

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Demonstrační a experimentální pracoviště



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Faktory ovlivňující účinnost a selektivitu herbicidů

Bakalářská práce

Filip Št'astný

Rostlinná produkce

Prof. Ing. Miroslav Jursík, Ph.D.

© 2024 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Faktory ovlivňující účinnost a selektivitu herbicidů" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 28.4.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Prof. Ing. Miroslavu Jursíkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a nejbližším za trpělivost a podporu.

Faktory ovlivňující účinnost a selektivitu herbicidů

Souhrn

Výskyt plevelů v porostech polních plodin může způsobovat pokles výnosu, obtíže při jejich sklizni a výrazné sklizňové ztráty, což se v důsledku negativně projeví na ekonomice a rentabilitě jejich pěstování.

K účinné regulaci plevelů je v konvenčním způsobu hospodaření využíváno zejména herbicidů, neboť vhodně provedený herbicidní zásah vykazuje velmi vysokou účinnost s relativně nízkými náklady. Herbicidy se aplikují v různých termínech v závislosti na intenzitě zaplevelení, plevelném spektru, mechanismu účinku herbicidu, způsobu příjmu herbicidu do rostliny, půdních a povětrnostních podmínek a selektivity herbicidu k plodině. Správně zvolený termín aplikace je předpokladem účinného herbicidního ošetření.

Pro vhodnou volbu herbicidu je nutné znát vztahy mezi působením herbicidu a vnějšími podmínkami. Herbicidy působí na rostliny narušením některého fyziologického procesu, který je nezbytný pro jejich růst a vývoj. Protein, na nějž se v rostlině váže herbicid, označujeme za místo účinku herbicidu. Účinnost herbicidů je ovlivněna několika faktory. Velmi důležitými jsou faktory abiotické. Znalost vztahů mezi účinností herbicidů a půdními, či povětrnostními podmínkami je zásadní pro volbu herbicidu a jeho dávku, či využití adjuvantu a dosažení maximální účinnosti herbicidního ošetření, neboť jednotlivé faktory nepůsobí na všechny typy herbicidů stejně.

Selektivita je vlastností herbicidů selektivně poškozovat určité druhy plevelů, aniž by poškozovaly druhy jiné, zejména vybrané plodiny. Selektivita je založena na několika vzájemně kombinovatelných mechanismech. Nejčastější je selektivita podmíněná fyziologicky, která je založena na fyziologických odlišnostech jednotlivých rostlinných druhů. Další je morfologicko-anatomická selektivita, která využívá morfologických a anatomických rozdílů mezi plodinou a citlivým plevelem. Třetím mechanismus selektivity je podmíněn místem dopadu. Tato selektivnost je dána rozdílnou zónou kořenového příjmu herbicidu mezi plodinou a plevelem. Tato selektivita je využívána u preemergentních herbicidů.

Při regulaci plevelů v konkrétní plodině je třeba rovněž biologické vlastnosti, konkurenční schopnost a kritické období (z pohledu konkurence) každé plodiny, tak aby regulační zásah proti plevelům neměl na plodinu negativní dopad.

Klíčová slova: počasí, půdní vlastnosti, formace herbicidů, adjuvanty, fytotoxicita

Factors affecting herbicide efficacy and selectivity

Summary

The presence of weeds in field crops can cause yield losses, harvesting difficulties and significant yield losses, which in turn have a negative impact on the economics and profitability of their cultivation.

Herbicides in particular are used for effective weed control in conventional farming, as herbicides, when applied appropriately, are very effective at relatively low cost. Herbicides are applied at different times depending on the intensity of the weed infestation, the weed spectrum, the mechanism of action of the herbicide, the mode of uptake of the herbicide into the plant, soil and weather conditions and the selectivity of the herbicide to the crop. Correct application timing is a prerequisite for effective herbicide treatment.

In order to make the appropriate choice of herbicide, it is necessary to know the relationship between herbicide action and external conditions. Herbicides act on plants by disrupting a physiological process that is essential for their growth and development. The protein to which the herbicide binds in the plant is referred to as the site of action of the herbicide. The effectiveness of herbicides is influenced by several factors. Abiotic factors are very important. Knowledge of the relationship between herbicide efficacy and soil or weather conditions is essential for herbicide selection and rate or adjuvant use and maximising the efficacy of herbicide treatments, as individual factors do not affect all types of herbicides in the same way.

Selectivity is the property of herbicides to selectively damage certain weed species without damaging other species, especially selected crops. Selectivity is based on several mutually combinable mechanisms. The most common is physiologically conditioned selectivity, which is based on physiological differences between plant species. Another is morphological-anatomical selectivity, which exploits morphological and anatomical differences between the crop and the susceptible weed. A third mechanism of selectivity is conditioned by the site of impact. This selectivity is due to the differential zone of herbicide root uptake between the crop and the weed. This selectivity is exploited for preemergent herbicides.

When controlling weeds in a particular crop, the biological characteristics, competitive ability and critical period (in terms of competition) of each crop are also needed so that the weed control intervention does not have a negative impact on the crop.

Keywords: weather soil and condition, herbicide formulations, adjuvants, phytotoxicity

Obsah

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | Úvod..... | 8 |
| 2 | Cíl práce..... | 9 |
| 3 | Literární rešerše..... | 10 |
| 3.1 | Regulace plevelů..... | 10 |
| 3.1.1 | Nepřímé metody regulace..... | 10 |
| 3.1.1.1 | Střídání plodin..... | 10 |
| 3.1.1.2 | Výběr pozemku..... | 11 |
| 3.1.1.3 | Zpracování půdy..... | 11 |
| 3.1.2 | Přímé metody regulace..... | 11 |
| 3.1.2.1 | Mechanické..... | 12 |
| 3.1.2.2 | Fyzikální..... | 12 |
| 3.1.2.3 | Biologické..... | 13 |
| 3.1.2.4 | Herbicidní..... | 13 |
| 3.1.3 | Rozhodování o zásahu proti plevelům..... | 14 |
| 3.1.3.1 | Škodlivost plevelů..... | 14 |
| 3.1.3.2 | Binomické členění plevelů..... | 15 |
| 3.1.3.3 | Rezistence plevelů vůči herbicidům..... | 16 |
| 3.2 | Herbicidy..... | 17 |
| 3.2.1 | Aplikace..... | 18 |
| 3.2.1.1 | Aplikační technika..... | 18 |
| 3.2.2 | Příjem a translokace herbicidů..... | 19 |
| 3.2.2.1 | Kořenový příjem..... | 19 |
| 3.2.2.2 | Listový příjem..... | 19 |
| 3.2.3 | Formulace herbicidů..... | 20 |
| 3.2.3.1 | Pevné formulace..... | 20 |
| 3.2.3.2 | Kapalné formulace..... | 21 |
| 3.2.4 | Adjuvanty..... | 21 |
| 3.2.4.1 | Aktivátory..... | 21 |
| 3.2.4.2 | Látky upravující vlastnosti postřikové jíchy..... | 22 |
| 3.2.5 | Postřiková jícha..... | 23 |
| 3.2.5.1 | Příprava postřikové jíchy..... | 23 |
| 3.2.5.2 | Dávka postřikové jíchy..... | 23 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.2.5.3 | Vliv formulace pesticidu..... | 24 |
| 3.2.5.4 | Vliv vody při mísení | 24 |
| 3.2.5.5 | Mísení pesticidů | 24 |
| 3.2.5.6 | Synergismus | 25 |
| 3.2.5.7 | Antagonismus..... | 25 |
| 3.2.5.8 | Pořadí mísení..... | 26 |
| 3.2.5.9 | Zkouška kompatibility | 26 |
| 3.2.6 | Selektivita..... | 26 |
| 3.2.6.1 | Degradace herbicidu v rostlině | 26 |
| 3.2.6.2 | Selektivita morfologicko-anatomicky podmíněná | 28 |
| 3.2.6.3 | Selektivita podmíněná místem dopadu | 28 |
| 3.2.7 | Účinnost | 29 |
| 3.2.7.1 | Místo a mechanismus účinku herbicidu..... | 29 |
| 3.2.7.2 | Abiotické faktory ovlivňující účinnost herbicidů | 32 |
| 3.3 | Negativní dopady používání herbicidů | 35 |
| 3.4 | Regulace plevelů v plodinách..... | 36 |
| 3.4.1 | Obilniny | 36 |
| 3.4.2 | Kukuřice | 36 |
| 3.4.3 | Slunečnice | 37 |
| 3.4.4 | Řepka | 37 |
| 3.4.5 | Brambory | 38 |
| 3.4.6 | Cukrová řepa..... | 38 |
| 3.4.7 | Jeteloviny | 38 |
| 3.4.8 | Luskoviny..... | 39 |
| 3.4.9 | Zelenina..... | 39 |
| 3.4.9.1 | Cibulová zelenina | 39 |
| 3.4.9.2 | Kořenová zelenina..... | 39 |
| 3.4.9.3 | Košťálová a listová brukvovitá zelenina | 40 |
| 3.4.9.4 | Lusková zelenina | 40 |
| 3.4.10 | HT technologie | 40 |
| 3.4.10.1 | GM technologie | 40 |
| 4 | Závěr | 42 |
| 5 | Literatura..... | 43 |

1 Úvod

Výskyt plevelů v porostech plodin může výrazně snížit výnos dané plodiny, komplikovat její sklizeň a v neposlední řadě velmi negativně ovlivnit ekonomiku pěstování. Počet obyvatel planety již překročil množství 8 miliard a stále roste. Nabízí se otázka, jestli si lidstvo může v tomto kontextu dovolit přicházet o potenciální úrodu kvůli plevelům, a jak je efektivně regulovat. Zatímco na ostatních světadílech je rozvinuté pěstování geneticky modifikovaných plodin, které umožňují účinnou regulaci škodlivých organismů, tak v Evropě se tyto technologie nesetkávají s pochopením a pěstitelé musí volit jiné strategie regulace plevelů. V regulaci plevelů hrají zásadní roli herbicidy. Jejich správné využívání umožňuje pěstitelům efektivní potlačení plevelů a zaplevelujících plodin. Avšak nezodpovědný používání herbicidů může způsobit závažné poškození životního prostředí, které může mít fatální následky.

Selektivita a účinnost jsou podstatné vlastnosti herbicidů, které výrazně ovlivňují regulaci plevelů v zemědělství. V dnešní době, kdy pěstitelům výrazně rostou náklady, a zhoršuje se ekonomická situace mnoha zemědělských podniků, je důležité používat herbicidy efektivně, neboť tvoří podstatnou část nákladů při pěstování polních plodin. Z ekonomického i ekologického hlediska je proto žádoucí využívat jejich potenciál naplno a ušetřit tak případné další náklady vzniklé opravným regulačním zásahem proti plevelům.

Zároveň se dnes stále více zvyšuje tlak veřejnosti na snižování spotřeby pesticidů a zemědělci jsou nuceni na tento tlak reagovat a svým přístupem k hospodaření snižovat ekologickou zátěž životního prostředí. Zemědělci se dnes musí vyrovnávat nejen s tlakem veřejnosti, ale i s omezeními, která jsou daná legislativně. Jedná se především o zakazování, či regulaci používání některých účinných látek. Pěstitelé proto volí i jiné než herbicidní metody regulace plevelů, neboť spektrum účinných látek v některých plodinách je nedostatečné a vracejí se například zpět k plečkování, od kterého v minulosti ustoupili, nebo hledají jiné účinné alternativy v regulaci plevelů.

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo vypracovat literární přehled, který popíše problematiku účinnosti a selektivity herbicidů a faktorů, které tyto vlastnosti ovlivňují se zaměřením na vlastnosti půdy a povětrnostní podmínky. Dalším cílem práce bylo uvedení problematiky herbicidní účinnosti a selektivity do kontextu regulace plevelů v některých plodinách, které se pěstují na našem území.

3 Literární rešerše

3.1 Regulace plevelů

Dle Korese et. al. (2019) dělíme metody regulace plevelů na přímé a nepřímé. Oba způsoby byly využívány už v minulosti našimi předky, protože se zaplevelením se zemědělství potýká již od svého počátku, kdy lidé přešli od lovecko-sběračského způsobu života. Podstatným faktem, ve směru výskytu plevelů bylo, že první zemědělci vybírali k domestikaci zejména plodiny dle chuťových a výživových vlastností, než podle schopnosti konkurovat jiným rostlinám. Kohout (1987) zmiňuje, že změna technologií pěstování v padesátých a šedesátých letech minulého století, byla příčinou zvýšeného výskytu některých plevelů, ale též způsobila, že některé druhy úplně, či částečně, z agrofytocenóz ustoupily.

Mikulka (2014) uvádí, že podstatou regulace plevelů je spolehlivá eliminace plevelné rostliny, která silně konkuruje plodině již krátce po vzejití. Regulace má několik zásad, a pokud nebudou dodrženy, hrozí nevratné škody v porostu. Mikulka (2021) dodává, že dnes je akcentován integrovaný přístup k regulaci plevelů, tedy maximální využití nepřímých a nechemických způsobů regulace plevelů. Integrovaná ochrana proti plevelům se dle ní uplatňuje u plodin na orné půdě, ale i u ovocnářství, zelinářství, nebo u speciálních plodin.

Podle Hamouze (2014) je za předpokladu, že máme dobře zmapovaný výskyt plevelů na pozemku, vhodné využití cílených zásahů, neboť snížíme náklady na ošetření i jeho ekologickou zátěž.

3.1.1 Nepřímé metody regulace

Mikulka (2021) uvádí za nepřímé metody regulace plevelů, lze označit takové agrotechnické postupy, jež mají zabránit výskytu plevelů a omezovat jejich populační hustotu na pozemku škodlivost navozováním takových podmínek, které jsou nevhodné pro dokončení celého životního cyklu plevelů, či mají zabránit negativním interakcím s plodinou. Nepřímé metody mohou být velmi užitečné například u jarního ječmene, neboť jak uvádí Zimolka (2006) je jarní ječmen náchylnější na poškození herbicidy a vykazuje poměrně vysokou konkurenční schopnost vůči jednoletým plevelům. Mimo preventivní kroky, jako čištění osiva a používání vyzrálých statkových hnojiv se jedná o následující druhy regulace. Hůla et. al. (2008) uvádějí, že samočistící schopnost správně obhospodařované půdy černozemního typu sníží půdní zásobu plevelů v průměru o 7 %. Dále uvádějí, že samočistící funkci půdy ovlivňují i půdní mikroorganismy a jejich rozvoji můžeme pomoci vhodným rozložením posklizňových zbytků. Smith et. al. (1995) uvádí, že tento způsob regulace nikdy nedocílí úplného vyhubení plevelů, ale vede k dlouhodobému udržení pod prahem škodlivosti.

3.1.1.1 Střídání plodin

Dle Mikulky (2014) ovlivňují osevní postupy velmi výrazně struktury plevelných společenstev agrofytocenóz. Dále též udává, že při vhodné rotaci plodin v osevních postupech dochází k ústupu řady plevelných druhů. V minulosti, kdy byly osevní postupy bohatší a nepoužívali se masivně herbicidy, bylo spektrum plevelů velmi široké. Jursík et. al. (2018a) zmiňuje, že vzhledem k většímu zastoupení ozimů v dnes realizovaných osevních postupech,

dochází k nárůstu výskytu jednoletých ozimých plevelů, které mají v porostech ozimých plodin ideální podmínky pro svůj růst a vývoj. Avšak v podnicích, které se specializují na pěstování zeleniny, či brambor se více vyskytují plevele pozdě jarní.

Důležitou roli v regulaci plevelů v rámci osevních postupů mají i meziplodiny. Jak udávají Kintl et. al. (2023) mají meziplodiny schopnost plevele potlačovat, ale taktéž se při nevhodné volbě druhu meziplodiny, může tato meziplodina stát zaplevelující plodinou, která je schopna se na daném pozemku reprodukovat. Je proto důležité zohlednit vlastnosti stanoviště a bionomické vlastnosti meziplodiny. Kintl et. al. (2023) dále upozorňují, že tento fakt musí brát v potaz i tvůrce meziplodinových směsí.

3.1.1.2 Výběr pozemku

Plodiny citlivé k zaplevelení obtížně regulovatelným druhem plevele podle Jursíka et. al. (2018c) není vhodné zařazovat na pozemky u nichž je známo, že výskyt takového plevele je zde hojný. Důraz na výběr vhodného pozemku je třeba klást především u množitelských porostů. V praxi dochází například k vyřazování pozemku pro pěstování cukrové řepy, pokud jsou silně zapleveleny řepou plevelnou. Také Soukup et. al. (2018) uvádějí, že jedno z nejzákladnějších preventivních opatření v boji proti plevelům je výběr vhodného pozemku pro pěstování dané plodiny.

3.1.1.3 Zpracování půdy

Hůla et. al. (2008) tvrdí, že způsob zpracování pozemků má vliv na distribuci semen plevelů v půdě a též ovlivňuje jejich klíčivost, dormanci a životnost. Jursík et. al. (2018a) uvádí, že s poklesem intenzity zpracování půdy narůstá intenzita přímých regulačních zásahů proti plevelům. U mnoha plevelů je jako důležitý zásah v prevenci, proti jejich výskytu, podmínka časně po sklizni. Aby však podmínka mohla být provedena včas, musí být zajištěn brzký svoz slámy z pozemku. Podle Soukupa et. al. (2018), kteří zkoumali biologické vlastnosti a možnosti regulace sveřepu jalového, je velmi důležité regulační opatření v boji se sveřepem mělká podmínka, jež podpoří brzké vzcházení obilek. Následně mohou být vzešlí jedinci sveřepu zaklopeni orbou. Dále zmiňují, že účinným opatřením může být předseťová příprava půdy, při níž jsou rostliny sveřepu dostatečně mechanicky narušeny, aby bylo zabráněno v jejich dalším růstu. K dosažení dostatečné účinnosti však musí být zákrok dostatečně intenzivní a zasažené rostliny nedostatečně zakořeněné. Pro vyšší účinnost lze předseťovou přípravu opakovat a využít tzv. falešný výsev, ale nejpozději do tří týdnů po předseťové přípravě, jak dále uvádějí Soukup et. al. (2018).

3.1.2 Přímé metody regulace

Kores et. al. (2019). označují za přímé metody regulace plevelů takové pracovní postupy, jejichž primárním cílem je odstranění plevelných rostlin.

3.1.2.1 Mechanické

Na mechanické zásahy jsou, dle Mikulky (2014), náchylné například pryšce, které jsou naopak poměrně odolné k herbicidům. Mechanický zásah je vhodným zákrokem k regulaci i lilku černého, kdy se již na jaře musí kultivací půdy připravit vhodné podmínky pro zapojení porostu plodiny.

Hůla et. al. (2008) uvádějí, že při snížení intenzity zpracování půdy se vytváří vhodné podmínky pro výskyt jednoletých i vytrvalých druhů plevelů. Avšak při dlouhodobějším používání minimalizačních technologií zpracování půdy mohou být vytvořeny podmínky pro pokles zaplevelení, což vysvětluje zvýšenou koncentrací semen plevelů ve svrchní vrstvě půdy, kde mají vhodné podmínky pro klíčení a vzcházení. Mikulka & Štrobach (2024) tvrdí, že klasická orba má pozitivní vliv na regulaci některých vytrvalých plevelů. Naopak nedoporučují využít technologie minimálního zpracování půdy na pozemcích s výskytem vytrvalých plevelů, neboť by mělké zpracování půdy vyvolalo silnou regeneraci a rozšíření těchto plevelů.

Velmi významným mechanickým zásahem proti plevelům je plečkování. Jak uvádějí Jursík et al. (2018b), je u plečkování důležité provést zásah za optimální vlhkosti půdy, neboť vysoká vlhkost umožňuje regeneraci plevelů, nebo dokonce neumožní praktické provedení této operace. Výhodou plečkování je rozrušení půdního škraloupu během zásahu proti plevelům, který se vytváří zejména na nestruturních půdách.

3.1.2.2 Fyzikální

Tyto metody regulace plevelů jsou často velmi účinné, ale jejich technická a energetická náročnost zapříčiňuje jejich malé využívání. Podle Jursíka et. al. (2018a) jsou nejpoužívanějšími fyzikálními metodami regulace plevelů metody termické, při nichž dochází k využití vysoké teploty. Pro termické metody regulace plevelů se využívají plamenové plečky nebo hořáky jejichž palivem bývá nejčastěji propan-butan. Můžeme je úspěšně využít u širokořádkových plodin do meziřadí. Tyto metody lze použít v ekologickém zemědělství. Při využití vysokých teplot je cílem pouze zvýšení teploty rostlinných pletiv, aby rostlina odumřela v důsledku denaturace proteinů.

Podle Horowitze et. al. (1983) lze využít solarizaci půdy k zabránění růstu plevelů. Kýženého efektu dosáhneme po pokrytí povrchu půdy průsvitnou fólií, pod kterou se díky skleníkovému efektu a vyšší intenzitě slunečního záření a udržuje vysoká teplota. Při dostatečném slunečním záření dochází k takovému zahřátí povrchu půdy pod fólií, že většina vzcházejících rostlin a klíčících semen v ní odumírá. Avšak je třeba brát zřetel na druhovou citlivost, protože jak uvádí Jursík et. al. (2018a) půdní zásoba obilí ježatky kuří nohy je v našich podmínkách vůči solarizaci značně odolná. Solarizace je vhodná k využití v tropických a subtropických podmínkách nebo v mírném pásmu v létě při dostatečném přísunu slunečního záření.

Podle Korese et. al. (2019) lze k regulaci plevelů využít také mulčování. K tomu lze využít nejrůznější neprůhledné materiály jako netkaná textilie nebo PE folie, neboť ty zabrání přístupu světla na povrch půdy. Tyto neprůhledné materiály jsou společně s biologickými materiály kvůli nižší teplotě pod sebou využívány hlavně u plodin chladnomilnějších.

3.1.2.3 Biologické

Do této metody patří využití živých organismů za účelem regulace populace daného druhu plevelu. Bioagens se musí vyskytovat na pozemku v okamžiku, kdy jsou plevelné rostliny v citlivých fázích růstu, jinak by biologická regulace plevelů nebyla úspěšná.

Soloneski & Larramendy (2013) uvádějí několik strategií biologické regulace. První jsou strategie konzervační neboli ochranné, fungující na principu identifikace účinných regulátorů zaplevelení a jejich ochraně. Regulátory se většinou na pozemku vyskytují přirozeně, ale v nedostatečném počtu, můžeme je proto podpořit například omezením užívání pesticidů, které mají negativní dopad na daný regulátor. Této strategii je blízká strategie agumentační, která však je postavena na přímém zvyšování populace antagonistů, kteří jsou rozmnoženi ex situ a následně aplikováni na pozemek. Další strategie je inundační, při níž dochází k jednorázové aplikaci bioregulátora, avšak nepočítáme s jeho dlouhodobým působením. Příkladem této formy regulace jsou Mykoherbicydy. Nejpoužívanější je inokulační metoda, která je klasickou strategií využívající introdukci přirozených regulátorů z místa původního výskytu. Tuto metodu lze využít hlavně u invazivních druhů, které zde nemají přirozenou regulaci. Musíme zde však dbát zvýšené pozornosti na biologii regulátora, aby nedošlo ke škodám na necílových organismech a nedošlo k poškození kulturních rostlin.

Holec (2022) uvádí jako nejčastější bioregulátory patogenní houby a hmyz. Jako vhodné se jeví druhy s vysokou selektivitou a co nejvyšší účinností, což vede k rychlé regulaci plevelu v dostatečné míře a nepoškození necílových druhů. Kohout et. al. (2010) zmiňují jako nejznámější příklad využití bioagens v České republice nosatčíka suříkového a mandelinky ředkvičkové při regulaci širokolistých šťovíků na loukách a pastvinách. Za biologickou regulaci plevelů lze počítat i pastvu.

3.1.2.4 Herbicidní

Herbicidní ochrana je využití syntetických herbicidů, které regulují plevel díky své schopnosti zasahovat do jejich fyziologických procesů. K jejich aplikaci dochází hlavně na zemědělské půdě, avšak jejich uplatnění najdeme i mimo zemědělskou půdu (železnice, komunální zeleň atd.). Dle Ahrense (1994) se jedná zpravidla o inhibici enzymu, který katalyzuje důležitou biosyntetickou reakci. Je zde možnost výskytu druhotného projevu v místě, kde je daná sloučenina zapotřebí u navazujícího biochemického procesu nebo v rámci stavební jednotky buněčných organel či k projevu toxicity nahromaděných metabolitů, jež nelze dále v metabolismu využít. Mikulka (2024) tvrdí, že v současné době není reálné vyloučit herbicidy ze systémů pěstování, neboť by velmi výrazně poklesla produkce u většiny plodin a vzrostlo zaplevelení polí.

Podle Hůly et. al. (2008) dochází ke změnám strategie herbicidní ochrany při přechodu z konvenčního na minimalizační způsob obdělávání půdy. Köller & Linke (2001) v této souvislosti pozorovali, že u osevních postupů, kde byly hojně zastoupeny obiloviny, došlo k nárůstu psárky a sveřepů. Vysvětlují to zejména rezistencí k obilním herbicidům a vnesením semen na povrch při změně zpracování půdy. Mikulka (1999) tvrdí, že po přechodu k minimalizačnímu způsobu zpracování půdy roste spotřeba herbicidů i v souvislosti s vytrvalými pleveli, které nejsou poškozovány orbou.

3.1.3 Rozhodování o zásahu proti plevelům

Regulační zásah proti plevelům je ekonomicky výhodný po překročení ekonomického prahu škodlivosti, kdy výskyt plevelů je takový, že ztráta na výnosu jimi způsobená je stejná jako náklady na jejich regulaci. Ekonomický práh škodlivosti, se mění v závislosti na výši ceny herbicidu a ceně sklizené produkce. Berti & Zanin (1994) uvádějí, že výslednou ztrátu způsobenou plevelem nelze zjistit pouhým sečtením škodlivostí jednotlivých plevelných druhů, neboť konečnou ztrátu výnosu snižuje vzájemná konkurence mezi jednotlivými plevelem, proto navrhuje použití takzvaného ekvivalentu hustoty, kdy plevel s nejvyšší konkurenční schopností má přiřazen ekvivalent jedna a další druhy mají hodnotu ekvivalentu odpovídající poměru konkurenčního působení vzhledem k nejkonkurenceschopnějšímu plevelem. Výsledná hodnota konkurenčního působení je vyjádřena součtem těchto ekvivalentů. Z důvodu nezohlednění vlivu regulačního zásahu na výskyt plevelů v dalších letech nejsou ekonomické prahy škodlivosti dokonalým kritériem pro rozhodnutí o provedení regulačního zásahu proti plevelům. Hodnota ekonomického prahu škodlivosti může být snížena, aby nedošlo k nárůstu počtu plevelů v dalších letech. Pro takto upravený práh škodlivosti se používají názvy dlouhodobý práh škodlivosti, optimalizovaný ekonomický práh škodlivosti nebo bioekonomický práh škodlivosti. Bauer & Mortensen (1992) zmiňují ve své studii, že dlouhodobé prahy většinou mají nižší hodnoty než prahy ekonomické. Hamouz (2014) uvádí speciální prahy škodlivosti pro precizní zemědělství, které vycházejí z prahů dlouhodobých, ale zohledňující specifika precizního zemědělství. Je nutné brát v potaz, že se semena plevelů mohou rozšiřovat i mimo jednotlivou aplikační buňku například větrem, zpracováním půdy nebo při sklizni.

Zimdahl (2007) tvrdí, že správné načasování přímého regulačního zásahu proti plevelům má brát v potaz kritickou periodu, která označuje období přítomnosti plevelů v porostu, kdy vytváří velký konkurenční tlak na plodinu, čímž negativně ovlivní výnos. K tomuto bodu dochází obvykle v průběhu nárůstu biomasy plevelů a plodin. Projev kritické periody může být doprovázen nedostatkem vegetačních faktorů. V okamžiku, kdy je plodina vzrostlá v takové růstové fázi, že nové plevele nejsou schopné ji efektivně konkurovat, můžeme považovat kritickou periodu za ukončenou.

3.1.3.1 Škodlivost plevelů

Soloneski & Larramendy (2013) uvádějí, že výskyt plevelů může mít vliv nejen na výnos, ale i na kvalitu sklizené produkce, což může mít negativní dopad na ekonomiku pěstování. Jako příklady zmiňují menší plody a semena nebo sklíditelné vegetativní části. To zapříčiňuje nižší uplatnění na trhu a v některých případech i neprodejnost. Výskyt semen plevelů v osivu snižují jeho kvalitu a některé porosty zasažené plevelem nemusejí získat uznání jako množitelské. V případě výskytu zelených rostlin v době sklizně zralých obilovin se zvyšuje vlhkost sklizeného zrna. Kvalitu krmiv může snižovat výskyt ostnitých příměsí nebo toxických druhů. Zimdahl (2007) uvádí, že znalosti místa výskytu, způsobu rozmnožování, délky vegetace, či období kdy plevel roste, jsou důležité při volbě způsobu regulace. Zároveň také říká, že toto rozdělení je kvůli podnebí podstatnější v mírném pásmu, než v tropech a subtropích.

3.1.3.2 Binomické členění plevelů

Zimdahl (2007) eviduje 450 čeledí kvetoucích rostlin a v nich přes 350 tisíc druhů, z čehož lidé využili k jídlu pouze přibližně 3000 z nich. Mikulka (2014), Zimdahl (2007) a Mikulka et. al. (2005) se shodují na rozdělení plevelů do dvou hlavních kategorií, které se dále rozlišují do dalších skupin. První kategorií jsou plevely jednoleté. Mezi jednoleté plevely řadíme skupinu plevelů efemérních, které vzcházejí od podzimu do jara a využívají špatného zapojení či prořídnutí porostů ozimu a dostatku vláhy v půdě. Tyto plevely dokončují vývoj na jaře a na stanovišti nezůstávají příliš dlouho a mají menší vzrůst, proto nejsou příliš významnými plevely. Příkladem efemérního plevelu jsou rozrazil břechťanolistý, nebo huseníček rolní, který se dle Klaaßena & Freitag (2004) vyskytuje zejména v ozimých obilninách.

Plevely, které se vyskytují hlavně v jarních obilovinách, olejninách a luskovinách jsou časně jarní plevely. Klíčí už od 0 stupňů celsia. Tyto plevely obvykle nejsou schopné přežít stredoevropskou zimu. Z významnějších zástupců sem řadíme opletku obecnou.

Pozdně jarní plevely jsou charakteristické vzcházením při vyšší teplotě, dle Costea et. al. (2004) až okolo 10 °C. Některé druhy z této skupiny mohou vzcházet během celého vegetačního období, ale většina vzchází především na jaře. Díky dobrému zapojení porostů obilovin, v době vzcházení těchto plevelů, v nich často neškodí a musíme je řešit jen u plodin s pomalejším počátečním růstem nebo u rostlin, které se sejí později (duben). Zástupci této skupiny jsou ježatka kuří noha, laskavec ohnutý nebo merlík bílý.

Poslední skupinou plevelů patřící pod jednoleté plevely jsou plevely ozimé. Vzcházejí koncem léta a na podzim. Pokud proti nim nezasáhneme, tak do zimy narostou do fáze, v níž jsou schopné prezimovat a na jaře pokračují v růstu. Škodí ve většině pěstovaných plodin, protože vzcházejí také na jaře. Řadíme sem například svízel přítula, kokošku pastuší tobolku, heřmánkovec nevonný, hluchavku objímavou.

Druhou kategorií tvoří dvouleté až vytrvalé plevely. U této kategorie tvrdí Gill & Arshada (1995), že se jejich druhová diverzita zvyšuje s klesající intenzitou zpracování půdy. Tuto kategorii dále rozdělujeme podle převažujícího způsobu jejich rozmnožování. Rozmnožování generativní není u těchto plevelů tak časté, ale u některých zástupců jako jsou pampeliška lékařská a šťovík tupolistý převažuje. Jedná se o rostliny, které v prvním roce vegetace vytvoří přízemní růžici a generativní produkci až v dalším roce. Dvouleté plevely po vytvoření semen a plodů odumřou, ale plevely vytrvalé ve svém vývoji pokračují. Škodí hlavně u víceletých plodin, neboť u jednoletých plodin dochází ke zpracování půdy a zamezení dokončení vývoje rostliny a tím i vzniku generativních orgánů, z nichž by vyrostli noví jedinci. Mikulka & Štrobach (2024) uvádějí, že pro účinnou regulaci těchto plevelů je nutné využívat všech metod regulace a uplatňovat je dlouhodobě.

Významnějšími jsou plevely, u kterých převládá rozmnožování vegetativní. Vegetativní rozmnožování převládá hlavně v polních podmínkách, neboť na neobdělávaných půdách se množí také generativně. Mají schopnost intenzivního rozrůstání se (tvorba ohnisek) zaplevelení. Dle Mikulky (2014) můžeme rozdělovat tyto plevely na mělce a hluboce kořenící. Plevely mělce kořenící s plazivými kořenicemi lodyhami vytvářejí na uzlinách lodyh kořenové a stonkové pupeny, které zakořeňují a tvoří listové růžice. Řadíme sem pryskyřník plazivý nebo mochnu husí.

Plevele s tuhými a pevnými oddenky mají kořeny uloženy ve vrchní vrstvě půdy. Tyto oddenky jsou tuhé, pevné a článkované. Jednotlivé uzliny článků tvoří stonkové a kořenové pupeny. Pronikání utuženou půdou, či jiným kompaktním prostředím, umožňuje šupinou krytý terminální pupen. Při zpracování půdy jsou oddenky rozrušeny a už od velikosti segmentů 1 až 2 cm mohou narašit pupeny, z kterých poté vznikají noví jedinci. Významným zástupcem této skupiny je pýr plazivý, u něhož je proces dormance a inhibice způsoben zejména kyselinou abscisovou (Taylor et. al. 1995). Oproti tomu máta rolní je příkladem méně významným plevelem, který má oddenky měkké a křehké. Méně významným plevelem, jak dále uvádí Mikulka (2014), vyskytujícím se zejména v teplejších oblastech je česnek viničný, který netvoří oddenky, ale podzemní cibule. Tyto cibule se nevytvářejí příliš rychle, avšak mohou v půdě zůstat delší dobu. Mezi mělce kořenící plevele řadíme i skupinu plevelů, která na oddencích vytváří hlízy. Tyto hlízy se vyskytují v různých hloubkách, což umožňuje rostlinám na stanovišti přetrvat dlouhodoběji i při nepříznivých podmínkách. Zástupci těchto plevelů jsou hrachor hlíznatý či kamyšník polní.

Mezi hlouběji kořenící plevele řadíme několik významných levelů. Kořenový systém těchto rostlin může svými vertikálními výběžky dosáhnout i hloubky podorničí a horizontální výběžky bývají uloženy mělčeji, patrovitě nad sebou. Jedněmi z hlouběji kořenících plevelů jsou plevele bylinné s oddenky. Jsou to plevele, které mají vodorovné i svislé oddenky na nichž jsou osní a listové pupeny, které bývají chráněny šupinami. Holm et. al. (1997) na přeslička rolní popisují, že pupeny letních lodyh jsou uloženy mělčeji a mohou být laterální, nebo terminální. Pupeny jsou rozmístěny nepravidelně. Významnými zástupci jsou přeslička rolní a bršlice kozí noha.

Další významnou skupinou jsou plevele bylinné s kořenovými výběžky, které mohou sahat až několik metrů hluboko. Kořenové i stonkové pupeny jsou rozmístěny nahodile na kořenových výběžcích a jsou menší, ale bez krycích šupin. Kořenové výběžky jsou snadno lámavé a nemají články. Řadíme sem pcháč rolní, mléč rolní nebo svlačec rolní.

Na orné půdě téměř se nevyskytujícími jsou plevele dřevinné s kořenovými výběžky. Dřevnatí kořenové výběžky i nadzemní část rostlin, díky obsahu ligninu. Jsou to rostliny odolné vůči zpracování půdy, které na stanovišti zůstávají. Zástupcem je ostružiník ježiní.

3.1.3.3 Rezistence plevelů vůči herbicidům

Plevele jsou rezistentní k herbicidu, pokud zdědí schopnost odolávat herbicidní dávce, která by normálně potlačila jejich populaci. Populace plevelů se díky selekčnímu působení herbicidů přizpůsobují podmínkám a stávají se rezistentní k těmto látkám. Lze říci, že rezistenci vyvolává dlouhodobé používání herbicidů (Mikulka & Chodová 1996). Pokud rezistence vyvolaná jedním herbicidem vyvolá rezistenci vůči dalším herbicidům se stejným mechanismem účinku, tak mluvíme o rezistenci křížové. Nejvíce nebezpečným typem rezistence se stala vícenásobná rezistence, která je rezistencí vůči více herbicidům s odlišnými mechanismy účinku. Klaaßen & Freitag (2004) varují, že rezistence k herbicidům může v budoucnu způsobit totální změnu druhového spektra.

Soukup et. al. (2011) uvádějí, že mechanismů rezistence vůči herbicidům je několik. Nejvyšší rezistence, je obvykle způsobena strukturální změnou místa, na které herbicid působí. V cílovém enzymu, na který působí herbicid, se změní aminokyselina, což vede k tomu, že se

herbicide na tento enzym nedokáže navázat a ani vysoké dávky herbicide nejsou efektivní. Dalším, a ne příliš prozkoumaným mechanismem, je metabolicky založená rezistence. Plevelé jsou schopny rychle metabolizovat herbicide na netoxickou látku nebo alespoň na méně toxickou. Nerezistentní plevele herbicide také metabolizují, ale rozdíl je v rychlosti degradace, která je u citlivých populacích výrazně pomalejší. Naylor (2002) dále uvádí, že existují i další méně popsané mechanismy, jako je rychlé zabudování herbicide do vakuol nebo zneaktivnění účinné látky podávané v neaktivní formě, kdy k aktivaci má dojít právě v rostlině.

Mikulka & Chodová (1996) uvádějí následující opatření vedoucí ke snížení výskytu rezistence: dodržování zásad střídání plodin, využívat všechny způsoby nechemické likvidace plevelů, dodržovat dávkování a termín aplikace herbicideů, kombinovat herbicidey s různým mechanismem účinku a neaplikovat po sobě herbicidey se stejným místem působení, kontinuálně sledovat populace plevelů na pozemcích a případně prověřit účinnost kroků vedoucích k jejich eliminaci. Jursík et. al. (2018a) tvrdí, že vývoj rezistence lze rozpoznat již v počáteční fázi a lze tak předejít jejímu rozšíření po celém podniku. Následné možnosti regulace či potlačení rezistence bývají nákladnější.

Mikulka (2014) uvádí, že se v současné době populace rezistentních plevelů nahodile vyskytují na území našeho státu. Chodová et. al. (2004) tvrdí, že na našem území bylo popsáno 16 druhů rezistentních plevelů, které se většinou vyskytovaly v blízkosti železnic. Popsání rezistence těchto druhů proběhlo v osmdesátých a devadesátých letech minulého století. Na základě konzultace s Ing. Kateřinou Hamouzovou Ph.D. lze říci, že u nás bylo od roku 2005 popsáno 11 druhů plevelů rezistentních k některým účinným látkám herbicideů. Mikulka & Slavíková (2008) dodávají, že v minulém století byly v porostech kukuřice a cukrovky objeveny rezistentní druhy vůči PS II inhibitorům, a to ježatka kuří noha, lilek černý či merlík bílý. Klaaßen & Freitag (2004) uvádějí, že v minulosti byly velmi rozšířené monokultury kukuřice, které byly ošetřovány triazinovými herbicidey. Na těchto pozemcích se vyskytovaly plevele, které byly zprvu těmito přípravky potlačovány, ale posléze na ně přestaly být tyto herbicidey účinné. Mezi tyto rezistentní druhy patřily lebedy, merlíky, pětoury a blín černý.

3.2 Herbicidey

Pesticidy určené k regulaci plevelů jsou nazývány herbicidey. Tyto chemikálie svojí biologickou aktivitou zasahují do fyziologických pochodů rostlin, čímž jim způsobují poškození a odumření. Oproti jiným prostředkům regulace plevelů je herbicidní ochrana málo náročná na lidskou práci, jak uvádějí Cobb & Reade (2010). Využívání herbicideů má rizika v podobě fytotoxicity, která může ohrozit pěstované plodiny. Při aplikaci a manipulaci s herbicidey je zapotřebí brát ohled na zdraví osob, které s herbicidey manipulují, zejména obsluhy postřikovačů. Jursík et. al. (2018c) Upozorňují, že herbicidní látky a meziproducty jejich rozkladu, nazývané metabolity, mohou přetrvávat v půdě a mohou být transponovány do podzemních a povrchových vod, dokonce se jejich rezidua mohou vyskytnout i v potravinách.

Jursík et. al. (2018a) tvrdí, že vývoj herbicideů sahá až do 19. století zavedením dusíkatého vápna jako hnojiva, u kterého byly nalezeny herbicidní účinky. Dalšími látkami, u kterých byly zjištěny herbicidní účinky, jsou dinitrofenoly, jež se využívaly jako insekticidy, od třicátých let

dvacátého století byly tyto látky využívány též jako herbicidy. Tyto látky byly využívány společně s deriváty krezolu v obilninách a kukuřici až do padesátých let. Jejich problémem bylo silně toxické působení na živé organismy, jež přišly s těmito látkami do kontaktu. Podstatnou roli ve vývoji herbicidů měla druhá světová válka. Tyto látky byly také vyvíjeny a následně i použity jako chemické zbraně k defoliaci vegetačního pokryvu ve válce vietnamské. Za přelom lze považovat padesátá léta minulého století, kdy došlo k objevení herbicidních účinků triazinu. V šedesátých letech byly vyvinuty další triazinové herbicidy a některé z nich jsou ve světě, mimo Evropu, kde jsou omezovány, používány dodnes. Další skupinou herbicidů, dnes omezovaných a objevených již v padesátých letech minulého století, jsou substituované močoviny. Za posledních čtyřicet let nedosahuje intenzita zavádění herbicidů s novým mechanismem působení stejné úrovně jako předtím. Z důvodu finanční a časové náročnosti se dnes zaměřuje vývoj nových pesticidů na ty, jejichž uplatnění se předpokládá do celosvětově nejvýznamnějších plodin, jako je pšenice, kukuřice nebo sója.

3.2.1 Aplikace

Herbicidy se často aplikují v počátečních fázích růstu plevelů, kdy se začínají tvořit konkurenční vztahy mezi jednotlivými rostlinami na pozemku. Jsou však různé způsoby aplikace.

Jedním z málo využívaných způsobů je aplikace před setím se zapravením do půdy. Dle Matthewse (2002) se tento způsob využívá u herbicidů, které se snadno rozkládají působením slunečního záření. Tyto herbicidy mají často horší pohyblivost v půdě a jejich zapravení pomůže k dosažení plevelů, k čemuž pomůže i jejich vyšší těkavost, která pomůže lepší distribuci účinné látky v půdě a následnému vytvoření herbicidního filmu i za suchých podmínek. Další variaherbintou je aplikace herbicidu před setím bez zapravení do půdy. Tato aplikace je častá při aplikaci neselektivních listových herbicidů, které mají zasahovat již vzešlé plevele.

O preemergentní aplikaci se jedná v případě, kdy je již zaseto, ale plodina ještě nevzešla. Herbicidy, které se takto aplikují, musí vykazovat určité reziduální působení v půdě. Nejčastější způsob je postemergentí aplikace herbicidů, což znamená aplikaci po vzejití plodiny. Postemergentně (po vzejití plodiny) se aplikují herbicidy působící přes listy, ale i přes kořeny a listy zároveň.

3.2.1.1 Aplikační technika

Aplikační technikou lze ovlivnit velikost kapének, rychlost jejich letu, místo dopadu a dávku postřikové jichy. Hamouz (2014) rozděluje postřikovače na ty, které dokáží aplikovat jen jeden postřik a na postřikovače umožňující aplikaci vícero postřikových kapalin. První zmíněný druh postřikovačů má dnes většina zemědělských podniků. Tyto postřikovače mají obvykle možnost vypínání jednotlivých sekcí i v kombinaci s navigačním systémem, což umožňuje snížit spotřebu herbicidů při precizní aplikaci. Naopak postřikovače, které mají možnost aplikace vícero kapalin, umožňují nezávislou aplikaci různých herbicidů při jednom přejezdu, což Hamouz (2014) udává jako další výhodu ve snižování provozních nákladů. Některé postřikovače mají schopnost přímé injektáže, ke které dochází při samotné aplikaci mísením vody a herbicidu. Výhoda tohoto systému se projeví na konci aplikace, neboť v nádrži

postřikovače zůstane samotná voda neznečištěna herbicidem. Jako další výhodu uvádí Matthews (2002) variabilitu aplikované dávky v průběhu aplikace. Rew et. al. (1997) uvádí možnost přesné aplikace herbicidů za využití dat o výskytu plevelů propojených se souřadnicemi GPS, což vede k poklesu spotřeby účinných látek herbicidů.

3.2.2 Příjem a translokace herbicidů

Aby herbicid mohl plnit svoji roli, musí být rostlinou přijat a následně rozveden do místa působení. Příjem herbicidů do rostlin probíhá přes kořen, list, hypokotyl, nebo přes kombinaci těchto variant zároveň.

Účinná látka se v rostlině pohybuje na místo určení pomocí symplastu, apoplastu, xylémem nebo floémem. Na translokaci i intenzitu příjmu herbicidu mají vliv fyzikálně-chemické vlastnosti účinné látky, ale i morfologicko-anatomické vlastnosti rostlin (Jursík et. al. 2018a).

3.2.2.1 Kořenový příjem

K tomuto příjmu dochází přes kořenové vlášení zejména pasivní cestou na základě koncentračního spádu mezi koncentrací herbicidu v půdním roztoku a koncentrací herbicidu v rostlině. Herbicid, který rostlina přijme přes kořeny, bývá transponován pomocí xylému ve směru transpiračního proudu a jeho účinnost je dostatečná, pouze na vzcházející plevel, tedy je-li aplikován předset'ově, preemergentně, případně časně postemergentně. Je to způsobeno chybějící kutikulou a tvorbou korkové vrstvy, která po odumření epidermis brání prostupnosti povrchových vrstev. Neméně významnou překážkou pro příjem jsou Caspariho proužky, které tvoří v buněčných stěnách endodermis souvislý pruh bránící apoplastickému transportu prostorem buněčných stěn k centrálnímu válci. Dle charakteru herbicidu zůstávají dvě cesty pro jeho příjem. První je apoplastická, kdy herbicid projde přes mezibuněčné prostory a buněčné stěny do xylému a je transportován transpiračním proudem do rostoucích nadzemních částí. Druhou cestou je symplastická, kdy dojde k proniknutí herbicidu do cytoplasmy buněk epidermis a dále plasmodesmami do buněk endodermis a do floému, nímž je účinná látka transportována na místo spotřeby asimilátů. Oproti apoplastické cestě, je symplastická cesta pomalejší. Existuje též varianta apoplasticko-symplastické cesty u některých herbicidů, které jsou schopny procházet oběma cestami. Rychlost, jakou je herbicid přijímán, je ovlivněna hlavně jeho koncentrací v zóně kořenového vlášení. Se vzrůstající teplotou roste intenzita transpirace, což často zapříčiňuje vyšší příjem herbicidů z půdy. Většina herbicidů je slabě kyselých a procházejí lépe přes rostlinné membrány při nižším pH. Na kyselých půdách je jejich příjem tedy vyšší (Mikulka et. al. 2005; Hůla et. al. 2008).

3.2.2.2 Listový příjem

Listové herbicidy dělíme na kontaktní a na systematicky působící. Obecně lze říci, že kontaktní herbicidy jsou účinnější na dvouděložné nežli na jednoděložné plevel, neboť při aplikaci je růstový vrchol jednoděložných rostlin těžko zasažitelný. Pro funkčnost kontaktních herbicidů je zásadní zasáhnout místo účinku, k čemuž pomáhá i zvlhčení povrchu plevelů. Nižší účinnost těchto herbicidů bývá na vytrvalé plevel, neboť u nich přežívají podzemní orgány,

kteřé po čase opět iniciují nový růst. Oproti tomu systematicky působící herbicidy jsou rozváděny pomocí floému po celé rostlině a mohou být tedy použity i pro regulaci plevelů vytrvalých.

Listy přijímaný systemicky působící herbicid je v rostlině transponován xylémem i floémem a pohybuje se směrem do kořenového systému i vegetačnímu vrcholu. Kontaktní listové herbicidy porušují buněčné membrány rostlinných pletiv a aby byly účinné musí být aplikované přímo na místo účinku (zasažení co největší listové plochy). Listové systemicky působící herbicidy vykazují velmi dobrou účinnost i na vytrvalé plevele. Mikulka et. al. (2005) uvádějí, že dostatečný příjem herbicidu je podmíněn co nejrovnoměrnejším rozptýlením aplikační jíchy na listu a zajištění její vysoké přilnavosti. Tyto vlastnosti jsou ovlivňovány adjuvanty, fyzikálně-chemickými vlastnostmi účinné látky a aplikační technikou. Při vstupu do cytoplasmy musí účinná látka proniknout nejprve kutikulou, následně buněčnou stěnou z polysacharidů, a nakonec ještě plazmalemou, která je polopropustná. Zejména hydrofobní charakter kutikulárních vosků je významnou bariérou, kterou účinná látka musí překonat, neboť zapřičiňují shlukování kapének na povrchu listu a brání postupu herbicidu do pletiv. Transport z povrchu probíhá na celém jeho povrchu pomocí difuze. Průduchy nehrají v příjmu herbicidů velkou roli, protože se nacházejí na spodní straně listu, mají malou plochu, malý průměr a transpirace jimi probíhá opačným směrem. K translokaci v rostlinách dochází hlavně symplasticky prostřednictvím plazmodesmatických kanálků a u systematicky působících herbicidů i floémem, který rozvádí účinnou látku po celé rostlině, což způsobuje vyšší účinnost a dlouhodobější účinek herbicidního zásahu (Keller et. al. 1997).

3.2.3 Formulace herbicidů

Dle Polona (1973) je široké spektrum formulačních typů herbicidů dáno rozdílnými fyzikálními a chemickými vlastnostmi herbicidních účinných látek. Z tohoto důvodu je většina účinných látek v herbicidech doplněna tzv. inertní složkou či dalšími chemickými komponenty. Úkolem těchto látek je: zlepšení dispergační vlastnosti účinné látky, přizpůsobení biologické aktivity k metodě aplikace, snazší dávkování a mísitelnost s jinými pesticidy, bezpečnost při skladování a manipulaci s herbicidem, zajištění ochrany životního prostředí a zdraví člověka. V následující části textu jsem se rozhodl uvést příklady některých nejpoužívanějších formulací.

3.2.3.1 Pevné formulace

Naylor (2002) a Polon (1973) tvrdí, že hlavní, formulačním typem pro nepostřikovou aplikaci jsou granule. Bývají využívány jako neselektivní herbicidy v sadech, herbicidy v rýžovištích, případně pro preemergentní aplikaci. Mezi nejstarší formulace určené pro aplikaci postřikem řadíme smáčitelné prášky. Jejich problémem je komplikovanost dávkování, prašnost nebo zbytky v obalech či v postřikovači. Smáčitelným práškům podobné jsou prášky vodorozpustné, které však tvoří s vodou pravé roztoky, čímž nevznikají rozdíly v koncentraci při špatném míchání.

3.2.3.2 Kapaln  formulace

Roztoky jsou jedn mi z nejstar ch formulací pesticidů. Většina roztoků bývá dodána jako koncentrát, kter se musí před aplikací rozpustit ve vodě. Jejich výhodou je snadn  rozpust n a stálost koncentrace v ndr zi. Oproti tomu lze označit za nevýhodu ni z fyzikln -chemickou stálost chemické látky po rozpust n. Pokud se v kapalině nacházejí drobn  častice uinn  látky, jedná se o suspenzní koncentrát. Negativum suspenzního koncentrátu je nestálost při skladování, neboť dochází k usazování pevných častic. Proto se obaly musí protřepat před aplikací. Emulgovateln  koncentráty se vyznačují poměrně snadnou výrobou a jednoduchou manipulací. Emulgovateln koncentrát většinou obsahuje do 10 % emulgátoru umo nujcho tvorbu stabiln a vyvben  emulze s vodou v postřikovači. Emulze oleje ve vodě je emulgovateln koncentrát rozptýlen ve vodě. Jeho problémem m ue být udrženi stálosti při dlouhodob m skladování. Pozitivem je dobr disperze po smíchání s vodou a emulzní stálost (Polon 1973; Matthews 2002).

3.2.4 Adjuvanty

Adjuvant je p idavn látka mající za úkol zefektivnit herbicidn ošetření porostu. Využitím adjuvantu lze snzt dávku uinn  látky a tm náklady na ošetření, naopak zvyšujeme uinnost, ale často snižujeme selektivitu. Mimo jz zmn n  mají adjuvanty i další p rnosy, mezi n  řadíme především ochranu prostředí, sni enm úletu post ikov  jíchy, možnost sni enm dvek uinnch látek, či omezen vlivu nep rznivch povětrnostních podmínek. V praxi se m ueme setkat s adjuvanty zabudovanými do herbicidu, nebo jako samostatn látka, která se přimíchává do post ikov  jíchy. Typ adjuvantu se mění s druhem herbicidu a p rpadn  i s aplikačními podmínkami. Z hlediska funkce lze rozelit adjuvanty na aktivátory a na látky, kter  upravují vlastnosti post ikov  jíchy. Lze se však setkat i jinými druhy členění např. podle chemického slo en (Pacanoski 2015).

3.2.4.1 Aktivátory

Do této kategorie řadíme látky zvyšující a urychlující p rjem herbicidu, pokryvnost postřiku, a p rlnavost kapének.

Smedla snižují povrchov  napětí kapének postřiku, m zvyšují pokryvnost zasaženého povrchu listů. Význam smáčedel se projev zejména při aplikaci ni z dávky aplikovan  post ikov  jíchy. Při rozhodování o využití smáčedel je nutné brát v potaz clov plevel, kter chceme potlačovat, neboť smáčedla zvyšují pokryvnost hlavn  na listech plevelů, kter  jsou chráněny trichomy, nebo voskovou vrstvou (Janků et. al. 2012). Negativn vliv m ue mít v dávka post ikov  jíchy s obsahem smáčedla u plevelů, kter  mají listy snadno smiteln , neboť m ue dojít k výraznějšímu stékání herbicidu z listů dolů (Jursík et. al. 2018a).

Zvt p rjem herbicidů lze též pomocí olejových adjuvantů díky jejich schopnosti zvt retenci, pokryvnost herbicidů a především schopnosti naruen ochrann  vrstvy na povrchu listů. Výhodou olejových adjuvantů je schopnost rozpustit voskovou vrstvu na povrchu listů a t  zpomalit vysychání herbicidu na listu. Tyto adjuvanty se doporučují k využití u systematicky působících listových herbicidů, kter  mají být rychle p rjat  do rostliny, zejména u rostlin se silnou bariérou na povrchu listu (Cobb & Reade 2010; Janků et. al. 2012).

Taktéž hnojiva mohou být využívány jako aktivátory. Jedním z nejčastěji využívaným kapalným hnojivem je DAM 390. Hnojivo může být ještě kombinováno s dalším adjuvancem, ale obvykle se snižuje selektivita ošetření. DAM poutá vzdušnou vlhkost, což zejména u herbicidů na dvouděložné plevele zvyšuje jejich účinnost. DAM snižuje vysychání aplikovaného herbicidu a urychluje příjem a následnou translokaci v rostlině. K redukci pH postřikové jíchy, urychlení příjmu a podpoře translokace herbicidu v rostlině za nižších teplot lze využít síran amonný.

Udržet kapky na povrchu listu zabráněním stékání můžeme využitím adhezivních přísad. Tyto přísady jsou vhodné při aplikaci před, nebo bezprostředně po dešti, či rose. Za adhezivní přísadu lze považovat masné kyseliny, oleje s nízkou těkavostí, vosky, rostlinné oleje, rostlinné gely, emulgované pryskyřice nebo vodorozpustné polymery (Cobb & Reade 2010; Pacanoski 2015).

3.2.4.2 Látky upravující vlastnosti postřikové jíchy

Tyto adjuvanty umožňují mísení účinných látek, pozitivně ovlivňují homogenitu postřikové jíchy a aplikovaných kapének, též zvyšují komfort obsluhy postřikovače při přípravě postřikové jíchy.

Jako emulgátory nazýváme látky mající za úkol podporu disperze kapalných účinných látek, které nejsou rozpustné ve vodě. Zabraňují tvorbě sraženin tvořících se sdružováním částic herbicidu, které nejsou rozpustné, díky obalení jejich povrchu. Využívají se u účinných látek ve formě suspenzí, mikrokapslí a emulgovaných koncentrátů.

Snížit rychlost evaporace kapének aplikované postřikové jíchy lze pomocí zvlhčujících látek. Uplatnění pro zvlhčující látky nacházíme u herbicidů, které jsou po vyschnutí hůře přijatelné pro rostliny, zejména u sulfonylmočovin, protože ty po vyschnutí tvoří krystaly.

Barviva jsou adjuvanty, které přidáváme do postřikové jíchy, když potřebujeme odlišit plochu, kde již aplikace proběhla a kde naopak zatím ne. Je zapotřebí využívat barviva, která jsou schválena k mísení s herbicidem, neboť v opačném případě může dojít k nepředvídatelné reakci. Avšak tyto adjuvanty se dnes prakticky nevyužívají.

Pro snížení úletu malých kapének využíváme protiúletové přísady, které mění viskozitu a elastičnost, což způsobuje tvorbu větších kapének, které nejsou větrem tak snadno unášeny. Jako protiúletové látky využíváme některé rostlinné oleje, nebo gumy.

Pro pěnicí látky se využívají speciální trysky. Pěna může být využívána též pro orientaci na poli, kdy pěna značí okraj zasaženého povrchu herbicidem (Jursík et. al. 2018a).

Do tank-mixů se často přidávají přísady zajišťující snášenlivost, protože zamezují chemickým a fyzikálním reakcím, které by mohly vzniknout mezi jednotlivými látkami v tank-mixu. Tyto reakce by mohli negativně ovlivňovat selektivitu i účinnost herbicidů.

Adjuvanty, které mění, či udržují pH nazýváme pH pufry. Extrémní hodnoty pH mohou zapříčinit degradaci účinné látky před samotnou aplikací. Zejména při míchání postřikové jíchy hraje pH důležitou roli, neboť hodnoty pH mohou mít vliv na rychlost rozpouštění účinné látky ve vodě (Pacanoski 2015).

UV absorbenty mají za úkol chránit herbicid před slunečním zářením, hlavně před ultrafialovým, které může rozkládat molekuly některých účinných látek. UV absorbenty buď sami záření pohlcují, nebo ovlivňují fyzikálně-chemické vlastnosti postřikové jíchy.

Protipěnicí adjuvanty snižují nebo potlačují riziko tvorby pěny v postřikovači během přípravy postřikové jíchy. Tohoto dosahují díky zvýšení povrchového napětí. Riziko tvorby pěny je zejména při používání měkké vody, kdy pěna může způsobit přeplnění postřikovače (Pacanoski 2015).

Adjuvanty mohou podle Jursíka et. al. (2018a) negativně působit na plodiny. Nevhodný výběr adjuvantu může mít za následek nižší účinnost i selektivitu herbicidů, což může mít za následek přímé poškození plodiny (fototoxicitu), nebo poškození povrchových struktur na rostlinách, kde je následně vyšší riziko napadení chorobami a škůdci. Vyšší riziko fytotoxicity je u herbicidů, které mají svou selektivitu založenu na neprůchodnosti účinné látky skrz povrchové bariery listu.

3.2.5 Postřiková jícha

Jursík & Soukup (2016) tvrdí, že nevhodná příprava postřikové jíchy může negativně ovlivnit kvalitu ošetření. Dále upozorňují, že při přípravě postřikové jíchy je nutné postupovat podle informací na etiketě přípravku. Zejména důležité je věnovat pozornost části o bezpečnosti a mísení s jinými přípravky.

3.2.5.1 Příprava postřikové jíchy

Dle Mikulky et. al. (1999) se při přípravě postřikové jíchy musí nejprve zaplnit postřikovač z jedné třetiny a následně v menší dávce vody rozmíchat herbicid, zejména pokud je herbicid v pevné formulaci. Prášky určené k přímému vhození do nádrže postřikovače se mohou usadit u dna a ucpat filtry. U suspenzních přípravků hrozí usazení u dna a je nutné jejich protřepání v obalu před vlitím do postřikovače. Některé postřikovače jsou vybaveny vlastní předmíchavací nádrží. Koncentrovaná jícha se následně přečerpá do nádrže postřikovače, kde se těsně před začátkem přečerpávání zapne míchání. Následně se nádrž doplní vodou. Před začátkem aplikace je nutné vyčkat, než dojde k důkladnému promísení postřikové jíchy v nádrži postřikovače. Připravená postřiková jícha se musí bezprostředně aplikovat.

3.2.5.2 Dávka postřikové jíchy

Podle Jursíka & Soukupa (2016) se pohybuje dávka pro běžné používání pesticidů mezi 200 a 300 litry na 1 hektar. Dávkou vody lze ovlivnit pokryvnost rostlin aplikovanou postřikovou jíchou a tím lze v důsledku ovlivnit účinnost herbicidního zásahu.

Nižší dávka nosiče může být ekonomicky výhodnější, neboť se sníží náklady na přepravu vody a dojde k omezení prostojů při tankování. V nižší dávce postřikové jíchy však tkví i riziko v podobě nutnosti zkušene obsluhy postřikovače a přesnosti aplikace, neboť jakákoliv odchylka v dávkování postřikové jíchy může znamenat výrazný posun dávky účinné látky. Nižší dávka vody je nejčastěji využívána u systematicky působících herbicidů, které jsou rozváděny v rostlinách cévními svazky. Dalším případem snížení dávky aplikační jíchy je docílení vyšší koncentrace herbicidu či adjuvantu v postřikové jíše, což v případě smáčedla snižuje povrchové napětí kapének postřiku (Mikulka et. al. 2005; Kazda et. al. 2010).

3.2.5.3 Vliv formulace pesticidu

Vodorozpustné prášky, a některé soli tvoří dle Matthewse (2002) s vodou pravé roztoky, které mají stálou koncentraci a nehrozí u nich tvorba usazenin. U většiny přípravků je však nutné počítat s nestálostí koncentrace a tvorbou usazenin, neboť se ve vodě nerozpouští a tvoří pouze směsi (suspenze nebo emulze). Za nejproblematictější jsou považovány suspenze vzniklé po smísení vody a smáčitelných prášků, nebo dispergovaných granulí.

Emulze vznikají při mísení vody a emulzních koncentrátů, které jsou v praxi nejrozšířenější formou formulací pesticidů, nebo některých adjuvantů. Stálost emulzí zajišťují emulgátory, které bývají součástí těchto formulací. Rozdílná objemová hustota jednotlivých složek v emulzi však může zapříčinit usazování na některých místech postřikovače (Cobb & Reade 2010).

3.2.5.4 Vliv vody při mísení

Pro přípravu postřikové jíchy by se měla vždy používat čistá měkká voda, bez příměsí, bez sinic a bakterií. Hrubé nečistoty mohou ucpat filtry a trysky. Při použití kalné vody, která obsahuje jílové částičky, hrozí inaktivace některých účinných látek. Každý přípravek by měl mít na etiketě uvedenu citlivost k pH vody, protože některé látky (např. sulfonylmočoviny) mohou být rychleji inaktivovány při použití kyselé vody. Některé kationty v tvrdé vodě na sebe mohou navázat anionty z účinných látek a tím herbicid inaktivovat (Mikulka et. al. 2005; Kazda et. al. 2010). Většina herbicidů se dnes formuluje tak, aby tvrdost vody ani její pH nepůsobilo negativně na postřikovou jíchu. I přes to lze využít některé adjuvanty, nebo anorganické soli k úpravě postřikové jíchy, či za účelem změny pH lze dle Jursíka et. al. (2018a) využít síran amonný pro okyselení a pro snížení kyselosti čpavkovou vodu.

3.2.5.5 Mísení pesticidů

Herbicidy jsou většinou formulovány tak, aby bylo umožněno jejich použití v tank-mixu s jinými pesticidy bez rizika vzniku problémů s aplikací a bez snížení jejich biologické aktivity. Rizikům spojeným s mísením tank-mixů se snaží předcházet již samotní výrobci, kteří při vývoji nových herbicidů zohledňují tuto možnost a vyvíjejí herbicidy s více účinnými látkami, jejichž vhodná formulace zjednodušuje přípravu postřikové jíchy. Tvorba tank-mixu snižuje náklady na aplikaci, neboť umožňuje sloučit více zásahů do jedné aplikace, čímž se zároveň snadnějším dodrží aplikační termín. Výhodou tank-mixů může být taktéž synergické působení některých pesticidů, což vede k možnosti snížení dávky účinných látek. Mísení různých účinných látek může mít pozitivní vliv také z pohledu antirezistentní strategie (Mikulka et. al. 1999).

Při použití kapalných nebo i vodorozpustnými hnojivy v tank-mixu může nastat řada problémů, kterým je vhodné předcházet. Prvním problémem může být změna biologických, fyzikálních a chemických vlastností použitých komponentů, což může způsobit snížení účinnosti, nebo tvorbu sraženin. Ke sraženinám nebo vyvločkování dochází taktéž při přidání hnojiv do postřikové jíchy s nevhodným pH. Některá hnojiva se však v tank-mixu dají využít bezproblémově. Naopak nelze smíchat např. růstové herbicidy a roztok dusičnanu vápenatého jak uvádí Jursík et. al. (2018a).

Při mísení více pesticidů dochází též ke změně klasifikace nebezpečnosti na necílové organismy, především včely.

3.2.5.6 Synergismus

K synergetickému působení dochází, pokud se jednotlivé účinné látky v tank-mixu podporují. K tomu obvykle dochází díky zvýšení příjmu, translokace nebo zpomalením metabolisme pesticidu v rostlině. U herbicidů je synergismu často využíváno. Příkladem synergismu může být kombinace účinné látky diflufenican a účinné látky isoproturon, která vykazuje na svízele větší účinnost oproti samostatnému ošetření, avšak isoproturon je v Evropské unii již několik let zakázán. Vyšší účinnost lze sledovat i u kombinace některých fungicidních přípravků (Zhang et. al. 1995).

Synergismus je však častěji než přímo účinnými látkami, způsoben koformulanty. To umožňuje synergetické působení insekticidu a fungicidu na herbicid. Jako příklad lze uvést vodorozpustný herbicid s nízkým obsahem adjuvantů smíchaný s insekticidem, nebo fungicidem, který má naopak obsah adjuvantu vysoký (Kazda et. al. 2010).

Lze se setkat s případy synergismu, kdy díky kombinaci herbicidu a insekticidu dochází k nižší metabolizaci herbicidu. Synergetické působení lze sledovat při mísení herbicidu a kapalného hnojiva, nebo také v tank-mixu růstového herbicidu a morforegulátoru. Varianta smísení herbicidu a fungicidu působí na plodinu pozitivně také zbavením rostliny konkurenčního plevele a zároveň zlepšením jejího zdravotního stavu. Tímto lze dosáhnout vyšší intenzity růstu oproti případu, že by se herbicid i fungicid aplikovaly samostatně (Jursík & Soukup 2016).

3.2.5.7 Antagonismus

Při mísení tank-mixu může dojít nejen k synergetickému působení, ale také naopak k antagonismu vyvolanému více účinnými látkami. Jursík & Soukup (2016) rozdělují antagonismus dle mechanismů. Biochemický antagonismus je způsoben blokadou příjmu nebo translokace jednoho pesticidu druhým, nebo jeden pesticid ovlivňuje metabolisme druhého. Tento mechanismus antagonismu lze často sledovat při mísení sulfonylmočoviny a listového graminicidu, kdy u listového graminicidu dochází k poklesu účinnosti. Dalším příkladem je ALS inhibitor a kontaktní herbicid. Translokace systémově působícího ALS inhibitoru je v tomto případě bržděna kontaktním herbicidem, který působí rychleji a uvězní ALS inhibitor v nekrotizovaných pletivech. V tomto případě však může mít antagonismus také pozitivní vliv a bývá využíván u méně selektivních herbicidů za účelem zvýšení selektivnosti. (Zhang et. al. 1995).

Při využití vyšších dávek dvou účinných látek, které si jsou podobné, hrozí antagonismus vlivem konkurence mezi těmito účinnými látkami. Podobné účinné látky mají nižší účinnost, protože si obě konkurují o stejné vazebné místo.

K fyziologickému antagonismu dochází při použití dvou látek, které mají opačný fyziologický efekt. Příkladem je využití syntetického auxinu a herbicidu blokujícího auxiny, které se však EU nepoužívají. Lze se setkat i s antagonismem chemickým, který je způsoben inaktivací jednoho pesticidu druhým. K takové chemické reakci dochází nejčastěji již v nádrži postřikovače.

3.2.5.8 Pořadí mísení

Každý komponent tank-mixu by se před smícháním měl dát do menšího množství vody a v ní rozmístit. Poté za neustálého míchání přidávat do nádrže. Další komponent se přidává až po dokonalém rozmíchání předchozího komponentu. U smáčitelných prášků může nastat problém v rozpouštění ve studené vodě a doporučuje se rozmíchání do vody vlažné. Připravený tank mix má být aplikován co nejdříve a měl by být v nádrži neustále míchán. Jednotlivé složky do tank-mixu se dle Jursíka & Soukupa (2016) přidávají v následujícím pořadí:

1. smáčitelné prášky, vodorozpustné prášky, granule,
2. pevná hnojiva ve formě solí,
3. suspenzní koncentráty,
4. roztoky,
5. emulzní koncentráty,
6. adjuvanty,
7. kapalná hnojiva.

3.2.5.9 Zkouška kompatibility

Zkouška kompatibility se podle Jursíka & Soukupa (2016) provádí nalitím půl litru vody, nebo kapalného hnojiva do průhledné nádoby, do které se následně přidávají další komponenty tank-mixu ve výše popsaném pořadí. Po přidání každého komponentu je nutné uzavřít nádobu a její obsah promíchat. Jednotlivé komponenty by v této nádobě měly být ve stejné koncentraci jako následně v postřikovači. Po smíchání všech složek tank-mixu se obsah nádoby ještě deset minut promíchává a následně se nechá půl hodiny stát. Nakonec se obsah vizuálně zkontroluje, zda je uniformní a bez sraženin. Výskyt sraženin, agregátů, či usazenin je známkou zhoršené kompatibility výsledného tank-mixu.

3.2.6 Selektivita

Selektivita je vlastností herbicidů selektivně poškozovat určité druhy plevelů aniž by poškozovaly druhy jiné, zejména vybrané plodiny. V míře selektivity se vyskytují mezi herbicidy rozdíly, které jsou vyjadřovány kvocientem selektivity. Müller (1986) tvrdí, že selektivita herbicidů je založena na několika mechanismy, které se mohou vzájemně kombinovat. Aplikace některých kontaktních herbicidů při vysoké intenzitě slunečního záření může snižovat selektivitu k některým plodinám. Selektivita se vyjadřuje kvocientem selektivity, který se vyjadřuje jako poměrem mezi dávkou herbicidu, která způsobí 10% poškození plodiny a dávkou, která má 90% účinnost na plevel. Čím vyšší hodnota kvocientu, tím vyšší selektivita herbicidu.

3.2.6.1 Degradace herbicidu v rostlině

Jde o nejběžnější variantu selektivity. Je založena na fyziologických a biochemických odlišnostech mezi jednotlivými druhy rostlin. Zdroje selektivity podmíněné fyziologicky mohou být tři. Jako první uvádějí Jursík et. al. (2018a) rychlou metabolizaci herbicidu, která je považována za nejvýznamnější způsob, kterým se před toxicitou herbicidů rostliny chrání. Odolná rostlina umí metabolizovat herbicid před tím, než herbicid dosáhne místa svého

působení. Citlivé rostliny herbicid metabolizovat neumí, případně odumírají dříve, než je metabolizují. Druhým zdrojem selektivity je nadprodukce cílového enzymu, na nějž herbicid působí. Množství enzymu v rostlině je vyšší, než je schopen herbicid zablokovat čímž nedochází k poškození rostliny. Za třetí zdroj selektivity je uváděna strukturální odlišnost cílového enzymu. Cílový enzym nemůže být blokován herbicidem, protože má strukturálně odlišené vazebné místo.

3.2.6.1.1 Metabolizace herbicidu v rostlině

Jde o složitý proces mající několik fází. První nastupuje reakce herbicidu s cílovým enzymem, který změní chemickou strukturu herbicidu, čímž jej učiní neúčinným, a zároveň zvyšuje reaktivitu a polaritu herbicidu, čímž usnadní přesun herbicidu do vakuol, nebo navázání na buněčnou stěnu. Následně nastává konjugace herbicidu s cukry a aminokyselinami. Vysoce polární herbicid může být konjugován přímo bez předchozí detoxikace. Méně úspěšná může být metabolizace pokud je konjugace reverzibilní (Müller 1986; Dodge 1989).

U méně selektivních účinných látek lze formulaci herbicidu doplnit o tzv. safener, což je látka, která zvyšuje selektivitu herbicidu, avšak zároveň zachovávají účinnost na cílové plevelce. Safenery zpravidla zvyšují aktivitu enzymů podílejících se na deaktivaci herbicidu a tlumí tak fytotoxicitu. Dle Komivese et. al. (1992) působí safenery zejména na fázi II metabolismu herbicidů, kdy dochází k připojení metabolitu herbicidní molekuly k jiné molekule (nejčastěji cukr, či aminokyselinový derivát). Davies & Caseley (1999) dodávají, že safenery v některých případech aktivují též enzymy působící ve fázi I.

U některých herbicidů nastává aktivace až v rostlině. Tento proces nazýváme bioaktivací. Některé kyseliny jsou aplikovány jako soli, amidy nebo estery, aby snadněji pronikly kutikulou rostlin. Následně se v cytoplazmě enzymaticky hydrolyzují na volné kyseliny. Příkladem bioaktivace je beta-oxidace herbicidu MCPB, který se z této neúčinné formy v rostlině aktivuje na aktivní MCPA. U jetelovin probíhá tato beta-oxidace velmi pomalu, proto je u nich MCPB využíván (Read & Cobb 2002). Naylor (2002) rozděluje metabolizaci do tří následujících fází:

Prvním krokem metabolizace herbicidu je jeho deaktivace. Deaktivace je má zásadní podíl na selektivitě herbicidů. Nejvýznamnější skupinou enzymů, které se podílejí na této fázi metabolizace herbicidů jsou cytochrom P450 monooxygenázy, které se řadí do skupiny hemových proteinů, jež se nacházejí ve všech orgánech rostlin a tam jsou v nízkých koncentracích navázány na buněčné membrány. Spolupodílejí se na poutání a aktivaci kyslíku a transportu protonů, čímž deaktivují například sulfolymočoviny (Jursík et. al. 2018a). Cole (1994) uvádí, že se mohou vyskytovat příznaky fytotoxicity po aplikaci herbicidů, u nichž je selektivita způsobena rychlejší deaktivací herbicidu enzymy P450. Tato fytotoxicita může být způsobena produktem vzniklým deaktivací herbicidu nebo nedostatečným působením P450 enzymů. Naylor (2002) tvrdí, že herbicidy mohou být deaktivovány také deaminací, kdy např. triazinony mohou být deaktivovány peroxisomovou deaminázou.

K připojení molekuly herbicidu nebo jeho metabolitu k jiné molekule dochází při takzvané konjugaci herbicidů. Molekula herbicidu bývá nejčastěji připojována k aminokyselinovému derivátu nebo cukru. Při této reakci lze očekávat různý vliv na rostlinný metabolismus, neboť může docházet ke konjugování aktivního herbicidu nebo také endogenních fenolických metabolitů. Konjugace herbicidu způsobuje nižší toxicitu a ovlivňuje

transport herbicidního metabolitu do buněčných vakuol. V některých případech může být konjugace reverzibilní, což způsobí, že nenastane trvalá detoxikace herbicidu (Marcacci et. al. 2006).

Poslední fází je úplný rozklad účinné látky herbicidu, který spočívá v rozkladu nefytotoxického metabolitu. Rozklad těchto látek probíhá stejně jako rozklad jiných sekundárních metabolitů vzniklých v rostlině. Z konjugovaných metabolitů se odštěpí peptidy a dojde ke vzniku glutamylcysteinu nebo cysteinu, který může být uplatněn jako substrát pro tvorbu dalších aminokyselin (Jursík et. al. 2018a).

3.2.6.2 Selektivita morfologicko-anatomicky podmíněná

Selektivitu herbicidů k plodině mohou v některých případech ovlivňovat morfologické nebo anatomické rozdíly mezi plodinou a plevely. Jednotlivé druhy rostlin mají různou anatomickou stavbu povrchu listů jejich různé postavení. Jedná se zejména o hustotu trichomů a sílu voskové vrstvičky na povrchu listů. U rostlin bez trichomů či řídce ochlupených mohou kapénky ulpívat snadněji nežli na rostlinách s velkým množstvím trichomů, jelikož tyto trichomy zabraňují kontaktu kapének a povrchu listu. Tento fakt ovlivňuje přilnavost postřikových kapének k povrchu listu. Postavení a šířka listů způsobují, že na dvouděložných rostlinách mají kapénky vyšší přilnavost než u trav. Trávy mají ve většině případů úzké vzpřímené listy chráněné voskovou vrstvičkou. Toto způsobuje menší plochu pro zasažení herbicidem a umožnění snadnějšího skapávání kapének herbicidu. Přilnavost je dále ovlivňována dávkou postřikové jíchy, polaritou, obsahem postřikové jíchy a aplikační technikou. Lze říci, že k většímu příjmu herbicidu dochází při vyšší přilnavosti kapének k povrchu rostliny. Herbicidní selektivita je také výrazně ovlivněna umístěním meristematických pletiv vyskytujících se u dvouděložných rostlin ve vzrostných vrcholech na okrajích listů a u trav jsou zakryty v listových pochvách, které je více chrání. U syntetických auxinů je využíváno rozdílnosti ve stavbě pletiv, jelikož transport auxinu vodivými pletivy trav je pomalejší než transport vodivými pletivy dvouděložných rostlin (Mikulka et. al. 2005; Jursík et. al. 2018a).

3.2.6.3 Selektivita podmíněná místem dopadu

Selektivnost je dána rozdílnou zónou kořenového příjmu herbicidu mezi plodinou a plevelem. Tato selektivita je využívána u preemergentních herbicidů, neboť po preemergentní aplikaci vzniká na povrchu půdy herbicidní film bránící vzcházení citlivých plevelů. Semena plodin bývají zasetá hlouběji, zatímco drobná semena plevelů vzchází především z povrchových vrstev půdy, kde jsou při klíčení vystavena vysoké koncentraci herbicidu. Lze se setkat s tímto typem selektivity u plodin, které jsou vysévány dostatečně hluboko v půdě pod herbicidní film. Zvýšení poziční selektivity může být dle Pacanoski (2015) docíleno řízeným uvolňováním účinných látek nebo použitím adjuvantů poutajících herbicid na půdní koloidy, čímž u zabraňují pohybu v půdě. Často se vyskytují výrazné projevy fytoxicity po aplikaci herbicidu s poziční selektivitou v případě, že po aplikaci přijdou vysoké srážky, které transportují účinnou látku hlouběji do půdy ke kořínkům vzcházející plodin přijímající poté vodní roztok i s herbicidem.

3.2.7 Účinnost

Ke správné volbě herbicidu je nutné znát vztahy mezi působením herbicidu a vnějšími podmínkami. Tyto okolnosti ovlivňují volbu herbicidu, aplikační dávku a případné použití adjuvantu.

3.2.7.1 Místo a mechanismus účinku herbicidu

Podle Jursíka et. al. (2018a) je účinnost herbicidu podmíněna dostatečným příjmem účinné látky, zasažením cílové rostliny herbicidem, transportem v rostlině na místo účinku, akumulací a perzistencí herbicidu v místě účinku. Při nedodržení těchto podmínek hrozí nedostatečná účinnost herbicidního zásahu. Jako místo účinku se nazývá protein, na který se naváže herbicid. Mechanismus působení je způsob inhibice daného biochemického procesu v rostlině. Klasifikace herbicidů HRAC (Herbicide Resistance Action Committee) dělí herbicidy do patnácti skupin dle místa a mechanismu účinku, podobnosti symptomu poškození a příslušnosti k chemické skupině.

3.2.7.1.1 Inhibitory fotosyntézy

Inhibitory fotosyntézy působí na procesy probíhající na lipoproteinových tylakoidních membránách chloroplastů, na nichž jsou lokalizovány fotosystém I a fotosystém II. Tyto inhibitory narušují elektrotransportní řetězec při fotosyntéze nebo syntézu pigmentů podílejících se na těchto procesech (Naylor 2002; Al-Khatib 2024).

3.2.7.1.1.1 Inhibitory fotosystému I

Tyto herbicidy zachycují volné elektrony ve fotosystému I a následně vznikají radikály, které jsou nestabilní a v přítomnosti vody a O_2 autooxidují. Touto reakcí se zredukuje O_2 na superoxidový aniont. Ze vzniklých aniontů vzniká hydrogen peroxid. Reakcí superoxidových aniontů a hydrogen peroxidů vznikají nestabilní hydroxylové radikály. Tyto radikály reagují v buněčných membránách s mastnými kyselinami, což způsobí porušení membrány a vylití obsahu buněk do mezibuněčných prostor (Naylor 2002).

3.2.7.1.1.2 Inhibitory fotosystému II

Inhibitory fotosystému II zamezují přenosu elektronů přes tylakoidní membránu chloroplastů uvolňujících se při fotolýze vody. Volné elektrony se hromadí a vzniklá energie se absorbuje chlorofylem a karotenoidy. To způsobuje jejich fotooxidaci jejíž projevem jsou chlorózy listů. Volná energie iniciuje vznik chlorofylových tripletů přeměňující O_2 na jednomocné kyslíkové radikály. Tyto radikály způsobují změny pigmentů, destrukci lipidových membrán a proteinů, vylití obsahu buněk do mezibuněčných prostor a následnou desikaci pletiv, která se projevuje nekrotizací listů (Al-Khatib 2024).

3.2.7.1.2 Inhibitory biosyntézy rostlinných pigmentů

S fotosyntézou souvisí i využití inhibitorů syntézy rostlinných pigmentů, protože pigmenty absorbují sluneční záření a ovlivňují pochody s fotosyntézou spojené. Nejvýznamnějším rostlinným pigmentem pro fotosyntézu u vyšších rostlin je chlorofyl a, který

díky aktivaci slunečním zářením přejde do excitovaného stavu a předává elektron na elektronový transportní systém světelné fáze fotosyntézy (Jursík et. al. 2018a).

3.2.7.1.2.1 Inhibitory syntézy porfyrinů

Na konci syntézy chlorofylů se účastní enzymatický systém protoporphyrinogen-oxidáza, při jehož inhibici může nastat tvorba singulárního kyslíku za světla. Tento singulární kyslík poškozuje chloroplast. Pokud tato situace nastane, dochází k rychlejšímu poškození buněk a chloroplastů rychleji než u inhibitorů fotosystému II. Následkem využití těchto inhibitorů dochází k desikaci a udumírání celých rostlin. Při využití listového příjmu plevelů postačuje obvykle nižší dávka účinné látky oproti příjmu kořenovému (Mikulka et. al. 2005).

3.2.7.1.2.2 Inhibitory syntézy karotenoidů

Britton (1995) uvádí, že karotenoidy jsou jednou ze zásadních složek fotosyntetického aparátu, neboť ochraňují chlorofyl před fotooxidací. Pokud chlorofyl absorbuje více světelné energie než lze využít pro přenos elektronu, dojde k aktivaci kyslíku. Takto vzniklý singulární kyslík má na chlorofyl destruktivní účinek.

3.2.7.1.3 Inhibitory syntézy aminokyselin

Mikulka et. al. (2005) uvádějí, že většina biosyntetických pochodů, včetně syntézy aminokyselin, probíhá za světla v chloroplastech. Pro účinek herbicidů jsou důležité zejména enzymy acetolaktát-syntáza (ALS), 5-enolpyruvylshikimi-3-fosfát-syntáza (EPSPS) a glutamin-syntáza (GS). Při blokaci EPSPS dojde k zastavení biosyntézy aromatických aminokyselin (Gravena et. al. 2012).

3.2.7.1.3.1 EPSPS inhibitory

EPSPS (5-enolpyruvylshikimi-3-fosfát syntáza) je enzymem vyskytujícím se v šikiminově cestě, který dle Herrmanna & Weavera (1999) katalyzuje EPSPS z S3P (shikimini-3-fosfát) a PEP (fosfenolpyruvát) v chloroplastech. Na EPSPS účinkuje podle Gravena et. al. (2012) herbicid glyphosát, který dokáže účinně regulovat většinu plevelů. Glyphosát byl nejrozšířenějším postemergentním herbicidem. Rostliny zasažené tímto neselektivním herbicidem odumírají do 3 dnů po zasažení, během nichž se glyphosát rozšíří v rostlině a zabrání jejímu růstu i případnému obrůstání.

3.2.7.1.3.2 Inhibitory ALS

ALS je klíčovým enzymem při syntéze některých esenciálních aminokyselin. Na tento enzym se váží herbicidy ze skupiny sulfonylmočoviny, imidazolinonů a triazolpyrimidinů. Při zablokování funkce ALS dojde k zastavení tvorby valinu, leucinu a isoleucinu (Kazda et. al. 2010). Druhotným důsledkem je inhibice syntézy DNA a zastavení buněčného dělení v meristematických pletivech. Následně se omezí transport asimilátů a dojde k zastavení růstu (Reade & Cobb 2002).

3.2.7.1.3.3 Inhibitory GS

Při zabudování amoniaku do struktury aminokyselin je nejdůležitějším enzymem glutamin-syntáza. Primárním účinkem inhibice GS je hromadění amoniakových iontů a amoniaku působící v buňce toxicky. Symptomy poškození těmito herbicidy jsou chlorózy listu, které

následně přechází v nekrózy. Jedinou účinnou látkou této skupiny je glufosinát, který je přijmán listy a má slabou systematickou účinnost, avšak v evropské unii byl již zakázán (Mikulka et. al. 2005).

3.2.7.1.4 Inhibitory syntézy lipidů

Lipidy se významně podílejí na regulaci enzymatické aktivity a jsou zásobními látkami buněk. Biosyntéza lipidů probíhá v plasmidech, cytosolu a endoplazmatickém retikulu. Do této kategorie patří inhibitory ACCasy (listové graminicidy) a inhibitory syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (Mikulka et. al. 2005).

3.2.7.1.4.1 Inhibitory ACCasy

Acetyl-CoA karboxyláza je enzymem účastnícím se první reakce při biosyntéze mastných kyselin, je obsažen v cytoplazmě dělivých pletiv a chloroplastech. V mladých listech, kde dochází k hromadění nejvíce meristematických buněk, dochází k viditelným příznakům poškození, poté co dojde k poškození buněčných membrán, zejména thylakoidních. Druhotným projevem listových graminicidů může být inhibice mitózy a syntézy DNA. Účinek herbicidů je nižší ve starších částech rostlin. Zasažené rostliny po 3 dnech přestávají růst a nevytváří nové listy (Cieslik et al. 2013; Dayan et al. 2019).

3.2.7.1.4.2 Inhibitory syntézy mastných kyselin s dlouhými řetězci

Kučáková (2022) tvrdí, že mastné kyseliny s dlouhým řetězcem jsou v rostlinách hlavními složkami hydrofobních polymerů, které zabraňují vysoušení povrchu listů. Jursík et. al. (2018a) předpokládají, že tyto inhibitory alkylují sulfhydridylové skupiny některých rostlinných enzymů, čímž způsobují narušení růstu, vývoje a dělení buněk.

3.2.7.1.5 Inhibitory stavby mikrotubulů

Mikrotubuly mají důležitou roli v mitóze a podílejí se na růstu a vývoji buňky. Vaughn & Lehnen (1991) tvrdí, že není známo, kde přesně působí herbicidy na mikrotubuly, ale předpokládají, že se váží na některé proteiny. Tyto inhibitory v důsledku způsobují neuspořádanost při párování chromozomů a zapříčiňují jejich nerovnoměrné dělení do dceřiných buněk během buněčného dělení. Naylor (2002) uvádí, že sekundárně inhibují také fotosyntetické a respirační transporty elektronů. Mikulka et. al. (2005) uvádí, že tyto herbicidy jsou v rostlinách méně pohyblivé, což omezuje jejich využití na vzcházející plevel, ideální je proto jejich preemergentní aplikace.

3.2.7.1.6 Růstové herbicidy (syntetické auxiny)

Růstové herbicidy jsou synteticky vyráběné auxiny. Oproti auxinům přírodního původu se syntetické auxiny v rostlině obtížně degradují a rostliny nejsou schopny udržet vyrovnanou fytohormonální hladinu. Narušením fytohormonální hladiny u citlivých rostlin způsobuje poruchy metabolismu a normálního růstu, což se projevuje nerovnoměrným růstem, deformacemi stonku a listů a v konečném důsledku vyčerpáním rostliny (Mikulka et. al. 2005). Podle Naylora (2002) není známo přesné místo účinku těchto herbicidů, ale předpokládá se, že ovlivňují vícero biochemických procesů v rostlinných buňkách. Mikulka et. al. (2005) tvrdí, že růstové herbicidy mají dobrý systemický účinek a mají dobrou a mají proto dlouhodobou účinnost na vytrvalé plevel. Využívají se zejména na dvouděložné plevel v obilninách, ale

některé zástupce z této skupiny lze využít i v řepě, či řepce. Při aplikaci za nevhodných podmínek hrozí fytotoxicita těchto herbicidů zejména u kukuřice.

Růstové herbicidy mohou při úletu, nebo těkání ohrozit okolní porosty citlivých plodin. Již malá dávka růstového herbicidu může způsobit výraznou fytotoxicitu. Jursík et. al. (2018a) uvádějí, že fenoxykyseliny formulované jako estery jsou velmi těkavé a hrozí jejich úlet do sousedních porostů. Oproti tomu však fenoxykyseliny ve formě aminů mají těkavost nižší. Fenoxykyseliny formulované jako aminy však mohou být inaktivovány Ca^{2+} a Mg^{2+} ionty a jejich translokace v rostlině je často nižší.

3.2.7.2 Abiotické faktory ovlivňující účinnost herbicidů

3.2.7.2.1 Dešťové srážky

Cobb & Reade (2010) tvrdí, že při použití vhodného adjuvantru se dá předejít riziku selhání účinnosti herbicidů způsobené deštivými srážkami po jejich aplikaci, neboť srážky mohou smýt herbicid z listového povrchu několik hodin po aplikaci, čímž sníží jeho účinnost. Období bez srážek nutné pro příjem herbicidů je dáno jeho citlivostí ke smyvu, rychlostí příjmu, velikostí dešťových kapek a intenzitou srážek.

Jursík & Soukup (2021) tvrdí, že slabé srážky do 0,5 mm mohou mít pozitivní vliv na redistribuci herbicidů po celém listu. Dále uvádí, že při srážkách často nastávají vhodné povětrnostní podmínky pro příjem herbicidů. Naopak srážky přes 0,5 mm působí negativně a s nárůstem intenzity srážek účinnost klesá až do 5 mm. Poté již další pokles účinnosti nenastává.

Kazda et. al. (2010) v této souvislosti zmiňují vliv rosy při aplikaci. Kapky rosy mohou způsobit vyšší příjem herbicidů, neboť kutikula listu je hydratovaná a plošně redistribuovaný herbicid zůstane v roztoku delší dobu. Avšak může dojít k odrazu postříkové kapénky o kapku rosy pryč z listu a Mikulka (2014) tvrdí, že vlivem rosy může dojít k jejímu odtoku z listu. Je proto nutné brát v potaz konkrétní podmínky a zvážit tyto dopady před aplikací.

3.2.7.2.2 Vlhkost vzduchu

Podle Kudska & Kristensena (1992) se zvyšuje příjem hydrofilně formulovaných herbicidů s rostoucí vzdušnou vlhkostí. Je to zapříčiněno nabobtnáváním hydrofilních pórů na kutikule a jejich prostupností pro hydrofilní látky.

3.2.7.2.3 Vlhkost půdy

Tento faktor je nejvýznamnějším zejména u účinnosti herbicidů preemergentních a časně postemergentních. Lze říci, že s poklesem půdní vlhkosti klesá herbicidní účinnost herbicidů přijímaných plevele z půdy. Vlhkost půdy má vliv i na účinnost herbicidů přijímaných listy, neboť rostliny v suchých podmínkách obvykle vytvářejí menší listy se silnější vrstvou kutikulárních vosků na povrchu a se silnější kutikulou. Tyto rostliny obvykle přijímají méně herbicidů než rostliny v půdě s dostatkem vody (Kudsk & Kristensen 1992). Takto stresované rostliny, také uzavírají průduchy, čímž snižují fotosyntetickou aktivitu a translokaci floémem. Dostatečná půdní vlhkost je podmínkou k rozptýlení herbicidu v půdním roztoku a vytvoření herbicidního filmu ve vrchní vrstvě půdy. Dle Walkera & Eagela (1983) má půdní vlhkost a teplota hlavní význam na degradaci pesticidů v půdě. Samotný proces degradace je představován transformací molekuly postupným odbouráváním, či inaktivací toxoforů.

3.2.7.2.4 Půdní vlastnosti

Na lehkých půdách se herbicidy pohybují snadněji a hrozí jejich transport do podzemních vod a zároveň herbicid může způsobovat vyšší fytotoxicitu. Do takovýchto půd volíme nižší dávku herbicidu a do půd těžkých lze aplikovat dávku na horní hranici rozpětí dávkování. K dosažení požadované účinnosti půdních herbicidů, nesmí být na povrchu pozemku hroudy, které účinnost výrazně sníží (Kazda et. al. 2010). Dále je nutné zjistit obsah humusu v půdě, neboť Petr et. al. (2008) uvádějí, že jeho obsah v půdě pod 1,5 % může způsobit fytotoxicitu herbicidu, a naopak při obsahu humusu nad 4 % hrozí riziko snížené účinnosti herbicidního zásahu.

3.2.7.2.4.1 Sorpce v půdním prostředí

Herbicidní účinné látky jsou v půdě vázány zejména na aktivní povrchy organicko-minerálního původu a částečně na koloidní struktury některých anorganických sloučenin. Půdy, které mají vyšší kationtovou výměnnou kapacitu, jsou schopny poutat více účinných látek. Sorpci v půdě ovlivňují půdní vlastnosti a fyzikálně-chemické vlastnosti herbicidů, neboť většina účinných látek jsou ve vodě obtížně rozpustitelné nepolární sloučeniny. Z hlediska faktorů prostředí má na sorpci vliv obsah vody v půdě, neboť při nízkém obsahu vody se zvyšuje stupeň adsorpce. Důležitá je také půdní reakce (pH), která ovlivňuje disociaci herbicidu kyselou, nebo zásaditou reakcí (Mikulka et. al. 2005).

3.2.7.2.4.2 Mobilita a transportní pochody

Účinná látka je v půdním prostředí transportována vertikálně konvekcí půdními makropóry společně s vodou a všesměrně difuzí a dispergací v důsledku vyrovnávání koncentrací mezi fázemi a aktivními povrchy. Intenzita transportu účinné látky je podle Kočárka (2022) závislá na mobilitě a perzistenci, neboť perzistentní herbicidy nejsou schopné transportu, pokud jsou pevně vázané v půdě, naopak herbicidy, které jsou v půdě velmi pohyblivé a mohou být rychle degradovány, pokud nejsou perzistentní. Jursík & Soukup (2022) tvrdí, že transport herbicidů je taktéž ovlivňován vlastnostmi půdy, zejména její zrnitostí a obsahem půdní organické hmoty. Na lehkých půdách dochází častěji k vertikálnímu proplavení, ale na půdách těžších je tento pohyb herbicidů omezený a dochází zde hlavně k povrchovému odtoku a do spodních vrstev se herbicidy dostávají zejména makropóry. Mobilita herbicidů v půdním prostředí je sledována nejen kvůli kontaminaci povrchových a podpovrchových vod, ale u herbicidů s poziční selektivitou i kvůli fytotoxicitě, kterou mohou způsobovat. Gustafson (1989) uvádí, že riziko proplavení se u nově registrovaných přípravků posuzuje nejčastěji GUS leaching indexem, jež je vypočítáván na základě poločasu rozpadu herbicidů a jejich rozpustnosti ve vodě. S rostoucí hodnotou indexu roste riziko proplavení herbicidu.

3.2.7.2.4.3 Degradáční procesy

Janeček et. al. (2002) tvrdí, že rezidua pesticidů v půdě jsou těžko rozpustná a jsou adsorbována na povrchu půdních částic a následně odnášena v suspendovaném stavu.

Biotická degradace je založena na činnosti půdních mikroorganismů. Aktivita půdních mikroorganismů je ovlivňována zejména teplotou, vlhkostí, pH půdy a obsahem organické hmoty, živin a kyslíku v půdě (Keller et. al. 1997). Z těchto důvodů se herbicidy se pomaleji degradují na půdách, které jsou suché, utužené, chladné a chudé na živiny. Nitzsche a Schmidt

(2002) dodávají, že rozklad herbicidu může být výrazně zpomalen, pokud se dostane do podorničí, kde obvykle bývá nižší mikrobiální aktivita. Jursík et. al. (2018c) tvrdí, že při zaklopení herbicidů orbou do půdy dojde k jejich naředění a Moura et al. (2008) uvádějí, že rozklad herbicidu může být v půdě urychlen vlivem mikroorganismů, vlhkosti a vyšších teplot, avšak Shelton et. al. (1998) tvrdí, že k nejrychlejší degradaci dochází na povrchu, kdy herbicid není zapraven do půdy vůbec.

Pokud pH půdy dosahuje extrémních hodnot, klesá podíl biotické degradace a zvyšuje se podíl degradace chemické. Rychlost této degradace je ovlivněna molekulární hmotností molekul herbicidu, neboť látky jednodušší jsou rozkládány rychleji. Hlavní chemické degradační procesy v půdě jsou oxidačně-redukční reakce a hydrolýza. Během hydrolytické reakce dochází k výměně některých chemických skupin za hydroxylové skupiny, čímž dojde ke změně struktury a vlastností molekuly. Při oxidačně-redoxních procesech dochází k tvorbě redukovaných a oxidovaných forem. Na rychlost oxidačně-redoxní degradace má vliv pH půdy a redukční potenciál. Zároveň může dojít ke katalyzaci redoxní reakce některými kovy a oxidační reakce v půdním roztoku může být ovlivněna fotolýzou (Jursík et. al. 2018a).

3.2.7.2.5 Sluneční záření

Sluneční záření působí na vývoj kutikuly na povrchu listu a při velmi intenzivním záření rostliny intenzivněji tvoří i další ochranné bariéry na povrchu listu, které jsou překážkou v příjmu herbicidů (Varanasi et. al. 2016; Jursík & Soukup 2021). Především u herbicidů působících na fotosyntézu je sluneční záření podmínkou pro jejich aktivitu. Avšak u některých kontaktních herbicidů dochází k vyšší aktivitě při nižší intenzitě slunečního záření. I přesto, že se nekrózy listů za vyšší intenzity slunečního záření v místě zasažení objeví brzy, rostliny obvykle zregenerují z herbicidem nezasazených postranních pupenů.

Nedostatek světla způsobuje často odlišný habitus a morfologii rostlin. Naylor (2002) tvrdí, že pýr plazivý reaguje na pokles intenzity osvětlení vlivem konkurenčního působení obilnin zvýšením poměru mezi nadzemní částí rostliny a podzemními oddenky, čehož bylo využíváno u předsklizňové aplikace herbicidy s účinnou látkou glyphosate, neboť tato aplikace bývá účinnější než aplikace posklizňová. V současné době se však v ČR mohou používat předsklizňové aplikace s těmito herbicidy pouze u plodin, které nejsou určeny pro potravinářské ani krmivářské účely.

Kazda et. al. (2010) uvádějí, že při vyšší intenzitě slunečního záření dochází k vyšší translokaci herbicidu do podzemních orgánů vytrvalých plevelů, neboť translokace herbicidu floémem koreluje s translokací asimilátů. Některé půdní herbicidy je vhodné po aplikaci zapravit do půdy, neboť jsou náchylné ke světelnému rozkladu, ke kterému může dojít zejména v důsledku ultrafialového záření, které však do půdy nepronikne (Keller et. al. 1997).

3.2.7.2.6 Teplota

Příjem herbicidů vzrůstá také se vzrůstající teplotou, navzdory možnosti zvýšené těkavosti. Teplota vzduchu ovlivňuje intenzitu fotosyntézy, příjem a translokaci herbicidů. Pozitivní vliv má rostoucí teplota u růstových herbicidů některých ALS inhibitorů a listových graminicidů, tyto herbicidy je vhodné aplikovat až při teplotách nad 10 °C. Oproti tomu u některých herbicidů může při teplotách nad 20 °C nastat snížení účinnosti. U většiny sulfonylmočovín sledujeme dobrou účinnost již při teplotách od 5 °C, nicméně i tyto látky

vykazují lepší účinnost při teplotách nad 10 °C. Stejně jako vysoká intenzita slunečního záření mohou i vysoké teploty zapříčinit snadnější regeneraci adventivních pupenů po poškození kontaktním herbicidem. Proto je u těchto herbicidů sledována vyšší účinnost, když po jejich aplikaci přijde mírné ochlazení. U teplot nad 30 °C, které způsobují některým rostlinám stres, pozorujeme snížení účinnosti u systematicky působících herbicidů, neboť vlivem stresu může klesat fyziologická aktivita těchto rostlin (Kudsk & Kristensen 1992; Mikulka 2014, Varanasi et. al. 2016).

3.2.7.2.7 Proudění vzduchu

Vítr urychluje zasychání herbicidního filmu na povrchu listů. Tento fakt způsobuje omezení příjmu herbicidu a může způsobit i jeho vyšší výpar. Povětrnostní podmínky výrazně ovlivňují průběh aplikace herbicidu postřikovačem. Při silnějším větru ulétává postřiková jícha, což způsobuje nerovnoměrné ošetření porostu, nebo nebezpečí poškození porostů mimo ošetřovaný pozemek a tím je snížen účinek herbicidu a zvyšuje se riziko poškození sousedních porostů (Varanasi et. al. 2016; Jursík & Soukup 2021).

3.2.7.2.8 Růstová fáze plevelů a hustota porostu

Obecně platí, že čím vyšší hustota zaplevelení, tím méně herbicidu každá rostlina přijme. Tento fakt platí zejména u herbicidů přijímaných listy plevelů.

Schuster et. al. (2007) tvrdí, že s rostoucí růstovou fází klesá citlivost plevelů k většině herbicidů, neboť mají plevele ve vyšších růstových fázích na listech silnější voskovou vrstvičku, dokáží herbicid snadněji metabolizovat a je těžké aplikací herbicidu zasáhnout celou listovou plochu plevele. Jursík et. al. (2018a) naopak uvádí, že většina růstových herbicidů vykazuje velmi vysokou účinnost na citlivé plevele ve vyšších růstových fázích a dokonce tvrdí, že ošetření v pozdějším období může být efektivnější.

Načasování aplikace herbicidu je závislé zejména na optimální růstové fázi plevelů a plodiny, ale taktéž na vzejití většiny plevelů, které chceme regulovat. Problémem může být etapovitě vzcházení. Řešením tohoto problému může být dělená aplikace herbicidů, zejména u širokořádkových plodin.

3.3 Negativní dopady používání herbicidů

Hůla et. al. (2008) sledoval chování herbicidů v půdním prostředí ze dvou hledisek. Jednak z hlediska chování v prostředí včetně kontaminace spodních vod a druhým hlediskem byl vliv na porosty. Poškození následných plodin může mít skryté dopady, které se projeví na výnosu, ale může dojít i k úplnému zničení porostu. Jursík & Soukup (2016) tvrdí, že nejčastější příčinou kontaminace prostředí je vylití postřikové jíchy z postřikovače. U nás je zakázanou aplikací herbicidů obsahujících glyphosat, neboť jak tvrdí Hanke et al. (2010) jeho vyžívání mělo negativní dopad na životní prostředí, zejména riziková byla kontaminace povrchových vod rezidui glyfosátu.

Mikulka (2024) tvrdí, že perzistentní herbicidy mohou být transportovány do spodních i povrchových vod a ohrožovat tam vodní organismy, což potvrzují také Jursík et. al. (2018c) kteří tvrdí, že při smyvu herbicidů hrozí kontaminace vod povrchových a ohrožení ptáků, ryb,

bezobratlých a obojživelníků. Proto je podle Graymore et al. (2001) důležité, aby byl herbicid v půdě rychle degradován.

Perzistence je jednou z klíčových vlastností herbicidů, neboť ovlivňuje období biologické účinnosti, expozici k transportním procesům v prostředí a riziko poškození následujících plodin. Perzistence se nejčastěji vyjadřuje poločasem rozkladu, což znamená, že perzistence je výslednicí ztrát výparem, fotodegradací, transportních procesů, chemickou, či mikrobiální degradací a metabolizací v rostlinách (Hůla et. al. 2008; Jursík et. al. 2018c). Herbicid, který je aplikován do půdy by měl v půdě zůstat po dobu, kdy je jeho působení žádoucí, ale neměl by v půdě setrvat do doby, kdy by mohl poškodit následnou plodinu. Kocourek et. al. (2022) uvádějí, že velmi časté je poškození zeleniny vysoce těkavými růstovými herbicidy pokud jsou aplikovány později na jaře, při vysokých teplotách.

3.4 Regulace plevelů v plodinách

3.4.1 Obilniny

Klaaßen & Freitag (2004) provedli v roce 2003 v Německu monitoring výskytu plevelů a zjistili, že na nimi sledovaných plochách ozimých obilovin jsou nejčastěji zastoupeny zejména psárka rolní, chundelka metlice, ptačinec žabinec a heřmánkovité plevele.

U ozimých obilnin může během mírné zimy nastat problém se zaplevelením, neboť v tomto období může dojít k vzcházení a vyššímu uplatnění plevelů. Zejména u včasně založených porostů se vyskytuje riziko zaplevelením plevely spodního patra, které dokáží vytvořit velkou pokrývnost povrchu, a proto musí být včas potlačeny. Úspěšnost regulace plevelů je dána zejména vhodným načasováním zásahu. Při nevhodně provedeném regulačním zásahu hrozí ztráta na výnosu až 50 %. Volba termínu ošetření má zásadní vliv na účinnost zásahu a na náklady spojené s regulací. Vzhledem k povětrnostním podmínkám, které u nás panují na podzim je vhodné aplikovat herbicidy, které působí přes půdu, kontaktní herbicidy, nebo ALS inhibitory. Naopak nižší účinnosti dosahují v podzimních podmínkách pokročilého podzimu růstové herbicidy. Z hlediska ekonomiky pěstování je zásadní eliminovat kokureční působení plevelů dříve, než začnou obilniny tvořit výnosotvorné prvky, k čemuž dochází již v časných růstových fázích. Při aplikaci herbicidu je proto nutné zohlednit jak růstovou fázi plevelů, tak obilniny. U pozdního postemergetního ošetření může dojít k poklesu účinnosti, neboť odolnější plevele mohou být již ve vyšší růstové fázi. Jarní aplikace herbicidů bývá u ozimů využívána nejčastěji jako opravná. Některé půdní herbicidy vyvinuté k podzimní aplikaci dosahují vysoké účinnosti i časně z jara, pokud nejsou plevele příliš odrostlé a půda má dostatečnou vlhkost (Zimolka et. al. 2006; Petr et. al. 2008; Kazda et. al. 2010)

Petr et. al. (2008) uvádí specifika preemergentní aplikace herbicidů u žita. Žito nevyžaduje hluboký výsev, ale při plánu využití preemergentního herbicidního zásahu se žito vysévá do hloubky 4 cm.

3.4.2 Kukuřice

Kukuřice je řazena mezi rostliny s nižší konkurenční schopností. Regulace plevelů v porostech kukuřice dnes probíhá zejména plečkováním a herbicidním zásahem. Zimolka et. al.

(2008) uvádějí, že při pokusech v letech 2004 až 2007 bylo zjištěno, že neošetřená varianta dosahovala až o 54 % nižšímu výnosu oproti variantě herbicidně ošetřené. Zimolka et. al. (2008) uvádějí, že pýr plazivý je možné regulovat herbicidním zásahem již v meziporostním období, čímž se výrazně sníží vliv působení toxických látek, které pýr do půdy vylučuje. Nagy (2006) dále dodává, že při aplikaci preemergentního herbicidu je vhodné využít dávky vody 400 l na hektar, aby nedošlo ke snížení účinnosti herbicidu, nižší účinnost preemergentní aplikace byla pozorována taktéž na pozemcích, které byly organicky hnojeny, nebo obsahují vyšší podíl organické hmoty. Pokud dle Kazdy et. al. (2010) nedojde při aplikaci postemergentního herbicidu k dodržení růstové fáze je kukuřice na tento zásah citlivá a může dojít k poškození rostlin kukuřice. Andr et al. (2014) považují za nejvhodnější aplikaci postemergentního herbicidu do 6. listu kukuřice.

3.4.3 Slunečnice

Slunečnici řadíme mezi plodiny se střední až nižší konkurenční schopností. Z konkurenčního hlediska je za kritické období považováno rozmezí mezi 20. a 50. dnem od zasetí. Vlivem plevelů může být výnos snížen o 30 – 60 %. Ve slunečnici lze využít plečkování, herbicidní regulaci plevelů, nebo HT technologii (Jursík et. al. 2018b; Jursík et. al. 2018c). Baranyk et. al. (2008) varuje před preemergentní aplikací herbicidů v období, kdy hrozí proplavení účinné látky do větší hloubky, protože většina herbicidů registrovaných k využití ve slunečnici má selektivitu založenu na tom, že působí pouze v povrchové vrstvě půdy. Zároveň uvádí, že pro dosažení požadované účinnosti musí být povrch řádně urovnán a být bez hrud, které by vytvářely aplikační stín. Preemergentní aplikace by měla proběhnout do tří dnů po zasetí slunečnice a pokud teploty dosahují ve dnech aplikace vyšších hodnot, je vhodnější zvolit aplikaci navečer, protože noční chlad a ranní rosa urychlí příjem herbicidu půdou. Pokud je zvolená regulace plevelů neúčinná lze zvolit i postemergentní aplikaci herbicidu, která v praxi bývá využívána jako nouzové řešení. U slunečnice se podle Jursíka et. al. (2018b) využívají tři HT technologie. Technologie ExpressSun je založena na využívání hybridů odolných k účinné látce tribenuron. Clearfield technologie spočívá v pěstování hybridů přirozeně odolných k imidazolinovým herbicidům. Odrůdy Clearfield plus by měli vykazovat vyšší odolnost vůči imazamoxu a využívat taktéž nových herbicidů registrovaných do této technologie.

3.4.4 Řepka

Z hlediska škodlivosti plevelů lze u řepky vymezit jako kritické období podzim od fáze dvou 2 až 4 pravých listů řepky a na jaře v období prodlužovacího růstu vzrostnějších plevelů. Na podzim se v porostech řepky často vyskytuje vzešlý výdrol předplodiny a plevely spodního patra, proti kterým musí být proveden regulační zákrok, který se dnes provádí herbicidně. Regulační zásah proti vzešlému výdrolu a dvouděložným plevelům by měl být proveden, alespoň s týdenním rozestupem. Vysoké účinnosti potlačení výdrolu dosáhneme správným načasováním. Hebicidní zásah je ideální provést graminicidem po vzejití výdrolu ve fázi dvou listů až počátku odnožování. Proti dvouděložným plevelům lze využít tank-mix kombinaci herbicidů příjmaných kořeny a listových, což umožní potlačení plevelů vzešlých i teprve klíčících (Baranyk et. al. 2010). Jursík et. al. (2016) uvádějí, že v řepce se využívá HT technologie Clearfield, která je založena na toleranci k účinné látce imazamox. Clearfield

hybridy řepky vykazují také částečnou odolnot k dalším ALS inhibitorům (sulfonylmočovinám). Výhodou této HT technologie je možnost účinného regulačního zásahu v relativně širokém regulačním okně mezi děložními lístky až 4 pravými listy plevele, ale při pozdější aplikaci vykazují takéž dobrou účinnost.

3.4.5 Brambory

Základem regulace plevelů v bramborech je zejména potlačování vytrvalých plevelů, kterým vyhovuje pěstování brambor v hrůbkách. Pokud je regulační zásah nedostatečný jsou tyto plevele schopny se velmi rychle rozšířit po pozemku. V praxi se vyskytují způsoby regulace plevelů bez herbicidů, pouze s herbicidy a kombinace těchto dvou způsobů. Pouze herbicidní zásah se provádí, pokud není možné v porostu brambor provádět mechanické zásahy. Využívá se aplikace preemergentní i postemergentní dle intenzity zaplevelení a druhu plevelů (Kazda et. al. 2010). Dle Jursíka et al. (2018) se k postemergentnímu zásahu přistupuje pouze při selhání preemergentního ošetření, nebo za účelem posílení reziduálního posílení preemrgentního ošetření. Snížení účinnosti preemrgetního zásahu může být za sucha výraznější než u jiných plodin, neboť hrůbky výrazně zvyšují plochu, na kterou je postřiková jícha aplikována a taktéž mohou mít hrubky sklony k sesuvům půdy. Munzert & Kees (1986) uvádějí, že nevhodnou aplikací herbicidu hrozí poškození rostliny bramboru. Dodávají však, že citlivost k herbicidům je u jednotlivých odrůd rozdílná.

3.4.6 Cukrová řepa

Cukrová řepa se dnes bez účinné regulace plevelů prakticky nedá pěstovat. V porostech cukrové řepy se dnes potlačují plevele zejména herbicidně a plečkováním. Plevelné řepy kvetou v prvním vegetačním roce a produkují během sklizně semena, čímž obohacují jejich půdní zásobu a vytvářejí potenciál vzniku stabilních populací. Märländer (1997) varuje před přenosem tolerance k herbicidům na jiné rostliny. Kazda et. al. (2010) doporučují regulovat plevele odolné k herbicidům již v předplodině. Vzhledem k citlivosti cukrové řepy k herbicidům je vhodné přikročit ke snížení dávky aplikovaného herbicidu a aplikaci opakovat, tak aby byly zasaženy všechny vzrůstající plevele, které vzcházejí etapovitě. Vyšší účinnosti herbicidní ochrany je dosahováno při kombinaci herbicidů kontaktních listových a půdních. Bittner et. al. (2016) uvádějí, že HT systém conviso má za cíl usnadnit a zefektivnit regulaci plevelů v cukrové řepě za použití účinných látek ze skupiny ALS inhibitorů a u HT odrůd řepy není využití herbicidu omezeno růstovou fází plevele.

3.4.7 Jeteloviny

U jetelovin je nutné věnovat pozornost regulaci plevelů v předplodinách. Herbicidy se do jetelovin aplikují zejména postemergentně, tato aplikace by však neměla být prováděna před, či bezprostředně po dešti, v podsevu obilnin ve fázi druhého trojlístku jetele (vojtěšky) a 2-4 pravých listů plevele. Vojtěška setá je citlivá na plevele po celou dobu vegetace, ale nejcitlivější v prvním roce pěstování. Velmi škodlivými pleveli v jetelovinách jsou šťovíky a pampeliška lékařská. Regulace vytrvalých plevelů by měla být provedena již v předplodině. (Kazda et. al. 2010).

3.4.8 Luskoviny

U nás nejčastěji pěstované luskoviny jsou hrách, sója, lupina a bob. Tyto rostliny jsou dle Houby & Dostálové (2018) v našich podmínkách zaplevelovány zejména plevelnou řepkou, pýrem plazivým, pcháčem rolním, merlíky, laskavci, lebedami, ježatkou kuří nohou, ovsem hluchým a penízkiem rolním. U luskovin se doporučují preemergentní či brzké postemergentní aplikace herbicidů, protože u vyšších rostlin (přibližně nad 15 cm) může nastat problém s poškozením či zbrzděním růstu luskoviny. Dle Kazdy et. al. (2010) by regulace vytrvalých plevelů měla proběhnout z ekonomických důvodů již v předplodině a regulační zásah proti pýru plazivému dosahuje vyšší účinnosti při použití dělené aplikace postemergentního graminicidu.

3.4.9 Zelenina

U pěstování zelenin je hojně využíváno textilií k zakrývání půdy, což může zvýšit účinnost půdního herbicidu, ale zároveň snížit jeho selektivitu.

3.4.9.1 Cibulová zelenina

Cibulová zelenina se vyznačuje nízkou konkurenceschopností vůči plevelům. Zaplevelení porostů může způsobit nejen výnosovou ztrátu, ale také problémy při mechanizované sklizni. Kritické období z pohledu plevelů u cibule trvá až 10 týdnů od vzejití. Regulace zaplevelení v cibulové zelenině lze provádět herbicidně. Osvědčují se preemergentní aplikace, které by měly být kvůli vyšší účinnosti prováděny na vlhkou půdu, případně postemergentní v rané růstové fázi plevelů a odpovídající růstové fázi cibuloviny (od 2-3 listů), aby nedošlo k jejímu poškození, nebo dokonce k prořídnutí porostu. Zejména v cibuli se doporučuje aplikovat postemergentní herbicid v dělených dávkách v intervalech 5–10 dní. Plečkování se provádí zejména u česneku, který je pěstován v širších řádcích. Pokud je pór pěstován v nahrnovaném hrůbku, lze nahrnování považovat také za regulační zásah proti plevelům (Kocourek et. al. 2022).

3.4.9.2 Kořenová zelenina

Mířkovitá zelenina má dobrou konkurenční schopnost, ale v prvních týdnech vegetace je nutné provést regulaci plevelů. Kořenová zelenina z čeledi mířkovitých by neměla být pěstována na pozemcích zaplevelených plevely ze stejné čeledi, vytrvalými dvouděložnými plevely a v osevním postupu by neměla následovat po bramborách, protože se proti těmto plevelům a zaplevelující plodině nedá účinně zasáhnout. U mířkovité zeleniny se doporučuje preemergentní herbicidní zásah, který po mírném dešti, nebo závlaze dosahuje vyšší účinnosti a působí pozitivně zejména na regulaci trávovitých plevelů. Regulaci zaplevelení v salátové řepě lze provádět stejně jako v řepě cukrové, avšak musíme brát v potaz vyšší citlivost salátové řepy k herbicidům. Pokud je kořenová zelenina pěstována v hrůbcích, není doporučeno provádět plečkování, neboť by mohlo dojít k poškození struktury hrůbků. U této pěstební technologie hrozí nižší účinnost herbicidů, neboť na stěnách hrůbků dochází k poddávkování herbicidu. Plečkování lze účinně využívat u celeru a salátové řepy (Naylor 2002; Kocourek et. al. 2022).

3.4.9.3 Košťálová a listová brukvovitá zelenina

Jak uvádějí Kocourek et. al. (2022) u této zeleniny se využívá preemergentní aplikace herbicidů. Nejeftivnější je zamezit vývoji plevelů již při vzcházení, neboť některé plevele vyskytující v košťálové zelenině jsou poměrně odolné k některým účinným látkám. Při postemergentní aplikaci herbicidu jsou citlivé plevele účinně potlačovány do fáze 4 pravých listů. Při postemergentní aplikaci musí mít zelenina na povrchu vytvořenu voskovou vrstvu, která omezí příjem herbicidu. Z tohoto důvodu by postemergentní aplikace měla proběhnout nejdříve tři dny po dešti, či závlaze. Květák, brokolice a kedluben jsou více citlivé k herbicidům. Tato citlivost může být rozdílná i v rámci pěstovaných odrůd a doporučuje se na lehkých půdách snížit dávku herbicidu. Zejména u kedlubny je nutné dobře zvládnout herbicidní regulaci před samotnou výsadbou, neboť následně bývá porost zakryt netkanou textilií.

3.4.9.4 Lusková zelenina

Lusková zelenina je pěstována v úzkých řádcích, díky čemuž má vysokou konkurenční schopnost. I přes to mohou plevele v cukrovém hrášku způsobit ztráty na výnosu až 50 %. K zabránění takto vysokých ztrát je nutné přistoupit k regulaci plevelů a eliminovat plevele po dobu minimálně tří měsíců od vzejití. Většina herbicidů, které jsou do luskovin dnes registrovány, mají selektivitu založenou pozičně, proto se doporučuje, zejména na lehčích půdách, setí do hloubky alespoň 5 centimetrů. U herbicidů postemergentních hrozí zbrzdění růstu luskové zeleniny. Herbicidy mohou mít negativní vliv také na hlízkové bakterie na kořenech luskovin (Naylor 2002; Kazda et. al. 2010).

3.4.10 HT technologie

Z důvodů náročnosti vývoje nových herbicidů se společnosti, které je vyrábějí, rozhodly více využívat stávající účinné herbicidy v plodinách, ve kterých doposud využívány být nemohly, protože k nim byly citlivé. To dalo vzniknout technologii ochrany proti plevelům na základě herbicidní tolerance (HT). Tato technologie je významná zejména u plodin, u nichž byly doposud omezené možnosti herbicidní ochrany.

Kletter et. al. (2007) uvádějí, že v USA se po zavedení HT technologií snížily celkové hektarové dávky účinných látek o 20 % u sóji, o 30 % u řepky a o 33 % u kukuřice. Dill et. al. (2008) tvrdí, že HT technologie bývají efektivní hlavně na pozemcích, na nichž se využívá technologie minimalizačního zpracování půdy. Jursík et. al. (2018b) uvádějí, na příkladu slunečnice, že regulace výdrolu některých HT odrůd musí být prováděna mechanicky nebo herbicidem s odlišným mechanismem účinku. Největší problém s regulací výdrolu se projevuje zejména u některých olejnin, neboť mají dlouhou dobu dormance a jejich životnost v půdě přesahuje deset let. Rozdíly v délce persistence semen v půdě mezi HT odrůdami a konvenčními nebyly nalezeny.

3.4.10.1 GM technologie

Díky znalosti cest metabolizace, detoxikace a odbourávání účinných látek lze využít geny kódující tyto vlastnosti a vložit je transgenozí do kulturní rostliny. U rostlin s vloženým genem

tolerance k herbicidu prakticky nedochází k fytotoxicitě. V porostech geneticky modifikovaných plodin se často využívají neselektivní herbicidy. K vytvoření tolerance vůči glyfosatu lze využít tři způsoby: nadprodukce cílového enzymu, strukturální modifikace cílového enzymu, produkce enzymů se schopností rychle detoxikovat herbicid (Soukup et. al. 2011). Mohorčich & Reese (2019) uvádějí, že GM technologie jsou dnes již velmi rozšířené v mnoha plodinách.

Soukup et. al. (2011) uvádějí, že zavedení HT plodin nezabrání toku genů mezi plodinami a jejich blízkými příbuznými, avšak přítomnost jediného genu tolerance vůči herbicidu v jednom genomu dané příbuzné divoké rostliny by neměla být považována za škodlivou, neboť neexistuje důkaz o ovlivnění vlastností populací divokých rostlin GM plodinou. Problémem HT plodin by mohl být potenciál cukrové řepy hybridizovat s příbuznými rostlinami. Kauffmann et al. (2019) uvádějí, že i přes výhody spojené s GM technologiemi jsou s nimi stále spojeny i rizika, zejména úniku do životního prostředí.

4 Závěr

V této bakalářské práci jsou popsány základní principy regulace plevelů, problematika používání herbicidů a zejména faktory ovlivňující jejich účinnost a selektivitu. Na tyto herbicidní vlastnosti má vliv mnoho biotických a abiotických faktorů. Nelze přesně říci za jakých okolností přistoupit k aplikaci herbicidů, aby byl zásah maximálně efektivní, neboť jednotlivé faktory nepůsobí na všechny typy herbicidů stejně a nelze proto popsat jeden univerzální postup. Tato práce popisuje jednotlivé faktory tak, aby je čtenář dokázal posoudit a vyhodnotit společně s vlastnostmi herbicidu, díky čemuž se může správně zvolit vhodnou účinnou látku, formulaci a dávku herbicidu. Vedle toho má zásadní vliv na účinnost i selektivitu aplikace herbicidu také výběr vhodného adjuvantu a především termínu aplikace. Rovněž půdní vlastnosti, které se liší mezi jednotlivými pozemky a často i v rámci jednoho pozemku mohou mít zásadní vliv na účinnost půdních herbicidů. Cílem pěstitele by mělo být dosáhnout nejefektivnějšího herbicidního zásahu a co nejméně zatěžovat životní prostředí těmito látkami.

Velkým rizikem spojeným s využíváním herbicidů je vznik rezistentních populací plevelů k jednotlivým účinným látkám. Tento faktor zásadně ovlivňuje účinnost herbicidního zásahu a při využívání herbicidů je nutné mít tento fakt na zřeteli a využívat antirezistentních strategií.

Z faktorů ovlivňujících účinnost herbicidů jsou důležité především abiotické faktory, zejména vlastnosti půdy a povětrnostní vlivy, které zásadně ovlivňují také vliv herbicidů na životní prostředí.

5 Literatura

- Ahrens WH. 1994. Herbicide handbook. Weed Science Society of America, London.
- Al-Khatib K. 2021. Photosystem II inhibitors. University of California. Available from https://herbicidesymptoms.ipm.ucanr.edu/MOA/Photosystem_II_Inhibitors/ (accessed April 2024).
- Andr J, Hejnák V, Jursík M, Fendrychová V. 2014. Effects of application terms of three soil active herbicides on herbicide efficacy and reproductive ability for weeds in maize. *Plant Soil Environment* **60** (10): 452-458.
- Baranyk P. et. al. 2010. Olejniny. Profi Press s.r.o., Praha.
- Barbosa P. 1998. Conservation biological control. Academic press, San Diego.
- Bauer TA, Mortensen DA. 1992. A comparison of economic optimum thresholds for two annual weeds in soybeans. *Weed Technology* **6**: 228-235.
- Berti A, Zanin G. 1994. Density equivalent: a method for forecasting yield loss caused by mixed weed populations. *Weed Research* **34**: 327-332.
- Bittner V, Chalupný K, Chochola J. 2016. Management rezistence u cukrové řepy 1. část. *Listy Cukrovarnické a Řepářské* **132** (1): 25-29.
- Britton G. 1995. Structure and properties of carotenoids in relation to function. *The FASEB Journal* **9**: 1551-1558.
- Cieslik LF, Vidal RA, Trezzi MM. 2013. Environmental factors affecting the efficacy of ACCase-inhibiting herbicides: a review. *Planta Daninha* **31**: 483-489.
- Cobb AH, Reade PH. 2010. *Herbicides and Plant Physiology*, Second Edition.
- Cole DJ. Detoxification and activation of agrochemicals. *Pesticide science* **42**: 209-222.
- Costea M, Weaver SE, Tardif FJ. 2004. 130. *Amaranthus retroflexus* L., *A. powellii* S. Watson and *A. hybridus* L. *Canadian Journal of Plant Science* **84**: 631-668.
- Dayan FE, Barker AL, Bough R, Ortiz M, Takano HK, Duke SO. 2019. Herbicide mechanism of action and resistance. Moo-Young M, editor. *Comprehensive Biotechnology*, Volume 4. Pergamon Elsevier, Amsterdam.
- Davies J, Caseley JC. Herbicide safeners. *Pesticides Science* **55**: 1043-1058
- Dill GM, Cajacob CA, Padgett SR. 2008. Glyphosate resistant crops: adoption, use and future consideration. *Pesticide Management Science* **64**: 326-331.
- Dodge AD. 1989. *Herbicides and plant metabolism*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Gill KS, Arshad MA. 1995. Weed flora in the early growth period of spring crops under conventional, reduced, and zero tillage systems on a clay soil in northern Alberta, Canada. *Soil and Tillage Research* **33** (1): 65-79.

- Gravena R, Filho RV, Alves PLCA, Mazzafera P, Gravena AR. 2012. Glyphosate has low toxicity to citrus plants growing in the field. *Canadian Journal of Plant Science* **92**: 119-127.
- Graymore M, Stagnitti F, Allinson G. 2001. Impacts of atrazine in aquatic ecosystems. *Environmental International* **26**: 483-495.
- Gustafson DI. 1989. Groundwater ubiquity score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environmental Toxicology and Chemistry* **8**: 339-357.
- Hamouz P. 2014. Metody regulace zaplevelení pro precizní zemědělství. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Hanke I, Wittmer I, Bischofberger S, Stamm C, Singer H. 2010. Relevance of urban glyphosate use for surface water quality. *Chemosphere* **81**: 422-429.
- Herrmann KM, Weaver LM. 1999. The shikimate pathway. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* **50**: 473-503.
- Hess D. 1992. *Biotechnologie der Pflanzen*. UTB. Stuttgart
- Holec J. 2022. Biologická regulace plevelů. *Úroda* **70** (5): 12-16.
- Holm LG, Doll J, Holm E, Pancho JV, Herberger JP. 1997. *World weeds: Natural histories and distribution*. John Wiley & Sons, Toronto.
- Horowitz M, Regev Z, Herzlinger G. 1983. Solarization for Weed Control. *Weed Science* **31**: 170-179.
- Houba M, Dostálová R. 2018. *Luskoviny*. Profi Press s.r.o., Praha.
- Hůla J. et. al. 2008. *Minimalizace zpracování půdy*. Profi Press s.r.o., Praha.
- Chodová D, Mikulka J, Kočová M, Salava J. 2004. Origin, mechanism and molecular basis of weed resistance to herbicides. *Plant Protection Science* **40**: 151-168.
- Janeček M. et. al. 2002. *Ochrana zemědělské půdy před erozí*. ISV nakladatelství, Praha.
- Janků J, Jursík M, Soukup J. 2012. *Agromanual.cz*. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/adjuvanty> (accessed April 2024).
- Jursík M, Holec J, Hamouz P, Soukup J. 2018. *Biologie a regulace plevelů*. Kurent s.r.o., České Budějovice.
- Jursík M, Kazda J, Spitzer T, Říka K. 2018. *Technologie integrované ochrany slunečnice proti chorobám, škůdcům a plevelům*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Jursík M, Kočárek M, Kolářová M, Hamouz P, Andr J. 2018. *Optimalizace regulace plevelů v systému integrované produkce slunečnice*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha
- Jursík M, Soukup J, Holec J, Kysilková K. *Agromanual.cz*. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/technologie-herbicidni-tolerance-plodin-k-herbicidum> (accessed April 2024).

- Jursík M, Soukup J. 2016. Agromanual.cz. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/ochrana-obecne/priprava-postrikove-jichy-a-michani-pesticidu> (accessed April 2024).
- Jursík M, Soukup J. 2021. Agromanual.cz. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/factory-ovlivnujici-ucinnost-a-selektivitu-herbicidu> (accessed April 2024).
- Jursík M, Soukup J. 2022. Agromanual.cz. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/rezidua-herbicidu-v-pude-a-jejich-vliv-na-nasledne-plodiny> (accessed April 2024).
- Kauffmann F, Van Damme P, Leroux-Roels G, Vandermeulen C, Berthels N, Beuneu C, Mali S. 2019. Clinical trials with GMO-containing vaccines in Europe: status and regulatory framework. *Vaccine* **37**(42): 6144-6153.
- Kazda J, Mikulka J, Prokinová E. 2010. Encyklopedie ochrany rostlin. Profi Press s.r.o., Praha.
- Keller ER, Hanus H, Heyland KU. 1997. Handbuch des Pflanzenbaues 1 - Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kintl A, Kubíková Z, Sobotková J, Brtnický M. 2023. Riziko zaplevelení při pěstování meziplochin. *Úroda* **71** (10): 64-68.
- Klaaßen H, Freitag J. 2004. Dlouhodobé plevele a plevelné trávy – znaky pro včasné rozlišení. Münster-Hiltrup and BASF AG, Limburgerhof.
- Kletter GA. 2007. Altered pesticide use on transgenic crops and the associated general impact from an environmental perspective. *Pest Management Science* **63**: 1107-1115.
- Kocourek F. et. al. 2022. Integrovaná ochrana zeleniny. Profi Press s.r.o., Praha.
- Kočárek M. 2022. Agromanual.cz. Kurent s.r.o., Praha. Available from <https://www.agromanual.cz/cz/clanky/ochrana-rostlin-a-pestovani/plevele/chovani-herbicidu-v-pude-metazachlor> (accessed April 2024).
- Kohout V, Kohoutová-Hradecká D, Holec J. 2010. Biological control of broad-leaved docks on perennial grassland in the Czech Republic. *Herbologia* **11**: 33-38.
- Kohout V. 1987. Systém regulace plevelů v zemědělských soustavách. Vysoká škola zemědělská Praha, Praha.
- Köller K, Linke Ch. 2001. Erfolgreicher Ackerbau ohne Pflug. DLG-Verlag, Frankfurt.
- Komives T. 1992. Herbicides safeners: chemistry, mode of action, application. *Weed Abstract* **41**: 553-560.
- Kores NE., Burgos NR., Duke SO. 2019. Weed control. CRC Press, Boca Raton.
- Kučáková B. Možnosti regulace durmanu obecného v kukuřici [BSc]. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Kudsk P., Kristensen JL. 1992. Effect of environmental factors on herbicide performance. First International Weed Control Congress, Melbourne.

- Marcacci S, Raveton M, Ravanel P, Schwitzguebel JP. 2006. Conjugation of atrazine in vetiver (*Chrysopogon zizanioides* Nash) grown in hydroponics. *Environmental and Experimental Botany* **56**: 205-215.
- Märländer B. 1997. Gentechnik – der weite Weg zur Sorte. *Zuckerrübe* **46**: 132-137.
- Matthews GA. 2002. *Pesticide Application Methods*. Blackwell Science Ltd, London.
- Mikulka J, Chodová D, Martinková Z, Kohout V, Soukup J, Uhlík J. 1999. *Plevelné rostliny polí, luk a zahrad*. Redakce časopisu *Farmář – Zemědělské listy*, Praha.
- Mikulka J, Chodová D. 1996. *Hubení plevelů odolných vůči herbicidům*. Institut výchovy a vzdělání MZe ČR v Praze, Praha.
- Mikulka J, Kneifelová M, Martinková Z, Soukup J, Uhlík J. 2005. *Plevelné rostliny*. Profi Press s.r.o., Praha.
- Mikulka J, Slavíková L. 2008. *Metodiky diagnostiky a regulace rezistentních populací plevelů vůči herbicidům*. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha.
- Mikulka J, Štrobach J. 2024. Problematika regulace vytrvalých plevelů na orné půdě. *Úroda* **72** (2): 37-42.
- Mikulka J. 2014. *Plevele polních plodin*. Profi Press s.r.o., Praha.
- Mikulka J. 2021. Systémy regulace plevelů. *Úroda* **69** (11): 64-67
- Mikulka J. 2024. Zamyšlení nad pěstováním plodin bez používání herbicidů. *Rostlinolékař* **35** (1): 11-13.
- Mohorčich J, Reese J. 2019. Cell-cultured meat: Lessons from GMO adoption and resistance. *Appetite* **143**: 104-408
- Moura MAM, Franco DAS, Matallo MB. 2008. Impacto de herbicidas sobre os recursos hídricos. *Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária* **1**: 142-151.
- Müller F. 1986. *Phytopharmakologie: Verhalten und Wirkungsweise von Pflanzenschutzmitteln*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Munzert M, Kees H. 1986. Zur sortenspezifischen Herbizidverträglichkeit von Kartoffeln. *Kartoffelbau* **37**: 50-54.
- Nagy J. 2006. *Maize production*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Naylor REL. 2002. *Weed Management Handbook*. Blackwell Science, Oxford.
- Nitzsche O, Schmidt W. 2002. Fruchtfolgewirkungen in pfluglosen Anbavverfahren. *Getreide Magazin* **2**: 104-107.
- Pacanowski Z. 2015. *Herbicides and Adjuvants. Herbicides, Physiology of Action, and safety*. IntechOpen. Available from <https://www.intechopen.com/chapters/48607> (accessed April 2024).
- Petr J, Beneš F, Lachman J, Martínek P, Mudřík Z, Poláčková J, Příhoda J, Říha K, Váňová M. 2008. *Žito a tritikale*. Profi Press s.r.o., Praha.

- Polon JA. 1973. Pesticide formulation. Marcel Dekker, New York.
- Reade JPH, Cobb AH. 2002. Herbicides: Modes of Action and Metabolism. Naylor REL, editor. Weed Management Handbook, Ninth Edition. Blackwell Science Ltd, Cornwall.
- Rew LJ, Miller PCH, Paice MER. 1997. The importance of patch mapping resolution for sprayer control. *Aspect of Applied Biology* **48**: 49-55.
- Shelton DR, Sadeghi AM, Isensee AR. 1998. Effect of tillage on atrazine bioavailability. *Soil Science* **163**: 891-896.
- Smith AE. et. al. 1995. Handbook of Weed Management Systems. Marcel Dekker, New York.
- Soloneski S a Larramendy M. 2013. Weed and pest control. InTech. Rijeka
- Soukup J, Holec J, Jursík M, Hamouzová K. 2011. Environmental and agronomic monitoring of adverse effects due to cultivation of genetically modified herbicide tolerant crops. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* **6**: 125-130.
- Soukup J, Jursík M, Valičková V, Košnarová P, Hamouová K, Hamouz P, Holec J. 2018. Biologické vlastnosti a regulace sverěpu jalového a příbuzných druhů na orné půdě. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Taylor JS, Robertson JM, Harner KN, Bhalla MK, Daly EJ, Pearce DW. 1995. Apical dominance in rhizomes of quackgrass, *Elytrigia repens* – The effect of auxin, cytokinins, and abscisic acid. *Canadian Journal of Botany* **73**: 307-314.
- Varanasi A, Vara Prasad PV, Jugulam M. 2016. Impact of Climate Change Factors on Weeds and Herbicide Efficacy. Pages 108-138 in Sparks DL, editor. *Advances in agronomy*. Elsevier Inc, London.
- Walker A, Eagle DJ. 1983. Prediction of herbicide residues in soil for advisory purposes. *Asp. Appl. Biol.* **4**: 503-509.
- Zhang J, Hamill AS, Weave SE. 1995. Antagonism and synergism between herbicides: trends from previous studies. *Weed Technology* **9**: 86-90.
- Zimdahl RL. 2007. *Fundamentals of Weed Science*. Elsevier Science & Technology, Burlington.
- Zimolka J. et. al. 2006. *Ječmen*. Proff Press s.r.o., Praha.
- Zimolka J. et. al. 2008. *Kukuřice*. Proff Press s.r.o., Praha.