

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra zahradnictví



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Rezidua herbicidů v zelenině a možnosti jejich eliminace

Bakalářská práce

Autor práce: Ulyana Kravchenko

Obor studia: Zahradnictví

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

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci " Rezidua herbicidů v zelenině a možnosti jejich eliminace" jsem vypracovala 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 autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21.4.2023

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Jursíkovi, Ph.D. za vedení a odbornou pomoc při vypracování, pedagogickým i nepedagogickým pracovníkům České zemědělské univerzity v Praze za veškerou podporu v průběhu celého studia.

Dále bych chtěla poděkovat rodině a přátelům za pochopení, empatii a podporu mi projevenou v průběhu studia.

Rezidua herbicidů v zelenině a možnosti jejich eliminace

Souhrn

Použití herbicidů a množství jejich reziduí je téma, kterému je v moderní společnosti věnována velká pozornost, zejména pokud jde o zemědělskou výrobu.

Kromě legislativních požadavků, které je třeba dodržovat při používání pesticidů při pěstování plodin a zeleniny, čelí mnozí pěstitelé a obchodní řetězce společenskému tlaku spotřebitelů, kteří požadují minimální nebo dokonce žádný obsah reziduí herbicidů v potravinách.

Za účelem splnění výše uvedených kritérií jsou pěstitelé často nabádáni k dodržování konkrétních vypracovaných pokynů pro produkty, jako je produkce nízkoreziduální a bezreziduální. Bezreziduální produkce je obzvláště významná ve výrobě dětské výživy. Produkce, která se následně používá pro kojeneckou výživu, má velmi přísné prahové hodnoty MRL (maximální limit reziduí), nesmí obsahovat více než 0,01 mg/kg ve sklizené plodině.

Přestože je používání herbicidů v současné době nejúčinnějším přístupem k regulaci plevelů, představuje jejich používání četná rizika. Jde o negativní vliv na životní prostředí, dopad na necílové organismy, znečištění vody a potenciální toxicitu. To vše mohou způsobit rezidua herbicidů.

Jmenovaná rizika lze minimalizovat a často i eliminovat dodržováním správných pěstitelských postupů, jako je dodržování prahů účinnosti a intervalů před sklizní, optimalizací půdy na pěstebních plochách, správnou volbou herbicidní látky a jejího dávkování pro konkrétní plodinu. V případě aplikace postřikem hraje důležitou roli také kvalifikace operátora a použití kvalitního vybavení.

Při práci s herbicidy je důležité porozumět jejich chování v prostředí a v těle rostliny. Detekce reziduí herbicidů je v popsaném systému klíčovým prvkem. V současné době se používá vícero metod s různou mírou spolehlivosti a pozornost musí být věnována tomu, aby byly používány co nejpřesnější metody.

Nejnovější vynálezy v oblasti genetické modifikace rostlin nabízejí také alternativní řešení, poskytující specifické typy odrůd, které jsou herbicidům plně odolné.

Klíčová slova: herbicidy, rezidua herbicidů, herbicidy v zelenině, regulace plevelu, herbicidy v životním prostředí

Residues of herbicides in vegetables and possibilities of their elimination

Summary

Herbicide use and level of their residue is a topic that is paid high attention to in modern society, especially with regards to agricultural production.

Apart from legislative requirements that have to be complied with during use of pesticides in crops and vegetable growth, many growers and commercial retailers are faced with social pressure from consumers, who demand minimal if not non-existent content of herbicide residues in their food products.

In order to comply with the above criteria growers are often prompted to follow specific developed production guidelines, such as low-residue and non-residue production. Non-residue production has an especially big significance in regard to infant and baby food production. Produce that is consequently used for baby food has very strict MRL (maximum residue level) thresholds, it cannot contain more than 0,01 mg/kg in a collected crop.

Despite the fact that the use of herbicides is currently the most effective approach to weed control, their usage constitutes multiple risks. Negative impact on the environment, impact on non-target organisms, water pollution and potential toxicity can be caused by residues of herbicide substance.

Nevertheless, the named risks can be minimized and often even eliminated by following correct growing practises, such as complying with action thresholds and action pre-harvest intervals, optimization of soil on cultivation areas, correct choice of herbicide agent and its dosage for the specific crop. In case of spraying application, skills of the operator and availability of quality tools also plays an important role.

When working with herbicides it is important to understand their behaviour in the environment and in the plant body and consequent effects it has. Detection of levels of herbicide residue is a crucial piece in the described system. While currently multiple methods with different level of reliability are used, attention is paid to ensure that those methods are used as precisely as possible.

Latest inventions in plant genetic modifications also offer an alternative solution by providing specific crop types that are fully resistant to specific herbicides.

Keywords: herbicides, herbicide residues, herbicides in vegetables, weed control, herbicides in environment

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Historie vývoje pesticidů	3
3.2	Definice a členění herbicidů	4
3.3	Výskyt plevelů v porostech zeleniny	5
3.3.1	Výskyt plevelů v salátu.....	6
3.3.2	Výskyt plevelů v v košťálové zelenině.....	6
3.3.3	Výskyt plevelů v mrkvi	7
3.3.4	Výskyt plevelů v cibuli.....	7
3.4	Metody regulace plevelů	7
3.4.1	Nepřímé metody regulace	7
3.4.2	Přímé metody regulace.....	8
3.4.3	Alternativní způsoby regulace	8
3.4.4	Regulace plevelů při použití zakrývacích textilií	9
3.5	Chování herbicidů v půdě	9
3.5.1	Sorpce	9
3.5.2	Mobilita a proplavování.....	10
3.5.3	Vliv adjuvantů	10
3.5.4	Persistence herbicidů v půdě.....	11
3.5.5	Biotický způsob degradace	11
3.5.6	Abiotický způsob degradace	12
3.6	Reziduální působení herbicidů v půdě	12
3.7	Opatření při použití herbicidů	13
3.7.1	Úlet herbicidů	14
3.8	Aplikace herbicidů v zelenině a kumulace jejich reziduí	14
3.8.1	Košťálová zelenina	14
3.8.2	Salát.....	15
3.8.3	Cibule	16
3.8.4	Mrkev	17
3.9	Degradace herbicidů v zelenině	17
3.9.1	Dynamika degradace	17
3.9.2	Modely degradace	18
3.9.3	Metody detekce.....	19
3.10	Ekotoxický profil herbicidů a jejich environmentální zátěž	19

3.10.1	Vliv herbicidů na prostředí.....	21
3.10.2	Vliv herbicidů na necílové organismy a ochrana proti ní.....	22
3.10.3	Ochrana necílových organismů.....	22
3.11	Bezreziduální a nízkoreziduální produkce.....	23
3.12	Způsoby eliminace herbicidů	24
3.12.1	Agrotechnická opatření	24
3.12.2	Transgenóza.....	30
4	Závěr	32
5	Literatura.....	33

1 Úvod

V současném období globálních výzev (klimatických i populačních) je vysoká efektivita zemědělství jedním ze základních předpokladů pozitivního vývoje lidstva. Druhým nejvýraznějším pokrokem (po mechanizaci zemědělství) bylo objevení a využití pesticidů v zemědělství.

Více než polovinu z celkového podílu pesticidů celosvětově a v ČR tvoří herbicidy, jsou nejpožívanější látkou na ochranu rostlin (Šuk, 2021).

Přestože v poslední době pěstitelé mají větší zájem o ekologičtější způsoby hospodaření, herbicidy jsou základní technologickou součástí velkoplošného pěstování zeleniny (Šuk, 2021). Taky se uplatňují při regulaci plevelů v trávnicích, okrasných výsadbách a udržování veřejných ploch.

Zelenina je významně zastoupena v potravinové pyramidě (po obilninách, rýži, těstovinách a pečivu se jedná o druhou nejvíce zastoupenou kategorii potravin) (Potravinová pyramida v praxi, 2023). Způsoby pěstování zeleniny proto mají zásadní význam pro lidské zdraví. Zejména kvůli tomu, že zelenina je často spotřebována bez tepelné úpravy (čerstvá), a je ve velké míře používána k produkci dětské výživy.

S používáním herbicidů jsou ale spojená i určitá rizika. Jde o zbytky herbicidů a jejich exsudátů (rezidua herbicidů), které se mohou dostat do nežádoucích míst (proplavení, odpar atd.), a tím se stát nebezpečím pro zdraví člověka, živočichů a necílových rostlin (Jursík, 2021).

Dvě hlavní legislativní roviny, lokální a evropská, určují maximální přípustné hodnoty MRL (maximální limity reziduí) ve sklizené plodině. Pravidelně odebírané vzorky procházejí přísnou kontrolou a jsou testovány v akreditovaných laboratořích (MacLachlan, 2010). Význam této problematiky dokládá i fakt, že je relativně běžné, aby obchodní řetězce požadovaly od svých dodavatelů hodnoty pod legislativní normou (Kocourek, 2017). Jde o nízkoreziduální a bezreziduální produkci. V některých případech je bezreziduální produkce nezbytností, zejména v už zmíněné produkci dětských potravin.

2 Cíl práce

Bakalářská práce je zpracována na téma „Rezidua herbicidů v zelenině a možnosti jejich eliminace“.

Cílem práce je popsat a vyhodnotit jednotlivé postupy použití herbicidů při regulaci zaplevelení v porostech zeleniny, chování jejich reziduí v okolním prostředí a případná rizika s tím spojená. Dále se práce zaměřuje na přehled metod, podle kterých by měl současný pěstitel postupovat, aby dosáhl optimálního výnosu plodiny a zároveň minimalizoval rizika pro spotřebitele a životní prostředí.

3 Literární rešerše

3.1 Historie vývoje pesticidů

Od začátku zemědělství způsobovaly plevely pěstitelům velké ztráty na výnosech pěstovaných plodin. Pěstitelé se většinou zaměřovali na pěstování jednotlivých druhů (monokultur) nebo omezeného počtu druhů, často podle chuťové preference a obchodního potenciálu. Tento způsob neodpovídal principům fungování přirozeného ekosystému. (Jursík a kol., 2018).

Podle Unswortha (2010) se ztráty způsobené škůdci a chorobami pohybují v rozmezí 10-90 % (35-40 % u potravinářských plodin) dokonce i v dnešní době, bez ohledu na to, že pozorujeme velký vědecký pokrok v zemědělství. Proto vždy existovala velká snaha hledat způsoby, jak problémy způsobené škůdci a chorobami překonat (Unsworth, 2010).

V minulosti se plevely odstraňovaly pouze ručním pletím a později pomocí mechanizace (plečkování), což vyžadovalo mnoho lidské práce. Využívalo se také víceletého úhorování, které vedlo k poklesu zaplevelení na pozemku. Postupem času se víceletý úhor zkracoval až na jednoletý. I tak bylo úhorování velmi účinné regulační opatření. (Jursík a kol., 2018).

V 19. století už pěstitelé začali vytvářet osevní postupy, při čemž střídali plodiny s odlišným způsobem pěstování a konkurenční schopností, což byl efektivní způsob eliminace zaplevelení. S následným rozvojem vědy a technologií se intenzita zemědělství zvýšila. Ruční práce začala být drahá a se zavedením organických herbicidů došlo k naprosté změně strategie regulace plevelů (Jursík a kol., 2018).

Až do 40. let 20. století se pro eliminaci škůdců stále hojně používaly anorganické látky, například chlorečnan sodný a kyselina sírová i látky organického původu. Výrazná část pesticidů byly vedlejšími produkty výroby uhlénohenného plynu (Unsworth, 2010).

Pro eliminaci plevelů se ve stejné době používaly anorganické snadno degradovatelné herbicidy na bázi dusíkatého vápna. Dalšími používanými látkami byly dinitrofenoly a další deriváty krezolu (Jursík a kol., 2018). Nevýhodou mnoha těchto přípravků byla jejich vysoká aplikační dávka, nedostatečná selektivita a fytotoxicita (Unsworth, 2010).

Ve 40. letech 20. století byl při testování a použití některých látek jako chemických zbraní v průběhu 2. světové války objeven herbicidní účinek syntetických auxinů. Šlo o velký pokrok v regulaci plevelů, neboť se jednalo o první selektivní herbicidy (Jursík a kol., 2018).

V této době se veřejnost ještě nezajímala o možná zdravotní rizika spojená s používáním pesticidů. V 70. a 80. letech 20. století byl uveden na trh nejprodávanější herbicid na světě, glyfosát. V 90. letech se výzkumná činnost soustředila na hledání nových látek, které by měly větší selektivitu a lepší environmentální a toxikologické profily. V tomto období došlo také ke zdokonalení již existujících přípravků z hlediska způsobů jejich použití (Unsworth, 2010).

V současné době se soubor mechanismů ochrany rostlin rozšířil pomocí používání geneticky modifikovaných plodin, které vykazují odolnost vůči herbicidům způsobujícím proti širokému spektru plevelu a konkrétním škůdcům. Z hlediska regulace škůdců, má v současné době velké uplatnění takzvaný systém integrované ochrany proti škůdcům (IPM – integrated pest management), který omezuje rozvoj populace škůdců bez užití chemických látek (Unsworth, 2010).

IPM je soubor nástrojů založených na prevenci, které umožňují bojovat proti škůdcům nejen pomocí pesticidů ale pomocí mechanické kontroly, kulturní kontroly (úklid a dezinfekce), vzdělávání a hormonální kontroly (Integrated Pest Management, 2023).

3.2 Definice a členění herbicidů

Díky svojí biologické aktivitě ovlivňují herbicidy zásadní fyziologické vlastnosti a procesy rostlin. Jsou to chemické látky určené k poškození a následnému odumření nežádoucích rostlin (plevelů). (Jursík a kol., 2018)

Jde o chemické látky určené k regulaci plevelů, které mají velký význam při údržbě nezemědělské půdy (například údržba komunikací, veřejných ploch). Herbicidy se využívají i při odplevelení trávníků, jak sportovních, tak i rekreačních. Údržba okrasných ploch, jako jsou květinové záhony často vyžaduje odplevelené pomocí použitím herbicidu (Romerova, 2021). Podle Cobbu a Reade (2010) se herbicidy před použitím často míchají s dalšími látkami jako adjuvanty nebo voda. Distribuují se buď v kapalně nebo pevné podobě. (Cobb a Reade, 2010).

Podle Mikulky a Kneifelové (2008) je znalost biochemické aktivity herbicidu významná především z hlediska selekce odolných druhů a rezistence v plevelných společenstvech při dlouhodobém používání přípravků se stejným mechanismem účinku. Herbicidy jsou řazené do několika skupin podle různých hledisek. Dle mechanismu účinku dělíme herbicidní přípravky na syntetický auxiny (početná skupina, projevuje se deformací rostliny), inhibitory syntézy aminokyselin (herbicidy ze skupiny sulfomočoviny, triazolopyrimidinů, imidazolinů a glyfosátů), inhibitory fotosyntézy, inhibitory buněčného dělení, inhibitory biosyntézy karotenoidů a inhibitory acetyl – CoA – karboxylázy (Mikulka a Knefelová, 2008).

Z hlediska účinku dělíme herbicidy na selektivní a neselektivní. Selektivní herbicidy se zaměřují na konkrétní biologické skupiny. Tento jev je umožněn kvalitativními rozdíly mezi plevelem a pěstovanou rostlinou. Přičemž neselektivní herbicidy ničí veškerou vegetaci (Mikulka a Knefelová, 2008).

Dále je dle způsobu účinků členíme na kontaktní (dotykové), působící systémově a herbicidy sterilizující půdu. Dle způsobu příjmu rostlinou – přijímané listy a kořenovým systémem (Mikulka a Knefelová, 2008).

Díky vysoké účinnosti, jsou často používané listové graminicidy. Jde o graminicidy inhibující enzym Acetyl-CoA - karboxylázu trávovitých plevelů, které mají vysokou selektivitu v rostlinách. Kontaktní listové herbicidy mají lepší účinek na nevytrvalé než vytrvalé plevele. Po kontaktu s roztokem jsou poškozené a následně odumírají nadzemní části plevelných rostlin. Kořenový systém, který je u vytrvalých plevelů velmi dobře rozvinut, bývá přitom skoro nezasážen, což může vést k opakovanému prorostru plevelu (Šuk, 2021).

Šuk (2021) také uvádí, že efektivita listových herbicidů bývá vyšší při použití na dvouděložné rostliny a nižší na trávy. Systemické listové herbicidy jsou transportované v těle rostliny xylémem nebo floémem (Šuk, 2021).

Dle doby aplikace herbicidy členíme na preemergentní, post emergentní a aplikované při předset'ové aplikace (tento způsob je poměrně málo rozšířen) (Mikulka a Knefelová, 2008).

Preemergentní herbicidy jsou přijímané především kořenovým systémem rostliny. Herbicid používaný preemergentně se aplikuje ve větší dávce vody podle Jursík et al. (2018), pro rovnoměrné vytvoření herbicidního filmu na povrchu půdy.

Podle Suka (2021) herbicidy přijímané kořeny jsou transportovány převážně xylémem ve směru transpiračního proudu. Aplikace se provádí před vzejitím zeleniny, ale už po zasetí (Šuk, 2021).

Postemergentní herbicidy jsou aplikované herbicidy přijímané přes listy nebo současně listy a kořeny. V době aplikace postemergentního herbicidního přípravku už jsou vzešlé často jak plodiny tak i samotné plevele (Šuk, 2021).

3.3 Výskyt plevelů v porostech zeleniny

V dnešní době pozorujeme snížení druhové pestrosti agrofytocenóz. V seznamu vyhynulých a ohrožených druhů a poddruhu rostlin je zaznamenáno kolem 150 polních plevelů. Nicméně, snížení druhového počtu neznamená že se snižuje celkové zaplevelení pozemků, spíše naopak (Jursík a kol., 2018).

Nejvíce se vyskytují druhy, které jsou lépe přizpůsobené aktuálním pěstebními technologiím a klimatickým podmínkám. Takové druhy se stávají významnými plevele, jejichž regulace bývá obtížná. Následně může dojít k výraznému nárůstu celkového zaplevelení v konkrétních pěstebních oblastech (Jursík a kol., 2018).

Mezi faktory ovlivňující výskyt plevelů na pozemku patří intenzita zpracování půdy, struktura pěstovaných plodin, jejich konkurenční schopnost, hnojení a strategie regulace plevelů. Dlouhodobě opakované používání stejných herbicidů vedou k adaptaci plevelných rostlin a vývoji resistance (Jursík a kol., 2018).

Dlouhodobé opakované pěstování plodin se stejnou bionomií má za následek selektování druhů se stejnou bionomií. Například, při opakovaném pěstování ozimých plodin dochází

k většímu výskytu ozimých plevelů, jako svízel přitula, violka rolní, chundelka metlice. Omezení zpracování půdy podporuje výskyt vytrvalých plevelů, jako jsou pýr plazivý a pcháč rolní (Jursík a kol., 2018).

Při pěstování zeleniny se nejčastěji setkáme s pozdně jarními a vytrvalými plevele, nicméně v zeleninových porostech se vyskytují téměř všechny druhy plevelů. Vytrvalé plevele jsou schopny se prosadit bez ohledu na termín založení porostu, a proto způsobují velké problémy při pěstování zeleniny. Pcháč rolní a pýr plazivý patří mezi nejvýznamnější vytrvalé druhy plevelu. Některé z vytrvalých plevelů preferují pozemky s vyšší hladinou podzemní vody nebo častější závlahou, jde především o přesličku rolní, rdesno obojživelné, rukev rolní atd. (Jursík a kol., 2018).

Vyšší intenzita zaplevelení podporuje výskyt chorob a škůdců v porostech plodin. Plevelné druhy jako peníze rolní, kokoška pastuší tobolka jsou hostiteli řepkových chorob a škůdců. Také tyto plevele bývají odolné vůči preemergentním půdovým herbicidům a prokazují dlouhou životnost v půdě. To je třeba brát v úvahu při plánování osevních postupů (Jursík et al. 2016).

3.3.1 Výskyt plevelů v salátu

Při pěstování salátu je důležité brát na vědomí jeho krátkou vegetační dobu a následně nízkou schopnost konkurence s plevelnými rostlinami (Jursík, 2018).

Podle Šuka (2021) se v prostorech salátu uplatňují především plevele s rychlou dynamikou růstu a vývoje. Takovými plevele jsou například časté jarní druhy jako oves hluchý a hořčice rolní. Mohou se však vyskytovat i ozimé plevele, jako kokoška pastuší tobolka, hluchavka, peníze rolní. Pozdní jarní plevele jako merlík bílý se mohou vyskytovat i v jarních porostech (Šuk, 2021).

3.3.2 Výskyt plevelů v v košťálové zelenině

Při pěstování brokolice a kvěťáku může větší zaplevelení způsobit docela velké ztráty, jelikož jsou citlivější na zaplevelení porostu. Kapusta a zeli ale mají docela vysokou konkurenční schopnost vůči plevelům (Šuk, 2021).

Nejvýznamnější časný jarní plevel vyskytující se v porostech košťálové zeleniny je hořčice rolní. Ozimé druhy jako peníze rolní nebo kokoška pastuší tobolka mohou taky zaplevelovat rané výsadby (Jursík a kol., 2016).

Největší problém pro košťálovou zeleninu způsobují brukvovité plevele, jelikož jsou odolné k mnoha herbicidním látkám a často jediným způsobem regulace těchto plevelů je celková přestávka pěstování brukvovité zeleniny na dotyčném pozemku po dobu několika let (Šuk, 2021).

3.3.3 Výskyt plevelů v mrkvi

Kořenová zelenina je poměrně dobře schopná konkurovat plevelným druhům, avšak je důležité růst plevelu potlačit na začátku vegetace (Jursík a kol., 2016).

Šuk (2021) uvádí, že kritické období z hlediska zaplevelení trvá u mrkve tři až pět týdnů po jejím vzejití. V porostech mrkve se mohou vyskytovat vytrvalé plevele, například jitrocele, pcháč rolní, svlačec rolní. Největší problémy způsobují plevelné druhy vzcházející v průběhu vegetace po několika etapách. Za dominantní druhy se považují rdesna a merlíky (Šuk, 2021).

V tom případě, že na pozemku byly předtím pěstované brambory, se nedoporučuje zakládat porost mrkve. Také se nedoporučuje je zakládat na pozemcích s výskytem miříkovitých plevelů (Šuk, 2021).

3.3.4 Výskyt plevelů v cibuli

Téměř všechny druhy plevelu mohou zaplevelit cibulový porost (Jursík, 2021).

Cibule má nízkou konkurenční schopnost vůči plevelům. Plevelní druhy, obzvláště ty, které mají větší pevný stonek a tvrdou lodyhu, představují pro cibule největší nebezpečí. Jelikož rostou časněji a rychleji než cibule, výrazně potlačují její růst a mohou způsobit výrazné snížení výnosů. K takovým plevelům patří laskavec, merlík, durman obecný atd. (Šuk, 2021).

3.4 Metody regulace plevelů

Šuk (2021) uvádí, že plodiny a plevele spolu vytvářejí agrofytocenózy neboli společenstva rostlin na orné půdě. V následku těchto interakcí, alespoň jeden z účastníků se druhů této interakce trpí kvůli následkům vysoké konkurence nebo parazitizmu. Hostitelské plodiny jsou často parazitickým plevelem ochuzené o živiny a vodu, které jsou nezbytné pro jejich růst. Tyto plevele jsou dále schopné vylučovat kořenové exsudáty, které působí nepříznivě na vývoj jiných rostlin. Důsledkem těchto antagonistických vztahů je snižování výnosu a kvality (Šuk, 2021).

Například nádorovka kapustová (*Plasmodiophora brassicae*) se vyskytuje na všech brukvovitých plevelech a způsobuje jednou z nejproblematictějších chorob brukvovitých – nádorovost košťálovin. V současné době je jediným spolehlivým způsobem ochrany zamořeného pozemku přerušeni pěstování brukvovitých na dobu osmi let (Šuk, 2021).

Šuk (2021) taky varuje že nezbytným předpokladem úspěšné regulace plevelů je schopnost diagnostikovat jednotlivé druhy v raných růstových fázích.

3.4.1 Nepřímé metody regulace

Nepřímé metody regulace plevelů jsou preventivní opatření, které omezují nárůst zaplevelení nebo zamezují zaplevelení novými plevele. Mezi účinné preventivní opatření řadíme používání čistého osiva, péče o statková hnojiva, vhodně zvolený osevní postup, pěstování meziplodin atd. (Jursík a kol., 2018).

3.4.2 Přímé metody regulace

Nejvýznamnější přímou metodou regulace plevelu je aplikace herbicidů. Mezi největší výhody chemické ochrany proti plevelům patří relativně nízká nákladnost a nízká náročnost na lidskou práci (Jursík a kol., 2018).

První vysoce účinné organické herbicidy byli objeveny v polovině 20. století. Během několika let se herbicidy staly základním způsobem regulace plevelů. Nicméně s jejich používáním jsou spojena také jistá rizika (Jursík a kol., 2018).

Herbicidy mají dnes největší význam ze všech pesticidů. Postupem času se začaly používat ve velkoobchodní produkci polní zeleniny, a ne jenom na oddělených porostech hospodářsky významných plodin. Herbicidy jsou organické látky, ale synteticky vyráběné a jejich rezidua mohou nepříznivě ovlivnit jak zdraví člověka, tak i okolní prostředí. Nejčastěji používanou metodou aplikace u herbicidů je postřik (Šuk, 2021).

Tyto látky mohou mít negativní vliv na operátora aplikace, na prostředí a také na zdraví konzumenta. Mezi pesticidní rizika používání herbicidů patří fytotoxicita zasažené plodiny a reziduální působení na následné plodiny (Jursík et al. 2018).

3.4.3 Alternativní způsoby regulace

Mechanické zásahy jako okopávka a ruční pletí jsou možností regulace plevelů, když nemůžeme nebo nechceme použít herbicidy (Jursík a kol., 2016).

Plečkovaní pomáhá provzdušnit půdu a narušit kapilaritu, podporuje půdní biologickou aktivitu. Možná je i kombinace plečkovaní a použití herbicidů, možné je také opakování zásahu několikrát za vegetační období (Jursík a kol., 2016).

Při kombinaci mechanických a chemických zásahů musíme brát v úvahu, že plečkovaní může rozrušit herbicidní film na povrchu půdy a tím pádem negativně ovlivnit účinnost půdního herbicidu, který byl použit těsně po nebo těsně před výsadbou. Často proto dochází k hromadnému vzcházení plevelů krátce po plečkovaní (Jursík a kol., 2016).

K regulaci plevelů lze využít také nejrůznější mulčovací materiály, nejčastěji mulčovací folie, recyklovaný papír, speciální textilie apod. Tato metoda se vyplatí na velmi zaplevelených obtížně regulovatelných plochách. Přičemž náklady na plečkovaní či herbicidy jsou výrazně nižší než na zmíněné mulčovací materiály. Obtížně se taky v tomto případě provádí hnojení během vegetace (Jursík a kol., 2016).

Ve snaze eliminování reziduí herbicidů je prokázáno, že integrovaný systém regulace plevelů přináší nejlepší výsledky. Ten se skládá jak s přímých metod regulace, tak i z celého souboru preventivních metod. Do preventivních metod patří střídání plodin, vytvoření optimálních podmínek pro zvýšení jejich schopnosti konkurence, výsev čistého osiva atd. (Šuk, 2021).

Nejradikálnějším způsobem zásahu do plevelných společenstev je herbicidní metoda. V porovnání s ostatními opatřeními (přímými a nepřímými) prokazuje největší efektivitu. Zároveň se ale plevelná společenstva dokážou adaptovat a vybudovat rezistenci vůči i těm

nejúčinnějším herbicidním látkám. Je proto zásadní střídání přípravků a následné rozšíření spektra účinnosti v rámci sestavení osevních postupů (Šuk,2021).

3.4.4 Regulace plevelů při použití zakrývacích textilií

Za účelem rychlení zeleniny a ochrany před škůdci a nízkými teplotami, se používají netkané textilie. Pod textilií je vyšší teplota, která vyhovuje teplomilným plevelům, které rostou velmi rychle, často rychleji než plodiny. Po sejmutí textilie je eliminace plevelných rostlin velmi obtížná (Jursík a kol., 2016).

Při použití netkané textilie měníme mikroklimatické podmínky pod ní, což vede k výrazným změnám podmínek pod textilií. Následně se mění i chování půdního herbicidu nacházejícího se pod ní. Selektivita herbicidu může být snížena, přičemž je důležité brát v úvahu nutnost snížení dávky aplikovaného půdního herbicidu, jelikož pod textilií se pomaleji rozkládá a v důsledku vyšší teploty a následného odpařování může být zbytečně intenzivně přijímán listy plodiny. Toto opatření je obzvláště důležité v případě raných výsadeb v březnu, jelikož jsou často herbicidními látkami poškozovány (Šuk,2021).

3.5 Chování herbicidů v půdě

Podle Šuka (2021) se všechny herbicidy dostávají do kontaktu s půdou bez ohledu na způsob a termín aplikace, jsou-li aplikovány přímo nebo jsou smyty z nadzemní části rostliny.

Chování v půdě je důležité především u preemergentní aplikace půdních herbicidů. Chování herbicidu v půdě je ovlivněno mnoha biotickými a abiotickými faktory (Jursík a kol., 2016).

Kvalitní příprava půdy, včetně vhodné závlahy, je zásadní pro efektivitu půdních herbicidů, které se aplikují před výsadbou nebo krátce po výsevu plodiny. Často se doporučuje provést závlahu před nebo krátce po výsadbě. Podle struktury půdy se často upravuje dávka herbicidu, s ohledem na zrnitostní složení a sorpční schopnost půdy (Jursík a kol., 2016).

Nejvyšší účinnosti se u preemergentních herbicidů dosáhne, pokud se podaří provést aplikaci v průběhu mírného deště nebo současně s mírnou závlahou. Vysychání vrchní vrstvy půdy má za následek snížení účinnosti. U zelenin k tomu často dochází u letních výsadeb (Jursík a kol., 2016).

3.5.1 Sorpce

Pevnost poutání herbicidů v půdě závisí na půdní kationtové výměnné kapacitě. Ta je definovaná schopností půdy poutat kationty z půdního roztoku. V půdách ČR převládají půdní koloidy se záporným nábojem, které mohou být různého původu – organického, minerálního a organomineralního. Pro sorpci většiny herbicidů má klíčový význam především obsah půdní organické hmoty (Jursík a kol., 2016).

Pro číselné vyjádření pevnosti sorpce se často používá Freundlichův adsorpční koeficient. S růstem síly sorpce herbicidu roste i Freundlichův adsorpční koeficient (Jursík a kol., 2016).

Významný vliv má sorpce i na úroveň degradace herbicidů a následný příjem reziduí rostlinami. Čím více je látka sorbovaná na koloidní systém půdy, tím méně se uplatňuje následná mikrobiální degradace. Toto zabraňuje vertikálnímu pohybu herbicidu a jeho průniku do podzemních vod, což snižuje riziko jejich kontaminace (Agrochémia 2005).

3.5.2 Mobilita a proplavování

Rozpustnost jednotlivých herbicidů ve vodě výrazně ovlivňuje jeho chování v půdě. Látky s nízkou rozpustností jsou v půdě obtížně transportovatelné. Pokud se herbicidu podaří proplavit hlouběji do půdy, kde je nižší mikrobiální aktivita, perzistence v půdě se obvykle výrazně zvyšuje (Jursík a kol., 2016).

Vertikální transport (proplavování) herbicidů v půdě převládá na lehčích a propustných půdách, na těžkých půdách je častý vertikální pohyb preferenčními cestami (markropóry). Povrchový odtok (horizontální transport) se uplatňuje na svažitých pozemcích. Proplavení herbicidů také hrozí při závlaze a srážkách převyšujících 40 mm na těžších půdách a 20 mm na lehčích půdách (Jursík a kol., 2016).

Šuk (2021) uvádí že nejčastěji jsou v povrchových vodách ČR nacházeny terbuthylazin, chlorotoluron, isoproturon, diuron, acetochlor, metolachlor, metazachlor a jejich metabolity. Terbuthylazin, terbutryn, diuron, linuron, alachlor bývají nejčastěji nacházeny v sedimentech vodních toků.

Herbicidy jsou aktuálně cíleně testovány z hlediska mobility v půdě. Herbicidy s vyšší půdní mobilitou, jsou částečně nebo úplně restringovány, aby nedocházelo ke kontaminaci vodních zdrojů (Jursík a kol., 2016).

3.5.3 Vliv adjuvantů

V současné době se rozšiřuje použití adjuvantu současně s půdními herbicidy. Adjuvanty jsou látky, které usnadňují a urychlují účinek herbicidu tím, že se zvyšuje přilnavost kapek. Součástí adjuvantu jsou polymerní látky, poutající molekuly herbicidu na půdní koloidy. Tímto působením omezují vertikální transport herbicidu v půdě (Šuk, 2021)

Použití některých adjuvantů pomáhá omezení proplavení. Pokud se adjuvant použije ve správné dávce, může zabránit nebo minimalizovat poškození pěstované plodiny, obzvláště na rizikových částech pozemku (Jursík a kol., 2016). Může dojít až k desetinásobnému snížení dávkování účinné látky herbicidu, když se použije správně zvolený adjuvant (Jursík a kol., 2019).

Přestože mají adjuvanty mnoho různých pozitivních vlivů, nelze však tvrdit, že mohou být použity univerzálně. Jako případně následky chyby při zvolení typu adjuvantu lze uvést snížení selektivity k plodině a snížení účinnosti. Poškození rostliny způsobené špatnou volbou látky se mohou vyskytovat v podobě poškození povrchových struktur a mít za důsledek nápad rostliny chorobami a škůdci. (Jursík a kol., 2018)

3.5.4 Persistence herbicidů v půdě

Rezidua herbicidu s dlouhou perzistencí v půdě mohou poškozovat následné plodiny (Jursík a kol., 2016). Romerová (2021) definuje perzistence jako vlastnost herbicidu, která má schopnost dlouhodobě setrávat v půdním prostředí, bez jakékoliv přeměny. V průběhu času se většina látek v půdě rozkládá v důsledku probíhajících chemických a mikrobiologických reakcí (Romerová, 2021).

Perzistence se také dá definovat jako čas, za který molekula zůstává ve svém původním stavu v půdě. Nejběžněji perzistence je vyjádřena jako poločas rozpadu, což určuje čas, za který cizorodá látka sníží svoji koncentraci na 50 % ve srovnání se počátečním stavem. Když je hodnota poločasu rozpadu vysoká, lze uvést, že taková látka může způsobit podstatný zásah do životního prostředí. To platí i pro případ, kdy je látka méně toxická (Blasioli a kol., 2011).

Poločas rozpadu herbicidu v půdě se vyjadřuje jako DT50, což je doba, za kterou se rozloží 50 % účinné látky. Existují rovněž hodnoty DT10 a DT90, které stanoví, za jaký čas se rozloží 10, resp. 90 % látky (Jursík a kol., 2016).

Kerle a kol. (1994) klasifikuje herbicidy podle perzistence jako perzistentní (poločas rozpadu je více než 100 dní), středně perzistentní (od 35 do 100 dní) a neperzistentní (poločas rozpadu do 30 dní).

Během degradace se postupně odbourávají fyto toxické části herbicidů, v důsledku čehož se stávají neaktivní a neschopné poškozovat rostliny (Jursík a kol., 2016).

3.5.5 Biotický způsob degradace

Nejčastější způsob degradace herbicidů je biotický, tedy způsobený živými organismy. Tento proces je výrazně ovlivněn vlastnostmi půdy, zejména její mikrobiální aktivitou, která je ovlivňována teplotou, vlhkostí a pH půdy. V závislosti na výše zmíněných půdních podmínkách, se liší aktivita půdních mikroorganismů, které jsou zásadní při zmíněné biotické transformaci chemických látek. Mezi mikroorganismy, které se podílí na biotické degradaci patří houby, bakterie a aktinomycety (Jursík a kol., 2016).

Biotické reakce se dělí na akumulární (látky akumulované v mikroorganizmech), biodegradární (látky jsou využité mikroorganizmem jako substrát), kometabolismus

(metabolicky transformované látky), konjugaci nebo polymeraci (látky jsou navázané na organické molekuly) (Blasioli a kol., 2011; Šarjaková, 2005).

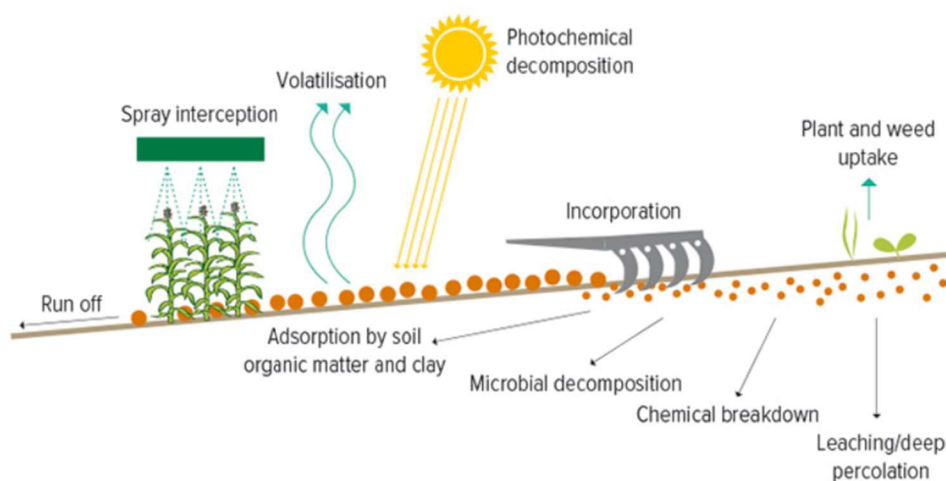
Pomalejší degradace bývá v půdách těžších, vlhčích a s nedostatkem kyslíku. Takové půdy poskytují méně příznivé podmínky pro zmíněné mikroorganismy (Jursík a kol., 2016).

Plevele a plodina mají důležitou roli při degradaci (metabolizaci) herbicidů – jsou schopné chemické sloučeniny přijmout a rozkládat (Jursík a kol., 2016).

3.5.6 Abiotický způsob degradace

Na rozdíl od biotického způsobu, při abiotické degradaci dochází málokdy k úplnému rozkladu účinné látky. Na abiotickém (chemickém) rozkladu se podílí především oxidačně-redukční procesy a hydrolýza. Fotochemické procesy také mohou mít vliv na proces degradace některých herbicidů. Tyto procesy přeměňují vlastnosti herbicidů. Vzniklá rezidua ztrácejí svoji fytotoxicitu, nicméně z půdy nezmizí úplně (Jursík a kol., 2016).

Obvykle platí, že čím větší molekulovou hmotnost má herbicid, tím delší čas je třeba k úplnému rozpadu (Jursík a kol., 2016).



Obrázek č. 1: Faktory ovlivňující degradaci a ztráty reziduí herbicidů (Kongreve, 2023).

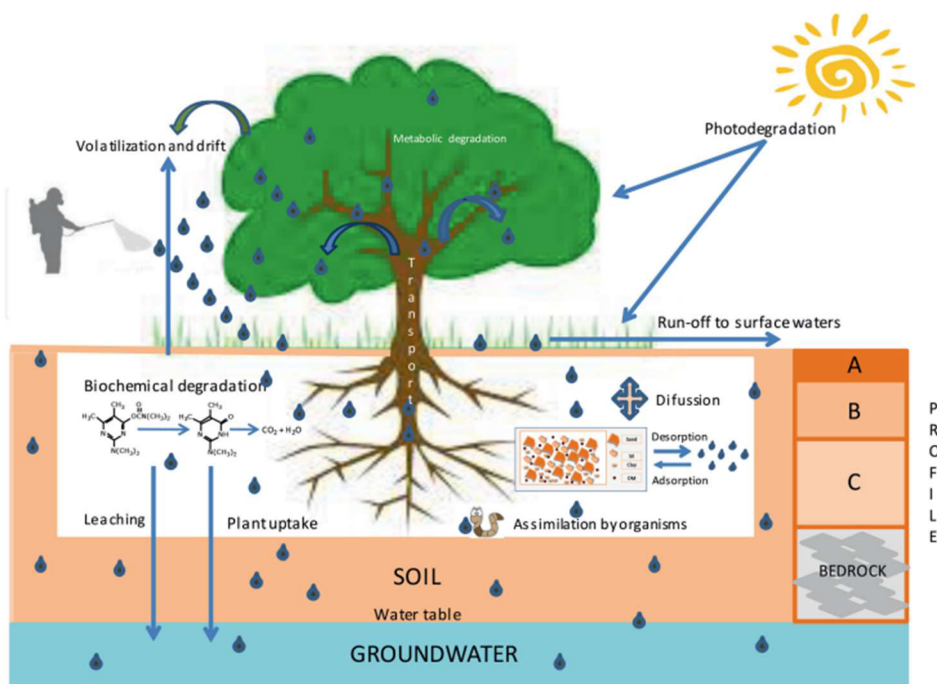
3.6 Reziduální působení herbicidů v půdě

Reziduální působení půdních herbicidů může trvat několik dní až několik měsíců. Na délku reziduálního působení má vliv především struktura půdy a její biologická aktivita, srážky, teplota, typ herbicidu a jeho dávka. Delší reziduální působení je zpravidla vyšší na pozemcích s těžkou a biologicky méně aktivní půdou (Jursík a kol., 2016).

Teplota půdy významně ovlivňuje rychlost rozpadu herbicidů, při nižší teplotě je rozpad pomalejší. Velmi významný vliv na rychlosti rozpadu herbicidů má vlhkost půdy a množství

srážek. Za sucha herbicid zůstává nasorbovaný v pudě a uvolňuje se až s následnými intenzivními srážkami a může pak poškodit následnou plodinu (Jursík a kol., 2016).

Naopak na lehčích a propustnějších půdách může dojít k proplavení herbicidu, zejména při intenzivnějších srážkách. Tímto způsobem se herbicid dostává ke kořenům plodiny a může působit fytotoxicky (Jursík a kol., 2016).



Obrázek č. 2: Chování a osud pesticidu v půdě (Pérez-Lucas a kol., 2018).

3.7 Opatření při použití herbicidů

Při pěstování plodin je třeba posoudit vliv residuů používaných herbicidů na následné plodiny (Jursík, 2016).

V sušších podmínkách a při použití minimalizačních technologií zpracování půdy bývá větší riziko výskytu zbytků herbicidů v půdě. Při nepříznivých podmínkách je lepší dávat přednost herbicidům s listovým příjmem. V těchto situacích je také možné použít přípravky s krátkou perzistencí. Taková opatření se týkají především pozemků s těžkou půdou s vyšším pH (Jursík, 2016).

Podle Jursíka a kol. (2016) by neměl být pěstován salát, brukvovitá zelenina a řepka na pozemcích, kde ve stejném roce byly použity přípravky obsahující metribuzin.

3.7.1 Úlet herbicidů

Použití herbicidů představuje rizika i v podobě úletu na sousední plochy, část účinné látky je nanesena na necílovou plochu. Operátor aplikace by měl vzít v úvahu aktuální povětrnostní podmínky, konkrétně směr a rychlost větru a srážky (Jursík a kol., 2016). Romerová (2021) uvádí, že před aplikací je důležité zkontrolovat povětrnostní podmínky v době aplikace pro jejich zásadní vliv na kvalitu postřiku.

Kapalina je nejčastěji unášena větrem z postřikovače v průběhu zahájení aplikace. Úlet, ke kterému došlo tímto způsobem, už nelze eliminovat. Dodržováním stanovených technických a technologických postupů se ale dá budoucí úlet omezit (Jursík a kol., 2016).

Při necílovém úletu může dojít k poškození sousedních citlivých plodin a necílových ploch. V neposlední řadě může dojít i k negativnímu vlivu na zdraví člověka (Harašta 2017).

Za nejlepší čas aplikace se proto považuje ranní doba a podvečer, a to kvůli lepším povětrnostním podmínkám (Jursík a kol., 2016).

Také lze zabránit úletu herbicidu volbou správné aplikační techniky a trysek (Jursík a kol., 2016).

Úlet bývá způsoben nerovnoměrným tlakem v tryskách, nerovností postřikovače a malými kapkami (Harašta, 2020)

Harašta (2018) rozlišuje úlet dvou typů na úlet větrem a úlet výparem. Úlet větrem častěji znečišťuje okolní prostředí. Úlet výparem je způsoben odpařováním látky za předpokladu, že se aplikace provádí při vyšších teplotách (nad 25 stupňů Celsia). Odpařuje se voda spolu s herbicidní látkou a je vynášena vzhůru, čímž se látka unáší větrným proudem (Harašta 2018).

3.8 Aplikace herbicidů v zelenině a kumulace jejich reziduí

3.8.1 Košťálová zelenina

Košťálová zelenina s krátkou vegetační dobou, je jedna z nejvíc ohrožených zelenin z hlediska kumulace reziduí herbicidů. Jde především o kedlubny (Jursík a kol., 2021).

Pozdní zelí nebo kapusta nejsou tak ohrožené, zde kontaminace půdními herbicidy není tak pravděpodobná za předpokladu, že jejich ošetření bylo provedeno na počátku vegetace (Jursík 2021).

Při pěstování košťálové zeleniny jsou půdní herbicidy aplikované před výsadbou nebo krátce po výsadbě. Mezi účinnými látkami doporučenými různými autory jsou pendimethalin, napropamide, clomazone a v určitých případech jejich kombinace (Šuk, 2021).

Jursík a kol. (2016) varují, že postemergentní aplikace v kedlubnách není vhodná z důvodu krátké vegetační doby a nemožnosti dodržení ochranné lhůty.

Jelikož kedlubny jsou také citlivé na herbicidy a mají kratší vegetační dobu, často tak může dojít k jejich poškození. Nejpoužívanějšími látkami při ošetřování kedlubnových porostů jsou pendimethalin a metazachlor (Šuk, 2021).

Během pokusu Jursíka a kol. (2021) bylo detekováno jen malé množství pendimethalinu (do 10 µg/kg), pokud bylo ošetření provedeno ve vyšších dávkách a za chladného počasí byl rozklad herbicidu v půdě pomalejší.

Průběh srážek může ovlivnit koncentraci reziduí pendimethalinu. Intenzivní déšť nebo příliš intenzivní závlaha mohou herbicid sorbovaný v suché půdě zpřístupnit kořenům rostliny, která ho nestihne zmetabolizovat (Jursík 2021).

V pokusech Jursíka a kol. (2016) se prokázalo, že rezidua půdních herbicidů registrovaných v ČR při použití v porostu květáku (metazachlor, dimethenamid, napropamid atd) nebyla nalezena ani při použití několik týdnů před sklizní. Autoři je proto doporučují pro použití při pěstování nízkoreziduální a bezreziduální produkce této zeleniny. Rezidua listových graminicidů, ale byla nalezena, a dokonce i v hodnotách vyšší než MRL (Jursík a kol., 2016).

3.8.2 Salát

Salát patří k jednomu z nejcitlivějších druhů na použití herbicidu a nejčastěji dochází k preemergentnímu ošetření půdy (Šuk, 2021). Podle Jursíka a kol. (2016), také není vhodné vysazovat salát na pozemky zaplevelené vytrvalými dvouděložnými plevely.

V ČR se nejčastěji používá přípravek Stomp 400 SC (pendimethalin). Celosvětově se při výsadbě salátů používají preemergentní herbicidy s obsahem clomazone, flufenacet, pendimethalin a propyzamide (Šuk, 2021).

Obecně nemůže být u salátů použito tolik účinných látek jako v ostatních zeleninových porostech kvůli velké citlivosti salátu. V kombinaci s ostatními stresovými faktory, kterým salát může být vystaven při pěstování (například nekonzistentní závlaha, klesání a zvyšování teplot atd.), mohou herbicidní látky způsobit značné poškození rostlin. Projevy takových nepříznivých vlivů jsou nižší výnos, pomalý růst, defekty kořenového systému (Šuk, 2021).

Množství reziduí se da částečně snížit při méně intenzivní závlaze v druhé polovině vegetace a snížením dávek pendimethalinu. Jursík (2021) uvádí, že při zakládání porostu salátu v druhé polovině dubna byla degradace reziduí pendimethalinu rychlejší a hladina reziduí ve sklizených hlávkách nižší.

Rezidua pendimethalinu v salátu jsou závislá na hmotnosti sklizených hlávek. Podle pokusů Jursíka a kol. (2016) větší množství reziduí se objevilo v menších salátech a naopak.

Jursík (2021) také uvádí, že velmi časně sklizené, menší saláty obsahovaly obvykle větší množství reziduí než saláty s větší hmotností a obvykle i delší vegetační dobou.

Žádné herbicidy registrované v ČR k regulaci plevelů v porostech salátu nelze s jistotou použít pro bezreziduální produkci (Jursík, 2021).

Proto se při pěstování salátu často využívají mechanické způsoby regulace – použití mulčů, plečkování a okopávka (Jursík et al. 2016).

Tickes a Kerns 1996 taky uvádějí, že kvůli citlivosti salátu existuje jen málo možností použití herbicidů v jeho porostech. Následná fytotoxicita se může projevovat sníženým kořenovým růstem, nižším výnosem a pozdější sklizní (Tickes a Kerns, 1996).

3.8.3 Cibule

Stejně jak u salátu je více ohrožena z hlediska reziduí herbicidu cibule sklizená na zeleno, která má krátkou vegetační dobou a sklízí se i s listy (Jursík, 2021).

Vzhledem k citlivosti cibule v raných fázích růstu, Jursík a kol (2016) doporučuje provádět postemergentní ošetření po vytvoření druhého listu, abychom vyloučili poškození plodiny. Při výskytu pýru plazivého a výdrolu obilnin vykazuje dobré výsledky použití listových graminicidů (Šuk, 2021).

Při značném zaplevelení pozemku, a to především vytrvalými plevele, se doporučuje preemergentní ošetření glyfosátem (součástí neselektivního listového herbicidu). V pokročilejších fázích vývoje plevelu se da provést ošetření systematicky působícími listovými herbicidy (Šuk, 2021).

Koncentrace reziduí herbicidů, včetně půdních, v cibulové nati bývá několikrát vyšší než v cibulích (Jursík, 2021).

Rezidua pethoxamidu, S-metolachloru a flufenacetu (aplikované preemergentně) nebyla v pokusech Jursíka a kol. (2021) nalezena v cibuli, tyto látky však nejsou pro pěstování cibule povolené. Z postemergentních herbicidů (fluroxypyr, pyridat a flumioxazin), který taky nejsou registrované v ČR, rovněž nebyla nalezena žádná rezidua. Z testovaných listových graminicidů byla největší koncentrace reziduí nalezena ve vzorcích cibule ošetřených fluazifopem (Jursík, 2021).

U ozimé cibule se vyskytuje riziko zpětné přeměny metabolitu, k čemuž může dojít v průběhu skladování (Jursík a kol., 2016).

3.8.4 Mrkev

Stejně riziko přeměny metabolitu jako u cibule je i u mrkve během dlouhodobého skladování. Ohrožené jsou především menší mrkve, sklizené brzy na jaře s nati anebo karotky záměrně pěstované v malém rozměru, např. pro konzervaci (Jursík a kol., 2016).

Šuk (2021) uvádí, že z hlediska zaplevelení u mrkve je velmi důležité, aby v předplodině byly potlačeny vytrvalé plevele.

Preemergentní herbicidy se často používají i při regulaci zaplevelení porostu mrkve (Šuk, 2021). Podle Jursíka a kol. (2015) pozitivní výsledky vykazuje glyfosát v kombinaci s linuronem aplikovaný pět dní před vzejitím porostu. Při postemergentním ošetření metribuzin vykazuje nízkou toxicitu a dobrou účinnost (Šuk, 2021).

Během pokusu Jursíka a kol. (2016) byla objevena 2-3 krát vyšší koncentrace reziduí herbicidů v mrkvové nati než v kořenech.

V dalších pokusech Jursíka a kol. (2021) bylo z registrovaných preemergentních herbicidů mrkve nejméně reziduí (do 10 µg/kg) nalezeno ve sklizených vzorcích po aplikaci pendimethalinu. Velmi nízké obsahy reziduí byly zaznamenány také po preemergentním ošetření clomazonem, pethoxamidem a flufenacet, které však nejsou v ČR pro mrkve registrovány (Jursík, 2021).

3.9 Degradace herbicidů v zelenině

3.9.1 Dynamika degradace

Kumulace reziduí pesticidů v zelenině je obecně méně častá než v ovoci (Jursík a kol., 2021).

Přesto i ekologicky pěstovaná zelenina může být kontaminována rezidui pesticidů, zejména v zemích, kde je kontrola používání pesticidů méně přísná. Například v Brazílii velké množství vzorků ekologicky pěstované mrkve obsahuje rezidua (Chiarello a Moura, 2018).

Elgueta a kol. (2000) a Skovgaard a kol. (2017) objevili rezidua pesticidů v 50 % vzorků salátu pěstovaných v Chile a Bolívii, přičemž 16-20 % vzorků překračovalo MRL.

Riziko kontaminace květáku a salátu rezidui fluazifopu je relativně vysoké vzhledem k nízké hodnotě MRL a pomalé degradaci. Vegetační doba této zeleniny je krátká (méně než 60 dní u salátu a méně než 90 dní u květáku) a listové graminicidy se nejčastěji používají 3-5 týdnů po výsadbě (Jursík a kol., 2021).

Podle pokusu Jursíka a kol. (2021) z testovaných listových graminicidů vykazoval fluazifop nejpomalejší dynamiku rozkladu ve všech testovaných zeleninách.

MRL pro fluazifop v cibuli a mrkvi je výrazně vyšší (300, resp. 400 µg/ kg), proto by se fluazifop mohl podle Jursíka a kol. (2021) v této zelenině používat při nízkoreziduální produkci (do 25 % MRL). Zelenina ošetřená fluazifopem není vhodná pro výrobu dětské výživy z důvodu dlouhé AOL (53-110 dní).

Během pokusu bylo také zjištěno, že koncentrace reziduí quizalofopu ve všech testovaných vzorcích zeleniny byly nižší než MRL a nepřekročily 400 µg/ kg v salátu a 100 µg/ kg v mrkvi, cibuli a v kvěťáku (Jursík et al., 2021).

Po aplikaci haloxyfopu bylo zaznamenáno nízké množství reziduí. Pouze jeden vzorek mrkve překročil MRL. Dynamika rozkladu haloxyfopu v cibuli byla rychlá a žádné vzorky cibule neobsahovaly více než 60 µg/kg. Koncentrace reziduí haloxyfopu v listech cibule by však mohla být výrazně vyšší (100 a 800 µg/kg 10 dní po aplikaci). AOL pro dětskou výživu v této zelenině byla relativně dlouhá (47, resp. 64 dní), ale dosažitelná (Jursík a kol., 2021).

V žádném testovaném vzorku zeleniny nebyla zjištěna rezidua propaquizafopu (Jursík a kol., 2021).

Podle výsledku této studie mohou aryloxyfenoxi-propionátové herbicidy snadno kontaminovat zeleninu, zejména s krátkým vegetačním obdobím. Zelenina ošetřená fluazifopem není vhodná pro dětskou výživu. Hlávkový salát a kvěťák ošetřený přípravkem quizalofop také nejsou vhodné pro dětskou výživu, ale u cibule a mrkve by se quizalofop mohl použít. Cykloxydim je perspektivní herbicid pro bezresiduální produkci zeleniny (dětské potraviny) (Jursík a kol., 2021).

3.9.2 Modely degradace

Pesticidy jsou potenciálně toxické pro člověka a mohou mít akutní i chronické zdravotní účinky v závislosti na množství konzumace a způsobu, jakými je člověk herbicidům vystaven (Horská a kol., 2020).

WHO (World Health Organization) a FAO (Food and Agriculture Organization) společně definují reziduum jako každou cizorodou látku přítomnou ve vodě, rostlinách, potravinách a krmivu, která je důsledkem aplikace herbicidu (International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, 2003). Podle Kocourka (2013) by v ideálním případě v potravinách neměli být přítomna žádná rezidua. Což by znamenalo rychlou degradaci po splnění své funkce.

Modelování distribuce pesticidů v plodinách je důležitým nástrojem pro omezení nadměrného používání pesticidů (Horská a kol., 2020).

Hodnocení potravinářského rizika ukázalo, že pravděpodobnost, že budou občané EU vystaveni úrovním reziduí pesticidů, které by mohly vést k negativním zdravotním výsledkům, je relativně nízká u zkoumaných vzorků (Horská a kol., 2020).

Podle Kocourka a kol. (2017), obchodní řetězce, a následně i producenti potravinářských plodin, jsou však neustále pod tlakem kvůli obavám spotřebitelů ze zdravotních rizik spojených s potenciálním výskytem reziduí pesticidů v jejich stravě. Některé obchodní řetězce žádají o posouzení kontaminace plodin, především ovoce a zeleniny, pocházející z nízkoreziduální produkce.

Experimentální studie obvykle prezentují údaje o degradaci odhadnuté ze změny celkové zbytkové koncentrace pesticidu v příslušné rostlině v průběhu času. Nicméně, degradace reziduí zahrnuje několik procesů (Horská a kol., 2020).

Modely degradace pesticidu jsou použitelné v oblastech s podobnými klimatickými podmínkami a za podobných podmínek pěstování zeleniny (Horská et al., 2020).

3.9.3 Metody detekce

Lehotaye a kol. (2010) zmiňuje metodu založenou na disperzní extrakci tuhou fází. Jedná se o nejpoužívanější způsob QuEChERS (quick, easy, cheap, effective, robust and safe) uplatňující se pro extrakci reziduí pesticidu. Podle Šuka (2021) má tato metoda spolehlivé výsledky pro extrakci a přečištění vzorku před analýzou pesticidů, zaměřenou na detekci reziduí.

3.10 Ekotoxický profil herbicidů a jejich environmentální zátěž

Určení úrovně environmentální zátěže herbicidů a srovnání jejich nepříznivých vlivů na prostředí je komplikované. Je třeba brát v úvahu komplex rozmanitých faktorů, jako je perzistence v prostředí, především v půdě, vliv na necílové organismy, těkavost, kumulace v živých tkáních, atd. (Jursík a kol., 2021).

U herbicidů přijímaných listy může být účinnost ovlivněna postavením listů vůči stonku a umístěním meristémových pletiv. Vosková vrstvička na povrchu listů ovlivňuje stékaní postřikovaného roztoku a penetraci herbicidu. Důležitá je taky přítomnost a hustota trichomů a další ochranných bariér na povrchu listů (Jursík a kol., 2021).

Projevy fytotoxicity u plodiny mohou narůstat v důsledku proplavení herbicidu do hlubších vrstev půdy. Příjem chemické látky rozptýlené v půdním roztoku bývá rychlejší než příjem přes listy. Následně se zvyšuje riziko projevu fytotoxicity, obzvláště u rostlin s nízkou metabolickou selektivitou (Jursík a kol., 2021). Riziko proplavení herbicidu je vyšší na půdách lehčích (Jursík a kol., 2016).

Jursík a kol. (2021) vytvořili orientační srovnávací tabulku, která tyto faktory kvantifikuje a podle které se dá zorientovat při výběru vhodných herbicidních látek při pěstování rostlin.

Tabulka č. 2: Environmentální zátěž herbicidů použitelných v porostech kvěťáku, mrkve, cibule a salátu (FOOTPRINT database, 2023).

Podíl vlastnosti na celkové environmentální zátěži	10 %		20 %		10 %		10 %		10 %		10 %		30 %		Celková kvantifikace environmentální zátěže (10-1000 bodů)		
	Účinná látka herbicidu		Poločas rozpadu (perzistence) v půdě za laboratorních aerobních podmínek		GUS leaching index (čím vyšší hodnota tím vyšší riziko proplavení v půdě)		Těkavost (vypařování) při 25°C		Freundlichův adsorpční koeficient (čím vyšší hodnota tím je látka v půdě silněji sorbována)		Akutní toxicita pro ryby (LC ₅₀)		Akutní toxicita pro včely (LC ₅₀)			Bio-concentration factor (čím vyšší hodnota tím jsou snadněji akumulována do tkání živých organismů)	
	dny	body	index	body	mPa	body	K _{foc}	body	mg/L	body	µg/včela	body	BCF	body			
aclonifen	62	10	0,3	2	0,016	1	7129	1	0,67	10	100	10	2896	300	334		
bromoxynil	1	1	0	2	0,17	1	639	10	29,2	10	5	10	N	3	37		
clomazone	88	10	2,96	200	19,2	10	287	10	15,5	10	85	10	40	3	253		
clopyralid	34	10	5,06	200	1,36	10	N	100	100	10	98	10	N	3	343		
cycloxydim	1	1	0	2	0,01	1	N	100	220	1	100	10	N	3	118		
dimethenamid	23	1	2,41	20	2,5	10	69	100	6,3	10	134	1	N	3	145		
ethametsulfuron	37	10	3,94	200	0,001	1	119	10	126	1	4,62	10	N	3	235		
ethofumesate	97	10	3,19	200	0,65	1	187	10	11	10	50	10	144	30	271		
fluazifop	1	1	0	2	0,12	1	N	10	1,41	10	200	1	320	30	55		
flufenacet	32	10	2,38	20	0,09	1	328	10	2,13	10	170	1	71	3	37		
flumioxazin	22	1	1,41	2	0,32	1	N	1	2,3	10	200	1	N	3	19		
fluroxypyr	13	1	2,42	20	0,001	1	68	100	14,3	10	100	10	62	3	145		
haloxyfop	923	100	3,01	200	0,055	1	N	100	0,088	100	100	10	17	3	514		
linuron	87	10	2,03	20	5,1	10	620	10	3,15	10	160	1	49	3	64		

Podíl vlastnosti na celkové environmentální zátěži	10 %		20 %		10 %		10 %		10 %		10 %		30 %		Celková kvantifikace environmentální zátěže (10-1000 bodů)		
	Účinná látka herbicidu		Poločas rozpadu (perzistence) v půdě za laboratorních aerobních podmínek		GUS leaching index (čím vyšší hodnota tím vyšší riziko proplavení v půdě)		Těkavost (vypařování) při 25°C		Freundlichův adsorpční koeficient (čím vyšší hodnota tím je látka v půdě silněji sorbována)		Akutní toxicita pro ryby (LC ₅₀)		Akutní toxicita pro včely (LC ₅₀)			Bio-concentration factor (čím vyšší hodnota tím jsou snadněji akumulována do tkání živých organismů)	
	dny	body	index	body	mPa	body	K _{foc}	body	mg/L	body	µg/včela	body	BCF	body			
metazachlor	11	1	1,96	20	0,093	1	79	100	8,5	10	72	10	N	3	145		
metribuzin	12	1	2,57	20	0,121	1	38	100	75	10	53	10	10	3	145		
napropamide	308	100	1,94	200	0,022	1	885	10	6,6	10	100	10	98	3	334		
pendimethalin	123	100	-0,39	2	1,94	10	15744	1	0,14	10	100	10	5100	300	433		
pethoxamid	6	1	1,41	2	0,34	1	154	10	2,2	10	200	1	N	3	28		
picloram	83	10	6,03	200	0,001	1	7	100	8,8	10	74	10	74	3	334		
propaquizafop	1	1	N	2	0,001	1	N	10	0,19	10	20	10	583	30	64		
propyzamide	47	10	1,8	2	0,027	1	N	1	N	10	136	1	49	3	28		
prosulfocarb	12	1	0,83	2	0,79	1	1693	1	0,84	10	80	10	700	30	55		
pyridate	1	1	0,13	2	0,001	1	N	1	1,01	10	100	10	116	30	55		
quinmerac	17	1	3,05	200	0,001	1	86	10	87	10	100	10	N	3	235		
quizalofop	2	1	0,22	2	0,001	1	1816	1	0,21	10	100	10	380	30	55		
S-metolachlor	14	1	1,94	20	3,7	10	226	10	1,23	10	85	10	69	3	64		

N – hodnota nebyla stanovena (pouze se odhaduje)

barevná interpretace dat:

nizké riziko	střední riziko	vysoké riziko
--------------	----------------	---------------

Statní zemědělská a potravinářská inspekce pravidelně provádí odběr vzorků u potravin, zejména ovoce a zeleniny. Při důkladných kontrolách jsou občas identifikovány vzorky, neodpovídající platným předpisům. Při takových kontrolách se nejčastěji objevují rezidua pesticidů vůbec neregistrovaných pro použití v Evropské Unii nebo nepovolená k použití u konkrétní plodiny (Jursík a kol. 2016).

Překročení MRL u zaregistrovaných pesticidů, uvedených v nařízení Evropského parlamentu a Rady (číslo 396/2005), není tak časté. Hodnoty MRL jsou stejné pro všechny státy EU (Jursík a kol. 2016).

Při dodržování ochranné lhůty při pěstování plodin je množství reziduí herbicidů přítomných ve sklizených částech minimální. Může dojít k problému pouze při použití půdních herbicidů v chladnějších podmínkách (jarní výsadby) a u zeleniny s krátkou vegetační dobou. Jedná se především o půdní herbicidy pendimethalin a aclonifen (Jursík a kol. 2016).

Listové graminicidy fluazifop a quizalofop představují největší nebezpečí z hlediska kumulace reziduí ve sklizených produktech. Při nedodržování OL (ochranné lhůty) a použití těchto přípravků u plodin, pro které nejsou registrované, mohou tyto herbicidy kontaminovat svými rezidui sklizené části rostlin (Jursík a kol. 2016).

Definování ekotoxického profilu pro konkrétní herbicid je složitou záležitostí. Podílí se na tom hodně faktorů, které nejsou jednoznačně a jednoduše definovatelné. Navíc na finální rozhodnutí o restrikci konkrétní účinné látky v EU mají silný vliv nejrůznější lobbistické skupiny (Jursík a kol., 2016).

Romerová (2021) uvádí, že daleko častější obavy z výskytu herbicidních látek v životním prostředí se objevily v průběhu posledních desítek let. Celosvětově a v ČR jsou herbicidy nejpoužívanější látkou na ochranu rostlin užívané k regulaci zplevelení. Herbicidy jsou základní technologickou součástí velkoplošného pěstování zeleniny (Šuk, 2021). Přesto představují herbicidy značná rizika (Romerová, 2021).

Některé látky, v dnešní době už zakázané, způsobují značná rizika i v malých dávkách. Jde především o paraquat (v EU zakázán), který je velice nebezpečný pro plíce, ledviny, játra a srdeční soustavu (Blasioli a kol., 2011).

Dle FAO (2003) jsou stanoveny specifické podmínky pro zabránění nadměrných výskytů reziduí v potravinách a životním prostředí. Jde o takzvané Good Agriculture Practices, což je soubor podmínek schválených pro používání herbicidů v zemědělství. Dodržování správné zemědělské praxe je zásadním předpokladem pro kontrolu výskytu reziduí herbicidů v životním prostředí (FAO, 2023).

3.10.1 Vliv herbicidů na prostředí

Cílová plevelná rostlina přijímá jenom malou část použité dávky herbicidu. Mezi nejdůležitější vlastnosti herbicidů patří například fotostabilita a těkavost. Fotostabilita je schopnost herbicidu odolávat rozkládanému působení světelného záření především jeho UV složky. Těkání herbicidů může kontaminovat atmosféru. Při nepříznivých podmínkách (vítr a vyšší teploty) může docházet ke kontaminaci sousedních pozemků a poškození rostlin na nich rostoucích (Jursík a kol., 2016).

3.10.2 Vliv herbicidů na necílové organismy a ochrana proti ní

Herbicidy, podobně jako ostatní pesticidy, často ovlivňují necílové organismy. Posuzován je prokázaný a potenciální negativní vliv herbicidů na řasy, půdní členovce, ryby, savce, včely a člověka, a jejich další reprodukční schopnosti (Jursík a kol., 2016).

Kumulace herbicidních látek v živých organismech je kvantifikována Bio-concentration faktorem. Čím vyšší je Bio-concentration faktor, tím vyšší je úroveň jeho kumulace v živém organismu a jeho tkáních (Jursík a kol., 2016). Klašková a kol., (2010) tvrdí, že tato kritéria se posuzují z hlediska nejen krátkodobých, ale i dlouhodobých rizik, která mají vliv na necílové organismy. Hodnocení musí být prováděna v registračním řízení (Klašková a kol., 2010).

Škodlivý vliv na člověka se sleduje z hlediska takzvané dlouhodobé deposice. Dlouhodobá deposice toxických látek v těle člověka se může projevit karcinogenně či mutageně. V případě, že se prokáže negativní vliv na zmíněné organismy, včetně pochybností o tomto vlivu, herbicid bývá vyškrtnut ze seznamu povolených pesticidních látek v celé EU (Jursík a kol., 2016)

3.10.3 Ochrana necílových organismů

Jasně daná pravidla se musí dodržovat při aplikaci herbicidních přípravků, a to kvůli ochraně necílových organismů před nežádoucími účinky herbicidu (Stejskalová a Kazda, 2020).

Harašta (2017) uvádí, že velký důraz je kladen na ochranu necílových organismů, a to zejména vodních zdrojů, s cílem zabránit poškození nesprávným nakládáním s herbicidními přípravky.

Necílové organismy je nutné chránit dle platných zákonů ČR a EU, za ty považujeme všechny skupiny organismů vyskytující se na ošetřovaném pozemku. Jsou to savci, ptáci, včely, půdní mikroorganismy, necílové rostliny atd. (Romerová, 2021).

Obratlovci hledající potravu na ošetřovaných pozemcích mohou také trpět následky účinků přípravků, ať už na pozemku hnízdí nebo hledají úkryt (Klašková a kol., 2010).

Romerová (2021) připomíná, že v případě že přípravek ohrožuje konkrétní druhy, musí být na etiketě přípravku uvedeno pro jaké typy zvířat je látka nebezpečná. Následně se tyto přípravky nemohou používat v lokalitách výskytu těchto druhů.

Další velkou a důležitou skupinu necílových organismů tvoří opylovače. Snižování produkce semen a plodu rostlin je způsobeno snížením počtu opylovačů, což vede k dramatickým ekologickým dopadům. Proto jsou včely i včelí produkty tak významné pro fungování celého ekosystému. Následně je důležité kontrolovat, do jaké míry opylovače přicházejí do kontaktu s herbicidními látkami (Zacharia, 2011). Když se přípravek považuje za nebezpečný pro včely, je třeba respektovat legislativní omezení.

Mezi necílové organismy řadíme i členovce a rostliny.

3.11 Bezreziduální a nízkoreziduální produkce

Zelenina je čím dál tím více kontrolována z hlediska obsahu reziduí herbicidu. Přispělo k tomu zejména výrazné zlevnění a zlepšení metod stanovujících úroveň reziduí herbicidu ve sklizeném produktu. Hodnoty MRL, respektive maximální povolený obsah reziduí, jsou stanoveny a kontrolovány administrativou EU (Šuk, 2021).

Za podmínky, že pěstitel používá jenom registrované přípravky a dodržuje doporučený časový odstup mezi aplikací a sklizní, by neměl výskyt reziduí herbicidů překračovat stanovené hodnoty MRL. Nepřekročení MRL by mělo být zajištěno dodržováním ochranné lhůty, správnou aplikací a dodržováním dávky (Jursík, 2021).

Často jsou ale dodavatelé nuceni dosáhnout ještě menšího množství reziduí ve sklizených produktech na základě požadavků obchodníků a spotřebitelů. U některých přípravků je pak nutné dodržovat delší tzv. akční ochranné lhůty. Tyká se to nízkoreziduální produkce, kdy sklizený produkt nemá přesahovat definované procento hodnoty MRL (10,25,50 %). (Jursík 2021)

Ovoce a zelenina, ze kterých se vyrábí dětská výživa jsou kontrolovány ještě přísněji. Tyto plodiny nesmějí obsahovat více než 0,01 mg/kg reziduí pesticidů, jde o takzvanou bezreziduální produkci (Jursík 2021). Prodloužení ochranné lhůty je podmínkou používání některých herbicidů, pokud chceme dosáhnout bezreziduální produkce. Některé herbicidy by se neměly při bezreziduální zemědělské produkci používat. Jedná se především o látky s pomalou degradací.

Podle průzkumu provedeného v roce 2010, 71 % občanů Evropské unie bylo znepokojeno rezidui pesticidů v ovoci a zelenině. V průběhu času je více a více obchodních řetězců tlačeno se přizpůsobit tomu, jak jsou herbicidy vnímány konzumentem, často zejména v jakosti nežádoucích kontaminantů potravin (Kocourek et al., 2017).

OL (ochranná lhůta) se uvádí pro konkrétní plodinu a pro konkrétní herbicidní přípravek. Dodržení OL je povinné pro všechny pěstitelé. Lhůta je uvedena jak na etiketě přípravku, tak v Registru přípravků na ochranu rostlin. Ochranná lhůta je vyjádřena počtem dnů a měří se od poslední aplikace do sklizně plodiny. Akční ochranné lhůty bývají stanoveny na základě akčních prahů pro nízkoreziduální produkci nebo podle limitu pro bezreziduální produkci (Jursík et al. 2016).

Tabulka č. 1: Ochranné lhůty podle Seznamu povolených přípravků a dalších prostředků na ochranu rostlin v ČR (Jursík et al. 2016).

Ochranné lhůty podle Seznamu povolených přípravků a dalších prostředků na ochranu rostlin v ČR. Doporučené akční ochranné lhůty pro 50 % MLR, pro 25% MLR a pro limit 0,01mg/kg využitelné pro nízkoreziduální nebo bezreziduální produkci prosím zachovat barevná okna v tabulce

Účinná látka	Plodina	OL podle seznamu povolených přípravků	AOL pro limit 50 % MLR	AOL pro limit 25 % MLR	AOL na limit 0,01 mg/kg	Poznámka
Adonifen	mrkev	80	80	80	80	
	cibule	AT	120	120	120	doporučeno pouze PRE ošetření
Clomazone	květák	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
	mrkev	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
Cycloxydim	květák	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
Fluazifop	salát	42	42	42	NBP	
	cibule	28	28	28	NBP	
Fluroxypyr	cibule	80	80	80	80	nedetekován při žádné analýze
Haloxifop	mrkev	56	56	56	NBP	nevhodný pro velmi rané sklizně
	cibule	28	28	28	NBP	
Metazachlor	květák	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
Metribuzin	mrkev	60	60	60	NBP	
Napropamide	květák	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
Pendimethalin	salát	AT	AT	AT	NBP	AT pouze PRE ošetření
	květák	AT	AT	AT	50	
	cibule	AT	12	12	24	
	mrkev	AT	AT	AT	NBP	
Propaquizafop	cibule	30	30	30	30	nedetekován při žádné analýze
	mrkev	30	30	30	30	nedetekován při žádné analýze
Propyzamide	salát	AT	24	30	NBP	
Pyridate	květák	42	42	42	42	nedetekován při žádné analýze
	cibule	AT	AT	AT	AT	nedetekován při žádné analýze
Quizalofop	květák	AT	AT	8	NBP	
	mrkev	45	45	45	NBP	
	cibule	42	42	42	NBP	

Pozn.: AT – mezi registrovaným termínem ošetření a předpokládanou sklizní je takový časový interval, který bezpečně zajistí dostatečný pokles reziduí pod hodnotu MLR, není tedy nutné uvádět ochrannou lhůtu ve dnech; NBP – nedoporučeno pro bezreziduální produkci (ochranná lhůta výrazně přesahuje vegetační dobu plodiny)

3.12 Způsoby eliminace herbicidů

3.12.1 Agrotechnická opatření

Rezidua herbicidů v zelenině lze minimalizovat použitím některých agrotechnických opatření a prodloužením ochranných lhůt (Šuk, 2021).

Šuk (2021) ve své práci potvrzuje, že délka intervalu mezi aplikací herbicidní látky a sklizní plodiny je nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím množství reziduí v zelenině. Závlaha, zejména po aplikaci látky, a množství ročních srážek jsou také výrazným faktorem (Šuk, 2021).

Po pokusech s dodržováním změněných postupů Šuk (2021) potvrzuje, že rezidua konkrétních preemergentních půdních herbicidů nebyla v žádném vzorku detekována. Jde o napropamid, clomazone a dimethachloru v květáku; clomazone, linuronu a flufenacetu v mrkvi. Rezidua metazachloru nebyla nalezena ani v kedlubnách. Za předpokladu, že bude dodržena ochranná lhůta, lze tyto přípravky považovat za doporučené pro pěstování zeleniny pro dětskou výživu (Šuk, 2021).

Jursík a kol. (2016) zařazují herbicidy registrované v EU do třech skupin (zelený, žlutý a červený seznam) podle hodnot příslušné environmentální zátěže.

Kocourek a kol. (2015) doporučují tuto metodiku k regulaci pesticidů a k jejich racionálnímu využívání s ohledem na jejich negativní dopady na životní prostředí. Metodika hodnotí vliv účinných látek pesticidů na necílové organismy a následnou environmentální zátěž. Dále lze v metodice najít kvantifikaci „záporných externalit“ i kvantifikaci „záporných externalit“ (Kocourek a kol., 2015).

Práce Jursíka a kol. „Optimalizace regulace plevelů v systému integrované produkce košťálové, cibulové, kořenové zeleniny a salátu“ stanovuje environmentální profil pro látky používané pro košťálovou, kořenovou a cibulovou zeleninu.

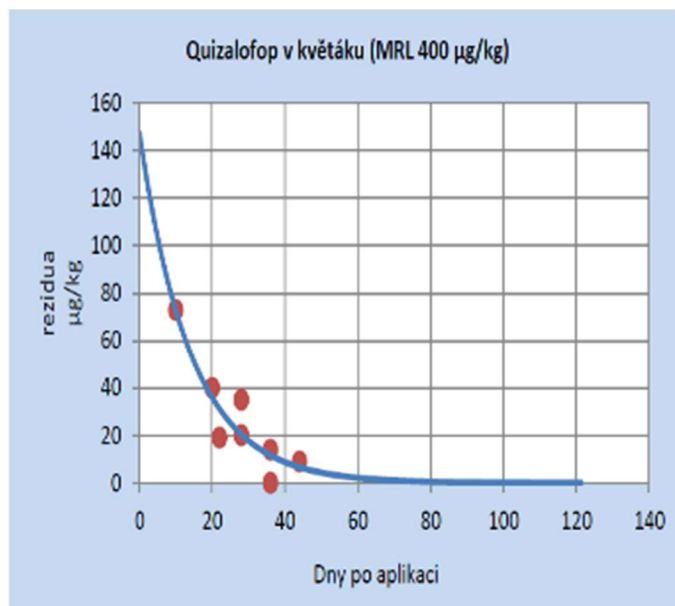
Kocourek a kol. (2015) tuto metodiku doporučují k prostudování a praktickému využití široké veřejnosti a všem kdo najde pro tuto metodiku uplatnění. Zejména je ale určena pro zemědělce, studenty a pedagogy příslušných oborů, pracovníky statní správy, zemědělské poradce atd.

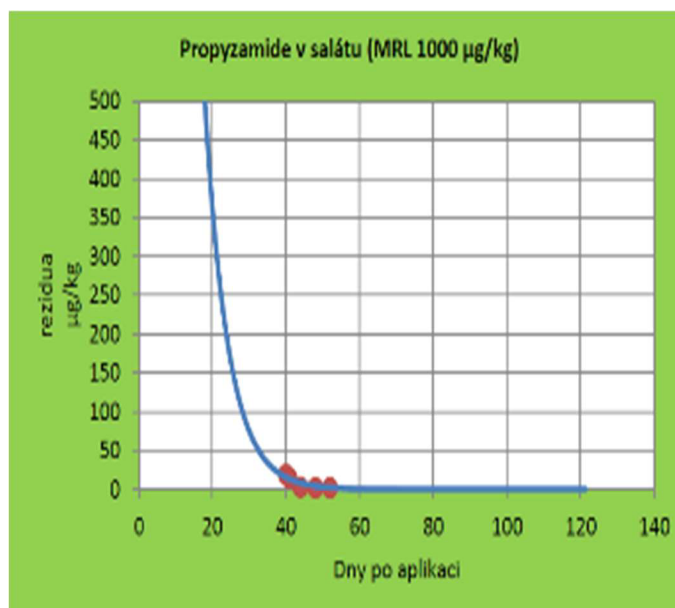
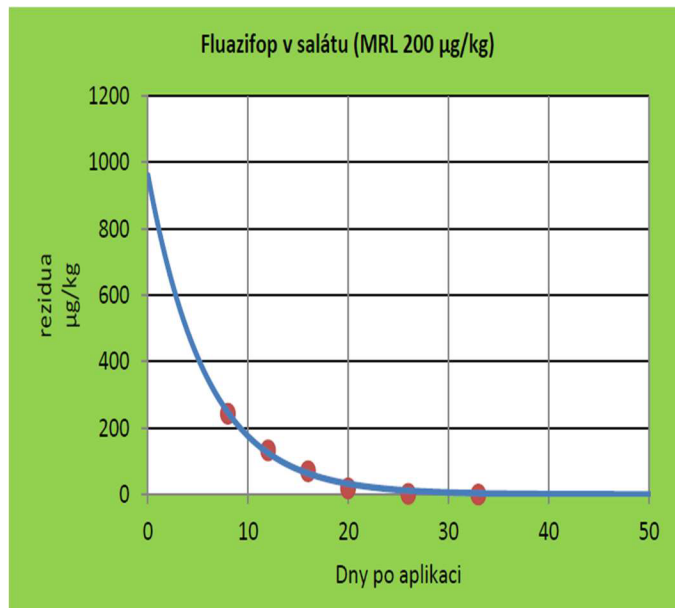
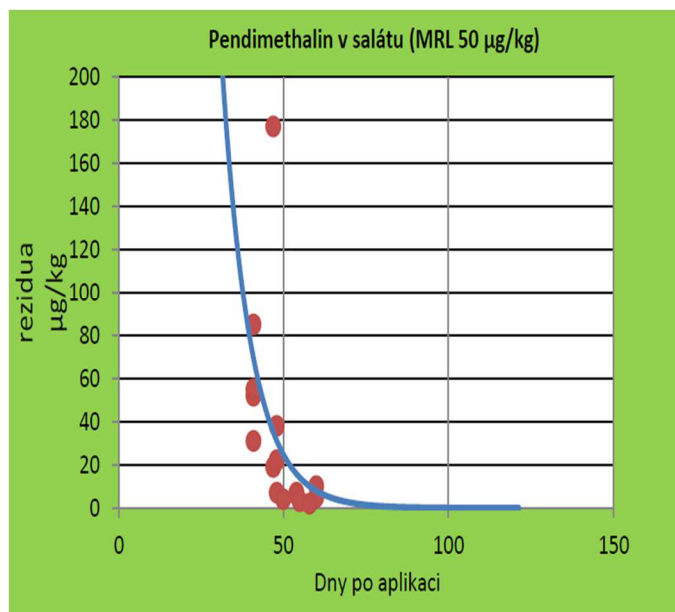
Navržený postup pro systém integrované produkce zeleniny rovněž posuzuje herbicidy podle selektivity u konkrétních druhů zeleniny a má za cíl snižování úrovně fytotoxicity.

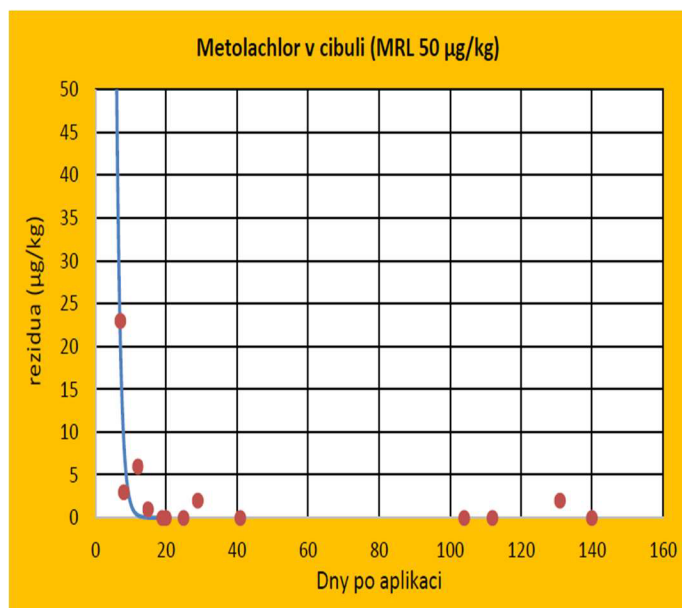
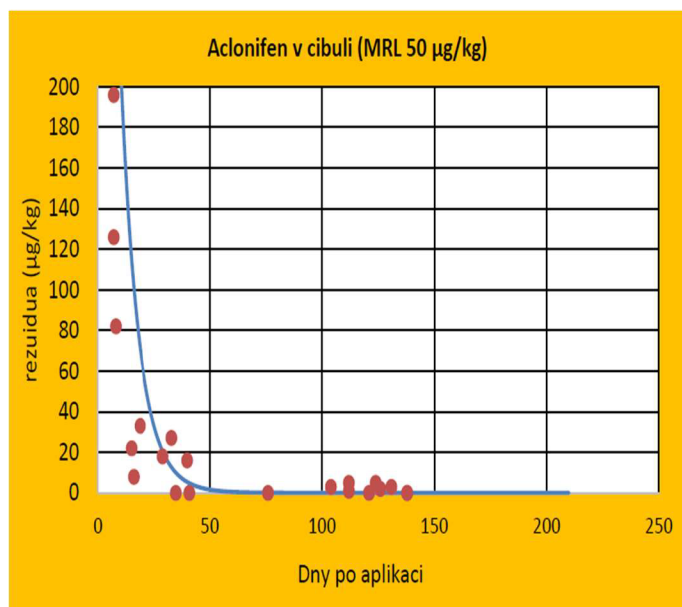
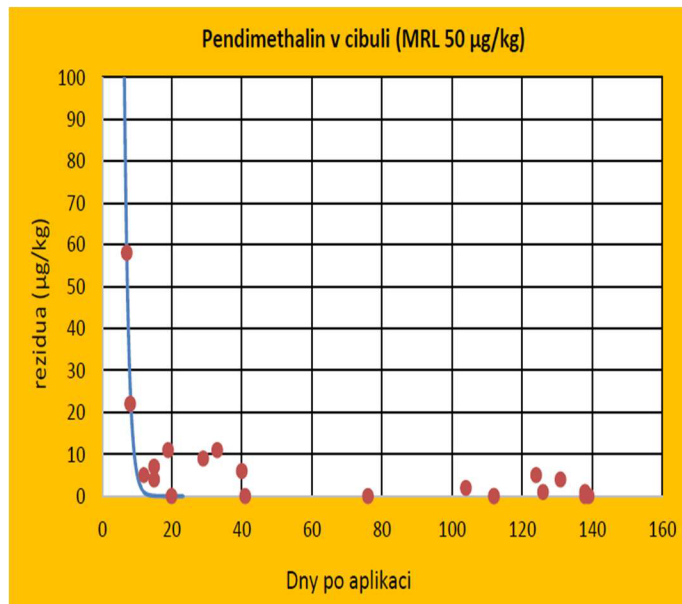
Doporučuje se přesné dávkování pro minimizaci úrovně fytotoxicity a celkového obsahu rezidui v zelenině.

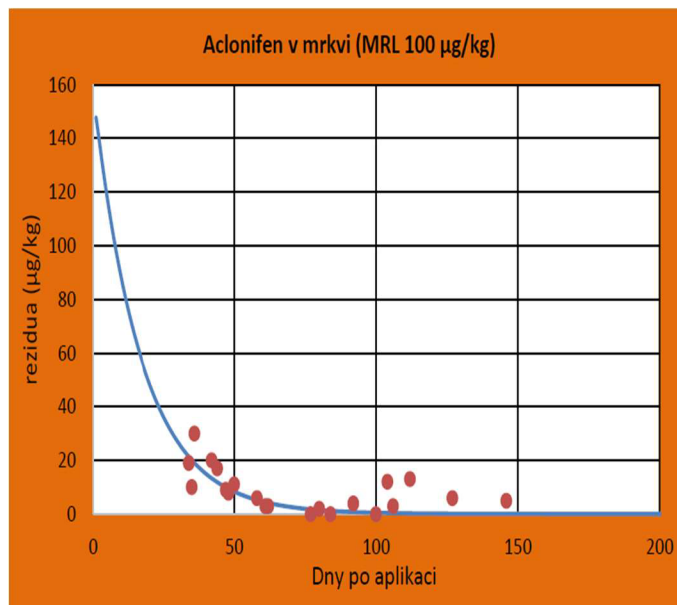
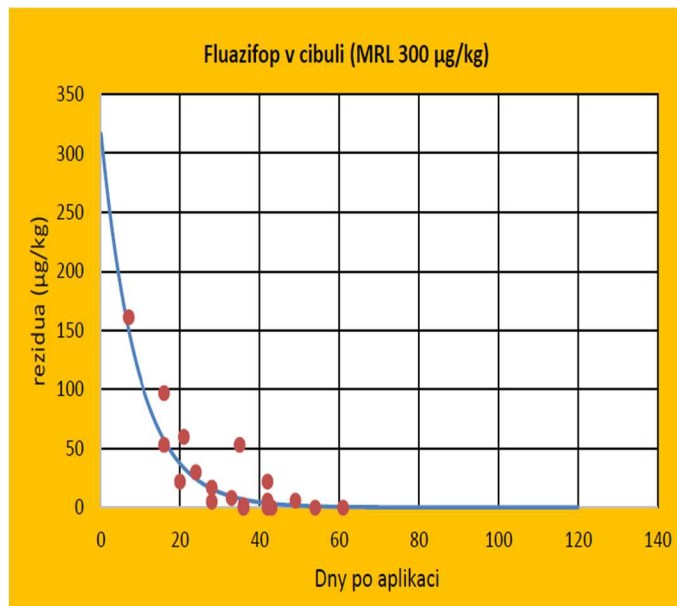
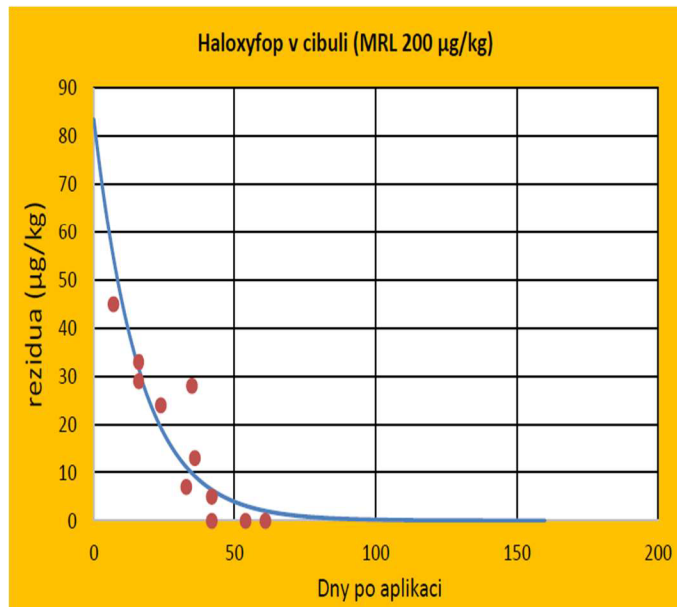
Metodika poskytuje unikátní znalosti, zejména o degradaci účinných látek herbicidů (Jursík a kol., 2016).

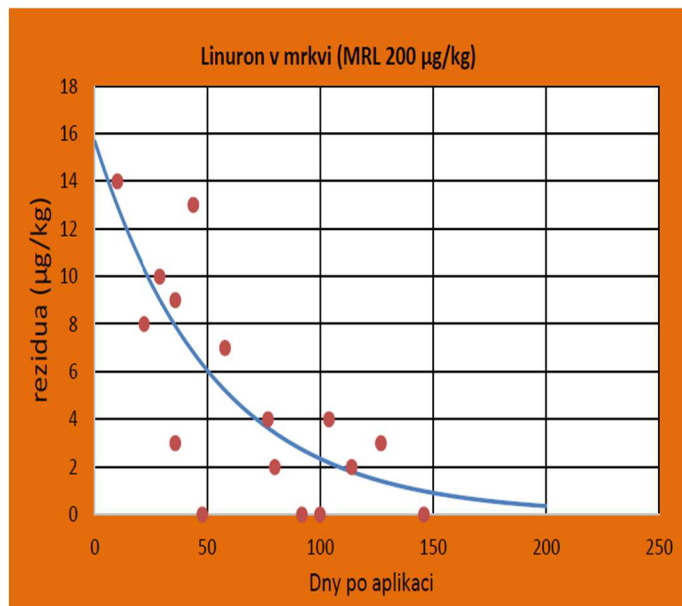
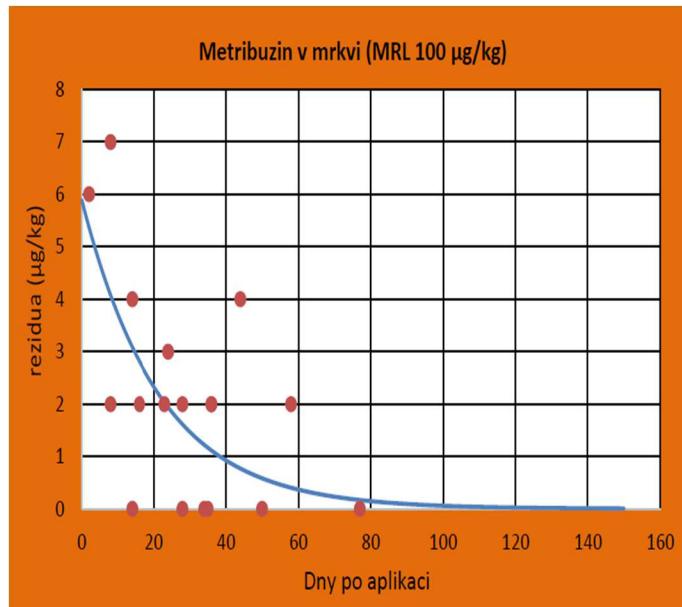
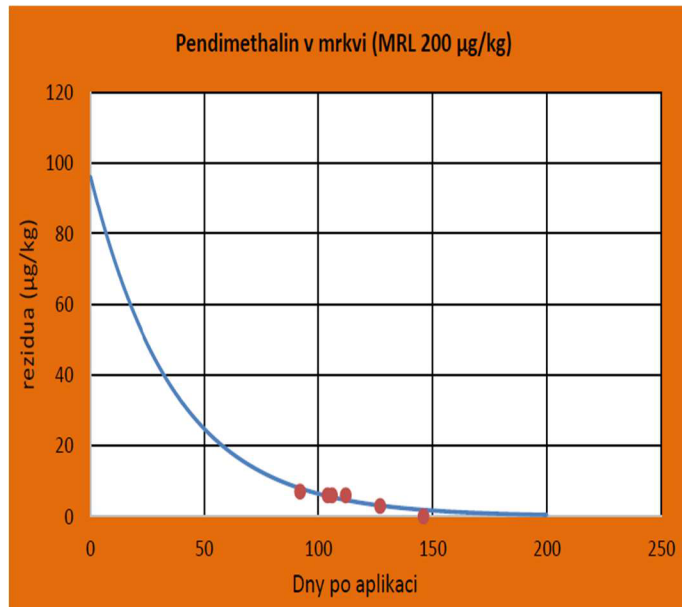
Grafy č. 1–14: Průběh degradace herbicidů ve sledovaných zeleninách po aplikaci (Jursík a kol. 2016).

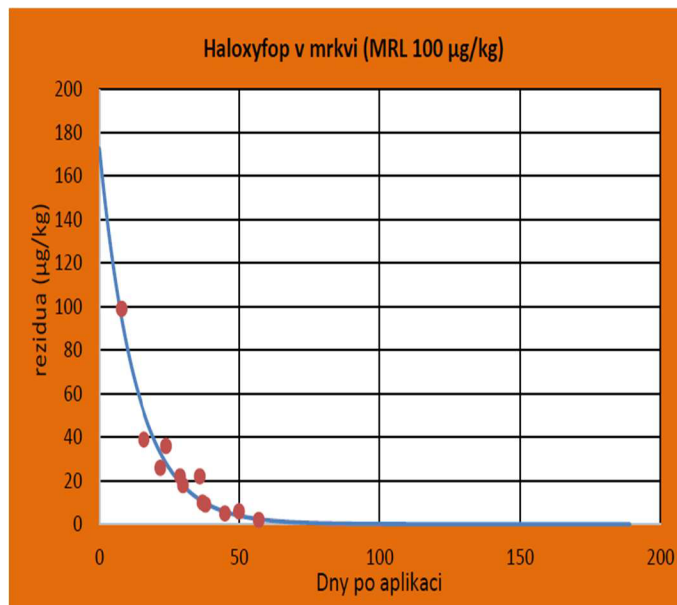












3.12.2 Transgenoze

Jiným způsobem, jak zabránit kumulaci reziduí herbicidů v rostlinách je řešení nabízené šlechtěním rostlin a semenářstvím.

Řepková (2013) uvádí, že se vnesení transgenů pro odolnost vůči herbicidům stalo prvním významným šlechtitelským úspěchem. Jelikož aplikace herbicidů je v současném zemědělství nezbytná, herbicidní látky tak často narušují určité biochemické a metabolické procesy v rostlině. Tím dochází k jejímu poškození a projevům fytoxicity. Často dochází i k ovlivnění procesu fotosyntézy rostlin, protože celá řada zmíněných procesů probíhá v chloroplastech (Řepková, 2013).

Totální herbicidy jsou již dlouho známé a velmi účinné, jsou schopny se rozkládat a neponechávat rezidua, ale nejsou použitelné pro preemergentní ochranu, jelikož působí na všechny typy rostlin. Genetické modifikace nabízí řešení tohoto problému (Řepková, 2013).

Řepková (2013) uvádí, že tato cesta je prospěšná z mnoha hledisek. Po vnesení transgenů pro necitlivost k herbicidům, mohou být zmíněné herbicidy použité při běžném pěstování. Místo několikanásobné aplikace různých typů herbicidů, se aplikuje jen totální herbicid a to nejvýše dva krát za vegetační období. Přináší to ekonomické a ekologické výhody.

Tři hlavní strategie nebo mechanismy dosažení resistance pomocí transgenů jsou:

- Kódování nadbytku cílového enzymu (proteinu). V důsledku nadprodukce část enzymu je v rostlině zachován a zůstane aktivní

- Kódování odlišné formy enzymu (modifikovaná, mutantní forma), který není herbicidem ovlivněn a v takovém případě zůstává v rostlině aktivní
- Kódování enzymu schopného herbicid rozkládat. Dochází k takzvané detoxifikaci herbicidní látky, její proměně na méně toxickou formu nebo jejímu celkovému odstranění. Tato metoda v současnosti příliš není využívána (Řepková, 2013).

Transgen, blokující účinek glyfosátu, se už uplatňuje při pěstování několika typů rostlin, například u bavlníku, sóji, řepky olejky. Podle Řepkové (2013) je geneticky modifikovaný bavlník, rezistentní ke glyfosátu a tvoří již více než 80 % s celkové produkce.

Pro získání necitlivosti k jiné významné látce, glufosinatu (komerční název Basta), byly použity dva transgeny pocházející z půdní aktinomycety *Streptomyces*. Způsob rezistence byl vynalezen a patentován firmou Hoechst. Této metody bylo využito i při pěstování kukuřice a řepky olejné (Řepková, 2013).

Moderní poznatky v oblasti transgenoz ve šlechtění rostlin vypadají velice lákavě a nadějně pro budoucí zemědělství. Je ale nutno brát na vědomí, že problematika geneticky modifikovaných rostlin je často kontroverzní a vyvolává nejednoznačnou reakci veřejnosti.

4 Závěr

Ze zjištěných informací lze odvodit že při snaze minimalizovat výskyt reziduí v zelenině je zásadní postupovat podle správných metodických pokynů, zejména dodržování ochranné lhůty příslušné ke konkrétnímu herbicidnímu přípravku a konkrétně plodině.

Je také důležité porozumět biologickým a fyzikálním vlastnostem pěstované plodiny. Například v případě plodin s krátkou vegetační dobou je dodržování ochranné lhůty ještě důležitější, jelikož jsou více náchylné ke kumulaci reziduí. V žádném případě by nemělo dojít k použití přípravků neregistrovaných nebo celkově nepovolených v rámci ČR a EU pro konkrétní plodinu.

Před aplikací by se měla určit správná dávka herbicidu a dodržovat pokyny uvedené na obalu. V případě varování a omezujících opatření, jako je např. nebezpečí pro včely, by se tyto kroky měly bezpodmínečně dodržovat.

Při aplikaci herbicidu postříkem je důležité brát na vědomí povětrnostní podmínky, jelikož jakmile jsou nepříznivé může dojít k úletu herbicidu a poškození necílených plodin. Operátor by měl mít příslušné vybavení, jako ochranný oblek a vhodné trysky, což je důležité jak pro ochranu svého zdraví, tak i pro optimalizaci aplikace prostředku.

V souvislosti se studovanou problematikou je často zdůrazněno chování herbicidů v půdě. Je zásadní určit správnou závlahu a dávku látky, případně ji upravit. Při proplavování herbicidních látek do půdy totiž může docházet ke kontaminaci podzemních vod.

V současné době se vyskytuje pozoruhodný tlak ze strany spotřebitelů a obchodních řetězců z hlediska nízkoreziduální produkce. Při takovém způsobu pěstování je dodržování výše zmíněných postupů ještě důležitější. Vzorke sklizeného produktu bývají pravidelně testovány a při nepříznivých výsledcích nebo pochybnostech může dojít k restrikci nebo celkovému vyloučení látky z registru povolených herbicidů.

Čím dál tím větší pokrok se ukazuje ve šlechtění geneticky modifikovaných odrůd, které vykazují kompletní rezistenci vůči herbicidům. Toto umožňuje použití totálních herbicidů bezpečnějších pro životní prostředí s následně příznivými ekonomickými a ekologickými výhodami.

5 Literatura

BLASIOLI Sonia BRASCHI, Ilaria, Carlo EMANUELE 2011. The Fate of Herbicides in Soil. *Herbicides and Environment* [online]. InTech, 2011-01-08, **2011**(8), 176-190 [cit. 2023-04-21]. ISBN 978-953-307-476-4. Dostupné z: doi:10.5772/13056

COBB, Andrew H. a John P.H. READE, 2010. *Herbicides and plant physiology*. 3. Chichester: John Wiley & Sons. ISBN 9781405129350.

ELGUETA, Sebastian, Marcela VALENZUELA, Marcela FUENTES, Pablo MEZA, Juan Pablo MANZUR, Shaofeng LIU, Guoqing ZHAO a Arturo CORREA, 2020. Pesticide Residues and Health Risk Assessment in Tomatoes and Lettuces from Farms of Metropolitan Region Chile. *Molecules* [online]. **25**(2), 25,355 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1420-3049. Dostupné z: doi:10.3390/molecules25020355

FOOTPRINT database [online], 2023. Hertfordshire: University of Hertfordshire [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/index.htm>

HARAŠTA, Petr, 2017. Ochranné vzdálenosti při používání přípravků (I). In: *Agromanual* [online]. České Budějovice: Agromanual.cz, 27.02.2017 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/management-a-legislativa/legislativa/ochranne-vzdalenosti-pri-pouzivani-pripravku-i>

HARAŠTA, Petr, 2018. Nežádoucí úlet postřiku - lze jej omezit?. In: *Agromanual* [online]. České Budějovice: Agromanual.cz, 18. 07. 2018 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/nezadouci-ulet-postriku-lze-jej-omezit>

HARAŠTA, Petr, 2020. Nežádoucí úlet postřiku a jak jej omezovat. In: *Agromanual* [online]. České Budějovice: Agromanual.cz, 14. 07. 2020 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/mechanizace/nezadouci-ulet-postriku-a-jak-jej-omezovat>

HORSKÁ, Tereza, František KOCOUREK, Jitka STARÁ, Kamil HOLÝ, Petr MRÁZ, František KRÁTKÝ, Vladimír KOCOUREK a Jana HAJŠLOVÁ, 2020. Evaluation of Pesticide Residue Dynamics in Lettuce, Onion, Leek, Carrot and Parsley. *Foods*. **9**(5), 1-21. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods9050680

CHIARELLO, Marilda a Sidnei MOURA, 2018. Determination of Pesticides in Organic Carrots by High-Performance Liquid Chromatography/High-Resolution Mass Spectrometry. *Analytical Letters* [online]. **51**(16), 2563-2576 [cit. 2023-04-21]. ISSN 0003-2719. Dostupné z: doi:10.1080/00032719.2018.1434664

Integrated Pest Management, 2023. *Indiana Department of Environmental Management* [online]. Indiana: About State Information Center [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.in.gov/idem/health/common-environmental-health-threats/pests-and-pesticides/integrated-pest-management/>

International Code of Conduct on the Distribution and Use of Pesticides, 2003. Revised Version. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

IPM, Integrated pest management, 2023. *Český svaz greenkeeperů* [online]. Vlašim: Czech Greenkeepers Association [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.czgreen.com/2008/11/ipm-integrated-pest-management/>

JURSÍK, Miroslav, 2021. Jak eliminovat rezidua herbicidů v zelenině. *Zahradnictví*. **2021**(1), 24-27.

JURSÍK, M., K. HAMOUZOVÁ, J. SOUKUP a J. ŠUK, 2016. Effect of nonwoven fabric cover on the efficacy and selectivity of pendimethalin in lettuce. *Scientia Horticulturae* [online]. **2016**(200), 7-12 [cit. 2023-04-21]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2015.12.054

JURSÍK, Miroslav, Jaroslav ŠUK, Kateřina HAMOUZOVÁ, Marie SUCHANOVÁ, Pavel HAMOUZ, František KOCOUREK a Kristýna KYSILKOVÁ, 2016. *Optimalizace regulace plevelů v systému integrované produkce košťálové, cibulové, kořenové zeleniny a salátu*. Česká zemědělská univerzita v Praze. Certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita v Praze.

JURSÍK, Miroslav, Josef HOLEC, Pavel HAMOUZ a Josef SOUKUP, 2018. *Biologie a regulace plevelů*. České Budějovice: Kurent. ISBN 978-808-7111-710.

JURSÍK, Miroslav, Martin KOČÁREK, Marie SUCHANOVÁ, Michaela KOLÁŘOVÁ a Jaroslav ŠUK, 2019. Effect of irrigation and adjuvant on residual activity of pendimethalin and metazachlor in kohlrabi and soil. *Plant, Soil and Environment* [online]. **65**(8), 387-394 [cit. 2023-04-21]. ISSN 12141178. Dostupné z: doi:10.17221/171/2019-PSE

JURSÍK, M., J. ŠUK, M. KOLÁŘOVÁ a J. SOUKUP, 2019. Effect of irrigation and soil adjuvant on the efficacy and selectivity of pendimethalin and metazachlor in kohlrabi. *Scientia Horticulturae* [online]. **2019**(246), 871-878 [cit. 2023-04-21]. ISSN 03044238. Dostupné z: doi:10.1016/j.scienta.2018.11.062

JURSÍK, Miroslav, Kateřina HAMOUZOVÁ a Jana HAJŠLOVÁ, 2021. Dynamics of the Degradation of Acetyl-CoA Carboxylase Herbicides in Vegetables. *Foods*. **10**(2), 1-10. ISSN 2304-8158. Dostupné z: doi:10.3390/foods10020405

KERLE, E.A., J.J. JENKINS a P.A. VOGUE, 1994. Understanding pesticide persistence and mobility for groundwater and surface water protection. *Oregon State University*. **1994**, 1-8.

KLÁŠKOVÁ, Lenka, Zdeňka MASTNÁ a Miloslava NAVRÁTILOVÁ, 2010. Zásady ochrany vod a necílových organismů při aplikaci přípravků na ochranu rostlin. In: *Ministerstvo zemědělství* [online]. Praha: Ministerstvo zemědělství ve spolupráci se Státní rostlinolékařskou správou, 2010 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.chizatec.cz/download/page4915.pdf>

KOCOUREK, František, Jitka STARÁ, Kamil HOLÝ, et al., 2017. Evaluation of pesticide residue dynamics in Chinese cabbage, head cabbage and cauliflower. *Food Additives & Contaminants: Part A*. **34**(6), 980-989. ISSN 1944-0049. Dostupné z: doi:10.1080/19440049.2017.1311419

KOCOUREK, Vladimír, 2023. ÚVOD DO POTRAVINÁŘSKÉ LEGISLATIVY: I. část – cíle a struktura právních a technických norem. In: *VŠCHT* [online]. Praha: VŠCHT Praha, 2014 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://web.vscht.cz/~kocourev/files/uvod-pl-skript.pdf>

KONGREVE, Mark, 2023. Many factors influence the residual herbicide breakdown and loss pathways. In: *Australian Government Grains Research and Development Corporation* [online]. Australia: Grains Research and Development Corporation [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://grdc.com.au/resources-and-publications/groundcover/ground-cover-supplements/groundcover-supplement-137-november-december-2018/dry-summer-soils-provide-an-unwelcome-haven-for-herbicide-residues>

LEHOTAY, Steven, Michelangelo ANASTASSIADES a Ronald MAJORS, 2010. The QuEChERS revolution. *LC GC Europe* [online]. **35**(12), 1-3 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/295924116_The_QuEChERS_revolution

MACLACHLAN, Dugald J. a Denis HAMILTON, 2010. Estimation methods for Maximum Residue Limits for pesticides. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. **58**(2), 208-218. ISSN 02732300. Dostupné z: doi:10.1016/j.yrtph.2010.05.012

MIKULKA, JAN a MARTA KNEIFELOVÁ, 2008. Rizika kontaminace potravin a pitné vody herbicidy. *Vědecký výbor fyto-sanitární a životního prostředí* [online]. Ruzyně: Výzkumný ústav rostlinné výroby [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.phytosanitary.org/projekty/2003/vvf-12-03.pdf>

PÉREZ-LUCAS, Gabriel, Nuria VELA, Abderrazak EL AATIK a Simón NAVARRO, 2019. Environmental Risk of Groundwater Pollution by Pesticide Leaching through the Soil Profile. *Pesticides - Use and Misuse and Their Impact in the Environment*. IntechOpen, 2019-7-17, **2018**(3), 1-17. ISBN 978-953-51-7998-6. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.82418

Potravinová pyramida v praxi: Statní zdravotní ústav, 2023. *Národní zdravotnický informační portál* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.nzip.cz/clanek/5-potravinova-pyramida-v-praxi>

RÖMEROVÁ, Silvie, 2021. *Chování herbicidů v prostředí*. Praha. Bakalářská práce. ČZU. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Jursík, Ph.D.

ŘEPKOVÁ, Jana, 2013. Geneticky modifikované rostliny. *Přírodovědecká fakulta Masarykovy Univerzity* [online]. Brno: Masaryková Univerzita [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/do/rect/el/estud/prif/js13/genetika/web/pages/09-geneticke-modifikace.html#prezentace>

SKOVGAARD, Marlene, Susana RENJEL ENCINAS, Olaf Chresten JENSEN, Jens Hinge ANDERSEN, Guido CONDARCO a Erik JØRS, 2017. Pesticide Residues in Commercial Lettuce, Onion, and Potato Samples From Bolivia—A Threat to Public Health?. *Environmental Health Insights* [online]. 2017(vol. 11), 1-11 [cit. 2023-04-21]. ISSN 1178-6302. Dostupné z: doi:10.1177/1178630217704194

STEJSKALOVÁ, Martina a Jan KAZDA, 2020. Nejčastější rezidua pesticidů v medu a pylu z lokalit s intenzivním hospodařením. In: *Agromanual* [online]. České Budějovice: Agromanual.cz, 24.09.19 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/nejcastejsi-rezidua-pesticidu-v-medu-a-pylu-z-lokalit-s-intenzivnim-hospodarenim>

ŠARJAKOVÁ, Renata, 2005. Funkce půdy ve vztahu k fytotoxicitě herbicidů. *Agrochémia* [online]. 2005, 9(3), 10-13 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.mskis.cz/?path=m1%7Cmt17%7Cmo1463>

ŠUK, Jaroslav, 2021. *Optimalizace regulace plevelů v porostech zeleniny se zaměřením na nutriční kvalitu a omezení reziduí herbicidů ve sklizených produktech*. Praha. Doktorská disertační práce. ČZU. Vedoucí práce Doc. Ing. Miroslav Jursík Ph.D.

ŠUK, Jaroslav, Miroslav JURŠÍK, Marie SUCHANOVÁ, Dana SCHUSTEROVÁ a Kateřina HAMOUZOVÁ, 2018. Dynamics of herbicide degradation in cauliflower. *Plant, Soil and Environment* [online]. 64(11), 551-556 [cit. 2023-04-21]. ISSN 12141178. Dostupné z: doi:10.17221/312/2018-PSE

ŠUK, Jaroslav, Kateřina HAMOUZOVÁ, Jana HAJŠLOVÁ a Miroslav JURŠÍK, 2021. Dynamics of herbicides degradation in carrot (*Daucus carota* L.) roots and leaves. *Plant, Soil and Environment* [online]. 67(6), 353-359 [cit. 2023-04-21]. ISSN 12141178. Dostupné z: doi:10.17221/46/2021-PSE

TICKES, B.R. a D.L. KERNS, 1996. Lettuce Injury from Preplant and Preemergence Herbicides: Tickes, B.R. and D.L. Kerns. 1996. IPM Series 9. Publ. No. 196007. University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences,. In: *The University of Arizona* [online]. Arizona: University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences, 1996 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <https://cals.arizona.edu/crop/vegetables/weeds/lettuceinjury.html>

UNSWORTH, John, 2010. HISTORY OF PESTICIDE USE. *International union of pure and applied chemistry* [online]. United Kingdom: International union of pure and applied chemistry, 2010 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: https://agrochemicals.iupac.org/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=sobi2Details&catid=3&sobi2Id=31

ZACHARIA, James Tano, 2011. Ecological Effects of Pesticides. In: *Pesticides in the Modern World - Risks and Benefits* [online]. 1. Tanzania: University of Dar es Salaam, Dar es Salaam University College of Education, s. 1-16 [cit. 2023-04-21]. ISBN 978-953-307-458-0. Dostupné z: https://cdn.intechopen.com/pdfs/21176/InTech-Ecological_effects_of_pesticides.pdf