

VÝZNAM A RIZIKA POUŽÍVÁNÍ HERBICIDU GLYFOSÁT

doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.

Ing. Jakub Mikulka

Ing. Jan Štrobach, Ph.D.

2020



VÝZNAM A RIZIKA POUŽÍVÁNÍ HERBICIDU GLYFOSÁT

doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.

Ing. Jakub Mikulka

Ing. Jan Štrobach, Ph.D.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Práce byla vytvořena za pomoci výsledků projektů NAZV MZe QK1920224, QK 1820081
a institucionální podpory MZE-R00420

2020

ABSTRAKT

Zavedení glyfosátu významně ovlivnilo systémy regulace plevelů jak ve světě, tak i u nás. Glyfosát (N-(fosfonomethyl) glycin) je širokospektrální systémově působící herbicid působící na téměř všechny plevelné rostliny. Glyfosát je nejpoužívanějším herbicidem, například v zemědělství v USA a druhým nejpoužívanějším v komunální sféře, na zahradách, v dopravě a dalších oblastech. Hlavním smyslem používání glyfosátu byla regulace vytrvalých plevelů na orné půdě, zejména pýru plazivého a pcháče osetu, které v té době patřily mezi nejvýznamnější vytrvalé druhy na našich polích. Vzhledem k vysokému účinku na plevele se používání glyfosátu stalo běžným standardem. Hlavním smyslem používání glyfosátu byla regulace vytrvalých plevelů na orné půdě, zejména pýru plazivého a pcháče osetu, které v té době patřily mezi nejvýznamnější vytrvalé druhy na našich polích. Vzhledem k vysokému účinku na plevele se používání glyfosátu stalo běžným standardem. Postupně se začaly zavádět před sklizňové aplikace glyfosátu, které významně ovlivňovaly sklizňové operace. Případná restrikce by významně ovlivnila integrované systémy regulace plevelů, ale i celé systémy pěstování plodin.

Klíčová slova:

Glyfosát; význam a rizika používání

ABSTRACT

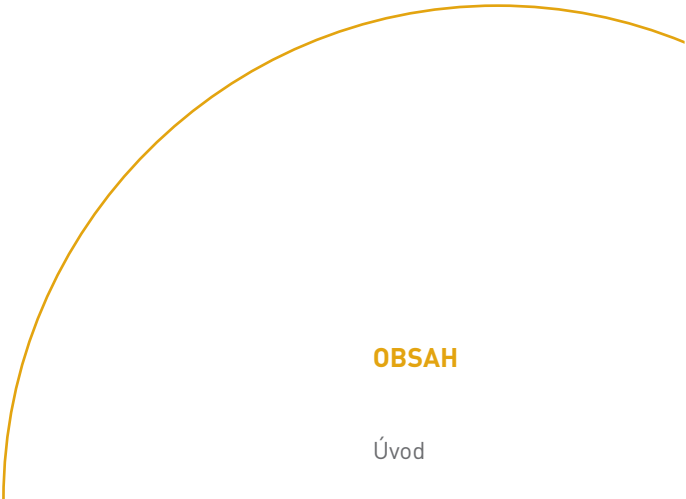
The introduction of glyphosate has significantly affected weed control system both worldwide and in the Czech Republic. Glyphosate (N- (phosphonomethyl) glycine) is a broad-spectrum systemic herbicide acting on almost all weeds. Glyphosate is the most widely used herbicide in agriculture in the United States and the second most widely used in the communal, garden, transportation, and other industries. The main purpose of using glyphosate was to control perennial weeds on arable land, especially creeping weeds and weevils, which at that time were among the most important perennial species in our fields. Due to the high effect on weeds, the use of glyphosate has become a common standard. The main purpose of using glyphosate was to control perennial weeds on arable land, especially creeping weeds and weevils, which at that time were among the most important perennial species in our fields. Due to the high effect on weeds, the use of glyphosate has become a common standard. Gradually, pre-harvest applications of glyphosate began to be introduced, which significantly affected harvesting operations. A possible restriction would significantly affect not only integrated weed control systems but also entire crop production systems.

Key words:

Glyphosate; significance and risks of use







OBSAH

Úvod	9
Význam herbicidů v zemědělství	10
Problematika rezistence plevelů vůči herbicidům	14
Faktory ovlivňující účinek herbicidů	20
Význam předsklizňových aplikací glyfosátu a aplikací na strniště	22
Vliv herbicidů na životní prostředí a zdraví lidí a zvířat	32
Závěr	37
Přehled literatury	39



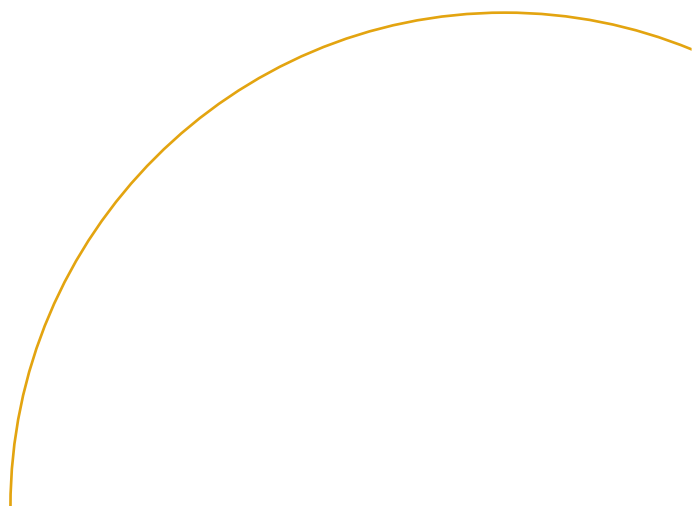
Glyfosát aplikovaný před setím kukuřice s následnou aplikací postemergentních herbicidů



Poškození stromů glyfosátem



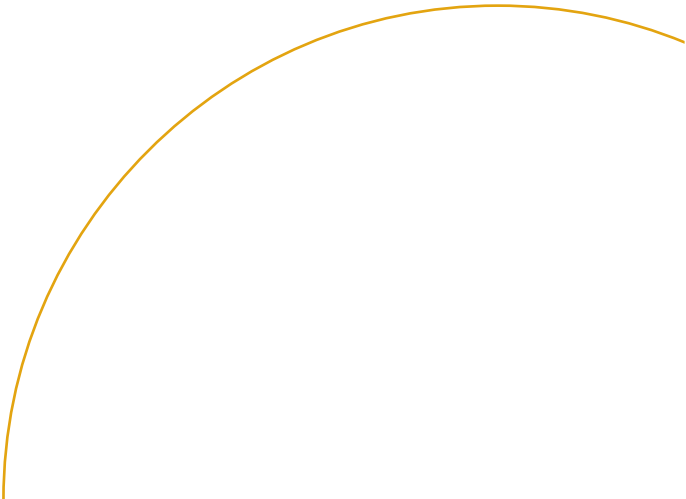
Nevratné poškození stromu na okraji pole



1. ÚVOD

Zavedení glyfosátu významně ovlivnilo systémy regulace plevelů jak ve světě, tak i u nás. Glyfosát (N-(fosfonomethyl)glycin) je širokospektrální systémově působící herbicid působící na téměř všechny plevelné rostliny. Firma Monsanto jej uvedla na trh v roce 1974 pod obchodním názvem Roundup. Poslední obchodně požívaný patent firmy Monsanto v USA doběhl v roce 2000. Ještě v roce 2007 byl glyfosát nejpoužívanějším herbicidem jak v zemědělské oblasti v USA a druhým nejpoužívanějším v komunální sféře, na zahradách, v dopravě a dalších oblastech. Do roku 2016 docházelo k nárůstu používání glyfosátu na celém světě. Nárůsty v objemu byly zřetelné i v Evropě a u nás. U nás byl tento herbicidní přípravek ověřován koncem sedmdesátých let a následně zaveden do běžného používání. Hlavním smyslem používání glyfosátu byla regulace vytrvalých plevelů na orné půdě, zejména pýru plazivého a pcháče osetu, které v té době patřily mezi nejvýznamnější vytrvalé druhy na našich polích. Vzhledem k vysokému účinku na plevele se používání glyfosátu stalo běžným standardem. Postupně se začaly zavádět předsklizňové aplikace glyfosátu, které významně ovlivňovaly sklizňové operace. K velkoplošnému zavádění předsklizňových aplikací však byla celá řada vědeckých pracovníků velmi zdrženlivá, což se v současné době potvrdilo, především z pohledu rizika reziduí v produkci.

Rychlé rozšíření významně ovlivnil vysoký účinek na plevele, snadnost aplikace, minimální rizika toxicity pro necílové organizmy a člověka a především cena. Glyfosát je dle vědeckých studií v půdě poměrně rychle mikrobiálně rozkládán. Následné zpracování půdy lze provádět od doby, kdy se projeví první příznaky účinku. Následné plodiny mohou být vysévány bez jakéhokoliv omezení po aplikaci.



2. VÝZNAM HERBICIDŮ V ZEMĚDĚLSTVÍ

Přibližně od 50. let dvacátého století se používají k hubení plevelů herbicidy. Z chemického hlediska se jedná o složité organické sloučeniny, které narušují základní biochemické a fyziologické pochody v plevelných rostlinách a způsobují tak jejich úhyn či poškození. Vývoj herbicidně aktivních molekul, ověřování účinnosti a selektivity, ekotoxikologických vlastností, registrační řízení a uvedení na trh představují velmi náročný a nákladný proces. [21]

Termín aplikace

Dodržení termínu aplikace je významné z hlediska selektivity pro kulturní rostlinu (některé herbicidy nesmějí přijít do styku s listovou plochou plodiny) a požadovaného účinku na plevele (účinek se dostavuje pouze při aplikaci v určité růstové fázi plevelů).

Aplikace před setím se zapravením do půdy

Poměrně málo rozšířený způsob, který se používá např. u půdních herbicidů, které jsou nestabilní na světle nebo špatně pronikají hlouběji ke klíčovím semenům plevelů. Proto se po aplikaci zapravují např. kypřičem nebo bránami mělce do půdy. Z hlediska plošné a hloubkové rovnoměrnosti zapravení, je důležité aplikovat přípravek na urovnaný povrch, aby při vlastním zapravování přípravku již nedocházelo k hrnutí zeminy. Takto se aplikovaly např. některé herbicidy před setím řepky ozimé (Treflan, Devrinol), cukrovky (Dual, Goltix aj.) a kukuřice. Nevýhodou tohoto způsobu aplikace je značná technická náročnost – zapravení je nutné provést co nejdříve po aplikaci, zvyšuje se počet operací a přejezdů po pozemku před setím, není možné plně využít výhod slučování operací v přípravě půdy. Předseťově, avšak bez zapravení do půdy se používaly i některé totální herbicidy (Roundup, Touchdown) k hubení píru plazivého a další plevelné vegetace, která se na pozemku vyskytuje v době před založením porostu. Velmi často je nutno tyto přípravky aplikovat při bezorebném zpracování půdy, pokud zůstávají na povrchu vegetující plevel. [21, 30, 31]

Aplikace preemergentní

Provádí se v období po zasetí plodiny, avšak ještě před jejím vzejitím. Nejvíce je tento způsob rozšířen u řepky ozimé. Hojně se využívá také u kukuřice, brambor, luskovin,

v menší míře též u cukrovky. Ve všech případech se jedná o plodiny, u kterých by bylo počáteční zaplevelení v pozdějším období obtížně řešitelné nebo příliš nákladné. Výhodou tohoto způsobu je odstranění konkurence plevelů hned od počátku vegetace plodiny (není to však u řady plodin bezpodmínečně nutné) a zpravidla lepší selektivita. [21]

Hlavní nevýhodou je značná závislost na srážkách a půdní vlhkosti, které jsou nezbytné k proniknutí přípravku do půdního prostředí a příjmu plevelnou rostlinou. Další nevýhodou je, přestože lze dopředu na základě zkušeností odhadnout druhové složení plevelů v porostu, že nelze předvídat intenzitu výskytu některých problémových plevelů (svízel přitula, heřmánkovité plevely aj.) a bývá nutno následně provádět opravné zásahy. V systémech integrované ochrany rostlin je z důvodu zatěžování půdního prostředí a podzemních i povrchových vod rezidui těchto herbicidů patrná snaha o odklon od těchto aplikací. Pro svoji oblíbenost v praxi a v mnoha případech i obtížnou zastupitelnost, si stávající podíl zřejmě udrží z důvodu úspory přípravku a menšího zatížení půdy rezidui herbicidu. U širokořádkových plodin vyžít preemergentního pásového postřiku. Přípravek se aplikuje za pomoci adaptéru na secím stroji současně se setím v úzkém pásu (10–20 cm) v řádku, zatímco meziřádkový prostor se pouze mechanicky kultivuje. V případě potřeby je možno provést postemergentně opravný zásah. [21]

Aplikace postemergentní

Provádí se po vzejití plodiny. Podle typu použitého herbicidu je přesný termín aplikace zpravidla vymezen růstovou fází plodiny a plevelů. Jistou předností postemergentních aplikací je, že umožňují rozhodnout se pro provedení zásahu a výběr účinných látek až podle skutečného zaplevelení. Provádění zásahů podle ekonomických prahů škodlivosti je principem integrované ochrany rostlin, která postemergentní aplikace upřednostňuje.

Rizikovitost postemergentních aplikací je způsobena větší pravděpodobností fytotoxicity při postřiku za nevhodných povětrnostních podmínek, v poškozených nebo stresem postižených porostech či nevhodné růstové fázi. Velmi

častá bývá skutečnost, např. v řepě cukrové, hrachu aj., kdy z důvodu nepříznivého počasí není možné provést aplikaci v optimálním termínu, plevel se dostanou do pokročilé růstové fáze, ve které je účinnost daného přípravku již nedostatečná a opravný zásah může být z hlediska vývoje kulturního porostu nemožný nebo velmi nákladný. [21]

Při ojedinělém a nerovnoměrném výskytu plevelů na pozemku není při postemergentní aplikaci nutno ošetřovat celou plochu, ale lze provést pouze ohniskovou aplikaci. Ohnisková aplikace se prováděla zejména při výskytu vytrvalých plevelů, např. širokolistých šťovíků na loukách a pastvinách. Rozvoj výpočetní a telekomunikační techniky přispěl v posledních letech k vývoji automatizovaných systémů pro ohniskovou aplikaci. Zaplevelení v jednotlivých částech pozemku je buď snímáno přímo při jízdě postřikovače kamerou a on-line vyhodnocováno informačním systémem, který vypočítá předpokládanou ztrátu na výnosu a stanoví optimální dávku přípravku pro příslušné místo, nebo je dávkování přípravku prováděno s využitím geografického informačního systému (GIS), který vytvoří mapu zaplevelení pozemku a řídí aplikační techniku podle její polohy udané družicovým globálním pozičním systémem (GPS). Přestože se u některých aplikací (např. hnojení, kombajnová sklizeň) podobných systémů již prakticky využívá, jsou v ochraně proti plevelům vzhledem k značné složitosti dynamiky plevelných společenstev teprve v počátcích vývoje. [11, 30]

PŘÍJEM HERBICIDŮ ROSTLINOU

Herbicity listové

Jsou přijímány listovou plochou plevelu. Účinná látka proniká do rostliny zejména průduchy a difuzí mezibuněčnými prostory v pokožce.

Kontaktní herbicidy poškozují pouze zasaženou část plevelu. Pro dosažení dobré účinnosti je důležité dodržet následující podmínky:

- zajistit co nejvyšší stupeň pokrytí plevelů postřikovou tekutinou. Toho lze dosáhnout použitím vyšší dávky vody (400–600 l/ha), jemnějším spektrem kapének a použitím adjuvantů.
- aplikovat na plevel v časných růstových fázích (většinou 2–4 pravé listy)
- vyšší teplota vzduchu při aplikaci (15–20 °C)

Pokud nejsou kontaktní herbicidy aplikovány za optimálních podmínek, jsou poměrně časté fyto toxické projevy na plodině (např. krátkodobé zežloutnutí, zřívání, nekrózy). Nevhodná je aplikace za přímého slunečního svitu, při teplotách nad 25 °C a po dlouhodobých deštích, které odstraní z listů plodiny ochrannou voskovou vrstvičku. [21]

Systemické herbicidy jsou rozváděny cévními svazky, pronikají do všech částí rostliny, některé i do kořenového systému, takže jejich účinnost bývá zpravidla spolehlivější a dlouhodobější. Pro dobrou účinnost je potřebná dostatečná listová plocha plevelu a zvláště u herbicidů růstového typu (MCPA, dicamba, fluroxypyr, glyfosát aj.) také vyšší teplota vzduchu. U mnoha jiných přípravků, např. některých ze skupiny sulfonylmočovin nebo u půdních herbicidů nebývá teplota, pokud se pohybuje v běžném rozmezí, rozhodující. [30, 31]

Kořenové (půdní) herbicidy

Půdní herbicidy jsou přijímány kořenovým systémem plevelů. Preemergentně aplikované herbicidy zasahují rostliny plevelů již při klíčení a vzcházení, kdy dochází ke styku s účinnou látkou herbicidu v povrchové vrstvě půdy. Z hlediska spolehlivé účinnosti je důležité vytvoření souvislého herbicidního filmu na povrchu půdy (půda nesmí

mít při aplikaci hrudovitý povrch) a dostatečná půdní vlhkost, aby byla účinná látka dostatečně disociována a pronikla do půdy. Klasické kořenové herbicidy působí většinou jako inhibitory buněčného dělení a účinkují pouze na vzcházející a malé plevely. [21]

Herbicidy přijímané listy i kořeny

Mnoho přípravků je přijímáno listy i kořeny plevelů. Výhodou je menší závislost na počasí, které posiluje buď jednu, nebo druhou složku příjmu. Použití tohoto typu přípravků je vhodné především v případech, kdy je potřeba zajistit ochranu proti druhotnému zaplevelení v době, kdy již není možný vstup postřikovače do porostu, např. při posledním ošetření cukrovky, kukuřice, aj. [31]

Mechanismus účinku herbicidů

Herbicidní účinek je způsoben blokadí některého z životně důležitých biochemických pochodů v plevelné rostlině. Znalost biochemické aktivity herbicidu je významná především z hlediska selekce odolných druhů a rezistence v plevelných společenstvech při dlouhodobém používání přípravků se stejným mechanismem účinku. [21, 30, 31]

V současné době používané klasifikace WSSA a HRAC člení mechanismy účinku do 22 skupin, z nichž převážná část u nás používaných přípravků patří do následujících:

Syntetické auxiny

Velmi početná skupina herbicidů, tzv. regulátorů růstu, jejichž účinné látky vyvolávají nadměrný růst, projevující se deformacemi listů a stonku a vyčerpáním rostliny. Účinné látky jsou z chemické skupiny karboxylových kyselin, (např. MCPA, MCPP, 2,4 D, dicamba, dichlorprop, clopyralid, fluroxypyr, quinmerac aj.).

Inhibitory syntézy aminokyselin

Zahrnuje především herbicidy ze skupiny sulfonylmočoviny (chlorsulfuron, tribenuron-methyl, amidosulfuron, rimsulfuron aj.) a dále triazolopyrimidinů (metosulam), imidazolinů (imazapyr, imazethapyr) a některých dalších (glyphosate). Účinek se projevuje blokadí syntézy esenciálních aminokyselin, nezbytných ke stavbě rostlinného těla, zastavením růstu a pozvolným úhynem.

Inhibitory fotosyntézy

Narušují fotosyntézu, především její část fotosystém II. Skupina zahrnuje triazinové herbicidy (atrazine, terbutylazin, cyanazin), fenylyl-karbamáty (phenmedipham, desmedipham) a substituované močoviny (chlortoluron, isoproturon, metobromuron). Ve fotosystému I narušují transport elektronů (diquat a paraquat).

Inhibitory buněčného dělení

Převážně půdní herbicidy, působící na klíčící plevely. Nejrozšířenější je skupina chloracetamidů (acetochlor, alachlor, metolachlor, metazachlor) a karbamátů (napropamid).

Inhibitory biosyntézy karotenoidů

Narušují tvorbu rostlinných barviv, zejména chlorofylu. Účinek se projevuje vybělením listů a postupným odumřením rostliny. Mezi nejčastěji používanými účinnými látkami s tímto mechanismem účinku patří diflufenican, clomazone a isoxaflutol.

Inhibitory acetyl-CoA-karboxylázy

Především graminicidní přípravky ze skupiny aryloxyfenoxypropionátů (fenoxaprop-P-ethyl, fluazifop-P-butyl, quizalofop-P-ethyl) a cyklohexandionů (clethodim, cycloxydim, tralkoxydim).

Selektivita

Selektivita herbicidu je vlastnost, která umožňuje jeho cílené použití proti plevelům v kulturním porostu, aniž by docházelo k negativním projevům a škodám na kulturní rostlině. Důvody, které nejčastěji způsobují skutečnost, že se herbicidní účinek neprojevuje na plodině, ale pouze na plevely, jsou zpravidla následující: [30, 31]

- účinná látka vůbec nepronikne pokožkou do těla plodiny, (např. z důvodu rozdílné anatomické a morfologické stavby listu, smáčivosti povrchu, ochranné vrstvy vosku na povrchu listu aj.)
- v kulturní rostlině neprobíhají procesy, které účinná látka herbicidu zasahuje - účinná látka je v plodině odbourána rychleji než v plevelích, takže je rozložena dříve, než se může herbicidně projevit. [30, 31]



Šíření rezistentních plevelů podél železnice po aplikaci herbicidů



Turanka kanadská obsazuje jako první plochy ošetřené totálními herbicidy

Selektivní herbicidy

Představují doposud naprostou většinu účinných látek. Selektivita každého herbicidu je podmíněna:

- použitím v plodině, pro kterou je určen
- předepsaným dávkováním
- aplikací ve správné agrotechnické lhůtě.

I při dodržení aplikačních zásad se mohou, především za nepříznivých povětrnostních či půdních podmínek nebo u deficitních porostů, vyskytnout příznaky fytotoxicity, jejichž projev závisí na druhu použité účinné látky a podmínkách při aplikaci. Většinou se jedná o poškození listové plochy (žloutnutí, etiolizace na okrajích listů, fialovění v okolí nervatury, nekrózy, deformace), pozastavení růstu a růstové deformace stonku, klasové deformace, poškození plodů atd. Slabé projevy fytotoxicity bývají poměrně běžné a po odeznění (několik dnů–týdnů), většinou nenastávají výnosové ztráty. [30, 31]

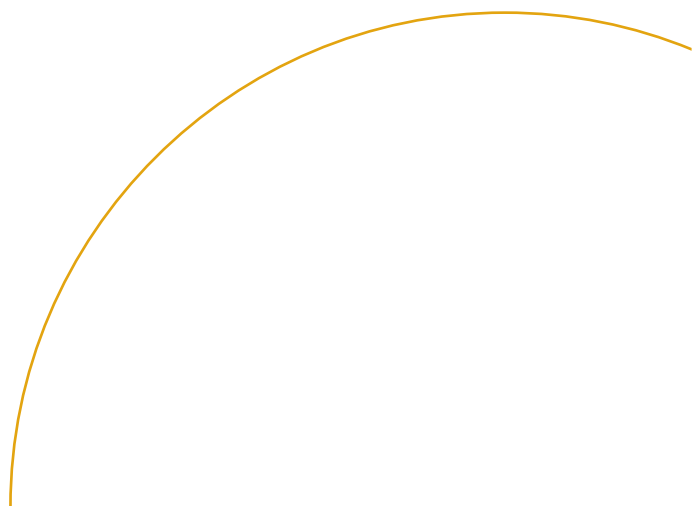
Neselektivní (totální) herbicidy

Neselektivní herbicidy slouží k ničení veškeré vegetace. Používají se např. k hubení plevelů v meziorostním období, desikaci porostů před sklizní, udržování černého úhru v ovocných výsadbách atd. Při použití na zemědělské půdě musí i neselektivní herbicidy splňovat podmínku,

aby nepůsobily fytotoxicky na následné plodiny. V současné době patří mezi nejrozšířenější totální herbicidy přípravky na bázi glyfosátu (Roundup) a v minulosti herbicidy sulphosat (Touchdown), glufosinat-amonia (Basta) a diquat (Reglone).

Na nezemědělské půdě se používají k hubení nežádoucí vegetace, např. na železnici, v okolí silnic, na prostranstvích aj.

Jedním z posledních vývojových konceptů z hlediska selektivity je implantace genů herbicidní rezistence totálních herbicidů do genomu kulturní rostliny, která se tak stává vůči této účinné látce odolnou a účinnost daného herbicidu se projeví pouze na plevelích. Z neselektivního herbicidu se tak v dané situaci stává selektivní. [30, 31]



3. PROBLEMATIKA REZISTENCE PLEVELŮ VŮČI HERBICIDŮM

Význam herbicidu glyfosát

Glyfosát byl poprvé syntetizován v roce 1950 a patentován jako chemický chelátor, schopný vázat se na kovy, jako je vápník, hořčík a mangan. Později se zjistilo, že schopnost glyfosátu vázat se na mangan inhibuje enzym používaný rostlinami a bakteriemi pro biosyntézu tří aminokyselin nalezených ve všech proteinech. Herbicidní účinek látky glyphosate, byl objeven chemikem Johnem E. Franzem z firmy Monsanto v roce 1970. Označení „glyfosát“ je obecný název chemické látky, kde „N- (fosfonomethyl) glycin“ je chemický název, který poskytuje informace o skutečné chemické struktuře herbicidu. Bez ohledu na značku, kterou kupujete, je aktivní složka pro všechny produkty glyfosátu přesně stejná. Jedná se o širokospektrální systémový herbicid absorbovaný nadzemní částí rostlin, který inhibuje enzym 5-enolpyruvylšikimát-3-fosfát (EPSP), což je enzym katalyzující předposlední krok shikimátové cesty k biosyntéze aromatických aminokyselin, a tím zabrání syntéze aminokyselin tryptofanu, fenylalaninu a tyrosinu. Glyfosát se stal nejpoužívanějším herbicidem na světě, protože je účinný, ekonomicky výhodný a relativně ekologicky neškodný. Od svého zavedení v roce 1974 glyfosát našel řadu použití v zemědělství, městských, ale i přírodních ekosystémech. Glyfosát je neselektivní herbicid, který je účinný vůči širokému spektru rostlinných druhů, používá se v mnoha zemích pro širokospektrální kontrolu plevelů těsně před setím plodin. Použití glyfosátu v zemědělství je široké, používá se například před setím jako tzv. chemická podmínka, jako desikant (v ČR již zakázáno), u trvalých plodin (v sadech, vinicích nebo ořechových plantážích). Glyfosát se stal také globálním herbicidem mimo zemědělskou půdu, používá se k hubení nežádoucích plevelných rostlin ve městech, průmyslových areálech, železnici nebo i například k hubení invazivních plevelů v národních parcích a jiných ekologicky cenných přírodních stanovištích. [1, 8]

Rezistence plevelů vůči herbicidům

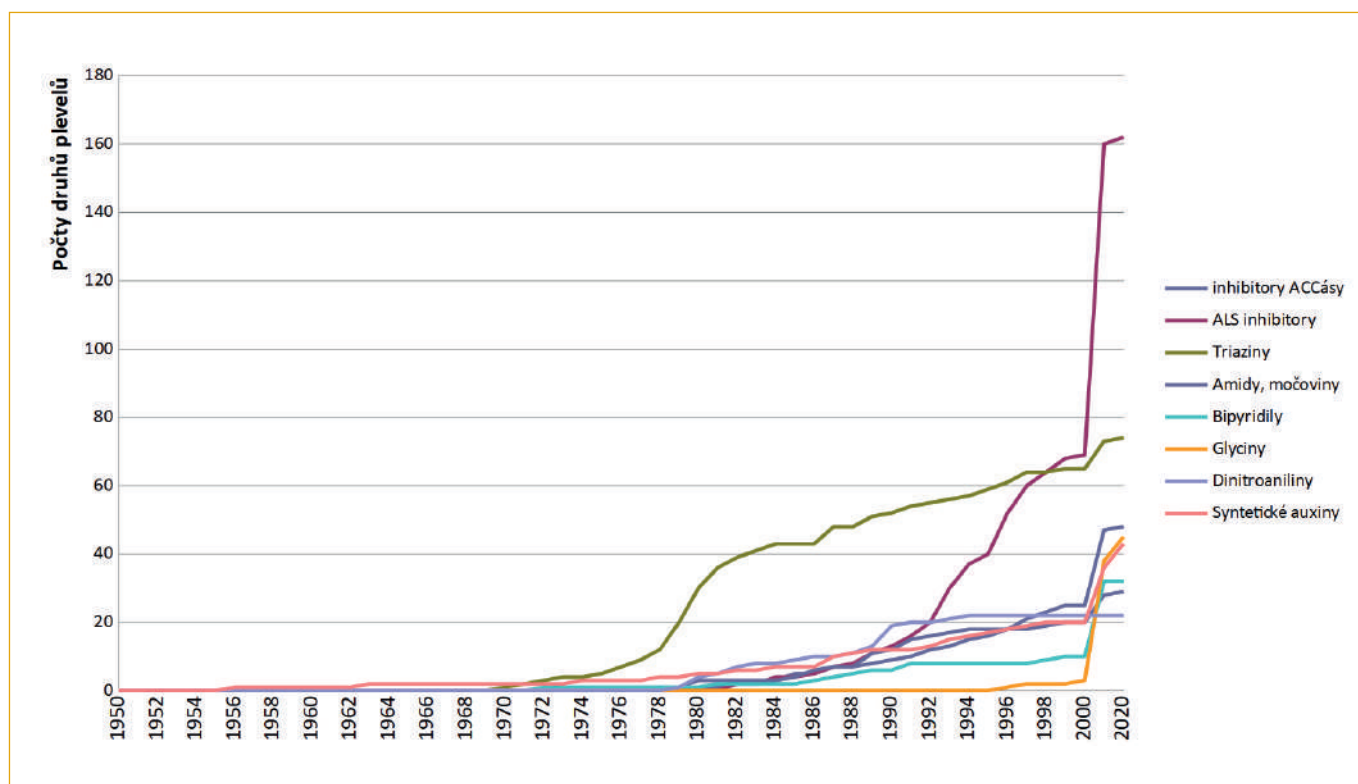
První nálezy rezistentních plevelných rostlin vůči herbicidům byly odezvou na zavedení perzistentních herbicidů ze skupiny triazinů. Tyto herbicidy byly používány opakovaně především v monokulturách kukuřice a jabloňových sadů. Tam došlo poprvé k popsání vzniku rezistence vůči

triazinům. Rezistence byla prokázána již koncem 60. let v USA. V průběhu 70. – 80. let především v Severní Americe a v Evropě byly popsány nové druhy rezistentních plevelů (laskavec ohnutý, merlík bílý, merlík tuhý aj.). Rezistentní populace plevelů byly dále nalezeny v Japonsku, Číně, Jižní Koreji atd. Do dnešní doby bylo na celém světě popsáno více než 300 biotypů plevelů, které vytvořily rezistentní populace (např. laskavce, merlíky, turanka kanadská, starček obecný, lipnice roční, psárka polní, jílek tuhý, locika kompasová, psárka polní aj.). V Evropě byly již zjištěny rezistentní populace plevelů téměř ve všech státech. [5, 17, 20, 21, 22, 23]

V našich podmínkách se stala rezistence významným problémem až v 80. letech minulého století. Negativně se projevilo velkoplošné pěstování kukuřice. Ta byla pěstována od nížin až do podhorských oblastí. Vzhledem k dostupnosti herbicidů (simazin, atrazin) bylo možné pěstovat kukuřici více let po sobě při používání vysokých dávek, až 5 kg úč.l. na hektar. Mnohdy byly používány i dávky vyšší. Podobně byly tyto herbicidy používány i v jabloňových sadech. To umožnilo rychlé přemnožení vzniklých rezistentních jedinců laskavce ohnutého, laskavce zelenoklasého, merlíku bílého, lipnice roční a dalších plevelných druhů. Odtud se tyto rezistentní populace rychle šířily prostřednictvím krmení a statkových hnojiv do okolí. K šíření rezistentních populací přispěla i křížová rezistence (cross-resistance). [1, 22, 23]

Výrazně přispěla k šíření rezistentních populací na našem území i železniční doprava. Pro odplevelování kolejí a nádražních ploch byl používán herbicid atrazin. Používaly se nekontrolované dávky a aplikace se prováděly opakovaně více jak dvacet let. Rezistentním populacím plevelů byl tím uvolněn prostor od konkurence ostatních plevelů. Železniční doprava navíc přispěla k rozšíření rezistentních plevelů po celé republice i do oblastí, kde se dříve nevyskytovaly. Z kolejí se pak tyto plevele rozšířily i na ornou půdu. Používání atrazinu bylo pro jeho nedostatečný účinek ukončeno. Začal se používat herbicid imazapyr, který plně nahradil atrazin. Po počátečním rozsáhlém používání se objevilo jeho nedostatečné působení na plevel bytel metlatý. U tohoto plevele byla

Graf 1. Vývoj rezistence plevelů vůči herbicidům ve světě (Upraveno dle Ian Heap, Weedscience. Org. 2019)



následně prokázána rezistence vůči triazinům, imazapyru a sulfonylmočovinám. Tento plevel se již dostal z nezemědělské půdy (železnice) i na ornou půdu, kde se stal obtížně hubitelným plevem. Herbicid imazapyr se z těchto důvodů přestal používat. Dnes se na železnici a nezemědělských plochách používá herbicid glyfosát. Vzhledem k jeho velkoplošnému a opakovanému používání na zemědělské půdě i na půdě nezemědělské lze předpokládat, že se rezistence plně rozvine i vůči tomuto herbicidu. (1, 2, 8, 22, 23)

Stále častěji stoupá význam rezistence vůči dalším skupinám herbicidů. Rezistence vůči glyfosátu byla již prokázána v Austrálii v roce 1997 u plevele *Lolium rigidum* (jílek tuhý), v Chile v roce 2002 a u plevele *Lolium multiflorum* (jílek mnohokvětý). U plevele *Lolium rigidum* byla rezistence vůči glyfosátu prokázána též v USA a Africe. V Africe již byla v roce 2003 prokázána rezistence i u *Conyza bonariensis* (turanka úzkolistá), v roce 2000 v USA rezistence u *Conyza canadensis* (turanka kanadská). V Malajsii byla prokázána rezistence u plevele *Eulisia indica* (kalužnice indická) v roce 1997. (1, 4)

Významné bylo prokázání rezistence v jižní Africe v roce 2003 u plevele *Plantago lanceolata* (jitrocel kopinatý). Jitrocel kopinatý byl testován v různých dávkách glyfosátu: 0, 2, 4, 6, 8, 10 l/ha. Rezistentní rostliny nebyly poškozeny ani nejvyšší dávkou herbicidu. (4, 36)

To je jasným signálem pro uvážené používání herbicidu glyfosátu. Vznik rezistence vůči tomuto široce používanému herbicidu a šíření rezistentních rostlin na zemědělské i nezemědělské půdě je nežádoucí. Je však vysoce

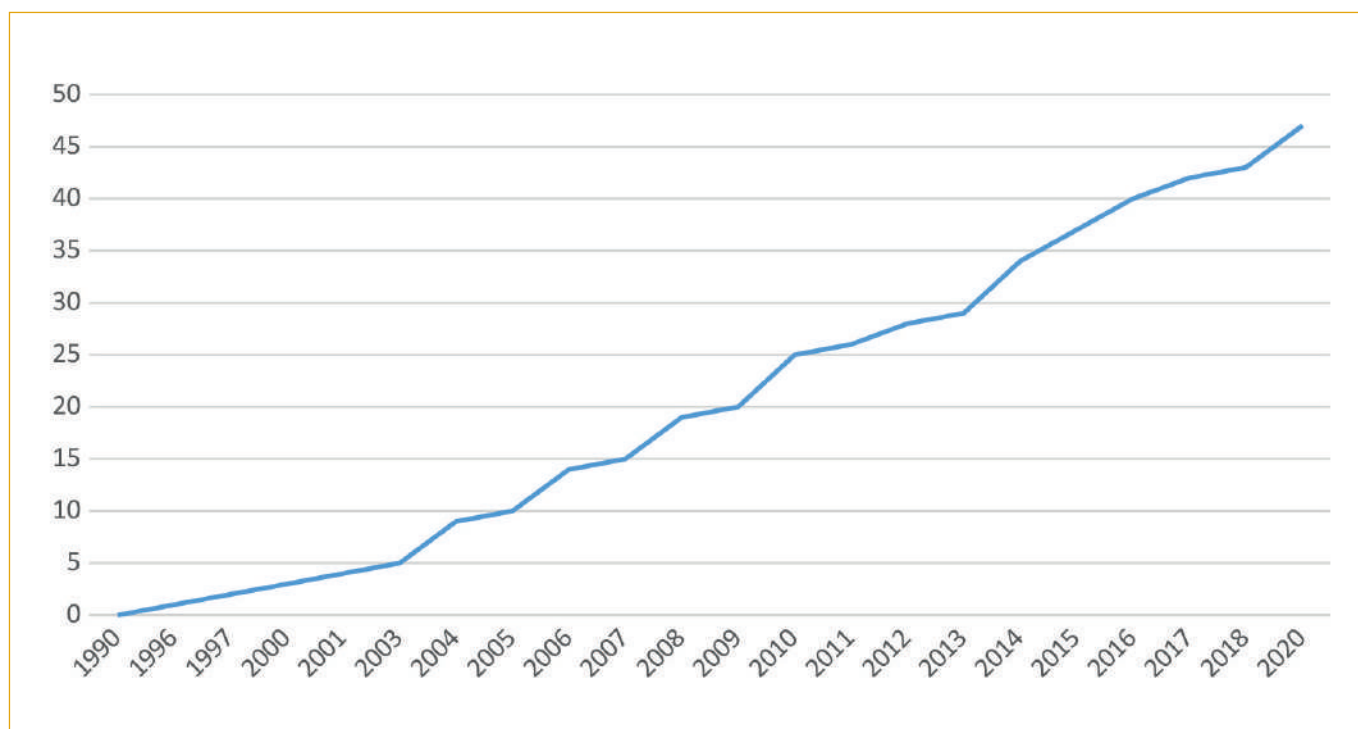


Rezistentní populace bytlu metlatého se šíří podél komunikací



Rezistentní populace bytlu metlatého

Graf 2. Vývoj počtu rezistentních druhů plevelů rezistentních vůči účinné látce glyfosát (Upraveno dle Ian Heap, Weedsience. Org. 2019)



pravděpodobné, že rezistentní populace vůči tomuto herbicidu vzniknou i u nás. Vznik rezistence ovlivnit nemůžeme, ale můžeme významně zpomalit šíření rezistentních rostlin do okolí a toho je možné dosáhnout především střídáním rozdílných herbicidů po sobě. [1, 22, 23]

Dalším problémem je vznik rezistence vůči herbicidům ze skupiny inhibitorů ALS. Jedná se o sulfonylmočoviny a imazapyr. Ve světě již byly popsány rezistentní populace plevelů *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus chlorostachys*, *Amaranthus hybridus*, *Amaranthus rudis*, *Amaranthus blitoides*, *Kochia scoparia*, *Raphanus raphanistrum*, *Ambrosia artemisiifolia*, *Ambrosia trifida* a *Xanthium strumarium*. [1, 4, 5]

Problémem je i vznik rezistence vůči inhibitorům ACCázy. Ve Francii již byla prokázána rezistence u *Alopecurus myosuroides* a *Setaria viridis*. V našich podmínkách lze předpokládat rezistenci u *Echinochloa crus-galli*. [2] Uvedená fakta potvrzují význam problému rezistence plevelů vůči herbicidům. Vzniku rezistence nelze zabránit, vzhledem k jejímu spontánnímu vzniku mutací. Proto se musíme zaměřit na opatření vedoucí k minimalizování možnosti vytvoření semen u rezistentních jedinců a zabránit jejich dalšímu šíření. [22, 23]

Rezistence plevelů vůči glyfosátu

Glyfosát byl zpočátku extrémně účinný a mnoho pěstitelů se spoléhalo pouze na něj. Klíčovou otázkou však bylo, zda bude tak široce používaný systém, který se spoléhal pouze na glyfosát, dlouhodobě udržitelný. Před HT plodinami byl glyfosát již používán v zemědělství ale i mimo něj, v té době s několika podezřeními na rezistenci, takže zjevně nebyl tak citlivý na vývoj rezistentních plevelů

jako některé jiné typy herbicidů. Kromě toho byl vývoj HT plodin velmi obtížný, tak obtížný, že si někteří mysleli, že si plevel přirozeně nevyvolá rezistenci. Avšak bezprecedentní používání glyfosátu na velmi rozlehlých plochách a současný pokles používání jiných herbicidů vedlo k tak velkému selekčnímu tlaku, že se nakonec vyvinuly plevelné druhy rezistentní vůči účinné látce glyfosát. [2, 4, 22, 23, 26]

Glyfosát je celosvětově nejpoužívanější a nejúspěšnější dosud objevený herbicid, ale tento jeho status je nyní v ohrožení s rostoucím počtem rezistentních plevelných druhů vůči němu. Rezistence vůči glyfosátu se poprvé objevila v roce 1996 v jabloňovém sadu v Austrálii, ve stejný rok jako byla v USA uvedena první plodina (sója) odolná vůči této účinné látce. Celkem 43 druhů plevelů na světě si vyvinulo rezistenci vůči glyfosátu v různých plodinách. Přestože rezistentní populace byly objeveny i v sadech, vinicích, plantážích i úplně mimo zemědělskou půdu, největší ekonomické dopady způsobuje rezistence vůči glyfosátu v systémech Roundup ready. [2, 4, 22, 23, 34]

Plevele rezistentní vůči glyfosátu představují největší hrozbu pro dlouhodobou regulaci plevelů u hlavních agronomických plodin, protože tento herbicid se používá k regulaci plevelů s rezistencí vůči herbicidům s jinými mechanismy účinku a již více než 30 let nebyl objeven nový mechanismus účinku. Chemické společnosti reagovaly vývojem tzv. HT (herbicide tolerant crops) plodin odolných vůči herbicidům, které umožňují použití stávajících herbicidů novým způsobem. Nadměrné spoléhání se na tyto vlastnosti však bude mít za následek mnohonásobnou rezistenci plevelů. [2, 22, 23]



Locika kompasová – listové růžice a květenství

Rezistence vůči herbicidům může být způsobena nejméně třemi různými mechanismy: 1. změny cílového místa 2. změny v sekvestraci a/nebo translokaci herbicidu/ 3. změny v metabolismu herbicidu. V současné době dva z těchto mechanismů byly identifikovány jako odpovědné za rezistenci vůči glyfosátu. [4, 22, 23, 43]

Vznik rezistence

Od uvedení na trh v roce 1974 byl glyfosát používán v mnoha částech světa pro neselektivní hubení plevelů před setím plodin. I přes trvalé používání na stejných polích, v těchto situacích je evidentních jen několik hlášení o vývoji populací plevelů rezistentních na glyfosát. Hlavním důvodem je, že glyfosát nepůsobí dlouhodobě v půdě, a proto vzniká při ošetření glyfosátem krátká, intenzivní selekce působící pouze na vzešlé rostliny. Vzhledem k tomu, že plevel během vegetačního období často vzhází nepravidelně, znamená to menší celkový selekční tlak než dlouhodobě působící herbicidy, které mohou selekci vyvíjet po několik měsíců vegetačního období. [22, 23, 37]

Rezistentní plevelé vůči glyfosátu

Rezistence vůči glyfosátu u plevelů byla poprvé hlášena u populace jílku tuhého (*Lolium rigidum*) v roce 1995 v Austrálii, na poli, kde nebyly pěstovány GM plodiny. Glyfosát byl na pole aplikován opakovaně po dobu více než 15 let. Přibližně 20 leté zpoždění mezi zavedením glyfosátu a vznikem rezistence vůči glyfosátu naznačuje, že frekvence alel rezistence v populacích plevelů bude pravděpodobně extrémně nízká. Přibližně ve stejnou dobu jako se objevila tato první zpráva o rezistenci plevelů vůči glyfosátu, začalo výrazně stoupat používání herbicidních přípravků s touto účinnou látkou, a to z důvodů zavedení Roundup ready řepky olejky, sóji, bavlny a kukuřice.



Čirok halabský – lata a mladý výhon



Ambrosie peřenolistá



Bytel metlatý



Ježatka kuří noha



Oves hluchý



Jitrocel kopinatý



Lipnice roční

Od roku 2000 jsou postupně hlášeny plevely rezistentní vůči glyfosátu, které se vyvinuly v systémech RR plodin, kde opakované aplikace glyfosátu často představovaly jedinou taktiku regulace zaplevelení. Prvním popsáním rezistentních plevelů v RR systémech je turanka kanadská (*Conyza canadensis*), kde se vyvinul rezistentní biotop po třech letech používání (2–3 aplikace herbicidu za pěstební sezonu). Seleční tlak na vznik glyfosátové rezistence je totiž pravděpodobně vyšší při aplikaci do plodiny, než při tzv. chemické podmítce kvůli časové dynamice klíčení plevelů. Nástup RR plodin snížil diverzifikaci používání ostatních herbicidů díky širokému spektru účinnosti na plevely. (1, 4, 14, 22, 23, 25)

Pozitivní je, že glyfosát aplikovaný PRE a postemergentně (POST) v RR plodinách byl důležitým nástrojem při omezování rychlosti selekce a šíření mnoha biotypů plevelů s vyvinutou rezistencí na jiné herbicidy, zejména ACCase a ALS inhibitory. Avšak nadměrné spoléhání se pouze na glyfosát k regulaci herbicidně rezistentních plevelů, přispělo k vývoji vícenásobné rezistence v populacích (tj. dvou nebo více mechanismů rezistence) v důsledku toku pylu nebo postupné selekce, jako je tomu u jílků (*Lolium* spp.) v Austrálii a Africe a u laskavce palmerova (*Amaranthus palmeri*) v bavlníkových polích na jihu Spojených států.

Rezistence plodin vůči glyfosátu

Genetická modifikace (GM) je oblast biotechnologie, která se zabývá manipulací s genetickým materiálem v živých organismech a umožňuje jim získat specifické vlastnosti. Genetická modifikace rostlin byla poprvé zaznamenána cca před 10 000 lety v jihozápadní Asii, kde lidé poprvé začali šlechtit rostliny pomocí umělého výběru a selektivního šlechtění.

Velmi důležitý byl objev dvojité šroubovicové struktury DNA a koncepce centrálního dogmatu transkripce DNA na RNA a následná translace na proteiny, kterou popsali Watson a Crick v roce 1954, následkem toho byla řada průlomových experimentů. (1, 7, 9) GMO organismus vytvořil v roce 1973 Herbert Boyer a Stanley Cohen, jednalo se o bakterie rezistentní vůči antibiotiku kanamycin. (11, 15, 25) V zemědělství byl první GM plodinou tabák, odolný



Aplikace glyfosátu v GM kukuřici

vůči antibiotikům úspěšně vytvořen v roce 1983 třemi nezávislými výzkumnými skupinami. (9, 21), V roce 1990 se Čína stala první zemí, která komercializovala GM tabák pro odolnost vůči virům. Geneticky modifikované odrůdy tolerantní k glyfosátu byly komerčně uvedeny na trh v roce 1996 jako tzv. „Roundup Ready“ plodiny. Jednalo se o kukuřici, sóju a bavlník, do kterých byl vložen gen rezistence z bakterie *Agrobacterium tumefaciens*, která byla rezistentní vůči látce glyfosát. Farmáři rychle přijali tyto plodiny a učinili HT (herbicide – tolerant) plodiny nejrychleji přijatou technologií v historii zemědělství. Dnes existuje pět hlavních HT plodin: sója (*Glycine max*), kukuřice (*Zea mays*), bavlna (*Gossypium hirsutum*), řepka (*Brassica napus*) a cukrová řepa (*Beta vulgaris*). V současné době se portfolio GM plodin rozšířilo o další ovoce, zeleninu a obiloviny, jako je hlávkový salát, jahody, lilek, cukrová třtina, rýže, pšenice, mrkev atd. s plánovaným použitím ke zvýšení bioprodukce vakcín, živin v krmivech pro zvířata, stejně jako vlastnostem, které vedou k odolnosti vůči zasolení a suchu pro růst rostlin v nepříznivém podnebí a prostředí. (2, 4, 6, 7, 9, 11, 15, 19, 20, 22, 23)

Více než polovina celosvětově používaného glyfosátu, 60 % z odhadovaných 9,4 miliard kg, se používá na HT plodiny. Od zavedení GMO plodin Roundup Ready vzrostlo celosvětově



Rezistentní populace bytlu metlatého

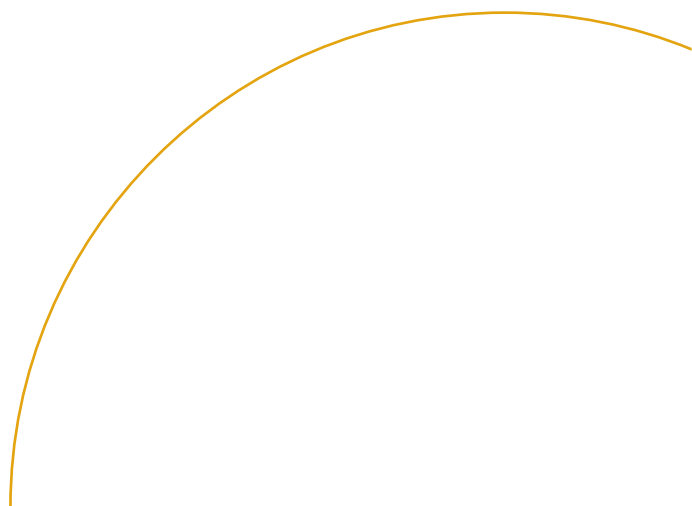
používání glyfosátu téměř 15krát, s tím souvisí i fakt, že plodiny rezistentní vůči glyfosátu představují více než 80 % transgenních plodin pěstovaných ročně na celém světě. Dostupnost těchto plodin umožnila pěstitelům ve Spojených státech, Argentíně a Brazílii přijmout bezorebné systémy zpracování půdy. Vynecháním orby však odstraníme mechanický nástroj pro hubení plevelů, a proto se snižuje rozmanitost regulace zaplevelení. Přijetí Roundup ready plodin často znamená výlučné spoléhání se pouze na účinnou látku glyfosát při regulaci zaplevelení v polích s bezorebným zpracováním půdy, a tedy minimální rozmanitost ve formě alternativních mechanických nebo herbicidních nástrojů pro regulaci plevelů. Kombinace masivního přijímání Roundup ready plodin na rozsáhlých plochách a téměř výlučné spoléhání se na glyfosát v regulaci zaplevelení, každý rok na stejných polích představuje extrémně silný selekční tlak. [14, 15, 18, 25, 42] Nicméně přetrvávající obavy z možných potenciálních účinků geneticky modifikovaných organismů na zdraví a životní prostředí omezily přijetí těchto semenných linií a potravinářských výrobků, zejména v Evropě a Japonsku. [11, 18, 20]

Může být užívání glyfosátu udržitelné?

Hlavní poučení patrné z více než tři desetiletí trvajících celosvětového používání glyfosátu spočívá v tom, že tam,

kde je zachována rozmanitost v systémech regulace plevelů (široké spektrum používaných herbicidů, nechemické metody, široké osevní postupy), může být regulace plevelů glyfosátem udržitelná. Je však více než jasné, že tam, kde je velmi intenzivní používání glyfosátu bez diverzity v regulaci, budou se vyvíjet rezistentní populace plevelů. Vývoj populací plevelů rezistentních ke glyfosátu je především hrozbou v oblastech, kde transgenní plodiny dominují krajinně a kde je intenzivní selekční tlak bez rozmanitosti ve výběru herbicidů. Pokud budou současné postupy v těchto oblastech pokračovat, stanou se rezistentní plevele ještě větším problémem. [10, 15, 19, 20]

To, co konkrétně představuje „rozmanitost“, se bude lišit v závislosti na regionu, ekosystému, podnicích, ekonomice a mnoha dalších faktorech. Diverzita však zahrnuje rotaci herbicidů (s různými mechanismy účinku), jejich posloupnost v kombinaci silných dávek a použití neherbicidních nástrojů pro regulaci plevelů. Regiony světa, které dosud nepřijaly GMO plodiny, nebo intenzivní používání glyfosátu, se mohou poučit ze zkušeností s RR plodinami v Americe. Tím, že se nebudeme spoléhat pouze na glyfosát a budeme udržovat určitou rozmanitost technik regulace plevelů, lze prodloužit dlouhodobou životnost glyfosátu. [10, 13, 14, 17, 18, 20, 21, 25]



4. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ÚČINEK HERBICIDŮ

Zemědělci mají v současné době k dispozici široký sortiment herbicidních přípravků, které umožňují regulaci většiny plevelných druhů v jednotlivých plodinách. Přes vysokou účinnost těchto látek existuje celá řada faktorů, které mohou výsledný efekt významně snížit. Jedná se o široký soubor agroekologických faktorů, jako jsou růstové fáze plevelů, teplota vzduchu, dešťové srážky aj. Bohužel většinu těchto faktorů nemohou zemědělci přímo ovlivnit, zejména vliv povětrnostních podmínek. Přesto je nutné znát rizika, a pokud je to možné, přizpůsobit termíny aplikací herbicidů vnějším podmínkám. [20]

Růstová fáze plevelů – Z pohledu účinné regulace plevelů je velmi důležité aplikovat herbicidy v termínu, kdy jsou plevelné rostliny nejcitlivější. U jednoletých plevelů platí, že menší rostlina je citlivější než rostlina vyvinutá, která zpravidla po aplikaci herbicidu snadněji regeneruje. U vytrvalých plevelů je situace složitější. Je vhodnější aplikovat herbicidy na vyvinutější rostliny, které vytvořily dostatečnou listovou plochu, na které ulpí potřebné množství účinné látky herbicidů, která je následně translokována do podzemních orgánů. Pozdní podzimní aplikace herbicidů jsou velmi často prováděny již na vzrostlé plevelné druhy a tomu je nutné přizpůsobit i dávku herbicidů. [30, 31]

Teplota vzduchu – Teplota vzduchu významně ovlivňuje celkový efekt aplikací herbicidů. Platí, že s rostoucí teplotou stoupá účinek herbicidů. Při vyšších teplotách nad 22–25 °C dochází k vyššímu riziku fytotoxicity u zemědělských plodin. Při podzimních aplikacích jsou však i rizikové nízké teploty, které snižují efekt herbicidů a zvyšují riziko poškození plodin. U vytrvalých plevelů dochází při vyšších teplotách také k rychlejšímu odumírání nadzemní hmoty, ale translokace do kořenů a kořenových výběžků se snižuje. Střídání nízkých nočních a vyšších denních teplot podporuje translokaci systémových herbicidů z listů do kořenů a kořenových výběžků na podzim. [30, 31]

Dešťové srážky – Nepatrné dešťové srážky neovlivní negativně účinek preemergentních i postemergentních herbicidů. Půda zůstává vlhká a klíčící plevelé snadno přijímají účinnou látku. U postemergentních aplikací

se zlepší opakovaným ovlhčením listů příjem herbicidů z povrchu listů do rostlinných pletiv. Při vydatných nebo přivalových dešťových srážkách však dochází u preemergentních herbicidů k proplavování v profilu půdy a u postemergentních ke smyvu herbicidů z listů na půdu, kde neovlivní již vyskytující se plevelé. Proto není vhodné provádět aplikace postemergentních herbicidů před deštěm, při dešti i po dešti, kdy hrozí nebezpečí ztékání a okapávání postřikové kapaliny z listů. [30, 31]

Rychlost větru – Silný vítr znemožňuje aplikaci herbicidů a časté poryvy větru bezprostředně ovlivňují kvalitu aplikace. Při silnějším větru dochází k úletům postřikové kapaliny a to se projevuje nepravidelným účinkem a poškozením okolních plodin i nezemědělské vegetace. Při větru není tedy možné ošetřovat porosty až na výjimky, především při používání speciálních postřikovačů s usměrněným postřikem.

Vliv rosy – Zejména při aplikacích herbicidů na podzim při nižších teplotách dochází k pomalému příjmu herbicidů plevelnými rostlinami. Při tvorbě rosy se opakovaně rozpouštějí herbicidy a stékají z listů, což může významně snížit celkový účinek herbicidů. Rosa v těchto obdobích vydrží na rostlinách až do poledních hodin, při zataženém počasí i déle. Za těchto podmínek při aplikacích herbicidních látek postřiková kapalina okapává z listů a výsledek aplikace herbicidů bývá nedostatečný. [30, 31]

Intenzita světla – Účinek herbicidů působících na fotosyntézu je významně ovlivňován intenzitou světla. Intenzita světla ovlivňuje i teplotou vzduchu, která je doprovodným jevem slunečního záření. Při vysoké intenzitě světla může i za doporučených teplot vzduchu docházet k poměrně značným projevům fytotoxicity na zemědělských plodinách. V polních podmínkách při silně zataženém počasí klesá účinek herbicidů, protože herbicidy ovlivňující fotosyntézu ve tmě nepůsobí poškození rostlin. [30, 31]

Půdní druh – Půdní druh významně ovlivňuje účinek herbicidů při preemergentních aplikacích herbicidů. V půdách lehkých, písčitých, s malou sorpční kapacitou, se



Nevhodná růstová fáze pro aplikaci glyfosátu

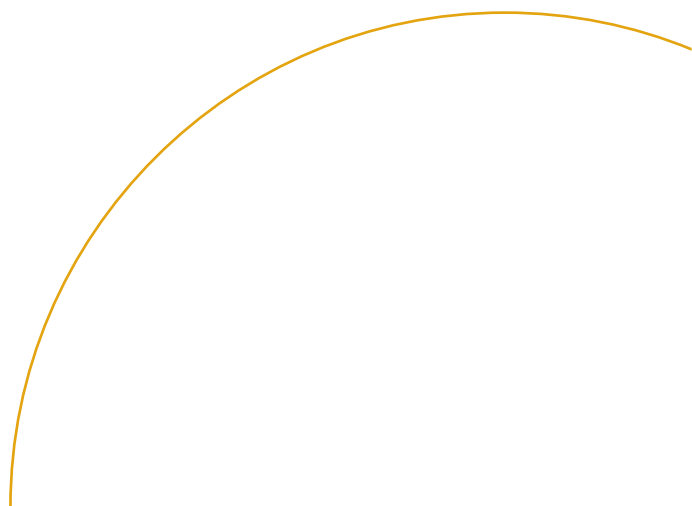


Vhodná růstová fáze pro aplikaci glyfosátu

herbicide velmi snadno pohybuje v půdním profilu, hrozí jeho vyplavování do podzemních vod. Herbicide se projevuje vyšší fytotoxicitou vůči plodinám. V takových půdách aplikujeme nižší dávky herbicidů. Naproti tomu půdy těžké, jílovité, s vysokou sorpční kapacitou váží velmi silně herbicide. Nehrozí nebezpečí vyplavování do podzemních vod, proto volíme dávky v horním rozpětí povolené dávky. Velmi aktivně ovlivňuje účinek herbicidů obsah humusu v půdě. Půdy s vysokým obsahem humusu poutají značné množství účinné látky herbicidů. Z tohoto hlediska by neměl půdní druh přímo ovlivňovat postemergentní podzimní aplikace herbicidů. Přesto i půdní druh nepřímo

ovlivňuje výsledek postemergentních aplikací herbicidů. Půdní druh a skeletovitost půdy významně ovlivňuje vzcházení plodin a plevelných druhů a to ovlivňuje i kvalitu těchto aplikací. (30, 31)

Vlhkost půdy – Podobně i vlhkost půdy nepřímo ovlivňuje výsledek postemergentních aplikací. V suché půdě plevelné rostliny nerovnoměrně vzcházejí, dochází velmi často k etapovitému vzcházení. Naopak ve vlhčí půdě plevele vzcházejí rovnoměrně a jednotlivé plevele jsou zhruba ve stejné růstové fázi, což zjednodušuje aplikaci herbicidů.



5. VÝZNAM PŘEDSKLIZŇOVÝCH APLIKACÍ GLYFOSÁTU A APLIKACÍ NA STRNIŠTĚ

Hustě seté plodiny, mezi něž patří obilniny, mají poměrně vysokou konkurenční schopnost vůči většině plevelných druhů v případě, že jejich výskyt je menší. Konkurenční schopnost obilnin závisí na několika faktorech. Základem je kvalitní osivo, zpracování půdy, kvalita setí, termín setí a správné hnojení. V příznivých povětrnostních podmínkách je porost obilnin schopen dobře potlačovat plevelné rostliny. Herbicidní přípravky ve zdravých a dobře vyvinutých obilninách proto pouze pomáhají obilninám, aby uplatnily svoji schopnost potlačovat plevele. V současné době je na trhu poměrně rozsáhlý sortiment herbicidních přípravků s různým spektrem účinku. O výběru proto rozhoduje především cena a spektrum jejich účinku na plevelné rostliny. Ne vždy se podaří plevele regulovat na počátku vegetace pěstovaných plodin. Typickým příkladem může být nepříznivý průběh povětrnostních podmínek. Dlouhá zima a rychlý nástup vegetace klade poměrně velké nároky na organizaci ochrany rostlin. (17, 28)

Vysoký podíl pěstovaných obilnin a ozimé řepky na orné půdě, technologie minimálního zpracování půdy a především dlouhodobé jednostranné používání herbicidů se stejným, nebo podobným mechanismem má za následek šíření vytrvalých plevelů jako například pcháč rolní (*Cirsium arvense*) a pýr plazivý (*Elytrigia repens*). Je obecně známo, že zvláště při použití herbicidů proti pcháči rolnímu i pýru plazivému významně rozhoduje právě správné načasování aplikace herbicidů. Především u pcháče rolního při nevhodném termínu naopak podpoříme regeneraci pupenů na kořenových výběžcích, což má za následek vyšší zaplevelení po aplikaci, než před aplikací. Vzhledem k tomu, že proti pcháči rolnímu jsou k dispozici účinné herbicidy přes více jak třicet let, pokládáme právě jejich nesprávné používání za rozhodující příčinu tak vysokého výskytu pcháče rolního. K současné situaci též přispěl i vysoký podíl neobdělávaných polí a celkový úpadek údržby nezemědělské půdy, komunální sféry a obecně krajiny. Z těchto zanedbaných ploch se na ornou půdu šíří každý rok obrovské množství diaspor plevelů. (19, 28)

V takovýchto podmínkách mají plevele optimální podmínky k šíření a růstu. Proto jsme často svědky selhání účinku i vysoce účinných herbicidů. Příčinou bývá zpravidla

nevhodně provedená aplikace herbicidů. Velmi často se projeví slabý účinek i v případě dodržení všech podmínek pro správnou aplikaci. Zde si musíme uvědomit, že nás zajímá jednak okamžitý účinek zhruba do jednoho měsíce po aplikaci, tak i efekt dlouhodobý, minimálně do příštího roku. Při sledování dlouhodobého efektu je nutné počítat s částečnou regenerací z kořenových výběžků. Při velmi silném zaplevelení i při účinku 100 % po aplikaci musíme počítat s tím, že část rostlin, (kořenů, kořenových výběžků), přežije. Při velmi vysokém zaplevelení při herbicidním účinku 99,0 % může i 1 % přeživších vegetativních diaspor znamenat vysoký potenciál pro další zaplevelení. Proto je chybou, myslíme-li si, že aplikace vysoce účinného herbicidu vyřeší problém vytrvalých plevelů. Aplikace herbicidů je účinná pouze za předpokladu spolupůsobení zpracování půdy, agrotechniky, použití dalších herbicidů a celkové péče o půdu. Musíme si uvědomit, že z jednoho segmentu pýru (7 cm) může v příznivých podmínkách vzniknout rostlina, která je schopna za jedno vegetační období vytvořit až 30 m kořenových výběžků a z jednoho segmentu kořenových výběžků pcháče rolního přes 10 m kořenových výběžků. To představuje vysoký reprodukční potenciál. (28, 41)

Z hlediska potlačení vytrvalých plevelů a zabránění jejich vlivu na pěstované plodiny je nutné aplikovat herbicidy na počátku vegetace, jinak dochází k neodstranitelným škodám na porostech pěstovaných plodin. Těto zásadě však odporují předsklizňové aplikace herbicidů. (28)

Podstata těchto aplikací spočívá především ve vysoké herbicidní spolehlivosti na pýr plazivý, pcháč rolní, pelyněk černobýl a další plevele. Plevlele mají vytvořenou velkou listovou plochu, což příznivě ovlivní množství přijaté účinné látky a její následnou translokaci do kořenů vytrvalých plevelů. (19, 38)

Předpokladem úspěchu je dodržení termínu aplikace herbicidů, aby došlo k odumření nadzemních částí rostlin plevelů. Nespornou výhodou těchto aplikací je rovnoměrně vyžrálý porost obilnin a odumřelé plevele. To podstatně zjednodušuje sklizeň obilnin a výrazně snižuje ztráty při sklizni i náklady na dosoušení zrna. (30, 31, 39)



Hloubka zakořenění u 4 měsíce staré rostliny pcháče rolního v cm



Kořenový systém pýru plazivého zasahuje do 15 – 20 cm



Kořenový systém pcháče zasahuje až do podorničí



Stanovení regenerace vytrvalých plevelů po aplikaci glyfosátu

Pro předsklizňové aplikace je povolena celá řada herbicidů na bázi glyfosátu. Pro tyto aplikace však platí vesměs omezení v množitelských porostech a aplikace jsou limitovány obsahem vody do 150–200 l/ha. Zpravidla jsou pro aplikace používány speciální samochodné postřikovače zaručující přesné úsporné dávkování. [38]

Z hlediska spolehlivosti aplikací je však nutné upozornit, že při velmi silném zaplevelení převážně pcháčem rolním, je dávka herbicidu i vody na hranici spolehlivosti účinku herbicidu. Rostliny pcháče rolního se převážně vyskytují v tzv. hnízdech. Lodyhy vytvářejí velmi hustý porost, do kterého se herbicid dostane pouze na okraji tzv. hnízd. Většina lodyh tedy není zasažena a neuhyne. Proto lze doporučit tyto aplikace především při výskytu pýru plazivého, jednoletých plevelů, jako například svízel přitula a nižším až středním zaplevelení pcháčem rolním. Při vysokém zaplevelení by byla možnost pouze ve zvýšení dávky herbicidu a vody. [28, 38]

Dalším faktorem, který může negativně ovlivňovat herbicidní efekt, jsou vysoké teploty v době aplikace (nad 26 °C). Vlivem těchto teplot je příjem herbicidu do rostliny velmi rychlý, nadzemní část rostlin rychle zasychá. Translokace do kořenové soustavy je však podstatně vyšší při teplotách kolem 20 °C. Proto býváme někdy svědky vysoké regenerace pcháče po těchto aplikacích herbicidů. [13, 19, 38]

Základ úspěchu těchto aplikací herbicidů spočívá v dostatečném ulpění postřikové kapaliny na listech plevelů. [28, 38]

Vzhledem k velmi příznivé ekonomice, herbicidní spolehlivosti a snížení ztrát při sklizni, je používání těchto aplikací velmi oblíbené a do budoucna nadále perspektivní. [38]

Z výsledků našich pokusů vyplývá, že herbicidní efekt se významně projevil na pýru plazivý, kdy nebyly příliš významné rozdíly mezi herbicidy a dávkami ve vztahu k výnosu ozimé pšenice. Rozdíly mezi variantami herbicidů a dávkami byly zřetelné při podzimním a jarním hodnocení.

Tabulka 1. Vliv předsklizňových aplikací herbicidů na pýru plazivý v ozimé pšenici

HERBICID	Dávka l/ha	% účinku na nadzemní části	% regenerace na podzim	% regenerace na jaře	Výnos q/ha
Roundup Klasik	3	99	7	15	66,3
Roundup Klasik	4	99	3	12	66,4
Roundup Biaktiv	3	97	10	19	65,9
Roundup Biaktiv	4	99	12	14	66,5
Touchdown	3	97	8	17	65,6
Touchdown	4	98	5	13	65,9
Kontrola					62,7

Tabulka 2. Vliv předsklizňových aplikací herbicidů na pcháč rolní v ozimé pšenici

HERBICID	Dávka l/ha	% účinku na nadzemní části	% regenerace na podzim	% regenerace na jaře	Výnos q/ha
Roundup Klasik	3	85	15	20	46,4
Roundup Klasik	4	94	9	17	48,1
Roundup Biaktiv	3	79	20	32	44,4
Roundup Biaktiv	4	85	16	25	45,9
Touchdown	3	80	18	22	46,2
Touchdown	4	89	15	20	47,3
Kontrola					44,2

Při hodnocení herbicidního efektu bylo zřejmé, že vyšší dávky herbicidů výrazněji potlačily pcháč rolní ve srovnání s dávkami nižšími. Předsklizňové aplikace v uvedených pokusech potvrdily vyšší účinek na pýru plazivý než pcháč rolní. [28, 30, 31]

V případě nižšího zaplevelení, nebo výskytu těchto druhů ve spodním patře se předsklizňové aplikace neprovádějí. Tím se však problém neřeší. Velmi často po sklizni obilnin a to zejména za dostatku vláhy dochází k velmi rychlému růstu a vývoji u jednoletých plevelů. Jednoleté plevelné druhy, jako například merlík bílý, laskavec ohnutý, laskavec zelenoklasý, ježatka kuří noha, bery, durman obecný, blín černý a celá řada dalších plevelných druhů jsou již za 14–21 dní schopny vytvořit rostliny vysoké 30–50 cm, které rychle vykvétají a vytvářejí semena. To se stává na polích, kde se neprovádí podmítka, nebo kde se provede podmítka nekvalitně. Reprodukční potenciál těchto rostlin je vysoký a dochází k významnému zvýšení zásoby semen v půdě. Tyto rostliny komplikují zpracování půdy. Velmi často jsou plevelné rostliny nedostatečně



Po správně provedené aplikaci glyfosátu je regenerace pcháče minimální



Po použití nižších dávek dochází k obrůstání

zaklopeny a při mírném průběhu zimy velmi často přezimují a komplikují jarní přípravu půdy. Podobně reagují i vytrvalé plevely. Především pýr plazivý, pcháč rolní, čísteč bahenní, ale i mléč rolní po sklizni obilnin při dostatku vláhy rychle regenerují, vytvářejí mnoho výhonů nebo listových růžic. V toto roční období je regenerační schopnost velmi vysoká, dochází k rychlé tvorbě oddenků a kořenových výběžků u těchto vytrvalých plevelných druhů při nechání pozemku bez ošetření, velmi často dochází k totálnímu zaplevelení. Při následném zpracování půdy dochází sice k poškození kořenového systému vytrvalých plevelů, ale tyto plevely velmi často opět regenerují a významně konkurují následně setým plodinám. V obilninách nebo ozimé řepce setých na takto zaplevelených pozemcích tyto plevely konkurují již brzy po vzejití, především pýr plazivý a pcháč rolní a to má za následek nutnost aplikace herbicidů již v podzimních měsících, což klade vysoké nároky na organizaci práce a finanční náročnost také není zanedbatelná. Navíc jsou povětrnostní podmínky vysokým rizikovým faktorem znemožňujícím cílené aplikace v optimální růstové fázi. [12, 19, 38, 39]

Používání herbicidních přípravků po sklizni plodin na strništi na vzešlé plevely zaručuje poměrně spolehlivý účinek. Význam těchto aplikací spočívá v eliminaci jednoletých plevelů i vytrvalých plevelů, včetně zasažení jejich kořenového systému a zabránění jejich regenerace. [13, 39]

Podmínkou pro dosažení optimálního účinku je výskyt plevelných druhů s dostatečně vytvořenou listovou plochou, která zajistí dokonalý příjem účinné látky rostlinami. U vytrvalých plevelů (pýr plazivý, pcháč rolní aj.), je důležité, aby byl vytvořen dostatečný počet výhonů nebo listových růžic. U pýru výhony s 3–4 listy, u pcháče listové růžice s 6–8 listy. [38, 44]

Účinek těchto aplikací je vysoký za dostatku vláhy, kdy jednoleté plevely masově vzházejí a vytrvalé plevelné druhy mohutně obrázejí. V období suchých period tyto aplikace však vykazují nedostatečné efekt, který je snížen etapovým vzházením jednoletých plevelů a postupným rašením vytrvalých plevelů z podzemních orgánů (oddenky, kořenové výběžky). [30, 31, 39]



Předsklizňové aplikace se používaly v zaplevelených obilninách ...

...nebo po sklizni plodin na strništích...



Vyvlačování oddenků pýru po aplikaci glyfosátu a následná příprava půdy...

Předsklizňové aplikace se využívaly i proti zaplevelujícím rostlinám (slunečnice v jarním ječmeni)



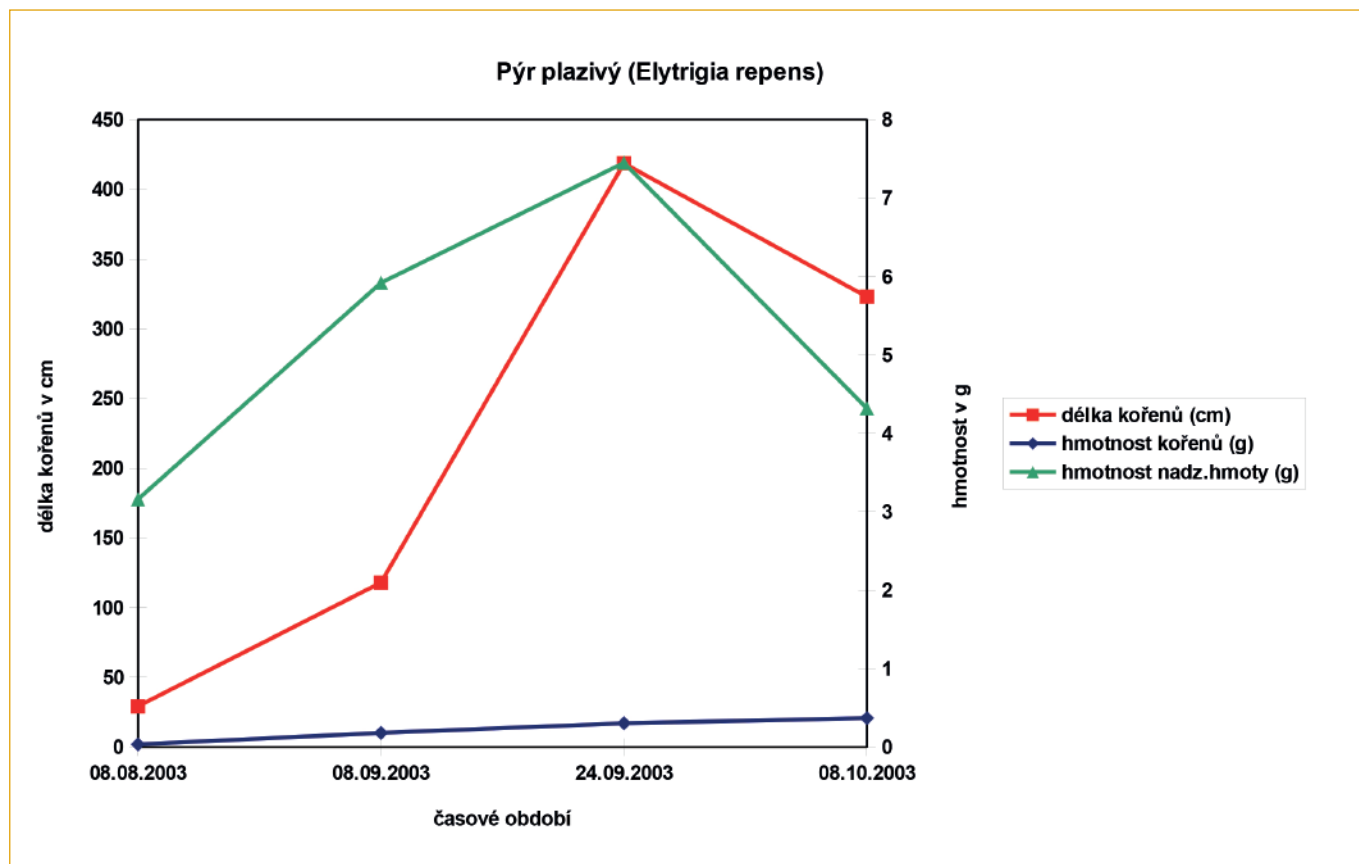
Použití glyfosátu v sadech



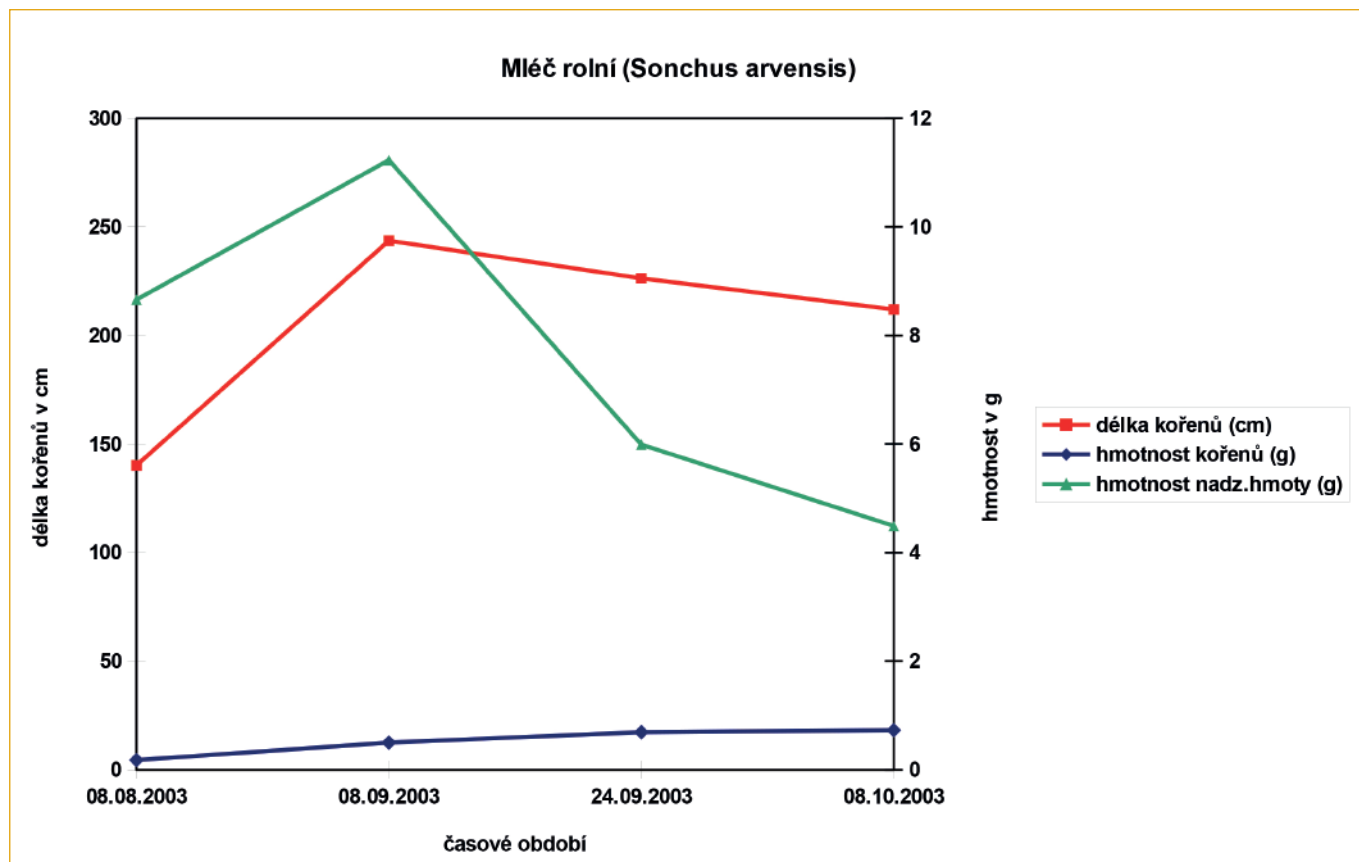
Glyfosátem se ošetřují i okraje pozemků – podél oplocení sadu...

Graf 3. – 6. Regenerace vybraných vytrvalých plevelů po sklizni obilnin (pýr plazivý, mléč rolní, pcháč rolní a čísteč bahenní)

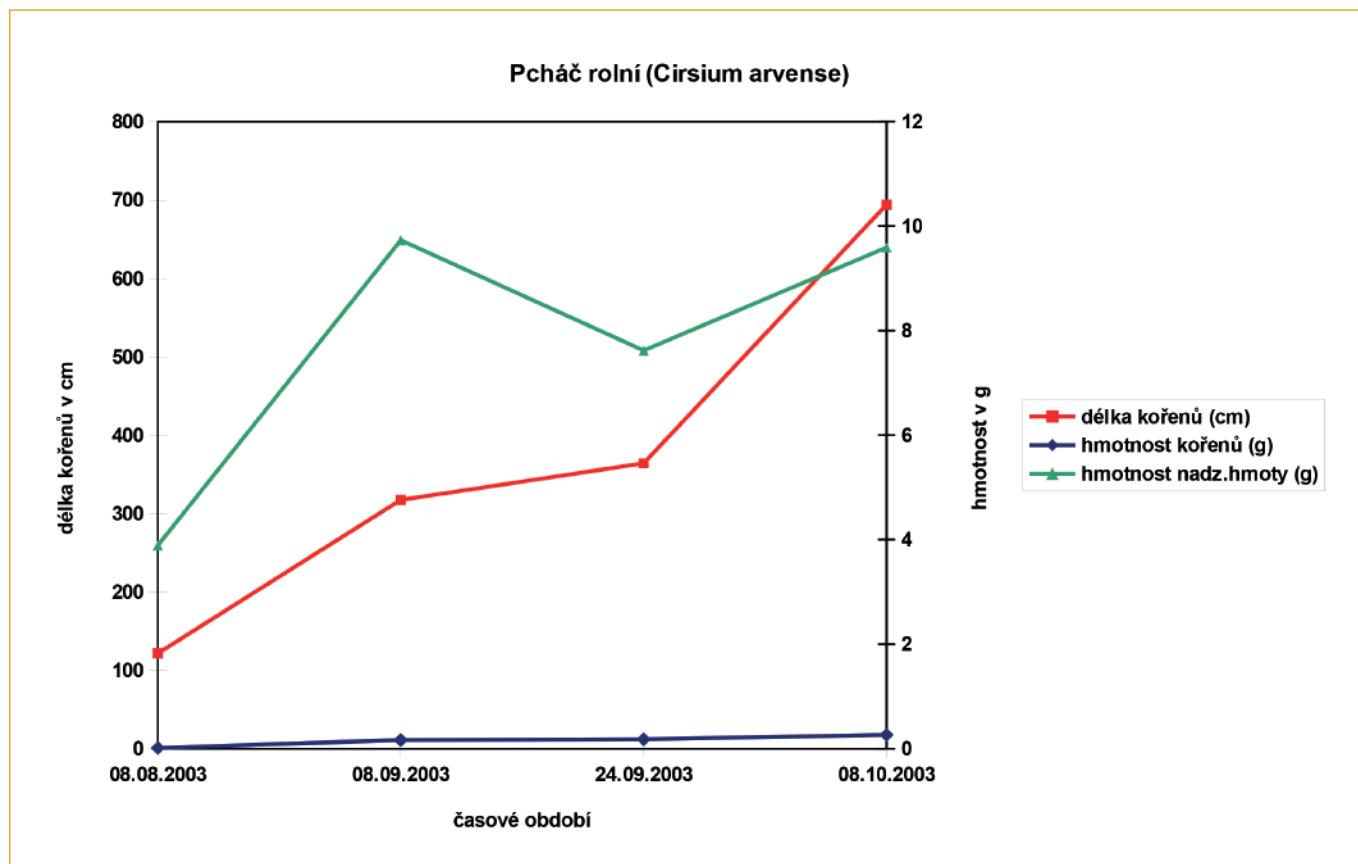
Graf 3.



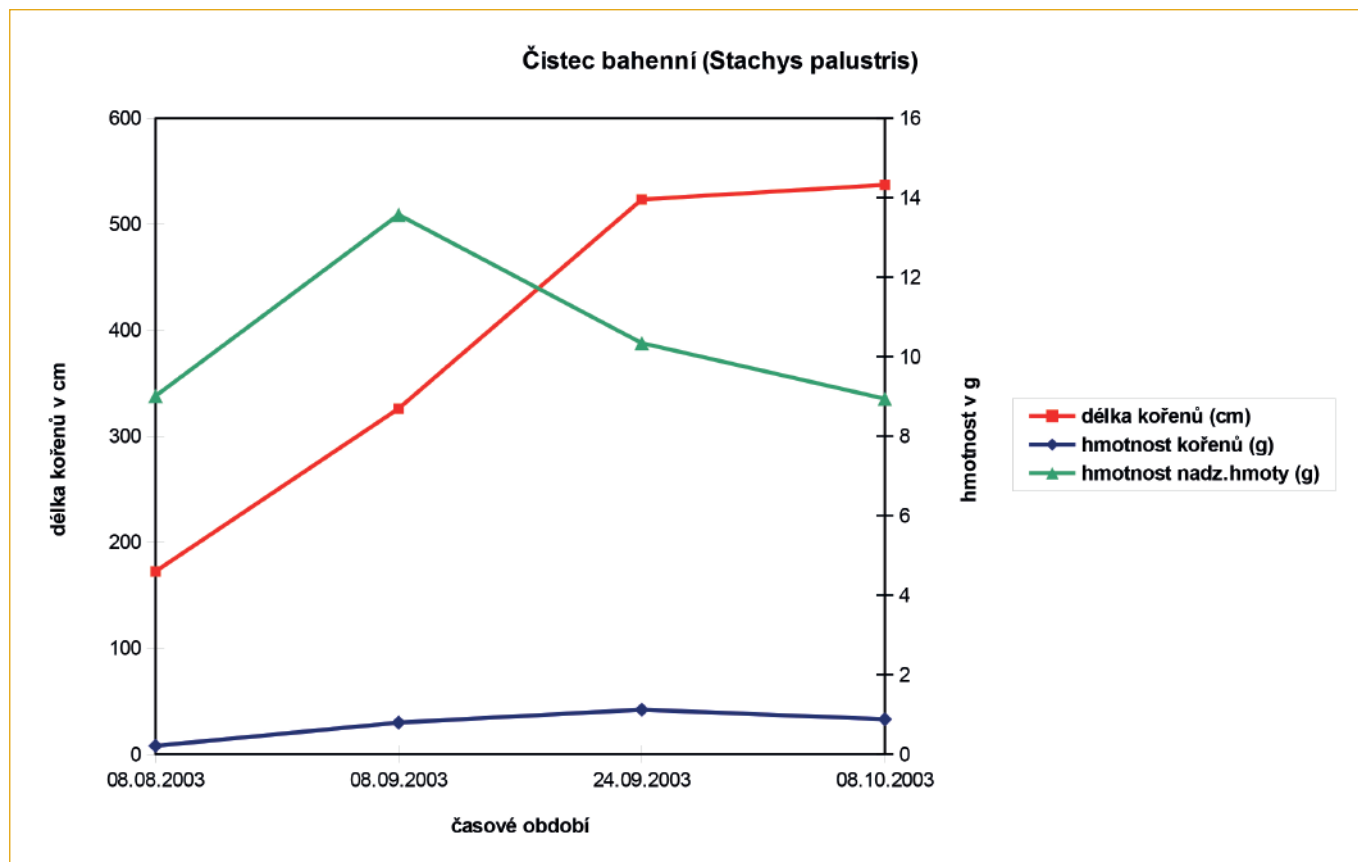
Graf 4.



Graf 5.



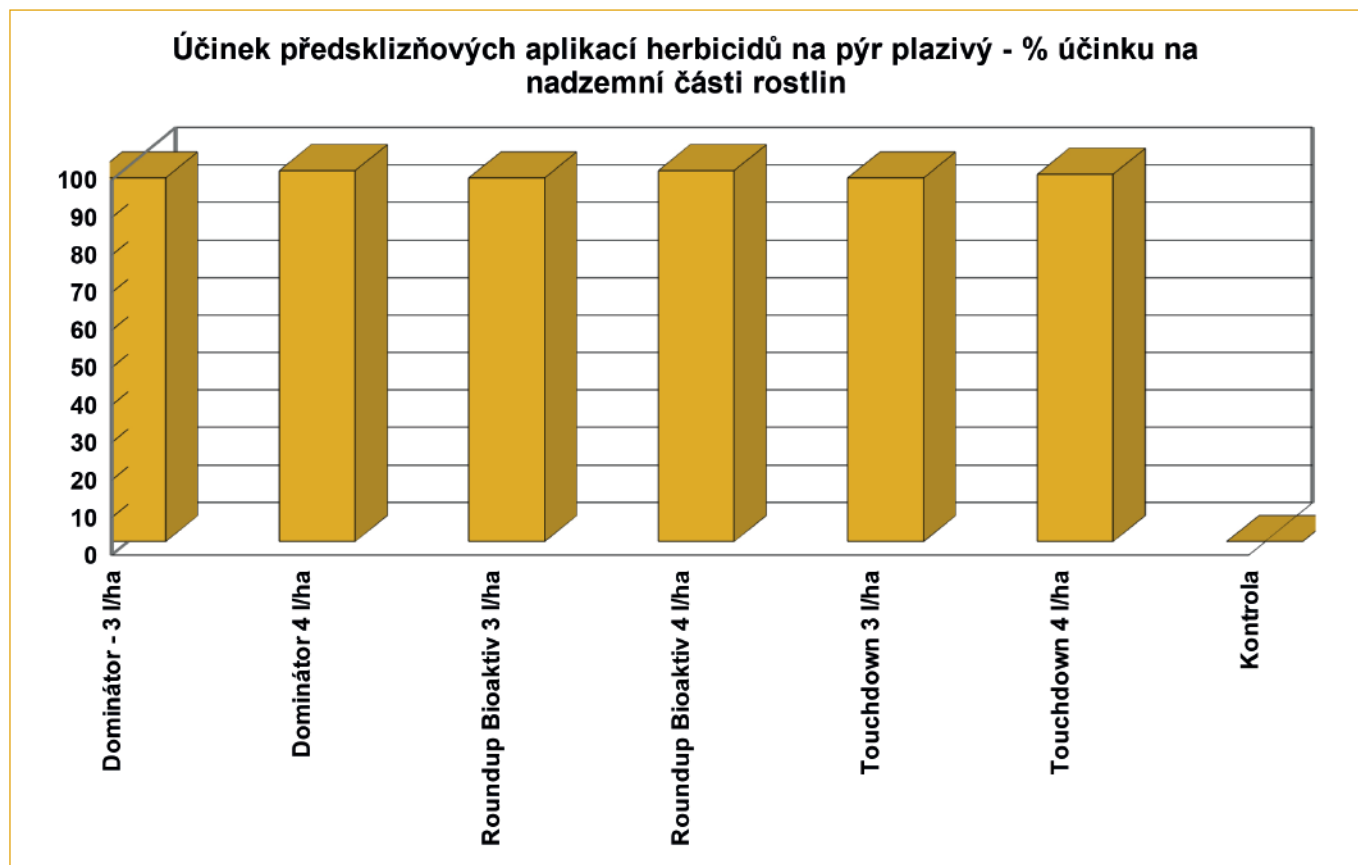
Graf 6.



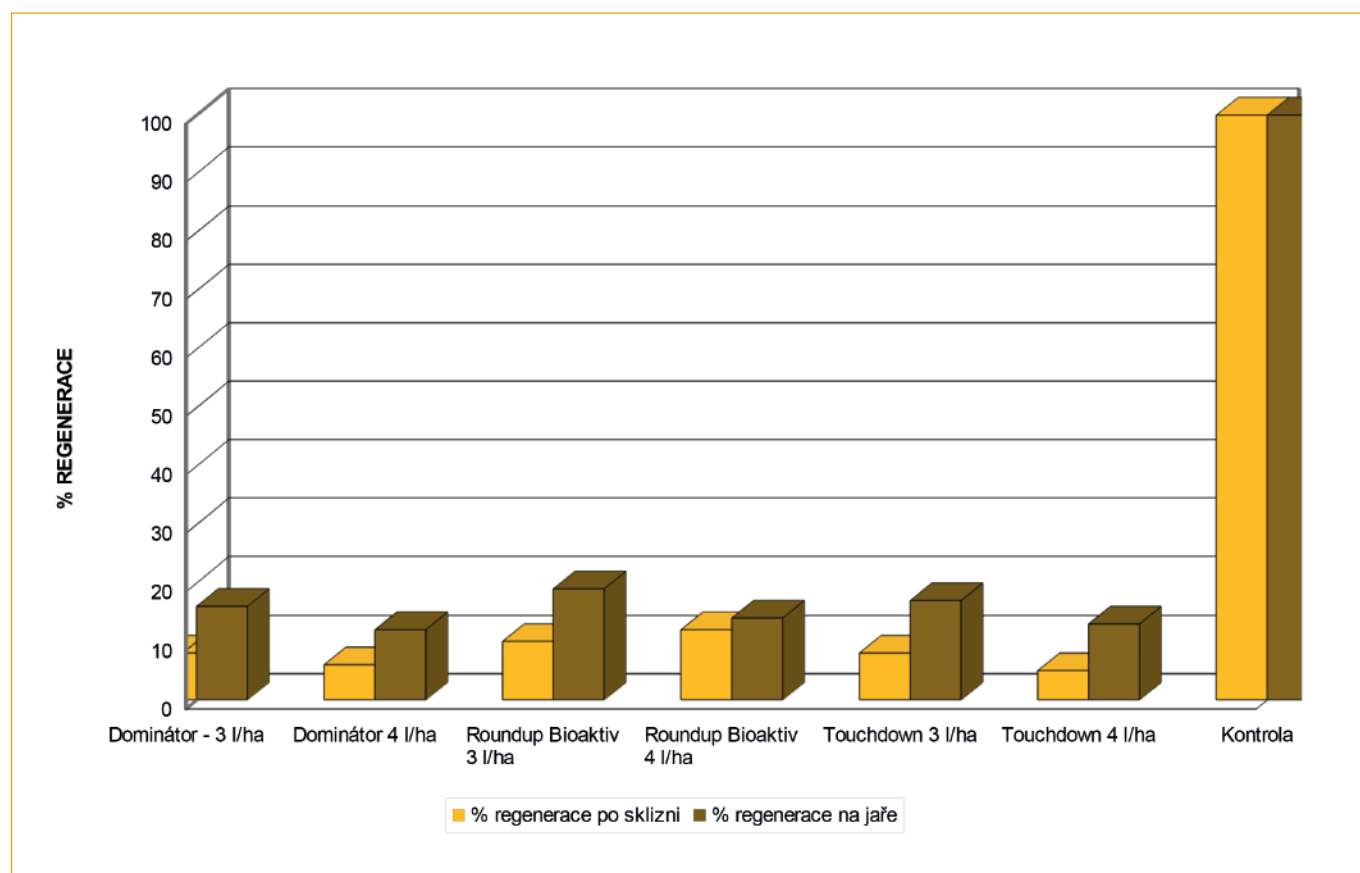
Tabulka 3. Přehled dříve používaných herbicidů s obsahem glyfosátu používaných při aplikaci na strniště

HERBICIDNÍ PŘÍPRAVEK	DÁVKA NA 1 ha	TERMÍN APLIKACE	POZNÁMKY K APLIKACI
Clinic	3–5 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Dominátor	3–5 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Glyphogan 480 SL	3 l		Na vzešlé plevelné rostliny
Glyfos	3–5 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Kaput	3 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Kaput Harvest	3–5 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Roundup Activ	6–10 l	Po sklizni	(60 – 100 ml /100m ²) Na vzešlé plevelné rostliny
Roundup Biaktiv	3–5 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Roundup Forte	1,5–2,5 kg	Před setím	Na vzešlé plevelné rostliny
Roundup Klasik	3 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Roundup Rapid	2,5–4 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Tajfun 360	3 l	Po sklizni	Na vzešlé plevelné rostliny
Touchdown	3–5 l, + 5 kg SA	strniště	Na vzešlé plevelné rostliny
Touchdown Quattro	4 l	strniště	Na vzešlé plevelné rostliny

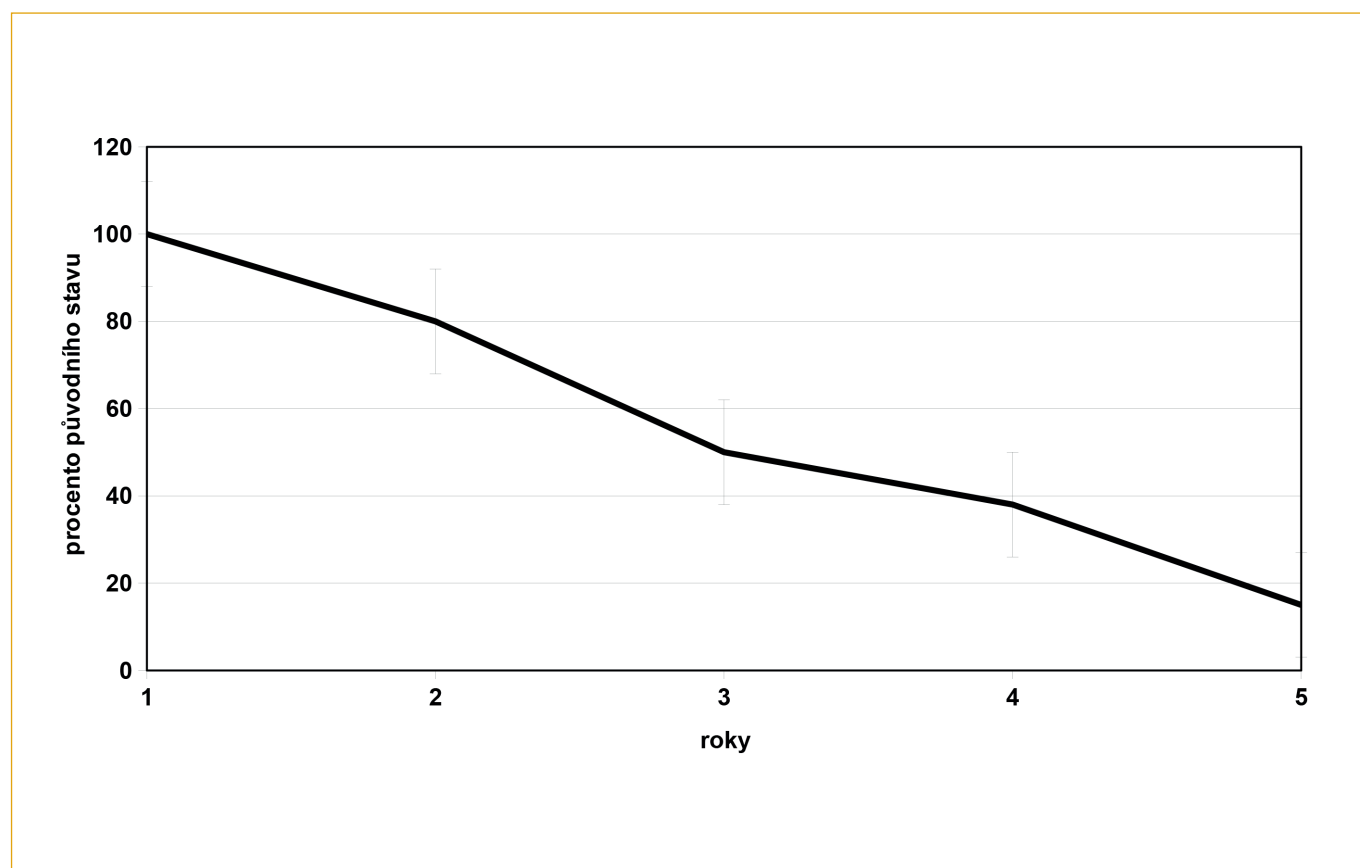
Graf 7. Účinek před sklizňových aplikací herbicidů na pýr plazivý - % účinku na nadzemní části rostlin

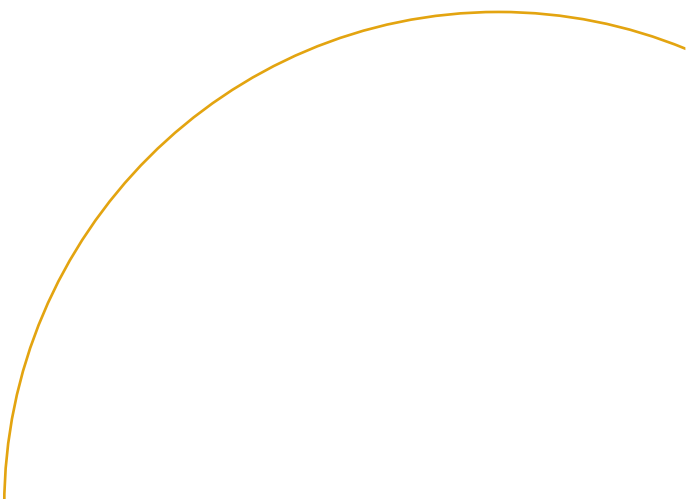


Graf 8. Vliv před sklizňových aplikací herbicidů na následnou regeneraci pýru plazivého



Graf 9. Vliv opakované bodové aplikace herbicidu Roundup na výskyt šťovíků





6. VLIV HERBICIDŮ NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A ZDRAVÍ LIDÍ A ZVÍŘAT

Pohled do historie používání herbicidů

Hubení plevelů – nežádoucích rostlin v porostech kulturních plodin, provázelo lidstvo od prvního osetí pozemku. Potlačení, popřípadě likvidace plevelných rostlin prošla dlouhým vývojem. Zpočátku se využívalo ruční práce, později potahu zvířat, mechanizace a vývoj dospěl i k používání chemických látek – herbicidů. První pokusy s chemickými látkami na orné půdě byly zaznamenány již roku 1896, kdy byla použita modrá skalice, následně Raphanit (dusičnan měďnatý), chlorid měďnatý, zelená skalice, kyselina sírová, sloučeniny arsenu, sloučeniny boru, ohnicový kainit, dusíkaté vápno. Od roku 1945 MCPA (kyselina 2-methyl-4-chlorfenoxycetová), IPC (Isopropyl-N-fenylkarbamát), TCA (kyselina trichloroacetová), monuron, fenuron, dalapon, silvex, aminotriazol, diuron, neuron, simazin, erbon, 2,4-DB, MCPB, natrin., diaquat, paraquat, chlortoluron a dále např. od roku 1972 glyphosate, pendimethalin, clopyralid, isoproturon, fluroxypyr, fluazifop-butyl, chlorsulfuron, nicosulfuron. (1986). V dalších letech následovala celá řada dalších účinných látek ze skupiny sulfonylmočoviny (tribenuron, amidosulfuron, iodosulfuron, tribenuron-methyl, thifensulfuron, triasulfuron aj). Dále se objevila celá řada látek z nových skupin jako například florasulam, cinidon-ethyl, tralkoxydim, fenoxaprop-methyl, propoxycarboxone-sodium, imazathabenz, lactofen atd. Je nutné si uvědomit, že nároky na nové herbicidy z pohledu přísných ekotoxikologických hledisek vývoj nových přípravků neustále ekonomicky zatěžují. Proto počet nových účinných látek postupně klesá. Naproti tomu dochází k rozmachu ve výrobě již vyvinutých herbicidů (generika) s již prošlou licenci. Tyto přípravky jsou ekonomicky dostupnější pro zemědělce ve srovnání s nově zaváděnými přípravky. (13, 19, 27)

Vliv herbicidů na životní prostředí

Herbicidy mohou především při nesprávném používání významně negativně ovlivňovat životní prostředí. V minulosti docházelo velmi často k ohrožení životního prostředí především při nesprávné likvidaci zbytků herbicidů a v důsledku nedodržení správné technologie aplikace. V posledních letech je však kladen vysoký důraz na minimalizaci ekotoxikologických rizik ve vztahu k životnímu prostředí a zdraví lidí. Kritéria pro nově povolované herbicidy jsou

stále přísnější. Odklon je od účinných látek, které jsou perzistentní, zůstávají v rostlinách dlouhou dobu, a proto hrozí riziko jejich přenosu do krmení zvířat nebo potravin pro lidi. Perzistentní herbicidy zůstávají dlouhou dobu v půdě a mohou být vyplavovány do spodních vod a ohrožovat půdní organizmy. Herbicidy mohou ovlivňovat i živočichy přímým kontaktem při nebo po aplikaci. Při nesprávném používání herbicidů dochází i k poškození necílových rostlinných druhů v blízkosti zemědělské půdy. Při aplikacích může docházet i ke smyvu zbytků herbicidů do povrchových vod a k jejich toxickému působení na vodní ptáky, ryby, obojživelníky, plazy i bezobratlé. (3, 12, 13, 16, 19, 20, 21, 27)

Rizika pro člověka:

- Alergenní a toxické působení proteinu, který je kódován transgenem
- Eventuální teratogenní a karcinogenní účinky herbicidů a jejich metabolitů u zvířat a člověka
- Teratogenní a karcinogenní účinky dalších látek, které mohou být produkovány jako vedlejší produkty aktivity enzymu kódovaného transgenem.

Rizika pro životní prostředí:

- Transgenní rostlina se může stát dominantní v populaci a rozšířit se jako významný plevel
- Může dojít k přenesení transgenu, který přináší selekční výhodu do genomu běžných plevelů.
- Vzniká riziko přemnožení plevelných rostlin, které vykazují jisté prvky tolerance vůči herbicidům a s ohledem na morfolologii plevelů nebo jejich biologické vlastnosti.

Možnost spontánního přenesení transgenu do genomu příbuzných plevelů je závislá vždy na mnoha okolnostech. Závisí to na samotné plodině a ekosystému, kde je plodina pěstována. Nejvíce záleží na tom, zda je plodina samo-sprašná nebo cizosprašná. Absolutní samosprašnost neexistuje, a proto možnost přenosu pylem nemůže být zcela vyloučena. (12, 19, 27, 45)

Vývoj sortimentu pesticidů a jejich použití z hlediska požadavků ochrany životního prostředí

Přes veškerou snahu věnovanou vývoji nových látek se nedaří objevit a vyrábět látky, které by zasahovaly pouze

cílový objekt a neměly žádný vliv na jiné živé organismy. Naopak lze předpokládat, že se to nikdy nepodaří. Nežádoucí vedlejší účinky pesticidů můžeme omezovat, ale nikoliv vyloučit.

Je to dáno řadou důvodů. Prvním z nich jsou vlastnosti společné zcela různým živým organismům, které jsou pak nutně zasahovány látkou aplikovanou proti jednomu z nich. Dalším důvodem je to, že každá molekula může být nositelem různých biologických aktivit. Jakmile dojde k jejímu štěpení, stávají se nositeli dalších aktivit degradační produkty. Navíc každý pesticid kromě účinné látky obsahuje řadu dalších pomocných látek, především tenzidů, které také mohou mít určitou biologickou aktivitu. Poslední příčinou různých nežádoucích vedlejších účinků mohou být nečistoty a příměsi vzniklé při výrobě pesticidu. (29, 35, 40)

Z tohoto prostého výčtu vyplývá, proč nemůžeme očekávat vývoj nějakých ekologicky zcela neutrálních pesticidů. Tím více se musíme snažit, abychom všemi nám dostupnými cestami omezili nežádoucí vlivy pesticidů na životní prostředí. Proto si musíme nejdříve ujasnit, jaké tyto vlivy mohou být. Z hlediska ochrany rostlin má klíčový význam vedlejší účinek pesticidů na užitečný hmyz, což je také samostatná problematika. (17, 21, 24, 29, 35)

Při posuzování účinku pesticidů obecně, nejen jejich vlivu na životní prostředí, se zapomíná na rozdílnou citlivost jedinců daného druhu vůči téže látce. Vždy musíme uvažovat o tom, že pesticidem zasahujeme populaci o velmi odlišných vlastnostech jednotlivých jejích členů. Pracovníci v ochraně rostlin si této problematiky všímají hlavně v souvislosti se vznikem rezistence vůči pesticidům, tento jev má ale obecnou platnost. V důsledku aplikace pesticidů dochází nejen ke změně druhového spektra organismů, ale i ke změnám uvnitř druhů, především k určité selekci subpopulací méně citlivých vůči danému pesticidu, nebo subpopulací, které se nějakým jiným mechanismem vyhnou přímému vlivu pesticidu. (3, 20, 27, 35, 40)

U všech vedlejších vlivů pesticidů na životní prostředí vždy musíme sledovat jejich účinek v širších souvislostech.

Zpravidla je vyhodnocován pouze přímý toxický vliv pesticidu na daný organismus. To je přístup zcela chybný, nutně vedoucí ke zkresleným závěrům nesprávně interpretujícím danou situaci. Navíc vždy musíme brát v úvahu všechny ostatní změny v pěstování rostlin, případně i další změny, které byly v krajině provedeny. Jako příklad můžeme uvést studie, které dokládaly, že současně se zvyšováním spotřeby pesticidů klesá počet zajíců a koroptví. Zcela pominuly, že se změnilo i hnojení, velikost honů a struktura pěstovaných plodin, počty dravců a další faktory. Proto došly k mylnému závěru, že jedovaté pesticidy hubí zvěř a tedy i otravují obyvatelstvo. Tiše přešly skutečnost, že současně se zvýšily počty vysoké a černé zvěře. Nelze ovšem popřít, že aplikace některých pesticidů a hlavně DAM 390, může mít negativní vliv na lovnou zvěř, pouze je zdůrazňováno, že je situace složitější. (3, 17, 21, 27, 29)

Obdobné zjednodušující závěry často nacházíme i u studií vlivu pesticidů na půdní mikroflóru, populace hmyzu a podobně. Například zjištění, že po aplikaci určitého herbicidu klesla aktivita některé ze složek půdní mikroflóry, např. hub, či bakterií o šedesát i více procent, bývají prezentovány jako doklad katastrofálních důsledků vlivu pesticidů na životní prostředí. Ve skutečnosti naprosto nic neříkají. V důsledku změn vlhkosti, teploty a dalších faktorů se aktivita jednotlivých složek půdní mikroflóry může měnit o několik řádů. Ve srovnání s tím jsou změny v desítkách procent zanedbatelné. Půda je navíc velmi proměnlivým systémem. Jestliže poklesne aktivita některé ze složek půdní flóry či fauny, tak buď ihned, nebo s určitým zpožděním se zvýší aktivita jiných složek. Po určité době zákonitě vzroste i aktivita té složky, která byla inhibována. Je velmi obtížné učinit jakýkoliv závěr o důsledcích zjištěné změny na půdní úrodnosti či jiné půdní vlastnosti. Vždyť např. zpomalení rozkladu celulózy může být příznivé. Není přece žádný důvod, abychom co nejvyšší aktivitu složek půdního života považovali vždy za žádoucí. Navíc vyhubení plevelů znamená, že v půdě nejsou jejich kořeny a tyto nevylučují kořenové exudáty, nemluvě o tom, že v půdě po sklizni nezůstanou zbytky těchto plevelů. Tím půdní mikroflóra ztrácí zdroj živin a nutně proto klesá její aktivita – nejen v důsledku toxického působení pesticidů. (3, 16, 17, 21, 27)



Velkoplošné aplikace glyfosátu mají negativní vliv na faunu a floru

Z hlediska nežádoucích ekologických vlivů pesticidu na životní prostředí je snad ještě důležitější otázka jeho perzistence, případně počtu aplikací během roku než přímé toxicity. Mimo jiné také proto, že látky s neselektivním přímým toxickým účinkem byly již zakázány (dinoseb). Rychlost degradace pesticidu v přírodě závisí na mnoha faktorech. Základní je stabilita molekuly účinné látky. Z vnějších podmínek je degradace ovlivněna pH půdy. Pesticidy se obecně rychleji rozkládají v půdě o vyšší biologické aktivitě. To znamená, že zapravováním organické hmoty do půdy podpoříme tyto ozdravné procesy. Bylo prokázáno, že pokud se do půdy dlouhodobě dostávají tytéž látky, zvyšuje se schopnost půdy je rozkládat. Na druhé straně při vysokém předávkování pesticidu může biologická aktivita výrazně poklesnout a rozklad se dlouhodobě zastaví. Tento jev nastává pouze při bodovém znečištění. [17, 35]

Pesticidy z půdy zdánlivě mizí také v důsledku vazby na jílové minerály. Tímto způsobem jsou dočasně inaktivovány, neboť z těchto vazeb mohou být postupně uvolňovány.

Nejznámější látky s velkou perzistencí, které z tohoto důvodu mají nepříznivé ekologické dopady, jsou chlorované uhlovodíky a triaziny. Mezi zcela perzistentní látky je však třeba zařadit i anorganické látky. U nás jsme již zapomněli na dávno zakázané sloučeniny arzenu. V USA bylo uváděno, že se v půdách některých sadů nahromadily v takové míře, že v půdě přestaly růst rostliny. [3, 20, 29] V provozní praxi můžeme vedlejší nežádoucí účinky pesticidů na životní prostředí omezit především jejich správným používáním jen v případech skutečně oprávněných. Při výběru pesticidů se musíme striktně držet „Seznamu registrovaných prostředků na ochranu rostlin“ a z něj vybírat nejvhodnější látky. Schválené pesticidy nevyvolávají v přírodě dlouhodobé ireverzibilní změny. Řada přípravků zůstává pro veřejnost zdánlivě nezměněna, ale byla v nich nahrazena rozpouštědla, jako xylén, jinými ekologicky přijatelnějšími látkami. [12, 40]

Především se však musíme vyhnout chybám v aplikaci, zasažení jiných plodin a hlavně bodovému znečištění. To představuje největší riziko především pro spodní vody. [16]



Při velkoplošných aplikacích přichází drobná zvěř o potravu



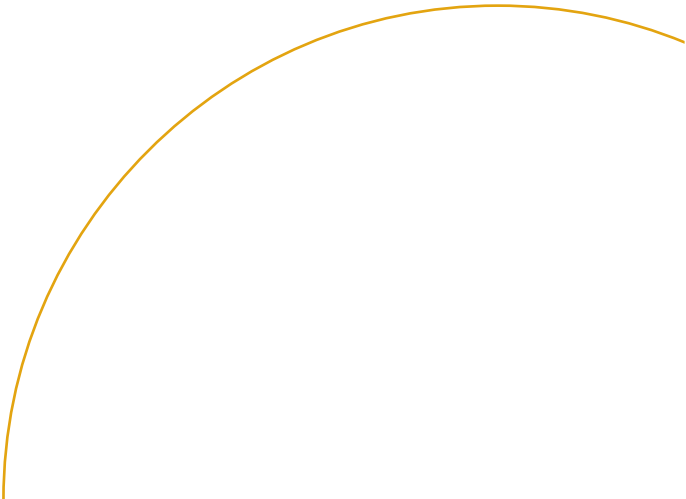
U glyfosátu hrozí riziko kontaminace životního prostředí při nevhodné manipulaci



V zahraničí se používala letecká aplikace pro použití před sklizní plodin



U nás se výzkumně řešila i aplikace z rožala



7. ZÁVĚR

Systémy regulace plevelů významně ovlivňují i nové technologie, využívané v tzv. precizním zemědělství. Jedná se o využití monitoringu s využitím dronů, výpočetní techniky, nové aplikační zařízení s využitím GPS a výpočetní techniky. Tyto technologie významně zjednodušují organizaci práce a jednotlivé operace. Klade však stále vyšší nároky na kvalifikaci pracovníků. Stejně však na konci řetězce jednotlivých opatření musí být konkrétní účinná látka, v tomto případě u herbicidu.

Je třeba konstatovat, že celé zemědělství v Evropě je nestabilní a je udržováno dotačním systémem. Zemědělství je byrokraticky nesmírně ovlivňováno a v mnoha pohledech omezoováno. V řadě případů je regulace oprávněná, ovšem někdy se snažíme legislativně ovlivňovat přírodní zákony. Přírodní zákony mají však svůj mechanismus života a jdou si svou cestou bez ohledu na naše snažení. Na to lidstvo v minulosti mnohokrát doplatilo. Naším cílem je udržitelné zemědělství, celkově zarámované do ekosystémů. S tím souvisí i potenciální restrikce glyfosátů, která by vedla k vyšší náročnosti na organizaci práce a vyšší ekonomickou náročnost. Řešení by bylo složité i vzhledem k nedostatku pracovníků v zemědělství, kterých stále ubývá.

Je zřejmé, že stopová množství glyfosátu se mohou dostávat i do pitné vody a do přilehlých ekosystémů. Také je známo, že značné objemy tohoto herbicidu se používají i mimo zemědělství a lesnictví. Tento herbicid je ve velkých objemech používán na železnici, stavebnictví, komunální sféře a oblíben je i mezi zahrádkáři. V zemědělství je jeho používání důkladně kontrolováno, o využívání v jiných (nezemědělských), již zmíněných oblastech je minimální přehled. Lze předpokládat, že zjištěná rezidua mohou mít i původ z těchto oblastí. Je zřejmé, že je nutné věnovat pozornost především v POR. Také je známo, že mnoho běžně používaných chemických látek má nějakou nebezpečnou vlastnost (např. toxicitu). Ta představuje zdravotní riziko pouze za určitých okolností. Regulace používání chemických látek musí vycházet především ze skutečné analýzy rizik a to včetně analýzy rizika spojeného s nepoužíváním dané látky, tedy tzv. kontrolní varianty, ne však pouze jen z konstatování faktu existence nebezpečných vlastností.

Celá řada známých studií, především retrospektivní analýzy případů je vhodná pouze k určení nebezpečné vlastnosti látky, analýza skutečných rizik se však musí opírat o přesné metody GLP (Good laboratory practice), správná laboratorní praxe. Je nutné odlišovat nebezpečí od skutečných rizik.

Především v USA, ale i Americe, vzhledem k rozsáhlému používání geneticky modifikovaných plodin, je problematika zatížení životního prostředí rezidui glyfosátu vážným problémem. V Evropě je však podle mého názoru riziko výrazně nižší, především díky přísné legislativě a propracovaným integrovaným systémům regulace škodlivých organismů. Je těžké se vyjádřit k současnému problému na základě informací, které jsou dostupné a ještě těžší je predikovat další vývoj, jelikož problém odborný se stal fenoménem ideologicky politickým.

Odpovídající náhrada glyfosátu v současné době není. Existuje celá řada látek, které mají podobný účinek, například kyselina pelargonová, případně Pyrafluen-ethyl. Tyto látky však nemají srovnatelný účinek a především jejich použití je několikanásobně dražší. Můžeme jenom doufat, že některá chemická firma má již ve zkouškách nějakou novou účinnou látku.

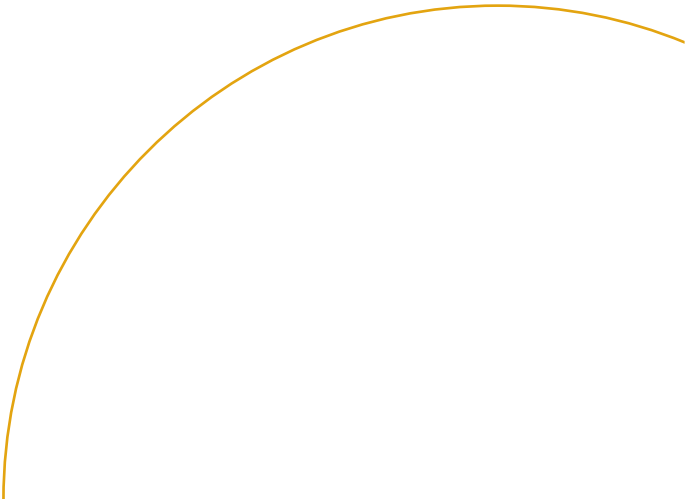
Při používání herbicidů se musí zemědělci řídit podle aktuálních informací ÚKZUZ zveřejňovaných na <http://eagri.cz/public/web/ukzuz/portal/pripravky-na-or/>



Bezorebné setí se neobejde bez aplikace glyfosátu



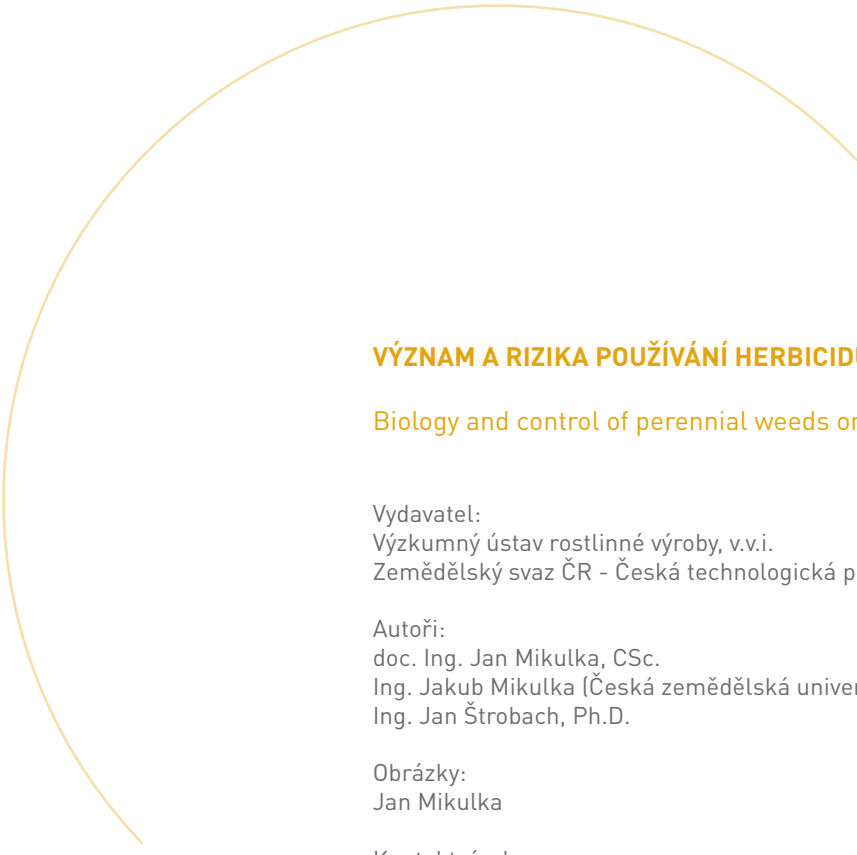
Orba a předseťová příprava patří mezi základní opatření v systémech regulace plevelů



8. PŘEHLED LITERATURY

1. Baylis A. D. (2020) Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pest Management Science* vol. 56. 299-308 s.
2. Beckie H. J. (2011) Herbicide-resistant weed management: focus on glyphosate. *Pest Management Science* vol. 67. 1037-1048 s.
3. Beckie H. J. Flower K. C. Ashworth M. B.: Farming without Glyphosate? (2020) *Plants* vol. 9.
4. Benbrook Ch. M. (2016) Trends in glyphosate herbicide use in the United States and global. *Environmental Sciences Europe* 3-28 s.
5. Bianchi L. Anunciato V. M. Gazola T. Perissato S. M. Dias R. C. Tropaldi L. Carbonari C. A. Velini E. D. (2020) Effects of glyphosate and clethodim alone and in mixture in sourgrass (*Digitaria insularis*). *Crop Protection* 138 s.
6. Bonny S. (2008) Genetically modified glyphosate-tolerant soybean in the USA: adoption factors, impacts and prospects. A review. *Agronomy sustainable* vol. 28. 21-32 s.
7. Cerdeira A. L. Duke S. O. (2006) The Current Status and Environmental Impacts of Glyphosate-Resistant Crops. *Journal of Environmental Quality* vol. 35. 1633-1658 s.
8. Cox C (1998) GLYPHOSATE (ROUNDUP). *Journal of pesticide reform* vol. 18. no 3.
9. Cuhra, M. (2015) Review of GMO safety assessment studies: glyphosate residues in Roundup Ready crops is an ignored issue. *Environmental Sciences Europe* 20-27s.
10. Danne M. Musshoff O. Schulte M. (2019) Analysing the importance of glyphosate as part of agricultural strategies: A discrete choice experiment. *Land Use Policy* vol. 86. 189-207 s.
11. Dill G. M. (2005) Glyphosate-resistant crops: history, status and future. *Pest Management Science* vol. 61s 219-224 s.
12. Duke S. O. (2011) Glyphosate Degradation in Glyphosate-Resistant and -Susceptible Crops and Weeds. *Food Chemistry* vol. 59. 5835-5841 s.
13. Duke S. O. (2018) The history and current status of glyphosate. *Pest Management Science* vol. 74. 1027-1034 s.
14. Duke S. O. Powles S. B. (2008) Mini-review Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Management Science* vol. 64. 319-325 s.
15. Duke S. O. Powles S. B. (2009) Glyphosate-Resistant Crops and Weeds: Now and in the Future. *AgBioForum* vol. 12. 146-357 s.
16. Feng D. Soric A. Boutin O. (2020) Treatment technologies and degradation pathways of glyphosate: A critical review. *Science of the Total environment* 742 s.
17. Fogliatto S. Ferrero A. Vidotto F. (2020) Current and Future Scenarios of Glyphosate Use in Europe: Are There Alternatives? *Advances in Agronomy Vol.* 163. 219-278 s.
18. Green J. M. (2007) Review of Glyphosate and ALS-Inhibiting Herbicide Crop Resistance and Resistant Weed Management. *Weed technology* vol. 21. 547-558 s.
19. Grosband E., Atkinson D. (1985.) *The Herbicide Glyphosate*. Butterwoths. London. 489 s.
20. Hartzler B. (2001) Glyphosate – A Review. *Integrated Crop Managment Conference*. 3 s.
21. Hasaneen M. N. A. (2011) *Herbicides : Properties, Synthesis and Control of Weeds*. Intechopen, 247-284 s.
22. Heap I. (2019) <http://www.weedscience.org/Home.aspx>
23. Heap I. Duke S. O. (2018) Overview of glyphosate-resistant weeds worldwide. *Pest Management Science* vol. 74. 1040-1049 s.
24. Krause J. L. Haange S. B. Schäpe S. S. Engelmann B. Rolle-Kampczyk U. Fritz-Wallace K. Wang Z. Jehmlich N. Türkowsky D. Schubert K. Pöppe J. Bote K. Rösler U. Herberth G. von Bergen M. (2020) The glyphosate formulation Roundup® LB plus influences the global metabolome of pig gut microbiota in vitro. *Science of Total Environment*. 745 s.
25. Keith S. (2017) What is the Problem with Glyphosate? *Outlooks on Pest Management* vol. 28. 173-174 s.
26. Khan S. Zhou J. L. Ren L. Mojiri A. (2020) Effects of glyphosate on germination, photosynthesis and chloroplast morphology in tomato. *Chemosphere* 258 s.
27. Leoci R. Ruberti M. (2020) Glyphosate in Agriculture: Environmental Persistence and Effects on Animals. A Review. *Journal of Agriculture and Environment for International Development* vol 114. 99-122 s.
28. Malalgoda M. Ohm J. B. Howatt K. A. Green A. Simsek S. (2020) Effects of pre-harvest glyphosate use on protein composition and shikimic acid accumulation in spring wheat. *Food Chemistry* 332 s.
29. Mensink H. Janssen P. (1994) *Environmental Health Criteria – Glyphosate*, WHO.
30. Mikulka J. (2014) *Plevelé polních plodin*. ProfiPress Praha. 179 s.

31. Mikulka J., Mikulka J. jun., Štrobach J., Slavíková Lucie. (2019) Rezistence plevelů vůči herbicidům. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha. 71 s.
32. Nandula V. K. (2010) Glyphosate resistance in crops and weeds. Wiley. 1-42 s.
33. Nandula V. J. Reddy K. N. Duke S. O. Poston D. H. (2005) Glyphosate – resistant weeds : current status and future outlook. *Outlooks on Pest Management* 183 s.
34. Powles S. B. (2008) Evolved glyphosate-resistant weeds around the world: lessons to be learnt. *Pest Management Science* vol. 64. 360-365 s.
35. Richmond M. E. (2018) Glyphosate: A review of its global use, environmental impact, and potential health effects on humans and other species. *Journal of Environmental Studies and Sciences* vol. 8. 416-434 s.
36. Sammons D. R. Gaines T. A. (2014) Glyphosate resistance: state of knowledge. *Pest Management Science* vol. 70. 1367-1377 s.
37. Shaner D. L. Lindenmeyer R. B. Ostlie M. H. (2012) What have the mechanisms of resistance to glyphosate taught us? *Pest Management Science* vol. 68. 3-9 s.
38. Shaner D. L. (2009) Role of Translocation as A Mechanism of Resistance to Glyphosate. *Weed Science* vol. 57. 118-123 s.
39. Singh S. Kumar V. Datta S. Wani A. B. Dhanjal D. S. Romero R. Singh J. (2020) Glyphosate uptake, translocation, resistance emergence in crops, analytical monitoring, toxicity and degradation: a review. *Environmental Chemistry Letters* vol. 18. 663-702 s.
40. Smith E. A. Oehme F. W. (1992) The biological activity of glyphosate to plants and animals: a literature review. *Veterinary and Human Toxicology* vol. 34. 531-543 s.
41. Steinmann H. H. Dickduisberg M. Theuvsen L. (2012) Uses and benefits of glyphosate in German arable farming. *Crop Protection* vol. 42. 164 -169 s.
42. Székács A. Darvas B. (2018) Re-registration Challenges of Glyphosate in the EU, *Frontiers in Environmental Science* vol. 6. 78 s.
43. Vila-Aiub M. M. Vidal R. A. Balbi M. C. Gundel P. E. Trucco F. Ghersa M. (2008) Glyphosate-resistant weeds of South American cropping systems: an overview. *Pest Management Science* vol. 64. 366-371 s.
44. Vila-Aiub M. M. Yu Q. Powles S. B. (2019) Do plants pay a fitness cost to be resistant to glyphosate? *New Phytologist* vol. 223. 532-547 s.
45. Williams G. M. Kroes R. Munro I. C. (2000) Safety Evaluation and Risk Assessment of the Herbicide Roundup and Its Active Ingredient, Glyphosate, for Humans. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* vol. 31. 117-165 s.



VÝZNAM A RIZIKA POUŽÍVÁNÍ HERBICIDU GLYFOSÁT

Biology and control of perennial weeds on agricultural land

Vydavatel:

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Zemědělský svaz ČR - Česká technologická platforma pro zemědělství

Autoři:

doc. Ing. Jan Mikulka, CSc.

Ing. Jakub Mikulka (Česká zemědělská univerzita, Praha – Suchbát)

Ing. Jan Štrobach, Ph.D.

Obrázky:

Jan Mikulka

Kontaktní adresa:

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i. Praha

Drnovská 507. 161 06 Praha 6 - Ruzyně

mikulka@vurv.cz

Lektorováno:

doc. Ing. Jiří Stach, CSc.

Grafika:

Pavla Brus Ortová

Tiskárna:

SYNERGIE: 4U s.r.o.

Vydání: první

Rok vydání: 2020

Náklad: 1000 výtisků

ISBN: 978-80-7427-336-0

Za obsahovou a jazykovou správnost díla odpovídají autoři.

