

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Demonstrační a experimentální pracoviště



**Přínosy a rizika technologií využívající odolnosti odrůd k
herbicidům**

Bakalářská práce

Autor práce: Josef Kučera

Obor studia: Pěstování rostlin

Vedoucí práce: doc. Ing. Miroslav Jursík, Ph.D.

© 2019 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Přínosy a rizika technologií využívající odolnosti odrůd k herbicidům" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 18.4.2019

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Jursíkovi, Ph.D. za trpělivost, vstřícný přístup, poskytnuté materiály a cenné rady při zpracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat rodičům, sourozencům a všem blízkým za podporu a trpělivost při studiu, kterou se mnou měli.

Přínosy a rizika technologií využívající odolnosti odrůd k herbicidům

Souhrn

Zavedení pěstování odrůd plodin tolerantních k herbicidům (HT technologie) vedlo k výraznému posunu v ochraně proti plevelům. Cukrová řepa (*Beta vulgaris var. altissima*) tolerantní k účinným látkám foramsulfuronu a thiencazone-methylu byla vyšlechtěna běžnými šlechtitelskými metodami a předpokládá se její brzké zavedení v České republice pod obchodním názvem Conviso Smart.

V roce 2018 proběhl na Demonstračním a pokusném pozemku FAPPZ ČZU v Praze-Suchdol maloparcelkový pokus. Byl zkoušen nový herbicid Conviso One, buď samostatně nebo v kombinaci s dalšími herbicidy. Testované herbicidy byly aplikovány v různých kombinacích ve 4 termínech po vzejití cukrové řepy. Sledovala se herbicidní účinnost na merlík bílý (*Chenopodium album*), laskavec ohnutý (*Amaranthus retroflexus*), bažanku roční (*Mercurialis annua*), plevelnou řepu (*Beta vulgaris*), mračňák Theophrastův (*Abutilon theophrasti*), ježatku kuří nohu (*Echinochloa crus-galli*) a opletku obecnou (*Fallopia convolvulus*). Dále byla hodnocena hmotnost biomasy plevelů, reprodukční schopnost plevelů a výnos bulev cukrové řepy.

Nejvyšší účinnost prokázal herbicid Conviso One v dělené aplikaci (0,5+0,5 l/ha). Průkazně nižší účinnost byla zaznamenána po jednorázovém ošetření herbicidem Conviso One (1,0 l/ha), nebo v případě že byl tento herbicid použit v kombinaci s jinými herbicidy (Stemat Super, Outlook, Goltix Top, Goltix Titan, či Betanal Expert, kde skoro u všech plevelů, kromě laskavce ohnutého a plevelné řepy přežilo ošetření několik jedinců. Nejvíce biomasy a plodů (75.000 klubiček/m²) vytvořila plevelná řepa na konvenční variantě (Betanal Expert + Safari), která vykazala nulovou účinnost na plevelnou řepu, ale ostatní plevele byly potlačeny velmi dobře.

Nejvyšší výnos bulev cukrové řepy (81 t/ha) bylo dosaženo u varianty ošetřené pouze dělenou dávkou herbicidu Conviso One, bez použití dalších herbicidů, naopak nejnižší výnos (12,2 t/ha) byl zaznamenán na variantě ošetřené kombinací Betanal maxxPro + Goltix Titan v důsledku zaplevelení plevelnou řepou a mračňákem Theophrastovým.

Klíčová slova: cukrová řepa, HT technologie, účinnost herbicidů, regulace plevelů, Conviso Smart

Benefits and risks of technology using the resistance of crops against herbicides

Summary

Introduction of herbicide-tolerant crops (HT technology) led to the significant shift in the weed management. ALS tolerant sugar beet (*Beta vulgaris*) has been cultivated using the common cultivation tools and it is anticipated its introduction to the Czech Republic under the commercial name Conviso Smart.

Small plot experiment took place at the Demonstration and Experimental Center FAPPZ ČZU in Prague-Suchdol in 2018. New herbicide Conviso One was tested with and without the combination of other herbicides. Tested herbicides were applied in four different application terms. Herbicide effectivity on *Chenopodium album*, *Amaranthus retroflexus*, *Mercurialis annua*, *Abutilon theophrasti*, *Echinochloa crus-galli*, *Fallopia convolvulus* and weed beet were measured. Furthermore, the weight of weeds' biomass, reproduction ability of weeds and tuber yield of sugar beet was evaluated too.

The highest efficacy provided herbicide Conviso One, applied twice (split application) at application rate 0.5+0.5 l/ha. Significantly lower efficacy was recorded after the one treatment of Conviso One (1.0 l/ha) and in the case of combination of Conviso One with other herbicides (Stemat Super, Outlook, Goltix Top, Goltix Titan or Betanal Expert), where several individual weeds survived the treatments, except for *Amaranthus retroflexus* and weed beet. The most biomass and fruits (75 000 fruits/ m²) produced the weed beet on plots treated by u Betanal Expert + Safari three times, which had no effect on the weed beet, however other weeds were controlled.

The highest tuber yield of sugar beet (81 t/ha) was recorded on plots treated by split application of Conviso One. On the other hand, the lowest yield (12.2 t/ha) was recorded on plots treated by conventional herbicides (Betanal maxxPro + Goltix Titan) under the consequence of weed beet and *Abutilon theophrasti* competition.

Keywords: sugar beet, HT technology, efficacy of herbicides, weed control, Conviso Smart

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Technologie herbicidní tolerance (HT technologie)	3
3.1.1	GM technologie	4
3.2	Místo a mechanismus působení účinku herbicidů, které se používají v HT technologiích	5
3.2.1	Inhibitory syntézy aminokyselin	5
3.2.1.1	Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS inhibitory)	8
3.2.1.2	Inhibitory 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntázy (EPSPS inhibitory).....	14
3.2.1.3	Inhibitory glutamin syntetázy (GS).....	18
3.3	HT technologie v plodinách	19
3.3.1	Řepka ozimá.....	19
3.3.2	Kukuřice	19
3.3.3	Cukrová řepa	20
3.3.4	Slunečnice	21
3.4	Hlavní přínosy a rizika HT technologií	22
3.4.1	Přínosy HT technologií	22
3.4.2	Rizika s využíváním HT technologií	23
4	Metodika	25
4.1	Charakteristika polního pokusu	25
4.1.1	Podmínky stanoviště.....	25
4.1.2	Povětrnostní a klimatická charakteristika	25
4.1.3	Zpracování půdy a hnojení.....	27
4.2	Založení a průběh pokusu	27
4.2.1	Charakteristika plodiny	27
4.2.2	Založení pokusu	27
4.2.3	Aplikace herbicidů.....	29
4.2.4	Hodnocení účinnosti herbicidů.....	29
4.2.5	Hodnocení reprodukční schopnosti plevelů	29
4.2.6	Hodnocení výnosu bulev.....	30
5	Výsledky	31
5.1	Hodnocení účinnosti herbicidů a reprodukční schopnosti plevelů	31
5.1.1	Mračňák Theoprasstův	31
5.1.2	Opletka obecná.....	32

5.1.3	Merlík bílý	33
5.1.4	Ježatka kuří noha	35
5.1.5	Bažanka roční	35
5.1.6	Plevelná řepa	36
5.1.7	Laskavec ohnutý.....	38
5.2	Výnos bulev cukrové řepy.....	39
6	Diskuze	41
6.1.1	Účinnost herbicidů v cukrové řepě	41
6.1.2	Výnos cukrové řepy.....	42
7	Závěr	43
8	Literatura.....	44
9	Seznam tabulek.....	52
10	Seznam grafů	52
11	Seznam obrázků.....	52
12	Přílohy	53

1 Úvod

Ztráty výnosů hodnotných plodin způsobované konkurencí plevelů jsou známé od dob, kdy člověk přešel od lovecko-sběračského způsobu života k zemědělství. Nejdříve převládalo ruční odstraňování plevelů, poté začalo vznikat plánované střídání plodin v osevních sledech, a na přelomu 19. a 20. století se začaly používat první anorganické sloučeniny (síran měďnatý či železnatý nebo kyselina sírová). Do pěstovaných monokultur musela být stále vkládána větší energie a z tohoto důvodu na počátku 40. let 20. století začaly vznikat první selektivní herbicidy. Vysoká účinnost moderních herbicidů zaručovala spolehlivost ochrany i při nedodržování základních přímých i nepřímých agrotechnických zásad (Jursík a kol., 2011).

Dlouhodobé používání herbicidů sebou nese určitá rizika, která se začala projevovat v polovině 60. let nárůstem rezistentních populací se zavedením triazinových herbicidů. Od 90. let docházelo k rychlému rozvoji rezistentních populací plevelů k dalším herbicidním skupinám.

V posledních letech také dochází ke stále častější restrikci účinných látek pesticidů, což výrazně omezuje regulaci plevelů, a proto je třeba nacházet nové možnosti regulace plevelů, které budou dostatečně účinné.

Východiskem tohoto problému by měla být nová technologie pěstování cukrové řepy nazývaná Conviso Smart, která byla v této práci testována.

2 Cíl práce

Cílem práce je získat informace o technologiích využívající odolnosti odrůd k herbicidům (HT technologie) se zaměřením na přínosy těchto technologií oproti konvenčním odrůdám a posouzení rizik, které mohou tyto technologie přinášet.

3 Literární rešerše

3.1 Technologie herbicidní tolerance (HT technologie)

Současné systémy regulace plevelů jsou založeny především na používání herbicidů. V současnosti existuje velké množství účinných látek a herbicidů. Vývoj a zavedení nového herbicidu je dlouhý a nákladný proces, který stojí ročně společnosti stovky milionů dolarů a jejich uvedení na trh trvá přibližně 10-12 let. Taková investice se vyplatí pouze u plodin celosvětově pěstovaných. Nově zavedené herbicidy musí vykazovat nejen dobrou účinnost na plevele a selektivitu k plodině, ale musí rovněž splňovat přísné ekotoxikologické požadavky. I tyto herbicidy mohou být použity pouze v omezeném počtu přirozeně tolerantních plodin a škála druhů plevelů regulovaných herbicidem je někdy omezená. To vyžaduje použití kombinací několika účinných látek, nebo rozdělení herbicidů do více aplikací (Soukup a kol., 2011).

Z těchto důvodů se agrochemické společnosti v posledních 25 letech zaměřily na možnost použití stávajících účinných herbicidů v plodinách, u kterých to dosud nebylo možné, a to z důvodu fytotoxicity. Začaly tak vznikat nové technologie ochrany proti plevelům založené na herbicidní toleranci (HT) nově vytvářených odrůd (Jursík a kol., 2011).

Konvekčními šlechtitelskými postupy se podařilo vytvořit hybridy kukuřice, řepky, cukrové řepy, slunečnice aj. tolerantní k herbicidům ze skupiny acetolaktát syntázy (ALS) inhibitorů (Tan a kol., 2006). U kukuřice se podařilo vytvořit hybridy tolerantní k inhibitorům Acetyl-CoA karboxylázy (ACCasy) (Naylor, 2002). Odrůdy odolné k širokospektrálním listovým herbicidům s účinnými látkami glyfosát a glufosinát amonný nešlo vytvořit přirozenými šlechtitelskými postupy, ale pouze genetickou modifikací (GM), kterou vznikly například odrůdy kukuřice, sóji, řepky, bavlníku, aj. (Devine, 2005).

Tabulka 1 Současné HT technologie využívané ve světě. (Soukup a kol.).

Současné systémy odrůd s tolerancí k herbicidům			
Vzniklé selekčním šlechtěním		Vzniklé genetickou modifikací (GM)	
Tolerance k	Obchodní název technologie	Tolerance k	Obchodní název technologie
Imidazolinonům (imazamox)	Clearfield	Glyphosate	Roundup Ready
sulfonylmočovinám (tribenuron)	ExpressSun	glufosinate-NH ₄	Liberty Link
cyklohexandionům (cykloxydim)	Duo	Sulfonylmočovinám	Moonshade, Moondust
triazinům (atrazin)	TT	syntetickým auxinům	Enlist
sulfonylmočovinám (sulfosulfuron)	Conviso Smart	HPPD inhibitorům	MGI

3.1.1 GM technologie

Za posledních 50 let se lidská populace více než zdvojnásobila, ze 3 na 7 miliard a do roku 2050 se předpokládá, že přibudou další více než 2 miliardy lidí, především v rozvojových zemích. Přesto v dnešní době 20 % celkové světové populace hladoví. Vzniká proto tlak na neustálé zlepšování vlastností kulturních plodin, které slouží k obživě. Cílem šlechtění je aplikovat nové metody, jednak klasické, ale hlavně biotechnologické a molekulární, včetně genového inženýrství, které mají zajistit vyšší a kvalitní výnosy kulturních plodin (Řepková, 2013).

Teoretický výzkum problematiky související s genetickými modifikacemi (GM) zahrnuje modelové druhy, studium různých metod transformace nebo identifikaci cílových genů u různých organismů. Aplikovaný výzkum se zabývá např. studiem stupně exprese transgenů a výběr postupů vedoucích ke konečnému produktu využitelnému ve šlechtění nové odrůdy (Řepková, 2013).

První zemí na světě, která pěstovala transgenní plodinu pro komerční využití byla Čína počátkem 90. let. Tabák rezistentní vůči virům. V USA firma Calgene uvedla na trh v roce 1994 první GM plodinu, a to rajče s prodlouženou životaschopností nazvané FlavrSavr (Ovesná, 2005).

GM HT plodiny se komerčně pěstují od roku 1995 a do roku 2017 dosáhly celkově přes 100 milionů hektarů. Nejvíce se používají GM HT technologie u sóji 50 %, kukuřice 31 %, bavlny 13 %, řepky 5 %, vojtěšky a cukrové řepy (isaaa, 2017).

3.2 Místo a mechanismus působení účinku herbicidů, které se používají v HT technologiích

3.2.1 Inhibitory syntézy aminokyselin

Biosyntéza aminokyselin zaujímá v metabolismu rostlin významné místo, protože je těsně spjata s dalšími metabolickými pochody např. fotosyntézou, asimilací amoniaku, fotorespirací, syntézou purinových a pyrimidinových bází, alkaloidů aj. Převážná část biosyntetických pochodů, počínaje biosyntézou aminokyselin, probíhá za světla v chloroplastech, a proto se zde také nacházejí cílové enzymy této herbicidní skupiny (Jursík a kol., 2018).

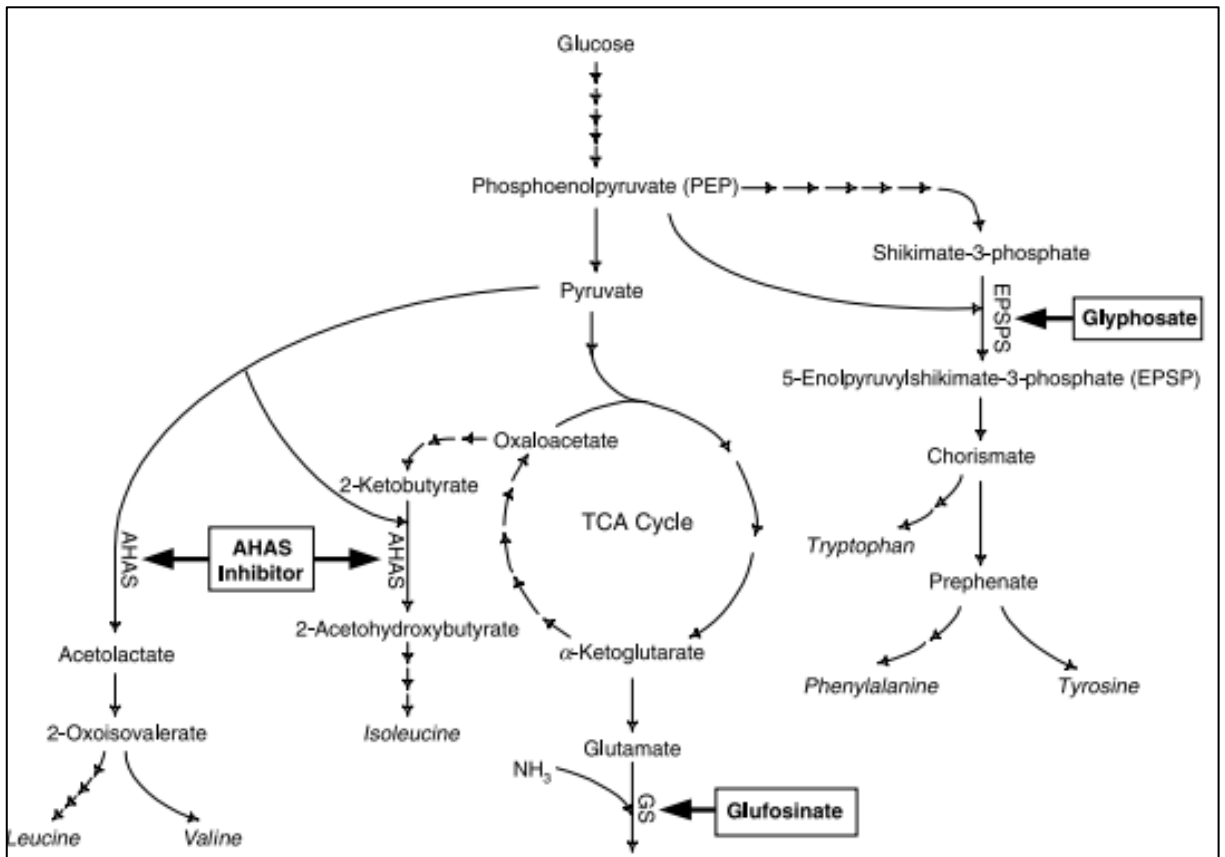
Pro rostlinu je jeden z nejdůležitějších zdrojů dusík přijímán v podobě nitrátů. Nitráty jsou po příjmu kořeny v cytoplazmě redukovány na nitrily a dále v chloroplastech až na amoniak, který je ve vyšších koncentracích pro rostlinu toxický. Amoniak je zabudován do kyseliny glutamové, glutaminu a eventuálně i do dalších aminokyselin transaminací oxokyselin (Taiz a kol., 2015).

Aminokyseliny jsou složky proteinů a jako takové jsou nezbytné pro enzymatické i strukturní funkce. Rostliny si umí syntetizovat všechny aminokyseliny pro svoji potřebu na rozdíl od lidí a zvířat, kteří je musí získávat z potravy. Herbicidy inhibují biosyntézu těchto aminokyselin, a proto vykazují jen minimální aktuální toxicitu pro živočichy, včetně člověka. Herbicidy používané s tímto mechanismem účinku jsou používány od počátku 70. let. (Naylor, 2002).

Tři hlavní enzymy, které se daří efektivně inhibovat herbicidy: glutamin syntetáza (GS), 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntáza (EPSPS) a acetolaktát syntáza (ALS) (Bender 2012). ALS inhibuje široké spektrum účinných látek označovaných jako inhibitory ALS. EPSPS inhibuje glyfosát a glutamin syntetázu inhibuje glufosinát amonný (Tan a kol., 2006).

Druhotným následkem zablokování těchto enzymů herbicidy je potlačeno i mnoho dalších biochemických reakcí, což vede k nedostatku esenciálních organických látek účastnících se buněčného dělení v meristematických pletivech a pokračuje omezením transportu asimilátů vodivých pletiv (floémem) a zastavení růstu (Jursík a kol., 2011).

Obrázek 1 Dráhy biosyntézy aminokyselin s rozvětveným řetězcem, aromatických aminokyselin a glutaminu v rostlině ukazují tři enzymy, které jsou inhibovány inhibitory biosyntézy aminokyselin (Tan a kol., 2006). TCA Cycle = cyklus trikarboxylových kyselin, též Krebsův cyklus.



Tabulka 2 Účinné látky inhibující biosyntézu aminokyselin používané v ČR (Jursík a kol., 2018).

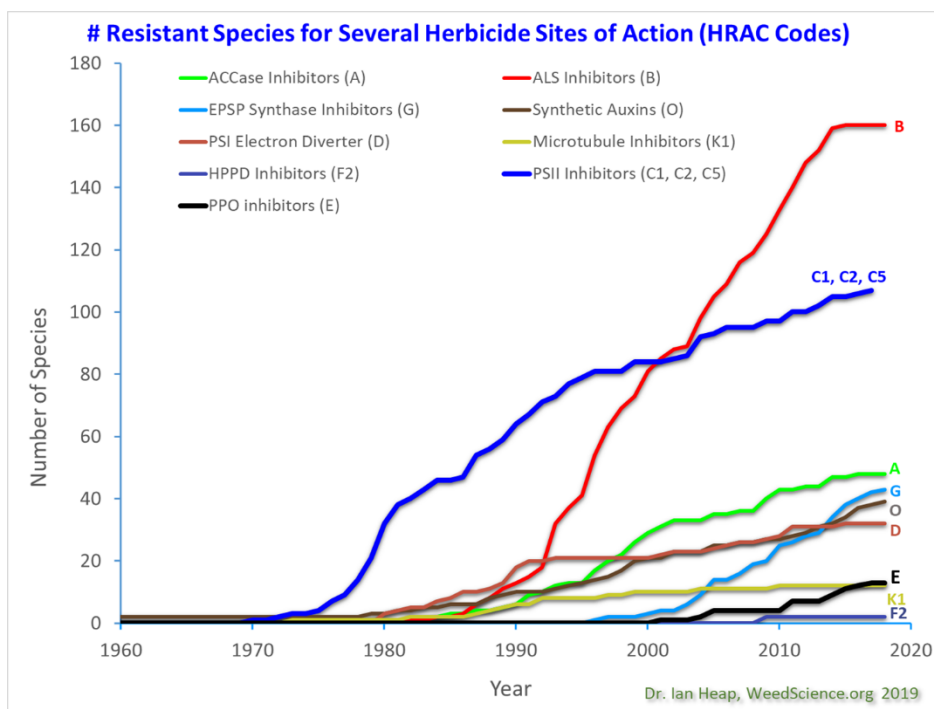
Herbicidní skupina	Členění dle HRAC	Chemická skupina	Účinná látka
GS inhibitory	H	Deriváty aminoyselín	glufosinate-NH ₄
EPSPS inhibitory	G	Deriváty aminoyselín	glyphosate-IPA
			Sulphosate
ALS inhibitory	B	Sulfonmočoviny	Amidosulfuron
			Chlorsulfuron
			Flazasulfurol
			Foramsulfuron
			Iodosulfuron
			Metsulfuron
			Mesosulfuron
			Nicosulfuron
			Prosulfuron
			Rimsulfuron
			Sulfosulfuron
			Tribenuron
			Thifensulfuron
			Triflusulfuron
		Tritosulfuron	
		Imidazoliny	Imazamox
		Triazolové pyrimidiny	Pyroxsulam
			Penoxsulam
			Florasulam
		Sulfonylamino-karbonyl-triazolonony	Thiencarbazone
Propoxycarbazone			
Pyrimidinylthio(nebo oxy) benzoáty			

3.2.1.1 Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS inhibitory)

ALS inhibitory jsou širokou skupinou strukturně odlišných herbicidů, které působí inhibici enzymu acetolaktát syntázy, také označovaný jako acetohydroxyacid syntáza (AHAS) (Reade a Coob, 2010).

Objev herbicidů inhibujících ALS byl významný v historii vědy zabývající se regulací plevelů. V roce 1982 došlo ke komerčnímu zavedení prvního herbicidu (chlorsulfuronu) inhibující acetolaktát syntázu. Chlorsulfuron je používán k regulaci plevelů v obilninách dodnes (Reade a Coob, 2010). Tyto herbicidy jsou používány ve velmi nízkých dávkách (v gramech na hektar), na rozdíl od jiných starších herbicidů, které se používaly v kilogramech na hektar (Tranel a Wright, 2002). Tyto herbicidy byly považovány za přínos pro regulaci plevelů, a to z důvodů jejich širokého spektra působení i použití, často také reziduálního působení, širokého aplikačního okna a dobrého ekotoxikologického profilu (Mazur a Falco, 1989).

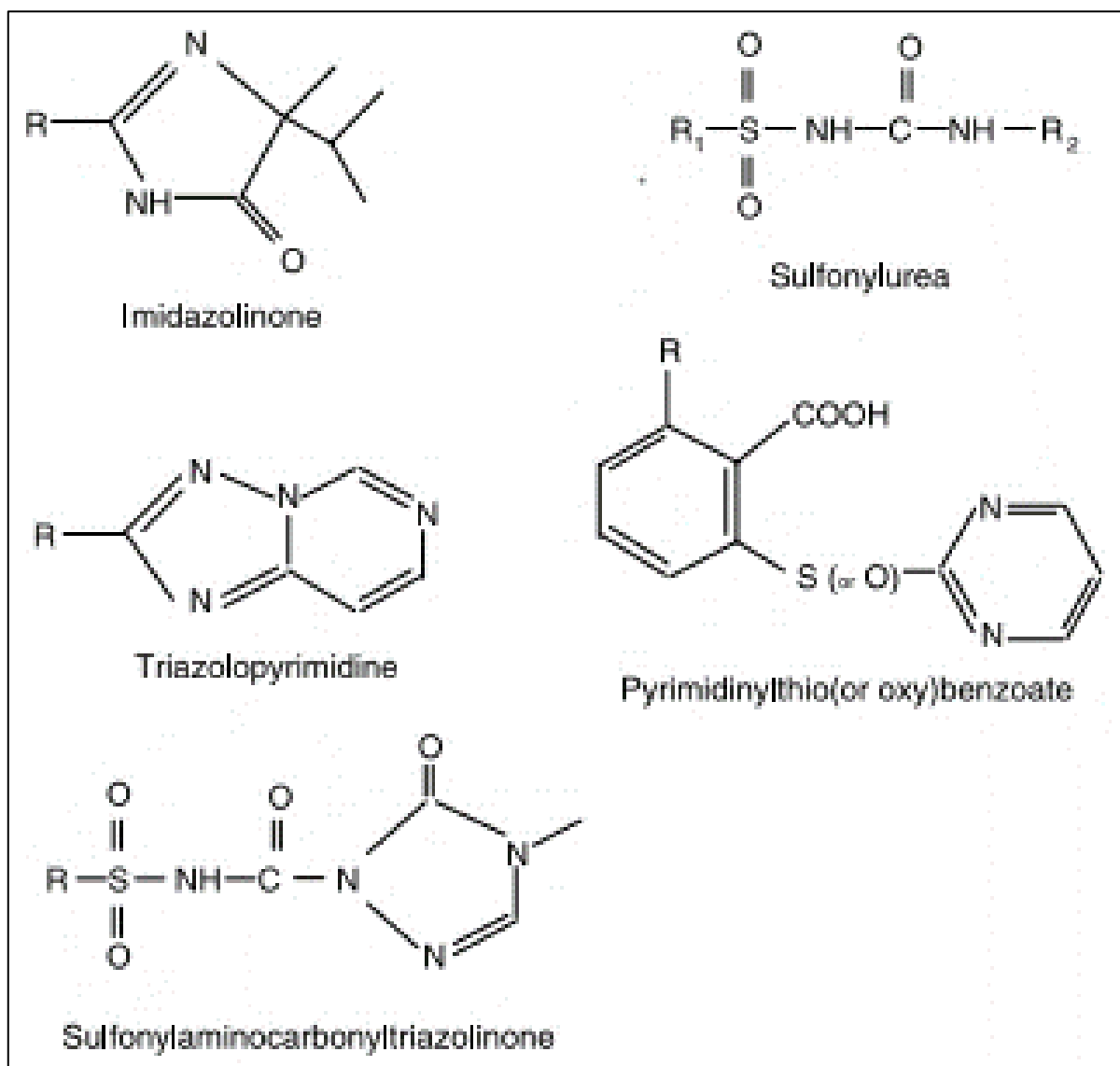
Obrázek 2 Přehled počtu rezistentních plevelů k různým inhibitorům (<http://weedsience.com/>).



Na sklonku osmdesátých a devadesátých let došlo k velkému nárůstu rezistence vůči herbicidům. Zejména populace plevelů rezistentních k herbicidům inhibujícím ALS velmi rychle narůstala a na konci století byla rezistence k těmto herbicidům zaznamenána u nejvíce druhů plevelů (Tranel a Wright, 2002).

Acetolaktát syntáza je klíčovým enzymem při biosyntéze esenciálních rozvětvených aminokyselin valinu, leucinu a isoleucinu (Umbarger, 1978). Tento enzym katalyzuje dvě reakce ve zmíněné biosyntéze. Při konjugaci dvou molekul pyruvátu vzniká 2-acetolaktát, který je prekurzorem valinu a leucinu. Stejný enzym konjuguje molekulu pyruvátu s kyselinou α -ketomáselnou za vzniku 2-acetohydroxymáselné kyseliny, která je prekurzorem isoleucinu (Gaston, 2001). Na druhé straně, produkované aminokyseliny fungují jako zpětná vazba regulátorů aktivity ALS. Acetolaktát syntáza je nukleárně kódovaný protein, který je transportován do plastidů, kde nastává primární biosyntéza aminokyselin s rozvětveným řetězcem.

Obrázek 3 Molekulární struktury jednotlivých skupin ALS inhibitorů (Tan a kol., 2006).

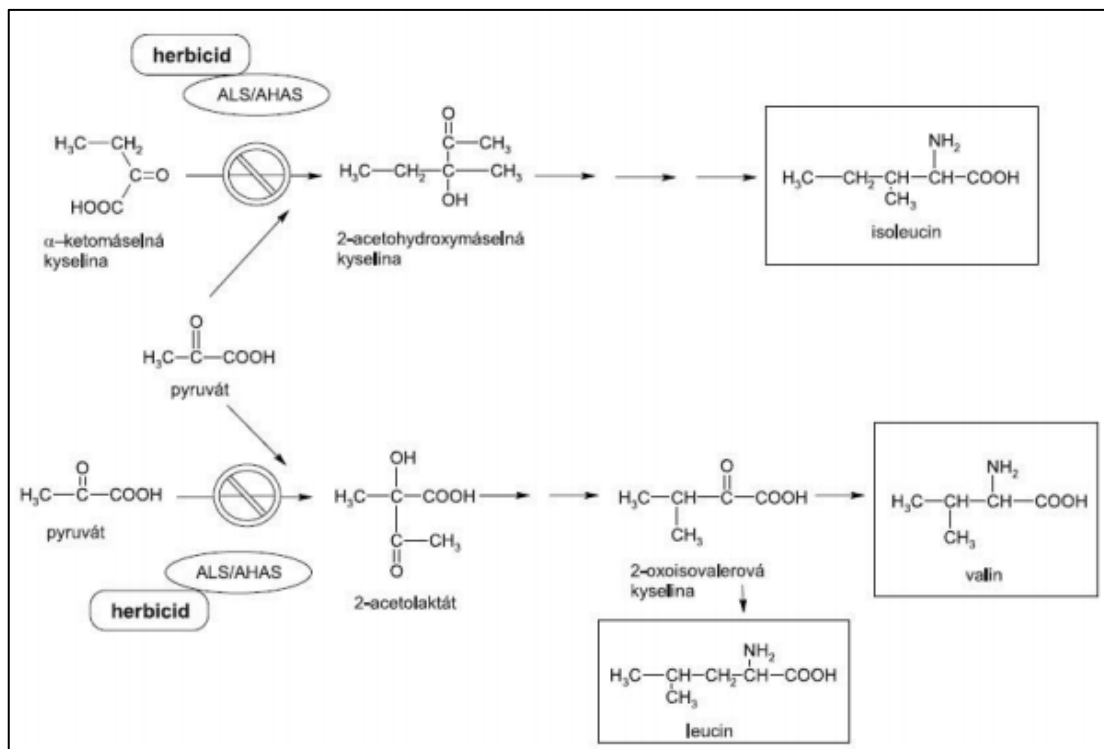


Zablokováním funkce ALS se okamžitě zastavuje tvorba aminokyselin a poté i tvorba proteinů. Druhotným důsledkem je inhibice syntézy DNA a úplného zastavení buněčného dělení v dělivých pletivech a následně dochází k omezení transportu asimilátů vodivými pletivy a definitivní zastavení růstu. Přestože k inhibici růstu dochází okamžitě po aplikaci ALS inhibitorů, viditelné projevy poškození na rostlině se ukáží až za několik dní. V rostlinných buňkách se stále nachází určité množství aminokyselin, které mohou udržovat základní metabolismus funkční několik dní. Po vyčerpání zásob, dochází k zastavení růstu, později ke žloutnutí, především mladých listů mezi nervaturou. Některé rostliny mohou mít fialově zbarvené listy ze spodní strany, zejména u řepky nebo trávovitých plevelů. Nakonec zasychá vegetační vrchol. Při nízkých dávkách je účinek viditelný po uplynutí 3 až 4 týdnů. Nemusí vždy dojít k odumření plevelů ale pouze k jejich zakrnutí, a poté nejsou schopny konkurovat plodině (Jursík a kol., 2010).

ALS inhibitory jsou dobře rozváděny xylémem i floémem na místo působení tedy i do vegetačního vrcholu. Některé sulfonylmočoviny mají pohyb cévními svazky omezený a působí na plevele pouze lokálně, tedy pouze ve velmi raných růstových fázích, a to do 2, resp. 6 pravých listů (Jursík a kol., 2011).

Existuje pět chemických skupin, které blokují ALS. Jsou to sulfonylmočoviny, imidazolinony, triazolpyrimidiny, sulfonylaminokarbonyl-triazolinony a pyrimidinylthiobenzoáty (Cobb a Reade, 2010).

Obrázek 4 Schématické znázornění místa působení ALS inhibitorů (Jursík a kol., 2010).



Sulfonylmočoviny

Sulfonylmočoviny jsou nejvýznamnější skupinou ALS inhibitorů. Staly se co do počtu registrovaných účinných látek v současnosti nejpoužívanější herbicidní skupinou s více než třiceti účinnými látkami. (Jursík a kol., 2011)

Lze je využít k ochraně proti plevelům v mnoha plodinách, největší uplatnění však nacházejí v obilninách. Zde mohou být použity preemergentně (chlorsulfuron), časně postemergentně (chlorsulfuron, triasulfuron, iodosulfuron), největší uplatnění však nalezneme při jarním ošetření (iodosulfuron, sulfosulfuron, amidosulfuron, tribenuron, amidosulfuron, metsulfuron aj.) (Košnarová a kol., 2011) Často jsou také kombinované přípravky se dvěma sulfonylmočoviny, nebo sulfonylmočovinou a růstovým herbicidem, tyto přípravky většinou pokrývají velmi široké plevelné spektrum, včetně odolnějších druhů. Velmi významně se sulfonylmočoviny uplatňují také v kukuřici, kde se používají při postemergentní regulaci trávovitých a dvouděložných plevelů (foramsulfuron, nicosulfuron, rimsulfuron). Některé sulfonylmočoviny lze také použít k regulaci plevelů v bramborách (rimsulfuron), cukrové řepě (triflusulfuron) a v zahraničí také v některých zeleninách (Jursík a kol., 2010).

Pro dosažení vysoké účinnosti je obvykle třeba sulfonylmočoviny herbicidy aplikovat společně se adjuvancem (doporučené výrobcem), který zvyšuje a urychluje příjem přípravku (platí především pro WG formulace), nebo opačném případě se účinnost snižuje a odrostlejší plevelné trávy a plevele tvořící silnější voskovou vrstvičku (merlík bílý) nemusí být uspokojivě potlačeny (Jursík a kol., 2011).

Prakticky všechny herbicidy sulfonylmočoviny jsou přijímány listy, mohou však být přijímány i kořeny. Příklad z půdy je limitován rozdílnou rychlostí degradace v půdě, která je poměrně rychlá, ale značně rozdílná u jednotlivých účinných látek. Poločasy rozkladu se pohybují od několika dnů, až po několik týdnů. Rychlá degradace probíhá při vyšší teplotě a vlhkosti a na lehkých půdách s nižším pH. Účinné látky jsou ve formě aniontů sorbovány především organickou hmotou, zvláště při vyšší hodnotě pH půdy, což může způsobovat problémy s pěstováním následných citlivých plodin (řepka, hořčice, cukrová řepa, slunečnice a čočka) (Mikulka a Kneifelová, 2005).

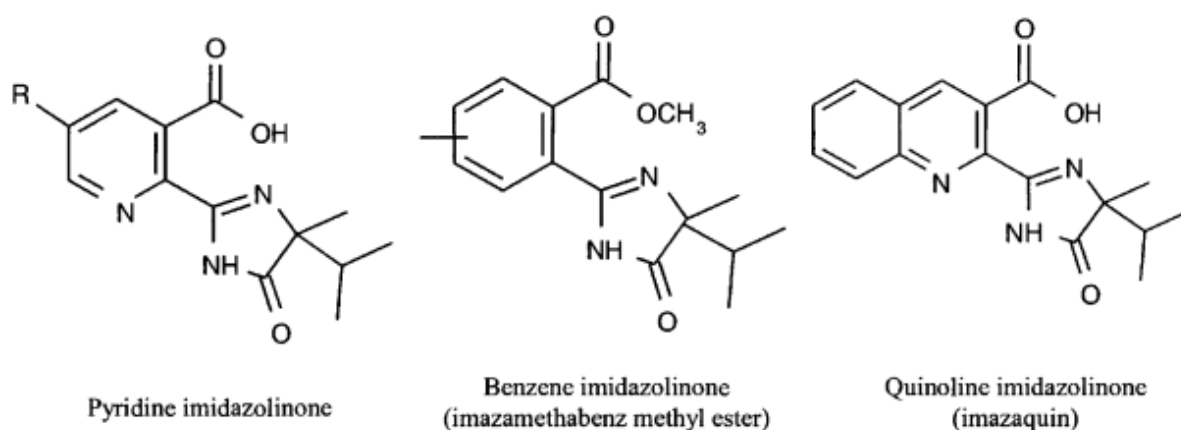
Sulfonylmočoviny je dlouhodobě používaná skupina herbicidů. To vedlo u některých druhů plevelů k vyvinutí rezistence vůči těmto herbicidům, a to u některých už po třech letech používání (Zimdahl, 2007). V České republice je na orné půdě nejzávažnějším problémem rezistence chundelky metlice (*Apera spica-venti*) (Košnarová a kol., 2011)

Imidazolinony

Jak už název napovídá, všechny imidazolinony mají ve své molekulární struktuře imidazolinovou skupinu. Do imidazolinonů řadíme 6 účinných látek: imazapic, imazethapyr, imazachin, imazapyr, imazamethabenz, amazamox. Dále jsou rozděleny do třech skupin podle jejich druhé cyklické struktury molekuly. Imazachin obsahuje chinolinovou skupinu. Imazamethabenz obsahuje benzenové jádro a zbývající imidazolinony (amazamox, imazapyr, imazethapyr, imazapic) obsahují pyridin, vázající se vždy na pátém uhlíku pyridinu (Tan a kol., 2005). V EU je registrovaná pouze jediná účinná látka amazamox.

Různá úroveň inhibice ALS mezi třemi skupinami (benzenové, chinolinové a pyridinové) naznačuje, že i druhá cyklická struktura se podílí na inhibici ALS (Shaner a Singh, 1997). Naproti tomu rozdíl v inhibici ALS u imidazolinonů s pyridinem je malý. Odlišné funkční skupiny v poloze pět na pyridinu mají ještě menší vliv, než předchozí dvě molekulární struktury (Teclé a kol., 1997).

Obrázek 5 Chemická struktura imidazolinonů: izamapyr: R = H, imazapic: R = CH₃, imazethapyr: R = CH₂-CH₃ a imazamox: R = CH₂-O-CH₃ (Tan a kol., 2005).



Plodiny tolerantní k imidazolinonům

Plodiny tolerantní k imidazolinonům byly vyvinuty výběrem přirozeně se vyskytující genové mutaci ALS, nebo pomocí chemické mutagenese (Shaner a kol., 1996).

Enzym ALS se skládá z velkých katalytických a malých regulačních podjednotek (Tan a kol., 2005). Velká podjednotka ALS je monomer polypeptidů ALS s přibližně 670 aminokyselinami. Přirozeně se vyskytující mutace, způsobující resistenci na inhibitory ALS, nalezneme na polohách Ala122, Pro197, Ala205, Trp574 a Ser653. Mutace na poloze Ser653 poskytuje toleranci na imidazolinony, ale už ne na zkříženou toleranci k ostatním inhibitorům ALS. Mutace na poloze Trp574 je křížově tolerantní pro různé skupiny herbicidů inhibující ALS a byla využita pro vývoj tolerantních plodin vůči imidazolinonům. Mutace na poloze Ala122 a Ala205 vykazuje přijatelnou toleranci vůči imidazolinonům a společně s mutací na Trp653 je dobrou volbou pro vývoj tolerantních plodin vůči imidazolinonům. Naproti tomu mutace na poloze Pro197 nezpůsobuje žádnou nebo jen nízkou toleranci vůči imidazolinonům, ale vysokou toleranci vůči sulfonylmočovinám (Tranel a Wright, 2002). Většina komerčně používaných HT plodin, které jsou tolerantní vůči imidazolinonům jsou vyvinuty z jedné nebo kombinací více mutací na pozicích Ala205, Trp574 a Trp653 (Croughan, 2002).

Od roku 1992 byly komerčně využívány první plodiny tolerantní k imidazolinonům. První plodinou tolerantní k imidazolinonům byla kukuřice s mutací genu ALS S653N (Clearfiled technologie) (Tan a kol., 2005).

Tolerance řepky k imidazolinonům

Při šlechtění řepky tolerantní k imidazolinonům bylo použito osivo odrůdy Topas. Semena za použití ethyl nitrosomočoviny zmutovala a u vzešlých haploidních rostlin za pomoci kolchicinu došlo ke zdvojení chromozomů. Pět dihaploidních linií přežilo ošetření imazethapyrem a tyto dvě linie P1 a P2 vykazovali nejvyšší toleranci (Swanson a kol., 1989). Všechny odrůdy řepky tolerantní k imidazolinonům byly vyšlechtěny na základě těchto dvou linií a v roce 1995 byla řepka tolerantní k imidazolinovým herbicidům poprvé uvedena na trh pod názvem Smart Canola (Tan a kol., 2005). U linie P1 bylo zjištěno, že k toleranci imidazolinonů dochází záměnou jedné aminokyseliny na pozici 653 asparaginu za serin (Hattori a kol., 1994). U linie P2 způsobila mutace záměnu tryptofanu za leucin na pozici 574. Linie P1 je tolerantní pouze k imidazolinonům. P2 linie je tolerantní jak k imidazolinonům, tak i k sulfonylmočovinám. I když obě linie jsou tolerantní k imidazolinonům, u P2 je úroveň mnohem vyšší než u P1. Nejvyšší úroveň tolerance vůči imidazolinonům mají homozygotní kříženci těchto dvou linií (Tan a kol., 2005).

Tolerance slunečnice k imidazolinonům

Divoká slunečnice rezistentní k imazethapyru byla objevena v sójovém poli blízko Rossvile v USA v roce 1996, které bylo pravidelně ošetřeno touto látkou (Al-Khatib a kol., 1998). Nažky této populace byly použity jako donoři genů tolerantních k imidazolinonům. Křížením těchto slunečnic došlo k vývoji několika linií, ze kterých byly postupně vyvinuty hybridy, které byly následně nabídnuty pěstitelům (Al-Khatib a Miller, 2000). Sekvenování DNA odhalilo mutaci v genu ALS, která poskytuje toleranci vůči imidazolinonům na poloze 205 nahrazením valinu za alanin (Bruniard, 2001). Několik šlechtitelských společností zaneslo do svých slunečnicových linií znak tolerance vůči imidazolinonům a v roce 2003 byly poprvé uvedeny na trh hybridy tolerantní vůči imidazolinonům jako slunečnice Clearfield® v USA a Argentině (Tan a kol., 2005)

3.2.1.2 Inhibitory 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát syntázy (EPSPS inhibitory)

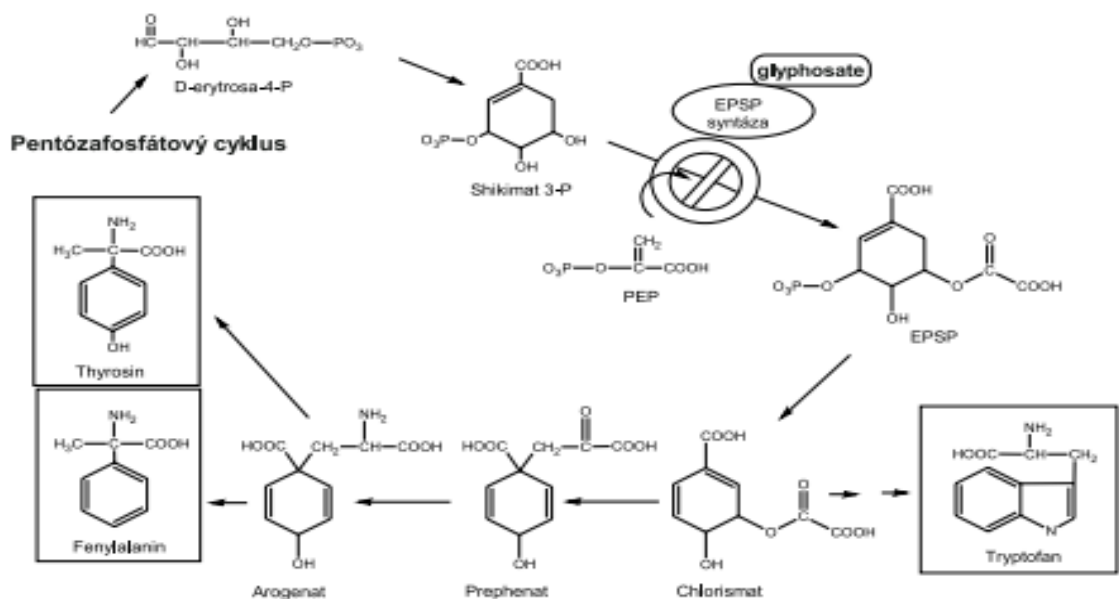
Enzym 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát se podílí na biosyntéze aromatických aminokyselin tryptofanu, fenylalaninu a tyrosinu a také vede k syntéze četných sekundárních metabolitů rostlin. Přibližně 20 % uhlíku, který je vázán zelenými rostlinami je veden přes šikimátovu

cestu s významným počtem konečných produktů fenylpropanoidového metabolismu (flavonoidy, ligniny, auxiny, antokyany, alkaloidy a kumariny (Cobb a Reade, 2010).

Glyfosát interferuje s biosyntézou aromatických aminokyselin inhibicí EPSP syntázy. Vazebná místa PEP a glyfosátu na EPSP syntáze jsou úzce překryta. Glyfosát je kompetitivní s ohledem na PEP ve vazbě na EPSP syntázu, ale nekompetitivní vůči šikimát-3-fosfát (S-3-P) (Tan a kol., 2006).

Reade a Cobb (2010) uvádí, že glyfosát se neváže na aktivní místo EPSP syntázy, ale váže se na možné alosterické místo s malou afinitou k volnému enzymu, což má za následek strukturální změny v aktivním místě a brání vazbě PEP na enzym. Vazba glyfosátu tak snižuje nebo blokuje katalytickou aktivitu EPSP syntázy a způsobuje omezenou syntézu aromatických aminokyselin. Rostliny přicházejí o aminokyseliny tryptofan, fenylalanin, tyrosin a sekundární produkty ze šikimátové cesty a následně hynou (Tan a kol., 2006).

Obrázek 6 Znázornění primárního působení EPSP inhibitorů (glyfosát) (Jursík a kol., 2018).



Glyfosát

Glyfosát (N-fosfonomethylglycin) je hlavní neselektivní postemergentní herbicid. Jeho úspěch spočívá ve velmi rychlé degradaci v půdě, širokém plevelném spektru působení, nízké toxicitě pro necílové organismy a výrazné systematické působení, takže lze regulovat vytrvalé plevele (Cobb a Reade, 2010).

Glyfosát je přijímán rostlinami hlavně listy. Rychlost příjmů listů se značně liší mezi jednotlivými druhy, což představuje některé rozdíly v citlivosti vůči glyfosátu mezi druhy

plevelů. Glyfosát je rozváděn cévními svazky, zejména k místům se zvýšenou metabolickou aktivitou, mezi něž patří dělivá pletiva v růstových vrcholech stonků a kořenů, zásobní orgány a další aktivně rostoucí tkáně nebo orgány. Účinkuje relativně pomalu, čímž je zajištěn jeho transport i do podzemních částí rostlin (Duke a Powles, 2008) a umožňuje zasažení podzemních meristémů, hlíz, oddenků a dalších zásobních orgánů, které mohou regenerovat, po odumření nadzemní části (Nandula, 2010).

Rostliny ošetřené glyfosátem mohou umírat až tři týdny v závislosti na metabolické aktivitě rostliny. Pomalé působení je způsobeno určitými zásobami rostlin aminokyselinami, a tudíž se první příznaky poškození glyfosátem projevují celkem pomalu (Naylor, 2002). Rostliny zasažené glyfosátem okamžitě zastavují tvorbu aminokyselin a dalších produktů, ale první chlorózy a vadnutí se začnou objevovat až po několika dnech. Rostlinná pletiva začínají nekrotizovat a následně umírat. U některých druhů způsobuje glyfosát antokyanové zbarvení listů (Jursík a kol., 2011). Enzym EPSPS se vyskytuje pouze u rostlin, a tedy glyfosát má velmi nízkou toxicitu pro savce a další organismy (Naylor, 2002). Vzhledem k mikrobiální degradaci v půdě má glyfosát poměrně krátký poločas rozpadu v prostředí. Glyfosát také není těkavý, takže nedochází ke znečištění atmosféry (Duke a Powles, 2008).

Plodiny tolerantní ke glyfosátu

Zatím se nepodařilo klasickými konvekčními šlechtitelskými postupy vytvořit toleranci ke glyfosátu u žádné plodiny. Proto byly vytvořeny geneticky modifikované plodiny s genem tolerance ke glyfosátu (Tan a kol., 2006). Enzym EPSPS používají pouze rostliny, bakterie a některé houby. Živočiškové si aromatické aminokyseliny syntetizovat nedokážou a přijímají je z potravy (Ondřej a Drobník, 2002).

Podle Ondřeje a Drobníka (2002) existují tři typy transgenů podmiňující rezistenci ke glyfosátu:

1. Transgen pro enzym EPSP, který řídí výraznou nadprodukcí zmíněného enzymu (klonované geny z *Petunie* a *Arabidopsis*).
2. Transgen pro enzym EPSP, který kóduje modifikovaný enzym EPSP (geny klonované z bakterií *Salmonella typhimurium*, *Escherichia coli*, *Agrobacterium tumefaciens* a z rostlin *Petunia hybrida*)
3. Transgen pro glyfozát oxidoreduktázu (GOX), který dokáže herbicid rychle detoxikovat (klonován z bakterie *Achromobactec*).

1. První typ transgenů pro toleranci ke glyfosátu způsobuje nadprodukcí EPSP, aby bylo v buňce dostatek molekul EPSP za předpokladu, že veškerý glyfosát bude vázán na EPSP a stále zbýval dostatek enzymu EPSP ke katalytické aktivitě (Ondřej a Drobník, 2002). Modifikován byl gen EPSP petúnie, k němuž byl připojen základní 35 S-promotor. Transgen má 20 až 40krát zvýšenou aktivitu EPSP a zregenerované rostliny tolerovaly čtyřikrát větší množství glyfosátu. (Řepková, 2013)

cDNA z petúnie byla použita jako sonda pro klonování genu z *A. thaliana* a ten byl spojen s 35 S-promotorem a znovu vnesen do *A. thaliana*. Rostliny poté vykazovaly zvýšenou toleranci ke glyfosátu (Klee a kol., 1987). Tento transgen je však pro šlechtění nevhodný, protože tyto rostliny byly ke glyfosátu dostatečně tolerantní. Pravděpodobně se glyfosát shromažďoval ve vegetačních vrcholech a tam je ani zvýšené množství enzymu nedokázalo plně vázat a došlo ke zpomalení růstu (Ondřej a Drobník, 2002).

2. GM plodiny, které jsou tolerantní vůči glyfosátu, jsou produkovány inzercí genu kódujícího EPSP syntázu necitlivou na glyfosát, který je získán z půdní bakterie *Agrobacterium*, nazývaný CP4. Původní EPSP syntáza je tímto způsobem sice inhibovaná, ale vnesená bakteriální EPSP syntáza je glyfosátem neovlivněná, což rostlině umožňuje stále syntetizovat aromatické aminokyseliny a další metabolity, které jsou výsledkem šikimatové cesty (Cobb a Reade, 2010). Protein CP4-EPSP tolerantní vůči glyfosátu se skládá z jednoho polypeptidu se 455 aminokyselinami. Jeho aminokyselinová sekvence je ze 48,5-59,3 % podobná a z 20,3-41,1 % identická s nativní EPSP syntázou rostlin a bakterií (Tan a kol., 2006). CP4 je mutantní forma EPSP syntázy, která má na pozici 100 výměnu glycin za alanin, což vede k velmi vysoké toleranci ke glyfosátu (Cobb a Reade, 2010).

3. Třetí strategií pro toleranci ke glyfosátu představuje vnesení transgenů pro enzym, který daný herbicid dokáže rychle metabolizovat. Rostliny takový enzym nemají, a proto musely být tyto geny vneseny z některých mikroorganismů (*Achromobacter*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter* aj.) Z bakterie *Achromobacter* byl klonován gen GOX, který kóduje glyfozát oxidoreduktázu, podílející se na aminometylfosfonátové biodegradační dráze (Tan a kol., 2006).

V současnosti se vytváří transgenní rostliny tolerantní ke glyfosátu v kombinaci transgenů pro odbourávání glyfosátu a nadprodukcí EPSP nebo transgenů pro odbourávání

glyfósátu a vnesení genu pro enzym EPSP, necitlivý k herbicidu. S tímto způsobem tolerance ke glyfósátu je komerčně využívaná řepka olejka (Ondřej a Drobník, 2002).

3.2.1.3 Inhibitory glutamin syntetázy (GS)

Glutamin syntetáza je nejdůležitější enzym v metabolismu dusíku, který asimiluje jak amoniak produkovaný nitrátovou reduktázou, tak i amoniak produkovaný fotorespiračními a deaminačními reakcemi. Tento důležitý enzym se nachází jak v cytoplazmě, tak v chloroplastech (v zelené tkáni převládá forma chloroplastů) a mitochondriích (Naylor, 2002). Existují dva způsoby zabudování amoniaku a vznik aminokyseliny. Při vyšších koncentracích NH_4^+ je funkční glutamát dehydrogenáza, která katalyzuje reakce NH_4^+ s kyselinou α -ketoglutarovou a následně dojde ke vzniku kyseliny glutamové. Účinnější je nicméně glutaminoxoglutarát amido transferáza (GS/GOGAT). Narušení této reakce vede k velkému nahromadění amoniaku v buňce (Jursík a kol., 2018). Ten je pro rostlinu toxický a došlo by k poškození buněčné membrány, především tylakoidní. To by vedlo k inhibici fotosyntézy a rozpadu chloroplastů (Naylor, 2002).

Glufosinát amonný

Glufosinát amonný je neselektivní, postemergentní, širokospektrální listový herbicid bez reziduální půdní aktivity, který inhibuje glutamin syntetázu. Primární účinek glufosinátu je zastavení GS a nahromadění amoniaku v buňce, který je pro rostlinu toxický. Dochází k poklesu fotosyntetické aktivity a během několika dní se objevují chlorózy na listech, později nekrózy a odumírají pletiva. Vyšší účinnost bývá dosahována při vyšší intenzitě slunečního záření, vysoké vzdušné a půdní vlhkosti a vysoké teplotě (zvýšená akumulace toxického amoniaku) (Mikulka a Kneifelová, 2005).

Plodiny tolerantní ke glufosinátu

Metabolismus většiny rostlin detoxikuje glufosinát příliš pomalu. Genetickou manipulací byl do některých plodin vložen cizí gen kódující fosfinotricin N-acetyltransferáza (PAT) nebo basta N-acetyltransferáza (BAR), který rychle detoxikuje glufosinát a zabraňuje mu dosažení cíle. K získání tohoto genu byly využity půdní mikroorganismy tolerantní vůči glufosinátu. První gen ze *Streptomyces viridochromogenes* nazývající se PAT a druhý ze *Streptomyces hygroscopicus* nazývající BAR. Geny BAR a PAT jsou strukturně a funkčně stejné a mají srovnatelnou účinnost (Green a Owen, 2010).

V devadesátých letech byly vyvinuty první plodiny tolerantní ke glufosinátu. Kukuřice, řepka olejná, sója a cukrová řepa byly vyrobeny pod názvem Liberty Link. Dnes už má téměř každá plodina transformovaný gen BAR nebo PAT, protože tyto geny jsou vynikající selekční markery pro transformaci rostlin (Duke a kol., 2002).

3.3 HT technologie v plodinách

3.3.1 Řepka ozimá

V roce 1996 byla v Kanadě zavedena první HT řepka (Clearfield), přičemž následoval rychlý vzestup těchto technologií v této plodině. V roce 2000 bylo 80% řepky pěstované v Kanadě tolerantní vůči herbicidům. Odrůdy tolerantní vůči imidazolinonům představovali 25 % pěstované řepky (Clearfield), odrůdy tolerantní vůči glufosinátu (Liberty Link) 15 % a odrůdy tolerantní vůči glyfosátu (Roundup Ready) 40 % plochy (Krato a Petersen, 2012). V současnosti tvoří HT odrůdy přes 90 % plochy řepky v Kanadě. Z důvodů zákazu GM HT plodin v EU nelze využít herbicidní toleranci vůči glyfosátu a glufosinátu, proto byla před pár lety zavedena technologie Clearfield (CL), která využívá hybridů řepky tolerantní vůči účinné látce (imazamox). V České republice je k regulaci plevelů v Clearfield hybridech registrován postemergenční herbicid Cleravis (metazachlor + quinumerac + imazamox) (Jursík a kol., 2016).

Ošetření řepky herbicidem Cleravis lze provést v relativně širokém aplikačním termínu, obvykle ve fázi děložních až 4 pravých listů plevelů. To obvykle platí i pro řepku, přičemž v případě jeho nedodržení není účinnost na mnoho plevelů výrazně snížena, což platí zejména při velmi časném ošetření. Včetně plevelů, působí herbicid také na výdrol obilní předplodiny, výdrol konvekční řepky a plevelnou řepu. Clearfield hybridy řepky jsou částečně odolné i k dalším ALS inhibitorům (sulfonylmočovinám). Rezidua těchto látek v půdě nemají negativní vliv na vzcháživost CL řepky (Jursík a kol., 2018).

Časté řazení CL řepky v osevním sledu, může výrazně zvyšovat množství semen CL řepky v půdní zásobě. K regulaci výdrolu CL řepky v následných plodinách pak není možné použít ALS inhibitory (Krato a Petersen, 2012).

3.3.2 Kukuřice

Kukuřice patří mezi nejdůležitější plodiny na světě. Z hospodářského významu ji využijeme ve všech odvětví, což dokazuje nárůst její plochy. Zelené krmení, zrno, průmyslové zpracování, farmaceutický a kosmetický průmysl. V rámci osevního postupu by měla být

kukuřice zařazována po zlepšující plodině (luskoviny), vzhledem kvůli velkým nárokům na dusík, ale nejčastěji následují obiloviny. Kukuřice je možné pěstovat i v monokultuře, ale zvyšují se nároky na agrotechniku (Jančík a Tichý, 2002)

Kukuřice nejčastěji bývá geneticky modifikována (GM) vůči glyfosátu. Glyfosát nemá téměř žádnou reziduální aktivitu a po jeho aplikaci mohou tak vzcházet plevele, a proto se tyto herbicidy používají v TM kombinaci s reziduálním herbicidem nebo je možná dělená aplikace. (Dewar, 2009). GM kukuřice je jediná plodina, která se může pěstovat v Evropské unii. V České republice v roce 2016 zaujímá 75 ha. Využívá se pouze jako krmivo pro hospodářská zvířata (Ježková, 2016).

Další HT technologie využívaná k regulaci plevelů v kukuřici je DUO-systém. Tato technologie využívá hybridů přirozeně tolerantních vůči účinné látce cycloxydim, která je součástí herbicidu Focus Ultra. Jedná se o selektivní postemergentní herbicid (graminacid), jehož účinná látka působí proti lipnicovitým plevelům (Vancetovic a kol., 2009). DUO-systém je poměrně šetrná metoda k životnímu prostředí. Uplatnění často nalezne i v zemědělských podnicích s vysokou koncentrací živočišné výroby, kde na pozemcích s kejdovým hospodářstvím je velké riziko výskytu zapevelení ježatkou kuří nohou (Smutný, 2012). Zároveň je ochranou v suchých letech, kdy je účinnost půdních herbicidů nižší a kdy následné vlny vzcházející ježatky lze jediným pozdním zásahem likvidovat (Agrotip, 2005).

Existují také hybridy kukuřice přirozeně tolerantní k imidazolinonovým herbicidům (Clearfield) (Tan a kol., 2005). V České republice se zatím nepřepokládá jejich zavedení (Jursík a kol., 2016).

3.3.3 Cukrová řepa

Ve srovnání s jinými plodinami je cukrová řepa velmi citlivá na konkurenci plevelů, což může způsobit vysokou ekonomickou ztrátu výnosu. Cukrová řepa je nízká plodina a větší plevele jí lehce zastíní (Märländer, 2005). Regulace plevelů herbicidy v konvenční cukrové řepě je relativně nákladná položka, která tvoří až 20 % celkových nákladů. Většině plevelů je herbicidy úspěšně regulováno pouze v ranných růstových fázích. K zasažení širokého spektra je potřeba kombinace několika účinných látek v několika termínech a příznivý podnební podmínky. Často se používá sled tří aplikací. První (T1) aplikace je provedena ve fázi děložních

lístků. Druhá (T2) bývá prováděná 1-2 týdny po T1 podle vzcházení nových plevelů a třetí (T3) se obvykle provádí 10-20 dní po T2 v závislosti na fázi plevelů (Jursík a kol., 2016).

Zavedené HT technologie výrazně zjednodušují regulaci plevelů, především volba herbicidního ošetření je velmi flexibilní. Herbicid není ovlivněn růstovou fází plevelů. U HT technologií nedochází k poškození řepy, na rozdíl u konvenčních hybridů. Přes všechny tyto výhody se HT technologie (Roundup Ready) využívá pouze v USA. Tato technologie byla zavedena v roce 1997 a během dvou let došlo k jejímu obrovskému rozšíření. V současnosti tvoří více než 95 % ploch v USA (Dillen a kol. 2013).

V České republice je nově zaregistrovaná nová technologie Conviso Smart založená na herbicidní toleranci k sulfonylmočovinám. Conviso one je nový širokospektrální postemergentní herbicid pouze pro odrůdy SMART KWS cukrové řepy. Dnešní klasicky používané odrůdy cukrovky by při použití tohoto herbicidu, mohli být velmi vážně poškozeni nebo zcela zničeni. Conviso One je tekutý přípravek formulovaný jako olejová disperze obsahující 50 g foramsulfuronu (FNS) a 30 g thiencazone-methylu (TMC). Foramsulfuron patří do chemické skupiny sulfonylmočovin. Absorbuje se především přes listy a v menší míře i kořeny, které kontrolují trávy a dvouděložné rostliny, které byly již přítomny v době aplikace. Druhá složka thiencazone-methyl patří do chemické skupiny sulfonyl-aminokarbonyl-triazolinonů. Rychle se vstřebává prostřednictvím listů a kořenů, které kontrolují trávy a dvouděložné rostliny přítomné v aplikaci, což zajišťuje vytrvalost při kontrole následných porostů (convisosmart).

3.3.4 Slunečnice

Nejvíce HT technologií se u nás využívá ve slunečnici, kde byla regulace plevelů donedávna postavena hlavně na aplikaci preemergentních herbicidů. Za sucha a na těžkých půdách dochází ke snížení účinnosti půdních herbicidů, a to především na vzcházející plevel z hlubších vrstev půdního profilu. Vzhledem k uvedeným problémům došlo v zemích, kde začali být HT technologie zaváděny, k jejich rychlému uplatnění. (Jursík a kol., 2018).

Nejpoužívanější HT technologií u slunečnice je ClearField. K regulaci plevelů se využívají herbicidy obsahující účinnou látku imazamox (Pulsar 40 nebo Listego). Tyto herbicidy působí na široké spektrum jednoletých dvouděložných a trávovitých plevelů, ale též na vytrvalé plevely. Přípravkem obvykle není potřeba kombinovat s dalším herbicidem. Nevýhodou je

pozvolné působení imazamoxu, kvůli pomalému odumírání plevelů, hlavně za sucha a nízkých teplotách (Phenning a kol., 2008).

I když je odolnost většiny Clearfield hybridů vůči imazamoxu vysoká, je v plánu zavedení nové generace hybridů pod označením Clearfield Plus. Odolnost vůči imazamoxu by měla být vyšší než u klasických Clearfield hybridů (nový gen tolerance: CLHA+). Zaveden bude i nový herbicid (Pulsar Plus), který bude obsahovat, kromě imazamoxu taky moderní adjuvanty, které zajistí vyšší a rychlejší účinnost na plevele (Jursík a kol., 2016).

ExpressSun technologie využívá hybridů, které jsou odolné vůči tribenuronu, z nichž je v ČR za tímto účelem registrován herbicid Express 50 SX. Pro potlačení citlivých dvouděložných plevelů zcela stačí dávka 45 g/ha. Pro lepší pronikání účinné látky herbicidu do pletiv plevelů je výborná aplikace se smáčedlem (Trend). K regulaci trávovitých plevelů lze použít preemergenční ošetření nějakým z půdních herbicidů nebo listový graminicid (Jursík a kol., 2018)

3.4 Hlavní přínosy a rizika HT technologií

3.4.1 Přínosy HT technologií

Zavedení HT technologií přineslo pěstitelům mnoho výhod. Základním přínosem je především vysoká selektivita používaných herbicidů k plodině. Herbicidy, vůči kterým je vytvářena odolnost, často působí na velmi široké spektrum plevelů včetně odolných druhů. To vede ke zjednodušení herbicidní ochrany, protože volba herbicidu je předem daná a na pěstiteli je pouze volba dávky a termínu aplikace. Zároveň mohou regulovat také příměsi jiných odrůd nebo výdrol předplodiny za předpokladu, že nejsou k danému herbicidu též tolerantní (Jursík a kol., 2011). Podle průzkumu v USA v roce 2004 vedlo zavedením HT technologií k výrazně nižší spotřebě herbicidů než na konvekčních plochách a to o 30 % u řepky, 32 % u bavlny, 33 % u kukuřice a 25 % u sóji (Kleter a kol., 2007).

S HT technologiemi se často používá minimalizační technologie zpracování půdy, neboť používaný herbicidy často dobře regulují vytrvalé plevele a působí i v případě vyššího podílu posklizňových zbytků na povrchu půdy (Dill a kol., 2008). Minimalizační způsoby zpracování půdy zvyšují množství organického uhlíku (ve formě zbytků plodin), který je uložen v půdě. Takto poutání uhlík v půdě snižuje emise oxidu uhličitého do životního prostředí (Brookes a Barfoot, 2006).

Nižší počet aplikací herbicidů a omezení zpracování půdy snižuje počet přejezdů, méně utužuje půdu a snižuje spotřebu pohonných hmot. To vede k nižším emisím oxidu uhličitého do ovzduší. Brookes a Barfoot (2006) odhadli, že používání HT technologií na celém světě v roce 2005 vedlo ke snížení emisí oxidu uhličitého a potenciální dodatečné sorpci uhlíku v půdě, což představuje ekvivalentně přibližně emise 4 milionů automobilů.

Rychlé přijetí těchto technologií také vedlo k celkovému snížení výrobních nákladů spojených s regulací plevelů, snížením počtů přejezdů a úsporám času a práce (Dill a kol., 2008).

3.4.2 Rizika s využíváním HT technologií

HT technologie mají také slabé stránky. Při špatném užívání těchto technologií mohou způsobit velké problémy. Největším rizikem je dlouhodobé používání stejných herbicidů (účinných látek), především v takových osevních sledech, ve kterých jsou plodiny řazeny nevhodným způsobem (monokulturní pěstování, či používání stejných HT technologií ve více plodinách). To vše vede k posunu plevelných společenstev ve prospěch druhů, které jsou k těmto herbicidům méně citlivé, nebo k vývoji rezistentních populací plevelů (Jursík a kol., 2011). Nandula a kol. (2005) uvádí sedm plevelů, které se nejlépe přizpůsobily GM HT technologiím k účinným látkám glyfosát a glufosinát. Mezi nimi jsou merlík bílý, svlačec rolní a mračňák Theophratův.

Dalším enviromentálním rizikem je přenos (introgrese) genu. Jedná se o přenos specifické genetické informace do genomu organismu, pro něhož je informace cizí. K introgresi dochází přirozenou cestou křížením. Některé geny typické pro kulturní rostliny jsou nalézány v planě rostoucích příbuzných rostlinách. K introgresi genu může tudíž dojít křížením mezi plevelem a plodinou. Riziko k introgresi genu je velmi malé. Pouze u blízce příbuzných planě rostoucích druhů je míra tohoto rizika vyšší (Jursík a kol., 2018).

Výměna genu mezi transgenní plodinou a příbuznými druhy je ovlivněna také jejich opylovací vzdáleností. Například pylem řepky může být opylen blízce příbuzný druh *Brassica rapa*. Devos a kol. (2004) uvádí šest základní opatření, která mohou snížit přenos genů u řepky: používání certifikovaného osiva, dodržování izolačních vzdáleností, sklizeň při správné zralosti, zajištění maximálního vzcházení výdrolu po sklizni a jeho následná regulace, regulace výdrolu řepky v následujících plodinách, důkladná evidence osevních sledů.

Největší možnost přenosu genu pylem je mezi cukrovou řepou a původní planou formou (*Beta vulgaris. Ssp. Maritima*) vyskytující se v oblasti množení řepy v jihozápadní Francii. Plody těchto kříženců mohou kontaminovat půdu nebo osivo (Desplanque a kol., 2002).

Riziko vzniká také při sklizni plodin. Při sklizni dochází ke ztrátám a vzniká výdrol plodin. Výdrol HT plodin musí být v následujících plodinách potlačen mechanicky nebo herbicidy s jiným mechanismem účinku, než vůči kterému byla vyvinuta tolerance. Některé plodiny jako řepka mají dlouho perzistenci semen v půdě a mohou přežívat i více než 10 let (Holec a kol., 2002).

Omezit intenzitu půdní zásoby výdrolu HT plodin lze střídáním HT technologií a konvenčních odrůd v osevním sledu. Důležitá jsou také preventivní opatření, která omezí sklizňové ztráty a vhodné ošetření strniště (Jursík a kol., 2011).

4 Metodika

V roce 2018 proběhl na Demonstračním a pokusném pozemku fakulty agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity maloparcelkový pokus. Cílem pokusu bylo získat nové poznatky o nové technologii pěstování cukrové řepy Conviso Smart. Účinnost herbicidů byla ověřována na plevelné druhy (Tab. č. 3). Mimo účinnosti byla sledována také hmotnost nadzemní biomasy plevelů, množství semen plevelů a také výnos bulev cukrové řepy.

Tabulka 3 Český název, Latinský název, kód Bayer sledovaných plevelů.

Český název plevelného druhu	Latinský název plevelného druhu	Kód Bayer
Bažanka roční	<i>Mercurialis annua</i>	MERAN
Laskavec ohnutý	<i>Amaranthus retroflexus</i>	AMARE
Mračňák Theophrastův	<i>Abutilon theophrasti</i>	ABUTH
Merlík bílý	<i>Chenopodium album</i>	CHEAL
Ježatka kuří noha	<i>Echinochloa crus-galli</i>	ECHCG
Plevelná řepa	<i>Beta vulgaris</i>	BETVU
Opletka obecná	<i>Fallopia convolvulus</i>	POLCO

4.1 Charakteristika polního pokusu

4.1.1 Podmínky stanoviště

Demonstrační a pokusný pozemek se nachází v městské části Praha-Suchdol v nadmořské výšce 285 m. n. m. a na zeměpisných souřadnicích 50°7'40.588" severní šířky a 14°22'29.023" východní délky. Z hlediska rajonizace České republiky spadá tato lokalita do kategorie řepařské výrobní oblasti.

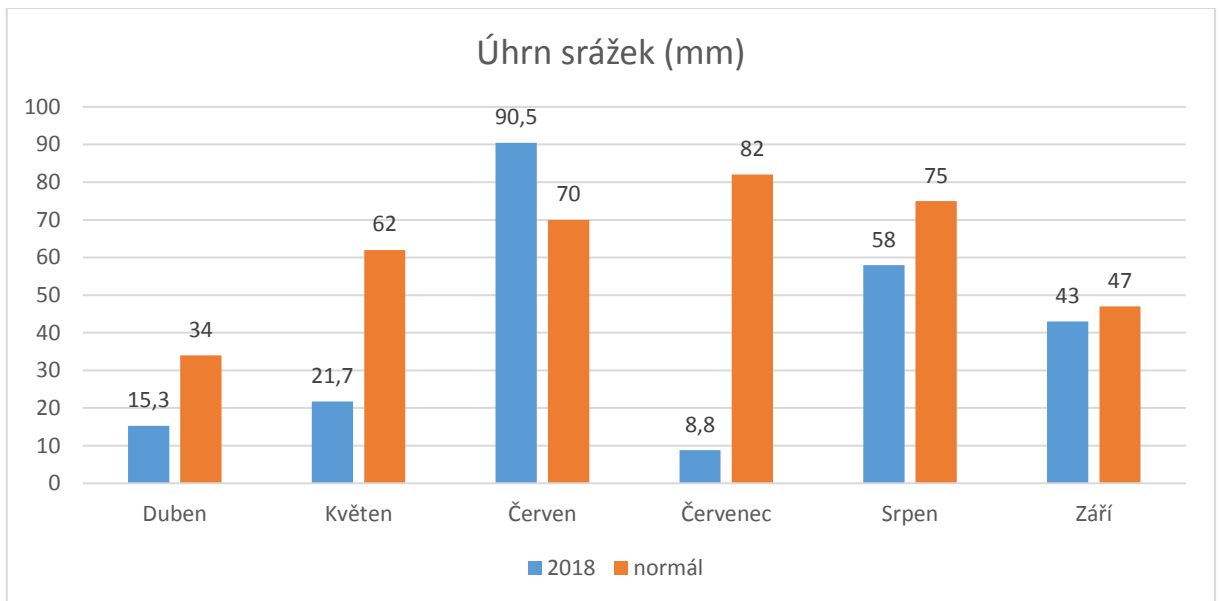
4.1.2 Povětrnostní a klimatická charakteristika

Demonstrační a pokusný pozemek spadá do klimatického regionu T2 vyznačující se dlouhým teplým a suchým létem, mírně teplým až teplým jarem a podzimem. Zimy zde bývají krátké, mírně teplé, suché až velmi suché s krátkou časovou délkou sněhové pokrývky. Dlouhodobý roční průměr teploty vzduchu je 9° a dlouhodobý roční úhrn srážek činí 500 mm.

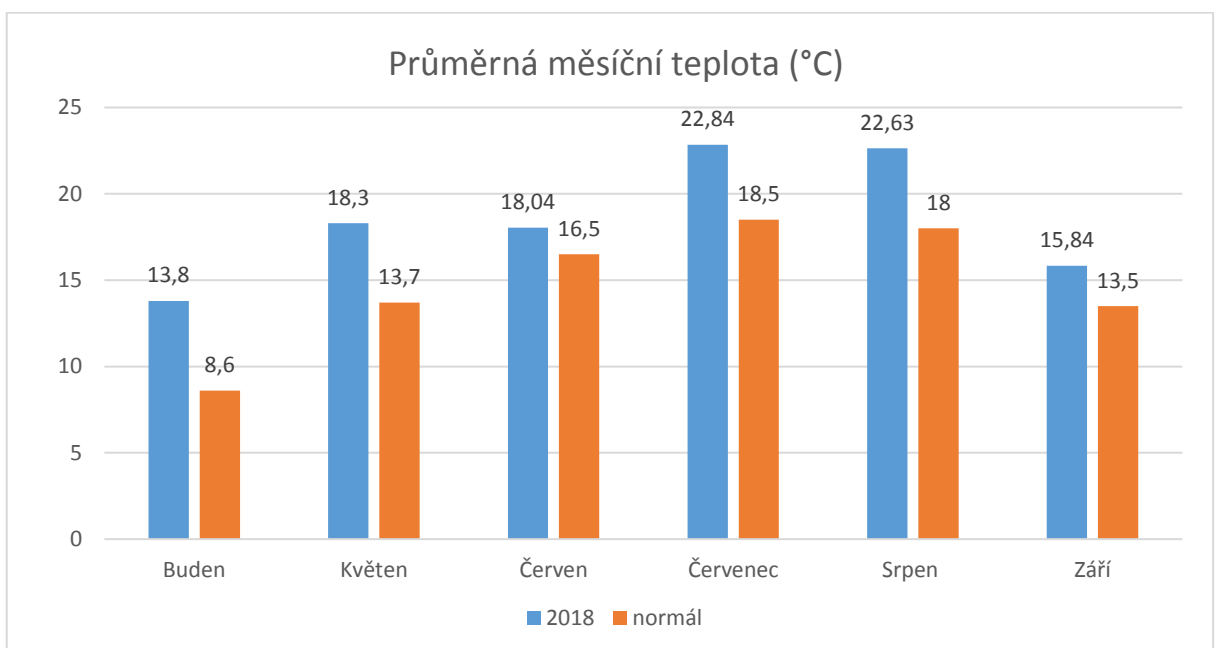
Meteorologické ukazatele charakterizující počasí v průběhu pokusu (duben až září) byly naměřeny na meteorologické stanici katedry agroekologie a rostlinné produkce na České

zemědělské univerzitě, která je umístěná v areálu Demonstračního a pokusného pozemku. Měsíční úhrny srážek v průběhu vegetace jsou uvedeny v grafu číslo 1. a průměrné měsíční teploty jsou uvedené v grafu číslo 2. V obou grafech je zobrazeno srovnání s dlouhodobým normálem (1981-2010). Dlouhodobé normály byly použity z databáze Českého hydrometeorologického ústavu.

Graf 1 Úhrn srážek od 1.4. do 30.8.2018 v porovnání s dlouhodobým normálem (1981-2010).



Graf 2 Průměrné měsíční teploty v období od 1.4. do 30.8.2018 v porovnání s dlouhodobým normálem (1981-2010).



4.1.3 Zpracování půdy a hnojení

Před založením pokusu byl pokusný pozemek na podzim zorán (hloubka 25 cm) a na jaře byl připraven pro setí vibračními branami do hloubky 5 cm. Před jarní přípravou byl pozemek nahnojen kombinovaným hnojivem NPK 15-15-15 v dávce 300 kg/ha. V průběhu vegetace byl porost cukrové řepy dohnojen LAV (2x 200 kg/ha) v BBCH řepy 14 a 18.

4.2 Založení a průběh pokusu

4.2.1 Charakteristika plodiny

K realizace tohoto pokusu byla použita cukrová řepa odrůdy Conviso Smart od firmy KWS

4.2.2 Založení pokusu

Cukrová řepa byla vyseta dne 9.4.2018. Bylo založeno celkem 12 variant se třemi opakováními, ve zcela znáhodněných blocích. Pokusné parcely měly velikost 2,25 x 7 m (15,75 m²). Na šířku parcely vycházelo přesně 5 řádků cukrové řepy. Boční izolace mezi variantami byla 0,45 m (1 řádek), zadní a přední izolace byla 1 m. Několik dní před výsevem byly ručně vysety plody plevelné řepy a semena mračňáku Theophrastova, které byly zapraveny půdní přípravou (vířivými bránami). Biometrické schéma pokusu je zobrazeno v tabulce č. 4. Jednotlivá čísla znázorňují varianty pokusu uvedené v následující tabulce.

Tabulka 4 Biometrické schéma pokusu v cukrové řepě.

5	4	11	8	10	1	2	9	12	3	6	7
10	6	1	3	12	7	11	2	5	9	8	4
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Tabulka 5 Popis testovaných variant.

Var. č.	Přípravek	Dávka (l/ha)	Aplikační termín
1	Neošetřená kontrola	-	
2	Conviso One	1,00	E
3	Conviso One	0,50	D
	Conviso One	0,50	F
4	Conviso One	0,50	D
	Mero	1,00	D
	Conviso One	0,50	F
	Mero	1,00	F
5	Betanal maxxPro	1,00	A
	Goltix Titan	1,00	A
	Conviso One	1,00	E
6	Conviso One	0,50	D
	Goltix Titan	0,60	D
	Conviso One	0,50	F
	Goltix Titan	0,60	F
7	Conviso One	0,50	D
	Outlook	0,15	D
	Conviso One	0,50	F
	Outlook	0,15	F
8	Stemat Super	1,00	A
	Goltix Titan	1,30	A
	Conviso One	1,00	E
9	Stemat Super	1,00	A
	Outlook	0,15	A
	Conviso One	1,00	E
10	Goltix Top	1,00	A
	Outlook	0,15	A
	Conviso One	1,00	E
11	Betanal maxxPro	1,00	A
	Goltix Titan	1,30	A
	Betanal maxxPro	1,25	B
	Goltix Titan	1,30	B
	Betanal maxxPro	1,50	C
	Goltix Titan	1,30	C
12	Betanal maxxPro	1,00	A
	Safari 50 WG	0,02	A
	Betanal maxxPro	1,25	B
	Safari Duo Active	0,21	B
	Betanal maxxPro	1,50	C
	Safari Duo Active	0,21	C

4.2.3 Aplikace herbicidů

Aplikace herbicidů byla prováděna maloparcelkovým elektrickým trakařovým postřikovačem Schachtner. Na postřikovači byly namontovány trysky Lunmark 015 F110 s rozpětím 31 cm. Postřiková kapalina byla aplikovaná pod tlakem 0,3 MPa v dávce vody 200 l/ha.

Tabulka 6 Podmínky a růstové fáze plodiny a plevelů v době aplikace.

Aplikační termín	Datum	Počasí při aplikaci				BBCH cukrovky	BBCH plevelů
		Oblačnost (%)	Teplota (°C)	Vlhkost půdy	Rychlost a směr větru		
A	23.4.	70	22	suchá	JZ 1 m/s	10	10
B a D	2.5.	90	20	suchá	J 1 m/s	12	CHEAL 14 AMARE 12 ECHCG 13 ABUTH 12 BETVU 13 POLCO 12
E	14.5.	80	22	suchá	SV 1 m/s	14	CHEAL 24 AMARE 24 ECHCG 21 ABUTH 14 BETVU 15 POLCO 21
C a F	25.5.	40	21	suchá	V 1 m/s	16-18	CHEAL 32 AMARE 31 ECHCG 29 ABUTH 31 BETVU 18 POLCO 31

4.2.4 Hodnocení účinnosti herbicidů

K hodnocení byla použita procentuální odhadová metoda (0 % - bez poškození, 100 % bez výskytu plevelů, nebo plevele zcela odumřelé). Účinnost byla hodnocena ve dvou termínech 14.6.2018 a 18.7.2018.

4.2.5 Hodnocení reprodukční schopnosti plevelů

Z plochy 1 m² byly před sklizní cukrové řepy vystříhány a zváženy všechny plevele. Semena ze sklizených plevelů byla vydrolena a následně zvážena a skrze HTS byla následně přepočítaná a zjištěn počet semen.

4.2.6 Hodnocení výnosu bulev

Z každé parcely byly sklizeny prostřední dvě řady (5 m²), aby byl vyloučen okrajový efekt. Z obou řad bylo většinou odebráno 60 kusů rostlin a následně byla zvážena jejich celková hmotnost.

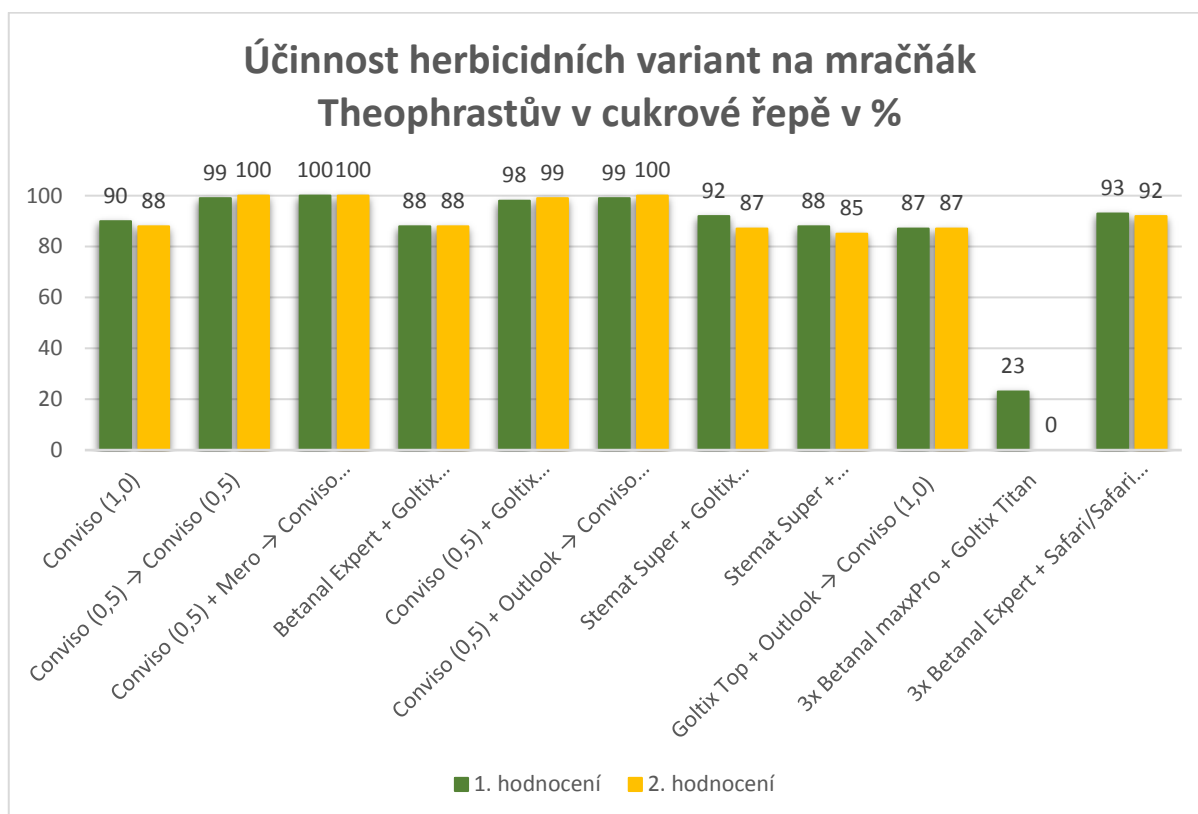
5 Výsledky

5.1 Hodnocení účinnosti herbicidů a reprodukční schopnosti plevelů

5.1.1 Mračňák Theoprasťův

Jak vyplývá z grafu č. 3 herbicid Conviso One vykazoval 100 % účinnost na mračňák Theoprasťův pouze v rozdělené dávce ve dvou termínech aplikace (0,5 + 0,5 l/ha). V případě, že byl herbicid Conviso One použit pouze jednou (1,0 l/ha), byla jeho účinnost 85-88 %. Z grafu č. 4 vyplývá, že rostliny, které zregenerovaly po jedné aplikaci herbicidu Conviso One, dokázaly do konce vegetace vytvořit poměrně velké množství semen (6.000-10.000 semen/m²). Účinnost referenční TM kombinace Betanal Extra + Goltix Titan byla nulová a mračňák vyprodukoval po ošetření těmito herbicidy podobné množství semen jako na neošetřené kontrole (21.478 semen/m²). Účinnost TM kombinace Betanal Expert + Safari byla dobrá 92 %, ale během vegetace několik rostlin zregenerovalo a vyprodukovalo 1.272 semen/m².

Graf 3 Účinnost herbicidních variant na mračňák Theoprasťův v cukrové řepě.



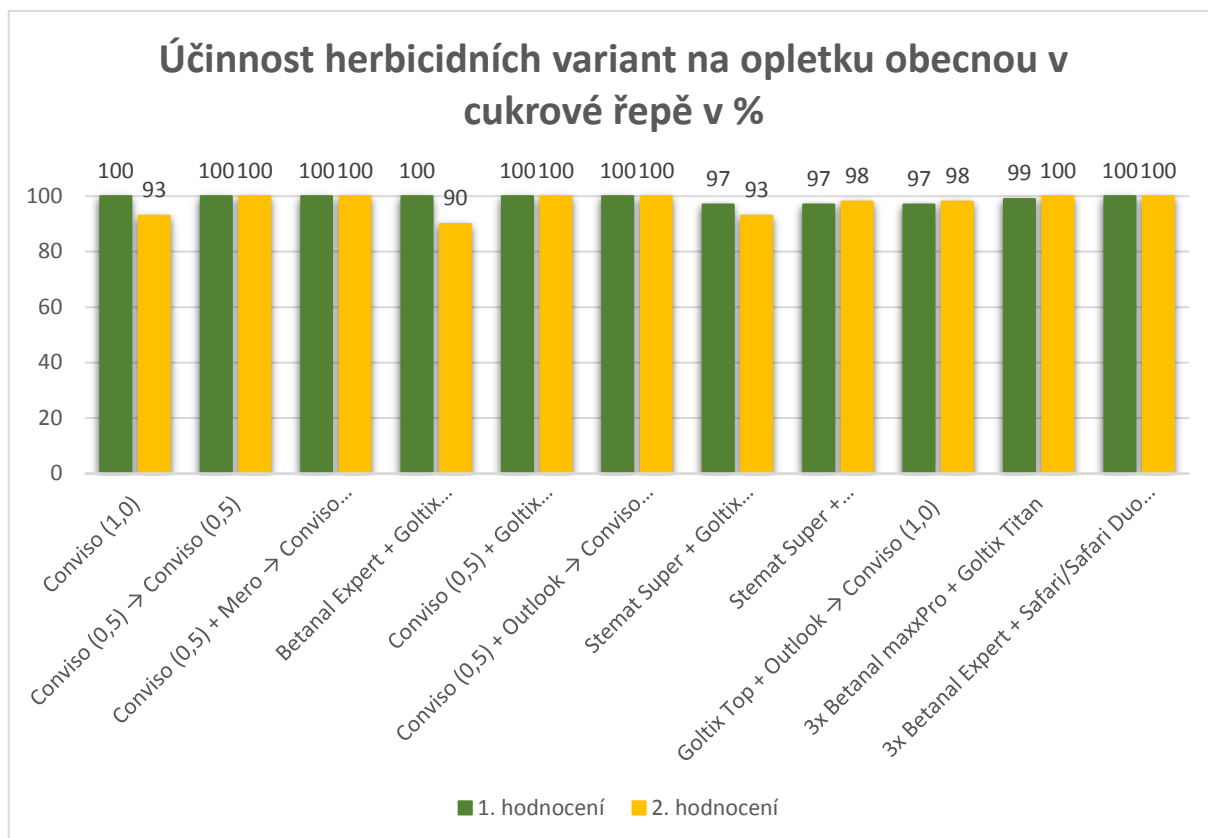
Graf 4 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost mračňáku Theophrastova.



5.1.2 Opletka obecná

Jak vyplývá z grafu č. 5 nejvyšší účinnost (100 %) vykázal herbicid Conviso One pokud byl použit v rozdělené dávce do dvou termínů aplikace. 100 % byla také zaznamenána u obou referenčních TM kombinací. V případě, že byl herbicid Conviso One použit pouze jednou bez dalšího ošetření nebo po aplikaci TM kombinace Stemat Super + Goltix Titan byla zaznamenána účinnost 93 %. Pokud byl před herbicidem Conviso One použita TM kombinace Betanal Expert + Goltix Titan byla zaznamenána účinnost 90 %.

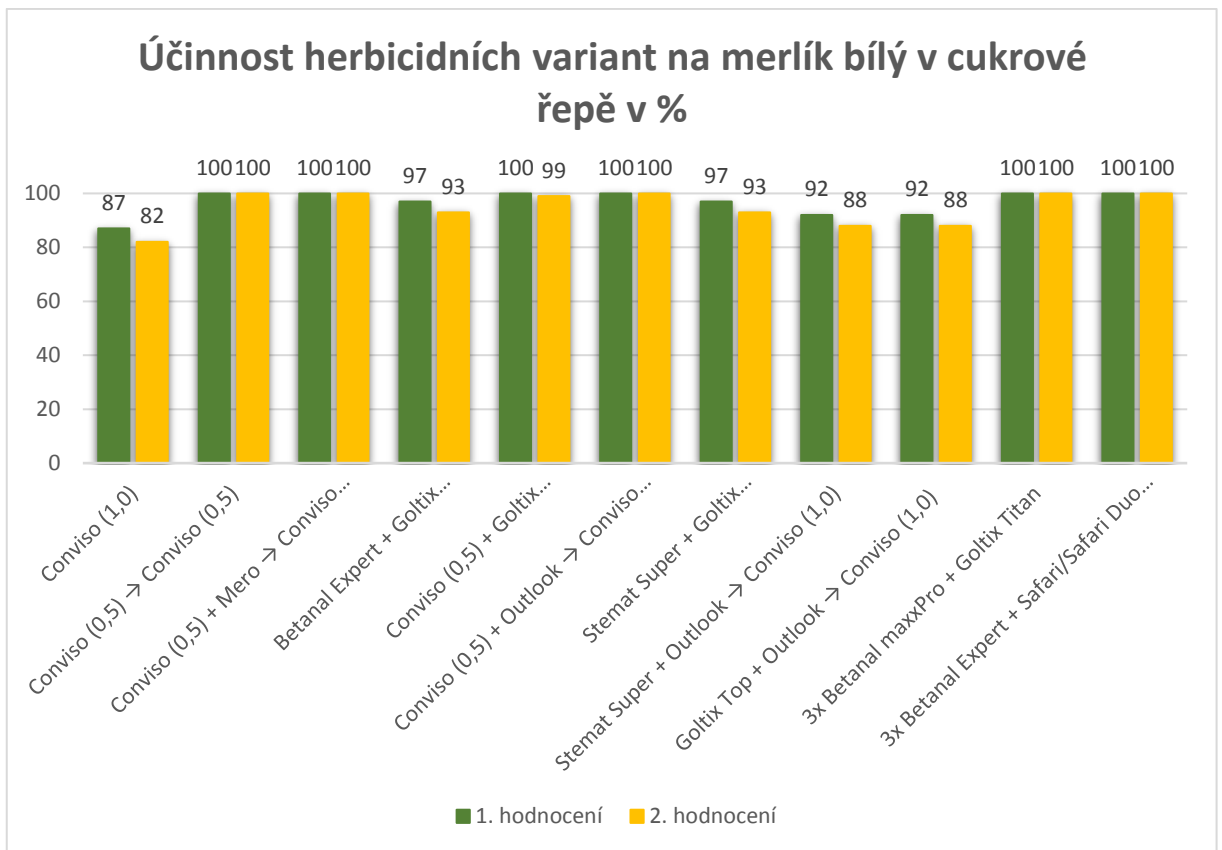
Graf 5 Účinnost herbicidních variant na opletku obecnou v cukrové řepě.



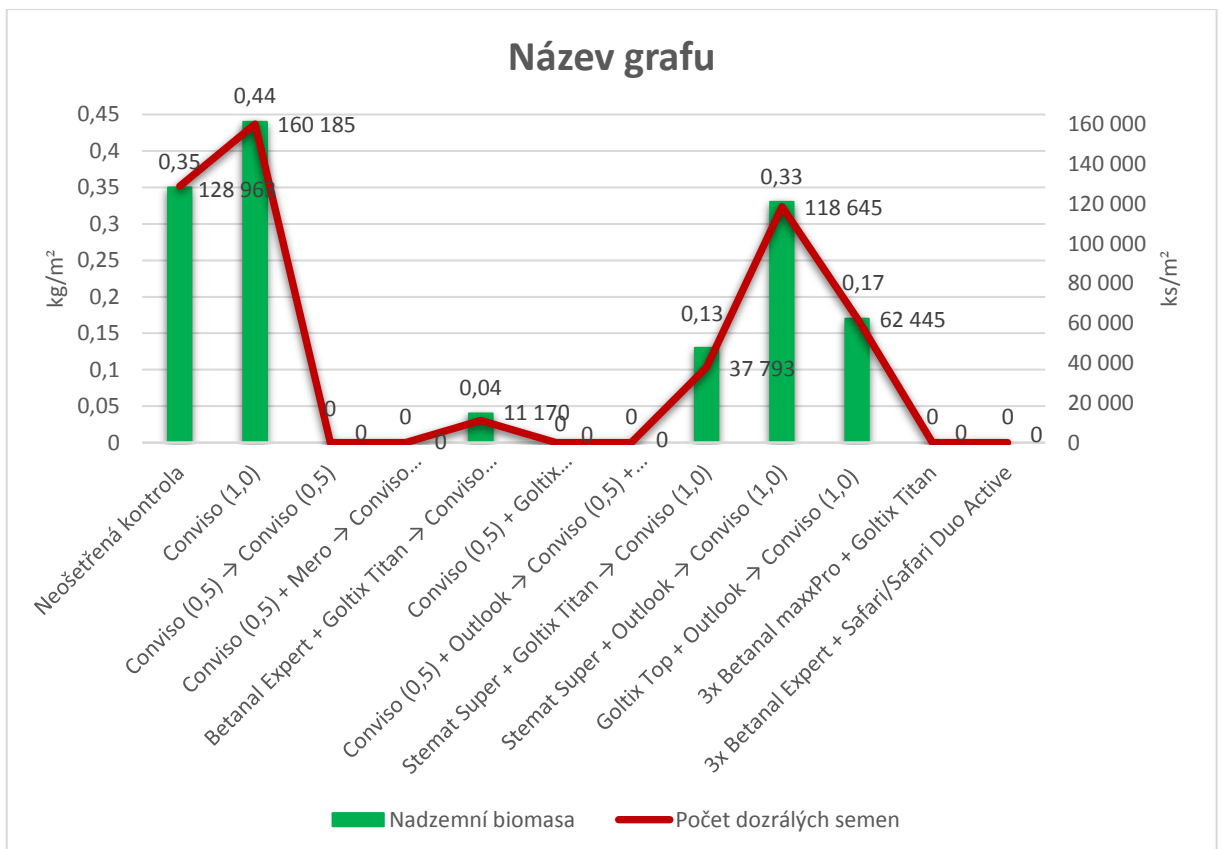
5.1.3 Merlík bílý

Jak vyplývá z grafu č. 6 nejvyšší účinnost (100 %) na merlík bílý vykázal herbicid Conviso One v rozdělené dávce do dvou termínů aplikace a obě referenční TM kombinace. Nejnižší účinnost (82 %) byla zaznamenána u herbicidu Conviso One pokud byl aplikován pouze jednou v dávce 1,0 l/ha. V případě, že byl herbicid Conviso One použit jednou po ošetření TM kombinací Betanal Expert + Goltix Titan nebo Stemat Super + Goltix Titan byla zaznamenána účinnost 93 %. V případě, že byl herbicid Conviso One použit po ošetření TM kombinací Stemat Super + Outlook nebo Goltix Top + Outlook dosahovala účinnost 88 %. Z grafu č. 7 vyplývá, že u všech variant, kde nebyla dosažena 100 % účinnost se dokázal merlík bílý v druhé polovině vegetace prosadit a reprodukovat až (160 tis. semen/m²). V případě jednoho ošetření herbicidem Conviso One dokázal merlík vytvořit 160 tis. semen/m². Nejnižší reprodukce semen byla zaznamenána u varianty Betanal Expert + Goltix Titan + Conviso One (11.000 semen/m²).

Graf 6 Účinnost herbicidních variant pokusu na merlík bílý.



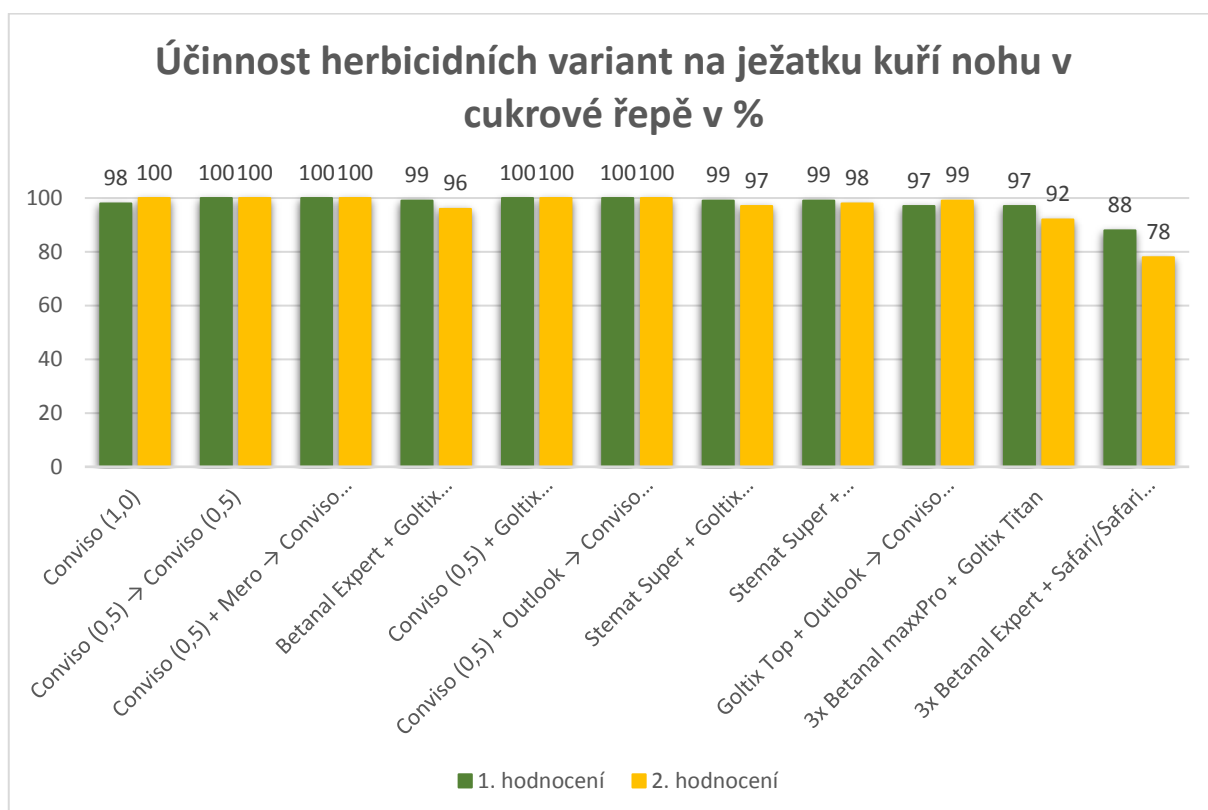
Graf 7 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost merlíku bílého.



5.1.4 Ježatka kuří noha

Z grafu č. 8 vyplývá, že rozdělená dávka do dvou termínů aplikace herbicidu Conviso One měla nejvyšší účinnost 100 % na ježatku kuří nohu. V případě, že byl herbicid Conviso One použit pouze jednou po předchozím ošetření TM kombinacemi půdních herbicidů, dosahovala účinnost přes 96 %. U obou referenčních TM kombinací byla nejnižší účinnost 92 % u Betanal maxxPro + Gotlix Titan a 78 % u Betanal Expert + Safari/ Safari Duo Active.

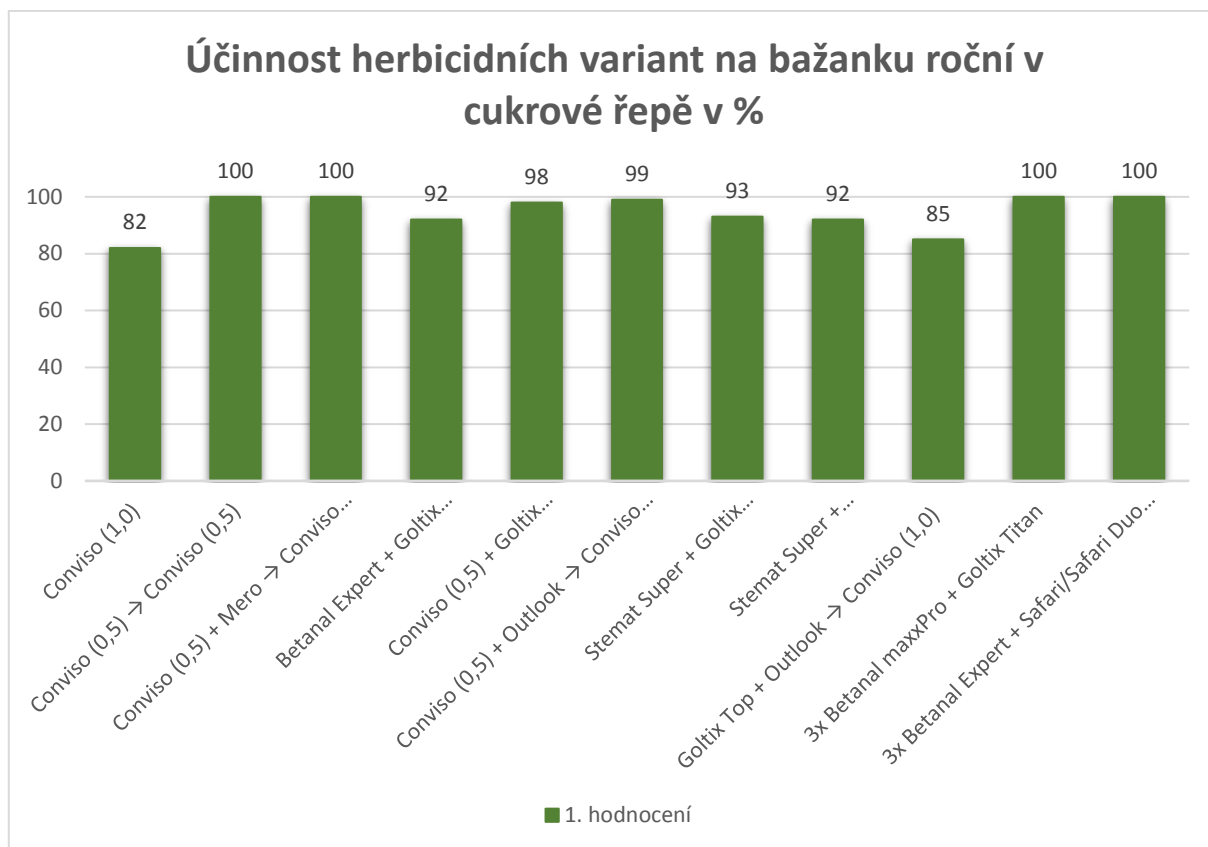
Graf 8 Účinnost herbicidních variant na ježatku kuří nohu v cukrové řepě.



5.1.5 Bažanka roční

Jak můžeme vidět z grafu č. 9 herbicid Conviso one vykázal 100 % účinnosti na bažanku roční pouze pokud byl použit v dělené aplikaci. V případě, že byl herbicid Conviso One použit v dávce 0,5 l/ha a následně byl porost ošetřen konvenčními herbicidy, bylo dosaženo účinnosti 98-100 %. Účinnost variant, kde byl herbicidem Conviso One použit až po ošetření konvenčními herbicidy byla 85-93 %. Pokud byl Conviso One použit pouze v plné dávce bez dalších herbicidů, vykazovala účinnost 82 %. Obě referenční TM kombinace vykazovaly 100 % účinnost.

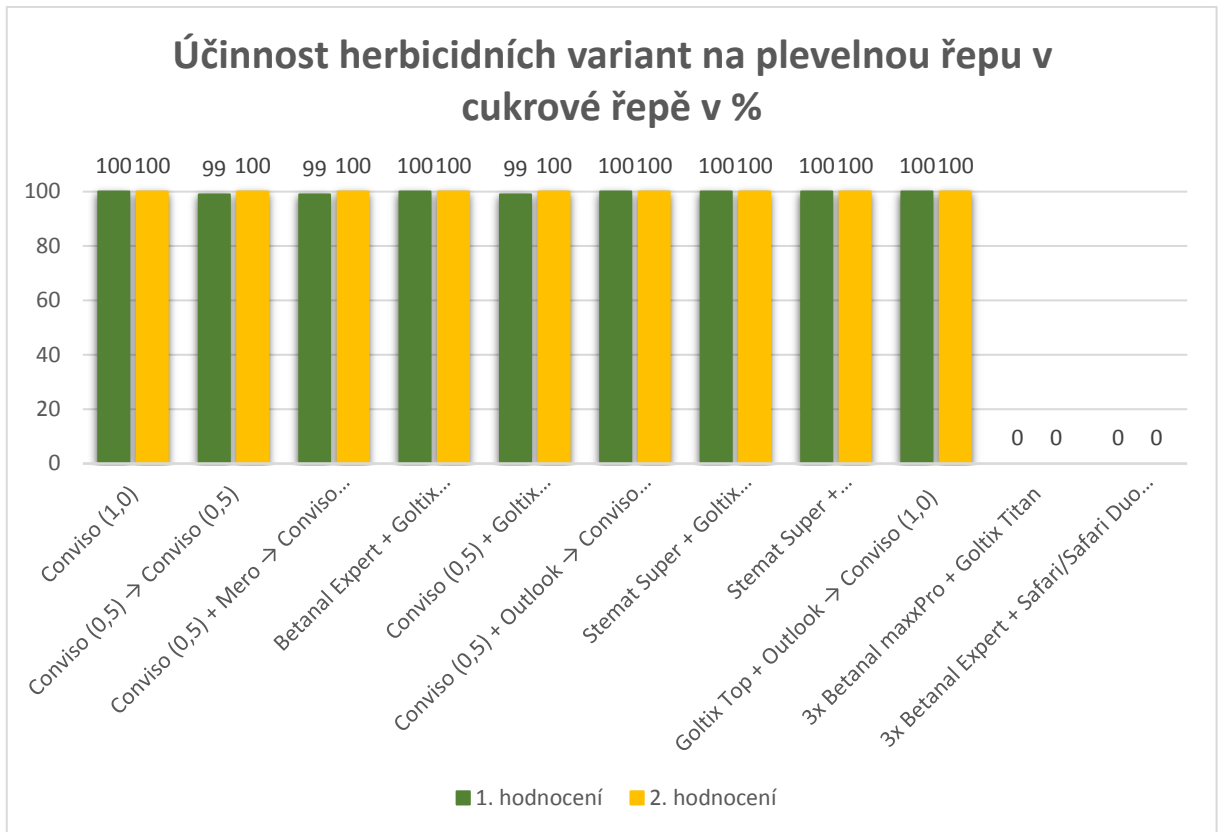
Graf 9 Účinnost herbicidních variant na bažanku roční v cukrové řepě.



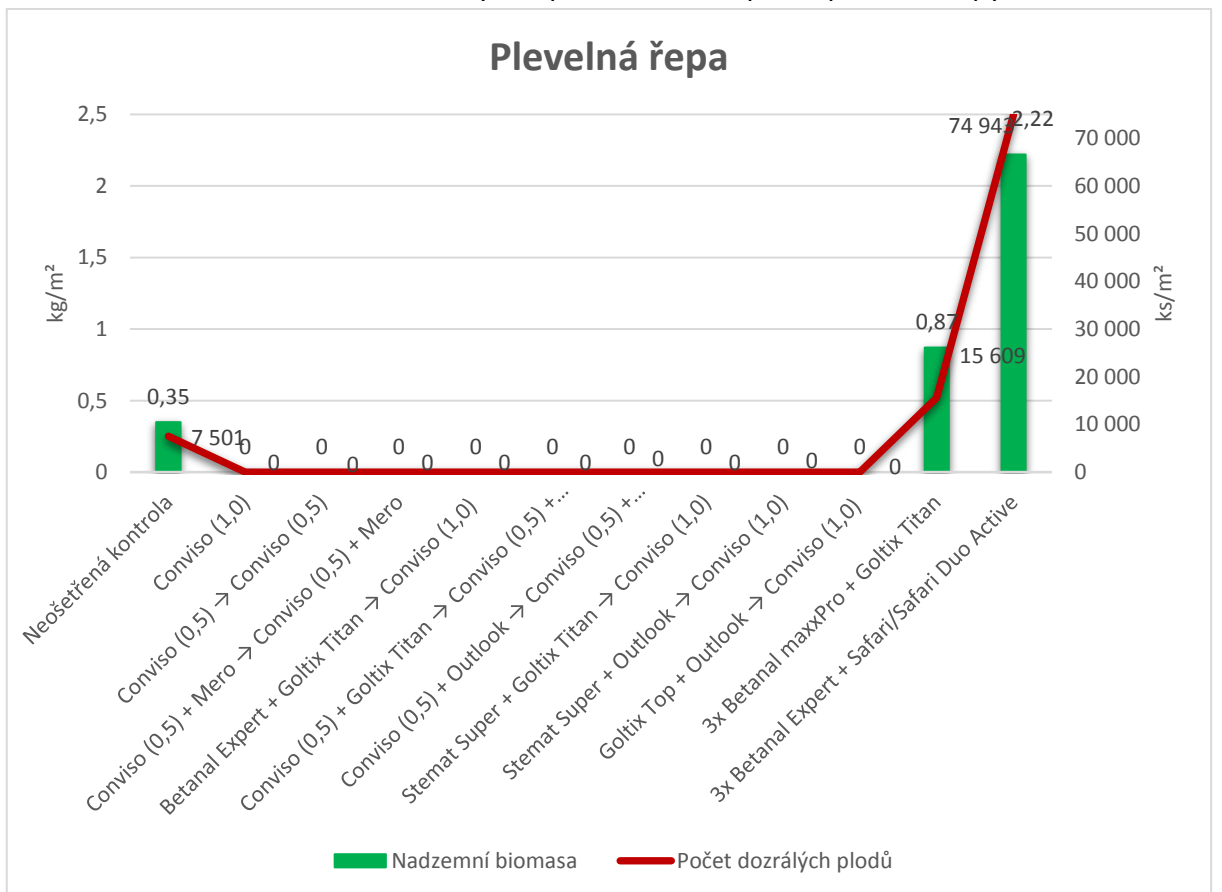
5.1.6 Plevelná řepa

Jak vyplývá z grafu č. 10 herbicid Conviso One vykázal 100 % účinnost na plevelnou řepu ve všech způsobech jeho použití, přičemž po aplikaci tohoto přípravku nebyli zaznamenány žádný nově vzešlý jedinci. U grafu č. 11 můžeme pozorovat že, u obou referenčních TM kombinací byla účinnost nulová a došlo k masivní reprodukci plevelné řepy u Betanal maxxPro + Goltix Titan (15.600 klubíček /m²) a u Betanal Expert + Safari/Safari Duo Active až (75.000 klubíček/m²).

Graf 10 Účinnost herbicidních variant na plevelnou řepu v cukrové řepě.



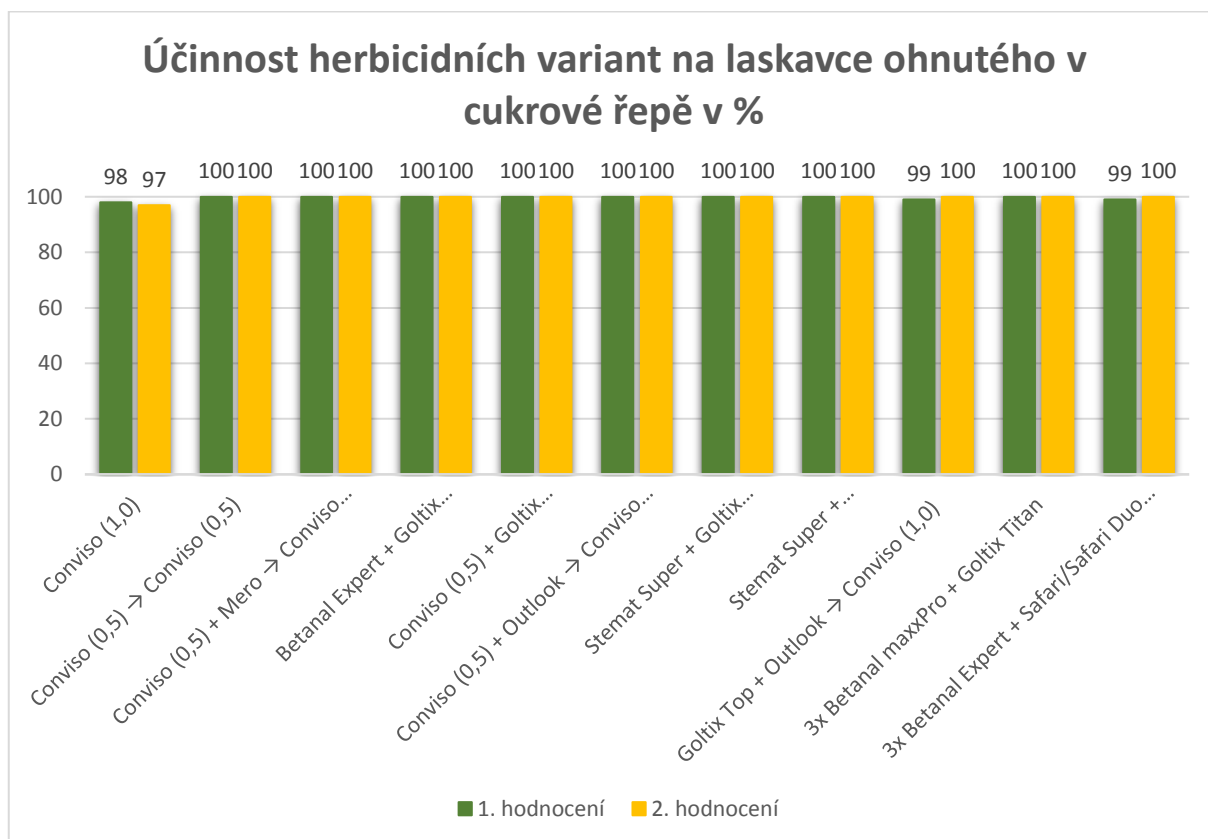
Graf 11 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost plevelné řepy.



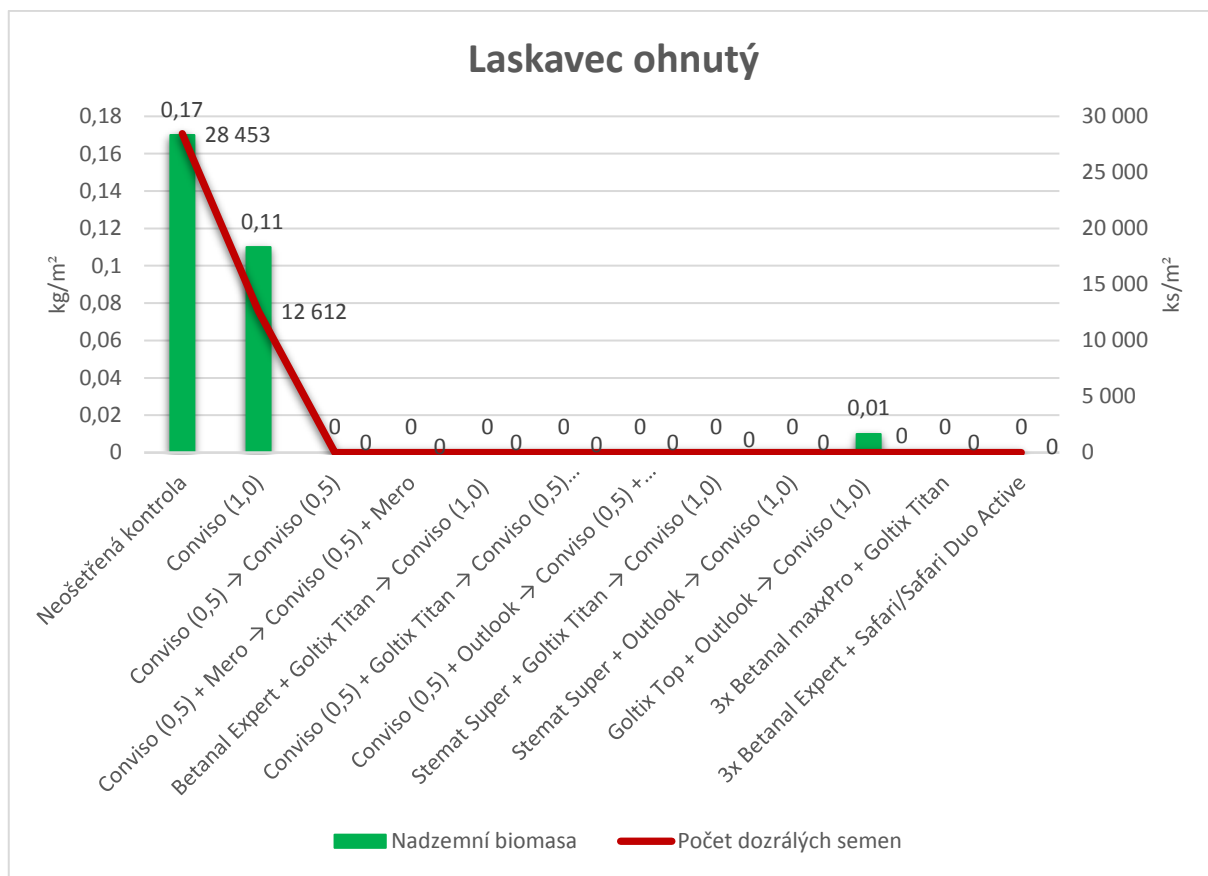
5.1.7 Laskavec ohnutý

Z grafu č. 12 vyplývá že, herbicid Conviso One vykázal 100 % účinnost na laskavec ohnutého téměř ve všech systémech jeho použití. Pouze pokud byl použit pouze jednou a bez doplňujícího ošetření jinými herbicidy byla účinnost 97 %, což v konečném důsledku vedlo k vytvoření 12.612 semen/m². Obě referenční TM kombinace vykazovaly 100 % účinnost.

Graf 12 Účinnost herbicidních variant na laskavce ohnutého v cukrové řepě.



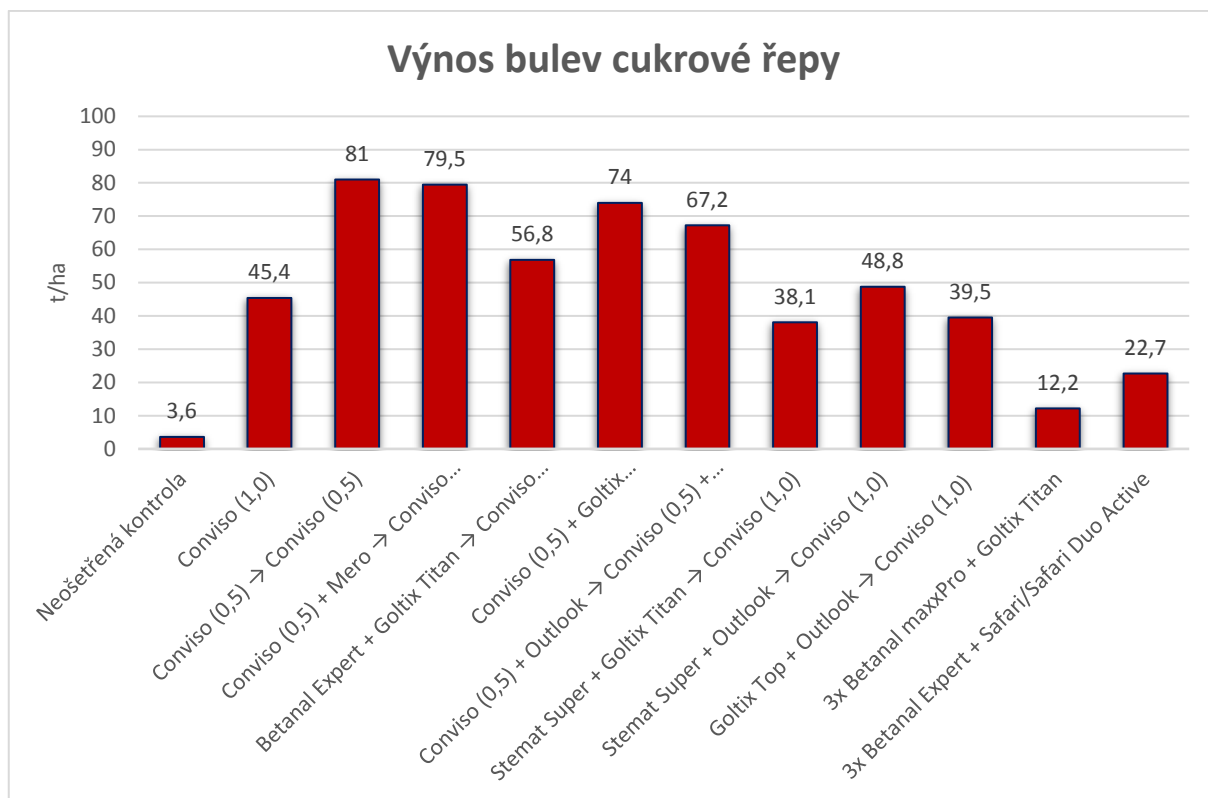
Graf 13 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost laskavce ohnutého.



5.2 Výnos bulev cukrové řepy

Jak vyplývá z grafu č. 14, nejvyšší výnos cukrové řepy (81 t/ha) byl zaznamenán na variantě ošetřené dělenou dávkou herbicidu Conviso One. O něco trochu nižší výnos 74 t/ha byl zaznamenán u varianty s TM kombinací Conviso One + Goltix Titan. U varianty TM kombinace Conviso One + Outlook byl zaznamenán výnos 67,2 t/ha. Herbicid Conviso One použit jen v jedné aplikaci zaznamenal výnos u všech variant mezi 38 až 57 t/ha. Výnos bulev ve variantě ošetřené TM kombinací Betanal Expert + Safari/Safari Duo Active byl z důvodu zaplevelení plevelnou řepou 22,7 t/ha a u varianty ošetřené TM kombinací Betanal maxxPro + Goltix Titan byl také v důsledku zaplevelení plevelnou řepou a mračňákem Theophrastovým pouze 12,2 t/ha. Nejnižší výnos byl zaznamenán na neošetřené kontrole 3,6 t/ha.

Graf 14 Výnos bulev cukrové řepy.



6 Diskuze

6.1.1 Účinnost herbicidů v cukrové řepě

Cukrová řepa ve srovnání s jinými plodinami je velmi citlivá na konkurenci plevelů, což způsobuje vysoké ekonomické ztráty na výnosu, které mohou dosáhnout až ke 100 %. Je to způsobeno její malým vzrůstem, který většina plevelů přeroste a brání tak cukrové řepě k přístupu ke slunečnímu svitu (Märländer, 2005).

V našem pokusu měl herbicid Conviso One v dělené dávce (0,5 + 0,5 l/ha) 100 % účinnost na všechny sledované plevele. Zároveň stejný herbicid s adjuvancem Mero dosáhl také u sledovaných plevelů 100 % účinnost, a proto se nepodařilo prokázat, zda měl adjuvant Mero nějaký vliv na účinnost herbicidu Conviso One. Obě testované varianty dosáhli stejných výsledků. Jediný rozdíl mezi variantami byl výnos cukrové řepy, ale rozdíl poměrně malý 1 %. V obou pokusech byly plevele včas odstraněny a nestihly konkurovat cukrové řepě.

Varianta, kde byl herbicid Conviso One aplikován v jedné dávce (1 l/ha) byla účinnost u každého pozorovaného plevele rozdílná od 82 % po 100 % a ve srovnání s dělenou dávkou měla menší účinnost.

Wegener a kol., (2015) uvedli, že použití přípravku Conviso One je možné bez dodatečné léčby graminicidem. To potvrzují naše i Balgheimovi a kol. (2015) výsledky, že na ježatku kuří nohu nejlépe účinkovaly varianty s herbicidem Conviso one v dělené aplikaci (0,5 + 0,5 l/ha) nebo s dalším herbicidem. Balgheim a kol. (2015) došli k 95 % účinnosti u dělené aplikaci Conviso one (0,5 + 0,5 l/ha). Herbicid Conviso One měl 100 % úspěšnost v aplikaci jedné dávky 1 l/ha. Balgheim a kol. (2015), došli k podobnému výsledku 97 %.

U Merlíku bílého dosáhl v dělené aplikaci (0,5 + 0,5 l/ha) herbicid Conviso One 100 %. Balgheim a kol. (2015) při pokusu došli k nižší účinnosti 95 %. U dávky 1 l/ha Conviso One byla zaznamenána 82 % účinnosti, což je mnohem méně než Balgheim a kol., (2015), kteří zaznamenali 94 % účinnost.

Podle Balgheima a kol. (2015) je plevelná řepa velmi problémový plevel v celé západní Evropě a konvenčními herbicidy těžko regulovaná. To vyšlo i v našem pokusu u referenčních TM kombinací, které neměli žádný vliv na plevelnou řepu, a došlo k nárůstu biomasy, která měla za následek malého výnosu. Herbicid Conviso One reguloval 100 % plevelné řepy ve všech testovaných termínech i dávkách, a po aplikaci už nebyly zaznamenány žádné nově

vzešlé plevelné řepy. To uvádí i Balgheim a kol. (2015), že Conviso One je velmi účinný protitvůrce plevelné řepy.

V souvislosti s použitím systému Conviso Smart by měla být dodržena určitá opatření při sestavování osevního postupu plodin, nebo zařadit do systému herbicidy s jiným účinkem mechanizace, aby se zabránilo brzkému vzniku rezistenčních populací.

6.1.2 Výnos cukrové řepy

V době sklizně byl zaznamenán nejvyšší výnos 81 t/ha u varianty s herbicidem Conviso One s dělenou aplikací. V roce 2017 byl výnos velmi podobný, což ale neodpovídá s rokem 2016 kdy byl vyšší téměř o 25 % než tento rok. Naproti tomu výnos u varianty s jednou dávkou aplikace Conviso One byl o 45 % menší než u dělené dávky.

Nejnižší výnos měla neošetřená varianta 3,6 t/ha a lze potvrdit, že cukrová řepa je velmi citlivá na konkurenci plevelů a ztráty se mohou opravdu blížit až ke 100 %.

7 Závěr

V porostu cukrové řepy měl nejlepší regulační schopnost na všechny testované plevele herbicid Conviso One v dělené dávce (0,5 + 0,5 l/ha). Všechny plevele byly zcela potlačeny a cukrová řepa dosáhla na této variantě nejvyšší výnos, který je srovnatelný s průměrnými výnosy v běžných provozních podmínkách. Stejně účinnosti dosáhl herbicid Conviso One ve stejné dělené dávce ale s adjuvantem Mero.

Velmi dobrou regulační schopnost na plevele prokázaly varianty, kde byl herbicid Conviso One vhodně kombinován s herbicidy Goltix Titan a Outlook. Obě tyto varianty vykazaly obdobnou účinnost jako Conviso One v dělené dávce, ale výnos bulev byl nižší o 8, resp. 16 %.

Nižší účinnost na plevele byla zaznamenána u herbicidu Conviso One, pokud byl použit pouze jednou po předchozím ošetření půdními herbicidy. Tyto herbicidní sledy působily dobře na laskavce ohnutý, plevelnou řepu, opletku obecnou a ježatku kuří nohu, ale horší účinek měly na merlík bílý a mračňák Theophrastův, kteří dokázali vytvořit velké množství semen.

Nulovou účinnost na plevelnou řepu měly referenční TM kombinace Betanal maxxPro + Goltix Titan a Betanal Expert + Safari/Safari Duo Active, což vedlo k masivní reprodukci, která by mohla způsobovat v následujících plodinách velké problémy. Referenční TM kombinace Betanal maxxPro + Goltix Titan měla dále téměř nulovou účinnost na mračňák Theophrastův.

V České republice patří cukrová řepa mezi významné plodiny. Každoročně se u nás pěstuje na ploše 60 tis. ha, a proto má význam se zaměřit na regulaci plevelů v jejích porostech. Od technologie Conviso Smart jsou poměrně velká očekávání a podle výsledků můžeme říct, že tato technologie může mít velké uplatnění.

8 Literatura

Agrotip [online]. BASF spol. s r.o., 2005 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/44787844-Duo-system-pestovani-kukurice-agricultural-products-52-mistrovstvi-sveta-v-orbe-praha-suchdol.html>

AL-KHATIB, Kassim, Jolene R. BAUMGARTNER, Dallas E. PETERSON a Randall S. CURRIE. Imazethapyr Resistance in Common Sunflower (*Helianthus annuus*). *Weed Science*. 1998, **46**(4), 403-407.

AL-KHATIB, K. a J. F. MILLER. Registration of Four Genetic Stocks of Sunflower Resistant to Imidazolinone Herbicides. *Crop Science*. 2000, **40**(3), 869-870. ISSN 1435-0653.

BALGHEIM, Natalie, Martin WEGENER, Heinrich MUMME a Carsten STIBBE. *CONVISO Smart – first experiences with the new sugar beet production system*. In *28th German Conference on Weed Biology and Control*. Braunschweig. SRN, 2018, 510-515.

BENDER, David A. *Amino Acid Metabolism*. 3rd Edition. Wiley-Blackwell, 2012, 478 s. ISBN 978-0-470-66151-2.

BROOKES, Graham a Peter BARFOOT. Global impact of biotech crops: Socio-economic and environmental effects in the first ten years of commercial use. *AgBioForum*. 2006, **9**(3), 139-151. Dostupné také z: <http://www.agbioforum.org/v9n3/v9n3a02-brookes.htm>

BRUNIARD, Jose M. *NHERITANCE OF IMIDAZOLINONE RESISTANCE, CHARACTERIZATION OF CROSS-RESISTANCE PATTERN, AND IDENTIFICATION OF MOLECULAR MARKERS IN SUNFLOWER (*Helianthus annuum* L.)*. 2001. Dissertation. North Dakota State University.

COBB, Andrew H. a John P.H. READE. *Herbicides and Plant Physiology*. 2 vyd. Oxford: Wiley-Blackwell, 2010, 296 s. ISBN 9781405129350.

CONVISO SMART [online]. [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.convisosmart.cz/>

BRUNIARD, Jose M. *NHERITANCE OF IMIDAZOLINONE RESISTANCE, CHARACTERIZATION OF CROSS-RESISTANCE PATTERN, AND IDENTIFICATION OF MOLECULAR MARKERS IN SUNFLOWER (Helianthus annuum L.)*. 2001. Dissertation. North Dakota State University.

DESPLANQUE, Benoît, Nina HAUTEKÈETE a Henk VAN DIJK. Transgenic weed beets: possible, probable, avoidable?. *Journal of Applied Ecology*. 2002, **39**(4), 561-571. DOI: 10.1046/j.1365-2664.2002.00736.x. ISSN 00218901. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1046/j.1365-2664.2002.00736.x>

DEWAR, Alan M. Weed control in glyphosate-tolerant maize in Europe. *Pest Management Science*. 2009, 1999, **65**(10), 1047-1058. DOI: 10.1002/ps.1806. ISSN 1526498X. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ps.1806>

DEVINE, Malcolm D. Why are there not more herbicide-tolerant crops?. *Pest Management Science*. Society of Chemical Industry, 2005, **61**(3), 312-317. DOI: 10.1002/ps.1023. ISSN 1526-4998. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1002/ps.1023>

DEVOS, Yann, Dirk REHEUL, Adinda DE SCHRIJVER, François CORS a William MOENS. Management of herbicide-tolerant oilseed rape in Europe: a case study on minimizing vertical gene flow. *Environmental Biosafety Research*. 2004, **3**(3), 135-148. DOI: 10.1051/ebr:2005001. ISSN 1635-7922. Dostupné také z: <http://www.ebr-journal.org/10.1051/ebr:2005001>

DILL, Gerald M, Claire A CAJACOB a Stephen R PADGETTE. Glyphosate-resistant crops: adoption, use and future considerations. *Pest Management Science*. 2008, **64**(4), 326-331. DOI: 10.1002/ps.1501. ISSN 1526498X. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ps.1501>

DILLEN, Koen, Matty DEMONT, Pascal TILLIE a Emilio RODRIGUEZ CERREZO. Bred for Europe but grown in America: the case of GM sugar beet. *New Biotechnology*. 2013, **30**(2), 131-135. DOI: 10.1016/j.nbt.2012.11.004. ISSN 18716784. Dostupné také z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1871678412008618>

DUKE, O., B. E. SCHEFFLER a W. E. DYER. Genetic Engineering Crops for Improved Weed Management Traits. *Crop biotechnology*. Washington, DC: Distributed by Oxford University Press, c2002, s. 52-66. ISBN 9780841237667.

DUKE, Stephen a Stephen B. POWLES. *Glyphosate: a once-in-a-century herbicide*. 2008. DOI: 10.1002/ps.1518. Dostupné také z: <https://doi.org/10.1002/ps.1518>

GREEN, Jerry M. a Micheal D. K. OWEN. Herbicide-Resistant Crops: Utilities and Limitations for Herbicide-Resistant Weed Management. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2011, **59**(11), 5819-5829. DOI: 10.1021/jf101286h. ISSN 0021-8561. Dostupné také z: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/jf101286h>

HATTORI, J., D. BROWN, G. MOURAD, et al. An acetohydroxy acid synthase mutant reveals a single site involved in multiple herbicide resistance. *Mol Gen Genet*. 1994, **246**, 419-425.

HOLEC, Josef, Josef SOUKUP a Václav KOHOUT. Secondary dormancy in sunflower and its variation between cultivars. *12th EWRS symposium, Wageningen*. 2002, , 362-363.

International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications [online]. 2017 [cit. 2019-04-05]. Dostupné z: <https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/53/download/isaaa-brief-53-2017.pdf>

JANČÍK, J. a F. TICHÝ. *Kukuřice setá (Zea mays L)* [online]. 2001 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://www2.zf.jcu.cz/~moudry/databaze/Kukurice_seta.htm

JEŽKOVÁ, Markáta. Plochy s geneticky modifikovanou kukuřicí v České republice klesly o 92 %, zasel ji jediný pěstitel. *AAGRI* [online]. 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/mze/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/x2016_plochy-s-geneticky-modifikovanou.html

JURSÍK, Miroslav, Josef SOUKUP, Josef HOLEC a Jiří ANDR. Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS inhibitory). *LISTY CUKROVARNICKÉ a ŘEPAŘSKÉ: mechanizmy účinku herbicidů a projevy jejich*

působení na r. 2010, **126**(11), 376-379. ISSN 1805-9708. Dostupné také z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2010/PDF/376-379.PDF

JURSÍK, Miroslav, Josef SOUKUP a Kristýna KYSILKOVÁ. *Technologie herbicidní tolerance plodin k herbicidům* [online]. 22. 07. 2016 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/technologie-herbicidni-tolerance-plodin-k-herbicidum>

JURSÍK, Miroslav, Josef HOLEC, Pavel HAMOUZ a Josef SOUKUP. *Biologie a regulace plevelů*. České Budějovice: Kurent, 2018, 362 s. ISBN 978-80-87111-71-0.

JURSÍK, Miroslav, Josef HOLEC, Pavel HAMOUZ a Josef SOUKUP. *Plevelé: Biologie a regulace*. České Budějovice: Kurent, 2011, 232 s. ISBN 978-80-87111-27-7.

JURSÍK, Miroslav a Josef HOLEC. *Regulace plevelů v cukrové řepě* [online]. 2016 [cit. 2019-04-13]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/regulace-plevelu-v-cukrove-repe>

JURSÍK, Miroslav, Josef HOLEC a Josef SOUKUP. Využití HT technologií při regulaci plevelů. *Listy Cukrovarské a Řepářské*. © VUC Praha, 2011, **127**(9-10), 286-291. ISSN 1805-9708. Dostupné také z: http://www.cukr-listy.cz/on_line/2011/PDF/286-291.pdf

KLEE, Harry J., Yvonne M. MUSKOPF a Charles S. GASSER. *Cloning of an Arabidopsis thaliana gene encoding 5-enolpyruvylshikimate-3-phosphate synthase: sequence analysis and manipulation to obtain glyphosate-tolerant plants*. 1987, (210), 437-442.

KLETER, Gijs A, Raj BHULA, Kevin BODNARUK, et al. Altered pesticide use on transgenic crops and the associated general impact from an environmental perspective. *Pest Management Science*. 2007, **63**(11), 1107-1115. DOI: 10.1002/ps.1448. ISSN 1526498X. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ps.1448>

KOŠNAROVÁ, Pavlína, Kateřina HAMOUZOVÁ a Josef SOUKUP. Rezistence chundelky metlice vůči sulfonylmočovinám. *Agromanuál* [online]. 5.8.2011 [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/rezistence-chundelky-metlice-vuci-sulfonylmocovinam>

KRATO, C a J PETERSEN. Gene flow between imidazolinone-tolerant and -susceptible winter oilseed rape varieties. *Weed Research*. 2012, **52**(2), 187-196. DOI: 10.1111/j.1365-3180.2012.00907.x. ISSN 00431737. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1365-3180.2012.00907.x>

MAZUR, B. J. a S. C. FALCO. *The Development of Herbicide Resistant Crops*. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 1989, s. 441-470.

MARLANDER, B. Weed Control in Sugar Beet using Genetically Modified Herbicide-tolerant Varieties - A Review of the Economics for Cultivation in Europe. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 2005, **191**(1), 64-74. DOI: 10.1111/j.1439-037X.2004.00135.x. ISSN 0931-2250. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1439-037X.2004.00135.x>

MIKULKA, Jan a Marta KNEIFELOVÁ. *Plevelné rostliny*. Vyd. 2. Praha: Profi Press, 2005, 148 s. ISBN 80-86726-02-9.

NANDULA, Vijay K. *Glyphosate resistance in crops and weeds: history, development, and management*. Hoboken, N.J.: Wiley, c2010. ISBN 978-047-0410-318.

NAYLOR, Robert E. L., ed. *Weed Management Handbook*. Oxford: British Crop Protection Council, Blackwell Science, 2002, 430 s. ISBN 978-0-632-05732-0.

NEWHOUSE, Keith, Theodora WANG a Paul ANDERSON. Imidazolinone-tolerant crops. *The Imidazolinone herbicides*. Boca Raton: CRC Press, c1991, s. 139-150. ISBN 0849357632.

ONDŘEJ, Miloš a Jaroslav DROBNÍK. *Transgenoze rostlin*. Praha: Academia, 2002, 320 s. ISBN 80-200-0958-2.

OVESNÁ, Jaroslava, Ladislav KUČERA a Josef SOUKUP. *PĚSTOVÁNÍ GENETICKY MODIFIKOVANÝCH PLODIN V ČR: koexistence různých forem zemědělství*. 2005, 63 s. ISBN 80-7084-408-6.

PFENNING, M., G. PALFAY a T. GUILLET. *The CLEARFIELD® technology – A new broad-spectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers*. 2008. ISSN 1861-4051.

ŘEPKOVÁ, Jana. *Genetika rostlin* [online]. Brno, 2013 [cit. 2019-04-08]. ISBN 978-80-210-6408-9. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/index.html>

SHANER, D. L., SINGH, B. K., ed. Acetohydroxyacid synthase inhibitors. *Herbicide activity: toxicology, biochemistry and molecular biology*. 1997, s. 69-110.

SHANER, Dale L., Newell F. BASCOMB a Wendy SMITH. Imidazolinone-Resistant Crops: Selection, Characterization, and Management. DUKE, Stephen O. *Herbicide-resistant crops: agricultural, environmental, economic, regulatory, and technical aspects*. Boca Raton: Lewis Publishers, c1996, s. 142-157. ISBN 1566700450.

SMUTNÝ, Vladimír. Možnosti regulace plevelů v kukuřici v sušších podmínkách. *Agromanuál* [online]. 2012 [cit. 2019-02-18]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/moznosti-regulace-plevelu-v-kukurici-v-sussich-podminkach>

SWANSON, E. B., M. J. HERRGESELL, M. ARNOLDO, D. W. SIPPELL a R. S. C. WONG. Microspore mutagenesis and selection: Canola plants with field tolerance to the imidazolinones. *Theor Appl Genet*. Mississauga, Ontario: Allelix Crop Technologies, 1989, **78**, 725-730. ISSN 0040-5752.

SOUKUP, Josef. *Odrůdy s tolerancí k herbicidům: Kam směřuje vývoj ve světě a u nás?* [online]. [cit. 2019-04-07]. Dostupné z: https://home.czu.cz/storage/53413_Soukup_velichovky13.pdf

SOUKUP, Josef, Josef HOLEC, Miroslav JURŠÍK a Kateřina HAMOUZOVÁ.

Environmental and agronomic monitoring of adverse effects due to cultivation of genetically modified herbicide tolerant crops. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*. 2011, 125-130. ISSN 1661-5867. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00003-011-0682-7>

TAIZ, Lincoln, Eduardo ZEIGER, Ian M. MOLLER a Angus MURPHY. *Plant Physiology and Development*. 6rd edition. Sinauer Associates Inc., Sunderland, 2015, 761 s. ISBN 978-1-60535-255-8.

TAN, S., R. EVANS a B. SINGH. Herbicidal inhibitors of amino acid biosynthesis and herbicide-tolerant crops. *Amino Acids*. 2006, **30**(2), 195-204. DOI: 10.1007/s00726-005-0254-1. ISSN 0939-4451. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s00726-005-0254-1>

TAN, Siyuan, Richard R EVANS, Mark L DAHMER, Bijay K SINGH a Dale L SHANER. Imidazolinone-tolerant crops: history, current status and future. *Pest Management Science*. 2005, **61**(3), 246-257. DOI: 10.1002/ps.993. ISSN 1526-498X. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1002/ps.993>

TELCE, B., D. L. SHANER, A. D. CUNHA a P. J. DEVINE. Comparative metabolism of imidazolinone herbicides. *Brighton Crop Protection Conference, Weeds*. British Crop Protection Council, 1997, , 605-610.

TRANEL, Patrick J. a Terry R. WRIGHT. Resistance of Weeds to ALS-Inhibiting Herbicides: What Have We Learned?. *Weed Science*. 2002, 700-712. Dostupné také z: https://www.jstor.org/stable/4046642?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents

UMBARGER, H. E. Amino Acid Biosynthesis and its Regulation. *Annual Review of Biochemistry*. 1987, **47**, 533-606.

VANCETOVIC, J., M. VIDAKOVIC, M. BABIC, D. B. RADOJCIC, S. BOZINOVIC a M. STEVANOVIC.
THE EFFECT OF CYCLOXYDIM TOLERANT MAIZE (CTM) ALLELES ON GRAIN YIELD AND
AGRONOMIC TRAITS OF MAIZE SINGLE CROSS HYBRID. *Maydica*. 2009, **54**, 91-95.

ZIMDAHL, Robert L. *Fundamentals of weed science*. [3rd ed.]. Boston: Elsevier/Academic
Press, c2007. ISBN 01-237-2518-6.

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 Současné HT technologie využívané ve světě. (Soukup a kol.).....	4
Tabulka 2 Účinné látky inhibující biosyntézu aminokyselin používané v ČR (Jursík a kol., 2018).....	7
Tabulka 3 Český název, Latinský název, kód Bayer sledovaných plevelů.....	25
Tabulka 4 Biometrické schéma pokusu v cukrové řepě.....	27
Tabulka 5 Popis testovaných variant.....	28
Tabulka 6 Podmínky a růstové fáze plodiny a plevelů v době aplikace.....	29

10 Seznam grafů

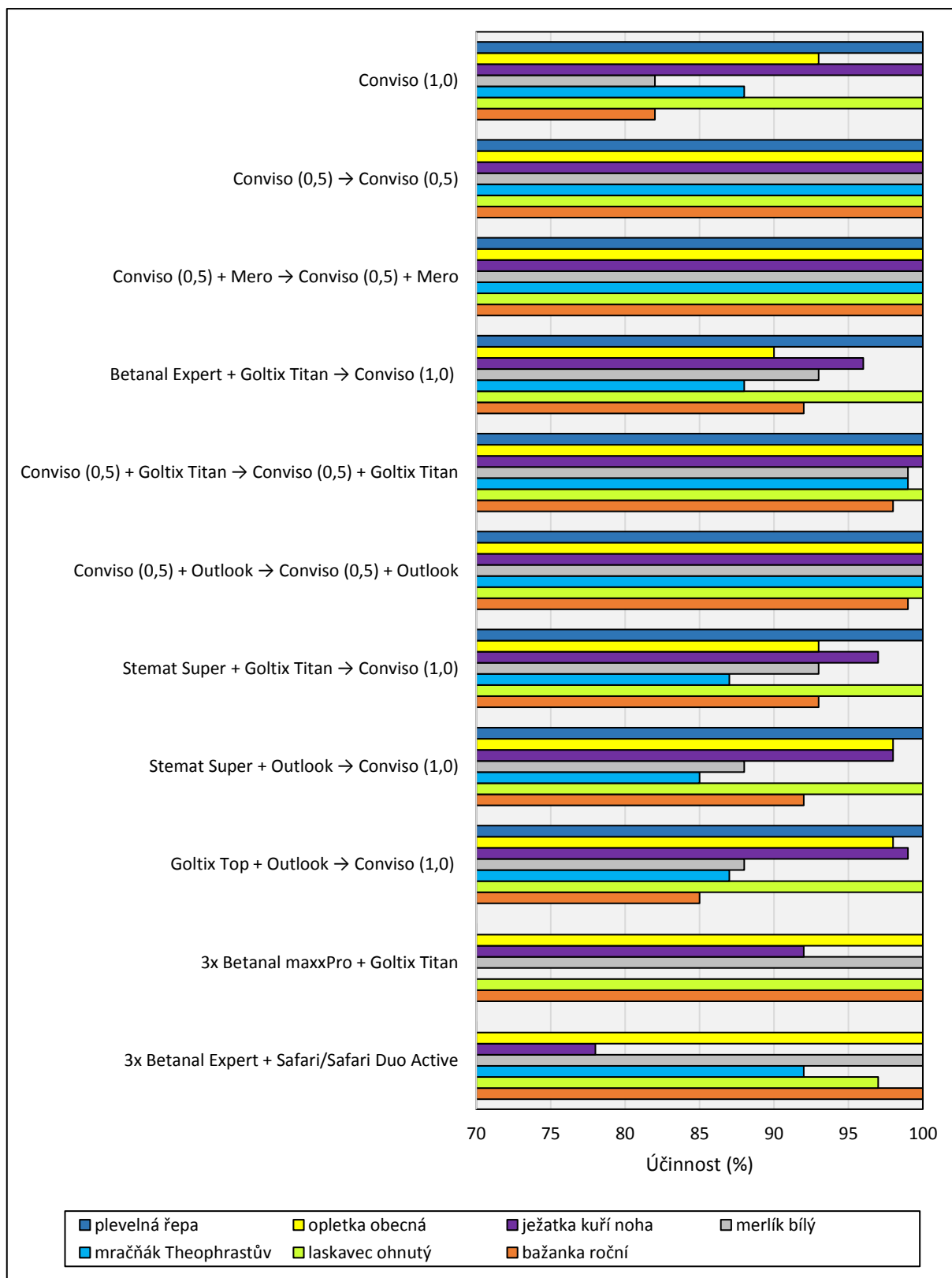
Graf 1 Úhrn srážek od 1.4. do 30.8.2018 v porovnání s dlouhodobým normálem (1981-2010).	26
Graf 2 Průměrné měsíční teploty v období od 1.4. do 30.8.2018 v porovnání s dlouhodobým normálem (1981-2010).....	26
Graf 3 Účinnost herbicidních variant na mračňák Theophrastův v cukrové řepě.....	31
Graf 4 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost mračňáku Theophrastova. ...	32
Graf 5 Účinnost herbicidních variant na opletku obecnou v cukrové řepě.....	33
Graf 6 Účinnost herbicidních variant pokusu na merlík bílý.	34
Graf 7 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost merlíku bílého.	34
Graf 8 Účinnost herbicidních variant na ježatku kuří nohu v cukrové řepě.....	35
Graf 9 Účinnost herbicidních variant na bažanku roční v cukrové řepě.	36
Graf 10 Účinnost herbicidních variant na plevelnou řepu v cukrové řepě.	37
Graf 11 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost plevelné řepy.....	37
Graf 12 Účinnost herbicidních variant na laskavce ohnutého v cukrové řepě.	38
Graf 13 Hmotnost nadzemní biomasy a reprodukční schopnost laskavce ohnutého.	39
Graf 14 Výnos bulev cukrové řepy.....	40

11 Seznam obrázků

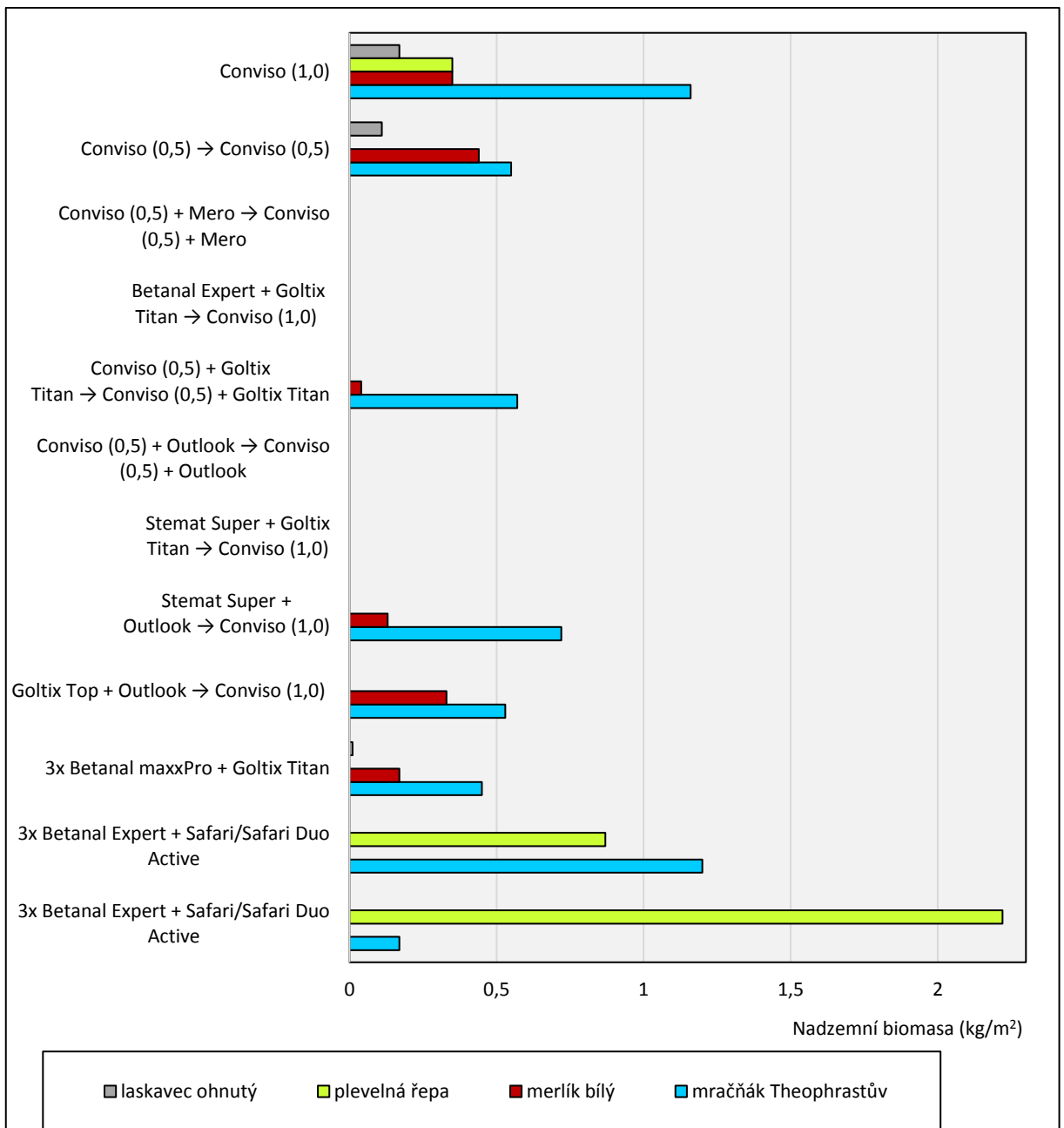
Obrázek 1 Dráhy biosyntézy aminokyselin s rozvětveným řetězcem, aromatických aminokyselin a glutaminu v rostlině ukazují tři enzymy, které jsou inhibovány inhibitory biosyntézy aminokyselin (Tan a kol., 2006). TCA Cycle = cyklus trikarboxylových kyselin, též Krebsův cyklus.....	6
Obrázek 2 Přehled počtu rezistentních plevelů k různým inhibitorům (http://weedscience.com/).....	8
Obrázek 3 Molekulární struktury jednotlivých skupin ALS inhibitorů (Tan a kol., 2006).....	9
Obrázek 4 Schématické znázornění místa působení ALS inhibitorů (Jursík a kol., 2010).	11
Obrázek 5 Chemická struktura imidazolinonů: izamapyr: R = H, imazapic: R = CH ₃ , imazethapyr: R = CH ₂ -CH ₃ a imazamox: R = CH ₂ -O-CH ₃ (Tan a kol., 2005).....	13
Obrázek 6 Znázornění primárního působení EPSP inhibitorů (glyfosát) (Jursík a kol., 2018).15	15

12 Přílohy

Příloha 1 Účinnost herbicidních variant na hodnocené plevely.



Příloha 2 Hmotnost nadzemní biomasy plevelů krátce před sklizní řepy.



Příloha 3 Reprodukční schopnosti plevelů.

