru, zpracování dat a psaní této práce.

# Vliv způsobů zpracování půdy a herbicidního ošetření na společenstvo střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice tolerantní k herbicidům

---

## Effects of tillage and herbicide regulation on population of Carabidae in the genetically modified herbicide tolerant maize

### SOUHRN

Střevlíkovití brouci patří mezi prospěšné organismy a ukazuje se, že by bylo možné využít jejich potenciál při přirozené biologické ochraně proti škůdcům. Diverzita a abundance střevlíkovitých brouků se považuje za jeden z bioindikátorů intenzity a udržitelnosti zemědělství. Proto jsme v polním pokusu studovali vliv různých způsobů zpracování půdy a chemické ochrany proti plevelům na společenstvo střevlíkovitých brouků vyskytujících se v porostu geneticky modifikované kukuřice NK 603 tolerantní ke glyfosátu (RR). Studovali jsme působení RR technologie a vliv tří variant faktorů zpracování půdy a pěti různých variant chemické regulace plevelů a jejich potenciálních vzájemných interakcí na střevlíkovité brouky. Hodnotili jsme přitom výskyt střevlíků a druhovou bohatost. Zjistili jsme, že chemická regulace plevelů významně ovlivňuje počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků v pastech, a že způsob zpracování půdy a chemická regulace přitom významně interagují v působení na počty odchycených jedinců i na druhovou bohatost, což bylo potvrzeno v obou letech pokusu. Pozorovali jsme menší vliv způsobu zpracování půdy na počet odchycených jedinců, neboť se projevil pouze v jednom roce pokusu. Při sledování vlivu tří režimů zpracování půdy a to konvenčního zpracování půdy (CT) s minimalizačním zpracováním (RT) a režimem mulčování (MU) na vliv chemické regulace plevelů na střevlíky nebyl průkazný efekt nikdy zjištěn u zpracování CT. Při minimalizačním zpracování (RT), nebo v režimu mulčování (MU) měla chemická regulace plevelů průkazný vliv na počty střevlíků, avšak nikoliv na druhovou bohatost.

**Klíčová slova:** střevlíci, *Carabidae*, kukuřice, GMHT, zpracování půdy, regulace plevelů, herbicid, Roundup Ready

## SUMMARY

Ground beetles (Carabids) are classified as beneficial organisms and there appears a possibility to use them in biological pest control. Diversity and abundance of the ground beetles is considered to be one of the bioindicators of intensiveness of farming and sustainability of the agriculture. Therefore we studied influence of various modes of soil cultivation practices and chemical weed control on populations of carabids occurring in the GMHT maize NK 603 with tolerance to glyphosate (RR). We studied influence of three variants of cultivation techniques, five herbicide weed control modes and possible interactions between them on carabids. We evaluated carabids occurrence and species richness. We discovered that herbicide weed control significantly influenced numbers of carabids caught in pitfall traps. We also observed that the soil cultivation practice and herbicide weed control significantly interacted in influencing the species richness that was confirmed in both years of the field study. We observed smaller influence of soil cultivation practice, because it was found in one year only. When observing how conventional tillage (CT) or reduced tillage (RT) or soil conservation technology (MU) influence herbicide weed control effect on carabids, we found a significant influence on numbers of carabids, but not on the species richness.

**Keywords:** Ground beetles, *Carabidae*, maize, GMHT, soil cultivation, weed control, herbicide, Roundup Ready

## OBSAH

<b>1. ÚVOD</b> .....	<b>8</b>
<b>2. CÍLE PRÁCE</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 Odrůdy s tolerancí k herbicidům</b> .....	<b>9</b>
3.1.1. Princip tolerance herbicidům a nejpoužívanější systémy.....	9
3.1.2.Charakteristika herbicidu Roundup Ready technologie .....	9
3.1.3. Přednosti a negativní vedlejší efekty Roundup Ready technologie .....	10
<b>3.2. Charakteristika střevlíků (<i>Carabidae</i>) žijících v agro-ekosystémech</b> .....	<b>11</b>
3.2.1 Ekologie střevlíků.....	11
3.2.2 Charakter společenstev – dominantní druhy .....	13
3.2.3 Faktory ovlivňující strukturu společenstva .....	14
3.2.4. Střevlíci jako bioindikátory .....	17
<b>3.3. Vliv agrotechniky na střevlíky</b> .....	<b>18</b>
3.3.1 Vliv vegetačního pokryvu a lemových společenstev .....	18
3.3.2 Vliv zpracování půdy a disturbancí v půdním profilu na vývoj střevlíků .....	19
<b>3.4. Vliv chemické regulace plevelů</b> .....	<b>20</b>
3.4.1. Osud herbicidů v prostředí .....	20
3.4.2. Působení herbicidů na organismy.....	21
3.4.3. Vliv herbicidu Roundup (glyfosát) na necílové organismy .....	23
3.4.4. Vliv herbicidu Roundup na střevlíky .....	23
3.4.5. Nepřímé vlivy herbicidů v trofickém řetězci.....	24
<b>4. METODIKA</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1. Přehled účinných látek užitých k regulaci plevelů během polního pokusu</b> ..	<b>25</b>
<b>4.2. Popis lokality a design experimentu</b> .....	<b>26</b>
<b>4.3. Pokusné uspořádání</b> .....	<b>26</b>
<b>4.4. Odběry vzorků a hodnocení</b> .....	<b>27</b>
<b>4.5. Statistické vyhodnocení dat</b> .....	<b>28</b>
<b>5. VÝSLEDKY</b> .....	<b>29</b>
<b>5.1. Výsledky studie vlivu na střevlíky</b> .....	<b>29</b>
<b>5.2. Výsledky vyhodnocení výskytu plevelů</b> .....	<b>36</b>
<b>6. DISKUZE</b> .....	<b>38</b>
<b>7. ZÁVĚRY</b> .....	<b>41</b>
<b>8. SEZNAM LITERÁRNÍCH ZDROJŮ</b> .....	<b>42</b>
<b>9. SEZNAM ZKRATEK</b> .....	<b>49</b>
<b>10. SEZNAM PŘÍLOH</b> .....	<b>49</b>

Slovo autora:

Tak jak to ve vědě bývá, při zkoumání nějakého jevu nebo vlivu odkryjeme skutečnosti, které se však velmi často uplatní úplně jinak, než jak jsme na začátku předpokládali.

S trochou nadsázky bych tento jev přirovnal například ke krájení chleba, kdy odpadlé drobký mohou mít podstatně větší význam pro skryté obyvatele domácnosti, než krajíc chleba pro člověka. Jinak řečeno to nám dává naději, že sebraná data ze studií vlivů herbicidního ošetření a vlivu orby na společenstva střevlíků nám zároveň poskytnou i další kamínek do rozsáhlé mozaiky poznání, a třeba mohou být nakonec použita k vysvětlení zdánlivě nesouvisejících vztahů, jež by možná nikoho ani nenapadlo zkoumat.

## 1. ÚVOD

Tato práce byla vypracovávána v rámci řešení projektu NAZV QH91093 „Zavádění geneticky modifikovaných hybridů kukuřice s rezistencí ke hmyzím škůdcům a tolerancí k neselektivním herbicidům v ČR s ohledem na biotické složky agroekosystému“. Účelem tohoto projektu bylo získat pro podmínky České republiky originální informace o vlivu technologií pěstování geneticky modifikované (GM) kukuřice s rezistencí ke hmyzím škůdcům a s tolerancí k neselektivním herbicidům (GMHT) na biotické složky agroekosystémů, především na plevele, s nimi asociované druhy hmyzu a vybrané taxony členovců, kteří se běžně vyskytují v polních podmínkách.

Až na výjimky patří střevlíkovití brouci mezi organismy prospěšné a ukazuje se, že by bylo možné využít jejich potenciál při přirozené ochraně proti škůdcům. Diverzita a abundance střevlíkovitých brouků se považuje za jeden z bioindikátorů intenzity a udržitelnosti zemědělství. Proto jsme studovali, jak populace střevlíků bude ovlivněna různými způsoby zpracování půdy a regulace plevelů

## 2. CÍLE PRÁCE

Specifickým cílem této diplomové práce bylo popsat vliv různých způsobů zpracování půdy a chemické ochrany proti plevelům na společenstvo střevlíkovitých brouků vyskytujících se v porostu geneticky modifikované kukuřice NK 603 tolerantní ke glyfosátu (RR).

Dílčí cíle byly následující:

1. Zhodnotit působení RR technologie na výskyt a druhovou diverzitu střevlíkovitých brouků.
2. Zhodnotit vliv variant jednotlivých faktorů zpracování půdy a chemické regulace plevelů a potenciální interakce mezi nimi na střevlíkovité brouky.

Hypotéza: Budeme testovat pracovní hypotézu, že počet odchycených jedinců a druhová bohatost je ovlivňována faktory zpracování půdy a chemické regulace plevelů



### 3.1 Odrůdy s tolerancí k herbicidům

#### 3.1.1. Princip tolerance herbicidům a nejpoužívanější systémy

Dvě nejnámější patentované technologie založené na neselektivním herbicidu a tolerantní odrůdě jsou:

- Roundup Ready (RR) - Monsanto  
GMHT (soja, kukuřice, bavlník, řepka, cukrovka, čirok, . . .) +Roundup (glyfosát)
- Liberty Link (LL) - Bayer Crop Science  
GMHT (soja, kukuřice, bavlník, řepka, cukrovka, . . .) + Liberty (glufosinát)

Další GM plodiny s tolerancí k herbicidům

Zdroj: Center for Environmental Risk Assessment (CERA) (<http://cera-gmc.org>)

(*plodina - Účinná látka herbicidu*)

cukrová řepa (*B. vulgaris*), slunečnice (*H. annuus*), karafiát (*D. caryophyllus*) - chlorsulfuron

kukuřice (*Z. mays*), řepka (*B. napus*), soja (*G. max*) - isoxazol

tabák (*N. Tabacum*), bavlník (*G. hirsutum*), řepka (*B. napus*) – ioxynil, bromoxynil

pšenice (*T. aestivum*) - cyanamid (imidazolinone)

kukuřice, soja, pšenice, čočka (*L. Culinaris*), rýže (*O. sativa*), - imazethapyr (imidazolinony)

řepka – sulfonamid

#### 3.1.2. Charakteristika herbicidu Roundup Ready technologie

Jeho formulace jsou založeny na bázi účinné látky glyfosát doplněné adjuvanty.

V dnešní době jsou nejvíce používanými herbicidy na světě (Haughton et al., 1999). Jsou to postemergentní herbicidy se systemickým neselektivním účinkem. Z pohledu mechanismu účinku se jedná o inhibitory enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntázy (EPSP). Jsou přijímány přes listy a translokovány do dělicích pletiv v rostlině, kde se hromadí a blokují tvorbu aminokyselin nezbytných pro růst (Jursík et al., 2011). Bývají používány v zemědělství (postemergentní herbicid, desikant), lesnictví, ale ve velké míře se uplatňují i v mnoha nezemědělských aplikacích, jako například k regulaci zaplevelení na veřejných prostranstvích, v zahradách, průmyslových objektech, k potlačení vegetace u železničních tratí, ale i k regulaci vodních rostlin v plavebních koridorech atd.

Účinná látka přípravků n- (phosphonomethyl) glycin neboli glyfosát bývá obsažena v různých formách. Nejčastěji to bývá derivát isopropylaminu a sodná a amonná sůl glyfosátu (Cox, 1995).

### 3.1.3. Přednosti a negativní vedlejší efekty Roundup Ready technologie

- **Vyšlechtění GMHT tolerantních plodin**

Zásadním předpokladem pro tuto technologii bylo vyšlechtění tolerantních odrůd plodin (Tsui and Chu, 2003). Éra GMHT plodin začala v roce 1997 zavedením plodin jako sóji, kukuřice a bavlníku (Borggaard, and Gimsing, 2008; Schier, 2006). Postupně byly vyšlechtěny další GMHT odrůdy jako řepka, cukrovka. Geny pro toleranci jsou do GMHT plodin umisťovány z bakterií, které si je vytvořily přirozenou cestou. (Comai et al., 1983; Tan et al., 2006).

Ačkoli se to zdá nelogické, může být samovolný proces modifikace genomu u rostlin také faktorem, který může vést k ukončení používání GMHT technologie. Rezistentní rostliny totiž geny rezistence získávají také, ale přirozenou cestou. Tento způsob je podstatně pomalejší, ale probíhá stále a množství rezistentních rostlin celosvětově stále přibývá (Roux and Reboud, 2007; Vila-Aiub et al., 2008).

- **Vysoká účinnost**

Nespornou výhodou těchto herbicidů pro zemědělce je herbicidní účinek na většinu rostlinných druhů (Duke and Powles, 2009). Výjimkami mohou být pouze některé hluboko kořenící druhy jako svlačce (*Convolvulus sp.*), které sice reagují poškozením nadzemních částí, ale dobře regenerují z kořenů. Ještě problematičtější jsou přesličky, které se jeví při aplikaci herbicidu postřikem jako zcela tolerantní (Jursík et al., 2011). (pozn. autora: Z mé vlastní zkušenosti přesličky citlivě reagují pouze při potření rostlin např. štětcem. Pravděpodobně není tedy rezistence podmíněna metabolicky, ale mají silné ochranné vrstvy kutikuly a musí dojít k mechanickému porušení těchto vrstev.)

- **Jednoduchost aplikace**

Použití glyfosátu (účinné látky, která je součástí Roundupu, Dominatoru a jim podobných přípravků má tu výhodu, že aplikaci můžeme provádět kdykoli v období růstu a postemergentní aplikací řešíme tedy akutní zaplevelení pozemku. Většina plevelných druhů je dostatečně citlivá po celé vegetační období, takže si můžeme dobu aplikace vybírat s ohledem na nejlepší podmínky a počasí (teplotu, vlhkost a světlo). Tyto vlastnosti zapůsobily na

zemědělce, kteří zařadili GMHT plodiny do své produkce (Duke and Powles, 2009; Dill, 2005).

- **Nízká relativní toxicita**

Podle celé řady studií zkoumajících vliv na různé organismy žijící v různém prostředí (vodní organismy, půdní organismy (mikroorganismy, členovci), plazi, ptáci, savci ) je glyfosát v porovnání s jinými používanými herbicidy méně toxický. Navíc je deklarováno jako ekologický přínos nižší množství aplikovaných herbicidů (Baylis, 2000; Lundgren et al., 2009). Vývoj v Evropě: Směrnice 2009/128/ES z 21. října 2009 zavedla pojem udržitelné používání pesticidů a zrevidovala chemické přípravky pro ochranu rostlin. U přípravků jsou přísněji posuzovány toxikologické účinky na živ. prostředí, a tím se opět zúžilo spektrum použitelných přípravků. Nařízení 1107/2009 dále upravuje a prováděcí nařízení komise (EU) č. 540/2011 jmenuje povolené účinné látky přípravků na ochranu rostlin. Používání některých levnějších přípravků již není povoleno.

- **Nížejší cena přípravků a celkové aplikační množství**

Původní přípravek Roundup je v USA registrován již od roku 1974 (Franz et al., 1997). Postupně se rozšířil prakticky do celého světa. Hlavně skončením platnosti patentů společnosti Monsanto (rok 2000), která herbicidy na bázi glyfosátu vyvinula, se jeho používání díky nižší ceně ještě více rozšířilo. Obdobné herbicidy jsou v dnešní době produkovány prakticky všemi známými výrobci chemických přípravků pro ochranu rostlin. Jsou prodávány pod různými obchodními názvy: Roundup, Dominator, Touchdown, Glyfos, Glyfogan, Acomac a jiné. Tento typ herbicidů vděčí za své celosvětové rozšíření hlavně faktu, že je velmi účinný, zároveň je považován za relativně bezpečný pro uživatele při manipulaci a aplikaci (Evans et al., 2010). Také jeho celkové působení na životní prostředí se stále jeví jako celkem šetrné ve srovnání s jinými stejně účinnými přípravky (Baylis, 2000; Lundgren et al., 2009). Díky možnosti účinně chemicky regulovat zaplevelení se více rozšířila půdo-konzervační agrotechnika. To s sebou přineslo nižší spotřebu paliva v zemědělství (Bennett et al., 2004; Olofsdotter, 2000).

## **3.2. Charakteristika střevlíků (*Carabidae*) žijících v agro-ekosystémech**

### **3.2.1 Ekologie střevlíků**

Střevlíkovití brouci mají celou řadu životních strategií, je však možné najít znaky, které je možné považovat za charakteristické pro většinu druhů. Střevlíci jako všichni brouci

procházejí při svém vývoji dokonalou přeměnou. To znamená, že jejich vývoj zahrnuje tato čtyři vývojová stádia: Vajíčko, larva, kukla a dospělec. Průměrně mají jednu generaci ročně (monovoltinní). Po nalezení vhodného stanoviště, naklade samice mezi 30 až 600 oválných vajíček do země, nebo do rostlinných zbytků na povrchu půdy. Výběr dobře chráněného místa je zásadní, protože mladé larvičky jsou vzhledem ke svým rozměrům málo mobilní a křehké, tudíž jsou snadnou kořistí pro predátory. Dokonce byla pozorována i péče rodičů, zahrnující ochranu místa se snůškou (rod *Abax*) a shromažďování zásob semen (rod *Ophonus*) (Hůrka, 1996). Často jsou střevlíci rozlišováni na druhy, které mají zimní, nebo letní larvy. Toto rozdělení je poněkud generalizované a je řada druhů, které nějakým způsobem vybočují. Podrobněji je popsáno v knihách (Hůrka, 1996; Luff, 1993). Larvy se vyvíjejí převážně v půdě, kde se obvykle po třetím instaru (třetí svlékání) zakuklí. Dospělci žijí v závislosti na druhu od jednoho až do pěti let. Druhy větší a druhy přezimující ve stadiu larvy obvykle žijí nejdéle. (Lovei and Sunderland, 1996). Navzdory tomu, že mnoho druhů střevlíků má plně vyvinutá křídla, přičemž let je u okřídleného hmyzu určen k prostorovému šíření druhů na větší vzdálenosti, většina střevlíků tráví většinu svého života běháním po povrchu půdy. Byli také pozorováni střevlíci vylézající za potravou na rostliny.

Co se týká potravy, jsou střevlíci obvykle považováni za polyfágní organismy. Celá řada střevlíků jsou primárně predátoři lovcí různé bezobratlé organismy. Často však v menší či větší míře navíc přijímají rostlinou potravu. Některé další druhy jsou herbivorní, jiné se specializovaly na predaci semen (granivorní) (Hoňek et al., 2003). Střevlíci mají různé způsoby, jak si obstarávají potravu. Mají různé strategie vyhledávání bez ohledu na to, zda se jedná o sběr nebo lov. Většina z nich preferuje náhodný sběr či lov v určité oblasti. Vzácněji jsou to denní lovci, orientující se zrakem. Občas jsou to lovci specialisté a mají natolik vyvinutý čich, že jsou schopni rozpoznávat například pachové stopy chvostoskoků měkkýšů nebo mšic, které loví. (Lovei and Sunderland, 1996). Byly vysledovány určité potravní preference, které se mohou měnit v závislosti na jednotlivých vývojových fázích jedince. Samice vyhledávají obvykle pestřejší stravu než samci. Větší rozmanitost má u nich vliv na počet a velikost vajíček. Larvy a dospělci vyhledávají obvykle podobný druh potravy, nacházejí ji však v jiném prostředí. To je zárukou, že si nebudou při shánění potravy konkurovat. Je faktem, že larvy jsou při výběru potravy omezené svou pohyblivostí, která je nižší v půdě než na povrchu. Některé larvy využívají strategii lovců a číhají na kořist z úkrytu. Hlubí si za tímto účelem válcové otvory v půdě (rod *Cicindela*) (Luff, 1993). Mezi střevlíky jsou i druhy, jejichž larvy jsou ektoparazity kukel jiných druhů střevlíků. Příkladem je

*Brachinus crepitans* parazitující na rodu *Amara*, přičemž jejich způsob obživy vede až k fyzické likvidaci hostitele (Saska, P. and Honek, A., 2008).

Řada střevlíků, jak je uvedeno v předcházejícím odstavci, jsou predátoři semen (granivorní), přičemž predace semen znamená konzumaci, kterou provází destrukce semen. Musíme ji oddělit například od pouhé konzumace plodů, kdy semena organismem prochází a přitom neztrácí klíčivost a ještě jsou dispergována do okolí (Carvalho, 2010).

Brouci z čeledi *Carabidae* se vyskytují ve všech agro-ekosystémech mírného pásu a jsou považováni za predátory mnoha škůdců z různých skupin živočichů, které zahrnují mšice, larvy motýlů, slimáky atd. Jejich vliv na škůdce v tomto ohledu je těžké kvantifikovat, i když se potenciálně považuje za významný.

Navzdory faktu, že polní ekosystémy jsou vystavovány silným disturbancím, pravidelně se opakujícím několikrát v roce, jsou polní společenstva střevlíkovitých v Evropě pozoruhodně stabilní a homogenní (Porhajašová, 2008). Co do počtu jedinců, je jejich abundance velmi vysoká. Na druhou stranu v zemích jako je Česká Republika, tedy tam kde vlivem historického vývoje došlo ke scelování zemědělských pozemků a přechodu od malozemědělství k pěstování rozsáhlých monokulturních porostů, je patrný vliv těchto opatření na strukturu společenstev. Dílčími zásahy, které zcela změnilly kulturní krajinu, bylo například rozorání mezí, likvidace remízků a neobdělávaných ploch mezi zemědělskými pozemky. Právě tyto zdánlivě bezvýznamné plochy mají obrovský význam pro biodiverzitu. Své dopady mělo i odvodnění zamokřených pozemků. Tyto změny se projevíly mimo jiné na značném poklesu výskytu u velkých neokřídlených brouků (rod *Carabus*) (Porhajašová, 2008).

### 3.2.2 Charakter společenstev – dominantní druhy

V každém ekosystému se společenstva skládají z různého množství druhů. Jedinci každého druhu jsou charakterističtí určitými vlastnostmi. Na první pohled bývají patrné vnější anatomické odlišnosti mezi druhy, jako tělesná velikost, tvar těla a zbarvení. Na první pohled skrytým, ale často mnohem významnějším rozlišovacím znakem jsou například tvary genitálií. Ty jsou velmi často tím zásadním znakem při determinaci druhu nalezeného exempláře. Mimo to mají druhy své charakteristiky v různé fenologii, rozmnožovacím cyklu, ale liší se i fyzickou aktivitou v jednotlivých stádiích vývoje. Fyzická aktivita ovlivňuje spolu s dalšími faktory schopnost disperze. Druhy, jejichž dospělci jsou okřídlení, větší a aktivnější mají obvykle větší schopnost disperze. Různé druhy mohou mít odlišné požadavky na výživu

larev a dospělých brouků a také na faktory klimatické, kterými se více zabývám v kapitole o faktorech (Holland, 2004).

Většina střevlíků je polyfágních a některé jsou primárně spermofágní (potravou larev jsou semena rostlin). Společenstvo na zemědělské půdě je charakteristické obvykle omezeným počtem druhů s velkým počtem jedinců. Podle (Porhajašová, 2008) druhy, které dominují středoevropským agro-ekosystémům (mesophyticum) jsou *Pseudoophonus rufipes*, *Poecilus Cupreus*, *Anchomenus dorsalis*, *Brachinus eximius* (*crepitans*), *Calathus fuscipes* a *Dolichus halensis*, který také převládá i v teplejších oblastech střední a východní Evropy (thermophyticum). Po prostudování podobných literárních zdrojů (Holland, 2004; Luff, 1987) bych do tohoto výčtu přidal ještě *Pterostichus melanarius* a *Trechus quadristriatus*, které jsou také velmi rozšířenými druhy. (pozn. autora). V závislosti na lokálních podmínkách, plodině a konkurenčním tlaku se pouze proporcionálně liší vzájemné pořadí podle počtu jedinců, přičemž obvykle bývá silně dominantní *Pseudoophonus rufipes*. (Porhajašová, 2008).

### 3.2.3 Faktory ovlivňující strukturu společenstva

#### o **Faktory abiotické**

Hlavními abiotickými faktory, určujícími, které druhy střevlíkovitých brouků budou úspěšné ve společenstvu, jsou klima, světlo a druh a vlastnosti půdy. Fyzikální a chemické vlastnosti půdy mají vliv na půdní úrodnost, která ovlivňuje primární produkci vegetace a tím množství potravy pro celý potravní řetězec ekosystému. Fyzikální vlastnosti půdy jako propustnost, schopnost retence vody, mohou ovlivňovat společenstva střevlíků také nepřímou přes výskyt houbových chorob členovců (plísňe) (Steenberg et al., 1995), nebo výskyt jejich predátorů jako například nízký výskyt krtků v přemčené jílovité půdě] (Milner and Ball, 1970). Celkové vlhkostní podmínky ovlivňuje úhrn srážek a teplota, která způsobuje fyzikální výpar. Na všechny tyto abiotické faktory má zásadní vliv také zeměpisná poloha a nadmořská výška. Mezi abiotické faktory někteří autoři prací zařazují i agrotechnické zásahy jako je aplikace pesticidů, hnojiv, orbu, nebo kypření. Nezdá se mi to však účelné a spíše bych tyto faktory nazval antropogenní intervence do agroekosystému. Ve své podstatě jsou to spíše faktory biotické, i když je mezi ně neřadíme.

#### o **Faktory biotické**

Typ plodiny a druhy plevelů jsou faktory biotickými. Jsou ovlivněny abiotickými faktory a spolu s nimi mají zásadní vliv na složení společenstva. Porost přímo ovlivňuje mikroklima přes

některé své specifické vlastnosti. Je to například hustota porostu, plocha listů, nebo výška rostlin. Každý porost má různou hodnotu parametru evapotranspirace, která je závislá na fyziologickém výparu. Za nepřímý vliv plodiny bychom mohli považovat i to, že každá plodina vyžaduje jinou agrotechniku (obdělávání) a ta působí na organismy. Vliv způsobu obdělávání (orby a jiných kultivačních zásahů) podrobněji proberu v kapitole 3.3.2).

Působení biotických a abiotických faktorů se však vzájemně prolíná a působí spíše jako komplexní faktor.

- **Změna mikroklimatu působením rostlin**

Společenstva střevlíků se vyskytují v porostech různých kulturních plodin. Tyto plodiny rostou na různých půdách, v různých klimatických podmínkách s různými úhrny srážek a v různých nadmořských výškách. Pokud bychom vybrali na poli místa, kde budou objektivně shodné klimatické faktory, shodná agrotechnika a porovnatelná hustota porostu plodiny, zjistili bychom, že na různých místech se i tak složení společenstev organismů bude značně lišit. Je to tím, že ty samé faktory působí i na společenstva plevelů doprovázející plodinu. Přítomné plevele totiž také reagují na ty samé faktory jako plodiny. Hlavní plodina tedy sice klima v porostu zásadně pozmění, ale to konečné v porostu spoluvytváří dohromady všechny rostliny na daném místě. Mikroklima je ve svém důsledku výslednicí působení všech faktorů a vytváří vhodné prostředí pro různé živé organismy. Organismy jsou pak nedílnou součástí celého agroekosystému. Podoba druhového společenstva brouků není tedy determinována jen druhem plodiny, ale je ovlivňována současně všemi působícími faktory a rostlinami na poli. Mohli bychom říci, že společenstva střevlíkovitých brouků nejsou vázána na konkrétní plodinu, ale jejich složení se spíše přizpůsobilo rytmicitě kultivačních zásahů a danému mikroklimatu (Kromp 1989).

Naopak je zřejmé, že některé druhy nejsou s plodinami asociovány vůbec. Evidentně jsou ovlivněny pouze agrotechnikou pěstování a jsou například typické pro všechny otevřené obdělávané pozemky v dané klimatické oblasti. Druh pěstované plodiny zkrátka nemá vliv na jejich výskyt. Mohou se vyskytovat jak například v lesních školkách, tak na polích. (Luff, 1987).

- **Výskyt plevelů**

Struktura společenstva členovců je utvářena mnoha faktory. Jak uvádí ve své práci Saska (2007), jedním z těch důležitých, které často determinují skladbu společenstva je výskyt konkrétních druhů plevelných rostlin, rostoucích na daném místě. Výskyt typických druhů

plevelných rostlin přímo závisí nejen na parametrech klimatických, ale také na způsobu obdělávání pole a zvolené herbicidní ochraně, tedy na celkovém agrotechnickém hospodaření (Saska, 2007).

Pokud v dnešní době hospodaříme na zemědělské půdě a máme v rukou mocné nástroje k regulaci plevelů, měli bychom k ní přistupovat obezřetně a myslet také na osud všech organismů, o kterých byla řeč v předcházejících kapitolách.

V každém případě si musíme uvědomit, že likvidace živé biomasy plevele je vždy doprovázena negativními jevy na společenstvo jako ztráta úkrytu před predátory, změnami mikroklimatu, ztrátou zdrojů obživy pro fytofágní druhy a následně také omezení produkce semen a jejich predace. Celkové snížení diverzity střeblíků může narušit rovnováhu v ekosystému a to může mít stimulační vliv na jiné členovce jako například škůdce pěstovaných plodin.

Navíc bychom si měli uvědomovat, že tento negativní vliv se přenáší i mimo náš pozemek. Na toto téma jsem se zaměřil již ve své bakalářské práci (Němeček, 2011).

- **Faktory mezidruhové kompetice u střeblíků**

Jsou to faktory závislé na vlastnostech druhů a ovlivňují jejich úspěšnost a početní zastoupení jedinců druhu v agroekosystému. Patří mezi ně například :

- **schopnost disperze druhů**

Na orné půdě je pro druhy, které mají být v tomto prostředí úspěšné důležitá schopnost plošné disperze. Druhy, které mají nízkou schopnost disperze, řadíme do L-druhů (Den Boer 1985). Takové druhy kolonizují spíše trvalé travní porosty a neobdělávané plochy mezi poli jako např. meze, nebo travní pásy. Jejich akční rádius bývá přímo úměrný jejich rozměrům a především rychlosti pohybu, takže může zasahovat částečně i do obdělávaných ploch. Většinou se jedná o druhy, které se nemohou na poli rozmnožovat a vycházejí na pole pouze za potravou.

Většina polních druhů má velkou schopnost disperze. Často mají schopnost létat, jsou většinou eurytopní a řadíme je do T-druhů dle (Den Boer 1985). Patří sem například druhy z rodů *Amara*, *Pterostichus*, *Agonum* a druhy *Harpalus rufipes*, *Loricera pilicornis* (Holland, 2004).

- **závislost na konkrétní plodině**

Vývoj některých druhů je velmi úzce spjat s některými druhy rostlin. Ať již je to plodina nebo určitý druh plevele z této specializace plynou určité výhody i nevýhody.



Organizmy mohou být buďto potravně závislé, nebo jim rostlina poskytuje určité specifické mikroklima.

### **-rozdělení střevlíků podle vývojových cyklů**

Střevlíci jsou podle doby rozmnožování obvykle děleni na jarní a podzimní druhy. V cizojazyčné literatuře, která má v tomto oboru stěžejní význam, se tyto skupiny uvádějí jako „Spring nebo Summer breeders“ a „Autumn breeders“.

Toto rozdělení je odvozováno hlavně na základě pozorování množství odchycených dospělých brouků a larev. Důležité mezníky pro zařazení jsou tyto: Zda přezimují larvy, doba kdy se líhnou dospělci a také kdy samice kladou vajíčka. Stáří u odchycených dospělců je odhadováno hlavně podle zralosti vajíček v ovariích samic.

Uvedené rozdělení bylo revidováno v práci (Thiele, 1977). Autor práce přerozdělil střevlíky do 7 skupin. Zohlednil přitom závislost životních cyklů na teplotě a délce dne a všechny vyskytující se minimální odlišnosti. Toto rozdělení je však poněkud nepřehledné a i když opravdu zohledňuje všechny objevené typy cyklů a je podle mě korektní není tak transparentní jako to dvouskupinové.

Jak jsem již naznačil, rozdělujeme vývojové strategie střevlíků podle načasování rozmnožování a líhnutí dospělců. V agro-ekosystémech, které jsou podobné svým otevřeným charakterem lučním ekosystémům, běžně převládají co do počtu druhů spíše jarní a letní druhy reprezentující strategii letních larev, které se vyvíjejí od dubna do srpna a poté se líhnou dospělci, kteří přezimují, aby se na jaře opět rozmnožili.

Musím konstatovat, že výsledky našich odchytů prokázaly dominanci podzimních druhů. Toto naše zjištění je však v naprosté shodě s jinými polními pokusy (Lyngby and Nielsen, 1980). Po prostudování možné příčiny jsem našel možné vysvětlení, že pozitivní vliv na podzimní druhy mohou mít půdy s vyšším podílem písku (Thiele, 1977)

### 3.2.4. Střevlíci jako bioindikátory

Biodiverzita, kterou rozumíme rozmanitost živých organismů, je důležitou vlastností ekosystémů. Je to jedno z významných kritérií pro hodnocení jejich stability. Podstatu biodiverzity můžeme chápat tak, že důležitými primárními producenty v suchozemských ekosystémech jsou převážně vyšší rostliny. Každý rostlinný druh na sebe váže mnoho asociovaných organismů, které z něj nějak profitují. Mohou to být mikroorganismy, houby a další organismy na vyšších trofických úrovních (bezobratlí živočichové, ptáci, plazi, nebo

savci). S každým dalším vyskytujícím se rostlinným druhem přibývá často i mnohonásobně počet organismů v ekosystému. To bohužel platí i obráceně a s každým rostlinným druhem, který se z prostředí vytrácí jich velmi mnoho odchází.

Agro-ekosystémy mají ve srovnání s jinými méně narušenými a přirozenými ekosystémy tu vlastnost, že jsou značně ochuzené, jak co do počtu druhů – biodiverzitou, tak celkovou vyrovnaností společenstev. Nízkou vyrovnaností rozumíme fakt, že malé množství velmi úspěšných druhů se vyskytuje v obrovském množství, zatímco zbylé druhy se objevují spíše sporadicky a v malých počtech. Obvykle mají společenstva druhově bohatá lepší schopnost samoregulace oproti těm druhově chudým. V chudých společenstvech agroekosystémů mohou tak snadno převládnout škodlivé konkurenčně silné druhy. Nastolená biologická rovnováha vycházející z vyšší diverzity by nám mohla zajistit samoregulaci i v zemědělském hospodaření, podobně jako v přirozených ekosystémech. Je jisté, že s minimálním dopadem zásahů na životní prostředí a někdy možná i s menšími náklady (Jursík et al., 2011).

Diverzita a abundance střevlíkovitých brouků se považuje za jeden z bioindikátorů intenzity a udržitelnosti zemědělství. Jinak řečeno mohou indikovat správnou funkčnost a zdraví ekosystémů (Kromp, 1999).

Evropsí střevlíci se zdají být vhodnými modelovými organismy, vzhledem k tomu, že jejich ekologie je dobře prostudována, jsou taxonomicky určeni, dobře reflektují změny biotických a abiotických podmínek a je možné je sbírat v dostatečných počtech pro vytváření průkazných statistických analýz (Koivula, 2011).

Střevlíci mají výhodu, že dobře reagují na přírodní a člověkem způsobené disturbance a kultivační management. Obecně jsou velmi citliví na člověkem způsobené zásahy do ekosystémů. Reagují na agrochemikálie (Dohmen, 1998; Maryański et al., 2002) a kontaminaci půdy těžkými kovy. (Gongalsky et al., 2004; Stone et al., 2001). Aby bylo možné reakce vyhodnotit, například pro použití při směřování konzervačních zásahů, je třeba provést ještě celou řadu dalších výzkumů, vedoucích k dalšímu poznání problematiky (Koivula, 2011).

### **3.3. Vliv agrotechniky na střevlíky**

#### **3.3.1 Vliv vegetačního pokryvu a lemových společenstev**

Každá agrotechnika nějak ovlivňuje společenstvo, ale srovnávací studie, které se zabývaly porovnáváním orby s redukováným zpracováním půdy, ukázaly jejich různý efekt závislý na místních podmínkách. Jak vyplývá ze studií, obecně lepší vliv na střevlíky mají bezorebné

agrotechniky. Studie (Schier, 2006) zaznamenala dokonce pozitivní vliv půdokonzervační agrotechniky v kombinaci s RR kukuřicí na celkovou biodiverzitu.

Podle studií, které se již dříve vlivem zpracování půdy zabývaly, jsou pro střevlíky velmi důležité neobdělávané pozemky, jakými jsou křovinaté meze, neobdělávané okraje polí a travnaté pásy, které slouží střevlíkům jako úkryt a pravděpodobně také jako základny pro rozmnožování a prostorové šíření (Portauf et al., 2005). Jsou to jednoznačně populacím prospěšné prvky, které často mohou mít přirozenou vegetaci nebo vegetaci sukcesního charakteru, ale svou funkci plní i neobdělávané trvalé travní porosty. Pozitivní vliv na členovce se přenáší i do vyšších trofických stupňů, jak dokládají studie zabývající se vlivem těchto ploch na hmyzožravé savce jako např. krtky (Zurawska-Seta and Barczak, 2012). Na rozdíl od těchto prvků existují pro členovce bariéry šíření. Mohou to být například silnice a cesty, i když jejich travnaté okraje mají často i efekt pozitivní (Holland and Luff, 2000).

### 3.3.2 Vliv zpracování půdy a disturbancí v půdním profilu na vývoj střevlíků

Střevlíci jsou negativně ovlivňováni hloubkovou orbou, přičemž pozitivní vliv na ně mají půdoochranné a konzervační technologie. Principiálně může orba negativně působit na brouky buďto přímo, nebo nepřímo. Přímým působením rozumíme fyzickou likvidaci jedinců nebo například destrukci úkrytu s přezimujícím stadiem, ať je to larva nebo dospělec. Druhou možností je nepřímé působení přes likvidaci rostlin mající za následek omezení potravy, úkrytů, příznivého prostředí pro život a rozmnožování, přičemž není důležité, zda je odstraněn porost mezi plodinami nebo plevel. Trvalá likvidace střevlíkům prospěšného plevelného druhu, ať již k ní dojde jakýmkoli způsobem, bude mít zkrátka určité negativní důsledky na některé druhy. (Brust, 1990; Tréfás, H., 2008). Vzhledem k tomu, že výše zmiňovaný nepřímý efekt může být způsoben jak mechanickými zásahy, tak chemickou regulací plevelů, zmiňuji se o něm ještě v kapitole 3.4.5. Nepřímé působení herbicidů přes regulaci plevelů.

Vlivem orby na střevlíky se zabývá například práce (Purvis and Fadl, 2002). Podle uvedeného zdroje jsou k mechanické úpravě (obdělávání) půdy citlivější nedospělá stadia brouků. Konkrétně u druhů rozmnožujících se na podzim bylo odchyceno méně jedinců v případě, kdy byla na jaře prováděna orba, než když oráno nebylo. Obdobné výsledky byly pozorovány i při porovnání abundance se situací, kdy byla pole oseta ozimými plodinami. Odchyt byl prováděn v době nejvyšší aktivity dospělců - tedy v časném létě. Data byla porovnána s ohledem na podzimní početní stavy reprodukceschopných jedinců. Analýza dat ukázala, že byly orbou opravdu nejvíce postiženy přezimující larvy brouků a nikoli přezimující dospělci. Pro hypotézu

předpovídající negativní vliv orby na časná larvální stadia a snůšky vajíček nebyly získány žádné důkazy, tudíž byly učiněny závěry, že zvýšení úmrtnosti brouků zapříčiněné mechanickými zásahy, se pravděpodobně omezuje na pozdní larvální stadia a kukly. Autor článku zároveň potvrzuje zjištění, které se objevilo již v dřívější práci (Fadl et al., 1996). Tvrdí, že vhodnou strategií k dlouhodobému přežití střevlíkovitých brouků a obranou proti disturbanci je u druhů posun vývojových fází tak, aby se v období, kdy je prováděna orba, nacházel dostatek jedinců druhu v instaru, který je proti orbě odolný. Dalším uvedeným receptem na zachování druhu je co nejrychlejší postemergentní disperze z okolních ploch, které tato disturbance nezastihla. V práci je popsána u druhu *Pterostichus melanarius* (Fadl et al. 1996).

Jiná práce od uvedených autorů (Purvis and Fadl, 1996) již předkládá zcela konkrétní výsledky a zároveň potvrzuje domněnky ohledně schopnosti šíření jedinců. U některých druhů, které mají dobré disperzní schopnosti se ukázalo, že jsou poněkud neprůkazná data získaná při použití klasických odchyťových pastí. Zkreslení výsledků může nastat, pokud je území, na kterém provádíme měření relativně malé a používáme-li k odchytu pouze zemní pasti bez dalších pomocných zařízení. V takovémto případě dochází k neustálému doplňování populace z okolních ploch. Je to pozorovatelné i při měření negativních vlivů orby nebo postřiků na malých plochách. Výše uvedená studie předkládá způsob jak tato měření zpřesnit. Zjednodušeně je možné popsat princip takto: mimo klasické pasti na otevřené ploše se navíc instalují čtvercové ohrádky přikryté síťovým víkem. Tyto arény, které jsou postavené na půdě, mají za úkol eliminovat imigraci dospělých brouků z okolí, zatímco počty jedinců líhnoucích se uvnitř arény se pravidelně zaznamenávají. Následné analytické porovnání počtů jedinců v arénách a v okolních pastech ukázalo rozdíly svědčící o imigraci. Pomocí této metody byl odhadnut vliv jarní orby na střevlíky *Pterostichus Melanarius*. Orba způsobila přibližně 80 % redukci místní populace (Purvis and Fadl, 1996).

### **3.4. Vliv chemické regulace plevelů**

#### **3.4.1. Osud herbicidů v prostředí**

Moderní herbicidy jsou velmi složité látky často vytvořené na bázi rozvětvených a cyklických uhlovodíkových řetězců. Jsou bohatě substituované ostatními prvky a skupinami. Na rozdíl od řady jednoduchých látek, používaných v historii k ochraně rostlin (fungicidní účinky mleté síry, moluskocidní účinek  $\text{CuSO}_4$ ), mohou být tyto látky po svém rozkladu kvalitním zdrojem

energie pro půdní mikroorganismy. Aby však rozklad mohl probíhat musí být splněna podmínka minimální toxicity pro celou řadu organismů, které se na rozkladu přímo či nepřímo podílejí.

Díky tomu, že vlivem intenzivního hospodaření ve všech oborech lidské činnosti se stále zvyšuje riziko poškozování prostředí, zkoumáme u pesticidů primárně převážně vlivy negativní, zejména proto, že často převažují nad vlivy pozitivními.

Skutečnost, že látky takto dodávané do životního prostředí, mohou mít také nějaký vliv pozitivní, byla objevena teprve po důkladném prozkoumání způsobů degradace pesticidů.

Funkci těchto látek, jež jsou stále brané hlavně jako jedy, jako zdroj energie pro mikroorganismy tak stále považujeme za pozitivní externalitu.

Aplikace pesticidů obecně má vždy lokální a dočasný efekt, který je závislý na schopnostech druhů znovu osídlit ošetřené pozemky. Má však také dlouhodobý efekt, který je ale podstatně hůře předvídatelný a pravděpodobně přispívá k celkovému snížení diverzity střevlíků objektivně pozorovanému v krajině.

Vlivy na organismy jako je toxicita, nebo repelentní efekt řadíme mezi přímo působící.

Jako nepřímé působení můžeme klasifikovat například vliv úbytku rostlin na pozemcích zmiňovaný v kapitole **3.4.2**, nebo negativní vlivy na útlum aktivity půdních mikroorganismů. Tyto nepřímé vlivy mohou mít za následek omezení množství potravy, změny mikroklimatu a zničení úkrytů organismů - střevlíky nevyjímaje.

### 3.4.2. Působení herbicidů na organismy

Vlivy na organismy můžeme rozdělit podle druhu působení:

- Toxicita: negativní působení na zdraví a fitness organismů rozdělujeme dále na akutní (krátkodobý účinek vysokých dávek) a chronickou (dlouhodobý účinek nízkých dávek). Během toxikologických testů se zkoumají různé druhy účinků na druhy reprezentující významné skupiny organismů. Možné účinky na životní prostředí jsou tyto: Akutní toxicita, subchronická a chronická toxicita, teratogenita a reprodukční toxicita, mutagenita, karcinogenicita, ekotoxicita, degradace v přírodě, riziko pro lidské zdraví (Patočka et al., 2011).

Herbicid vyvolá přímý toxický efekt na členovce po aplikaci, nebo může vyvolat oslabení-snížení konkurenceschopnosti druhu. Snížení rychlosti pohybu, může zapříčinit zvýšený tlak predátorů a takto může být ovlivněno druhové složení společenstva Michálková and Pekár, 2009).

- Repelentní efekt: vliv na chování jedinců - opouštění stanoviště, opětovná kolonizace může trvat i delší dobu (Brust, 1990). Toxický nebo repelentní vliv herbicidu můžeme také rozlišit podle složky, která je za vlastnosti odpovědná. Zejména zda jde o vliv **účinné látky** přípravku nebo o vliv **adjuvantů** „inertních“ látek .

- **Toxický vliv účinných látek herbicidů**

Toxické působení účinné látky nezávislé na formulaci. Výsledky testů toxicity jsou lépe generalizovatelné ale mohou méně vystihovat chování komerčních formulací herbicidů v prostředí, protože nezohledňují synergické efekty s přidanými adjuvanty. Jednodušeji prezentovatelné výsledky mají zdánlivě velkou průkaznost, Toxické efekty účinných látek na jednotlivé živé organizmy musí být zkoumány, ale výsledky testů by měly být konfrontovány s výsledky testů hotových formulací. Bez tohoto porovnání by neodpovídaly skutečnému působení na životní prostředí.

- **Toxický vliv adjuvantů a smáčedel**

Při hodnocení vlivu chemického přípravku na životní prostředí nelze opomínat vliv tzv. inertních látek (adjuvantů), které jsou často jejich nedílnou součástí. Často je zkoumán a uživatelům předkládán vliv účinné látky, ale jak ukazují následující studie, nepříznivé účinky formulace může mít z velké části na svědomí právě smáčedlo a látky podporující účinek této látky (Cox, 1995; Moore et al., 2012; Tsui and Chu, 2003).

Bylo zjištěno, že použité smáčedlo má klíčový vliv na vlastnosti a účinnost přípravku. Podle studie (Baylis, 2000) je efektivita působení herbicidu na různé druhy plevelů použitým smáčedlem velmi silně ovlivněna. Pokud je regulační efektivita nízká musí být používáno velké množství účinné látky a to není přípustné, vzhledem k zákonným limitům stanoveným pro danou látku. Na druhou stranu pokud je toxicita smáčedla vysoká, může být použití i menších dávek přípravku pro životní prostředí neúnosné.

Jak dokládá podrobná studie účinků glyfosátu (Borggaard and Gimsing, 2008), pro jeho efektivní použití na suchozemské rostliny jsou surfaktanty nutností (průchod dostatečného množství látky přes kutikulu). Surfaktanty nejsou obsaženy pouze v některých formulacích určených pro použití ve vodním prostředí.

Na rozdíl od účinných látek je poněkud složitější tyto podpůrné látky samostatně právně regulovat. Je to způsobené tím, že surfaktanty obsažené v mnoha formulacích herbicidů jsou mnohasložkové směsi a vzhledem k tomu je velmi obtížné stanovit aktuální koncentrace jejich jednotlivých složek (Wang et al., 2005) . To je zásadní problém například při kontrolách složení. Navíc je jejich přesné složení často výrobním tajemstvím výrobců. Ještě zásadnější je fakt, že se při jejich vzájemném mísení s jinými adjuvanty mohou toxické účinky posilovat.

Pokud jsou adjuvanty nedílnou součástí přípravků, jsou registrovány a zkoušeny spolu s nimi (zdroj: bezpečnostní listy).

Například jen u glyfosátových herbicidů je v závislosti na produktu a výrobci používáno mnoho různých druhů surfaktantů s naprosto odlišnými vlastnostmi. Často používaný surfaktant POEA obsažený v řadě formulací Roundupu je směs polyethoxylovaných dlouhořetězcových alifatických aminů (Giesy et al., 2000).

Existují studie, které se zabývají hodnocením toxického působení smáčedel a adjuvantů a srovnávají tyto účinky s toxicitou účinných látek a kompletními přípravky. Dle těchto studií jsou někdy pozorovány synergické efekty (Green and Abdelghani, 2004). Toxický účinek se ve směsích často násobí. Tyto efekty je však těžké u univerzálních smáčedel prokázat, protože nevíme s jakými látkami budou směřovány a je to o to složitější, že neznáme ani přesné složení adjuvantů v hotových formulacích (Howe et al., 2004).

#### 3.4.3. Vliv herbicidu Roundup (glyfosát) na necílové organismy

Za to že je Roundup dnes tak široce používán v různých odvětvích vděčí mimo jiné právě deklarované malé toxicitě na necílové organismy. Vlivem herbicidu Roundup na různé organismy se zabývá řada studií. Existuje však jen málo studií, které problematiku vlivu Roundupu na necílové organismy pojaly jako celek a snaží se podat komplexní informace o vlivu na všechny skupiny (Giesy et al., 2000).

Vzhledem k tomu, že vodní prostředí je ekologicky velmi významné a jeho znečištění se přímo dotýká zdraví člověka (vodní zdroje), byly vlivy látek na něj vždy pečlivě zkoumány. Velmi citlivými organismy na Roundup se ukázali být obojživelníci. Velké množství studií bylo prováděno právě na nich (Howe et al., 2004; Jayawardena et al., 2011; Moore et al., 2012; Tsui and Chu, 2003). Ke zkoumání toxicity byly a jsou používány i různé jiné vodní organismy jako jsou, dafnie, larvy pakomárů, plži a pijavice.

#### 3.4.4. Vliv herbicidu Roundup na stěvlíky

Pouze relativně malé množství studií se zabývá působením glyfosátu na členovce (Asteraki et al., 1992; Brust, 1990; Evans et al., 2010; Giesy et al., 2000; Griesinger et al., 2011; Haughton et al., 1999; Michálková and Pekár, 2009; Wrinn et al., 2012), z nichž jen několik zkoumalo vliv na stěvlíky (Asteraki et al., 1992; Brust, 1990; Evans et al., 2010; Haughton et al., 1999; Michálková and Pekár, 2009). Přitom z těchto studií je zřejmé, že účinky působení se liší

dokonce na úrovni druhů. Studie (Morjan et al., 2002) objevila určitý fungicidní účinek glyfosátu na entomopatogenní houby, přičemž přirozené působení těchto plísní má na střevlíky celkem významný negativní dopad. Tento přímý účinek na patogena může mít pozitivní vliv na střevlíky jak dokumentuje studie (Steenberg et al., 1995). Toxikologické studie přímého vlivu na střevlíky většinou neprokázaly zásadní negativní vliv (Asteraki et al., 1992; Brust, 1990; Giesy et al., 2000; Michálková and Pekár, 2009). Pravděpodobně na to má vliv také fakt, že narozdíl od vodního prostředí nepůsobí rezidua herbicidu na členovce tak dlouhodobě. Možná díky pomalejší distribuci látky v relativně sušším půdním prostředí a také tím, že se glyfosát v půdě rychle rozkládá. Byly studie které určitý negativní vliv vysledovaly. Studie (Haughton et al., 1999) zaznamenala změny v počtech odchycených střevlíků v závislosti na koncentraci účinné látky. Studie (Michálková and Pekár, 2009) zaznamenala určitý významný vliv aplikace Roundupu Bioaktiv na rychlost pohybu u druhu *Poecilus cupreus*. Nevysvětlila však příčiny jevu. Je možné, že za tento jev jsou zodpovědné adjuvanty.

#### 3.4.5. Nepřímé vlivy herbicidů v trofickém řetězci

Studie (Brust, 1990), která zkoumala vliv různých herbicidů na populace střevlíků, popisuje nepřímý efekt po aplikaci hlavně na větší střevlíky. Úbytek větších střevlíků je vysvětlován tím, že vlivem herbicidu dojde k likvidaci rostlinného krytu, jenž je potravou a úkrytem celé řady organismů, které jsou kořistí těchto střevlíků. Předpokládá se, že větší střevlíci jsou více závislí na tomto druhu potravy (kroužkovicích, larvách motýlů, chvostoskocích, slimácích atd.). Malé druhy (menší než 10mm) nejsou tak citlivé, protože jsou schopny lépe využívat potravní zdroje mikrohabitatů. Jejich potravu tvoří ve větší míře houby, semena z půdní zásoby a půdní mikroorganismy, které nejsou likvidací rostlinného krytu primárně tolik ohroženy.



## 4. METODIKA

### 4.1. Přehled účinných látek užitých k regulaci plevelů během polního pokusu

- **acetochlor**

mechanismus působení na plevele: Inhibitory syntézy lipidů

podskupina: Inhibitory syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (VLCFA)

chem.skupina: Chloracetamidy

aplikace: PRE, časně POST

použití: určitá perzistence, dobře rozpustné, kořenový příjem, translokován v rostlině jen xylémem, slouží k neselektivní likvidaci klíčících plevelů

*(zdroj: bezpečnostní listy přípravků Trophy-Dow agro)*

Práce hodnotící vliv na necílové organismy (Tahir et al. 2011)

- **terbutylazin**

mechanismus působení na plevele: Inhibitory fotosyntézy

podskupina: Inhibitory fotosystému II (PS II Inhibitory)

chem.skupina: Triaziny

aplikace: PRE, časně POST (POST aplikace jen kontaktní účinek na rané růst fáze)

použití: klíčící plevele + rané růst fáze

hlavně kořenový, mírně také list. příjem, rychle translokován v rostlině xylémem, vysoká perzistence v půdě, nesnadno biodegradovatelný

(poslední úč. látka ze sk. triazinových herbicidů registrovaná v ČR)

*(zdroj: bezpečnostní listy přípravků Guardian extra-Monsanto)*

- **foramsulfuron i jodosulfuron**

mechanismus působení na plevele: Inhibitory syntézy aminokyselin

podskupina: Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS Inhibitory)

chem.skupina: Sulfonylmočoviny

aplikace: PRE, POST (v kukuřici hlavně POST –dobrý selektivní účinek do 7.listu kukuřice),

použití: plevelé od vzejití, hlavně listový, také kořenový příjem, translokovány v rostlině xylémem i floémem, persistence cca 2-3 týdny - při použití safeneru (zdroj:bezpečnostní listy přípravek Maister-Bayer)

Rezistentní druh trávy (chundelka metlice) (Jursík et al., 2011).

- **přípravky na bázi glyfosátu**

Princip funkce a vlastnosti jsou popsány v kapitole 3.1.2 o Herbicidu Roundup používaném v RR technologii.

Další účinné látky pro použití v kukuřici v EU jsou uvedeny v práci Dewar (2007),

## **4.2. Popis lokality a design experimentu**

Pokus byl založen na pozemcích Farmy Opolany, a.s. mezi obcemi Vlkov pod Oškobrhem, Odřepsy a Okřínek nedaleko města Poděbrady (okres Nymburk) 50°09'15.000"N 15°12'28.000"E (příloha 1). Nadmořská výška místa pozemku je 205 m.n.m. Pokus probíhal v letech 2010 a 2011. Na přilehlých pozemcích byly v době pokusů pěstovány běžné plodiny jako jsou obilniny, ozimá řepka, slunečnice a v roce 2011 též sója.

## **4.3. Pokusné uspořádání**

Experiment byl založen v porostu GMHT kukuřice. Kultivar NK 603 (Monsanto ®). Ze zákona plyne povinnost při pěstování GM plodin používat obsevy nemodifikovanou odrůdou. Cílem experimentu bylo sledovat vliv zpracování půdy a chemické regulace plevelů na společenstvo střevlíkovitých brouků. Oba sledované faktory, tj. zpracování půdy a chemická ochrana proti plevelům, byly hierarchicky uspořádány. Pozemek byl rozdělen na 9 bloků (rozměry jsou zřejmé z přílohy 1A), přičemž každý blok byl zpracován jedním ze tří způsobů zpracování půdy. Pro každý způsob zpracování půdy byly tedy tři opakování uspořádané v latinském čtverci. V roce 2011 bylo místo pro pokus přesunuto na sousední zemědělský pozemek Obr.6. (Příloha 1). Geometrické rozvržení pozemku a umístění pastí je v souladu s plánem zadání (Příloha 1A).

Byly sledovány následující tři způsoby zpracování půdy:

- Konvenční orba (conventional tillage CT) – mělká orba strniště (12 cm), hluboká orba (25cm) na podzim, vláčení na jaře.
- Minimalizace (reduced tillage RT) – mělká orba strniště (12 cm), vláčení na jaře.
- Mulč (soil conservation tillage MU) – mělká orba strniště (12 cm), po které následovalo setí ozimé pšenice. Vzešlá meziplodina byla na jaře před započítáním pokusu desikována Roundupem a ponechána na místě jako mulč.

Každý z bloků byl dále rozdělen na 5 parcel, přičemž každá parcelka byla ošetřena různým způsobem chemické ochrany proti plevelům. V experimentu byly použity následující způsoby chemického ošetření proti plevelům:

- EPOST\_GLY: EPOST acetochlor (1176 g/ha) + glyfosát (1080 g/ha)
- GLY\_GLY: glyfosát (1080 g/ha) v BBCH 13 + glyfosát (1080 g/ha) v BBCH 16-18
- POST\_CONT: (POST): foramsulfuron (45 g/ha) + jodosulfuron (1.50 g/ha)
- PRE\_CONT: (PRE): acetochlor (1575 g/ha) + terbutylazin (749 g/ha)
- PRE\_POST: PRE acetochlor (1176 g/ha) + POST glyfosát (1080 g/ha) (POST aplikace dle výskytu zaplevelení)

#### 4.4. Odběry vzorků a hodnocení

Střevlíkovití brouci byli odchytáváni pomocí zemních pastí. Za tímto účelem byly použity kelímky průměru 75 mm hluboké 150 mm vložené do novodurových plastových trubek zakopaných do země. Horní hrana kelímků byla zarovnána s úrovní terénu a nerovnosti v těsné blízkosti pastí byly vyrovnány. Kelímky byly naplněny z poloviny objemu 30% směsí monoetylen glykolu s vodou. Na pastech byly na dvou podpěrách nasazeny stříšky z hliníkového plechu, které chrání zařízení proti vytopení během silného deště. Tyto stříšky zároveň sloužily k identifikaci pastí v porostu a byly opatřeny pořadovým číslem. Past umístěnou v terénu zobrazuje fotografie na Obr. 9.(Příloha 1).

Prováděno bylo celkem pět výběrů pastí v roce 2010 a pět v roce 2011. Vzhledem k faktu, že jeden termín v roce 2011 byl poškozen přívalovými srážkami, byla použitelná data pouze ze čtyř výběrů. Data výběrů jsou uvedena v tabulkách 1 a 2 (Příloha 4) Pastí byly otevřeny vždy přesně 7 dní před výběrem a po výběru byly zavřeny.

Po vybrání pastí byly vzorky uschovány v PE sáčku v 70 % etanolu. Obsah každé pastí byl vložen zvlášť do sáčku s vyznačením data a čísla pastí. V laboratoři byli střevlíci determinováni do druhů pomocí binokulární lupy Leica a určovacího klíče (Hůrka, 1996).

## 4.5. Statistické vyhodnocení dat

Cílem analýzy je otestovat vliv jednotlivých faktorů F1 a F2 na počty odchycených jedinců střevlíkovitých brouků a jejich druhovou bohatost. V analýze byly sledovány také možné prostorové trendy, které by byly závislé na umístění bloků na pozemku a které by mohly ovlivňovat výsledky analýzy. Tyto trendy byly zjišťovány ve dvou na sebe kolmých směrech. Směr  $\underline{x}$  byl rovnoběžný se směrem setí a  $\underline{y}$  byl k tomuto směru kolmý. Směry jsou vyznačeny šipkami ve vysvětlivkách k zadání (Příloha 1A)

Analýza byla provedena v programu R verze 2.15.2, rozdíly byly testovány na  $p < 0.05$ .

Příprava dat spočívala ve vytvoření tabulek pro zapsání počtů jedinců, laboratorní determinaci obsahu pastí a zapsání uvedených dat. Byly vytvořeny součty počtu jedinců a druhů v každé pasti na pozemku. Každé pasti na pozemku bylo přiřazeno následujících pět základních parametrů, které jsou vstupními parametry pro analýzu:

- a) identifikace polohy (číselné pořadí)
- b) počty jedinců v jednotlivých pastech
- c) počty druhů v jednotlivých pastech
- d) hodnota=druh zpracování půdy
- e) hodnota=způsob chemické regulace plevelů

Nejprve byl pro každou past stanoven celkový počet odchycených jedinců a druhová bohatost jako základní popisná statistika, sloužící k vizualizaci variability v datech.

Data byla v první fázi analyzována pomocí tzv. Generalized Estimating Equations (Pekár a Brabec, 2012). Tato analýza umožňuje testovat vliv sledovaných faktorů při zahrnutí případných závislostí a autokorelací v datech a volby z řady statistických rozložení. Jelikož data z tohoto pokusu neměla nezávislou strukturu, byl tento postup vhodným řešením. Analýza zahrnovala oba sledované faktory a jejich interakci, plus faktory X a Y jako prostorové vektory uspořádání pokusných parcelek. Bylo využito Poissonovo rozložení. Analýza byla zopakována zvlášť pro počet jedinců a zvlášť pro druhovou bohatost.

Ve druhé fázi byl sledován vliv vždy pouze jednoho ze sledovaných faktorů pro každou z variant druhého faktoru zvlášť, tj. vliv chemického šetření proti plevelům pro každý ze způsobů zpracování půdy, a naopak. Analýzy počtu odchycených jedinců využily negativně binomického rozložení, analýzy druhové bohatosti Poissonovo rozložení.

## 5. VÝSLEDKY

### 5.1. Výsledky studie vlivu na střevlíky

Přímo sebraná data, která po determinaci a setřídění dávají představu o výskytu střevlíků v jednotlivých pastech v průběhu pokusu jsou dokumentována v přílohách 2-5.

Zjištěné počty jedinců střevlíkovitých brouků odchycených v jednotlivých pastech ve všech termínech v letech 2010/11 jsou uvedeny v příloze 2, tabulky 1-11. Zjištěné počty druhů střevlíkovitých brouků odchycených v týchž pastech ve stejných termínech jsou uvedeny v příloze 3, tabulky 1-11. Z barevného pozadí buněk tabulky je patrné relativní zastoupení druhů a jedinců v jednotlivých pastech. Díky kontrolním pastem umístěným v obsevu konvenční kukuřicí máme možnost porovnání dat s daty v konvenčních odrůdách, nasbíranými na stejném místě ve stejné době. Ve statistických výpočtech nebyla data z kontrol zpracovávána. Zanesena jsou ale v tabulkách spolu s daty ze všech ošetřovaných pokusných ploch. Obě výše uvedené přílohy jsou doplněny také součty hodnot pro každou past za jednotlivé roky.

Počty jedinců jednotlivých druhů, jak byly odchyceny na celém pozemku ve všech termínech pokusu, jsou uvedeny v příloze 4, v tabulce 1 a 2 pro jednotlivé roky. Graf 1 této přílohy dokumentuje relativní početnost jedinců každého druhu. V příloze 5, grafy 1 a 2 dokumentují sezónní vývoj aktivity dominantních druhů střevlíkovitých brouků. Na těchto grafech jsou zaznamenány počty jedinců těchto druhů odchycených ve stejných termínech. Meziroční srovnání aktivity střevlíků je ukázáno na grafu 3 přílohy 5. Grafy 1-6 přílohy 6 dokumentují vliv zpracování půdy a chemické regulace plevelů na počty odchycených jedinců a druhovou bohatost populace.

Výsledky statistické analýzy vlivu zpracování půdy a chemického ošetření proti plevelům na počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků jsou uvedeny v následujících tabulkách 1.1 a 1.2.

Analýza ukázala, že počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků byl v obou letech ovlivněn chemickou regulací plevelů a že toto chemické ošetření dále významně interagovalo se způsoby zpracování půdy. Způsob zpracování půdy však jako samotný faktor neměl na počet odchycených jedinců vliv. V roce 2010 byl také zjištěn významný prostorový trend v počtu jedinců ve směru kolmém ke směru setí. V roce 2011 tento trend nebyl potvrzen.

**Tabulka 1.1 : Vliv zpracování půdy a chemického ošetření proti plevelům na počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků v porostu kukuřice tolerantní k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010; GEE, chí-test).**

Analyzovaný faktor	Df	$\chi^2$	p	významnost
zpracování půdy	2	4,701	0,09532	
chemická regulace plevelů	4	47,463	p<<0.001	***
X	1	0,070	0,79185	
Y	1	17,844	p<<0.001	***
zpracování půdy : chem. Regulace	8	94,306	p<<0.001	***

**Tabulka 1.2 : Vliv zpracování půdy a chemického ošetření proti plevelům na počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků v porostu kukuřice tolerantní k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011; GEE, chí-test).**

Analyzovaný faktor	Df	$\chi^2$	p	významnost
zpracování půdy	2	0,4256	0,808334	
chemická regulace plevelů	4	15,3978	0,003943	* *
X	1	0,4364	0,508872	
Y	1	2,6064	0,106431	
zpracování půdy : chem. Regulace	8	24,3621	0,001992	* *

Výsledky analýzy vlivu obou sledovaných faktorů na druhovou bohatost se lišily mezi roky. Zatímco v roce 2010 zpracování půdy i aplikace chemické ochrany proti plevelům ovlivnily druhovou bohatost střevlíků a to jak každý faktor samostatně, tak ve vzájemné interakci, v roce 2011 byla průkazná pouze interakce. V případě druhové bohatosti nebyly zjištěny žádné prostorové trendy.

Výsledky analýzy jsou uvedeny v tabulkách 1.3 a 1.4.

**Tabulka 1.3 : Vliv zpracování půdy a chemického ošetření proti plevelům na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v porostu kukuřice tolerantní k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010; GEE, chí-test).**

Analyzovaný faktor	Df	$\chi^2$	p	významnost
zpracování půdy	2	6,237	0,04423	*
chemická regulace plevelů	4	14,285	p<<0.001	***
X	1	0,010	0,92062	
Y	1	0,335	0,56290	
zpracování půdy : chem. Regulace	8	60,609	p<<0.001	***

**Tabulka 1.4 : Vliv zpracování půdy a chemického ošetření proti plevelům na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v porostu kukuřice tolerantní k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011; GEE, chí-test).**

Analyzovaný faktor	Df	$\chi^2$	p	významnost
zpracování půdy	2	5,09	0,079	
chemická regulace plevelů	4	8,16	0,086	
X	1	1,37	0,241	
Y	1	0,11	0,735	
zpracování půdy : chem. Regulace	8	19,37	0,013	*

Ve druhé fázi byl testován vliv pouze jednoho ze sledovaných faktorů pro každou z variant druhého faktoru zvlášť. Výsledky analýzy pro počty jedinců jsou uvedeny v tabulkách 2.1 a 2.2. a pro druhovou bohatost v tabulkách 2.3 a 2.4.

V roce 2010 byl zjištěn průkazný vliv způsobu zpracování půdy na počet odchycených jedinců pouze pro dvě z pěti variant ochrany proti plevelům – GLY\_GLY a POST\_CONT. V případě GLY\_GLY byly zjištěny průměrné počty střevlíků v tomto pořadí MU>CT>RT přičemž MU se lišil od CT a RT. V případě varianty POST\_CONT bylo zjištěno pořadí RT>MU>CT. Uvedené rozdíly mezi průměrnými počty jedinců jsou zřejmé z grafů 1, 2 a 3 (Příloha 6).

Konvenční varianta se signifikantně lišila od zbývajících. Tyto rozdíly však nebyly konzistentní. V roce 2011 nebyl zjištěn průkazný efekt zpracování půdy na počet odchycených jedinců pro žádnou z variant chemické ochrany proti plevelům, i když ve dvou případech byl rozdíl jen těsně neprůkazný. Průměrné počty jedinců jsou zřejmé z grafů 7, 8 a 9 (Příloha 6).

**Tabulka 2.1 : Vliv režimu zpracování půdy na počet jedinců v různých režimech chemické regulace v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010). GLM s negativně binomickým rozložením.**

Chemická regulace	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	P	významnost
EPOST_GLY	2	1,46	6	9,01	0,48	
GLY_GLY	2	9,47	6	9,16	0,0088	* *
POST_CONT	2	8,81	6	9,02	0,012	* *
PRE_CONT	2	0,0951	6	9,13	0,95	
PRE_POST	2	3,22	6	9,15	0,2	

#### Shrnutí výsledků tabulky 2.1

V případě EPOST\_GLY nebyl efekt zpracování půdy průkazný.

U GLY\_GLY byl efekt zpracování průkazný, MU se lišil od CT a RT, grafy 1, 2, 3 (Příloha 6).

V případě POST\_CONT byl efekt zpracování půdy průkazný, RT a MU se společně liší od CT.

V případě PRE\_CONT nebyl efekt zpracování půdy na počet jedinců průkazný.

V případě PRE\_POST nebyl efekt zpracování půdy na počet jedinců průkazný.

**Tabulka 2.2 : Vliv režimu zpracování půdy na počet jedinců v různých režimech chemické regulace v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011). GLM s negativně binomickým rozložením.**

Chemická regulace	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	významnost
EPOST_GLY	2	5,12	6	9,05	0,077	*
GLY_GLY	2	5,9	6	8,92	0,052	*
POST_CONT	2	1,17	6	9,13	0,56	
PRE_CONT	2	4,95	6	9,1	0,084	
PRE_POST	2	3,94	6	9,12	0,14	

(\* těsně nevýznamné)



### Shrnutí výsledků tabulky 2.2.

V případě EPOST\_GLY je celkový efekt zpracování půdy na počet jedinců těsně nevýznamný. Celkem podivná inkonsistence.

V případě GLY\_GLY je celkový efekt zpracování půdy na počet jedinců těsně nevýznamný, leč jistý významný rozdíl se zdá být mezi CT a RT a těsně nevýznamný mezi CT a MU. Opět inkonsistentní výsledek. Jednotlivé varianty jsou k porovnání v grafech 7, 8, 9 (Příloha 6).

V případě POST\_CONT je celkový efekt zpracování půdy na počet jedinců nevýznamný.

V případě PRE\_CONT je celkový efekt zpracování půdy na počet jedinců těsně nevýznamný, leč jistý významný rozdíl se zdá být mezi CT a RT, grafy 7, 9 (Příloha 6). Celkem podivná inkonsistence.

V případě PRE\_POST je celkový efekt zpracování půdy na počet jedinců nevýznamný.

Při analýze celkového efektu zpracování půdy včetně interakce s chemickým ošetřením proti plevelům na druhovou bohatost jsme zjistili průkazný vliv. Žádný efekt nebyl nalezen v případě analýz provedených zvlášť pro jednotlivé varianty chemické regulace plevelů ani v jednom roce, což je patrné z tabulek 2.3. a 2.4. a z grafů 4, 5, 6, 10, 11, 12 (Příloha 6).

**Tabulka 2.3. Vliv režimu zpracování půdy na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v různých režimech chemické regulace v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010). GLM s Poissonovým rozložením.**

Chemická regulace	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	významnost
EPOST_GLY	2	0,0652	6	2,61	0,97	
GLY_GLY	2	1,62	6	2,13	0,44	
POST_CONT	2	1,17	6	1,81	0,56	
PRE_CONT	2	0,395	6	1,67	0,82	
PRE_POST	2	2,47	6	0,337	0,29	

**Tabulka 2.4 : Vliv režimu zpracování půdy na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v různých režimech chemické regulace v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011). GLM s Poissonovým rozložením.**

Analyzovaný faktor	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	významnost
EPOST_GLY	2	0,069	6	1,44	0,97	
GLY_GLY	2	0,785	6	4,57	0,68	
POST_CONT	2	0,716	6	2,21	0,7	
PRE_CONT	2	1,98	6	2,43	0,37	
PRE_POST	2	0,493	6	3,27	0,78	

Analýza významnosti vlivu chemické regulace plevelů na počet odchycených jedinců pro jednotlivé způsoby zpracování půdy v roce 2010 je uvedena v tabulce 3.1. Analýza ukázala, že vliv nebyl průkazný pro CT, avšak byl průkazný pro MU a RT. Chemická regulace nejsignifikantněji ovlivňovala počet odchycených jedinců při RT – přičemž u GLY\_GLY byl počet jedinců nejmenší, následovaly společně EPOST\_GLY, PRE\_CONT a PRE\_POST, a nejvyšší počet jedinců v pastech byl u POST\_CONT varianty. Chemická regulace taktéž ovlivňovala počet odchycených jedinců při MU – přičemž u POST\_CONT byl vyšší než u všech zbývajících způsobů chemické regulace plevelů.

**Tabulka 3.1 : Vliv režimu zpracování půdy na počty jedinců střevlíkovitých brouků v různých režimech chemické regulace v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010). GLM s Poissonovým rozložením.**

Analyzovaný faktor	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	význam.
CT	4	5,78	10	15,2	0,22	
RT	4	29,1	10	15,2	$p < 0.001$	* *
MU	4	15,5	10	15,1	0,0038	* *

V následujícím roce (Tabulka 3.2.) se potvrdilo, že celkový efekt chemické ochrany proti plevelům na počet odchycených jedinců v blocích CT je těsně nevýznamný, leč jisté rozdíly lze pozorovat mezi EPOST\_GLY a PRE\_POST. Celkový efekt chemické ochrany proti plevelům na počet odchycených jedinců při režimu RT je významný, liší se EPOST\_GLY a PRE\_CONT.

Celkový efekt chemické ochrany proti plevelům na počet odchycených jedinců v blocích MU je těsně nevýznamný, leč jisté rozdíly lze pozorovat mezi EPOST\_GLY a PRE\_POST.

**Tabulka 3.2 : Vliv režimu zpracování půdy na počty jedinců střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011). GLM s Poissonovým rozložením.**

Analyzovaný faktor	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	význam.
CT	4	9,44	10	15,1	0,051	*
RT	4	24,3	10	15,1	$p \ll 0.001$	* *
MU	4	9,41	10	15,1	0,052	*

(\* těsně nevýznamné)

Jak je patrné z výsledků analýzy shrnutých v tabulkách 3.3. a 3.4., chemické ošetření proti plevelům nemělo v žádném roce pokusu vliv na druhovou bohatost střevlíků při kterémkoliv režimu zpracování půdy.

**Tabulka 3.3 : Vliv režimu zpracování půdy na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2010). GLM s Poissonovým rozložením.**

Analyzovaný faktor	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	význam.
CT	4	0,974	10	4,52	0,91	
RT	4	5,38	10	0,98	0,25	
MU	4	1,34	10	3,07	0,85	

**Tabulka 3.4 : Vliv režimu zpracování půdy na druhovou bohatost střevlíkovitých brouků v porostu geneticky modifikované kukuřice s tolerancí k herbicidům (Vlkov pod Oškobrhem, 2011). GLM s Poissonovým rozložením.**

Analyzovaný faktor	Df	deviance	Df rez.	rez.deviance	p	význam.
CT	4	0,604	10	3,67	0,96	
RT	4	2,33	10	5,22	0,67	
MU	4	1,76	10	5,04	0,78	

## 5.2. Výsledky vyhodnocení výskytu plevelů

Souběžně s výběrem pastí byla také v měsíčních intervalech jinou skupinou hodnocena účinnost zásahů na společenstva plevelů. Termíny vyhodnocení se přibližně shodovaly s odchty bezobratlých do pastí, takže je možné odhadnout vliv přítomnosti rostlin na výskyt střevlíků. Hodnocena byla přítomnost druhů plevelů viz tabulka 1 (příloha 7) a stanovena pokryvnost u každého druhu. Pokryvnost druhu, vyjadřuje jeho dominanci ve společenstvu obdobně jako relativní početnost u střevlíků. Nasbírané výsledky byly statisticky zpracovány v rámci jiných prací. Hodnoty pokryvnosti plevelů pro termíny jsou uvedeny v grafech 1,2,3,4 (příloha 9). Na experimentální ploše bylo dohromady nalezeno v obou letech 84 druhů plevelných rostlin.

V naší studii bylo provedeno pouze hrubé porovnání výsledků s výsledky studie na výskyt plevelů, jenž mělo zhodnotit sílu vlivu plevelů na velikost společenstva střevlíků viz graf 4 (příloha 5).

Velké sucho v období při zakládání pokusu a v jarním období v roce 2011 zapříčinilo naprosté selhání preemergentní aplikace herbicidů. Rovněž postemergentní aplikace konvenčních herbicidů neposkytly požadovaný efekt na regulaci plevelů. Pozdní jaro bylo na srážky bohatší, což přispělo k velkému rozvoji plevelů v jarním období. Vzhledem k tomu, že na takto ošetřených pozemcích nebylo provedeno žádné nadstandartní postemergentní ošetření nad plánovaný rámec, byl zaznamenán velký výskyt plevelů na plochách ošetřených konvenčními kontrolami PRE\_CONT a POST\_CONT.

Celkem zajímavé je porovnání počtů brouků pastech v jednotlivých termínech odchty. V tabulkách 1, 2, 3, 4 (příloha 8), která obsahuje druhy v pastech jsou červenými rámečky zvýrazněny bloky, kde byly plevele regulovány uvedenými variantami chemického ošetření

Zřejmý vliv výskytu plevelů na počty odchycených jedinců je patrný pouze v termínu 4. 8. 2011.

Podle grafu 3 (příloha 9) víme že v tomto termínu dosahovala relativní pokryvnost plevelů 80-90% v závislosti na zpracování půdy (CT, RT, MU)

V ostatních termínech by bylo nutné pro určení signifikance data zanalyzovat pomocí statistické analýzy. Z těchto výsledků je zřejmé, že střevlíci nějaký profit z plevelů mají i když toto tvrzení není podloženo analyticky.

## 6. DISKUZE

V roce 2010 bylo celkem odchyceno 11.622 střevlíků zařazených do 42 druhů a v roce 2011 jich bylo 18.318 zařazených do 31 druhů. Zpracovaná data získaná determinací odchycených brouků svědčí o tom, že se jedná o typický příklad agroekosystému se všemi znaky, které jsem uvedl v kapitole 3.3.1. Společenstvo je velmi nevyrovnané. Co do počtu jedinců v něm absolutně dominuje druh *Pseudoophonus rufipes*. Prohlédneme-li si graf 3. (Příloha 5), zjistíme, že křivka jeho výskytu zhruba kopíruje křivku vývoje celkového počtu. Jeho relativní podíl v celkovém počtu odchycených střevlíků byl nejvyšší v termínu 4. 8. 2011 kdy dosáhl 77,5%. Tento velmi dominantní výskyt je dokumentován i jinými podobnými studiemi (Bažok, 2007; Porhajašová, 2008). Ve společenstvu byly v obou letech dominantní (druhy s relativní početností >1%) jen následující: *Pseudoophonus rufipes*, *Calathus fuscipes*, *Pterostichus melanarius* a *Trechus quadristriatus*. Zbylé druhy byly dominantní vždy pouze v jednom z roků. Je možné, že taková odlišnost byla způsobena klimatickými podmínkami, které se v obou letech značně lišily, nebo tím, že pokus byl prováděn v roce 2011 na jiném pozemku, kde mohla být mírně odlišná druhová skladba. Relativní početnosti všech druhů jsou uvedeny v tabulkách 1. a 2. (Příloha 4).

Co může být příčinou převládajícího výskytu dvojice nejúspěšnějších druhů střevlíků ve studovaném společenstvu? Pokusím se shrnout klíčové vlastnosti těchto úspěšných kolonizátorů polních ekosystémů. *Pseudoophonus rufipes* i *Pterostichus melanarius* jsou podle našich výzkumů i podle jiných literárních zdrojů druhy dominantně přítomné prakticky ve všech evropských agro-ekosystémech a oba byli zavlečeni i do Severní Ameriky. Klíčem k jejich úspěšné kolonizaci jsou schopnost letu (Hůrka, 1996), podporující rychlou disperzi do okolí. Dále jsou potravně velmi nesespecializovaní přičemž dospělci *P. rufipes* jsou převážně granivoři. Jejich larvy byly schopné dokončit vývoj výhradně na rostlinné potravě, ale také pokud byli krmeni pouze hmyzem. (Luff, 1980). *P. melanarius* je predátorem s velmi malou specializací, který loví široké spektrum kořisti z níž velké procento tvoří plži (Holland, 2002). Larvy obou druhů přezimují. Oba druhy mají evidentně schopnost unikát vlivu hluboké podzimní orby (během přezimování byli dospělci nalezeni zahrabáni až 45 cm hluboko v půdě (Briggs, 1965 cit. Holland, 2002). Zcela odlišný trend měl výskyt střevlíků druhu *Calosoma auropunctatum*.

Na pozemku se objevili pouze 4 kusy v jednom v červencovém termínu roku 2011 ve třech pastech na západním okraji pokusného pozemku. Tento střevlíkovitý brouk je velmi vzácný. Jeho biotopem jsou pole v nížinách. Jeho pravidelný výskyt je hlášen z Jižní Moravy a do

roku 1960 se místy vyskytoval v okolí Prahy ([www.biolib.cz](http://www.biolib.cz)). Dnes je to druh mizející z lokalit.

Vzhledem k tomu, že v roce 2011 byla data z červnového odchytového termínu díky vyplavení pastí zcela nepoužitelná, srovnávali jsme meziročně pouze počty jedinců v termínech od července do října. Z tohoto důvodu jsem první červnový termín (7.6) pro tato srovnání vyřadil také z roku 2010. V termínech od počátku sezóny až do srpna byl velký rozdíl mezi 2010, 2011 v celkovém počtu odchycených jedinců závislý pravděpodobně hlavně na rozdílu druhu *P. rufipes*. Jak vidíme v roce 2010 to bylo 359 a v roce 2011 2032 odchycených jedinců. Relativně je to jen 17,7% oproti roku 2011 (100%) . Velmi se lišilo hlavně poměrné zastoupení dominujícího druhu *Pseudoophonus rufipes* relativně k celkovému počtu. V 2010 to bylo 47,6% a v roce 2011 75,2%. Na základě poznatků o životním cyklu druhu *Pseudoophonus rufipes* můžeme odhadnout, že v roce 2010 během zimy nebo jara muselo pravděpodobně dojít k úhynu většího množství přezimujících larev, protože byly zaznamenány od července do srpna podstatně nižší odchyty, přičemž se vrchol aktivity posunul až do doby, kdy by se měla líhnout nová generace (konec léta).

Z výsledků analýz je patrné že některé typy zpracování půdy mají na společenstvo střevlíků negativní vliv. Je zajímavé, že výsledky analýzy se v každém roce trochu liší. Grafy ukazující průměrné výskyty střevlíků (příloha 6), naznačují, že počty střevlíků v pastech, kde byl aplikován přípravek Roundup obsahují menší počty jedinců ve srovnání s dvěma konvenčními kontrolami. Provedená statistická analýza však vyloučila vliv některých těchto variant a označila je jako neprůkazný. Průkazný efekt byl potvrzen pouze u ošetření GLY\_GLY.

V roce 2010 byl zjištěn významný prostorový trend v počtu jedinců ve směru kolmém ke směru setí. V roce 2011 tento trend nebyl potvrzen. Pokus byl v roce 2011 přesunut na vedlejší pozemek. Pravděpodobně z tohoto důvodu se již zmíněný trend v analýze v druhém roce nevyskytl. Takovéto prostorové trendy bývají způsobeny pozvolnou změnou nějaké vlastnosti pozemku v určitém směru (sklon, gradient změny půdy, nebo vlhkosti). Z mapky na obrázku 7 (příloha 1) není patrná žádná zásadní odlišnost ve sklonu obou pozemků, takže se nejspíše jedná o změnu nějaké vlastnosti spojené s půdou. Směr, kde byl trend zjištěn, je ve směru toku potoka.

Při vyhodnocování našeho pokusu je dobré si uvědomit, že velmi zásadní vliv na přežívání řady organismů na polích mají semena plevelů. Jejich půdní zásoba by se dala přirovnat k jakýmsi “konzervám“ na horší časy. Některým organismům dovoluje překlenout právě ta období po velkých disturbancích, kdy je jiná potrava zcela nedostupná. Životnost semen některých trávovitých plevelů může v ideálních podmínkách dosáhnout až 20 let. (Jursík et al.,

2011). Je možné, že nejméně polovinu toho období díky dormanci a přemísťování semen v profilu (například vlivem orby) by značná část semen mohla přežít i v polních podmínkách. Z těchto důvodů by se vliv GMHT po opakované kultivaci mohl kumulovat a průkaznost testování by se tím zvyšovala. Za optimální délku trvání pokusu bych považoval pokus desetiletý. Vhodným výběrem lokality by se dalo trvání pokusu o něco zkrátit.

Dalším činitelem, který může negativně ovlivnit výsledky pokusu je odchyťová metoda. Zemní pasti jsou sice zařízeními ke zjišťování hustoty populace, ale jejich funkce je přímo závislá na aktivitě jedinců. Aktivita střevlíků není vždy stejná. Mění se v závislosti na vývojové fázi, ve které se jedinec nachází a na teplotě. Ani u dospělých brouků není aktivita konstantní. Když se z nějakého důvodu sníží teplota prostředí, aktivita střevlíků se také snižuje. Naopak se může zvýšit v době rozmnožování, vlivem hormonálních změn v těle brouků. Může však být také důsledkem nějaké disturbance, kterou provází stres. Střevlíci na stresovou situaci reagují a snaží se uniknout do bezpečí. Takovým stresovým faktorem může být mimo jiné i provádění agrotechnických zásahů jakými jsou orba, nebo aplikace agrochemikálií. To musíme mít na paměti hlavně při vyhodnocování dat z odchyťových pastí. Zvláště si musíme uvědomit, že množství odchycených brouků v zemních pastech musíme interpretovat na základě poznatků o chování u každého druhu trochu odlišně. Problémem metody odchyťových pastí je totiž právě závislost aktivity na výše uvedených faktorech, jako jsou teplota a druhově specifické chování. Zajímavý poznatek předkládá práce (Saska et al., 2013), která navrhuje matematické korekce vlivu teploty.

Díky kontrolním pastem umístěným v obsevu konvenční kukuřicí máme možnost porovnání dat s daty v konvenčních odrůdách, nasbíranými na stejném místě ve stejné době. Ve statistických výpočtech nebyla data z kontrol zpracovávána. Zanesena jsou ale ve všech tabulkách (Přílohy 2.a 3) spolu s daty z ošetřovaných pokusných ploch.



## 7. ZÁVĚRY

Vzhledem k tomu, že jsme zjistili že:

- Chemická regulace plevelů významně ovlivňuje počet odchycených jedinců střevlíkovitých brouků, což bylo potvrzeno v obou letech pokusu.
- Způsob zpracování půdy a chemická regulace významně interagují v působení na počty odchycených jedinců a druhovou bohatost, což bylo potvrzeno v obou letech pokusu.
- Způsob zpracování půdy má vliv na počet odchycených jedinců a druhovou bohatost, přičemž jsme pozorovali významný prostorový trend v počtu jedinců ve směru kolmém ke směru setí. Významnost těchto zjištění snižuje, že tyto trendy nebyly potvrzeny v obou letech pokusu.
- V režimu konvenčního zpracování půdy (CT) nebyl vliv chemické regulace plevelů na počet odchycených jedinců průkazný ani v jednom roce, přičemž v roce 2011 byl těsně na hranici průkaznosti.
- Při minimalizačním zpracování (RT) mělo postemergentní ošetření glyfosátem (GLY\_GLY) v obou letech největší vliv, bylo odchyceno nejméně jedinců. V roce 2010 byl nejvyšší odchyt u POST\_CONT zatímco v následujícím roce u PRE\_CONT.
- V režimu mulčování (MU) se v roce 2010 vliv aplikace glyfosátu na počet jedinců neprojevil, přičemž rozdíly mezi oběma kontrolami (POST\_CONT a PRE\_CONT) způsobily významnost rozdílu. V roce 2011 byl vliv chemické regulace neprůkazný.

Na základě výsledků provedené analýzy přijímáme pracovní hypotézu

## 8. SEZNAM LITERÁRNÍCH ZDROJŮ

Asteraki, E.J., Hanks, C.B., Clements, R.O. 1992. The impact of the chemical removal of the hedge-base flora on the community structure of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae) and spiders (Araneae) of the hedge bottom, , Journal of applied Entomology. 113 (1-5). 398-406.

Baylis, A.D. 2000. Why glyphosate is a global herbicide: Strengths, weaknesses and prospects. Pest management Science. 56 (4). 299-308.

Bažok, R., Kos, T., Igrc Barčić, J., Kolak, V., Lazarević, B., Čatić, A. 2007. Abundance and distribution of the ground beetles *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798) and *Pseudoophonus rufipes* (De Geer, 1774) in corn fields in Croatia. Entomologia Croatica. 11 (1-2). 39 – 51.

Bennett, R., Phipps, R., Strange, A., Grey, P. 2004. Environmental and human health impacts of growing genetically modified herbicide-tolerant sugar beet: a life-cycle assessment. Plant biotechnology journal. 2 (4). 273–278.

Borggaard, O.K., Gimsing, A.L. 2008. Review Fate of glyphosate in soil and the possibility of leaching to ground and surface waters: a review. Pest Management Science. 64. 441–456.

Brust, G.E. 1990. Direct and indirect effects of four herbicides on the activity of carabid beetles (Coleoptera: Carabidae). Pesticide Science. 30 (3). 309-320.

Carvalho, C., Gareau, T. P., Barbercheck, M. 2010. Ground and Tiger Beetles (*Coleoptera: Carabidae*). Entomological Notes, (April 2010). Department of Entomology. The Pennsylvania State University. USA.

Comai, L., Sen, L.C., and Stalker, D.M. 1983. An altered arsa gene-product confers resistance to the herbicide glyphosate. Science. 221 (4608). 370-371.

Cox, C. 1995. Glyphosate, Part 1: Toxicology. Journal of pesticide reform. 15 (3).

- Den Boer, P.J. 1985. Fluctuations of density and survival of carabid populations. *Oecologia* 67 (3). 322-330.
- Dewar, A.M. 2009. Weed control in glyphosate-tolerant maize in Europe. *Pest Management Science*. 65. 1047–1058.
- Dill, G.M. 2005. Glyphosate-resistant crops: History, status and future. *Pest Management Science*. 61 (3). 219-224.
- Dohmen, G.P. 1998. Testing side-effects of pesticides on carabid beetles: a standardized method for testing ground-dwelling predators in the laboratory for registration purposes. *Ecotoxicology: Pesticides and beneficial organisms*. Chapman & Hall. London. pp 98-106. ISBN: 0412812908.
- Duke, S.O., Powles, S.B. 2009. Glyphosate-resistant crops and weeds: Now and in the future. *AgBioForum*. 12 (3&4). 346-357.
- Evans, S.C., Shaw, E.M., Rypstra, A. L. 2010. Exposure to a glyphosate-based herbicide affects agrobiont predatory arthropod behaviour and long-term survival. *Ecotoxicology*. 19 (7). 1249-1257
- Fadl, A., Purvis, G., Towey, K. 1996. The effect of time of soil cultivation on the incidence of *Pterostichus melanarius* (Illig.) (Coleoptera:Carabidae) in arable land in Ireland. *Annales zoologici fennici*. 33. 207-214
- Franz, J.E., Mao, M.K., Sikorsky, J.A. 1997. Glyphosate: A unique global herbicide. In: ACS Monograph 189. American Chemical Society, Washington DC. p. 163-175.
- Giesy, J. P., Dobson, S., Solomon, K. R. 2000. Ecotoxicological Risk Assessment for Roundup® Herbicide. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. 167. 35-120.
- Gongalsky, K.B., Chudnyavtseva, I.I., Pokarzhevskii, A.D., Samonov, A.E., Slobodyan, V.Y. 2004. Arsenic bioaccumulation by beetles in an arsenic-rich region. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*. 72 (6). 1115-1121.

monosodium methanearsonate to the red swamp crawfish, *Procambarus clarkii*. International journal of environmental research and public health. 1 (1). 35-38.

Griesinger, L.M., Evans, S.C., Rypstra, A. L. 2011. Effects of a glyphosate-based herbicide on mate location in a wolf spider. Chemosphere. 84 (10). 1461–1466.

Haughton, A.J., Wilcox, A., Chaney, K., Boatman, N.D. 1999. The effects of different rates of glyphosate on non-target invertebrates in field margins. Aspects of applied biology. 54. 185-190.

Holland, J.M. 2004. The agroecology of carabid beetles. Intercept Ltd. Andover (UK). 356s. ISBN: 9781898298762.

Holland, J.M., Luff, M.L. 2000. The effects of agricultural practices on Carabidae in temperate agroecosystems. Integrated pest management reviews. 5. 109-129.

Honěk, A., Martínková, Z., Jarošík, V. 2003. Ground beetles (Carabidae) as seed predators. European Journal of Entomology. 100 (4). 531-544.

Howe, C.M., Berrill, M., Pauli, B.D., Helbing, C.C., Werry, K., Veldhoen, N. 2004. Toxicity of glyphosate-based pesticides to four North American frog species. Environmental Toxicology and Chemistry. 23 (8). 1928-1938.

Hůrka, K. 1996. Carabidae České a Slovenské republiky. Kabourek. Zlín. 565s. ISBN: 8090146627.

Jayawardena, U.A., Navaratne, A.N., Amerasinghe, P.H., Rajakaruna, R.S. 2011. Acute and chronic toxicity of four commonly used agricultural pesticides on the Asian common toad, *Bufo melanostictus* Schneider. Journal of National Science Foundation Sri Lanka. 39 (3). 267-276.

Jursík, M., Holec, J., Soukup, J. 2011. Plevelle - Biologie a regulace. Kurent. České Budějovice. 232 s. ISBN: 9788087111277.

- Koivula, M. J. 2011. Useful model organisms, indicators, or both? Ground beetles (Coleoptera, Carabidae) reflecting environmental conditions. *ZooKeys*. 100. 287–317.
- Kromp, B. 1999. Carabid beetles in sustainable agriculture: a review on pest control efficacy, cultivation impacts and enhancement. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 74. 187–228.
- Lövei, G.L., Sunderland, K.D. 1996. Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera, Carabidae). *Annual review of entomology*. 41. 231-256.
- Luff, M.L. 1987. Biology of polyphagous ground beetles in agriculture. *Agricultural Zoology Reviews* 2. 237-278.
- Luff, M.L. 1980. The biology of the ground beetle *Harpalus rufipes* in a strawberry field in Northumberland. *Annals of Applied Biology*. 94 (2). 153–164.
- Lundgren, J.G., Gassmann, A.J., Bernal, J., Duan, J.J., Ruberson, J. 2009. Ecological compatibility of GM crops and biological control. *Crop protection*. 28 (12). 1017-1030.
- Maryański, M., Kramarz, P., Laskowski, R., Niklińska, M. 2002. Decreased energetic reserves, morphological changes and accumulation of metals in carabid beetles (*Poecilus cupreus* L.) exposed to Zinc- and Cadmium-contaminated food. *Ecotoxicology*. 11 (2). 127-139.
- Micháľková, V., Pekár, S. 2009. How glyphosate altered the behaviour of agrobiont spiders (Araneae: Lycosidae) and beetles (Coleoptera: Carabidae). *Biological control*. 51 (3). 444-449.
- Milner, C., Ball, D.F. 1970. Factors affecting the distribution of the mole (*Talpa europaea*) in Snowdonia (North Wales). *Journal of Zoology*. 162 (1). 61–69.
- Moore, L.J., Fuentes L., Rodgers, J.H., Bowerman, W.W., Yarrow, G.K., Chao, W.Y., Bridges W.C. 2012. Relative toxicity of the components of the original formulation of Roundup to five North American anurans. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 78. 128–133.

Morjan, W.E., Pedigo, L.P., Lewis, L.C. 2002. Fungicidal Effects of Glyphosate and Glyphosate Formulations on Four Species of Entomopathogenic Fungi. *Environmental Entomology*. 31 (6). 1206-1212.

NAP - Národní akční plán ke snížení používání pesticidů v České Republice. 2012, Ministerstvo zemědělství ČR

Němeček, J. 2011. Vliv Roundup Ready technologie na necílové organismy populace členovců. Bakalářská práce. Česká zemědělská univerzita v Praze. Fakulta agrobiologie a přírodních zdrojů. Katedra agroekologie a biometeorologie.

Olofsdotter, M., Valverde, B.E., Madsen, K.H. 2000. Herbicide resistant rice (*Oryza sativa* L.): Global implications for weedy rice and weed management. *Annals of applied biology*. 137 (3). 279–295.

Ovesná, J, et al., 2005. Pěstování geneticky modifikovaných plodin v ČR koexistence různých forem zemědělství. příspěvek: Sborník přednášek ze semináře pořádaného Ministerstvem zemědělství ČR a Českou zemědělskou univerzitou v Praze

Patočka, J., Hon, Z., Procházka, P., Kuča, K. 2011. Toxikologie a ekotoxikologie herbicidu triclopyru. *Kontakt*. 13 (2). 242–249.

Pekár, S., Brabec, M. 2012. Moderní analýza biologických dat 2, lineární modely s korelacemi v prostředí. Masarykova univerzita. Brno. 256s  
ISBN:9788021058125

Porhajašová, J., Petřvalský, V., Šustek Z., Urminská, J., Ondříšek, P., Noskovič, J. 2008. Long-term changes in ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages in a field treated by organic fertilizers. *Biologia*. 63 (6). 1184-1195.

Purtauf, T., Roschewitz, I., Dauber, J., Thies, C., Tschardtke, T., Wolters, V. 2005. Landscape context of organic and conventional farms: Influences on carabid beetle diversity. *Agriculture Ecosystems & Environment*. 108 (2). 165-174.

- Purvis, G., Fadl, A. 1996. Emergence of Carabidae (Coleoptera) from pupation: a technique for studying the 'productivity' of carabid habitats. *Annales zoologici fennici*. 33. 215-223.
- Purvis, G., Fadl, A. 2002. The influence of cropping rotations and soil cultivation practice on the population ecology of carabids (Coleoptera: Carabidae) in arable land. *Pedobiologia*. 46. 452-474.
- Roux, F., Reboud, X. 2007. Herbicide resistance dynamics in a spatially heterogeneous environment. *Crop Protection*. 26 (3). 335-341.
- Saska, P. 2007. Composition of weed community determines carabid assemblage. Proceedings of the XIII European Carabidologists meeting, 'Blagoevgrad. August 20-24. 339-351.
- Saska, P., Honek, A. 2008. Synchronization of a Coleopteran Parasitoid, *Brachinus spp.* (Coleoptera : Carabidae), and its host. *Annals of the Entomological Society of America*. 101 (3). 533-538.
- Schier, A. 2006. Field study on the occurrence of ground beetles and spiders in genetically modified, herbicide tolerant corn in conventional and conservation tillage systems. *Journal of plant diseases and protection. Special issue XX*. 101-113.
- Steenberg, T., Langer, V., Esbjerg, P. 1995. Entomopathogenic fungi in predatory beetles (Col.: *Carabidae* and *Staphylinidae*) from agricultural fields. *Entomophaga*. 40 (1). 77-85.
- Stone, D., Jepson, P., Kramarz, P., Laskowski, R. 2001. Time to death response in carabid beetles exposed to multiple stressors along a gradient of heavy metal pollution. *Environmental Pollution* 113 (2). 239-244.
- Tahir, H.M., Butt, A., Khan, S.Y., Kawaja, R.A., Arshad, M., Nawaz, S. 2011. Effects of acetochlor (herbicide) on the survival and avoidance behaviour of spiders. *African Journal of Biotechnology*. 10 (33). 6265-6268.

- Tan, S., Evans, R., Singh, B. 2006. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino acids*. 30 (2). 195-204.
- Tréfás, H., Van Lenteren, J.C. 2008. Egg- laying- site preferences of *Pterostichus melanarius* in mono- and intercrops. *Bulletin of insectology*. 61 (2). 225-231.
- Thiele HU. 1977 *Carabid Beetles in their environments*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. 369s.
- Tsui M.T.K., Chu L.M. 2003. Aquatic toxicity of glyphosate-based formulations: comparison between different organisms and the effects of environmental factors. *Chemosphere*. 52 (7). 1189–1197.
- Vila-Aiub, M.M., Vidal, R.A., Balbi, M.C., Gundel, P.E., Trucco, F., Ghersa, C.M. 2008. Glyphosate-resistant weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest Management Science*. 64. 366–371.
- Wang, N., Besser, J.M., Buckler, D.R., Honegger, J.L., Ingersoll, C.G., Johnson, B.T., Kurtzweil, M.L., Macgregor, J., McKee, M.J. 2005. Influence of sediment on the fate and toxicity of a polyethoxylated tallowamine surfactant system (MON 0818) in aquatic microcosms. *Chemosphere*. 59 (4). 545–551.
- Wynn, K.M., Evans, S.C., Rypstra, A.L. 2012. Predator cues and an herbicide affect activity and emigration in an agrobiont wolf spider. *Chemosphere*. 87 (4). 390–396.
- Zurawska-Seta, E., Barczak, T. 2012. The influence of field margins on the presence and spatial distribution of the european mole *Talpa Europaea L.* within the agricultural landscape of northern Poland. *Archives of Biological Sciences*. 64 (3). 971-980.



## 9. SEZNAM ZKRATEK

(CT)	Conventional tillage
(GMHT)	Genetic modified herbicide tolerant
(MU nebo SCT)	Soil conservation tillage-mulč
(POST)	postemergentní
(PRE)	preemergentní
(RR)	Roundup Ready
(RT)	Reduced tillage

## 10. SEZNAM PŘÍLOH

1. Lokalizace místa pokusu na mapě
- 1A Plán založení pokusné plochy
2. Počty jedinců v pastech
3. Výskyt druhů v jednotlivých pastech v průběhu pokusu
4. Zastoupení druhů v termínech odchytu
5. Vývoj aktivity střevlíků
6. Interakce různých variant zpracování půdy s chemickou regulací
7. Hodnocení plevelů během pokusu
8. Počty jedinců v pastech s konvenční regulací v jednotlivých termínech
9. Pokryvnost plevelů u variant zpracování půdy a chemické regulace