

## Úvod do problematiky mechanismu působení herbicidů

HERBICIDE MODE OF ACTIONS AND SYMPTOMS OF PLANT INJURY BY HERBICIDES:  
INTRODUCTION TO HERBICIDE MODE OF ACTION PROBLEMS

Miroslav Jursík, Josef Soukup, Josef Holec – Česká zemědělská univerzita v Praze

Herbicidy jsou chemikálie, které zpomalují nebo přerušují normální růst a vývoj rostlin. Herbicidy se široce používají především k regulaci plevelů v zemědělství. Použití herbicidů je relativně málo náročné na lidskou práci a většinou bývá také méně nákladné než ostatní možnosti regulace, přesto sebou nese používání herbicidů určitá rizika. Při nevhodném používání mohou herbicidy způsobovat poškození pěstované plodiny (fytotoxicity), zatěžují životní prostředí a mohou mít negativní vliv na obsluhu postřikovačů a dalších osob, které přichází do kontaktu s těmito látkami a v neposlední řadě také bývají jejich rezidua obsažena v potravinách. Znalost mechanismů působení herbicidů je důležitá pro jejich správné používání a může být užitečná také při správné diagnostice vizuálních symptomů fytoxicity.

### *Historický vývoj regulace plevelů*

Ztráty způsobované konkurencí plevelů jsou známé od dob, kdy lidstvo přešlo od lovecko-sběračského způsobu života k zemědělství. S výskytem pouze jednoho rostlinného druhu na určité části půdy se v přírodě setkáváme poměrně zřídka, monokultura je totiž výrazně nestabilní ekosystém, neboť se v něm uplatňuje velmi silná vnitrodruhová konkurence o živiny, vodu a světlo. Navíc člověk vybíral plodiny vhodné k domestikaci především podle jejich výživných a chuťových vlastností, spíše než podle jejich konkurenčních schopností. To znamenalo, že do monokultury pěstované plodiny musela být vkládána energie, aby byl zajištěn její správný růst a aby mohla poskytnout výnos. Ruční odstraňování plevelů bylo relativně snadné, zejména pokud byla plodina vysévána v řádcích a rovnoměrně vzcházela. Znamenalo to však velké množství práce.

Významné změny se v zemědělství projevy až v 19. století. Především zavedení víceletých pícnin do kultury znamenalo revoluci zemědělských soustav. Dostatek pícnin zajistil dostatek píče pro zvířata ve stáji a tím i dostatek organických hnojiv, což umožnilo pěstovat ve větší míře okopaniny. Zařazením těchto plodin vznikalo plánované střídání plodin – osevňovací postupy. Nejčastější bylo střídání (tzv. Norfolk):

1. jeteloviny,
2. obiloviny,
3. okopaniny,
4. obiloviny s podsevem jeteloviny.

Okopaniny se obvykle pěstovaly v širokých řádcích, což umožnilo jejich odplevelování okopávkou. Jeteloviny se vyznačovaly vysokou konkurenční schopností, přirozeně odplevelovaly

půdu a obohacovaly půdu o dusík, který pak následně využila obilovina. Plevel se tedy mohl prosazovat a vyvíjet ve větší míře pouze v obilovinách.

Nastupující průmyslová revoluce však odvedla mnoho lidí z venkova do města a bylo stále obtížnější spoléhat se na ruční odstraňování plevelů. Navíc důvodů regulace plevelů přibývalo. Plevel nezpůsobovaly pouze přímé snížení výnosu plodiny, ale kontaminovaly sklizenou plodinu svými často agresivními nebo dokonce jedovatými semeny a zpomalovaly a znesnadňovaly sklizeň plodiny. Kontaminace semen plevelů měla zásadní vliv na prodejnost zejména osiva, kterým se plevele šířily na nové pozemky. Vysoký obsah semen plevelů snižoval nejen potravinářskou a osivovou hodnotu plodiny, ale ve větším množství také krmivářskou a zpracovatelskou hodnotu. Nebezpečná byla zejména kontaminace semen plevelů, která měla podobný tvar a barvu jako sklizená plodina a jejich separace proto byla obtížná až nemožná.

Se snižujícím se počtem pracovních sil a se zvyšující se intenzitou zemědělství byla problematika regulace plevelů věnována větší důležitost. Vzniklou situaci v zemědělství mělo vyřešit zavedení chemických látek, později označovaných jako pesticidy. První látkou použitou k regulaci plevelů byl síran měďnatý (modrá skalice), který byl používán od roku 1896 k regulaci plevelů v obilovinách (1). V letech 1901–1919 byly zkoušeny také podobné látky (síran železnatý, kyselina sírová a chlorečnan sodný). Selektivita těchto látek k obilovinám byla založena na horším ovlhčení listů trav oproti dvouděložným plevelům. Přestože tyto herbicidy byly sice používány jako selektivní, jejich mechanismus působení selektivní nebyl. Síran železnatý (zelená skalice) se dodnes používá k odstranění mechu z okrasných a sportovních trávníků. Dalším anorganickým herbicidem, jehož herbicidní účinky jsou známy již od r. 1900 a ještě donedávna se používal na nezemědělské půdě je chlorečnan sodný (Travex).

Epocha organických, snáze degradovatelných herbicidů, započala koncem 19. století zavedením dusíkatého vápna jako hnojiva, u něhož byly později také objeveny herbicidní účinky. Zavedení dinitrofenolů, které se od roku 1892 používaly jako insekticidy, znamenalo další posun v ochraně rostlin a po objevení *dinito-o-kresolu* (DNOC) v 30. letech 20. století byly tyto látky používány také jako herbicidy. Problémem však bylo jejich silné toxické působení na všechny živé organismy, které se dostaly do kontaktu s těmito látkami, včetně obsluhy postřikovačů. Tyto herbicidy spolu s dalšími deriváty kresolu byly v obilovinách a kukuřici používány až do 50. let minulého století.

Revolučním počinem bylo objevení herbicidního účinku syntetických auxinů *2,4-D*, *2,3,5-T* a *MCPA* na začátku 40. let

20. století. Velký význam při vývoji těchto herbicidů sehrála 2. světová válka, neboť tyto látky byly tajně vyvíjeny jako potencionální chemické zbraně. Šlo o první opravdu selektivní a velmi účinné herbicidy. Zavedení těchto herbicidů otevřelo nové možnosti selektivní regulace dvouděložných plevelů a řada z těchto látek se používá úspěšně doposud.

První herbicidy proti trávovitým plevelům (*TCA*, *dalapon*, *triallat*) byly objeveny a zavedeny koncem 40. let 20. století, v současné době se však již nepoužívají.

Velkým přelomem bylo v 50. letech 20. století objevení herbicidních účinků triazinů, z nichž byl v roce 1956 uveden jako první na trh *simazin*. V průběhu 60. let byly vyvinuty další selektivní i neselektivní triazinové herbicidy, z nichž mezi nejdůležitější patřil *atrazin*, *terbutryn* a *terbutylazin*. Některé z triazinových herbicidů jsou hojně ve světě používány dodnes, avšak v Evropě je jejich používání z důvodu velké perzistence a zatížení prostředí postupně omezováno.

Na počátku šedesátých let minulého století byla zavedena skupina chloracetamidů, z nichž nejvíce používanými se staly *alachlor*, *acetochlor* a *propachlor*, později pak *metolachlor* a *dimethenamid*. Další důležitou a dodnes hojně využívanou skupinou herbicidů jsou substituované močoviny, z nichž jako první byl uveden na trh po roce 1950 *diuron*. V současné době je z této skupiny ve velké míře používán *chlortoluron* a modernější *isoproturon*. Používání chloracetamidů i substituovaných močoviny je v Evropě rovněž postupně omezováno z důvodu velkého zatížení podzemních vod.

Mezi roky 1955 a 1975 byla objeveno a zavedeno velké množství herbicidních účinných látek z nejrůznějších chemických skupin a s různým mechanismem a místem působení v rostlině. Od roku 1980 však již nebylo zavádění herbicidů s novým mechanismem působení tak intenzivní. Přesto především zavedení ALS inhibitorů (např. sulfonylmočoviny) znamenalo ohromnou expanzi nových účinných látek a především jejich masivní používání. Zatím posledním komerčně zavedeným herbicidním mechanismem působení byla inhibice HPPD (*mesotrione*, *tembotrione*) v polovině 90. let minulého století (2).

Zavedení selektivních herbicidů do praxe v období po druhé světové válce přineslo podstatné zvýšení účinnosti plevelohubných opatření, vysoká účinnost herbicidů zaručovala spolehlivost ochrany i při nedodržování základních agrotechnických zásad a nechemické, přičemž nepřímé metody regulace plevelů byly opomíjeny či zanedbávány. V řadě případů dokonce zavedení herbicidů naprosto změnilo pěstitelské postupy a podřídlilo je tomuto způsobu ochrany – např. pěstování řepky a luskovin v úzkých řádcích, opuštění kultivace v širokořádkových plodinách, rozmach bezorebných způsobů zpracování půdy, zúžení osevních postupů aj.

### Vývoj nových herbicidů

Vývoj nových pesticidů je velice nákladný proces, který agrochemické společnosti stojí nemalé finanční prostředky. Na vyvinutí a zavedení nového pesticidu je třeba investovat 40–150 milionů \$. Obecně lze říci, že „průměrná“ agrochemická společnost investuje do výzkumu a vývoje asi 9 % tržeb, což je celosvětově asi 2,5 miliardy \$. Tato částka je ovšem částečně nadhodnocena, protože asi 50 % pesticidů je vyráběno a prodáváno generickými společnostmi, jejichž investice do výzkumu a vývoje jsou výrazně nižší (3).

Vývoj nového pesticidu však není náročný jen na finanční prostředky, ale obvykle se jedná také o dlouhodobější investici, kdy doba od objevení herbicidní vlastnosti chemické látky do jejího zavedení na trh může trvat 8–10 let, přičemž patentová ochrana je pouze 20 let. Návratnosti vynaložené investice během tak krátké doby (10–12 let) může být dosaženo, pouze bude-li mít pesticid možnost širšího uplatnění na trhu. Proto se v současnosti vyvíjí pouze herbicidy, s jejichž uplatněním se počítá do celosvětově nejvýznamnějších plodin (pšenice, kukuřice, sója a rýže). Hlavní požadavky kladené na nově zaváděné herbicidy:

- vysoká selektivita k plodině a necílovým organismům,
- vysoká a rychlá účinnost v nízkých dávkách,
- rychlá a bezpečná degradace v prostředí,
- relativně levná syntéza a dostupná nákupní cena.

### Místo a mechanismus působení (účinku) herbicidů

Herbicidy působí na rostliny tím, že narušují některý důležitý fyziologický proces nezbytný pro normální růst a vývoj. Zpravidla se jedná o inhibici jednoho nebo více enzymů, které katalyzují některou z reakcí při biosyntéze organických sloučenin – aminokyselin, karotenoidů, lipidů, apod. Následně však může docházet k druhotným projevům na místech, kde jsou dané sloučeniny zapotřebí v navazujících biochemických procesech či jako stavební jednotky buněčných organel.

Aby bylo dosaženo správné účinnosti herbicidů, je třeba, aby byly splněny následující podmínky (jestliže některá z nich splněna není, výsledná biologická účinnost je zpravidla nedostatečná):

- zasažení cílové rostliny herbicidem,
- dostatečný příjem účinné látky,
- transport v rostlině na místo účinku,
- akumulace a perzistence herbicidu v místě účinku, aby mohl být inhibován terčový (cílový) enzym herbicidního účinku.

Herbicid se obvykle váže na některý významný protein. Takto zasažený protein nazýváme místem účinku (působení) herbicidu (site of action). Způsob, jakým herbicid inhibuje určitý biochemický proces v rostlině, nazýváme mechanismus působení herbicidu (mode of action). Například triazinové herbicidy zasahují do fotosyntézy tím, že se váží na D1 protein sloužící k elektronovému transportu při světelné fázi fotosyntézy. D1 protein (fotosystém II) je tedy místem působení herbicidu, zatímco mechanismem účinku je inhibice elektronového transportu.

V současnosti existuje asi jen dvacet míst působení herbicidu v rostlině, přestože v rostlinných buňkách probíhají tisíce nejrůznějších biochemických reakcí. Omezený počet míst působení herbicidů často vede k opakovanému používání herbicidů působících na stejné místo účinku, což může časem vést ke vzniku rezistence k danému herbicidu resp. celé skupině herbicidů. Naopak střídání herbicidů s různým místem působení toto riziko snižuje.

Znalost mechanismů účinku herbicidů je proto významná především z hlediska prevence vzniku rezistence v plevelných společenstvech, ale také s ohledem na volbu správného termínu ošetření, výběr vhodných kombinačních partnerů a může nám také pomoci při diagnostice symptomů poškození plodin herbicidy (úlet, rezidua herbicidů v půdě, předávkování, špatné vypláchnutí nádrže postřikovače, atd.).

V současné době je v Evropě zavedena klasifikace herbicidů podle místa působení HRAC (Herbicide Resistance Action Committee), která člení herbicidy do patnácti hlavních skupin podle



místa a mechanismu účinku, podobnosti symptomů poškození a příslušnosti k chemické skupině (v USA je klasifikace členěna nepatrně odlišně podle WSSA – *Weed Science Society of America*).

### Souhrn

Herbicidy působí na rostliny tím, že narušují některý důležitý fyziologický proces nezbytný pro normální růst a vývoj. Zpravidla se jedná o inhibici jednoho nebo více enzymů, které katalyzují některou z reakcí při biosyntéze organických sloučenin. V současnosti existuje asi jen dvacet míst působení herbicidu v rostlině. Znalost mechanismů účinku herbicidů je významná z hlediska prevence vzniku rezistence v plevelných společenstvech, volby správného termínu ošetření, výběru vhodných kombinačních partnerů a při diagnostice symptomů poškození plodin herbicidy (úlet, rezidua herbicidů v půdě, předávkování, špatné vypláchnutí nádrže postřikovače, atd.).

**Klíčová slova:** mechanismus působení herbicidů, místo působení herbicidů, vývoj herbicidů, členění herbicidů.

*Tato práce vznikla za podpory projektu MSM 6046070901 a NAZV QH71254.*

### Literatura

1. LOCKHART J. A. R., SAMUEL A., GREAVES M. P.: *The Evolution of Weed Control in British Agriculture*. British Crop Protection Council, Farnham, 1990, s. 43–74.
2. READE P. H., COBB A. H.: *Herbicides: Mode of Action and Metabolism*. In NAYLOR R. E. L.: *Weed Management Handbook*. British Crop Protection Council, Blackwell Science, Oxford, 2002.
3. COPPING L. G.: *Herbicide Discovery*. In NAYLOR R. E. L.: *Weed Management Handbook*. British Crop Protection Council, Blackwell Science, Oxford, 2002.

### Jursík M., Soukup J., Holec J.: Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: Introduction to herbicide mode of action problems

Herbicides affect plants by blocking important physiological processes that are necessary for normal plant growth and development. Usually the active ingredient of the herbicide inhibits one or more enzymes that catalyze some of the important reactions involved in biosynthesis of organic compounds. Currently, there are approximately only 20 sites of action of herbicide in plants. Knowledge of herbicide mode of action is important in relation to prevention of species resistance in weed communities, proper choice of term of application and tank-mix combination partners, and also in relation to herbicide phytotoxicity symptoms of the crop (in case of application drift, herbicide residues in the soil, overdosage, insufficient washing of sprayer tank, etc.)

**Key words:** herbicide mode of action, herbicide site of action, evolution of herbicides, herbicide classification.

---

### Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Miroslav Jursík, Ph. D., Česká zemědělská univerzita, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýcká 957, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: jursik@af.czu.cz