

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zahradnictví



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Problematika vybraných herbicidních látek u hrachu
setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.)
Asch. & Graebn.)**

Diplomová práce

Bc. Hana Vrbová

Obor studia Zahradnictví

Vedoucí práce doc. Ing. Bc. Martin Koudela, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Problematika vybraných herbicidních látek u hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.) Asch. & Graebn.)" jsem vypracovala 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 autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing. Bc. Martinu Koudelovi, Ph.D. za všestrannou pomoc, odborné vedení a cenné rady poskytnuté při konzultacích. Dále bych ráda poděkovala své rodině a partnerovi za veškerou podporu v průběhu studia.

Problematika vybraných herbicidních látek u hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.) Asch. & Graebn.)

Souhrn

V této diplomové práci byl zkoumán vliv herbicidů aminopyralid a pyroxsulam na růstové charakteristiky rostlin hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*). Hrách je významným a nejrozšířenějším druhem luskovin pěstovaných v České republice. Semena hrachu či celé zelené lusky používané jako zelenina obsahují celou řadu zdravích prospěšných látek. Jedná se především o sacharidy, bílkoviny a v neposlední řadě o vitamíny a minerální látky. Kultivace hrachu probíhala v laboratořích a Demonstračních sklenicích Fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze. V experimentech byly použity čtyři odrůdy dřeňového hrachu (*Pisum sativum* L. var. *medullare*), jehož semena byla dodána českou firmou SEMO a.s. Jednalo se o odrůdy ‘Oskar’, ‘Kudrnáč’, ‘Johan’ a ‘Vladan’. Pro pokusy byly použity herbicidní látky v různých koncentracích dostupné v odlišných formách – čistý aminopyralid a pyroxsulam v přípravku Corello. V dalším pokusu byl zkoumán vliv vodních výluhů z pšeničné slámy (*Triticum aestivum* L.) na klíčivost semen a růst a vývoj rostlin hrachu. Pšenice byla během vegetace ošetřována herbicidy Mustang Forte (aminopyralid) a Corello (pyroxsulam) v různých dávkách. Další testovaná sláma pocházela z ekologického zemědělství, kde byla pěstována bez aplikace herbicidů. Sláma byla nadrcena na velikostní frakci 3-5 cm a loužením po dobu 48 hodin v destilované vodě byly vytvořeny výluhy, které byly v různých koncentracích aplikovány do pěstebního substrátu. Doba od výsevu do vyhodnocení experimentu s herbicidy trvala 31 dní. Pokus s výluhy ze slámy byl vyhodnocen 26 dní od výsevu. Podle dat, která byla vyhodnocena v programu Statistica 12 od firmy StatSoft pomocí analýzy rozptylu jsme zjistili, že různé koncentrace herbicidních látek aminopyralid a pyroxsulam v pěstebním médiu ovlivnily růstové charakteristiky vybraného sortimentu hrachu setého. U rostlin hrachu ošetřených aminopyralidem bylo zaznamenáno poškození od koncentrace 10 ppb (0,01 mg/l) a výše. U rostlin ošetřených pyroxsulamem bylo zjištěno poškození při koncentraci 10 ppm (10 mg/l) a více. Dále byly zjištěny statisticky významné rozdíly mezi mírou reakcí různých odrůd hrachu k vystavení herbicidním látkám. Nejodolnější k poškození herbicidy byla odrůda Kudrnáč. Výluhy ze slámy s obsahem reziduí herbicidů vykazaly vliv na růstové charakteristiky rostlin, avšak nelze s přesností určit do jaké míry došlo k ovlivnění růstu inhibičními a jinými látkami obsaženými ve slámě. Další prohloubení znalostí o vlivu herbicidních látek aminopyralid a pyroxsulam na růst a vývoj citlivých druhů plodin jako je hrách může přispět v zemědělství k praktickým krokům pěstitelů, výrobcům herbicidů a pro upřesnění legislativních norem, které omezují používání herbicidních látek.

Klíčová slova: herbicid, *Fabaceae*, hrách setý, pyroxsulam, aminopyralid

The issue of selected herbicides in peas (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.) Asch. & Graebn.)

Summary

In this diploma thesis, the influence of the herbicides aminopyralid and pyroxsulam on the growth characteristics of garden pea plants (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*) was investigated. Peas are an important and most widely grown type of legumes grown in the Czech Republic. Pea seeds or whole green pods used as vegetables contain a variety of health benefits. These are mainly carbohydrates, proteins and last but not least vitamins and minerals. Pea cultivation took place in laboratories and Demonstration Greenhouses of the Faculty of Agrobiological Sciences, Czech University of Life Sciences Prague. Four varieties of marrow pea (*Pisum sativum* L. var. *medullare*) were used in the experiments. The seeds were supplied by the Czech company SEMO a.s. Tested varieties of peas were 'Oskar', 'Kudrnáč', 'Johan' and 'Vladan'. Herbicide agents at different concentrations available in different forms - pure aminopyralid and pyroxsulam in Corello - were used for the herbicides experiment. In another experiment, the influence of water extracts from wheat straw (*Triticum aestivum* L.) on seed germination and the growth and development of pea plants was observed. The wheat was treated with the herbicides Mustang Forte (aminopyralid) and Corello (pyroxsulam) in various doses during vegetation. Other tested straws came from organic farming, where they were grown without the application of herbicides. The straw was ground to a size fraction of 3-5 cm and immersed for 48 hours in the distilled water. This process created leachates which were applied to the potting soil at various concentrations. The time from sowing to evaluation of the herbicide experiment was 31 days. The straw extract experiment was evaluated 26 days after sowing.

Based on the data evaluated in the Statistica 12 (StatSoft) programme using analysis of variance, we found that different concentrations of the herbicide substances aminopyralid and pyroxsulam in the growing medium influenced the growth characteristics of the selected varieties of peas. Pea plants treated with aminopyralid were noticeably damaged from a concentration of 10 ppb (0.01 mg/l) or more. Plants treated with pyroxsulam were found to have damage at concentrations of 10 ppm (10 mg/l) or more. In addition, statistically significant differences were found between the response rates of different pea varieties to exposure to herbicide substances. The most resistant to herbicide damage was the pea variety 'Kudrnáč'. Herbicide residue straw extracts showed an effect on plant growth characteristics, but it is not possible to determine surely what was affected by herbicide residues or inhibitory or other substances contained in the straw. Further research about the impact of the herbicide substances aminopyralid and pyroxsulam on the growth and development of sensitive crop species such as peas might contribute to a better actions by growers in practice agriculture, but also it can be useful to producers of herbicides and to clarify legislative standards that restrict the use of herbicide substances.

Keywords: herbicide, *Fabaceae*, peas, pyroxsulam, aminopyralid

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	10
3 Literární rešerše.....	11
3.1 Charakteristika čeledi <i>Fabaceae</i> (bobovitých).....	11
3.1.1 Botanická charakteristika.....	11
3.1.2 Zemědělská a biologická charakteristika.....	12
3.1.3 Využití a vliv na zdraví.....	14
3.2 Charakteristika hrachu setého (<i>Pisum sativum</i> L. ssp. <i>hortense</i>)	16
3.2.1 Historie a domestikace hrachu	16
3.2.2 Rozdělení	16
3.2.3 Botanická charakteristika hrachu setého	17
3.2.4 Zemědělská charakteristika a nároky hrachu setého	18
3.2.5 Plevelé v luskovinách	20
3.2.5.1 Negativní působení plevelů	20
3.2.6 Škůdci hrachu	21
3.2.7 Choroby hrachu	21
3.3 Metody regulace plevelů.....	22
3.3.1 Nepřímé (preventivní) metody	22
3.3.2 Přímé metody.....	22
3.3.2.1 Mechanické	22
3.3.2.2 Fyzikální.....	23
3.3.2.3 Chemické.....	23
3.3.2.4 Biologické	23
3.4 Herbicidy.....	24
3.4.1 Selektivita herbicidů	25
3.4.2 Formulace herbicidů	25
3.4.3 Příjem herbicidů rostlinou	25
3.4.3.1 Translokace	25
3.4.3.2 Způsob účinku	26
3.4.4 Herbicidní látky pyroxsulam a aminopyralid	27
3.4.4.1 Pyroxsulam.....	27
3.4.4.2 Aminopyralid.....	28
3.5 Sláma - součást agroekosystému s rizikem kontaminace půd	30

3.6	Poškození plodin.....	32
3.6.1	Poškození herbicidy	32
3.6.1.1	Přímé poškození	32
3.6.1.2	Nepřímé poškození	32
3.6.2	Poškození adjuvanty	32
3.6.3	Projevy poškození hrachu	33
4	Metodika	34
4.1	Experimenty ověřující působení pyroxsulam a aminopyralidu na rostliny hrachu setého.....	34
4.1.1	Zázemí	34
4.1.2	Charakteristika odrůd hrachu vybraných pro experiment.....	34
4.1.2.1	Oskar.....	34
4.1.2.2	Kudrnáč	35
4.1.2.3	Johan.....	35
4.1.2.4	Vladan.....	35
4.1.3	Založení a průběh experimentů.....	35
4.1.3.1	Pokus 1 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello).....	35
4.1.3.2	Pokus 2 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello).....	38
4.1.3.3	Orientační zkouška klíčivosti semen hrachu	43
4.1.3.4	Experiment – slaměné výluhy	44
5	Výsledky	47
5.1	Pokus 1 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello).....	47
5.2	Pokus 2 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello).....	48
5.3	Orientační zkouška klíčivosti semen hrachu	59
5.4	Experiment – slaměné výluhy	60
6	Diskuze	68
7	Závěr.....	71
8	Literatura.....	73
9	Samostatné přílohy	I

1 Úvod

Podle předpokladů dosáhne celosvětová populace v roce 2050 téměř 9,6 miliardy lidí. Již nyní nemá přibližně 1 miliarda lidí přístup k potravinám. Bude třeba čelit globálním výzvám, mezi které patří zajištění dostatečného množství bezpečných potravin, snížení rizika změny klimatu a uspokojení rostoucí poptávky po energii (Stagnari et al. 2017). Plodiny z čeledi bobovitých jsou pro aktuální i budoucí situaci týkající se nárůstu počtu obyvatel cenné, proto je třeba jejich využitelnost a pěstební postupy zdokonalovat. Ačkoliv se zvyšuje povědomí o důležitosti a vlivu na zdraví lidí, zvířat i půdy, stále není těmto plodinám věnována taková pozornost, která by vedla ke zlepšení výrobních technologií jako například u obilovin (Siddique et al. 2012). Hned po lipnicovitých (*Poaceae*) jsou bobovité (*Fabaceae*) celosvětově druhou nejvýznamnější čeledí kulturních plodin s 27 % celkové produkce (Coyne et al. 2020).

Čeď *Fabaceae* (syn. *Viciaceae*) zahrnuje podle Mahbubur Rahman et al. (2014) 730 rodů a přes 19 400 druhů rostlin. Spolu s obilovinami, některými druhy ovoce a kořeny tropických rostlin byly zeleniny z čeledi bobovitých po tisíce let zásadní součástí potravy pro člověka i prostředníkem pro pochopení elementárních principů genetiky, které nejen na hrachu setém, demonstroval Thomas Andrew Knight, či veřejnosti známější Johann Gregor Mendel. Ve světovém měřítku zaujímá největší plochy luskovin sója, která se však z hlediska hospodářského významu řadí mezi olejninu. Z ostatních luskovin jsou to zejména fazol, hrách, čočka, cizrna, vigna a kajan. Největší plochy luskovin pěstovaných v Evropě zaujímá hrách a bob. V ČR je v aktuálně pěstováno pouze pár druhů luskovin. Výkupní ceny jsou pro zemědělce velmi nepříznivé, a tak se jedná zejména o celkem rentabilní hrách setý a v menším měřítku i o sóju a lupinu. Ostatní druhy jako je bob, vikev, fazol a jiné dříve pěstované plodiny jsou nyní pěstovány zřídka a na malých zemědělských plochách. Vůbec nejrozšířenějším druhem luskovin v ČR je právě hrách, jehož podíl zaujímá kolem 70 % celkové plochy bobovitých (syn. vikvovitých plodin, řídce též luštinatých), které jsou pěstovány na zrna. Dostálová & Prugar (2008) uvádí, že ačkoliv jsou luskoviny bohatým zdrojem rostlinných bílkovin pro potravinářský i krmivářský průmysl, zdrojem vlákniny, škrobů, sacharidů a celé řady mikronutrientů, jsou kvůli přítomnosti oligosacharidů, které jsou fermentovány v tlustém střevě a způsobují tak nadýmání, lidmi ve stravě často odmítány. Roční spotřeba luštěnin činí necelé 3 kilogramy na osobu za rok z čehož přibližně polovinu tvoří hrách. Zhruba 35 % světové produkce hrachu je použito jako krmivo pro hospodářská zvířata (MZe 2019).

Jednou z nejvýznamnějších předností luskovin je jejich meliorační a zúrodňující dopad na půdu díky své schopnosti vázat vzdušný dusík v symbióze s hlízkovitými bakteriemi rodu *Rhizobium*. Své nezastupitelné místo mají proto luskoviny jako předplodiny v osevních postupech jak v konvenčním, tak i v ekologickém zemědělství (MZe 2019).

Mezi jedno z hlavních diskutovaných témat laickou i odbornou veřejností, zabývající se ekologií pěstování, patří používání pesticidů, v nichž velkou skupinu zastupují herbicidy – chemické prostředky pro regulaci plevelů. Ty jsou aktuálně a také výhledově nezbytnou součástí pěstování většiny plodin včetně hrachu setého. Důvodem je vysoká efektivita a nižší finanční náročnosti oproti mechanickým způsobům regulace plevelů. Herbicidy mohou působit i na plodiny, na které nebyly přímo aplikovány, a to prostřednictvím kontaminovaných půd či např. rezidui herbicidních látek ve slámě a organických hnojivech. Ačkoliv bychom hledali jen malé procento pěstebních ploch, na kterých nejsou herbicidy využívány, mají v určitých

dávkách prokazatelné negativní účinky na životní prostředí, zdraví lidí a zvířat a nepochybně také růst a vývoj rostlin (Jursík et al. 2018). Zmíněné problematice se věnuje tato diplomová práce, která popisuje vztah mezi herbicidy a rostlinami hrachu (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*) prostřednictvím literárního přehledu a také pomocí několika experimentů zkoumajících vliv dvou účinných herbicidních látek v různých koncentracích a formulacích.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cíle této diplomové práce lze stručně charakterizovat následovně:

- 1) V teoretické části vypracovat literární rešerši charakterizující čeleď *Fabaceae* a především hrách setý zahradní (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*). Dále charakterizovat herbicidy, základní principy jejich působení a vliv na rostliny hrachu zahradního.
- 2) V praktické části získat data pomocí laboratorních experimentů zaměřených na vliv herbicidních účinných látek pyroxsulam a aminopyralid na růst a vývoj hrachu setého zahradního.
- 3) Tyto hodnoty následně statisticky vyhodnotit a v diskuzi porovnat s dosavadními poznatky současné vědecké literatury.

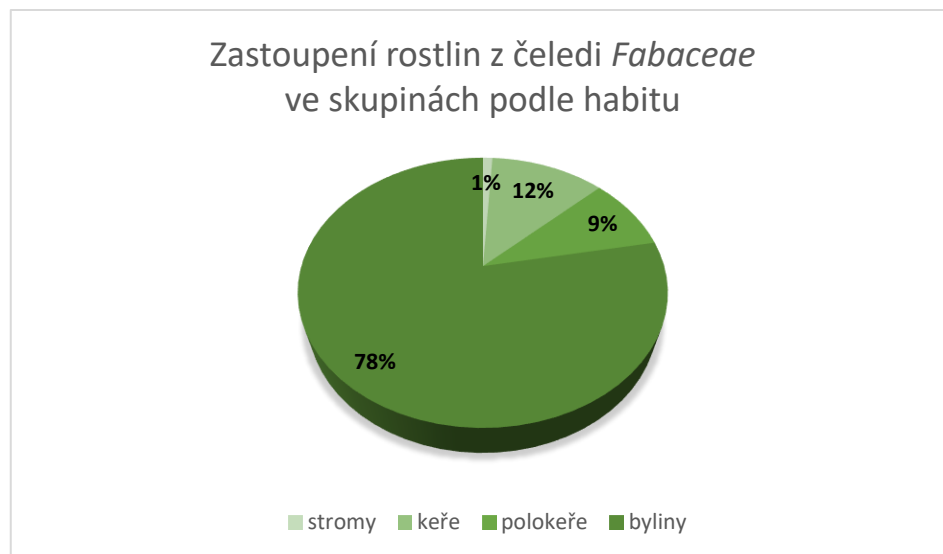
Hypotézy:

1. Různé koncentrace herbicidních látek aminopyralid a pyroxsulam v pěstebním médiu průkazně ovlivní růstové charakteristiky vybraného sortimentu hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*)
2. Rostliny odlišných odrůd hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*) průkazně vykáží různé reakce na vystavení herbicidům aminopyralid a pyroxsulam a jejich reziduíům.

3 Literární rešerše

3.1 Charakteristika čeledi *Fabaceae* (bobovitých)

Na planetě Zemi se v současnosti nachází téměř 400 000 druhů rostlin z nichž zhruba 5 % tvoří čeleď *Fabaceae* (syn. *Leguminosae*) (Hasanuzzaman et al. 2020). Čeleď bobovitých zahrnuje nespočet užitkových rostlin, které, ať se řadí do skupiny luskovin, píceňin, jetelovin, olejnin, okrasných nebo léčivých rostlin, jsou významnou složkou životů lidí i zvířat. Podle Lewise et al. (2005) je tato čeleď třetí největší čeledí krytosemenných rostlin hned po čeledi vstavačovitých (*Orchideaceae*) a hvězdicovitých (*Asteraceae*). Zahrnuje téměř 800 rodů a 20 000 druhů stromů, keřů i bylin.



Graf 1: Zastoupení rostlin z čeledi *Fabaceae* ve skupinách podle habitu (Hasanuzzaman et al. 2020)

3.1.1 Botanická charakteristika

Rostliny z čeledi *Fabaceae*, zřídka vodní, zahrnují byliny, keře, stromy, popínavé rostliny a liány (Kew Science 2021). Zajímavostí je více než 88 m vysoký strom - *Koompassia excelsa*, který je považován za nejvyšší rostlinu jihovýchodní Asie z říše krytosemenných.

Bobovité lze spatřit na všech kontinentech, s výjimkou Antarktidy, a téměř na každém stanovišti, od sladkovodních jezer, přes tropické a subtropické lesy až po pouště a vegetaci mírného pásma. Hlavním důvodem ekologického úspěchu této čeledi je schopnost symbiózy křovitých kořenů s nitrogenními bakteriemi rodu *Rhizobium*. V tropických a subtropických oblastech se vyskytují primárně dřevnaté, zatímco v mírných oblastech spíše bylinné habitusy. Právě bylinné luskoviny mají pro člověka největší ekonomickou hodnotu (zejména rody fazol - *Phaseolus* a sója - *Glycine*) (Harris 2004).

Pro většinu druhů jsou typické zpeřené střídavé listy (Garza 2015). Bobovité mají často palisty, které jsou modifikovány v úponky, trny nebo velké listy. Identifikačním znakem

bobovitých jsou jejich plody – lusky pukavé nebo nepukavé s dvěma chlopněmi. Podle druhu s jedním nebo větším množstvím semen. Osemení je obvykle tvrdé, endosperm bývá malý nebo zcela chybí. Embryo je velké a děložní lístky nápadné (Kew Science 2021). Podle Hasanuzzamana et al. (2020) jsou poznávacím znakem květy s pěti okvětními plátky uspořádanými v hroznovitých květenstvích, které se vyskytují v široké škále velikostí, tvarů i barev. Většina luskovin je oboupohlavných, tedy samosprašných. Avšak u sóji nebo lupiny žluté se může vyskytovat částečná cizosprašnost. Grulich (2013) uvádí, že v podčeledi *Faboideae*, která zahrnuje nejvíce druhů (např. i hrách) se vyskytují převážně květy výrazně souměrné, tzv. motýlovité. Kalich bývá srostlý, zvonkovitého tvaru, korunní lístky jsou volné a diferencované v horní pavězu a 2 postranní křídla. Člunek tvoří 2, do sebe zasunuté dolní korunní lístky. U některých druhů – např. jetele (*Trifolium*) jsou květy převrácené o 180° - tzv. resupinální.

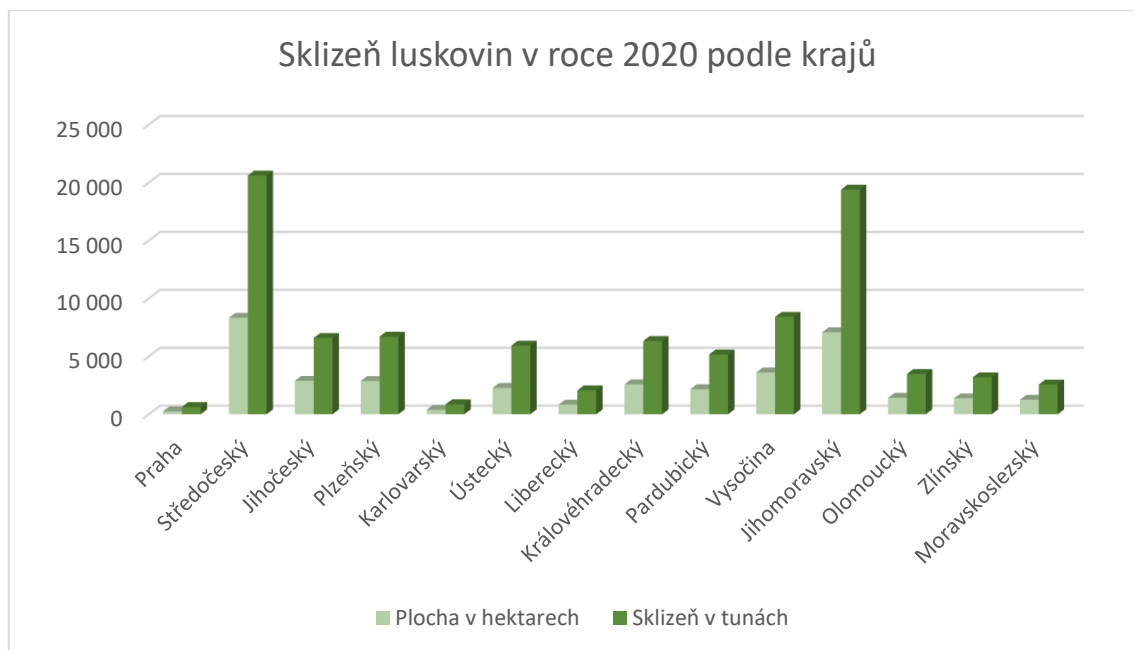
Z obsahových látek jsou u některých druhů přítomny alkaloidy, zejména chinolizidinového typu. Prudce jedovaté jsou například okrasné druhy rodu *Laburnum*, význačné žlutými hroznovitými květenstvími. Řídčeji byly také nalezeny glykosidy - např. u tropického, rovněž žlutokvětého rodu *Senna*. Vzhledem k usnadněnému příjmu dusíku je u bobovitých charakteristický zvýšený obsah bílkovin, které jsou ukládány zejména v semenech luskovin. Na dusík je také bohatá nař většina pícnin. Asimilace se u bobovitých děje výhradně standardním Krebsovým cyklem (C3 fotosyntéza) (Grulich 2013).

3.1.2 Zemědělská a biologická charakteristika

Luskoviny pokrývají 14 % obdělávané půdy na celém světě (Raza et al. 2020). V největším množství jsou luskoviny zastoupeny v Asii a v Africe. Vzhledem k hustotě obyvatelstva je vysoká míra produkce odpovídající. Celosvětově nejpěstovanější plodinou z čeledi bobovitých je sója. Méně pěstované druhy jako vigna nebo cizrna jsou díky nenáročnosti a schopnosti prosperovat i v nepříznivých podmínkách oblíbeny zejména v suchách a teplých oblastech jako je Asie či Afrika. Mezi druhy hodící se naopak do oblastí vlhčích a chladnějších se řadí například hrách nebo bob (Agromanual 2021).

Podle Michaelse (2016) se luskoviny běžně pěstují v monokulturách jako součást rotačního sledu s kukuřicí (*Zea mays*), obilninami nebo v suchých oblastech v období ladu. Mezi luskoviny pěstované pro zemědělské účely patří zejména hrách, fazol, čočka, sója, cizrna, bob, vigna čínská, vigna zlatá, vikve, lupina, podzemnice olejná a další.

V ČR je aktuálně pěstováno jen několik druhů luskovin (hrách, lupina). V letech 2008 – 2014 byla výměra ploch pěstovaných luskovin pouze 20 000 ha. V roce 2015 nastal výrazný nárůst a výměra osetých ploch vzrostla na 33 000 ha (1,2 % orné půdy v ČR). Nepatrné zlepšení (36 000 ha – 1,4 % orné půdy) bylo zaznamenáno v roce 2016. V roce 2017 byly luskoviny vysety na 43 000 ha – 1,7 % orné půdy. Od roku 2018 dochází k poklesu a plochy luskovin dosáhly výměry pouze 35 tis. ha. V předloňském roce 2019 došlo k dalšímu poklesu osevni plochy na celkovou výměru 33 000 ha, což opět představuje 1,2 % orné půdy jako v roce 2015. Celková sklizeň luskovin v roce 2019 byla 74 200 tun. Tato hodnota je stanovena na základě definitivní sklizně luskovin podle ČSÚ k 18. 2. 2020. Proti skutečnosti z roku 2018 je o 5 400 tun (tj. o 6,7 %) nižší. Situace snižování luskovinných ploch je zapříčiněna nízkou výkupní cenou luskovin, a tím přirozeně rostoucím nezájmem o pěstování (MZe 2019).



Graf 2: Celková sklizeň luskovin v ČR (rok 2020) v jednotlivých krajích (ČSÚ 2021)

Houba et al. (2009) uvádí, že mezi negativa luskovin patří nestabilní výnosy, které jsou úzce závislé na vlivu podmínek prostředí daného roku, zejména vláhových a teplotních. Naopak k agrotechnickým zásahům jsou luskoviny o dost méně citlivé než např. obilniny. Některé druhy jsou velmi náchylné k chorobám a škůdcům a zároveň vykazují vysokou citlivost k chemickým ošetřením. U lupiny a sóji je nepříznivá dlouhá vegetační doba, u hrachu je to například poléhavost porostu nebo pukání lusků. Luskoviny mají pomalý počáteční růst, čímž dochází k nízké konkurenceschopnosti porostu a tím i snadnému zaplevelení. Jako většina druhů nesnáší zařazení plodin ze stejné čeledi po sobě (Zemědělské komodity 2021).

Významná ekonomická hodnota luskovin, zejména v tropických oblastech, spočívá nejen v komoditách konzumní sféry, ale také ve využití bobovitých dřevin jako zdroj palivového dřeva, pryskyřic a barviv (Harris 2004).

Rostliny z čeledi *Fabaceae* se používají v osevních sledech nejčastěji jako předplodina obilí, pro které jsou přírodním zdrojem dusíku (Gutiérrez-Urbe et al. 2016).

Podle Michaelse (2016) spočívá proces přeměny vzdušného dusíku na využitelný dusík v napadení kořene luskovin bakteriemi rodu *Rhizobium*, které v hlízkách kortikálních kořenů fixují atmosferický dusík pro případný transport rostlinou a asimilaci. Kmeny rhizobií se liší podle konkrétního hostitele. Aby došlo k symbióze musí být rhizosféra rostliny s rhizobii kompatibilní. Z čeledi *Fabaceae* je kompatibilních přibližně 88 % rostlin. Proces biologické fixace atmosférického dusíku ($1 \text{ m}^2/780 \text{ l}$ vzduchu) probíhá působením enzymu nitrogenáza s ATP. Rostliny jsou schopny přijímat dusík ve formě amonných solí a solí kyseliny dusičné.

V závislosti na plodině se množství využitelného dusíku derivovaného z vzdušného dusíku pohybuje od 36 % (fazole) do 65 % (cizrna, čočka, hrách, hrách kravský, fazole mungo nebo kajan). Ačkoliv je vzdušný dusík v půdě nestabilní a je třeba jej často doplňovat, je zařazení luskovin do postupu střídání plodin často aplikovaným zúrodňujícím prvkem. Používání předplodin značně omezí potřebu hnojení průmyslovými dusíkatými hnojivy

(Gutiérrez-Urbe et al. 2016). Schopnost fixovat a přeměňovat vzdušný dusík tedy snižuje přímé náklady na pěstovanou luskovinu, ale také náklady vynaložené na následné plodiny. Jakkoliv se může zdát používání bobovitých rostlin namísto průmyslových hnojiv ekologické, může se za určitých podmínek stát vlivem negativně působícím na životní prostředí. Jedná se o znečištění podzemních vod a vodních toků nitráty. Proto je při pěstování luskovin nutné dbát právních norem, v tomto případě tzv. nitrátových směrnic (Agromanual 2021).

Podle zdroje Zemědělské komodity (2021) přispívá mohutný kořenový systém vikvovitých ke zlepšování fyzikálního a strukturního stavu půdy. Posklizňovými zbytky zvyšují také kvalitu a obsah humusu a zastíněním půdy ve druhé fázi vegetace potlačují plevel. Bobovité jsou také schopny využívat živiny ze širšího profilu půdy a méně přístupných forem, čímž rozšiřují koloběh živin. V osevních sledech obilnin představují tzv. přerušovače, které na půdu působí fyto-sanitárním efektem. Vlivem aplikací chlévského hnoje s obsahem slámy nebo zaorání posklizňových zbytků obilnin, které jsou ošetřovány pesticidy se do následných plodin (často právě bobovité) mohou dostávat rezidua, jimiž jsou poté ovlivňovány jejich růstové charakteristiky (Kurhan et al. 2020).

3.1.3 Využití a vliv na zdraví

Luskoviny jsou obecně využívány jako dostupnější náhrada masa. V jídelníčku vegetariánů či veganů tvoří podstatnou část jídelníčku. Ve většině domácností jsou luštěniny konzumovány jako příloha. Celosvětově je spotřeba luštěnin 19 g na osobu a den. Asijské země patří k hlavním spotřebitelům a producentům (Gutiérrez-Urbe et al. 2016). V České republice činí denní spotřeba 8 g, což jsou necelé 3 kilogramy na rok. Nejvíce oblíbený je u nás pro své všestranné použití a tradici hrách, fazol a čočka. V potravinářském průmyslu jsou na vzestupu cizrna a vigna (MZe 2019).

Luštěniny jsou často používaným výrazem jako synonymum pro luskoviny. Tato terminologie je nesprávná. Luštěninami rozumíme výlučně vyluštěná, suchá, čištěná a tříděná zrna luskovin. Obsahují především vysoký obsah bílkovin (přibližně 25 %), vysoký podíl vlákniny, sacharidy s příznivou skladbou škrobů (asi 60 %). V malém množství pak tuky (1- 3 %, s výjimkou sóji a podzemnice olejné, kde je vysoký obsah tuků hlavní předností). Dále obsahují vitaminy skupiny B (kyselina listová, riboflavin, thiamin, niacin) a řadu minerálních látek (Dostálová 2021).

Farmakologické studie na mnoha rostlinách čeledi *Fabaceae* odhalily jejich antibakteriální, protiplísňové, antihypertenzní, antioxidační, antivirové, insekticidní, diuretické a hypoglykemické účinky (Garza 2015). Podle Mahbubur Rahman et al. (2014) jsou luštěniny vhodné ke konzumaci při onemocněním diabetem, rakovinou, vředy či kožními problémy. Sója a výrobky z ní jsou díky obsahu fytoestrogenů doporučovány při symptomech menopauzy či jiné ženské hormonální nerovnováhy. Ačkoliv je sója v přiměřené míře zdraví prospěšná, mnoho lidí trpí nesnášenlivostí či alergií na její složky. Menší část luskovin, které jsou na světě spotřebovány patří do skupiny zeleninových luskovin. Konzumní částí je celý nezralý dužnatý lusk hrachu, fazolu, případně sóji. Předností je nutriční jakost a pozitivně je hodnocen vysoký obsah vitaminů a chlorofylu.

Luskoviny jsou vhodné jako píče pro hospodářská zvířata. Pro krmné účely je využívána nadzemní část rostlin (suchá i čerstvá) a semena. Semena obsahují 20 – 45 % sušiny (hrách 25 %, sója až 45 %). Obsah bílkovin je proměnlivý, závisí na povětrnostních podmínkách. Vyšší obsah bílkovin je podporován teplejším a sušším počasím. Dále je obsah bílkovin závislý na typu odrůdy, kvalitě půdy, stupni zralosti nebo typu agrotechniky. Semena klasických lupin obsahují 0,7 – 3,5 % jedovatých alkaloidů. Byly vyšlechtěny i nízkoalkaloidní odrůdy s obsahem alkaloidů do 0,12 %. Množství antinutričních látek je snižováno zahříváním, máčením nebo odstraňováním osemení (Zemědělské komodity 2021).

3.2 Charakteristika hrachu setého (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*)

3.2.1 Historie a domestikace hrachu

Ačkoliv je hrách jednou z nejstarších pěstovaných plodin na světě, nebyl zatím jeho původ definitivně stanoven. Pravděpodobný předchůdce dnešního hrachu pochází z oblastí Středomoří a Středního východu, kde byly nalezeny pozůstatky výskytu z dob pozdního neolitu. Evropská kolonizace rozšířila hrách i do Nového světa (oblasti dnešní Ameriky) a dalších oblastí po celém světě (Britannica 2021). Podle Vavilova (1960) pochází endemitní skupiny hrachů z oblasti Přední Asie (*Pisum sativum* ssp. *elatius* (M. Bieb.) Asch. et Graebn., *Pisum humile* Boiss. et Noe, a *Pisum fulvum* Sibth. & Sm.). Velkosemenné formy hrachu (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.) Asch. & Graebn.) pak pochází z oblastí Středozeří, Etiopie, Eritrei a Somálska. Lahola et al. (1990) uvádí, že někteří autoři řadí *Pisum sativum* ssp. *elatius* (M. Bieb.) Asch. et Graebn. jako poddruh hrachu setého (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense* (Neilr.) Asch. & Graebn.). Botanická systematika rodu *Pisum* je tak v různých literárních zdrojích nestejnorodá.

K nám byl hrách rozšířen v 9. – 10. století. Pro pěstování a konzum čerstvých semen v mléčné zralosti až o 5. století později (Petříková & Malý 2000). Od 19. století je již velmi běžnou a rozšířenou plodinou (Malý 2003).

Domestikace pravděpodobně započala svůj průběh již 10 000 let př. n. l. ve Střední Asii a Blízkém východě selekcí lusků a semen s nejužitečnějšími vlastnostmi (Zohary et al. 2012). Zprvu byl výběr prováděn s ohledem na aktuální potřeby obyvatelstva. Později započala snaha o maximalizaci výhod, které přinesou potomci vybraných rostlin. V současnosti se tento proces nazývá šlechtěním. Domestikace vedla například k proměnám habitu rostlin, zvýšení počtu semen a změnám jejich morfologických vlastností, zlepšení klíčivosti a zkrácení dormance semen, snížení pukavosti lusků, změnám doby kvetení, eliminaci toxických či inhibičních látek atd. (Coyne et al. 2020).

3.2.2 Rozdělení

V roce 2019 byl hrách celosvětově pěstován na více než 1 milionu ha (FAO 2021).

Rod *Pisum* zahrnuje nejméně 42 kombinací poddruhů a variet (var.). Subspecium (ssp. syn. subsp. - poddruh) *sativum* zahrnuje tři konzumní variety: *sativum*, *medullare* a *saccharatum* (Houba et al. 2009).

Pisum sativum L. ssp. *sativum* je znám jako hrách setý polní, jehož semena mají hladký povrch a jsou využívána jako potravina, krmivo nebo surovina k výrobě škrobu. Čerstvé zelené rostliny nebo zralá semena je možno zkrmovat jako píci ve směsích s obilovinami přímo nebo silážovat. Zelená semena jsou řazena do skupiny zahradních hrachů. Zahrnuje dále variety hrachu dřevného a cukrového.

Pisum sativum L. ssp. *sativum* var. *medullare* – českým názvem hrách dřevný zahradní. Nezralé lusky se používají jako zelenina, zralá semena jako luštěnina. Nezralá semena se zpravidla využívají pro přímý konzum nebo konzervářský průmysl. Po vyzrání mají suchá semena svraštělý povrch a vysoký obsah škrobu s podílem amylozy. V ČR je pěstován přibližně na 100 ha.

Pisum sativum L. ssp. *sativum* var. *saccharum* – hrách cukrový je oblíben zejména mezi maloprodukčními zemědělci, kteří jej pěstují pro vlastní potřebu nebo tržní prodej. Lusky jsou bez vnitřní tuhé slupky - pergamenu, křehké, mají vyšší obsah cukrů. Nezralé lusky jsou konzumovány jako zelenina nebo se mrazí (Houba et al. 2009).

Laiky občasně zaměňovaný za hrách zahradní je hrách rolní - *Pisum sativum* L. var. *arvense*, známější pod názvem peluška, který se pěstuje výhradně jako zelené hnojení (zaorávání celých rostlin) nebo ke zkrmování (semena). Nutričním složením a vzhledem je podobná hrachu, ale kvůli hořkým látkám není konzumovatelná a je používána pouze pro krmení hospodářských zvířat (Maxted & Ambrose 2001).

Petríková et al. (2012) rozděluje zahradní hrachy mírně odlišně než Houba et al. (2009), a to do skupin hrachu dřevňového (*Pisum sativum* L. convar. *medullare*), hrachu cukrového (*Pisum sativum* L. convar. *axiphium*) a hrachu k vylupování (*Pisum sativum* L. convar. *sativum*).

Houba et al. (2009) dále tvrdí, že při rozlišování hrachů jsou důležité tři znaky: typ růstu, olistění a barva semene. Hrách může mít semena žlutá nebo zelená. Aktuálně převládá pěstování žlutosemenných hrachů k púlení a sušení. Pro konzervárenské a mrazírenské účely jsou naopak vhodné zelenosemenné odrůdy nazývané také jako zahradní. V současnosti jsou pěstiteli oblíbené hrachy středního vzrůstu s určitými formami redukce listové plochy (úponkové, afila-typy, bezlisté či tzv. semi-leafless typy). Výhodou je dobrá schopnost zapojení porostu pomocí úponků a tím i snížená poléhavost. Lusky jsou pak při sklizni lépe dosažitelné a snižuje se tak riziko vyšších ztrát. Protože je porost s menším zastoupením listů vzdušnější, oproti odrůdám s běžnou listovou plochou trpí méně na napadení houbovými chorobami. Lze také pozorovat odlišný výskyt škodlivých organismů jako jsou škůdci či plevele. Plevelé se díky přístupu světla, které dopadá na půdu, stávají v porostu konkurenceschopnějšími a je třeba volit cílené zásahy v metodách jejich regulace. Další nevýhodou je také vyšší vysychavost půdy. Nemeskéri et al. (2015) však uvádí, že odrůdy hrachů s redukcí listové plochy jsou vůči suchu odolnější než odrůdy s klasickými listy. Je tomu tak především díky snížené transpirační ploše, rychlejší výměně oxidu uhličitého a vyšší schopnosti efektivně využívat vodu.

3.2.3 Botanická charakteristika hrachu setého

Podle Burnhama et al. (2013) rostliny hrachu dorůstají 1 – 2 m v závislosti na druhu. Lodyha hrachu je poléhavá se složenými střídavými listy. Některé terminální listy jsou přeměněné v úponky a palisty. Hrách kvete v hroznech. Květy v hroznu jsou pětičetné se srostlým zeleným kalichem a bílou nebo fialovou korunou tvořenou pavézou, dvěma křídly a člunkem. Semeník je svrchní. V květu se nachází 9 nitkami srostlých tyčinek a 1 volná tyčinka. Lahola et al. (1990) uvádí, že délka lodyhy dosahuje u zakrslých odrůd kolem 0,2 m. U běžných forem hrachu až 2 m, někdy i více. Lodyha je podle něj většinou lysá, nezřetelně hranatá, poléhavá nebo vystoupavá. Listy jsou sudozpeřené, vejčité nebo oválné. V paždí řapíku listů se nachází palisty srdčitého, polosrdčitého nebo čárkovitého tvaru. Listy i palisty mohou mít voskovou vrstvu. Běžné jsou ve žlutozelené, tmavě zelené, šedo-zelené až modrozelené barvě. Květenství bývá párové a objevuje se na rostlině odspodu směrem nahoru. Kalich je pěticípý, koruna velká. Pavéza a křídla jsou bílá.

Plodem hrachu jsou lusky. Doruřková (2010) tvrdí, že v lusku se nachází 3 – 10 semen. Starší zdroj, jehož autorem je Lahola et al. (1990) zmiňuje počet 3 – 11 semen v jednom hrachovém

lusku. Dále také uvádí, že je 40 – 90 mm dlouhý, 11 – 18 mm široký a může se vyskytovat v různých tvarech. Nejčastěji rovný či prohnutý, tupě či ostře zakončený. Semeno je kulovité, oválného tvaru. Povrch semene může být hladký nebo s nerovnostmi. Barva je dána tloušťkou a průsvitností osemení.

Výrazné změny oproti původním odrůdám hrachu byly docíleny pomocí šlechtitelských procesů. Byly tak získány například genotypy bezlístkové, mnohalístkové, s redukovanými palisty, fascinovanou lodyhou a nahloučeným květenstvím. Dále vícekvěťé odrůdy se 3 – 7 květy v hroznu nebo s namáčklými, slepenými semeny či přirostlým poutkem, díky němuž semena při luštění nevypadávají z lusku (Lahola et al. 1990).

3.2.4 Zemědělská charakteristika a nároky hrachu setého

Podle ÚKZÚZ (2019) jsou v současnosti výchozí kritéria pro hodnocení odrůd hrachu výnos semene, odolnost proti poléhání, odolnost proti napadení komplexem kořenových chorob, aktivita trypsin-inhibitoru a velmi důležitý je také obsah dusíkatých látek. Nejen za pomoci těchto kritérií je každoročně zpracováván a vydáván Seznam doporučených odrůd hrachu a jiných plodin pro pěstování v ČR. Doporučené odrůdy hrachu pro rok 2021: viz tabulka níže (Tab. 1).

Tab. 1: Seznam doporučených odrůd hrachu polního pro rok 2021 s popisem některých významných hospodářských vlastností (upraveno dle: ÚKZÚZ 2021)

název doporučené odrůdy	barva semene	tvar semene	rok registrace
Abarth	žlutá	oválný	2013
Astronaute	žlutá	válcovitý	2014
Audit	žlutá	oválný	2010
Avatar	žlutá	válcovitý	2018
Boxer	žlutá	válcovitý	2015
Eso	žlutá	oválný	2012
Gambit	žlutá	oválný	2011
Impuls	zelená	válcovitý	2014
Lump	žlutá	válcovitý	2016
Salamanca	žlutá	oválný	2011
Saxon	žlutá	válcovitý	2019
Trendy	žlutá	oválný	2016

Hrách obecně obsahuje asi 20 – 25 % dusíkatých látek a kolem 50 % škrobu. Biologická hodnota bílkovin je průměrná. Nadprůměrný je však například vysoký obsah esenciální aminokyseliny lysin, která je využívána k doplnění krmných směsí. Z vitamínů jsou nejvíce zastoupeny vitamíny skupiny B. V nezralých semenech se nachází také vitamín C (Tichá & Vyzinová 2006).

Petríková et al. (2012) uvádí, že hrách se řadí mezi chladuodolné zeleniny a je schopen klíčit při teplotách od 1 °C. Vegetační fáze rostlin začíná tehdy, když teploty stoupnou nad 4 °C a neustává ani pokud teploty klesnou až na -5 °C. Mráz však většina odrůd snáší pouze krátkodobě, delší působení se stává letálním. Dřeňové hrachy nebo mladé rostliny jsou citlivější

a snaží mráz hůře. Z pohledu tvorby výnosu jsou obecně uváděny jako příznivé podmínky teplé dubnové počasí až do poloviny května s následně chladnějším a vlhkým červnem, který zároveň poskytne kratší přísušky před dobou rozkvětu. Pro opylení se optimální teplota pohybuje kolem 20 °C. Pokud je teplota vyšší než 30 °C dochází k inaktivaci pylových zrn, která následně vede k chabému nasazování lusků. Kvalitní zrna se tvoří při teplotách od 14 do 16 °C. Vegetační doba hrachu se pohybuje podle druhu od 6 do 8 týdnů (Lahola et al. 1990).

Petříková et al. (2012) dále uvádí, že hrách prospívá nejlépe v mírně teplém podnebí. U nás se pěstuje nejčastěji v bramborařské až řepařské výrobní oblasti jako jarní plodina. Vhodná jsou otevřená stanoviště, strukturní půdy dobře zásobené vápníkem. Nevhodné jsou půdy lehké se sklonem k vysychání, na kterých má hrách (za teplého a suchého počasí) tendenci přezrávat. Podle Tiché & Vyzinové (2006) poskytují optimální podmínky půdy vododržné, hlinité až hlinitopísčité s neutrálním pH (6,4). Hrách klíčí hypogeicky, je proto vhodné provádět hlubší výsev (5 – 8 cm). V osevním postupu je nejčastěji řazen mezi dvě obilniny. Nejlepší výnosy dává po hnojené okopanině. Po sobě by neměl být zařazen nejméně čtyři roky, kvůli riziku napadení chorobami a škůdci. Petříková et al. (2012) uvádí z důvodů šíření škodlivých činitelů pěstební rozmezí nejméně 6 let a vhodné pH v příznivějším rozmezí 6,6 – 7,7.

Podle Zemědělských komodit (2021) se musí sít minimálně 3 km od pozemku, kde byl v předchozím roce pěstován hrách. HTS se pohybuje kolem 210 – 320 g. Výsevek činí cca 1 milion klíčivých semen na hektar a průměrný výnos činí 2,5 – 3 tuny na hektar.

Hrách je řazen do III. tratě. Ačkoliv patří mezi plodiny, které jsou ve výživě dusíkem celkem soběstačné, je třeba jej dodávat v dávce 20-40 N kg/ha, a to pouze na začátku vegetace v chladnějším a vlhčích podmínkách, kdy je rostlinou nejlépe využíván. Běžně se pro tuto formu hnojení používá ledek vápenatý nebo ledek amonný s vápencem. Pokud by nastalo přehnojení dusíkem, dojde k redukci aktivity nitrogenních bakterií a fixace vzdušného dusíku, což vede k bujnému růstu, nežádoucímu poléhání porostu a následnému snížení kvality zrn (Petříková et al. 2012).

Fosfor je důležitou živinou ve výživě hrachu, která ovlivňuje vývoj generativních orgánů, jež jsou ve většině případů podstatou pěstování a výnosu luskovin. Výnos a kvalita je také odvislá od optimálního hnojení draslíkem, na který je hrách obzvláště náročný. Nejčastěji jsou voleny síranové formy draselných hnojiv. K chlóru a hnojivům, která jej obsahují je citlivý (Petříková et al. 2012).

Hnojení hrachu fosforem a draslíkem vychází podle portálu Zemědělské komodity (2021) z bilančního vyrovnání těchto elementů, které byly odčerpány při sklizni. Na hektar je běžně aplikováno 300 – 500 kg superfosfátu a 150 – 300 kg 50% draselné soli. Do půdy jsou tato hnojiva zapravována na podzim před orbou nebo na jaře před setím. Má-li být hrách pěstován na slévacích půdách či půdách s pH nižším než 6,2 je třeba na podzim aplikovat 2 t/ha mletého vápence a následně zapravit orbou. Při pěstování hrachu je také žádoucí dodávat prvky jako hořčík, síru a molybden, které jsou nezbytné pro správné fungování fixace dusíku.

3.2.5 Plevelé v luskovinách

Podle Vaculíka (2017) jsou luskoviny plodinami s nižší konkurenceschopností. Porosty luskovin jsou zaplevelovány širokým spektrem plevelů či například výdroly kulturních rostlin jako je řepka olejka, obiloviny a další. V hrachu se nejčastěji vyskytují podobné plevelé jako v porostech jarních obilovin. V největším počtu jsou zastoupeny jednoleté dvouděložné plevelé například merlíky, laskavce, lebedy, peníze rolní, svízel přítula, heřmánkovité plevelé a další. Hojně se v porostech hrachu vyskytují jednoleté dvouděložné trávy – oves hluchý, ježatka kuří noha. Z vytrvalých plevelů pak pcháč oset či pýr plazivý. Tento výčet je omezen na typické druhy, protože zastoupení plevelů je poměrně široké a proměnlivé.

3.2.5.1 Negativní působení plevelů

Mezi rostlinami fungují vztahy, podobně jako v jiných živých společenstvech. Pro pěstitele je plevelem každá rostlina, kterou si nedal za cíl vypěstovat a díky níž se snižuje množství a jakost výnosu. Často jsou plevelé také hostiteli pro choroby a škůdce, jenž se dále šíří po porostu. Ve volné přírodě i na pěstební ploše dochází bez zásahu člověka hned k několika bojovým a obranným pochodům rostlin, které se snaží kvalitně vegetovat a dokončit svůj reprodukční cyklus (Mikulka 2014).

3.2.5.1.1 Konkurence

Jursík et al. (2018) uvádí, že konkurencí se z hlediska regulace plevelů rozumí vztah, kdy účelně pěstovaná kulturní rostlina soupeří s plevelnou rostlinou o možnost využívat stejné zdroje. Oba jedinci (druhy, populace) při snaze o konkurenceschopnost strádají. Čím je zdroj nedostupnější, tím se zvyšuje míra konkurence a např. omezení růstu či schopnost reprodukce rostlin. Konkurence může být symetrická či asymetrická, podle toho jakou měrou jsou účastníci poškozeni.

3.2.5.1.2 Alelopatie

Alelopatie je výrazně asymetrická konkurence dvou jedinců – inhibitora a akceptora. Inhibitor během vegetace uvolňuje tzv. alelopatika, která jsou ve formě kořenových exsudátů šířena do okolního prostředí. Mohou se uvolňovat i při rozkladných procesech po odumření inhibitora. Tyto inhibiční látky pak omezují akceptora v růstu a vývoji. Např. pýr plazivý a pcháč rolní vykazují výrazné alelopatické účinky. Alelopatie může působit nejen ze strany plevelé na plodinu, ale i opačně (Jursík et al. 2018).

3.2.5.1.3 Parazitismus

Parazitismus je vztah mezi hostitelem a parazitem. Parazit je na hostiteli, kterému odebírá vodu, živiny či produkty fotosyntézy, částečně nebo zcela závislý. Ačkoliv ne příliš rozšířeně, některé bobovité plodiny a jeteloviny u nás napadá kokotice evropská a kokotice jetelová (Jursík et al. 2018).

3.2.6 Škůdci hrachu

Již názvem napovídající jsou nejtypičtějšími škůdci hrachu a dalších luskovinách druhy jako zrnokaz hrachový, obaleč hrachový, třásněnka hrachová, plodomorka hrachová či mšice kyjatka hrachová, která působí i jako vektor pro přenos viróz. Mezi časté škůdce patří i listopas čárkovaný, který škodí výrazným žírem (tzv. zoubkováním) (MZe 2019). Ochrana proti těmto škůdcům je v polních podmínkách prováděna zpravidla pomocí chemických přípravků pro regulaci škůdců - insekticidů. Jelikož se spektrum možností použití každoročně mění, je použití insekticidů odvislé od platné Metodiky ochrany rostlin vydávané MZe a Státní rostlinolékařskou správou (Houba et al. 2009).

3.2.7 Choroby hrachu

Podle Houby et al. (2009) se na rostlinách hrachu vyskytují nejčastěji choroby způsobené houbovými patogeny: antraknóza hrachu, sklerotiniová hniloba, kořenová hniloba a usychání (způsobuje komplex půdních patogenů), padlí, plíseň hrachu, rzivost či šedá plísnovitost. Důležitým krokem pro prevenci houbových chorob je dodržování zásad správné agrotechniky, osevního postupu a moření osiva. V konvenčním zemědělství je pak preventivně nebo při prvních symptomech aplikován chemický přípravek na ochranu rostlin před houbovými chorobami – fungicid.

3.3 Metody regulace plevelů

Pokryvnost plevelů v porostu může být pěstitelem výrazně ovlivněna ještě před začátkem pěstování či samotnou potřebou chemické regulace pomocí různých agrotechnických postupů (Prather et al. 2000).

3.3.1 Nepřímé (preventivní) metody

Nepřímými metodami regulace plevelů lze rozumět agrotechnické postupy, které brání růstu a vývoji nežádoucích rostlin navozením podmínek, které nejsou optimální pro uskutečnění jejich životního cyklu (Jursík et al. 2018).

Základní nepřímou metodou je používání osiv a organických hnojiv bez příměsí semen plevelů. Je proto vhodné používat uznané osivo a dobře vyzrálý a profermentovaný hnůj či kompost.

Klíčovým opatřením je dodržování zásad osevního sledu. Výskyt plevelů je totiž vázán na jednotlivé druhy plodin. Pokud by se na pěstební ploše správně nestřídal plodiny z různých čeledí a skupin, vytvořily by se stabilně optimální podmínky pro rozvoj druhů plevelů, které prospívají v dané skupině plodin. Silná plevelná populace s jednodruhovým zastoupením je obtížněji potlačitelná než například podobné množství plevelů v porostu, ale složené z více druhů (Cardina et al. 2002; Jursík et al. 2018).

Jursík et al. (2018) uvádí, že efektivním opatřením může být opožděný výsev, pokud se pěstitel potýká s problémem časně jarních plevelů. Dále lze výskyt plevelů ovlivnit hustotou výsevu. Hustější porost se vyznačuje vyšší mírou konkurenceschopnosti. Zde je třeba se vyvarovat přehustění porostu a tím nežádoucí konkurence mezi jednotlivými rostlinami plodiny.

Dále jako významný prvek nepřímých metod regulace plevelů uvádí zpracování půdy – podmítka, orbu, kypření a operace předseťového zpracování půdy. Podmítkou jsou regulovány plevele, které přečkaly sklizeň. Orba napomáhá vyčerpání půdní zásoby semen plevelům, které zregenerovaly po podmítce. Předseťová agrotechnika kontaktně reguluje plevele již v raném stádiu růstu. Hlubší kypření napomáhá provzdušnění a urychluje mineralizaci, čímž napomáhá rozvoji aerobního půdního edafonu, který narušuje zásobu půdních semen.

Doporučuje i pěstování meziplodin, které zamezí rozvoji plevelů při delším období prázdné plochy, které by nastalo při pěstování hlavních plodin. Barberi & Mazzoncini (2001) doporučují používání krycích plodin.

3.3.2 Přímé metody

3.3.2.1 Mechanické

Podle Mikulky (2004) je mezi mechanické metody regulace plevelů řazena většina zásahů v průběhu vegetace plodiny. Nejběžnější pletí či okopávka se řadí mezi účinné metody, které jsou pracné a tím i finančně náročnější. Lze je uplatnit pouze v menších pěstebních celcích nebo v produkci osiv a sadby. Pro velké pěstební plochy je vhodné použití pleček. Avšak ty lze využívat pouze v širokořádkových plodinách, kde nehrozí vysoké riziko devastace porostu. Pasivní plečky podřezávají půdu v hloubce několika centimetrů a narušují tak kořenový systém plevelů. Rotační plečky aktivně zpracovávají povrch půdy, plevele jsou poškozeny a zapraveny

do půdy (Jursík et al. 2018). Předpokladem pro účinný zásah plečkami je vlhkost půdy. Je-li v den a několik dní po plečkování vlhkost vyšší, dochází k regeneraci a opětovnému zakořenění některých plevelů pro efektivitu je nutné zásah zopakovat. Ve většině případů mechanické postupy nestačí a je třeba je kombinovat s jinými metodami regulace plevelů (Kocourek et al. 2016).

Podle Jursíka et al. (2018) jsou formovány pokrokové systémy, které pomocí senzorů nebo kamer rozpoznají jednotlivé rostliny a prostor mezi nimi pomocí pracovních orgánů vyplejí. Tento proces je však oproti běžnému plečkování zdlouhavý.

Novinkou je tzv. autonomní plecí robot, který pomocí laseru dokáže zlikvidovat více než 100 tisíc rostlin za hodinu. Kamerami robot identifikuje habitus plevele a laserový paprsek degraduje vnitřní pletiva rostlin působením tepelné energie. Následně plevel uhyne (Carbon Robotics 2021).

3.3.2.2 Fyzikální

Jursík et al. (2018) uvádí, že z metod fyzikálních je pro regulaci plevelů nejpoužívanější vystavení vysokým teplotám – tzv. termická metoda. Regulace plevelů je v tomto případě nejčastěji prováděna pomocí plamenových pleček, hořáků, případně solarizací půdy za prostřednictvím mulčovací folie.

3.3.2.3 Chemické

Chemické látky, které blokují fyziologické procesy nezbytné pro normální růst a vývoj rostlin se nazývají herbicidy. Rostliny jsou po aplikaci poškozeny, následně odumírají nebo se zpomalí jejich vývoj a reprodukce (Jursík et al. 2010).

3.3.2.4 Biologické

Alternativní metodou je využití živých organismů, které snižují hustotu plevelné populace. Vybrané organismy v přírodě běžně napadají určité spektrum plevelů či jednotlivé druhy. Tyto organismy (jedná se např. o mandelinku bramborovou) jsou v pěstitelské praxi vědomě využívány. Tato metoda je zdlouhavá a náročná, ale svou spjatostí s integrovaným systémem ochrany rostlin nabízí v dlouhodobém horizontu nejen ekologickou, ekonomickou, ale i etickou možnost regulace plevelů (Kinkorová 2004).

3.4 Herbicidy

Vzhledem k nárůstu populace a tím i vysoké poptávce po potravinách je důležité, aby byly maximalizovány výnosy plodin a posklizňové ztráty co nejmenší. I právě z tohoto důvodu jsou celosvětově využívány pesticidy. Uplatňování široké škály chemických přípravků je v současnosti důležitým aspektem zemědělské praxe ve vyspělých i rozvojových zemích (Al-Saleh 1994).

Herbicidy spadají do velké skupiny pesticidů, což jsou veškeré přípravky, které slouží na ochranu rostlin, ale i např. lidských obydlí a skladových prostor od živočišných či rostlinných škůdců. Herbicidy jsou chemické přípravky specifikovány pro regulaci plevelů. Ačkoliv je celá řada metod, které zajišťují potlačení výskytu plevelů, právě metoda chemického poškození a následného odumření nežádoucích rostlin je finančně méně náročná, než ostatní metody, a to i z důvodu nižších požadavků na lidskou práci (Jursík et al. 2018).

I když je v současnosti používání herbicidů takřka nezbytné, nese s sebou zásadní rizika. Herbicidy při nevhodném zacházení negativně působí na životní prostředí, přímo i nepřímo poškozují zdraví zvířat a lidí. Herbicidní látky nebo jejich metabolity totiž často zůstávají v půdě. Mohou tak kontaminovat nadzemní či podzemní vody a neřádkakdy jsou rezidua těchto látek obsažena v potravinách (Jursík et al. 2018). S novými poznatky ohledně vlivu účinných látek herbicidů dochází k čím dál častějším restrikcím. Neúměrná aplikace chemických regulantů způsobuje rezistenci plevelů vůči účinným látkám, které je poté třeba kombinovat či zvyšovat dávky. Je třeba proto pečlivě zvážit, kdy je na místě je použít. (Cobb & Reade 2010).

Plevele se vyskytují prakticky v každém porostu a jsou běžnou součástí agroekosystému. Pokud se vyskytují v nízkých hustotách je zbytečné neprodleně aplikovat herbicidy. V praxi je tedy třeba stanovit hranice, kdy mohou plevele negativně ovlivnit výnos a zdraví porostu. K tomuto účelu byly stanoveny tzv. prahy škodlivosti. Jejich hodnota udává, při jaké hustotě výskytu určitého plevelného druhu začíná docházet k negativnímu ovlivnění výnosu plodiny. Ekonomickým prahem škodlivosti je označována hustota výskytu populace určitého druhu plevele, při které se výnosová ztráta způsobená tímto plevelem rovná nákladům na jeho regulaci. Pokud výskyt plevelného druhu překročí ekonomický práh škodlivosti, je výhodné provést regulační zásah proti plevelům. Ekonomický práh škodlivosti je variabilní z důvodu proměnlivé situace ceny herbicidů, jejich aplikace a ceně plodiny na trhu. Proto je třeba brát v úvahu pokryvnost plevele a další aspekty, které rozhodnou o realizaci zásahu. Celková pokryvnost plevele v plodině by neměla přesáhnout 5 – 10 % (Jursík et al. 2018).

3.4.1 Selektivita herbicidů

Základní rozdělení herbicidů spočívá v jejich selektivitě. Totální herbicidy (např. veřejnosti známý Roundup) poškozují všechny rostliny. Herbicidy selektivní mají negativní vliv pouze na určité druhy rostlin, aniž by poškodily jiné. Hlavní mechanismus selektivity herbicidů spočívá v rozdílném principu metabolismu plodiny a plevelu (Carvalho et al. 2009).

Jursík et al. (2018) uvádí, že míru selektivity lze vyjádřit pomocí kvocientu selektivity (Q_s), který je dán poměrem mezi dávkou herbicidu, jenž poškodí 10 % plodiny a zároveň zreguluje 90 % plevelu.

$$Q_s = \frac{ED_{10 \text{ plodina}}}{ED_{90 \text{ plevel}}}$$

3.4.2 Formulace herbicidů

Z praktických důvodů musí být různé účinné látky herbicidů formulovány do určitého skupenství pomocí inertních chemických složek. Při formulaci je kladen důraz na fyzikálně-chemické vlastnosti účinné látky, usnadnění dávkování, mísitelnost s dalšími pesticidy, zvýšení stability při skladování, zlepšení dispergačních vlastností a v neposlední řadě minimalizace toxicity herbicidu pro životní prostředí. Spojení formulačních a účinných látek vytváří tzv. formulační typ přípravku (Jursík et al. 2018).

Tominack & Tominack (2000) uvádí, že při aplikaci formou listového postřiku jsou často využívány kapalné formulace jako jsou roztoky, emulgovatelné či suspenzní koncentráty a gely. Nosičem kapalných formulací je voda, olej či jiné organické rozpouštědlo. Pevné formulace zahrnují vodou smáčitelné prášky, vodorozpustné prášky, granule dispergovatelné ve vodě či granule, které se přímo aplikují mělkým zapravením do půdy. Rozpuštěním kapalné či pevné formulace ve vodě vzniká tzv. postřiková jícha (Jursík et al. 2018).

3.4.3 Příjem herbicidů rostlinou

3.4.3.1 Translokace

Herbicidy, které se v rostlině nepohybují (netranslokují) se nazývají kontaktní. Podle Jursíka et al. (2018) působí pouze v místě kontaktu herbicidu s rostlinou, kde dojde k praskání buněčných membrán. Následně začnou zasažená pletiva hnědnout a zasychat.

Je-li aplikován na nadzemní část porostu systémový herbicid, dochází k pohybu herbicidu v rostlině. Účinná látka se dostane do stonků a kořenů, a je tak v ideálním případě zajištěno odumření celé rostliny (Baumann et al. 2021).

3.4.3.2 Způsob účinku

Herbicidy zapříčiňují poškození rostlin mnoha různými způsoby. Pochopení mechanismů a důsledků působení herbicidů je nezbytné pro jejich klasifikaci, hierarchii a organizaci. V mnoha případech také poskytuje vhled do principů vzniku rezistence (Sherwani et al. 2015).

3.4.3.2.1 Regulátory růstu (syntetické auxiny)

Das & Mondal (2014) uvádí, že herbicidy pro regulaci růstu jsou schopny listové i kořenové absorpce. Pohybují se floémem i xylémem. Syntetické auxiny napodobují přirozené růstové hormony a způsobují fytohormonální nerovnováhu. Růstové hormony regulují růst a diferenciaci buněk, syntézu proteinů a buněčné dělení. Principem syntetických auxinů je zprvu zvýšená růstová aktivita, která zhruba během 10 dnů vyčerpá buněčné zásoby natolik, že rostlina zdeformuje, nekrotizuje a následně zcela odumře (Jursík et al. 2018).

3.4.3.2.2 Inhibitory fotosyntézy

Podle autorů Das & Mondal (2014) jsou herbicidy obsahující inhibitory fotosyntézy absorbovány kořeny či výhonky rostlin, translokovány jsou pouze xylémem. Tyto herbicidy inhibují fotosyntézu vazbou na Q protein a inhibicí elektronového transportního řetězce, což má za následek zastavení fixace CO₂ a produkci NADPH a ATP v buňkách. Po aplikaci začne být patrná chloróza a nekróza. Příčinou odumření rostliny není nedostatek cukrů, jak by se mohlo zdát. Hlavním důvodem je desikace pletiv (Jursík et al. 2018).

3.4.3.2.3 Inhibitory vzcházení

Inhibitory vzcházení patří k půdním herbicidům. Aplikují se preemergentně, tedy ještě před vzejitím plodin a potencionálních plevelů. Jsou translokovány prostřednictvím xylému. Hlavním místem působení je meristematická oblast kořene a výhonků, kde je inhibováno dělení a růst rostlinných buněk, což v důsledku vede k neschopnosti rostliny vzejít a řádně vegetovat (Das & Mondal 2014).

3.4.3.2.4 Inhibitory syntézy porfyrinů (PPO)

DeFelice (2021) uvádí, že PPO inhibitory - degradanty buněčných membrán jsou používány jako preemergentní i postemergentní herbicidy. Translokovány jsou výhradně xylémem. Jejich působením nedochází k syntéze porfyrinů, které jsou pro rostlinu potřebné při transformaci sluneční energie (Jursík et al. 2018). Během několika dnů dojde ke chlorózám, hnědnutí a nekrotázám rostliny. Následně rostlina vyschne a odumře (DeFelice 2021).

3.4.3.2.5 Inhibitory syntézy lipidů

Tyto herbicidy jsou absorbovány listy a translokovány floémem do meristematických oblastí rostliny. Po aplikaci dochází k inhibici tvorby mastných kyselin, které jsou nezbytné pro tvorbu rostlinných lipidů. Lipidy jsou důležité pro integritu buněčných membrán. Symptomy poškození se rozvíjejí 7-10 dní. Nejprve jsou viditelné na mladých listech, na starších listech jsou projevy patrné až později. Rostlina antokyanizuje, následně hnědne a odumírá (University of Minesota Extension 2018).

3.4.3.2.6 Inhibitory syntézy aminokyselin

Das & Mondal (2014) uvádí, že inhibitory syntézy AMK jsou absorbovány nadzemní i podzemní částí rostlin a translokovány jsou jak floémem, tak xylémem. Působí v chloroplastech, kde se nachází cílové enzymy této skupiny herbicidů (Jursík et al. 2018). Aminokyseliny jsou nezbytné pro syntézu bílkovin a další metabolické pochody rostlin. Symptomy poškození je zakrnění rostlin, chloróza a nekróza (Das & Mondal 2014).

3.4.4 Herbicidní látky pyroxsulam a aminopyralid

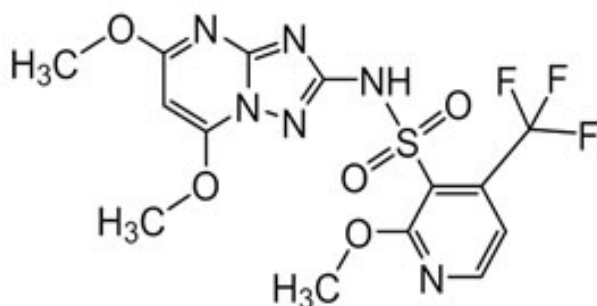
3.4.4.1 Pyroxsulam

Pyroxsulam je moderní herbicid registrovaný v roce 2008. Je řazen do herbicidní skupiny ALS inhibitorů a chemické skupiny triazolových pyrimidinů. Pyroxsulam je distribuován v pevném skupenství.

Bod tání: 208,3 °C. Molekulová hmotnost: 434,35 g/mol. Rozpustnost ve vodě s pH 7 = 3,2 g/l. Pyroxsulam se používá postemergentně k regulaci širokého spektra trav a širokolistých plevelů v pšenici. Ošetření se provádí na podzim nebo na jaře ve fázi 3 listů (US EPA 2005).

Podle Jursíka et al. (2018) spadá pyroxsulam do skupiny herbicidů, které inhibují syntézu aminokyselin. Poločas rozkladu v půdě za laboratorních aerobních podmínek uvádí 3 dny. Těkavost (tlak par) při 25 °C je nízká – 0,001 mPa. Podle Freundlichova adsorpčního koeficientu $K_{FOC} = 28$ vykazuje vysokou intenzitu sorpce na organických površích. Pro včely a ryby je tento herbicid středně toxický.

V ČR je obsažen v přípravcích Ataman, Avoxa, Hurricane, Corello a Orcane (Agromanual 2021).



Obr. 1: Strukturální vzorec pyroxsulamu

Autor: Pharmaffiliates (2021a)

Přípravek Corello, který byl v experimentech použit, spojuje účinnou látku pyroxsulam a adjuvant cloquintocet-mexyl, který snižuje riziko fytotoxicity. Dále obsahuje přídatné látky: kaolín, lignosulfonan sodný, ureu, kyselinu citrónovou, sodium N-methylN-oleoyltaurine, oxid titaničitý a quartz. Registrantem je Dow AgroSciences s.r.o. Přípravek Corello je doporučen pro použití v pšenici, žitě a tritikale, maximálně jedenkrát ročně. Po aplikaci přípravku Corello je vhodné dle doporučení vysévat hrách až na jaře následujícího roku a déle.

Účinný je na tyto plevely: chundelka metlice, heřmánkovec přímořský, svízel přítula (pouze při podzimní aplikaci), výdrol řepky, violka rolní, kokoška pastuší tobolka, penízek rolní, ptačinec žabinec, rozrazil perský, sverep jalový.

Přípravek Corello se aplikuje postemergentně ve 200-300 l vody/ha, na podzim nebo na jaře od fáze 3. listu obilniny do fáze 2. kolénka (BBCH 13–32). Optimální fáze plevelů pro aplikaci je při 2–10 pravých listech (BBCH 12–19) (Agromanual 2021).

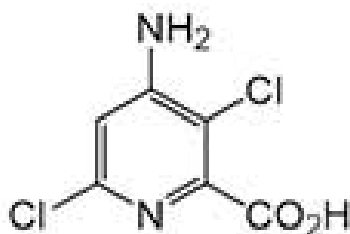
3.4.4.2 Aminopyralid

Aminopyralid je poměrně nový systémový herbicid na bázi pyridin-karboxylové kyseliny registrovaný v roce 2005. Aminopyralid je dostupný ve formě bílého prášku bez zápachu.

Bod tání: 161,75 – 165,23 °C. Molekulová hmotnost: 207,016 g/mol. Rozpustnost ve vodě s pH 7 = 205 g/l. Je určen pro použití v porostech obilnin (pšenice), píce a trvalých travních porostů. Používá se postemergentně k regulaci širokého spektra jednoletých, dvouletých a vytrvalých plevelů (US EPA 2005).

Podle Jursíka et al. (2018) patří aminopyralid do skupiny regulátorů růstu (syntetických auxinů). Poločas rozkladu v půdě za laboratorních aerobních podmínek uvádí 55 dní. Těkavost (tlak par) při 25 °C je nízká – 0,001 mPa. Podle Freundlichova adsorpčního koeficientu $K_{ROC} = 8,3$ vykazuje poměrně vysokou intenzitu sorpce na organických površích. Pro včely a ryby je tento herbicid středně toxický. Hefferty (2019) uvádí, že v mulčované slámě trvá rozklad aminopyralidu přibližně 12- 15 měsíců.

V ČR je aminopyralid obsažen v přípravcích Blast, Bonaxa, Galera Podzim, Hurricane, Kantor Plus, Metazamix, Mustang Forte (Agromanual 2021).



Obr. 2: Strukturní vzorec aminopyralidu

Autor: Pharmaffilates (2021b)

Přípravek Mustang Forte, který byl v experimentech použit, spojuje tři účinné látky - aminopyralid, florasulam a 2,4 D.

Registrantem je Dow AgroSciences s.r.o. Mustang Forte je doporučen pro použití v ječmeni jarním a ozimém, ovsu setém, pšenici jarní a ozimé, triticales ozimém a žitu ozimém. Povolena je pouze jedna aplikace ročně.

Mustang Forte je vhodný pro postemergentní regulaci těchto plevelů: heřmánkovec přímořský, kokoška pastuší tobolka, penízek rolní, ptačinec žabinec, pcháč oset, svízel přítula, violka trojbarevná, violka rolní, výdrol řepky, merlík bílý, pohanka svlačcovitá, rdesno červivec.

Optimální fáze plevelů při aplikaci: 2–10 pravých listů (BBCH 12–19), violky a merlík bílý do 6 pravých listů (BBCH 16), rdesno červivec a pohanka svlačcovitá do 4 pravých listů (BBCH 14). Slámu z ošetřených porostů není vhodné kompostovat. Luskoviny a další citlivé plodiny je doporučeno pěstovat až po uplynutí 24 měsíců od aplikace přípravku a nepěstovat na pozemcích, kde byl použit hnůj od zvířat podestýlaných slámou z porostů ošetřených přípravkem Mustang Forte z důvodu výskytu reziduí (Agromanual 2021).

Výzkum Singha et al. (2019) potvrzuje, že aplikace aktivního uhlí snižuje poškození některých rostlin, která byla způsobená aminopyralidem, aminocyklopyrachlorem či pikloramem.

Podle Perspectives in Public Health (2009) nejsou produkty plodin hnojených organickými hnojivy, která obsahují rezidua herbicidu aminopyralid zdraví škodlivá.

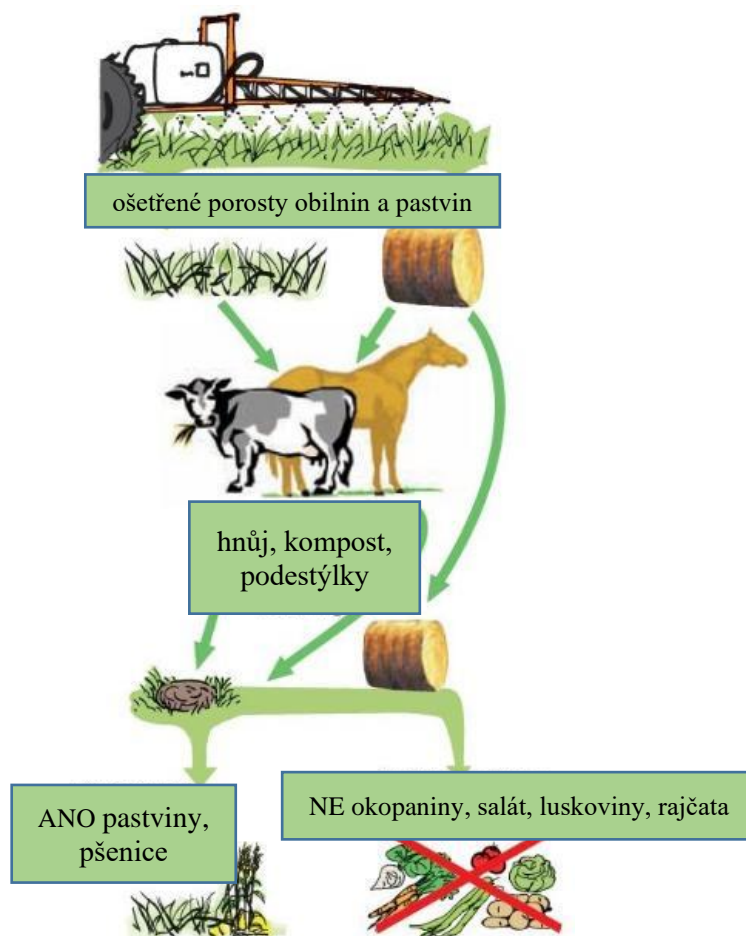
3.5 Sláma - součást agroekosystému s rizikem kontaminace půd

Podle Khan & Mubeen (2012) je sláma zemědělský vedlejší produkt z vymláčených plodin, především obilnin. Pšeničná sláma (*Triticum aestivum* L.) sestává hlavně z vyschlých stébel a listů a obsahuje asi 80 – 82 % organických látek. Je v ní obsažena celulóza, hemicelulóza, proteiny, lignin, popel a další látky. Z živin je nejbohatší na draslík. Obsah živin, organických a dalších látek ve slámě je značně závislý na stanovišti, odrůdě, hnojení, době setí a kvalitě agrotechniky, povětrnostních podmínkách a v neposlední řadě na předplodině. Pšeničná sláma se používá jako krmivo a podestýlka pro hospodářská zvířata, nastýlka jahod, biopalivo, stavební materiál, pěstební médium pro houby a organické hnojivo. Sláma významně ovlivňuje půdní úrodnost a zvyšuje obsah humusu v půdě (Mendelova univerzita v Brně 2022).

Neznámý autor ve vědeckém časopise *Perspectives in Public Health* (2009) uvádí, že kontaminovaná sláma se k plodinám a do půdy může dostat prostřednictvím provázaného hospodaření se zvířaty se zemědělskou produkcí. Často se kontaminovaná sláma v domnění, že se jedná o neošetřenou slámu používá jako nastýlka pro zvířata. Ta se pak nechá ve formě mrvy zrát a humifikací a mineralizací vznikne hnůj. Dalším možným způsobem, jak se sláma obsahující rezidua herbicidů může k pěstovaným plodinám dostat je skrze zaživací trakt hospodářských zvířat, která zkrmila slámu či seno z ošetřených polí. Hnůj, který se poté používá jako hnojivo obsahuje rezidua herbicidů a může poškodit citlivé plodiny. Provedené studie, které zkoumaly stabilitu herbicidu aminopyralid ve slámě a seně ukázaly, že aminopyralid zůstává stabilní po dobu nejméně 17 měsíců. Vzorky byly uchovány při teplotě -20 °C (Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority 2006).

Podle Ma (2005) bylo v pšenici seté (*Triticum aestivum* L.) identifikováno mnoho alelopatických látek, které jsou řazeny především do kategorií fenolových kyselin, hydroxamových kyselin a mastných kyselin s krátkým řetězcem. Alelopatická schopnost pšenice nevykazuje pouze negativní vliv na plodiny, ale i na nežádoucí rostliny a patogeny. Ve šlechtitelství pšenice a výzkumu těchto účinků je potřeba dalších studií, aby byl maximalizován potenciál, který může být užitečný při regulaci plevelů, škůdců a chorob. I tímto způsobem je možné do budoucna zúžit rozsah aplikace pesticidů (Wu et al. 2006).

NAKLÁDÁNÍ SE SLÁMOU A HNOJEM



Obr. 3: Obrázek prezentující možnosti nakládání s hnojem, kompostem, slámou či senem, které pochází z porostů obilnin a píce ošetřených herbicidem aminopyralid.
Upraveno dle: Corteva Agriscience (2021)

3.6 Poškození plodin

3.6.1 Poškození herbicidy

Jursík et al. (2018) uvádí, že při aplikaci herbicidů je třeba dodržovat zásady, které minimalizují riziko poškození pěstovaných plodin.

Podle Kulované (2001) patří mezi podmínky ovlivňující fytotoxicitu plodin a zároveň efektivitu regulačního opatření:

- optimální dávkování a výběr herbicidu
- vhodná formulace
- vhodné povětrnostní podmínky (před, během i po aplikaci)
- technický způsob aplikace a agrotechnika
- vývojová fáze plodiny a její fyziologický stav
- odrůdová citlivost plodiny na herbicidy

3.6.1.1 Přímé poškození

Přímé poškození plodin vzniká při předávkování, úletu, tékání či splavení herbicidu, záměny účinných látek nebo nedodržení optimálních podmínek pro aplikaci (Kulovaná 2001). Mezi povětrnostní faktory ovlivňující působení herbicidů patří déšť, vlhkost vzduchu a půdy, sluneční záření, teplota vzduchu a půdy a proudění vzduchu. Vysoká intenzita slunečního záření společně s vyšší teplotou a půdní vlhkostí souvisí s rostoucí účinností herbicidů (Jursík et al. 2018).

3.6.1.2 Nepřímé poškození

Plodiny lze nepřímo poškodit vlivem působení reziduí herbicidů, které zůstanou v půdě po aplikaci k předplodinám (Kulovaná 2001). Často dochází k fytotoxicitě plodin i prostřednictvím kompostu, hnoje, slámy či sena. Obilniny jsou ve většině případů ošetřovány herbicidy k regulaci dvouděložných plevelů. Obilné a pícninářské produkty pocházející z konvenčního pěstování obsahují rezidua herbicidů, jenž mohou mít druhotný fytotoxický efekt na plodiny, ke kterým jsou ve formě organických hnojiv či nastýlek přidávány (Ferrell et al. 2020).

3.6.2 Poškození adjuvanty

Hrách a další plodiny mohou být poškozeny také adjuvanty. Adjuvanty jsou látky upravující vlastnosti postřikové jíchy vedoucí k vyšší efektivitě herbicidního ošetření. Adjuvanty mohou být dostupné samostatně jako smáčedla, adhezivní přísady, olejové adjuvanty či hnojiva. Často jsou přímou součástí herbicidního přípravku. Do této skupiny patří emulgátory, zvhčující látky, barviva, protiúletové látky, pěnicí a protipěnicí látky, zahušťovadla a další. Při nevhodném výběru je snížena selektivita herbicidu k plodině. Dochází k poškození povrchových struktur listů rostliny, které se stávají vstupní bránou pro patogeny. Nezřídka adjuvanty způsobí přímo projevy fytotoxicity (Jursík et al. 2018).

3.6.3 Projevy poškození hrachu

Kulovaná (2001) uvádí, že hrách je plodinou citlivou k herbicidům. Symptomy fytotoxicity hrachu způsobené půdními herbicidy jsou zpomalený vývoj, nevyvinuté či poškozené listy až odumření. Podle Washington State University (2003) dochází u rostlin z čeledi *Fabaceae*, které jsou vystaveny působení reziduí herbicidů k symptomům od mírného prohýbání, svinování a kroucení listů, zkadeřených děložních listů a pravých listů, křivých nebo ohnutých stonků, ztráty apikální dominance, do závažných případů omezeného klíčení, inhibice vývoje listů či úplnému zastavení růstu rostlin. Washington State University (2011) dále uvádí, že hrách poškozený herbicidy s obsahem syntetických auxinů vykazuje nižší, nekvalitní nebo téměř žádný výnos. Poškození reziduí aminopyralidu v organickém hnojivu se v experimentu projevilo zakrněním rostlin a svinováním listů. Experiment Wágnera a Nádasy (2006), který zkoumal pět herbicidů s různými mechanizmy působení na hrách setý zahradní odrůdy Petit Provençal ukázal, že herbicidy mohou výrazně ovlivňovat hmotnost biomasy hrachu, podíl sušiny a délku kořenů. Dále byly pozorovány retardace růstu a závažné symptomy fytotoxicity.

4 Metodika

4.1 Experimenty ověřující působení pyroxsulamu a aminopyralidu na rostliny hrachu setého

Experimenty jsou založeny na substrátové aplikaci herbicidů s různým obsahem účinných látek pyroxsulam a aminopyralid a výluhů z pšeničné slámy (*Triticum aestivum* L.), která byla při pěstování herbicidy s těmito účinnými látkami ošetřena. Cílem je prostřednictvím experimentu typu bioassay zjistit, jakým způsobem a v jaké míře mají herbicidní účinné látky aplikované v čisté formě či herbicidním přípravku a rezidua těchto látek obsažených ve slámě vliv na růst a vývoj rostlin hrachu setého zahradního. Tyto experimenty simulují v částečně řízených podmínkách působení herbicidů v agroekosystému.

Pro všechny pokusy byl použit Profesionální rašelinový substrát RS2 z bílé a černé rašeliny a jílu s upravenou reakcí s následujícími parametry:

- obsah základních živin a stopových prvků v chelátové formě
- N 200 – 500 mg/l, P₂O₅ 130 – 350 mg/l, K₂O 340 – 900 mg/l
- pH 5,5 – 6,5
- spalitelný podíl min. 40 %
- částice nad 20 mm max. 1 %
- elektrická vodivost max. 1 mS/cm

4.1.1 Zázemí

Experimenty byly realizovány na půdě ČZU v Praze v laboratořích a ve sklenicích Demonstračního a experimentálního pracoviště FAPPZ. U každého pokusu jsou konkretizovány parametry pěstebního prostředí.

4.1.2 Charakteristika odrůd hrachu vybraných pro experiment

Semena hrachu setého dodala společnost SEMO a.s. Různé odrůdy hrachu mají odlišný práh reaktivity na působící vlivy, proto byly pro objektivní výsledky zvoleny 4 odrůdy, které mají rozdílné morfologické a fyziologické vlastnosti.

4.1.2.1 Oskar

Hrách setý dřevný Oskar je běžnou ranou odrůdou s dobrými výnosy. Porost dosahuje výšky 60-80 cm. Lusk je dlouhý zhruba 10 cm, ostře ukončený, prohnutý. V lusku se nachází 10 – 12 zrn. Zrna jsou velká, tmavě zelená. Semena jsou vhodná pro mražení a konzervaci. HTS 220 g (Semo a.s. 2021).

4.1.2.2 Kudrnáč

Hrách setý dřevný Kudrnáč je odrůda hrachu bezlistého tzv. afile typ. Listy jsou přeměněny v úponky, které se zachytí do sebe a porost nepoléhá. Výška porostu se pohybuje kolem 60-70 cm. Listy jsou zřetelně panašované. Lusk je dlouhý, prohnutý, ostře zakončený. V lusku se nachází 8 – 9 středně velkých tmavých zrn. HTS je 180 g (Semo a.s. 2021).

4.1.2.3 Johan

Hrách setý dřevný Johan je středně raná odrůda s vyššími výnosy, která sklizňově navazuje na odrůdu hrachu Oskar. Výška porostu dosahuje 60-70 cm. Lusk je dlouhý, rovný a ostře zakončený. V lusku je průměrně 7-8 kusů velkých zrn. Je rezistentní k padlí hrachovému, fusáriovému vadnutí a k virové mozaice hrachu - PSbMV (Pea Seed-borne Mosaic Virus). HTS 200 g (Semo a.s. 2021).

4.1.2.4 Vladan

Hrách setý dřevný Vladan je raná odrůda s výškou porostu kolem 65-75 cm. Ze sortimentu firmy SEMO a.s. má největší zrno. Lusk je 7 cm dlouhý, tupě ukončený se 7 – 8 tmavě zelenými zrny. Díky silnější lodyze, tmavým listům a bohatému kořenovému systému je vhodný pro pěstování v suchých oblastech. Podává stabilní výnos i v nepříznivých podmínkách. HTS 210 g (Semo a.s. 2021).

4.1.3 Založení a průběh experimentů

4.1.3.1 Pokus 1 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello)

4.1.3.1.1 Technické zázemí a materiály

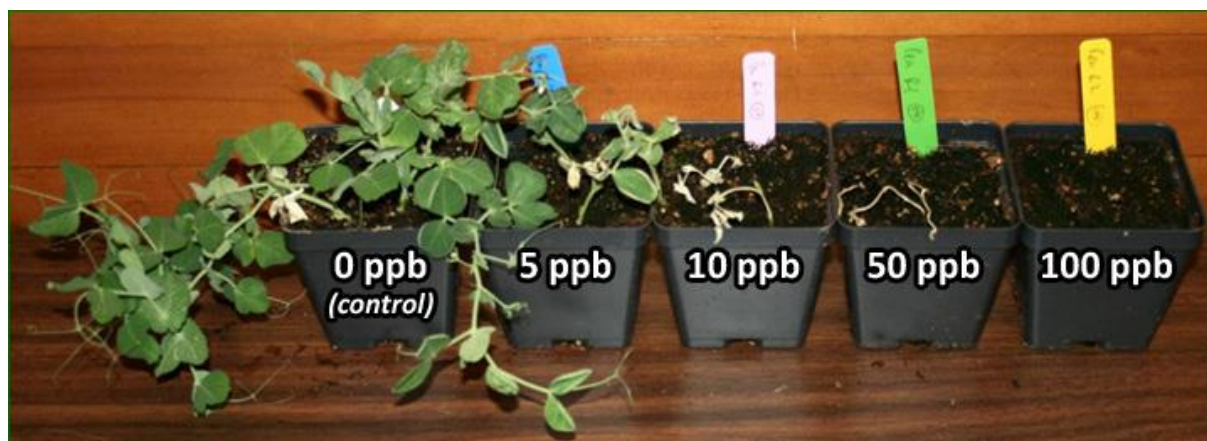
Pokus 1 probíhal v částečně řízených podmínkách v prostorách Demonstračního a pokusného skleníku ČZU v Praze. Při pěstování byla regulována teplota (25 °C) a pomocí klimatizační jednotky, topení a množství světla prostřednictvím stropních stínidel. Jako cíl pokusu 1 bylo stanoveno určení přibližného množství účinných látek aminopyralid a pyroxsulam pro viditelné ovlivnění a zhodnocení růstu a vývoje rostlin hrachu setého.

Potřebné materiály: voda destilovaná, aminopyralid (Shanghai Tianfu Chemical Ltd. – China), přípravek Corello (Dow AgroSciences s.r.o.), nádoby na roztoky, odměrný válec, váha, hrnky 9x9 cm, podmisky, substrát RS2, osivo, popisovač

4.1.3.1.2 Postup

Použité koncentrace aminopyralidu pro tento experiment byly připraveny na základě metodiky experimentu typu bioassay Washington State University (2011), který zkoumal vliv aminopyralidu na rostliny hrachu v následujících koncentracích: viz Obr. 4.

Jelikož dle jejich výsledků koncentrace 100 ppb vykazovala letální účinky, byly pro detailnější výsledky tohoto diplomového experimentu použity následující koncentrace: 2 ppb, 5 ppb, 10 ppb, 25 ppb, 50 ppb.



Obr. 4: Koncentrace aminopyralidu prezentované v experimentu Washington State University
 Autor: Washington State University (2011)

Účinná látka pyroxsulam, byla pro tento pokus dostupná nikoliv v čisté formě, ale v přípravku Corello (viz kapitola 3.4.4.1). Na základě tabulky dávkování v experimentu Chhokara (2019) – širokospektrální regulace plevelů v pšenici pomocí tank-mix kombinace herbicidů pyroxsulamu a sulfosulfuronu byly připraveny podle přepočtu z upravených dávek v jednotkách g/ha (0, 3, 6, 12, 24, 48 g/ha) následující koncentrace: 10 ppm, 20 ppm, 40 ppm, 80 ppm, 160 ppm.

Tab. 2: Dávky herbicidů v experimentu zabývajícím se regulací plevelů v pšenici
 Upraveno dle: Chhokar 2019

herbicid	dávka (g/ha)
isoproturon	0, 250, 500, 1000, 2000, 4000
clodinafop	0, 15, 30, 60, 120, 240
sulfosulfuron	0; 3,125; 6,25; 12,5; 25; 50; 100
pyroxsulam	0, 9, 18, 36, 72

Tab. 3: Dávky čistých účinných herbicidních látek aminopyralid a pyroxsulam použité v diplomovém experimentu s hrachem setým

aminopyralid (ppb):	pyroxsulam (ppm):
K 0 ppb	K 0 ppm
1. 2 ppb (0,002 mg/l)	1. 10 ppm (10 mg/l)
2. 5 ppb (0,005 mg/l)	2. 20 ppm (20 mg/l)
3. 10 ppb (0,01 mg/l)	3. 40 ppm (40 mg/l)
4. 25 ppb (0,025 mg/l)	4. 80 ppm (80 mg/l)
5. 50 ppb (0,05 mg/l)	5. 160 ppm (160 mg/l)

Tab. 4: Vysvětlení zkratk herbicidního ošetření aminopyralidem pro orientaci v grafech

zkratka ošetření	koncentrace herbicidní látky
aminop. 1	2 ppb (0,002 mg/l)
aminop. 2	5 ppb (0,005 mg/l)
aminop. 3	10 ppb (0,01 mg/l)
aminop. 4	25 ppb (0,025 mg/l)
aminop. 5	50 ppb (0,05 mg/l)

Tab. 5: Vysvětlení zkratk herbicidního ošetření pyroxsulamem pro orientaci v grafech

zkratka ošetření	koncentrace herbicidní látky
pyroxs. 1	10 ppm (10 mg/l)
pyroxs. 2	20 ppm (20 mg/l)
pyroxs. 3	40 ppm (40 mg/l)
pyroxs. 4	80 ppm (80 mg/l)
pyroxs. 5	160 ppm (160 mg/l)

Po naplnění pěstebních nádob 130 g substrátu byla provedena zkouška nasákavosti. Po malých částech byla do substrátu odměrným válcem vlévána voda, jakmile substrát propustil první kapku vody, byla zaznamenáno množství a udáno jako maximální objem, který je substrát schopen pojmout. Tato zkouška byla provedena na 50 hrncích a hodnoty byly zprůměrovány. Na 130 g substrátu RS2 průměrně připadlo 150 ml vody. Zkoušené herbicidy byly naváženy a protřepány v odpovídajícím množství destilované vody a uloženy na chladné a temné místo.

Po této zkoušce a přípravě roztoků byl proveden výsev semen hrachu zahradního. Vyseto bylo 12 semen od každé odrůdy (4) pro každou koncentraci (5) a kontrolu - pro aminopyralid a stejně i pro pyroxsulam (Corello). V jednotlivých hrncích byla vždy 4 semena stejné odrůdy. Celkem bylo vyseto 576 ks semen hrachu, 144 ks od každé odrůdy. V objemu nasákavosti substrátu (150 ml) byly pomocí odměrného válce aplikovány roztoky různých koncentrací aminopyralidu, přípravku Corello a destilované vody v kontrolní variantě.

Datum založení experimentu: 14. 4. 2021.

Po aplikaci roztoků byly hrnky pravidelně zalévány do podmisek. Kontroly a zálivka proběhla v těchto datech:

- 17. 4. 2021
- 19. 4. 2021
- 23. 4. 2021
- 30. 4. 2021

Jelikož ani po dvou týdnech nevzešly žádné rostliny z ošetřených hrnků, ale u kontrolní varianty zalité čistou vodou proběhl běžný proces vzcházení a vegetace, byl k 30. 4. 2021 pokus zlikvidován.

4.1.3.2 Pokus 2 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello)

4.1.3.2.1 Technické zázemí a materiály

Pokus 2 probíhal opět v částečně řízených podmínkách v prostorách kóje Demonstračního a pokusného skleníku ČZU v Praze. Při pěstování byla regulována teplota (25 °C) pomocí termoregulační jednotky a množství světla prostřednictvím stropních stínidel.

Potřebné materiály: voda destilovaná, aminopyralid (Shanghai Tianfu Chemical Ltd. – China), přípravek Corello (Dow AgroSciences s.r.o.), nádoby na roztoky, odměrný válec, pipeta, váha, hrnky 9x9 cm, podmisky, substrát RS2, osivo, popisovač

4.1.3.2.2 Postup

Příprava roztoků herbicidů i výsev proběhl dle stejného postupu jako v kapitole 4.1.3.1.2, avšak před aplikací roztoků byla místo zkoušky nasákavosti stanovena vlhkost substrátu následující metodou: 5 x 18 g čestvého substrátu vloženo do 5 aluminiových misek, zváženo. Následně vysušeno v laboratorní sušárně při teplotě 105 °C do úplného vyschnutí (cca 4,5 hodiny), zváženo. Odečtením hmotnosti vysušeného substrátu od hmotnosti čerstvého substrátu byl zjištěn odpařený obsah vody v gramech, zprůměrování vzorků a podle Javorského (1987) stanovení podílu sušiny a vody v čerstvém substrátu (43 % sušiny, 57 % vody). Následně bylo možno stanovit, že je třeba dodat 50,4 g vody do požadované vlhkosti substrátu (85 %).

Oproti pokusu 1 byla vypočtena optimální dávka, která se běžně aplikuje při ošetření pšenice. Podle Jursíka et al. (2018) se běžné množství postřikové jíchy pohybuje kolem 300 l/ha. Dávka 0,243 ml tedy odpovídá ploše jednoho pěstebního hrnku o rozměrech 81 cm². Od každé koncentrace herbicidů byla dávka 0,243 ml odebrána pipetou a rozmíchána v 50,16 ml destilované vody. Tato jícha pak byla aplikována rovnoměrně a postupně po jednom do všech pěstebních hrnků pomocí odměrného válce.

Datum založení pokusu: 7. 5. 2021

Pokus byl zaléván, kontrolován, dokumentován a průběžně vyhodnocován (zaznamenávány byl počet rostlin vykazující inhibici růstu a míra inhibice):

- 10. 5. 2021
- 13. 5. 2021
- 16. 5. 2021
- 19. 5. 2021
- 24. 5. 2021
- 26. 5. 2021

Poté zálivka téměř každý den - obden z důvodu vyššího odběru vody rostlinami.

Pro hodnocení inhibičních účinků na růst hrachu byla sestavena stupnice 0-100, kde 0 reprezentuje úplné potlačení růstu (zakrnění), 100 reprezentuje běžný růst srovnatelný s výškou rostlin v neošetřených variantách.

Pro hodnocení poškození rostlin hrachu byla sestavena stupnice 0-8, kde 0 představuje rostlinu bez poškození a 8 rostlinu vykazující poškození nejméně 80 % listů.

Tab. 6: Tabulka pro hodnocení poškození rostlin hrachu dle procentického vyjádření poškozených listů na rostlině hrachu setého

0 - bez svinování, deformace či jiných poškození
1 - nepatrné poškození do 5 % listů
2 - zřetelné poškození 10-15 % listů
3 - mírné poškození do 20 % listů
4 - mírné - střední poškození 20-30 % listů
5 - střední poškození 30-50 % listů
6 - střední - těžké poškození 50-60 % listů
7 - těžké poškození 60-80 % listů
8 - velmi těžké poškození 80 % a více listů

7. 6. 2021 byl pokus závěrečně vyhodnocen.

Hodnoceny byly tyto parametry:

- vzcházivost
- inhibice růstu
- míra poškození
- délka a hmotnost nadzemní části
- šířka kořenového krčku
- počet květů
- počet lusků
- fenologická fáze (dekadická fenologická stupnice - BBCH stupnice)

Tab. 7: Dekadická fenologická stupnice pro hodnocení fenofází hrachu setého
Upraveno dle: Lipavský J. (2021)

DEKADICKÁ FENOLOGICKÁ STUPNICE - HRÁCH	
ZÁKLADNÍ RŮSTOVÁ FÁZE	SEKUNDÁRNÍ RŮSTOVÁ FÁZE
0 Klíčení	00 Suché semeno
0 Klíčení	01 Bobtnání - začátek
0 Klíčení	03 Bobtnání - konec
0 Klíčení	05 Ze semene vyr. klíčící kořínek
0 Klíčení	07 Klíček prorazil osemení
0 Klíčení	08 Klíček roste k povrchu půdy
0 Klíčení	09 Vzházení: klíček prorazil povrch půdy
1 Vývoj listů	10 Viditelné dva šupinovitě spodní listy
1 Vývoj listů	11 1. list vyvinutý s palisty
1 Vývoj listů	12 2. list vyvinutý s palisty
1 Vývoj listů	13 3. list vyvinutý s palisty
1 Vývoj listů	19 9 a více listů vyvinuto s palisty
2 Vytv. postr. výhonků	20 Žádné výhonky
2 Vytv. postr. výhonků	21 1. postranní výhonek
2 Vytv. postr. výhonků	22 2. postranní výhonek
2 Vytv. postr. výhonků	23 3. postranní výhonek
2 Vytv. postr. výhonků	29 9 a více postranních výhonků
3 Prodlužovací růst	30 Počátek prodlužovacího růstu
3 Prodlužovací růst	31 1. protažené internodium viditelné
3 Prodlužovací růst	32 2. protažené internodium viditelné
3 Prodlužovací růst	33 3. protažené internodium viditelné
3 Prodlužovací růst	34 4. protažené internodium viditelné
3 Prodlužovací růst	39 9 a více internodií viditelných
5 Vývoj květenství	50 Květní pupeny uzavřené listy
5 Vývoj květenství	51 Viditelné 1. květní pupeny
5 Vývoj květenství	55 Viditelné květní pupeny, ještě uzavřené květy
5 Vývoj květenství	59 Viditelné květní plátky
6 Kvetení	60 První květy se otevírají
6 Kvetení	61 Počátek kvetení-10 % květů otevřeno
6 Kvetení	63 30 % květů otevřeno
6 Kvetení	65 Plný květ-50 % květů otevřeno
6 Kvetení	67 Odkvétání
6 Kvetení	69 Konec kvetení
7 Tvorba plodů	70 První plody dosáhly konečné velikosti
7 Tvorba plodů	71 10 % plodů dosáhlo konečné velikosti
7 Tvorba plodů	73 30 % plodů dosáhlo konečné velikosti
7 Tvorba plodů	75 50 % plodů dosáhlo konečné velikosti

7 Tvorba plodů	77 70 % plodů dosáhlo konečné velikosti
7 Tvorba plodů	79 Téměř všechny plody dosáhly konečné velikosti
8 Zrání	80 Počátek zrání, semeno zelené
8 Zrání	81 10 % plodů zralých, semena suchá, tvrdá
8 Zrání	83 30 % plodů zralých, semena specificky zbarvená
8 Zrání	85 50 % plodů zralých, semena specificky zbarvená
8 Zrání	87 70 % plodů zralých, semena specificky zbarvená
8 Zrání	89 Plná zralost, plody zralé, suché, hnědé
9 Odumírání	97 Rostlina je mrtvá a suchá
9 Odumírání	99 Sklizený produkt



Obr. 5: Rostliny hrachu setého – kontrolní varianta ošetřená vodou 14 dní od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 6: Rostliny hrachu setého ošetřené nejvyšší koncentrací aminopyralidu (0,05 mg/l)
14 dní od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)

4.1.3.3 Orientační zkouška klíčivosti semen hrachu

Cílem této zkoušky je zjistit vliv různých koncentrací výluhů ze slámy na klíčivost semen hrachu (%).

4.1.3.3.1 Technické zázemí a materiály

Zkouška klíčivosti byla založena 17. 9. 2021 v laboratoři FAPPZ ČZU v Praze při teplotě 24 °C a běžném zářijovém denním světelném režimu – tzn. přibližně 13 hodin světlo, 11 hodin tma.

Materiály: Petriho misky, nádoby na bobtnání, kádinky, destilovaná voda, filtrační papír, pipeta, jednorázové špičky, semena hrachu (odrůdy Oskar, Kudrnáč, Johan), fólie potravinová, výluhy ze slámy

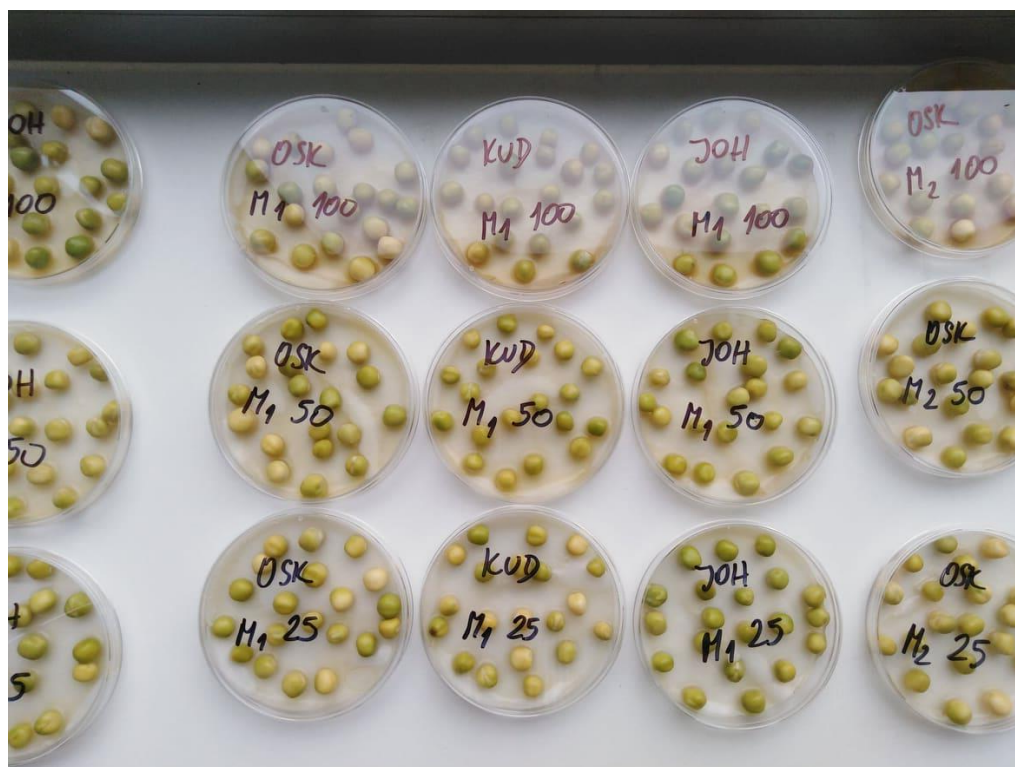
Odrůda hrachu Vladan byla vyřazena, protože bylo třeba zvýšit počet zkoumaných rostlin ve stejném pěstebním prostoru.

4.1.3.3.2 Postup

Do čistých skleněných nádob byla vložena semena hrachu setého (260 ks od každé odrůdy), zalita 500 ml destilované vody a zakryta fólií. Podle Jablonského (2005) semena takto bobtnala 24 hodin, následně byla slita. Petriho misky byly vystlány filtračním papírem odpovídající velikosti (90 mm), jenž byl pomocí pipety nasáknut 5 ml roztoků slaměných výluhů (4 varianty ošetření – viz 4.1.3.4.1) různě koncentrovaných (0 %, 25 %, 50 %, 100 %) a čistou destilovanou vodou – kontrolní varianta. Na každou Petriho misku bylo rovnoměrně rozmístěno 20 ks semen hrachu, přikryto víčkem. Celkem bylo takto založeno 39 ks Petriho misek - 12 variant roztoků pro každou odrůdu (3) + kontrola (destilovaná voda).

Vyklíčená semena byla odečítána, pinzetou odebrána a zapisována do protokolu. Hodnocení probíhalo 20. 9. 2021, tj. 3 dny od založení a 21. 9. 2021.

Pomocí této metody se podařilo zachytit procentuální klíčivost semen hrachu v různých variantách slaměných výluhů – viz Graf 14.



Obr. 7: Zkouška klíčivosti semen hrachu v různých koncentracích výluhů ze slámy ošetřené přípravkem Mustang Forte (aminopyralid)

Autor: Hana Vrbová (2021)

4.1.3.4 Experiment – slaměné výluhy

4.1.3.4.1 Technické zázemí a materiály

Experiment probíhal v demonstračním skleníku ČZU v Praze. Při pěstování byly udržovány v běžném zářijovém denním světelném režimu – tzn. přibližně 13 hodin světlo, 11 hodin tma. Teplota byla regulována větracími otvory a topnými tělesy.

Vysety byly 3 odrůdy hrachu – Oskar, Kudrnáč a Johan. Vladan byl vyřazen, neboť v přechozích experimentech reagoval podobně, ale méně zřetelně než odrůda Oskar.

Na výluhy byly použity 4 druhy slámy:

- 1) 2MF - Sláma ošetřená dávkou (2 l/ha) přípravku Mustang Forte – aminopyralid (původ: Červený Újezd).
- 2) 2COR - Sláma ošetřená dávkou přípravku Corello (2 kg/ha) – pyroxsulam (původ: Červený újezd).
- 3) 1MF - Sláma ošetřená konvenční dávkou (1 l/ha) přípravku Mustang Forte – aminopyralid (původ: Libodřice).
- 4) EKO - Neošetřená sláma z ekologického zemědělství (původ: Ryzner - Kojátky).

Sláma byla pomocí drtiče nadrcena na velikost 3-5 cm pro optimální uvolnění obsažených látek a imitaci velikostní frakce v hnoji či kompostu. Vodné výluhy byly pro regulaci koncentrace ředěny destilovanou vodou.

Tab 8: Vysvětlení zkratk názvů výluhů ze slámy (použitých v grafech)

název ošetření v grafu	vysvětlivka ošetření
kontrola	destilovaná voda
2_MF_CU_100	100% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Mustang Forte (2 l/ha)
2_MF_CU_50	50% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Mustang Forte (2 l/ha)
2_MF_CU_25	25% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Mustang Forte (2 l/ha)
2_COR_CU_100	100% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Corello (2 kg/ha)
2_COR_CU_50	50% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Corello (2 kg/ha)
2_COR_CU_25	25% výluh ze slámy z Červeného Újezdu ošetřené přípravkem Corello (2 kg/ha)
1_MF_LIB_100	100% výluh ze slámy z Libodřic ošetřené přípravkem Mustang Forte (1 l/ha)
1_MF_LIB_50	50% výluh ze slámy z Libodřic ošetřené přípravkem Mustang Forte (1 l/ha)
1_MF_LIB_25	25% výluh ze slámy z Libodřic ošetřené přípravkem Mustang Forte (1 l/ha)
EKO_RYZ_100	100% výluh neošetřené slámy z Kojátek z ekologického zemědělství Ing. Ryznera
EKO_RYZ_50	50% výluh neošetřené slámy z Kojátek z ekologického zemědělství Ing. Ryznera
EKO_RYZ_25	25% výluh neošetřené slámy z Kojátek z ekologického zemědělství Ing. Ryznera

Potřebné materiály: voda destilovaná, substrát rašelinový RS2, sadbovače 17 ks, popisovač a štítky, nádoby na loužení, nádoby na ředěné výluhy, pytel na cezení, odměrný válec, osivo, pšeničné slámy různě ošetřené

4.1.3.4.2 Postup

Podle experimentu Nakana et al. (2006) je vhodné na přípravu výluhu použít na 1 l vody 100 g pšeničné slámy. Hyväkkö et al. (2014) a Zain et al. (2013) se v odborných člancích zaměřených na experimenty se slaměnými výluhy shodují na použití destilované vody o teplotě 25 °C. Podle těchto autorů bylo provedena, s ohledem na potřebné množství výsledných roztoků, příprava výluhů nasypáním 2,5 kg od každého vzorku ošetřené slámy do čisté plastové nádoby a zalitím 25 l destilované vody o pokojové teplotě. Následoval proces loužení, který

trval 48 hodin. Tato doba je výsledkem modifikace uvedených časů loužení z experimentů výše uvedených autorů. Po této době byly výluhy scezeny za pomoci čistého pytle na slámu.

Od každého druhu slámy (4) byly ředěním destilovanou vodou vytvořeny 4 koncentrace výluhů (100 %, 50 %, 25 %, 0 %). Kontrolní varianta byla zalita pouze čistou destilovanou vodou. Celkem včetně kontroly - 13 pokusných variant.

Použito bylo 13 ks sadbovačů naplněných rašelinovým substrátem. Pro každou variantu ošetření samostatný sadbovač s vlastní podmiskou, z důvodů vyloučení kontaminace. V jednom sadbovači 30 opakování od každé odrůdy (3), tj. 90 ks semen na 1 sadbovač pro každou koncentraci různých slaměných výluhů (12) + 1 kontrola. Celkový počet vyšetřých semen hrachu – 1170 ks.

V předchozích pokusech byla zjištěna potřeba 2 l vody pro dosažení optimální vlhkosti substrátu ve všech pěstebních buňkách. Aplikace byla tedy uskutečněna rovnoměrným vrchním zalitím 2 l roztoků na každý pokusný sadbovač.

Výsev byl proveden dne: 10. 9. 2021 a aplikace výluhů dne: 13. 9. 2021

Pokus byl závěrečně vyhodnocen dne 6. 10. 2021.

Hodnoceny byly tyto parametry:

- vzcházivost rostlin
- délka nadzemní části
- hmotnost nadzemní části
- obsah sušiny v nadzemní části
- délka kořenů
- hmotnost kořenů
- obsah sušiny v kořenech
- průměr kořenového krčku

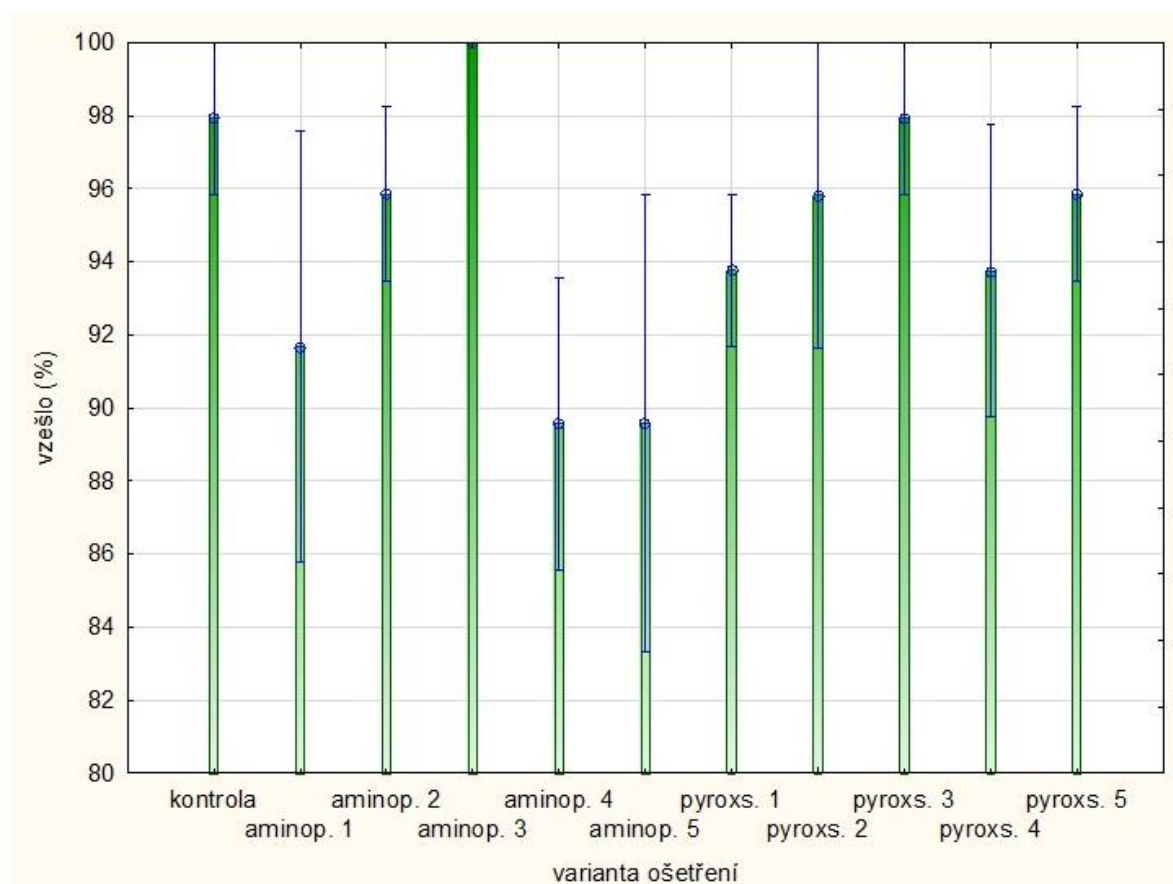
5 Výsledky

Naměřená data byla vyhodnocena programem Statistica 12 od firmy StatSoft pomocí analýzy rozptylu (ANOVA) a LSD testu. Směrodatná odchylka $\alpha=0,05$. Grafy zobrazující data obsahu sušiny, zkoušku klíčivosti a korelace mezi délkou a hmotností nadzemní části rostlin jsou vytvořeny v programu MS Excel.

5.1 Pokus 1 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello)

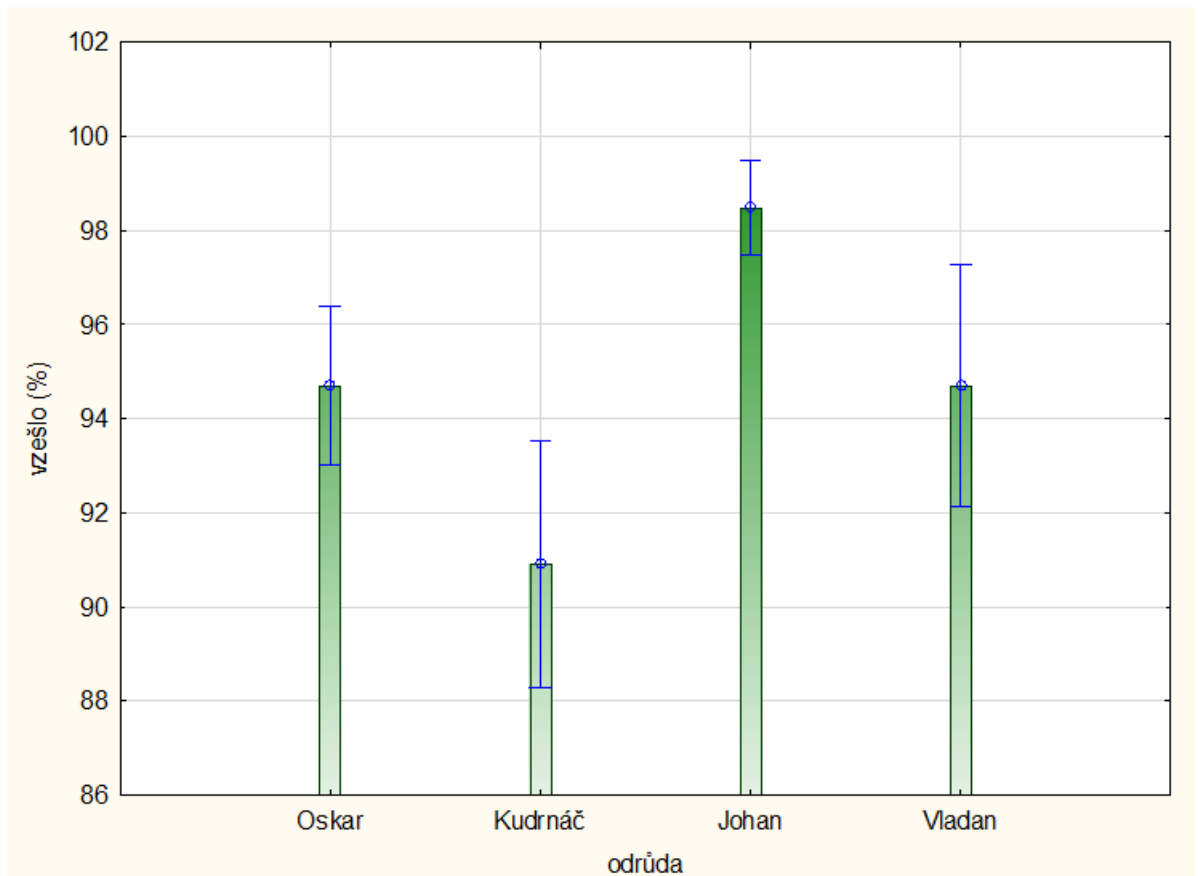
- Množství koncentrovaných roztoků bylo letální a neúměrně vysoké velikosti hrnků
- Následoval proto další pokus 2 s upravenými aplikačními objemy roztoků zkoumaných látek

5.2 Pokus 2 – aminopyralid a pyroxsulam (Corello)



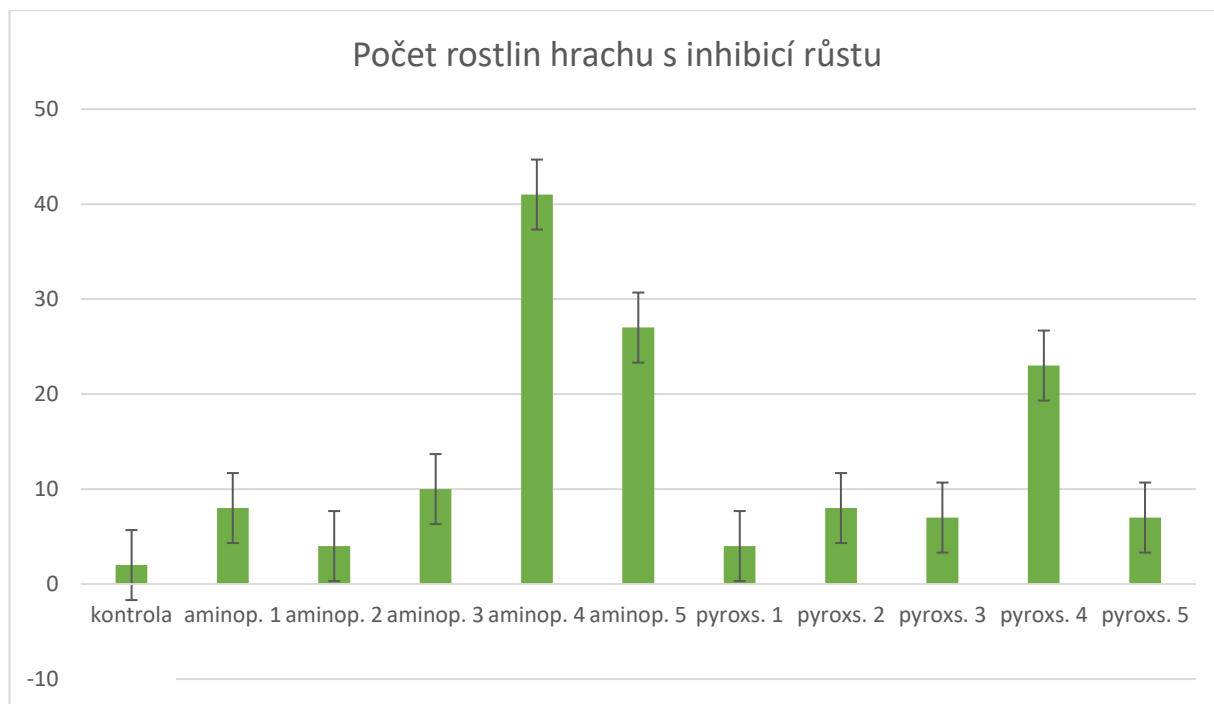
Graf 3: Vzcházivost rostlin hrachu v procentech ovlivněná variantou ošetření různými koncentracemi aminopyralidu a pyroxsulamu

- Nejnižší vzcházivost vykázaly rostliny ve variantě ošetření aminop. 4 a 5.
- Nebyl nalezen klesající ani stoupající trend v míře vzcházivosti, který by potvrdil vliv varianty a koncentrace aminopyralidu a pyroxsulamu na schopnost rostlin hrachu vzcházet.
- Statisticky významné rozdíly oproti kontrole lze pozorovat ve variantě ošetření aminop. 4.



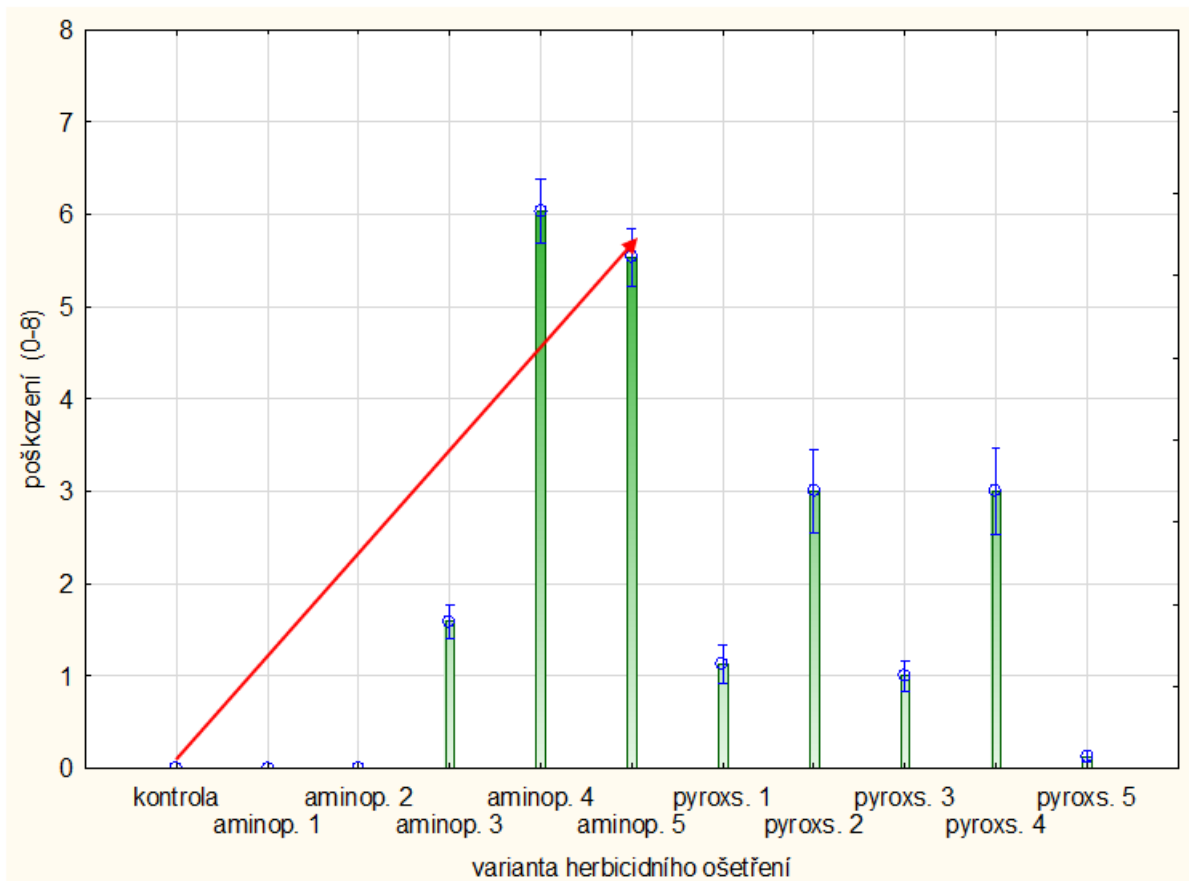
Graf 4: Vzcházivost rostlin hrachu různých odrůd ošetřených aminopyralidem a pyroxsulamem

- Statisticky významný rozdíl ve vzcházivosti byl oproti ostatním odrůdám hrachu zaznamenán u odrůdy Johan.
- Statisticky průkazně vykázal nejlepší vzcházivost hrách odrůdy Johan.



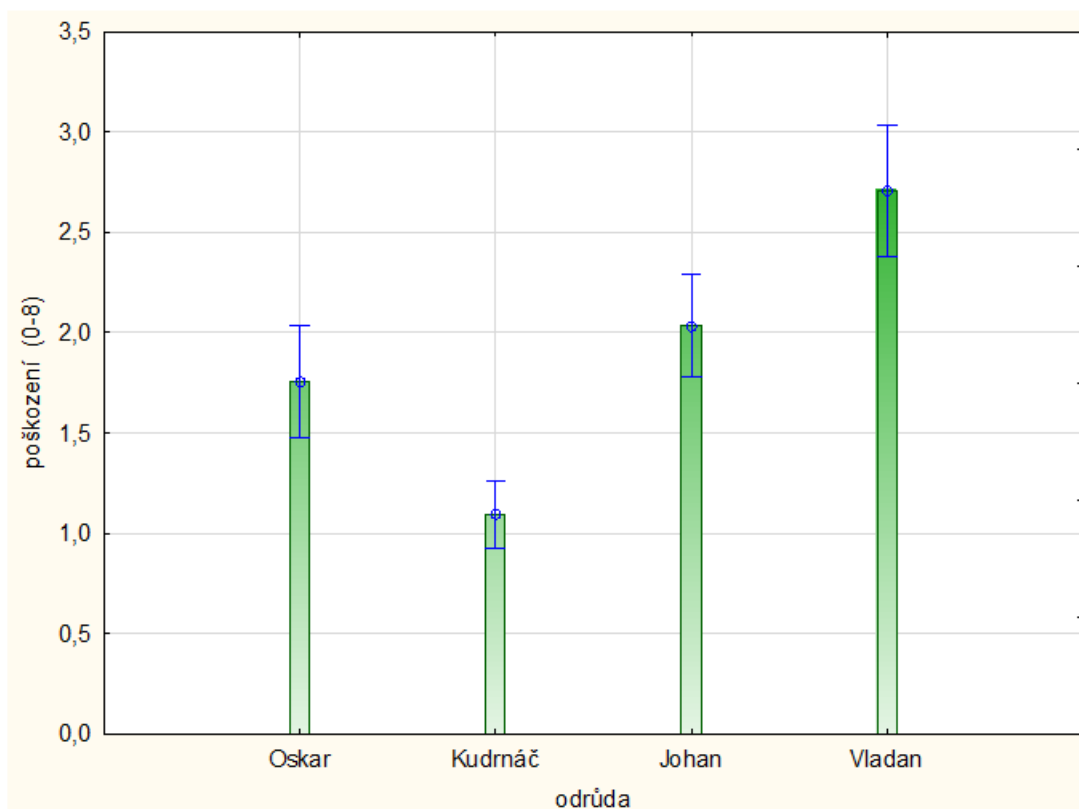
Graf. 5: Počet rostlin hrachu s inhibicí růstu dle varianty ošetření (aminopyralid, pyroxsulam)

- Statisticky významné rozdíly oproti kontrole lze pozorovat ve variantách ošetření aminop. 3, aminop. 4, aminop. 5 a pyroxs. 4.



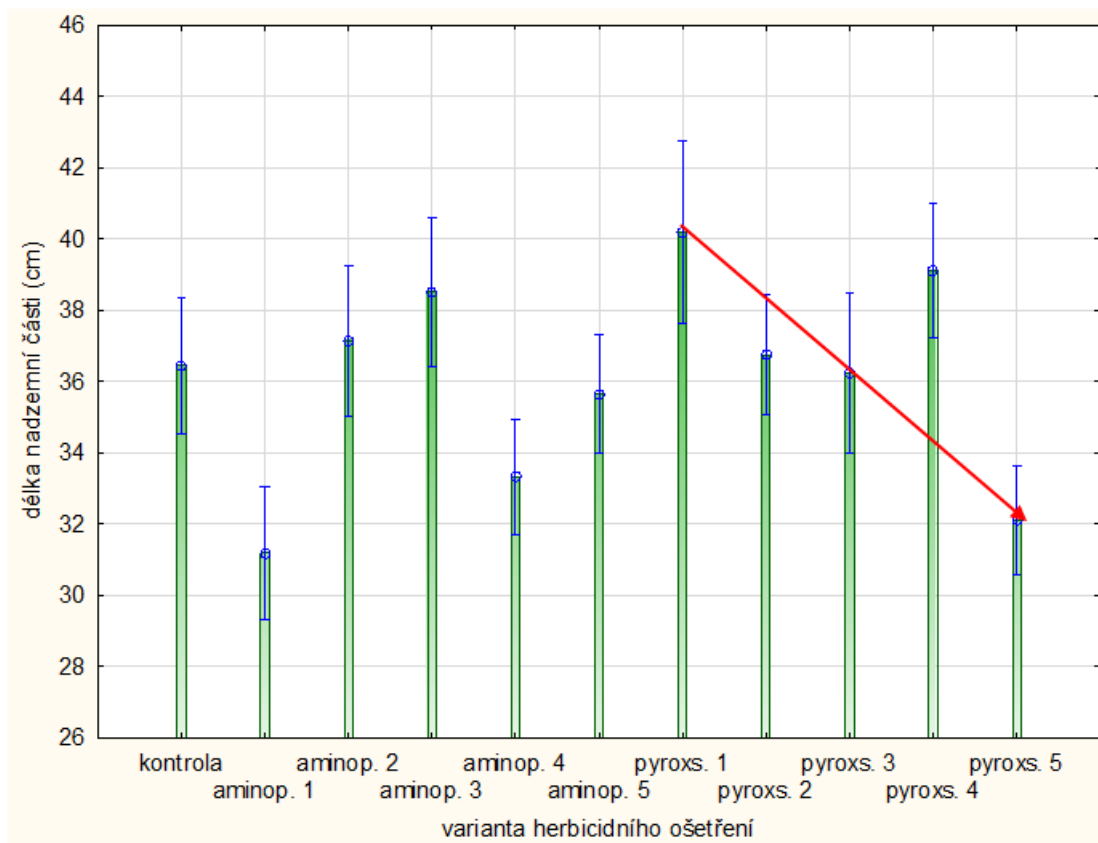
Graf 6: Vliv varianty herbicidního ošetření (aminopyralid a pyroxsulam) na poškození rostlin hrachu setého

- Rostliny hrachu byly nejvíce poškozeny ve variantě ošetření aminop. 4.
- Statisticky významné rozdíly oproti kontrole lze pozorovat ve všech variantách vyjma aminop. 1, aminop. 2.



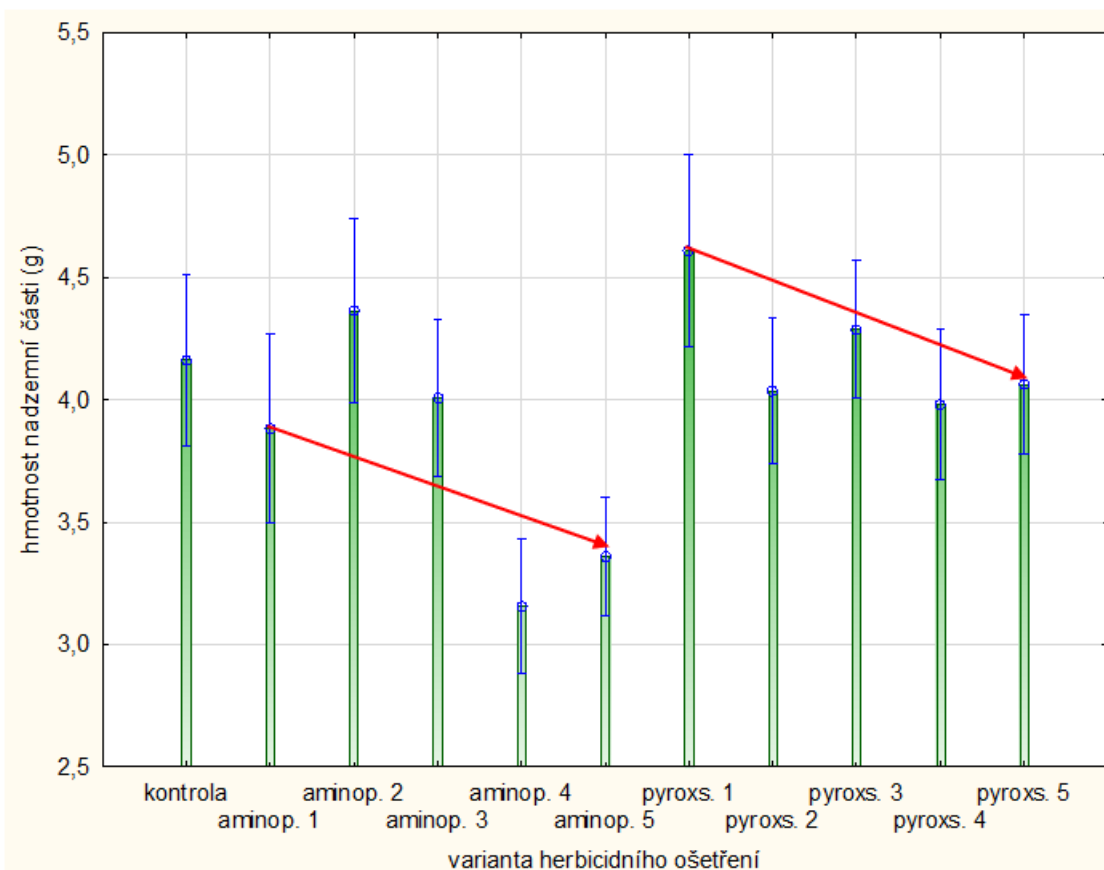
Graf 7: Průměrné poškození rostlin hrachu aminopyralidem a pyroxsulamem dle odrůd

- Nejcitlivěji reagovala na poškození herbicidy odrůda Vladan.
- Nejméně citlivě reagovala na poškození herbicidy odrůda Kudrnáč.
- Statisticky významné rozdíly byly oproti odrůdě Oskar patrné mezi odrůdami Kudrnáč a Vladan.
- Statisticky významné rozdíly oproti odrůdě Kudrnáč byly patrné mezi odrůdami Oskar, Johan, Vladan.
- Statisticky významné rozdíly oproti odrůdě Johan byly patrné mezi odrůdami Kudrnáč, Vladan.
- Statisticky významné rozdíly oproti odrůdě Vladan byly patrné mezi odrůdami Oskar, Kudrnáč, Johan.



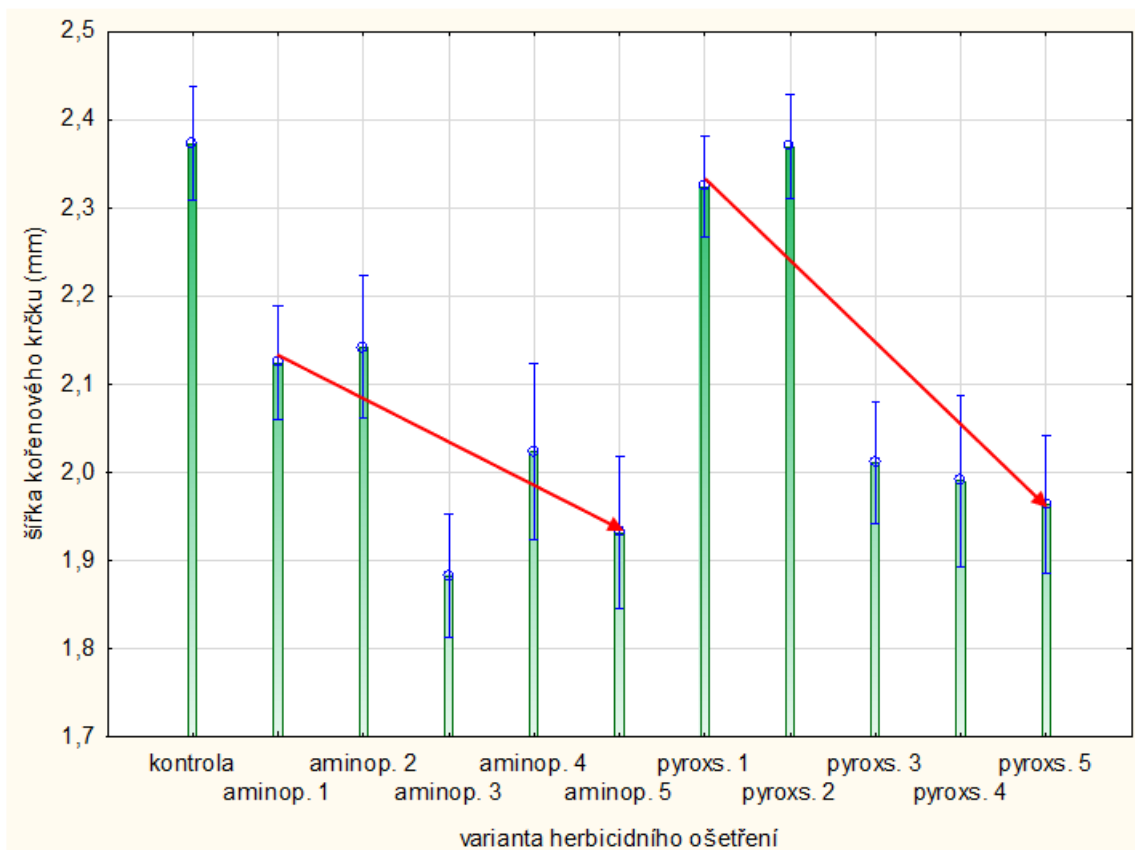
Graf 8: Vliv různých koncentrací aminopyralidu a pyroxsulamů na délku nadzemní části rostlin hrachu

- U rostlin ve variantě ošetření aminop. 1, 4 a 5 byly hodnoty délky nadzemní části nižší než kontrolní varianta. Rostliny ve variantě ošetření aminop. 2 a 3 vykázaly dokonce vyšší hodnoty délky nadzemní části než rostliny z kontrolního pěstování.
- Účinná látka pyroxsulam vykázala inhibiční účinek na délku nadzemní části oproti kontrole ve variantách ošetření pyroxs. 3 a 5. Rostliny z ostatních variant ošetření byly vyšší než kontrolní varianta.
- U rostlin ošetřených pyroxsulamem bylo sestupné viditelné snižování délky nadzemní části s navyšujícími se koncentracemi účinné látky (vyjma varianty ošetření pyroxs. 4).
- Statisticky významný rozdíl oproti kontrole lze pozorovat ve variantě ošetření aminop. 1 a pyroxs. 5.



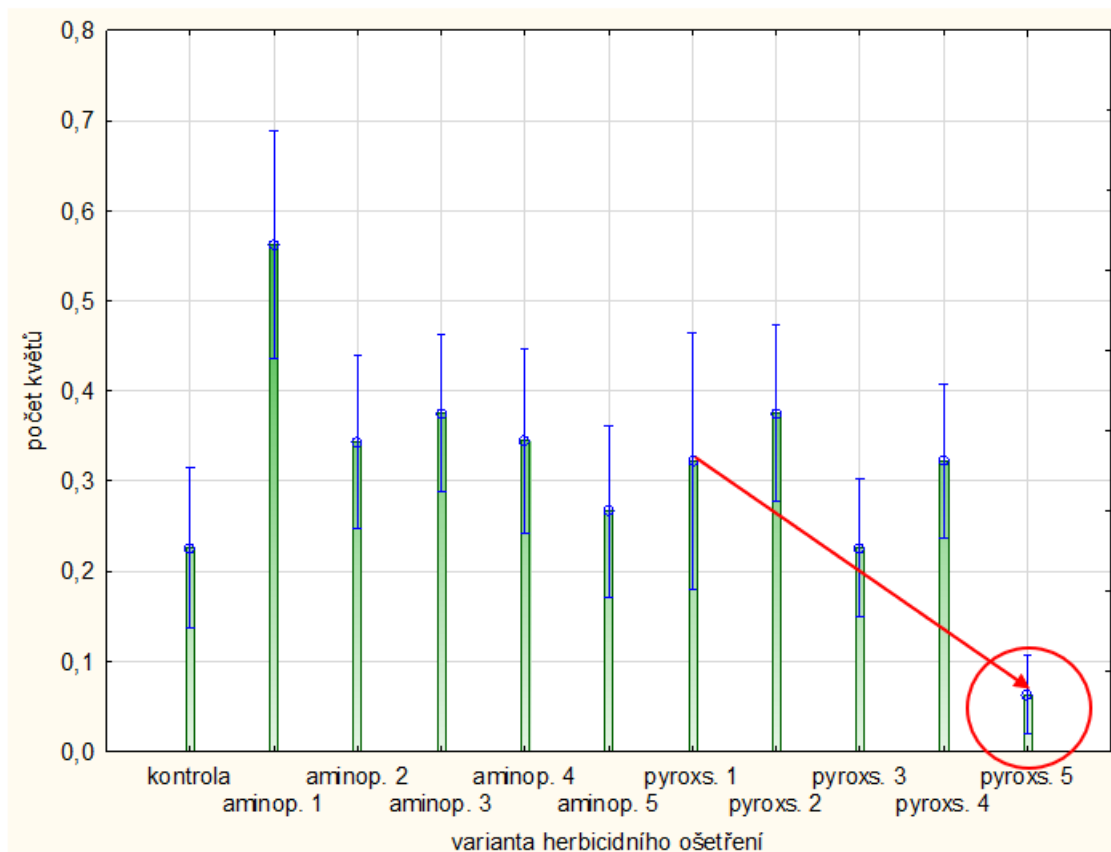
Graf 9: Vliv různých koncentrací aminopyralidu a pyroxsulamu na hmotnost nadzemní části rostlin hrachu

- S rostoucí koncentrací látky aminopyralid se hmotnost nadzemní části rostlin hrachu nepravidelně snižuje ve variantě ošetření aminop. č. 1, 3, 4 a 5 oproti kontrolní variantě.
- S rostoucí koncentrací látky pyroxsulam se hmotnost nadzemní části rostlin hrachu nepravidelně snižuje ve variantě ošetření pyroxs. 2, 4, 5 oproti kontrolní variantě.
- Výraznější vliv na úbytek hmotnosti nadzemní část rostlin hrachu vykazuje látka aminopyralid.
- Statisticky významné rozdíly lze pozorovat ve variantách ošetření aminop. 4 a 5.



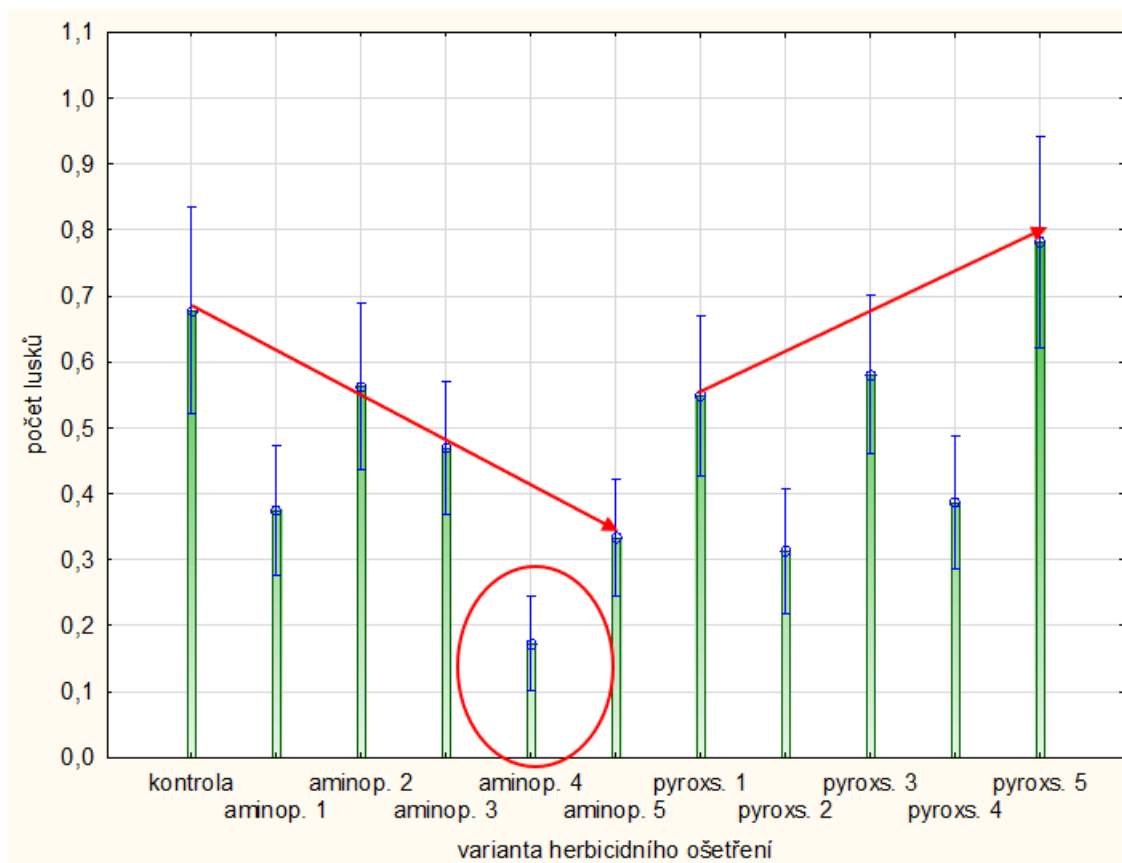
Graf 10: Vliv různých koncentrací aminopyralidu a pyroxsulam na šířku kořenového krčku rostlin hrachu

- Se zvyšující se koncentrací herbicidních látek se nepravidelně zužuje kořenový krček rostlin hrachu.
- U rostlin ošetřených látkou aminopyralid je největší zúžení zaznamenáno ve variantě ošetření aminop. 3.
- U rostlin ošetřených látkou pyroxsulam je patrné největší zúžení ve variantě ošetření pyroxs. 5.
- Rostliny hrachu ošetřené aminopyralidem mají průměrně užší kořenový krček než rostliny ošetřené pyroxsulamem.
- Statisticky významné rozdíly oproti kontrolní variantě lze pozorovat ve všech variantách ošetření vyjma pyroxs. 1 a 2.



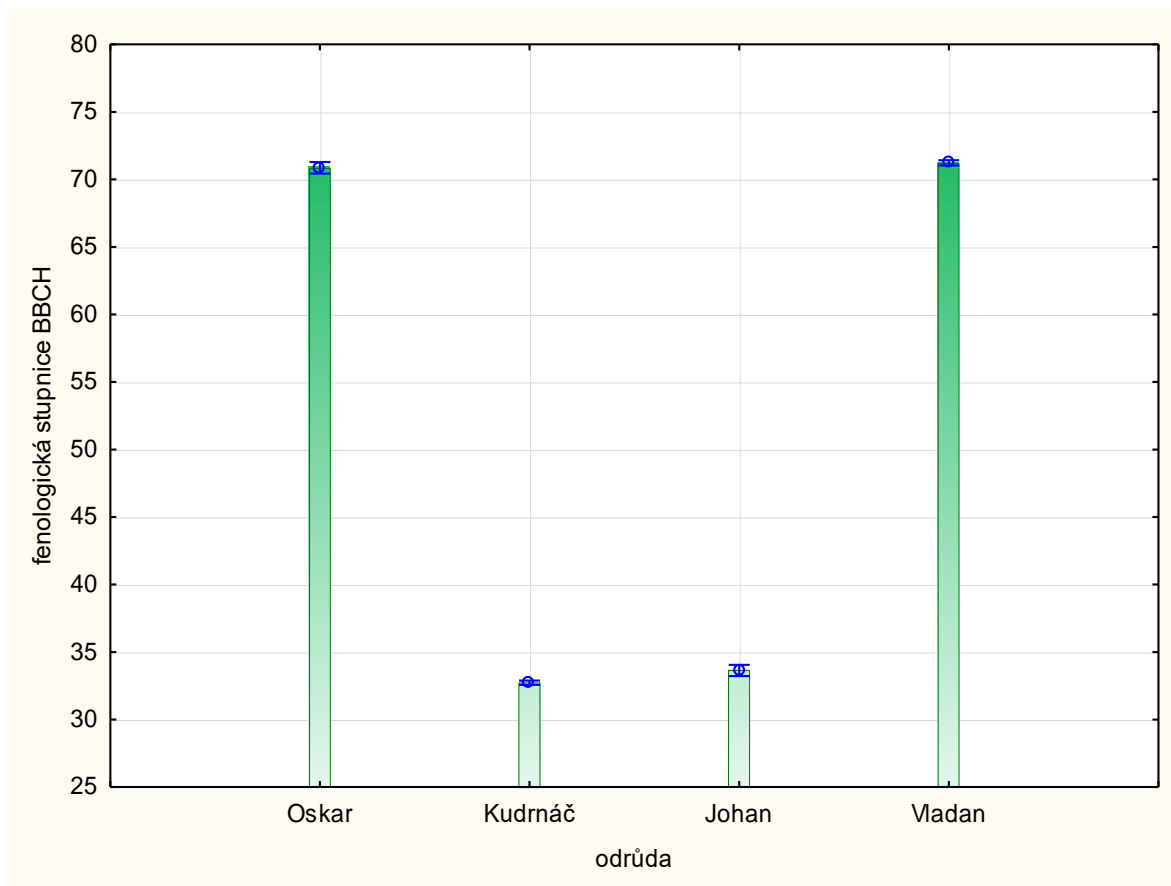
Graf 11: Vliv varianty herbicidního ošetření (aminopyralid a pyroxsulam) rostlin hrachu na množství květů

- Počet květů byl u rostlin (odrůdy Oskar a Vladan) ve variantách ošetřených aminopyralidem vyšší než u kontrolní varianty.
- Počet květů a lusků byl hodnocen najednou, lze předpokládat, že ošetření aminopyralidem zpomaluje odkvěť a nástup do plodnosti.
- U ošetření pyroxsulamem v nejvyšší koncentraci (pyroxs. 5) byl patrný nízký počet květů a vysoký počet lusků (viz Graf 12) – lze se domnívat, že ošetření rostlin pyroxsulamem nemá výrazný vliv či zrychluje odkvěť a nástup do plodnosti.
- Statisticky významné rozdíly oproti kontrole lze pozorovat ve variantách ošetření aminop. 1 (nejvyšší počet květů) a pyroxs. 5 (nejmenší počet květů).



Graf 12: Vliv varianty ošetření rostlin hrachu aminopyralidem a pyroxsulamem na počet lusků

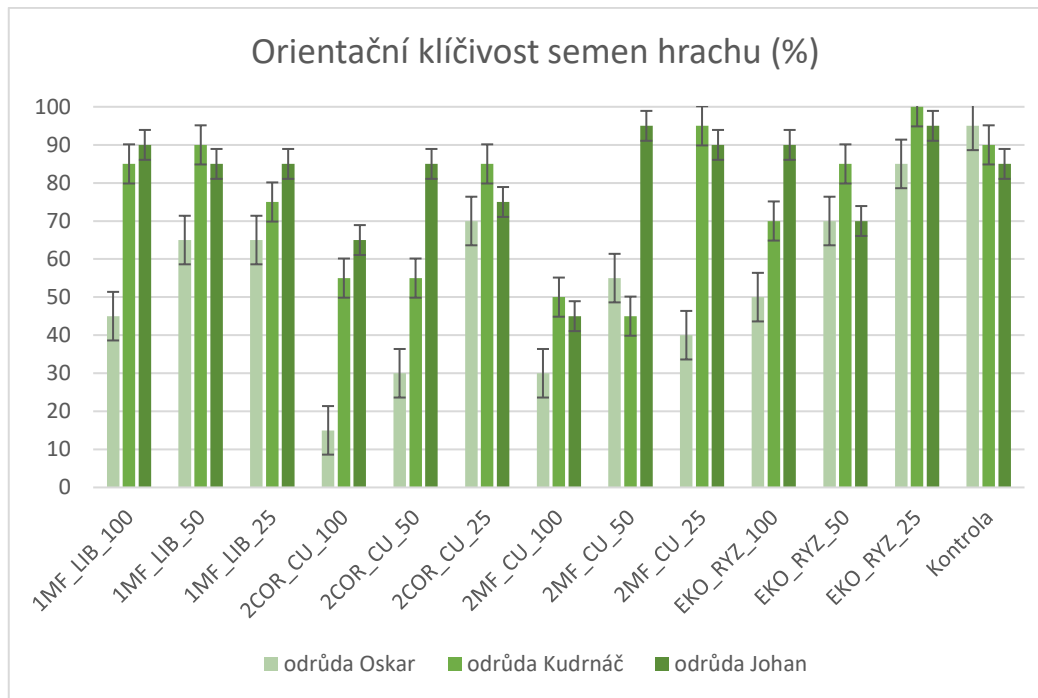
- Rostliny hrachu odrůdy Oskar a Vladan ošetřené účinnou látkou aminopyralid vykazují oproti kontrole menší počet lusků.
- Lze předpokládat, že klesající trend počtu lusků u rostlin ošetřených aminopyralidem je způsoben zpomaleným či omezeným vývojem květů a jejich přeměny na lusky.
- Rostliny ošetřené účinnou látkou pyroxsulam vykazují oproti kontrole u většiny variant menší počet lusků.
- Statisticky významné rozdíly oproti kontrole lze pozorovat ve variantách ošetření aminop. 1, 4 (nejmenší počet lusků), 5 a pyroxs. 2, 4.



Graf 13: Stupně fenologického vývoje jednotlivých odrůd hrachu setého 1 měsíc po ošetření aminopyralidem a pyroxsulamem - viz Tab. 7

- Odrůdy Kudrnáč a Johan nejsou tak rané, jako odrůdy Oskar a Vladan. Jejich nízká fenologická zralost není ovlivněna herbicidy aminopyralid a pyroxsulam natolik, aby jejich vývoj zaostal za jinými odrůdami s tak znatelným rozdílem.

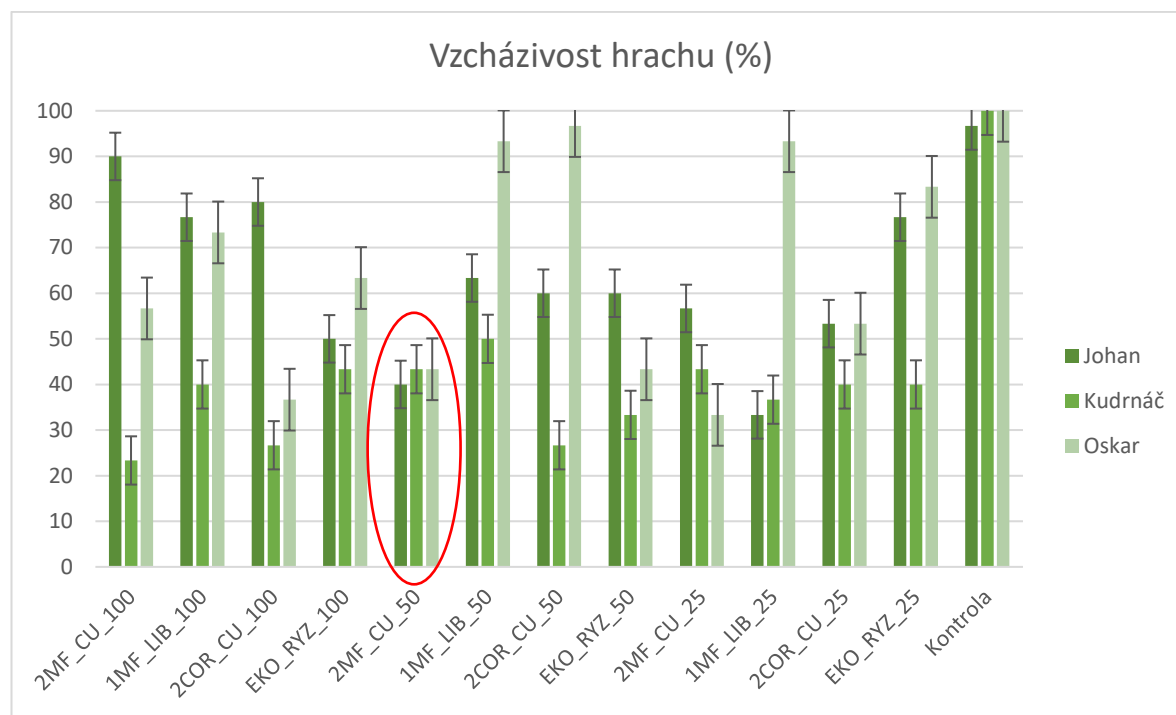
5.3 Orientační zkouška klíčivosti semen hrachu



Graf 14: Orientační klíčivost semen hrachu ovlivněná různými koncentracemi výluhů ze slámy z ekologického zemědělství, ze slámy ošetřené herbicidy Mustang Forte (1× a 2×) a Corello

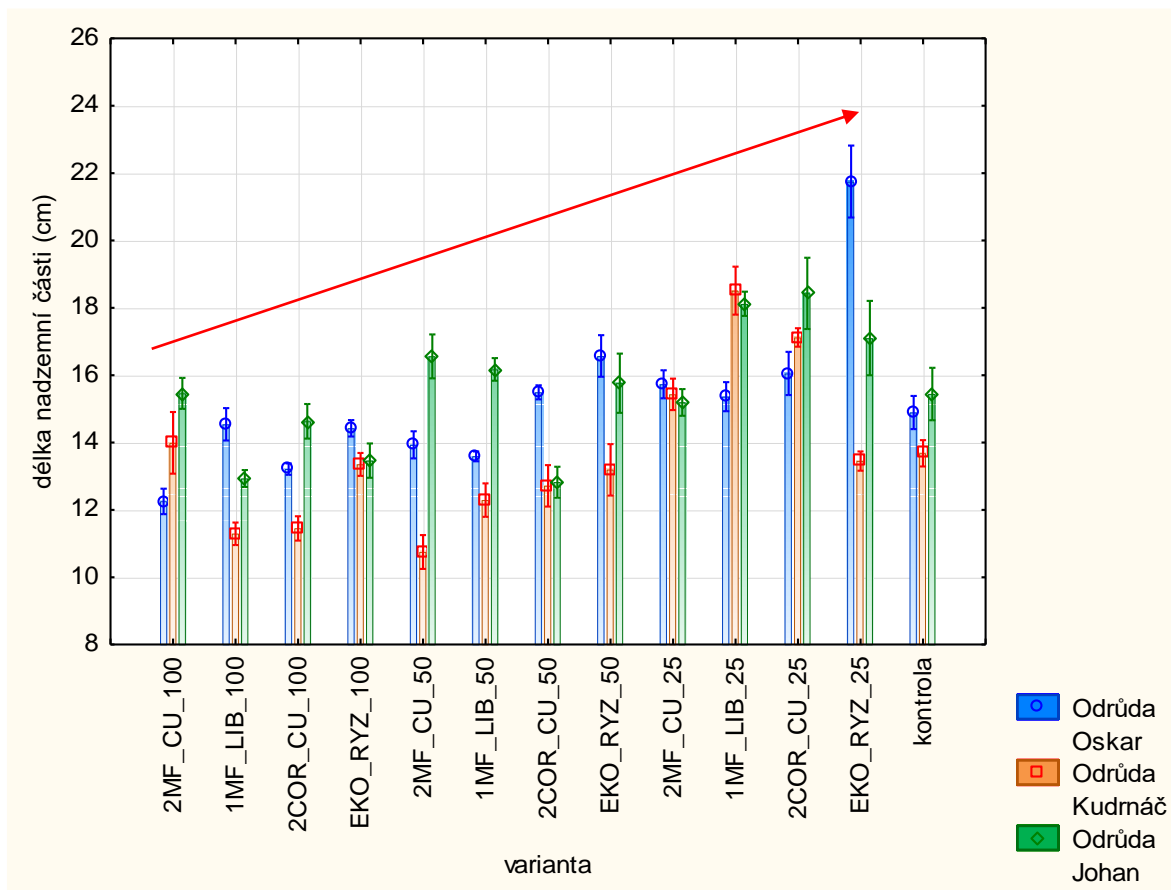
- S navyšující se koncentrací slaměných výluhů se snížila klíčivost semen hrachu.
- Nejcitlivěji reagují na ovlivnění klíčivosti semena hrachu odrůdy Oskar.
- Schopnost klíčit byla negativně ovlivněna u semen hrachu odrůdy Oskar ve všech variantách ošetření.
- Nejméně citlivě k ovlivnění klíčivosti semen reaguje odrůda Johan.
- Statisticky významné rozdíly v klíčivosti odrůdy Oskar oproti kontrole lze pozorovat ve všech variantách ošetření kromě EKO_RYZ_25.
- Statisticky významné rozdíly v klíčivosti odrůdy Kudrnáč oproti kontrole lze pozorovat ve variantách ošetření 1_MF_LIB_25, 2COR_CU_100, 2COR_CU_50, 2MF_CU_100, 2_MF_CU_50, EKO_RYZ_100.
- Statisticky významné rozdíly v klíčivosti odrůdy Johan oproti kontrole lze pozorovat ve variantách ošetření 2COR_CU_100, 2COR_CU_25, 2MF_CU_100, 2MF_CU_50, EKO_RYZ_50, EKO_RYZ_25.

5.4 Experiment – slaměné výluhy



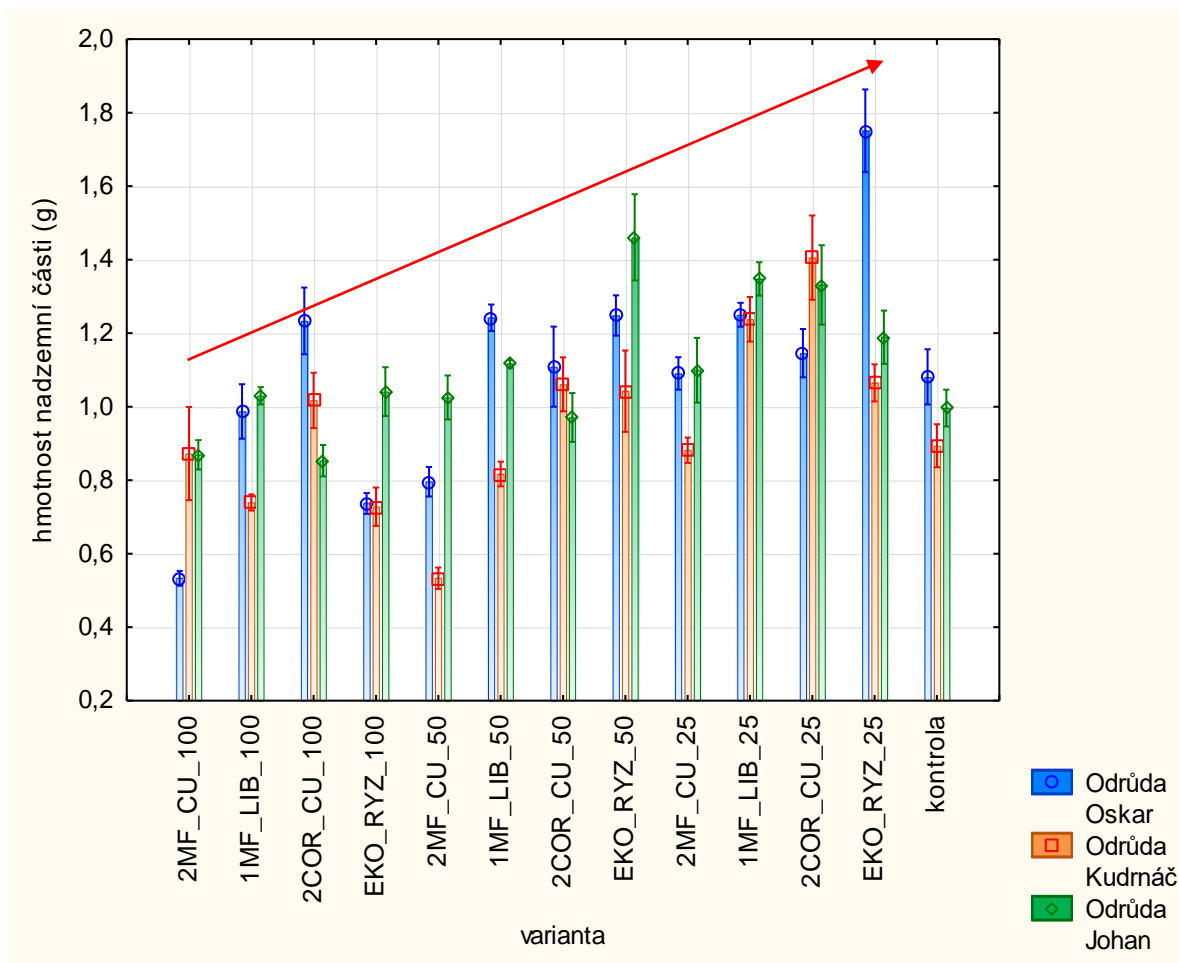
Graf 15: Vzcházivost rostlin hrachu ošetřených různými koncentracemi výluhů ze slámy ošetřené přípravky Mustang Forte, Corello a neošetřené slámy z ekologické produkce

- Vzcházivost byla negativně ovlivněna ve všech variantách ošetření výluhem ze slámy.
- Odrůda hrachu, jejíž rostliny vzcházely po aplikaci výluhů ze slámy nejhůře byla Kudrnáč.
- Nejlepší vzcházivost rostlin byla zjištěna u odrůdy Oskar.
- Průměrně nejvíce negativní vliv na vzcházivost rostlin hrachu vykazala varianta ošetření přípravkem 2MF_CU_50.
- Statisticky významný rozdíl mezi variantou ošetření a kontrolou byl zjištěn ve všech variantách vyjma 2MF_CU_100 (odrůda Johan), 1MF_LIB_50 (odrůda Oskar), 2COR_CU_50 (odrůda Oskar), 1MF_LIB_25 (odrůda Oskar).



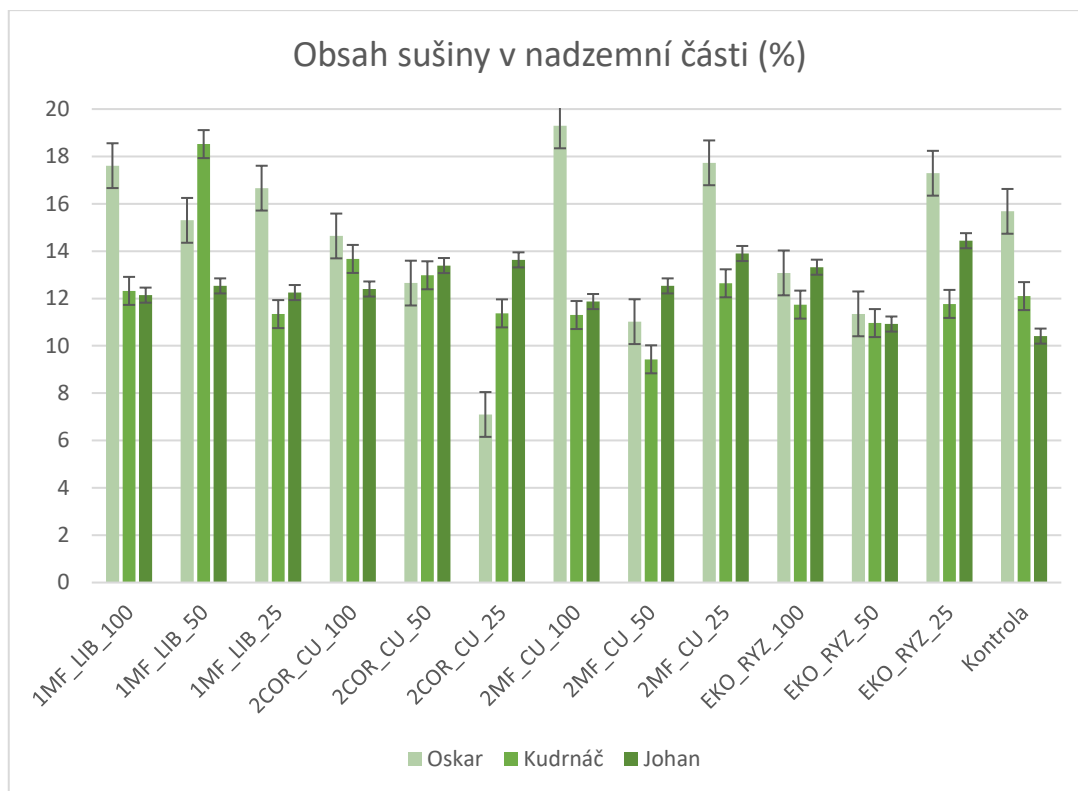
Graf 16: Vliv varianty ošetření výluhy z různě ošetřené slámy na délku nadzemní části hrachu

- Délka nadzemní části rostlin hrachu vykazovala stoupající trend se snižujícími se koncentracemi výluhů.
- Některé rostliny z různých variant ošetření vykazovaly delší nadzemní část než rostliny z kontrolní varianty. Lze se domnívat, že tyto rostliny mohly trpět nedostatkem světla v důsledku zastínění jinými rostlinami a zahájily dlouhý růst či byl jejich růst ovlivněn biologickými složkami výluhů.
- Největší inhibiční účinek na růst rostlin odrůdy Oskar byl průkazně zjištěn ve variantě ošetření 2MF_CU_100.
- Inhibiční účinek na růst rostlin hrachu odrůdy Kudrnáč byl průkazně zjištěn ve variantách ošetření 1MF_LIB_100, 1MF_LIB_50, 2COR_CU_100 a 2MF_CU_50.
- Rostliny odrůdy Johan byly k ovlivnění délky nadzemní části rezidui herbicidů méně citlivé. Vliv na sníženou délku nadzemní části byl se statisticky významným rozdílem zjištěn ve variantě ošetření 1MF_LIB_100, EKO_RYZ_100, 2COR_CU_50.



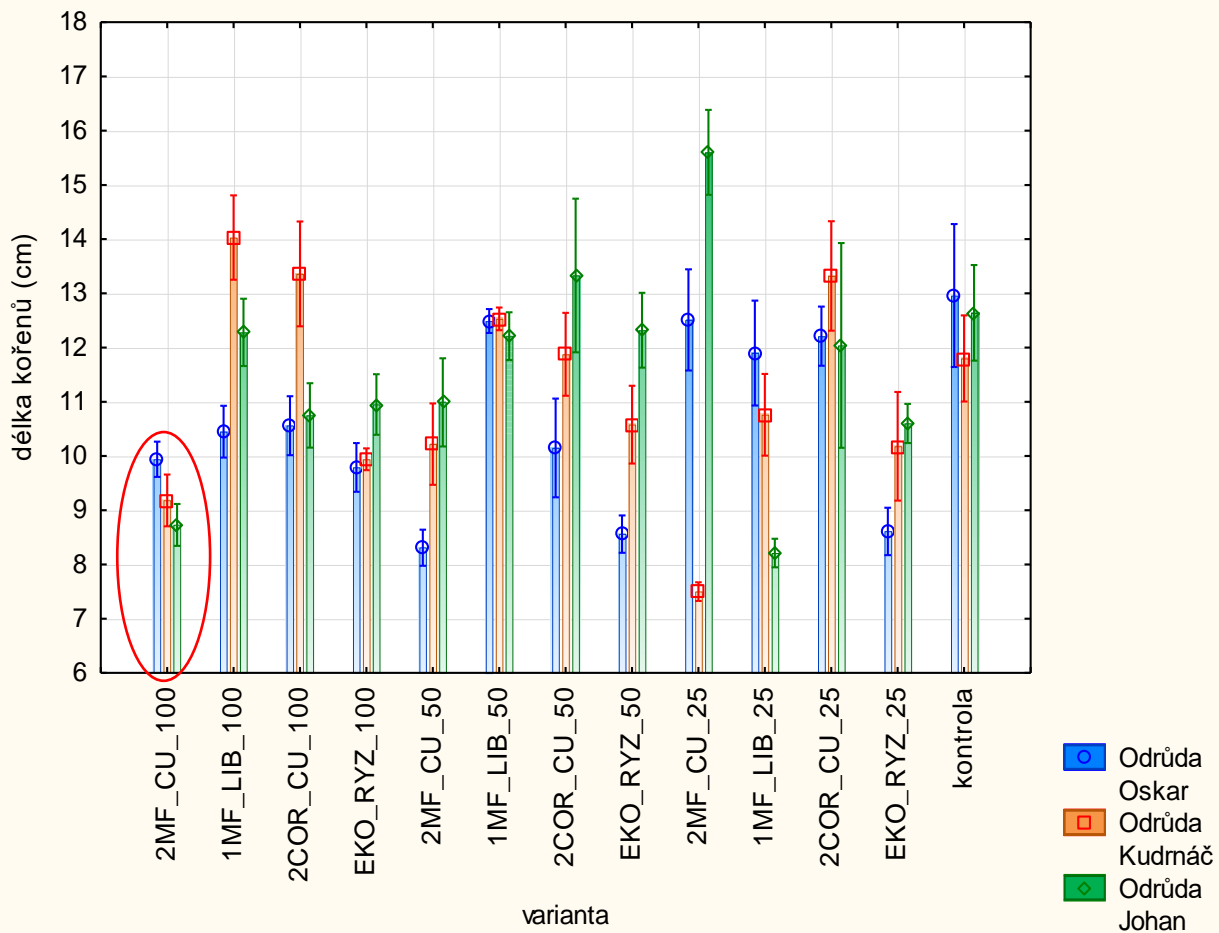
Graf 17: Vliv varianty ošetření výluhy z různě ošetřené slámy na hmotnost nadzemní části rostlin hrachu

- Rostliny odrůdy Oskar vykazovaly ve variantě ošetření 2MF_CU_100, 2MF_CU_50 a EKO_RYZ_100 průkazně nižší hmotností nadzemní části než kontrolní varianta.
- Hmotnost nadzemní části rostlin odrůdy Kudrnáč byla průkazně nižší ve variantě ošetření EKO_RYZ_100, 1MF_LIB_100, 2MF_CU_50.
- Rostliny odrůdy Johan byly k negativnímu ovlivnění hmotnosti nadzemní nejméně citlivé. Průkazné snížení hmotnosti nadzemní části vykázaly pouze rostliny ve variantě ošetření 2MF_CU_100, 2COR_CU_100.
- Trend vlivu varianty ošetření na hmotnost nadzemní částí rostlin je stoupající – se snižující se koncentrací roztoků výluhů ze slámy se zvyšuje hmotnost nadzemní části.



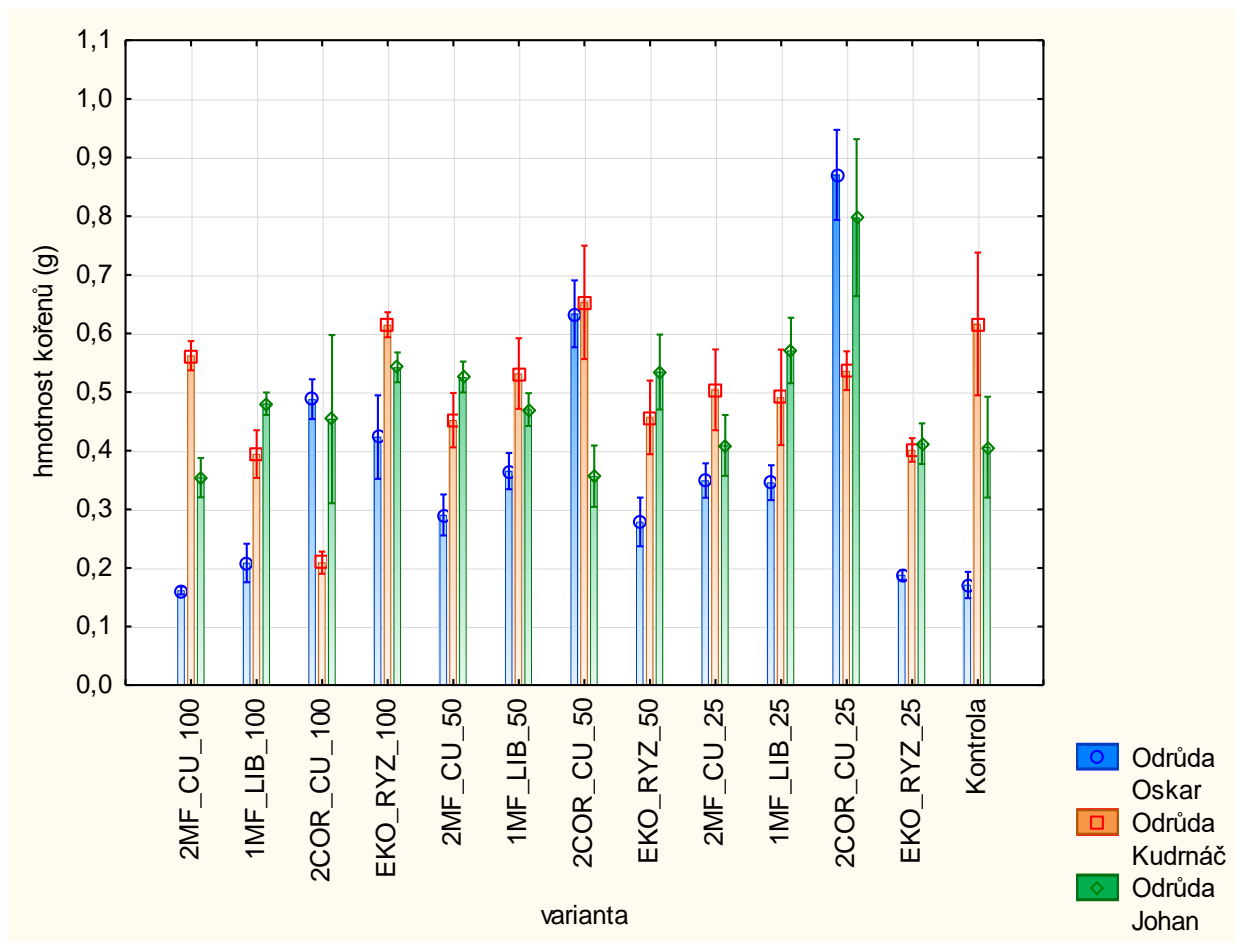
Graf 18: Obsah sušiny v nadzemní části rostlin hrachu zahradního dle varianty ošetření výluhy ze slámy

- Nejnižší obsah sušiny v nadzemní části hrachu odrůdy Oskar byl průkazně zjištěn ve variantě ošetření 2COR_CU_25.
- Rostliny hrachu odrůdy Oskar vykazaly nejvyšší citlivost k ovlivnění obsahu sušiny v nadzemní části.
- U rostlin odrůdy Kudrnáč byl zjištěn nejvyšší obsah sušiny v nadzemní části ve variantě ošetření 1MF_LIB_50. Tento údaj je vzhledem k dalším výsledkům zřejmě důsledkem metodické chyby. Nejnižší obsah sušiny u rostlin odrůdy Kudrnáč průkazně vykazaly rostliny ve variantě ošetření 2MF_CU_50.
- Rostliny odrůdy hrachu Johan výrazně nereagovaly změnou obsahu sušiny v nadzemní části na ošetření výluhy ze slámy ani v jedné z experimentálních variant.



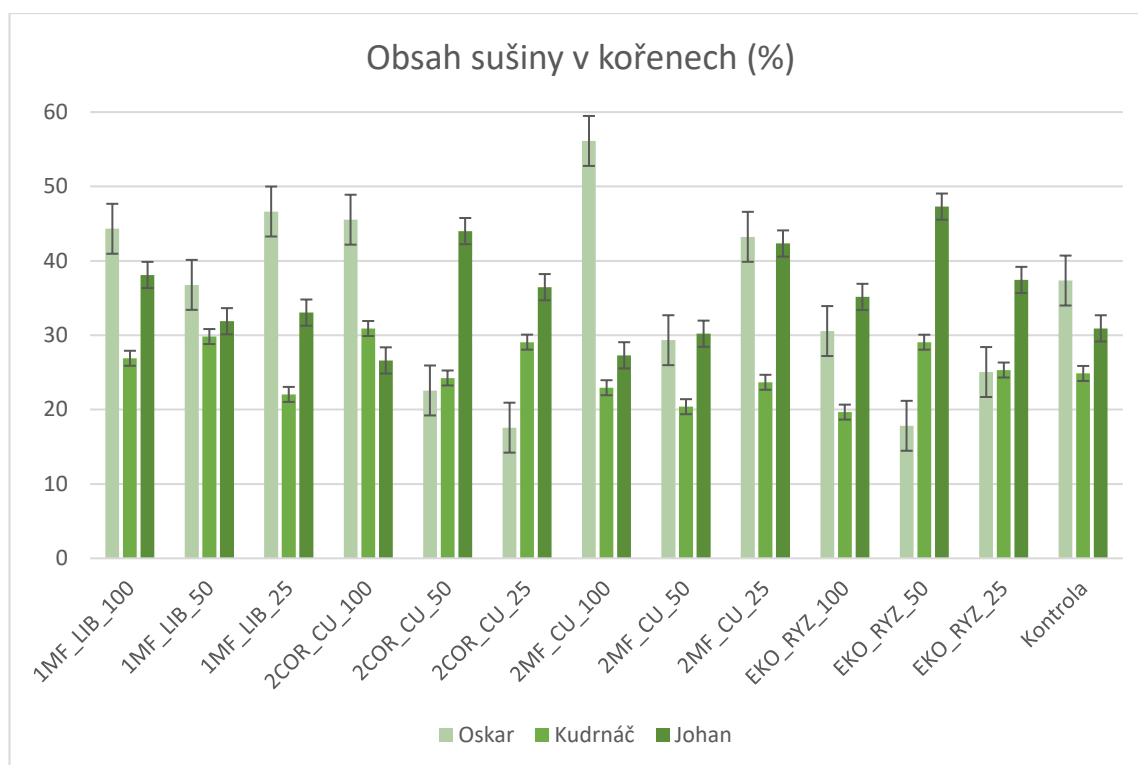
Graf 19: Vliv varianty ošetření výluhy ze slámy na délku kořenů hrachu zahradního

- Na délku kořenů hrachu odrůdy Oskar má výrazný vliv aplikace výluhu ze slámy z ekologického zemědělství (EKO_RYZ), dále 100% a 50% výluhy ve všech variantách ošetření kromě 1MF_LIB_50.
- Kořeny hrachu odrůdy Kudrnáč jsou průkazně nejkratší ve variantě ošetření 2MF_CU_25.
- Reakce délky kořenů hrachu odrůdy Johan výrazně neovlivňuje aplikace výluhů ze slámy ošetřené přípravkem Corello (2COR_CU). Nejkratší kořeny byly průkazně zjištěny ve variantách ošetření 1MF_LIB_25 a 2MF_CU_100.
- Citlivé odrůdy k reziduíům herbicidů z hlediska negativního ovlivnění délky kořenů jsou Oskar a Kudrnáč.
- Výrazný vliv na délku kořenů všech odrůd hrachu byl zjištěn ve variantě ošetření 2MF_CU_100.



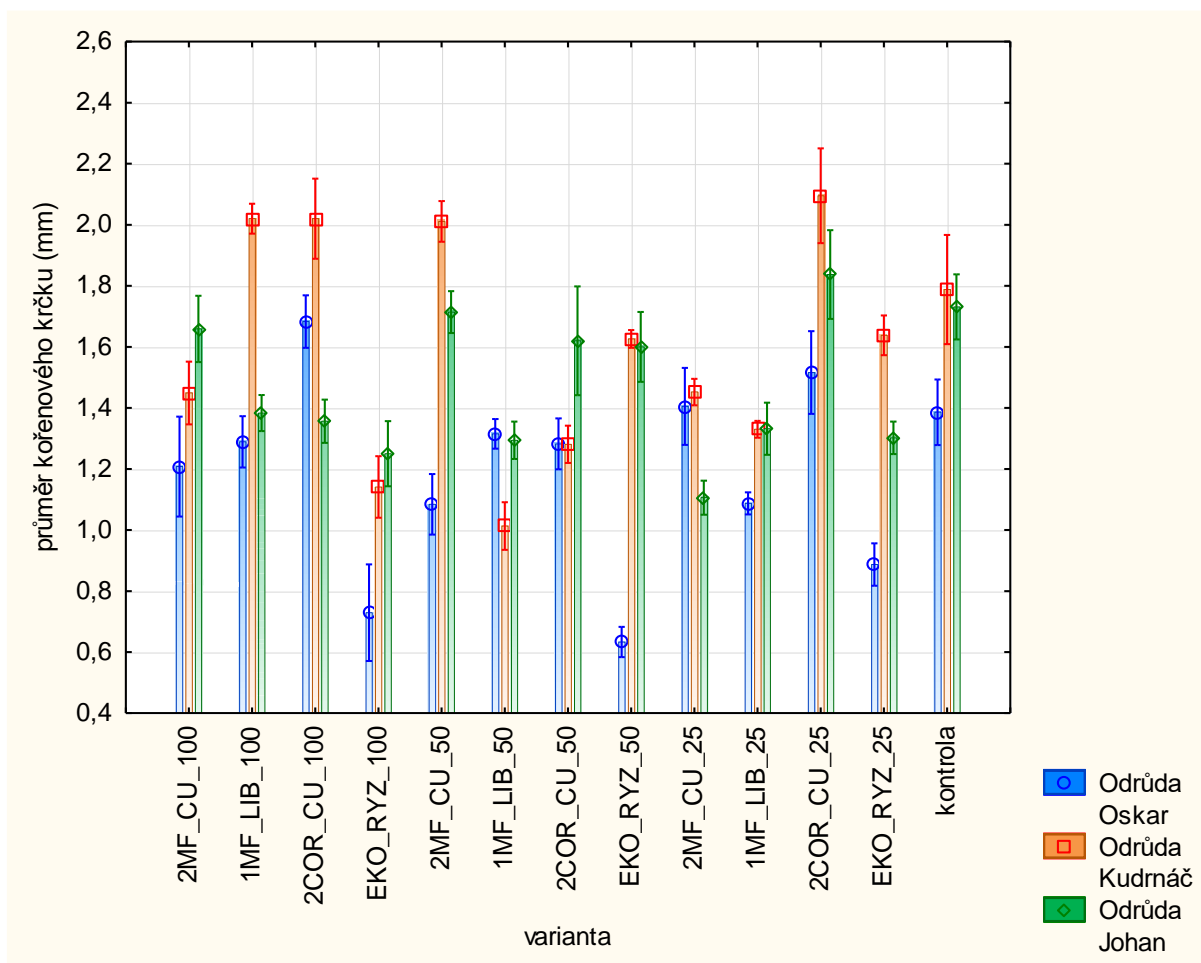
Graf 20: Vliv varianty ošetření rostlin hrachu výluhy ze slámy na hmotnost kořenů

- Rostliny odrůdy Oskar z kontrolní varianty byly zřejmě zatíženy metodickou či jinou chybou, jelikož vykazují nízkou hmotnost kořenů oproti kořenům rostlin z ostatních variant.
- Rostliny odrůdy Kudrnáč vykazaly nízkou citlivost k ovlivnění hmotnosti kořenů rezidui herbicidů ve výluzích. Průkazně nejvýraznější vliv na snížení hmotnosti kořenů se projevil pouze u rostlin ve variantě ošetření 2COR_CU_100.
- Rostliny odrůdy Johan byly málo citlivé k ovlivnění hmotnosti kořenů, žádná z variant ošetření jí výrazněji neovlivnila vyjma varianty ošetření 2COR_CU_25, kde měly kořeny průkazně vyšší hmotnost než v kontrolní variantě.



Graf 21: Obsah sušiny v kořenech rostlin hrachu zahradního proměnlivý dle varianty ošetření výluhem ze slámy

- Rostliny odrůdy Oskar vykázaly nejnižší obsah sušiny v kořenech ve variantě ošetření 2COR_CU_25 a EKO_RYZ_50. Průkazně nejvyšší obsah sušiny v kořenech byl zjištěn v rostlinách ve variantě ošetření 2MF_CU_100. Statisticky významný rozdíl oproti kontrole byl zjištěn ve všech variantách ošetření kromě 1MF_LIB_50, 2MF_CU_25, EKO_RYZ_100.
- Rostliny odrůdy Kudrnáč vykázaly nejnižší obsah sušiny v kořenech ze všech odrůd a zároveň nejnižší citlivost k ovlivnění obsahu sušiny rezidui herbicidů. Ve variantách ošetření 2COR_CU_50, 2MF_CU_100, 2MF_CU_25, EKO_RYZ_25 nebyly nalezeny statisticky významné rozdíly oproti hodnotám obsahu sušiny v kontrolní variantě.
- U rostlin odrůdy Johan byl zjištěn nejvyšší obsah sušiny v kořenech ve variantě ošetření EKO_RYZ_50. Nejnižší obsah sušiny byl zjištěn v kořenech rostlin ve variantě ošetření 2COR_CU_100. Statisticky významný rozdíl byl zaznamenán ve všech variantách ošetření kromě 2MF_CU_50, 1MF_LIB_50, 1MF_LIB_25.
- Rostliny odrůdy Oskar a Johan jsou citlivé k ovlivnění obsahu sušiny v kořenech.
- Určitý vliv na obsah sušiny v kořenech hrachu mají u odrůdy Oskar a Johan téměř všechny výluhy z ošetřené slámy i výluh ze slámy z ekologického zemědělství.



Graf 22: Vliv varianty ošetření roztoky výluhů ze slámy na průměr kořenového krčku hrachu

- Výrazný vliv na průměr kořenového krčku odrůdy Oskar byl zjištěn ve variantě ošetření EKO_RYZ ve všech koncentracích.
- U odrůdy Kudrnáč byl zjištěn nejúžší kořenový krček ve variantě ošetření 1MF_LIB_50 se statisticky významným rozdílem oproti kontrole.
- U odrůdy Johan byl zjištěn nejúžší kořenový krček ve variantě ošetření 2MF_CU_25 se statisticky významným rozdílem oproti kontrole.
- Největší vliv na zúžení kořenového krčku rostlin hrachu u všech odrůd byl zjištěn ve variantě ošetření EKO_RYZ_100.

6 Diskuze

Poškození rezidui herbicidu aminopyralid obsažených v substrátu se projevilo podobně jako v experimentu Washington State University (2011), dle kterého byly modifikovány použité aplikační koncentrace aminopyralidu. U rostlin hrachu došlo ke svinování a deformaci především mladších listů a také k zakrňování. Tyto symptomy popisuje i Ferrell et al. (2020), který tvrdí, že aminopyralid je vysoce mobilním herbicidem a poškození či nesprávný vývoj rostlin tak nejvíce zaznamenává právě v mladých pletivech rostliny.

Rozdílné byly výsledky týkající se koncentrací aminopyralidu. Washington State University (2003) uvádí, že při použití herbicidů ze skupiny syntetických auxinů na bázi pyridin-karboxylové kyseliny (aminopyralid, picloram, clopyralid, triclopyr a další) jsou pozorovatelné změny na rostlinách jetele lučního (*Trifolium pratense* L.), který stejně jako hrách pochází z čeledi *Fabaceae*, již při koncentracích 1-2 ppb. V diplomovém experimentu bylo zaznamenáno poškození rostlin hrachu od koncentrace 10 ppb a výše. V experimentu Washington State University (2011) však bylo znatelné svinování listů u hrachu setého již při koncentraci 5 ppb. Dále při koncentraci 10 ppb a 50 ppb byly rostliny poškozené a jejich růst rostlin inhibován natolik, že neprojevovaly téměř žádné známky vitality. V diplomovém experimentu byla až při použitých koncentracích 25 ppb a 50 ppb znatelná střední až závažnější poškození rostlin a inhibice růstu. Tato skutečnost byla pravděpodobně výsledkem jiného principu transportu aminopyralidu k rostlinám – v experimentu Washington State University (2011) byl použit pro pěstování rostlin hrachu kompost ze slámy ošetřené aminopyralidem a běžný zahradnický substrát v poměru 2:1. V diplomovém experimentu byl použit rašelinový substrát ošetřený vodným roztokem aminopyralidu. Podle Recycled Organics Unit (2007) jsou experimenty s komposty, které obsahují nižší koncentrace herbicidů metodicky problematické, z důvodu heterogenního charakteru a vyššího obsahu humínových látek.

Rostliny hrachu ošetřené aminopyralidem vykázaly menší počet lusků než neošetřené rostliny. Lze tedy říci, že rezidua aminopyralidu v půdě snižují výnos hrachu. Singh & Wright (1999) zjistili, že aplikace herbicidů vede u rostlin hrachu ke snížení klíčivosti, nodulace (tzn. tvorby hlíz obsahující bakterie, jež fixují vzdušný dusík), celkové aktivity dusíkatých látek, fotosyntézy, listové plochy a sušiny kořenů a nadzemních částí rostlin hrachu, obsahu dusíku a výnosu hrachu. Obdobný názor prezentuje společnost Health and Safety Executive (1990). Podle této organizace rezidua aminopyralidu výrazně ovlivňují růst a snižují výnos hrachu, fazolí, rajčat a brambor. Z výsledků hodnocení množství lusků a květů, které probíhalo v našem diplomovém experimentu souběžně, plyne, že aminopyralid může zpomalovat nástup hrachu do plodnosti. Podle Jursíka et al. (2011) jsou známým projevem fytotoxicity způsobené herbicidy patřících do skupiny syntetických auxinů (aminopyralid) různé reprodukční abnormality.

Jursík et al. (2011) dále uvádí, že jako následky působení syntetických auxinů lze pozorovat prodlužování internodií a nestandardní růst dvouděložných rostlin. Obdobné skutečnosti byly zjištěny u rostlin ošetřených aminopyralidem v koncentraci 10 ppb. Rostliny byly delší než kontrolní varianta, ale jejich hmotnost úměrně nestoupala. Zároveň disponovaly nejužším kořenovým krčkem. Pletiva byla pravděpodobně řídká a převládal zde dlouhivý růst. Tyto rostliny jsou v praxi náchylnější k mechanickému poškození nebo napadení chorobami a škůdci. Růstové elongace způsobené působením reziduí aminopyralidu mohou být příčinou

redukce výnosu a jakosti porostu. U vyšších koncentrací aminopyralidu 25 ppb a 50 ppb už byla délka rostlin oproti kontrole redukována a snížení hmotnosti bylo úměrné délce rostlin.

V experimentech Singha & Wrighta (1999) s herbicidy a hrachem setým se negativní účinky herbicidů na rostliny stupňují se zvyšující se dávkou. V našem experimentu však tato úměrnost vždy neplatila. Není vyloučeno, že tyto poznatky mohou být zkresleny různým umístěním rostlin v pěstební kóji, kde mohlo dojít k nerovnoměrnému rozložení světla a tepla - rostliny u topných těles či blíže světelnému zdroji mohly mít pro růst mírně odlišné podmínky.

Účinná látka pyroxsulam dostupná v přípravku Corello celkově neměla na rostliny hrachu tak výrazný vliv jako samostatný aminopyralid. Výsledky mohly být ovlivněny safenerem (prostředek přidávaný do přípravků na ochranu rostlin ke snížení fytotoxicity) či dalšími přídatnými látkami obsaženým v přípravku Corello. O této skutečnosti hovoří i článek Duhoux et al. (2017), který tvrdí, že herbicidní safenery snižují citlivost k ALS inhibitorům, mezi které pyroxsulam patří, a zároveň mohou způsobovat i rezistenci plevelů z rodu jílků (*Lolium* sp.). V tomto experimentu došlo k logistické prodlevě ze strany dodavatele chemikálií a nebylo proto možné použít samostatný pyroxsulam. V dalších experimentech by bylo vhodné s velkou časovou rezervou zajistit dodávku účinných látek a použít obě herbicidní účinné látky v čisté formě.

U rostlin ve variantách ošetřených pyroxsulamem byl při vyhodnocení délky nadzemní části, hmotnosti nadzemní části a šířky kořenového krčku zaznamenán klesající trend se zvyšující se koncentrací roztoku. Podle vládního orgánu australské vlády Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority (2008) je nejnižší dávka pyroxsulamu obsažená v herbicidním přípravku Crusader, při které byly znatelné změny délek výhonků cukrové řepy 0,032 g/ha. Další studie provedená APVMA v Halbury v jižní Austrálii označila dávku pyroxsulamu 18,75 g/ha jako množství, které způsobilo poškození 15-30 % následných plodin. V našem experimentu byl znatelný pokles délky rostlin u množství pyroxsulamu 16 g/ha (160 mg/l – varianta pyroxsulam 5, přepočít dle návodu k přípravku Crusader, kde je doporučeno aplikovat 100 l postřikové jíchy/ha).

Rostliny hrachu ošetřené výluhy ze slámy vykazaly nižší vzcházivost než neošetřené rostliny. Tato skutečnost mohla být ovlivněna samotnými rezidui herbicidů ve slámě, ale s vyšší pravděpodobností se lze domnívat, že příčinou nižší vzcházivosti byly jiné inhibiční látky ze slámy či substrátu. Pro další experimenty je vhodné substrát dezinfikovat, v našem experimentu byl použit běžně dostupný substrát v plastickém perforovaném pytli. Nelze tak vyloučit kontaminaci substrátu různými mikroorganismy. Další příčinou odečtených výsledků vzcházivosti rostlin hrachu mohly být i různé původy slámy, které mohly obsahovat vlivem jiných operací během pěstování a skladovacích prostor odlišná spektra obsažených látek. Podle Ma (2005) bylo v pšenici seté (*Triticum aestivum* L.) identifikováno mnoho alelopatických látek, které jsou řazeny především do kategorií fenolových kyselin, hydroxamových kyselin a mastných kyselin s krátkým řetězcem. V mnoha systémech zemědělské výroby byly hlášeny negativní účinky pšenice na jiné plodiny. V pokusu, který prezentuje Winkler (2017) mají rozkládající se slámy obilnin přímý vliv na klíčení slunečnice roční (*Helianthus annuus* L.) a ovsu hluchého (*Avena fatua* L.). Dle dostupných informací dokáží redukovat vzcházení více než o polovinu oproti kontrolním variantám. Al Hamdi et al. (2001) se však v návaznosti na výsledky experimentů se slaměnými výluhy domnívá, že označení inhibice růstu způsobené chemikáliemi by se měl namísto termínem alelopatie nahradit pojmem fytotoxicita, dokud

nebudou k dispozici přesné údaje o přirozeném uvolňování sloučenin z agresivní rostliny, koncentraci a perzistenci těchto sloučenin v prostředí a přímém zapojení do inhibice cílové rostliny.

Různé odrůdy hrachu setého vykázaly dle předpokladů rozdílnou odolnost k vystavení herbicidům aminopyralid a pyroxsulam. Experimentem s několika registrovanými odrůdami hrachu setého zahradního se zabývala i Dostálová & Ondráčková (2018). Ačkoliv experiment těchto autorek byl zaměřen na výzkum odolnosti hrachu vůči abiotickému a biotickému stresu, podobně jako v našem experimentu zjistily, že různé odrůdy hrachu reagují na stres odlišně. Z výsledků experimentu Bhutta et al. (2012) vyplynulo, že čím blíže jsou rostliny hrachu u sebe (v experimentu se jednalo o klesající rozteče řádků 100 - 40 cm), tím se lineárně snižuje zaplevelení a zvyšuje výnos. Pro tuto tezi se dobře hodí bezlisté úponkové odrůdy, které jsou schopny v těchto roztečích řádků dobře prosperovat, např. v našem experimentu testovaná odrůda Kudrnáč. Ačkoliv semi-leafless odrůda Kudrnáč, která pomocí svých úponků vytváří právě dobře zapojený, méně poléhavý a tím i snadněji obhospodařovatelný porost, očekávalo se, že vzhledem ke své citlivosti k biotickým a abiotickým stresům bude reagovat na herbicidy nejcitlivěji. Tento předpoklad se však nepotvrdil. V pokusech sice vykázal nejhorší vzcháživost, krátké kořeny, ale také nejmenší rozsah poškození rostlin. Nižší citlivost odrůdy hrachu Kudrnáč k poškození nadzemní části rostliny herbicidy je možné vysvětlit genotypem, sníženou listovou plochou, rychlejší výměnou oxidu uhličitého a vyšší schopností využívat vodu (Houba et al. 2009). Jelikož odrůda Kudrnáč nedisponuje množstvím listů jako ostatní testované odrůdy mohlo by dojít ke klamavému dojmu, že není poškozena nadzemní část. Tato možnost je však vysoce nepravděpodobná, protože ani další růstové charakteristiky nevykázaly znaky závažnějších poškození než ty, které byly patrné u ostatních odrůd hrachu.

7 Závěr

- Různé koncentrace herbicidních látek aminopyralid a pyroxsulam v pěstebním médiu průkazně ovlivnily růstové charakteristiky vybraného sortimentu hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*). Hypotéza tak byla potvrzena.
- Rostliny statisticky průkazně vykazaly tyto symptomy poškození: inhibice růstu, poškození nadzemní části, úbytek hmotnosti nadzemní části, zúžení kořenového krčku, snížení klíčivosti a vzcházivosti, zkrácení kořenů.
- Nejčastěji pozorovanými znaky poškození rostlin hrachu setého vlivem herbicidů aminopyralid a pyroxsulam bylo svinování listů a inhibice růstu rostlin.
- Statisticky významné rozdíly byly pozorovány v míře ovlivnění růstových charakteristik hrachu setého vlivem působení herbicidů. Aminopyralid vykázal výraznější vliv než pyroxsulam. Jelikož nebyly pro experiment oba herbicidy dostupné v čisté formě, ale pyroxsulam byl testován v přípravku Corello, není vyloučeno, že měly na výsledky vliv přídatné látky obsažené v tomto přípravku.
- Předpoklad, že se zvyšující se koncentrací herbicidu se bude zvyšovat i míra poškození nebyl potvrzen. V několika případech byla u vyšších koncentrací herbicidů či výluhů ze slámy ošetřené herbicidy znatelná méně závažná poškození či ovlivnění růstových charakteristik než u nižších koncentrací těchto roztoků.
- Mezi odrůdami hrachu byly pozorovány statisticky významné rozdíly ve vlivu herbicidních látek na růst rostlin hrachu setého. Hypotéza, že rostliny odlišných odrůd hrachu setého zahradního (*Pisum sativum* L. ssp. *hortense*) vykáží různé reakce na vystavení herbicidům a jejich reziduím byla potvrzena.
- Nejcitlivější odrůdou k herbicidním látkám byl Vladan. Nejodolnější odrůdou hrachu byl shledán Kudrnáč.
- Klíčivost hrachu a další růstové charakteristiky byly průkazně ovlivněny vlivem aplikace výluhů ze slámy ošetřené herbicidy aminopyralid a pyroxsulam. Nelze však s přesností určit, do jaké míry jsou tyto výsledky důsledkem vlivu reziduí herbicidů či jiných inhibičních látek obsažených v pšeničné slámě.
- Předpoklad, že výluh ze slámy z ekologického zemědělství bude mít nejmenší vliv na klíčení a vývoj rostlin hrachu se nepotvrdil. V některých případech byly jeho účinky srovnatelné či měly dokonce výraznější vliv na rostliny než roztoky výluhů ze slámy ošetřené herbicidy. Tyto výsledky jsou pravděpodobně ovlivněny fytotoxickými či jinými látkami, které byly obsaženy ve slámě.
- Z experimentu plyne, že při pěstování citlivých plodin je třeba dodržovat doporučení a ochranné lhůty či po ošetření některými herbicidy vůbec citlivé rostliny nepěstovat – tzn. po ošetření přípravkem Mustang Forte nepoužívat hnůj, slámu ani kompost k hrachu, případně dalším citlivým plodinám. Pro urychlení rozkladu reziduí herbicidu Mustang Forte je na místě slámu ošetřených obilnin rozřezat na drobné části a zapravit do půdy.

- V případě opakování tohoto experimentu doporučuji vytvořit užší výběr odrůd hrachu a zvýšit množství pokusných rostlin. Jelikož je tento pokus prostorově náročný bylo by v případě omezení množství odrůd možné rozšíření spektra sledovatelných změn růstových charakteristik hrachu setého, jako je např. vliv herbicidů na počet semen hrachu v lusku apod. Pro hodnocení je zapotřebí více osob, aby nebyly v případě velkého množství rostlin výsledky zkresleny časovou prodlevou.
- Před samotným pěstováním citlivé rostliny na hebicidy jako je např. hrách je vhodné provádět experimenty a rostlinným materiálem typu bioassay pro detekci reziduí herbicidů v půdě či kompostu. Jakkoliv je provedení laboratorně-analytických zkušebních metod nákladné, nemusí vždy poskytovat pravdivý obraz reálné biologické dostupnosti herbicidu pro rostliny.

8 Literatura

Al Hamdi B, Inderjit, Olofsdotter M, Streibig JC. 2001. Laboratory Bioassay for Phytotoxicity. *Agron. J.*, 93: 43-48. <https://doi.org/10.2134/agronj2001.93143x>.

Al-Saleh IA. 1994. Pesticides: a review article. *J Environ Pathol Toxicol Oncol.* 13(3) 151-161. PMID: 7722882.

Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. 2006. Evaluation of the new active Aminopyralid in the product Hotshot Herbicide. APVMA, Canberra, Australia. ISSN 1443-1335.

Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. 2008. Evaluation of the new active Pyroxsulam in the product Crusader Herbicide. APVMA, Canberra, Australia. ISSN 1443-1335.

Bàrberi P, Mazzoncini M. 2001. Changes in weed community composition as influenced by cover crop and management system in continuous corn. *Weed Science.* 49. 491-499. 10.1614/0043-1745(2001)049[0491:CIWCCA]2.0.CO;2.

Bhutta M, Rab A, Amin N, Fazaliwahid, Jan I, Ahmed I, Khan I, Khan M. 2012. Effect of herbicides and row spacing on the growth and yield of pea. *Pak. J. Weed Sci. Res.* 18. 1-13.

Cardina J, Herms C, Doohan D. 2002. Crop rotation and tillage system effects on weed seedbanks. *Weed Science*, 50(4), 448-460. doi:10.1614/0043-1745(2002)050[0448:CRATSE]2.0.CO;2

Cobb AH, Reade JPH. 2010. *Herbicides and Plant Physiology*. Wiley-Blackwell, New Jersey. ISBN:9781405129350.

Coyne JC, Kumar S, Von Wettberg EB, Marques E, Berger JD, Redden RJ, Ellis NTH, Brus J, Zablazská L, Smýkal P. 2020. Potential and limits of exploitation of crop wild relatives for pea, lentil and chickpea improvement. *Legume Science*. DOI: 10.1002/leg3.36.

Das SK, Mondal T. 2014. Mode of action of herbicides and recent trends in development: a reappraisal. *Int. J. Agric. Soil Sci.* 2. 27-32.

Dostálová J, Prugar J. 2008. Luskoviny. 195-205. In: Prugar J et al. Kvalita rostlinných produktů na prahu 3. tisíciletí. Výzkumný ústav pivovarský a sladařský, a.s., Praha. 326 s. ISBN 978-80-86576-28-2.

Duhoux A, Pernin F, Desserre D, Délye Ch. 2017. Herbicide Safeners Decrease Sensitivity to Herbicides Inhibiting Acetolactate-Synthase and Likely Activate Non-Target-Site-Based Resistance Pathways in the Major Grass Weed *Lolium* sp. (Rye-Grass). *Front. Plant Sci.* 8:1310. doi: 10.3389/fpls.2017.01310.

Ferrell JA, Dittmar P, Sellers BA, Devkota P. 2020. Herbicide Residues in Manure, Compost, or Hay: SSAGR415/AG416, rev. 05/2020. EDIS, 2020(4).

Garza W. 2015. Fabaceae: Classification, Nutrient Composition and Health Benefits. *Plant Science Research and Practices*, Nova Science City. ISBN: 9781634822008, 1634822005.

Gutiérrez-Urbe JA, Guajardo-Flores D, López-Barrios L. 2016. Legumes in the Diet, *Encyclopedia of Food and Health*. Academic Press, Pages 539-543, ISBN 9780123849533.

Harris S. 2004. Tropical Forests, Woody Legumes (excluding Acacias), *Encyclopedia of Forest Sciences*, Elsevier, Pages 1793-1797. ISBN 9780121451608.

Hasanuzzaman M, Araújo S, Singh Gill S. 2020. The Plant Family Fabaceae: Biology and Physiological Responses to Environmental Stresses. Springer Singapore; Springer. ISBN 9789811547515,9789811547522.

Houba M, Hochman M, Hosnedl V. 2009. Luskoviny: pěstování a užití. Kurent. České Budějovice. 133 s. ISBN 978-80-87111-19-2.

Hyväkkö U, King AWT, Kilpeläinen I. 2014. Extraction of wheat straw with aqueous tetra-n-butylphosphonium hydroxide, *BioRes.* 9(1), 1565-1577.

Chhokar RS. 2019. Broad spectrum weed control in wheat with pyroxsulam and its tank mix combination with sulfosulfuron. DOI:10.25174/2249-4065/2019/85871.

Jablonský I. 2005. Pěstujeme klíčící osivo a výhonky. Grada Publishing, Praha. ISBN 80-247-1114-1.

Javorský P. 1987. Chemické rozbory v zemědělských laboratořích. České Budějovice MZV ČR.

Jursík M, Soukup J, Holec J. 2010. Listy cukrovarnické a řeparské. Vol. 126 Issue 1, p14-16. 3p. 1.

Jursík M, Soukup J, Holec J, Andr J. 2011. Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: Plant growth regulator herbicides (synthetic auxins). Listy cukrovarnické a řeparské. Vol. 127. 88-92.

Jursík M, Holec J, Hamouz P, Soukup J. 2018. Biologie a regulace plevelů. Kurent, České Budějovice. ISBN 978-80-87111-71-0.

Kocourek F, Koudela M, Jursík M, Holý K, Rod J, Kovaříková K. 2016. Technologie pěstování a ochrany zelí, květáku, cibule, salátu a mrkve při ekologickém pěstování zeleniny. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha. ISBN 978-80-7427- 216-5.

Kurhan S, Klouček P, Maršík P, Jablonský I, Koudela M. 2020. Stanovení reziduí pyroxsulamu a aminopyralidu pomocí LC-MS/MS - uplatněná certifikovaná metodika. Power Print s.r.o., Praha. ISBN 9788021330641.

Lahola J et al. 1990. Luskoviny: pěstování a využití. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. ISBN 8020901272.

Lewis GP. 2005. Legumes of the world. Richmond, UK: Royal Botanic Gardens, Kew. ISBN 9781900347808.

Mahbubur Rahman AHM, Ismot Ara Parvin M. 2014. Study of Medicinal Uses on Fabaceae Family at Rajshahi, Bangladesh. Research in Plant Sciences 2, no. 1: 6-8. doi: 10.12691/plant-2-1-2.

Malý I. 2003. Pěstujeme cibuli, česnek a hrách a další luskové a cibulové zeleniny. Grada Publishing a.s., Praha. ISBN 8024706350.

Maxted N, Ambrose M. 2001. Peas (*Pisum L.*). In: Maxted N., Bennett S.J. (eds) Plant Genetic Resources of Legumes in the Mediterranean. Current Plant Science and Biotechnology in Agriculture, vol 39. Springer, Dordrecht. ISBN 978-90-481-5613-9.

Michaels TE. 2016. Grain Legumes and Their Dietary Impact: Overview, Encyclopedia of Food Grains (Second Edition), Academic Press. ISBN 9780123947864.

Mikulka J. 2014. Plevelle polních plodin. Profi Press, Praha. ISBN 9788086726601.

Mikulka J, Kneifelová M. 2005. Plevelné rostliny. 2., kompletně přeprac. vyd. Profi Press, Praha. ISBN 80-86726-02-9.

Nakano H, Morita S, Shigemori H et al. 2006. Plant Growth Inhibitory Compounds from Aqueous Leachate of Wheat Straw. *Plant Growth Regul* 48, 215–219. <https://doi.org/10.1007/s10725-006-0006-6>.

Nemeskéri E, Molnár K, Víg R et al. 2015. Relationships between stomatal behaviour, spectral traits and water use and productivity of green peas (*Pisum sativum* L.) in dry seasons. *Acta Physiol Plant* 37, 34.

Petříková K, Hlušek J et al. 2012. Zelenina - pěstování, výživa, ochrana a ekonomika. Profi Press s.r.o., Praha. ISBN 9788086726502.

Petříková K, Malý I. 2000. Základy pěstování luskové zeleniny. Výzkumný ústav výchovy a vzdělávání MZe ČR, Praha. ISBN 9788071052074.

Prather TS, DiTomaso JM, Holt JS. 2000. History, Mechanisms, and Strategies for Prevention and Management of Herbicide Resistant Weeds. UC Statewide IPM Advisor, Kearney Agricultural Center, Parlier.

Raza A et al. 2020. Nitrogen Fixation of Legumes: Biology and Physiology. In: Hasanuzzaman M, Araújo S, Gill S (eds). *The Plant Family Fabaceae*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4752-2_3.

Sherwani SI, Arif IA, Khan HA. 2015. Modes of Action of Different Classes of Herbicides. DOI: 10.5772/61779.

Siddique KHM, Johansen C, Turner NC et al. 2012. Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 32, 45–64 <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0021-5>.

Singh V, Masabni J, Baumann P, Isakeit T, Matocha M, Provin T, Liu R, Carson K, Bagavathiannan M. 2019. Activated charcoal reduces pasture herbicide injury in vegetable crops. *Crop protection* 2019. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2018.10.022>.

Singh G, Wright D. 1999. Effects of herbicides on nodulation, symbiotic nitrogen fixation, growth and yield of pea (*Pisum sativum*). *The Journal of Agricultural Science*, 133(1), 21-30. doi:10.1017/S0021859699006735.

Stagnari F, Maggio A, Galieni A et al. 2017. Multiple benefits of legumes for agriculture sustainability: an overview. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 4, 2. <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0085-1>.

Tominack RL, Tominack R. 2000. Herbicide Formulations, *Journal of Toxicology: Clinical Toxicology*, 38:2, 129-135, DOI: 10.1081/CLT-100100927.

Vavilov NI. 1960. Mirovije očagi važnejšich kulturnych rastenij. *Izbrannyje trudy*. Tom II. IAN SSSR Moskva – Leningrad.

Wágner G, Nádasy E. 2006. Effect of pre-emergence herbicides on growth parameters of green pea. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 71(3 Pt A):809-813. PMID: 17390825.

Wu H, Pratley J, Lemerle D, Haig T. 2006. Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Applied Biology*. 139. 1 - 9. DOI: 10.1111/j.1744-7348.2001.tb00124.x.

Zain NM, Yew OH, Sahid I, Chuah TS. 2013. Potential of Napier grass (*Pennisetum purpureum*) extracts as a natural herbicide. *Pakistan Journal of Botany*. 45. 2095-2100.

Zohary D, Hopf M, Weiss E. 2012. *Domestication of Plants in the Old World*. Oxford: Oxford University Press. ISBN 9780199549061.

ONLINE ZDROJE:

Agromanual. 2021. Botanická charakteristika a hospodářský význam luskovin. Available from <https://www.agromanual.cz/data/web/download/luskoviny-ukazka.pdf> (accessed March 2021).

Agromanual. 2021. Corello. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/herbicity/herbicid/corello> (accessed November 2021).

Agromanual. 2021. Mustang Forte. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/herbicity/herbicid/mustang-forte> (accessed November 2021).

Agromanual. 2021. Účinná látka aminopyralid – seznam přípravků. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ucinne-latky/ucinna-latka/aminopyralid> (accessed November 2021).

Agromanual. 2021. Účinná látka pyroxsulam – seznam přípravků. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/pripravky/ucinne-latky/ucinna-latka/pyroxsulam> (accessed November 2021).

Baumann PA, Dotray PA, Prostko EP. 2021. Herbicides: How They Work and the Symptoms They Cause. Available from <https://agriflifeextension.tamu.edu/library/gardening/herbicides-how-they-work-and-the-symptoms-they-cause/> (accessed November 2021).

Britannica, The Editors of Encyclopaedia. 2019. "Pea". Encyclopedia Britannica. Available from <https://www.britannica.com/plant/pea> (accessed June 2021).

Burnham RJ, Yuan S, Melymuka M, Bradtke J, Dorey J. 2013. *Pisum sativum*. University of Michigan. Available from <http://climbers.lsa.umich.edu/?p=304> (accessed March 2021).

Carbon Robotics. 2021. Autonomous laserweeder. Available from <https://carbonrobotics.com/laserweeding-technology> (accessed October 2021).

Carvalho SJP et al. 2009. Herbicide selectivity by differential metabolism: considerations for reducing crop damages. *Scientia Agricola*. Available from <https://www.scielo.br/j/sa/a/Cph39SfB3MZ7NgRskLS9T9M/?lang=en#> (accessed November 2021).

ČSÚ 2020. Srovnání krajů v České republice – 2020. Available from <https://www.czso.cz/csu/czso/11-zemedelstvi-k6pymgr9fi> (accessed March 2021).

DeFelice M. 2021. PPO Inhibitor (Cell Membrane Disruptor) Herbicides. Pioneer. Available from <https://www.pioneer.com/us/agronomy/ppo-inhibitor-herbicides.html> (accessed November 2021).

Dorušková V. 2010. *Pisum sativum* L. – hrách setý / hrách siaty. Available from <http://botany.cz/cs/pisum-sativum/> (accessed June 2021).

Dostálová J. 2021. Luštěniny. Available from <https://www.vyzivaspol.cz/wp-content/uploads/2016/10/prof-Jana-Dst%C3%A1lov%C3%A1-CSc.pdf> (accessed March 2021).

Dostálová R, Ondráčková E. 2018. Citlivost odrůd hrachu k abiotickému a biotickému stresu. Agritec Plant Research, s.r.o. Šumperk. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/osivo-a-sadba-1/citlivost-odrud-hrachu-k-abiotickemu-a-biotickemu-stresu> (accessed March 2022).

FAO. 2021. FAOSTAT: Plocha pěstovaného hrachu. Available from <http://www.fao.org/faostat/en/?#data/QC> (accessed March 2021).

Grulich V. 2013. *Fabaceae* Lindl. – bobovité. Available from <https://botany.cz/cs/fabaceae/> (accessed March 2021).

Health and Safety Executive. 2009. Evaluation on: Aminopyralid (Agricultural Uses). Food and Environment Protection Act. Plant Protection Products Regulations 2005. Available from <http://data.parliament.uk/DepositedPapers/Files/DEP2009-2602/DEP2009-2602.pdf> (accessed February 2022).

Hefferty S. 2019. Aminopyralid – the herbicide that hasn't gone away. Available from <https://organicgrowersalliance.co.uk/aminopyralid-the-herbicide-that-hasnt-gone-away/> (accessed November 2021).

Khan T, Mubeen U. 2012. Wheat Straw: A pragmatic overview. *Current Research Journal of Biological Sciences*. 6. 673–675. Available from https://www.researchgate.net/publication/320894189_Wheat_Straw_A_pragmatic_overview (accessed March 2022).

Kinkorová J. 2004. Perspektivy použití biologického hubení plevelů pomocí dvoukřídlých s cílem omezit používání pesticidů. Available from <http://www.phytopsanitary.org/old/projekty/2003/vvf-10-03.pdf> (accessed November 2021).

Kulovaná E. 2001. Poškození polních plodin herbicidy. Available from <https://www.uroda.cz/poskozeni-polnich-plodin-herbicidy/> (accessed November 2021).

Lipavský J. 2021. Dekadická fenologická stupnice vybraných plodin. Available from <https://docplayer.cz/23943779-Dekadicka-fenologicka-stupnice-vybranych-plodin.html> (accessed February 2021).

Ma Y. 2005. Allelopathic studies of common wheat (*Triticum aestivum* L.). Available from <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1445-6664.2005.00164.x> (accessed February 2022).

Mendelova univerzita v Brně. 2022. Organická hnojiva ostatní – sláma. Available from https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=1543&typ=html (accessed March 2022).

MZe. 2019. Situační a výhledová zpráva luskoviny - 2019. Available from http://www.akcr.cz/data_ak/20/k/LuskovinySVZ1912.pdf (accessed March 2021).

Perspective in Public Health. 2009. Herbicide residues in manure found to damage crops. London. Available from <https://www.proquest.com/openview/4e615037a7fbc9b77b1ca33198ac4348/1?pq-origsite=gscholar&cbl=51940> (accessed February 2020).

Pharmaffiliates. 2021a. Pyroxsulam. Available from <https://www.pharmaffiliates.com/en/422556-08-9-pyroxsulam-paenv000653.html> (accessed November 2021).

Pharmaffiliates. 2021b. Aminopyralid. Available from <https://www.pharmaffiliates.com/en/150114-71-9-aminopyralid-pa270013546.html> (accessed November 2021).

Recycled Organics Unit. 2007. Persistent Herbicides Risk Management Program: Research Report and Recommended Action Plan. Second Edition. Recycled Organics Unit. Available from <https://www.epa.nsw.gov.au/-/media/epa/corporate-site/resources/warrlocal/050365-herbicides.pdf?la=en&hash=31F8B0BFE73A949B78C2F88AD82F81D147EF8EA1> (accessed February 2022).

Royal Botanic Gardens, Kew. 2021. Plants of the world online. Available from <http://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30000147-2> (accessed March 2021).

SEMO a.s. 2021. Hrách Oskar. Available from <https://www.semo.cz/eshop/hrach-sety-drenovy-oskar-1004/> (accessed September 2021).

SEMO a.s. 2021. Hrách Kudrnáč. Available from <https://www.semo.cz/eshop/hrach-sety-drenovy-kudrnac-1050/> (accessed September 2021).

SEMO a.s. 2021. Hrách Vladan. Available from <https://www.semo.cz/eshop/hrach-sety-drenovy-vladan-1011/> (accessed September 2021).

SEMO a.s. 2021. Hrách Vladan. Available from <https://www.semo.cz/eshop/hrach-sety-drenovy-vladan-p1011/> (accessed September 2021).

SEMO a.s. 2021. Hrách Johan. Available from <https://www.semo.cz/eshop/hrach-sety-drenovy-johan-1042/> (accessed September 2021).

Tichá M, Vyzinová P. 2006. Polní plodiny: Hrách setý. Ústav vegetabilních potravin a rostlinné produkce, Veterinární a farmaceutická univerzita, Brno. Available from <https://cit.vfu.cz/vegetabilie/plodiny/czech/hrach.htm> (accessed March 2021).

United States Office of Prevention, Pesticides Environmental Protection and Toxic Substances Agency. 2005. Pesticide Fact Sheet Aminopyralid. Available from https://www3.epa.gov/pesticides/chem_search/reg_actions/registration/fs_PC-005100_10-Aug-05.pdf (accessed November 2021).

University of Minesota Extension. 2018. Lipid synthesis inhibitor herbicides. Available from <https://extension.umn.edu/herbicide-mode-action-and-sugarbeet-injury-symptoms/lipid-synthesis-inhibitor-herbicides> (accessed November 2021).

ÚKZÚZ. 2019. ÚKZÚZ a komise pro doporučení odrůd hrachu polního a sóje. Seznam doporučených odrůd 2019: hrách polní. Available from http://www.akcr.cz/data_ak/18/k/SDO/SDOhrachPolni2019.pdf (accessed June 2021).

ÚKZÚZ. 2021. ÚKZÚZ a komise pro doporučení odrůd hrachu polního a sóje. Seznam doporučených odrůd 2021: hrách polní. Available from http://www.akcr.cz/data_ak/20/k/SDO/Hrach_SDO_2021.pdf (accessed June 2021).

Vaculík A. 2017. Možnosti ošetření hrachu proti plevelům. AGRITEC, výzkum, šlechtění a služby s.r.o., Šumperk. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/moznosti-osetzeni-hrachu-proti-plevelum> (accessed July 2021).

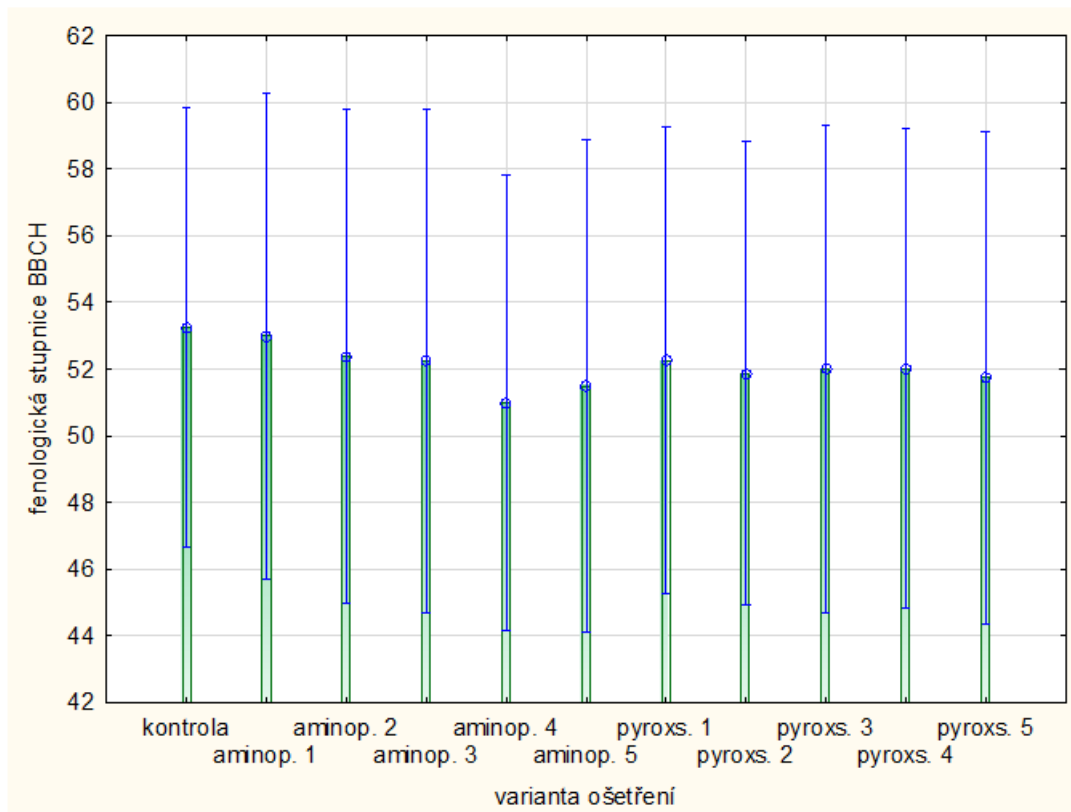
Washington State University. 2011. Bioassay Test for Auxinic Herbicide Residues in Compost: Protocol for Gardeners in Washington State. Available from <http://whatcom.wsu.edu/ag/aminopyralid/bioassay.html> (accessed October 2021).

Washington State University. 2003. Rating scale of clopyralid damage in peas. Available from <https://puyallup.wsu.edu/soils/clopyralid/> (accessed February 2022).

Winkler J. 2017. Plevelle a hospodaření se slámou. Mendelova Univerzita v Brně. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/plevele-a-hospodareni-se-slamou> (accessed February 2022).

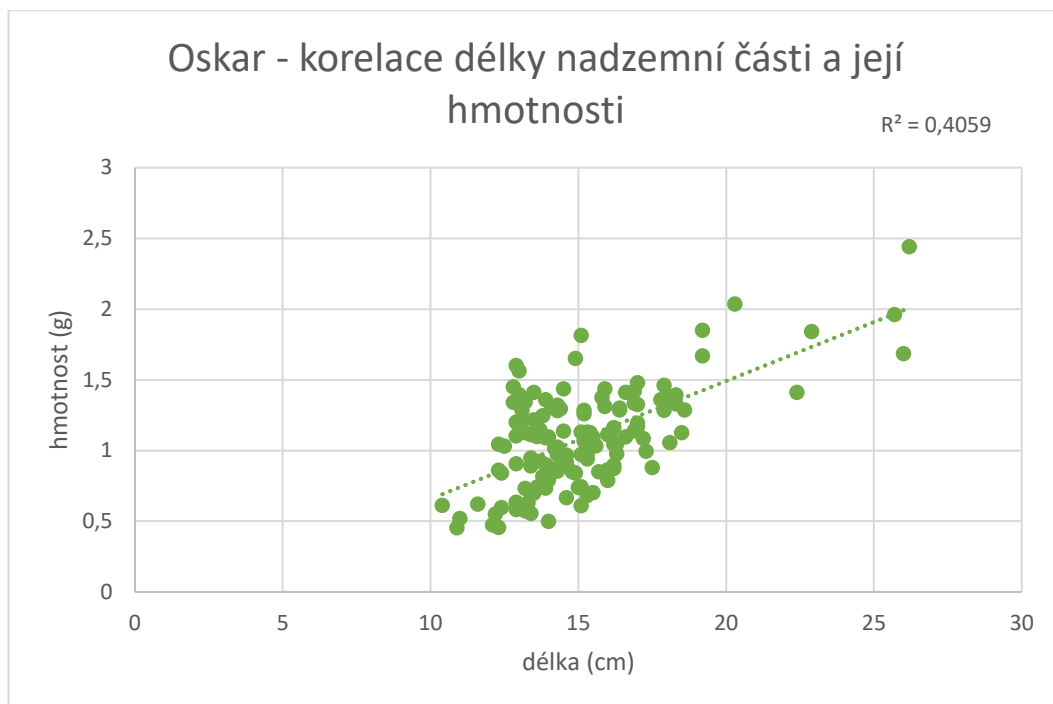
Zemědělské komodity. 2021. Luskoviny. Available from <http://www.zemedelskekomodity.cz/index.php/roslinna-vyroba-menu/luskoviny> (accessed March 2021).

9 Samostatné přílohy



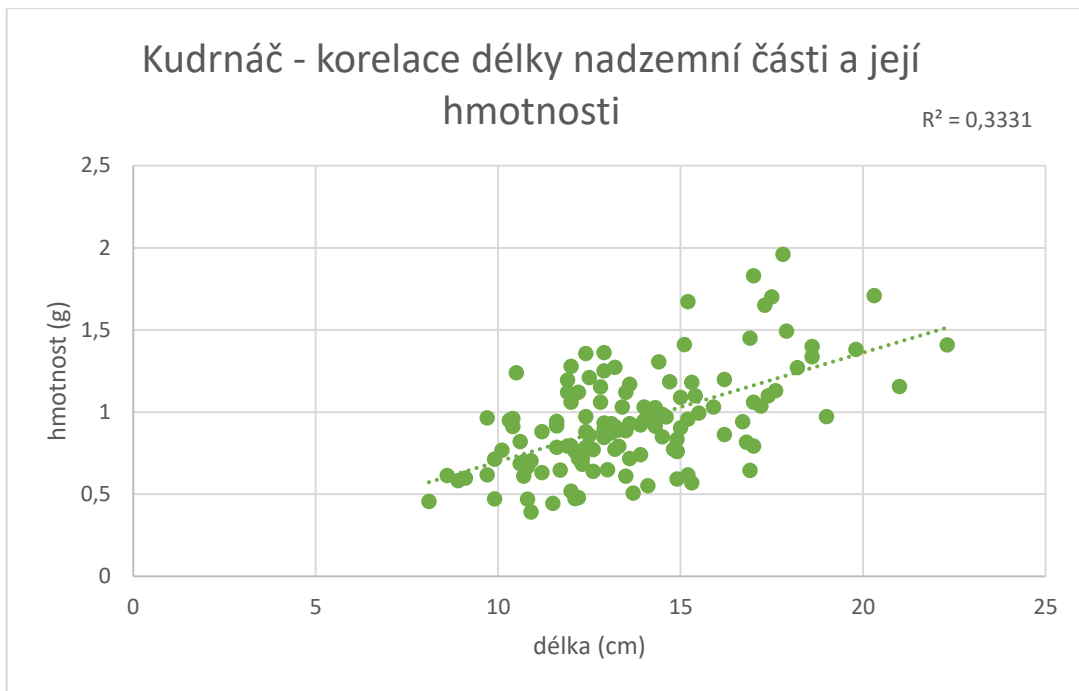
Graf 23: Vliv varianty ošetření aminopyralidem a pyroxsulamem na fenologický vývoj hrachu 1 měsíc od výsevu - viz Tab. 7

- U různých variant ošetření aminopyralidem a pyroxsulamem nebylo ovlivnění fenologického vývoje hrachu prokázáno - nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl.



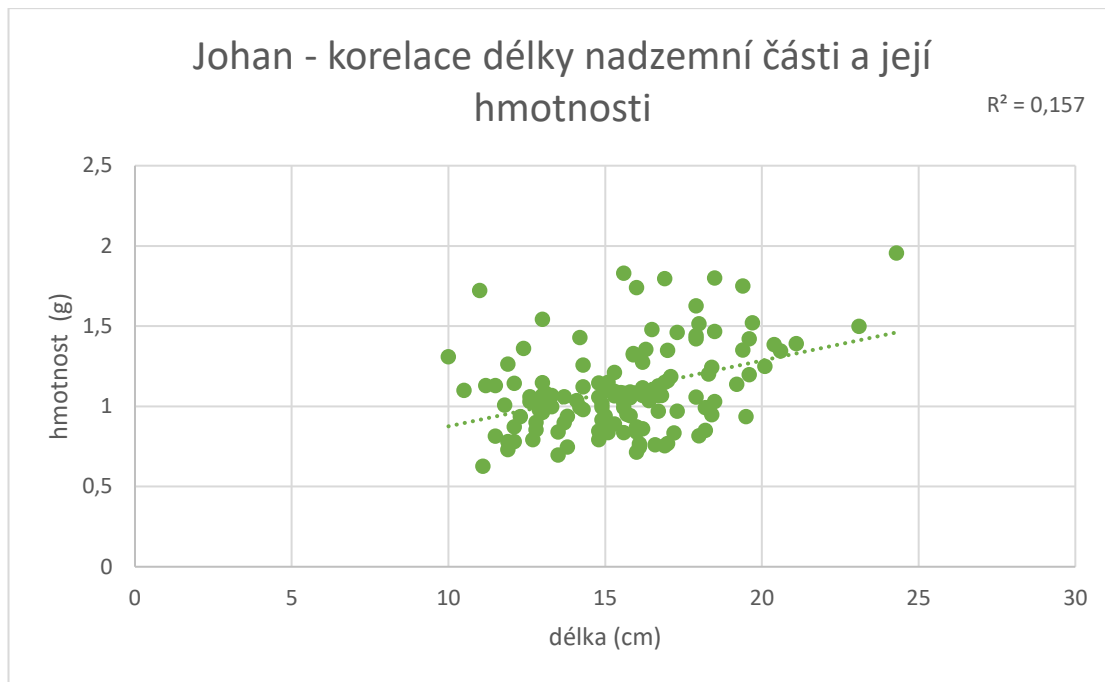
Graf 24: Korelace délky nadzemní části a hmotnosti nadzemní části hrachu odrůdy Oskar ošetřené výluhy z různých druhů slámy

- Koeficient determinace $R^2 = 0,4059$ vyjadřuje, že u rostlin odrůdy Oskar byla střední závislost hmotnosti nadzemní části na její délce.
- U rostlin odrůdy Oskar spíše není zvýšená citlivost k ovlivnění kvality tvorby pletiv, která mohou být řídká či nestandardně vyvinutá vlivem vnějších či vnitřních vlivů.



Graf 25: Korelace délky nadzemní části a hmotnosti nadzemní části hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené výluhy z různých druhů slámy

- Koeficient determinace $R^2 = 0,3331$ vyjadřuje, že u rostlin odrůdy Kudrnáč byla nízká až střední závislost hmotnosti nadzemní části na její délce.
- U rostlin odrůdy Kudrnáč mohla být zvýšená citlivost k ovlivnění kvality tvorby pletiv, která mohou být řídká či nestandardně vyvinutá vlivem vnitřních či vnějších vlivů.



Graf 26: Korelace délky nadzemní části a hmotnosti nadzemní části hrachu odrůdy Johan ošetřené výluhy z různých druhů slámy

- Koeficient determinace $R^2 = 0,157$ vyjadřuje, že u rostlin odrůdy Johan byla jen velmi nízká závislost hmotnosti nadzemní části na její délce.
- S růstem délky rostlin hrachu se nemusela zvyšovat hmotnost, protože některá rostlinná pletiva mohla být vlivem vnitřních i vnějších vlivů řídká či nestandardně vyvinutá.



Obr. 8: Kontrolní varianta rostlin hrachu odrůdy Oskar ošetřená vodou 1 měsíc od výsevu (experiment s aminopyralidem a pyroxsulamem)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 9: Kontrolní varianta rostlin hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřená vodou 1 měsíc od výsevu (experiment s aminopyralidem a pyroxsulamem)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 10: Kontrolní varianta rostlin hrachu odrůdy Johan ošetřená vodou 1 měsíc od výsevu (experiment s aminopyralidem a pyroxsulamem)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 11: Kontrolní varianta rostlin hrachu odrůdy Vladan ošetřená vodou 1 měsíc od výsevu (experiment s aminopyralidem a pyroxsulamem)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 12: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené aminopyralidem (0,002 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 13: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené aminopyralidem (0,002 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 14: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené aminopyralidem (0,002 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 15: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené aminopyralidem (0,002 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 16: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené aminopyralidem (0,005 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 17: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené aminopyralidem (0,005 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 18: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené aminopyralidem (0,005 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 19: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené aminopyralidem (0,005 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 20: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené aminopyralidem (0,01 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 21: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené aminopyralidem (0,01 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



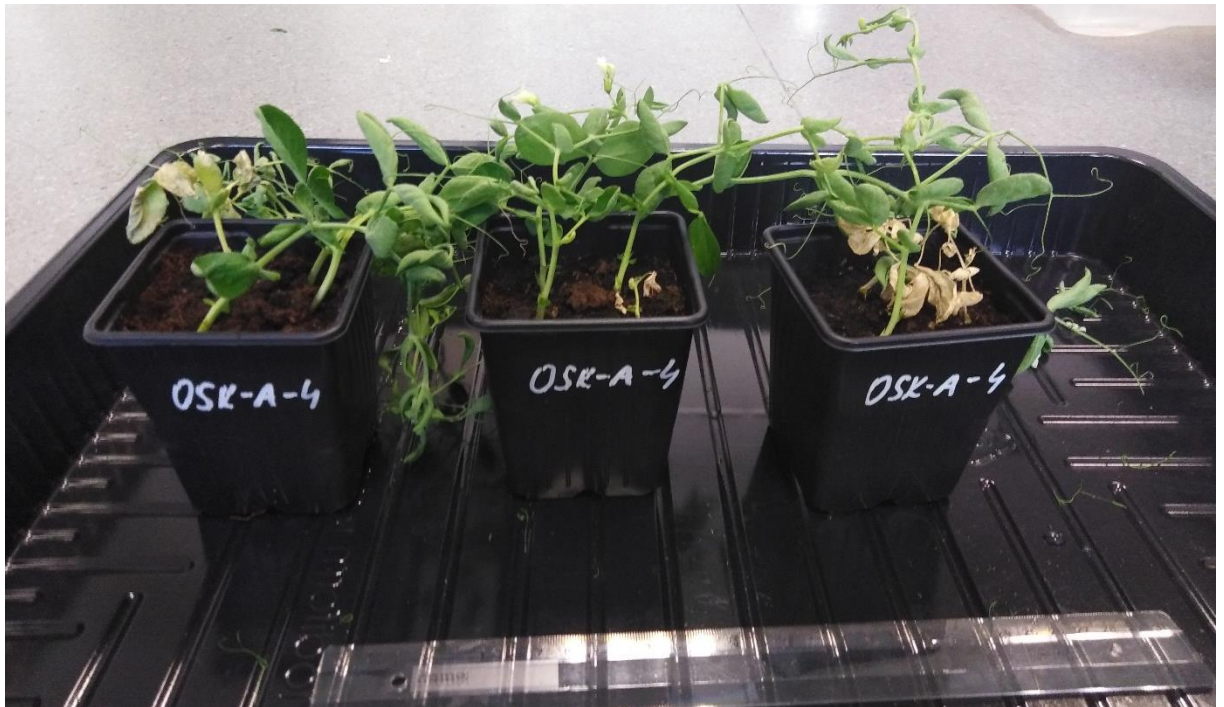
Obr. 22: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené aminopyralidem (0,01 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 23: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené aminopyralidem (0,01 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 24: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené aminopyralidem (0,025 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 25: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené aminopyralidem (0,025 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 26: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené aminopyralidem (0,025 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 27: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené aminopyralidem (0,025 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 28: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené aminopyralidem (0,05 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 29: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené aminopyralidem (0,05 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 30: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené aminopyralidem (0,05 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 31: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené aminopyralidem (0,05 mg/l) - 1 měsíc od výsevu

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 32: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené pyroxsulamem (10 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 33: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené pyroxsulamem (10 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 34: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené pyroxsulamem (10 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 35: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené pyroxsulamem (10 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 36: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené pyroxsulamem (20 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 37: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené pyroxsulamem (20 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 38: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené pyroxsulamem (20 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 39: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené pyroxsulamem (20 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 40: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené pyroxsulamem (40 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 41: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené pyroxsulamem (40 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 42: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené pyroxsulamem (40 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 43: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené pyroxsulamem (40 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 44: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené pyroxsulamem (80 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 45: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené pyroxsulamem (80 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 46: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené pyroxsulamem (80 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 47: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené pyroxsulamem (80 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 48: Rostliny hrachu odrůdy Oskar ošetřené pyroxsulamem (160 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 49: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč ošetřené pyroxsulamem (160 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 50: Rostliny hrachu odrůdy Johan ošetřené pyroxsulamem (160 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 51: Rostliny hrachu odrůdy Vladan ošetřené pyroxsulamem (160 mg/l) - 1 měsíc od výsevu
Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 52: Rostliny hrachu odrůd Oskar, Kudrnáč, Johan (zleva) – kontrolní varianta ošetřená vodou pro experiment s výluhy ze slámy

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 53: Rostliny hrachu odrůdy Oskar – ošetřené výluhem ze slámy z ekologického zemědělství (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 54: Rostliny hrachu odrůdy Oskar – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 1 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 55: Rostliny hrachu odrůdy Oskar – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 2 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 56: Rostliny hrachu odrůdy Oskar – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Corello v dávce 2 kg/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 57: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč – ošetřené výluhem ze slámy z ekologického zemědělství (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 58: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 1 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 59: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 2 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 60: Rostliny hrachu odrůdy Kudrnáč – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Corello v dávce 2 kg/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 61: Rostliny hrachu odrůdy Johan – ošetřené výluhem ze slámy z ekologického zemědělství (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 62: Rostliny hrachu odrůdy Johan – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 1 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 63: Rostliny hrachu odrůdy Johan – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Mustang forte v dávce 2 l/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)

Autor: Hana Vrbová (2021)



Obr. 64: Rostliny hrachu odrůdy Johan – ošetřené výluhem ze slámy ošetřené přípravkem Corello v dávce 2 kg/ha (zleva koncentrace 0 %, 100 %, 50 %, 25%)
Autor: Hana Vrbová (2021)