

MECHANIZMY ÚČINKU HERBICIDŮ A PROJEVY JEJICH PŮSOBENÍ NA ROSTLINY

Inhibitory biosyntézy rostlinných pigmentů – PPO inhibitory

HERBICIDE MODE OF ACTIONS AND SYMPTOMS OF PLANT INJURY BY HERBICIDES:
INHIBITORS OF PLANT PIGMENTS BIOSYNTHESIS – PPO INHIBITORS

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

Funkce rostlinných pigmentů v rostlině

Rostlinná barviva (pigmenty) mají zásadní význam především při fotosyntéze (absorpce slunečního záření) a pochodech bezprostředně s ní souvisejících. Pigmenty jsou v rostlinných buňkách obvykle vázány na integrovaných bílkovinách v tylakoidních membránách chloroplastů. Z hlediska jejich funkce je lze rozdělit na fotosynteticky aktivní barviva (chlorofyly) a další pomocná barviva (karotenoidy). Pigmenty se v procesu fotosyntézy opotřebovávají, a proto je nutná jejich obnova.

Nejvýznamnějším pigmentem v procesu fotosyntézy vyšších rostlin je chlorofyl a, který aktivací slunečním zářením přechází do excitovaného stavu a předává elektron na elektronový transportní systém světelné fáze fotosyntézy. Další barviva (karotenoidy) mají pouze pomocnou funkci.

Inhibitory syntézy porfyrinů (PPO inhibitory)

Porfyriny jsou biologicky velmi důležité látky. V jejich tetrapyrrolových kruzích je mnoho dvojných vazeb, fungují tedy jako přenašeči světelné energie.

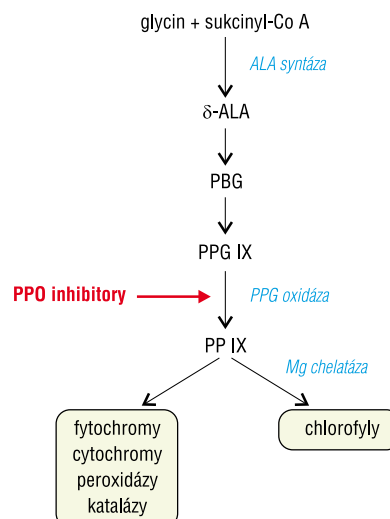
Tab. 1. Členění PPO inhibitorů do chemických skupin

Chemická skupina	Účinná látka	Obchodní název
difenyl ethery	oxyfluorfen lactofen bifenox aclonifen acifluorfen fomesafen	Goal, Galigan Cobra Modown, Fox Challenge, Bandur
aryl triazoliny	carfentrazone sulfentrazone	Affinity, Aurora Authority
fenylthalamidy	cinidon flumioxazin flumiclorac	Solar Valor, Pledge, Sumimax
oxadiazoly	oxadiazon	Ronstar
fenylpyrazoly	fluazolate pyraflufen	
thiadiazoly	thidiazimin	

Na konci biochemické cesty syntézy tetrapyrrolů (chlorofylů) dochází k oxidaci protoporfyrinogenu IX (PPG IX) na protoporfyrin IX (PP IX), na které se podílí enzymatický systém protoporfyrinogen-oxidáza (PPO). Při této reakci zároveň dochází k redukcí O_2 na H_2O_2 . Při herbicidní inhibici enzymatického systému PPO nezůstává PPG IX nevyužitý, ale může být oxidován na PP IX neenzymaticky, tj. volným kyslíkem (transport z chloroplastů do cytoplazmy). K dalšímu postupu reakce (tvorbě komplexu s hořčíkem) však již nedochází, protože chelatázy v cytoplazmě nejsou schopny vytvářet komplexní sloučeniny hořčíku s volným PPG IX, ale pouze s PPG IX vázaným na enzymatický komplex v tylakoidní membráně chloroplastů, kde dochází k dokončení biosyntézy chlorofylu (obr. 1.). Volný PP IX podobně jako chlorofyl reaguje s O_2 , který však přetváří na singulární stav a ten způsobuje peroxidaci lipidů v buněčných membránách a hromadění stresového ethylenu a metanu. Příznaky poškození PPO inhibitory jsou tedy velmi podobné symptomům poškození PS II inhibitory, nicméně z důvodu velkého množství vzniklého singulárního kyslíku je průběh poškození chloroplastů a buněk rychlejší (1).

PPO inhibitory jsou velice účinné herbicidy, neboť herbicidní efekt vykazují většinou již v gramových dávkách na hektar, což je způsobeno jednak nízkou konkurenční schopností substrátu oproti herbicidu (při inhibici se substrát přesunuje do cytoplazmy). Druhým důvodem vysoké efektivity těchto herbicidů je to,

Obr. 1. Schématické znázornění místa působení PPO inhibitorů



že PP IX je akumulován do cytoplazmy i tehdy, je-li inhibován jen malý podíl PPO v chloroplastu (2). Herbicidy patřící do této skupiny se však výrazně liší v mechanismu příjmu a translokaci v rostlině.

PPO inhibitory lze dle chemické struktury rozdělit na difenylétery, aryltriazoliny, fenylftalimidy, oxadiazoly, fenylpyrazoly a thiadiazoly (tab. I.), z praktického hlediska je však vhodnější rozdělení na kontaktní listové herbicidy a herbicidy s kombinovaným půdním a listovým příjmem.

Kontaktní herbicidy

Lactofen (Cobra), *carfentrazone-ethyl* (Aurora) či *cinidon-ethyl* (Solar) jsou typické kontaktní listové herbicidy, které se používají jako selektivní herbicidy k regulaci citlivých jednoletých dvouděložných plevelů (především svízele přítuly) v obilninách (3). Několik hodin po aplikaci dochází u citlivých rostlinných druhů k praskání buněčných membrán, následně zasažená pletiva začínají hnědnout a zasychají. *Carfentrazone* působí poněkud pozvolněji. Vyšší intenzita osvětlení účinnost urychluje. Pro dosažení vysoké účinnosti však musí být ošetření provedeno v rané růstové fázi plevelů (max. 4–8 pravých listů). Potlačeny jsou vždy jen nadzemní části rostlin, vytrvalé plevele proto mohou celkem snadno regenerovat a tvořit nové výhony. Tolerantní rostliny dokáží herbicid rychle metabolizovat (4), např. rozštěpit etherový můstek mezi benzenovými jádry (*lactofen*). Tolerance jednotlivých obilnin k těmto herbicidům je rozdílná a citlivější obilniny (ječmen) mohou být proto vyššími dávkami poškozovány. Symptomy fytotoxicity jsou častější, především pokud po aplikaci následuje dlouhé období s nízkými teplotami, nebo naopak, je-li aplikace provedena za vlhkého a velmi teplého (nad 25 °C) počasí. Úlet těchto herbicidů na sousední citlivé rostliny se projevuje chlorotickými a nekrotickými skvrnkami na zasažených listech. Perzistence těchto herbicidů v půdě je minimální.

Herbicidy s kombinovaným půdním a listovým příjmem

Oxyfluorfen (Goal, Galigan), *bifenox* (Modown), *flumioxazin* (Sumimax, Pledge) či *oxadiazon* (Ronstar) vykazují vedle kontaktního listového působení také poměrně dlouhou perzistenci v půdě (5), přičemž mohou být přijímány také kořeny rostlin. Používají se proto především preemergentně v řadě plodin, především ve slunečnici, v některých zeleninách, či v sadech. Umožňuje-li to selektivita herbicidu k plodině, mohou se používat také postemergentně, např. *flumioxazin* a *bifenox* ve slunečnici, *oxyfluorfen* v cibuli a *flumioxazin* v pšenici, při nevhodných povětrnostních podmínkách však mohou způsobovat fytotoxicitu (obr. 2. a obr. 3.).

Při preemergentním ošetření jsou citlivé plevele zasaženy již při vzcházení a nedlouho po tom, co přejdou na autotrofní výživu, začnou jejich pletiva nekrotizovat a následně poměrně rychle

Obr. 2. Poškození pšenice způsobené předávkováním herbicidu Sumimax (flumioxazin) na souvrati



Obr. 3. Poškození slunečnice herbicidem Goal (oxyfluorfen) po preemergentní aplikaci, způsobené velkými kapkami deště, které se odrážejí od půdy a kontaminují spodní stranu listu herbicidem



hynou. Při postemergentním ošetření dochází u citlivých rostlinných druhů již několik hodin po aplikaci k praskání buněčných membrán, následně zasažená pletiva začínají hnědnout a zasychají (obr. 4.). Vyšší intenzita osvětlení účinnost urychluje (6). Podobně se projevuje také případné reziduální působení těchto herbicidů v půdě na citlivé následné plodiny. Při použití těchto herbicidů v řadě plodin je využíváno poziční selektivity, přičemž vysoké srážky po aplikaci mohou způsobit poškození těchto plodin.

Řepa je vůči těmto herbicidům poměrně citlivá, takže při jejich nevhodném použití v předplodině (předávkování, těžké půdy, minimalizační technologie, sucho atd.) může dojít k jejímu poškození rezidui těchto herbicidů (obr. 5.). Rovněž úlet těchto herbicidů při aplikaci sousedních porostů může způsobit výraznou fytotoxicitu řepy.

Obr. 4. Většina PPO inhibitorů působí velmi rychle, již několik hodin po aplikaci dochází k praskání buněčných membrán a vytlíčí obsahu buněk do mezibuněčných prostor – hnědnutí pletiv



Obr. 5. Poškození cukrovky rezidui účinné látky oxyfluorfen – delší perzistence bývá především na těžších půdách s nízkým obsahem humusu, za sucha a při použití minimalizačních technologií zpracování půdy



Souhrn

PPO inhibitory jsou velice účinné herbicidy, neboť herbicidní efekt vykazují většinou již v gramových dávkách na hektar. Vyšší intenzita osvětlení urychluje účinnost těchto herbicidů. Potlačeny jsou vždy jen nadzemní části rostlin, vytrvalé plevely proto mohou celkem snadno regenerovat a tvořit nové výhony. *Lactofen*, *carfentrazone-ethyl* či *cinidon* jsou typické kontaktní listové herbicidy, které se používají jako selektivní herbicidy k regulaci jednoletých dvouděložných plevelů (především svízele pšituly) v obilninách. *Oxyfluorfen*, *bifenox*, *flumioxazin* a *oxadiazon* vykazují vedle kontaktního listového působení také poměrně dlouhou perzistenci v půdě, přičemž mohou být přijímány také kořeny rostlin. Používají se proto především preemergentně v řadě plodin, především ve slunečnici, v některých zeleninách, či v sadech. Umožňuje-li to selektivita herbicidu k plodině, mohou se

používat také postemergentně. Řepa je vůči těmto herbicidům poměrně citlivá, takže při jejich nevhodném použití v předplodině může dojít k jejímu poškození rezidui těchto herbicidů.

Klíčová slova: mechanismus působení herbicidů, místo působení herbicidů, PPO inhibitory, cukrovka, fytotoxicita.

Tato práce vznikla za podpory projektu MSM 604607090 a NAZV QH71254.

Literatura

1. 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.
2. GROSSMANN K., SCHIFFE H.: Protoporphyrinogen oxidase-inhibiting activity of the new, wheat-selective isoindoldione herbicide, cinidon-ethyl. *Pesticide Science*, 55 (7), 1999, s. 687–695.
3. JURSIK M., HOLEC J., HAMOUZ P.: Biologie a regulace významných plevelů cukrové řepy – Svízele pšitula (*Galium aparine* L.). *Listy cukrov. řepář.*, 121, 2005 (2), s. 49–53.
4. DAYAN F. E. ET AL.: Selectivity and mode of action of carfentrazone-ethyl, a novel phenyl triazolinone herbicide. *Pesticide Science*, 51, 1997 (1), s. 65–73.
5. ALISTER C. A. ET AL.: Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes. *J. Environmental Science and Health – part B*, 44, 2009 (4), s. 337–343.
6. DAYAN F. E., DUKE S. O.: Overview of protoporphyrinogen oxidase inhibiting herbicides. In *Brighton Crop Protection Conf.*, Brighton, 1997, s. 83–92.

Jursík M., Soukup J., Venclová V., Holec J.: Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: Inhibitors of plant pigments biosynthesis – PPO inhibitors

PPO inhibitory are very effective herbicides as they show the efficacy already in the doses of grams per hectare. Higher light intensity accelerates the herbicide effect. Only aboveground plant parts are affected so perennial weeds can regenerate and produce new sprouts easily after application. *Lactofen*, *carfentrazone-ethyl*, or *cinidon* are typical contact leaf herbicides that are used as selective ones for control of annual dicotyledonous weeds (especially *Galium aparine*) in cereal stands. *Oxyfluorfen*, *bifenox*, *flumioxazin*, and *oxadiazon* show also good persistence in soil together with contact efficacy and they can be uptaken also by the roots. That is why they are used especially for pre-emergent applications in wide range of crops, such as in sunflower, some vegetables or in orchards. They can be used also for postemergence applications but only in case that herbicide selectivity to crop species enables it. Beet is relatively sensitive to these herbicides so it can be injured by their residues when they were used improperly during previous growing season.

Key words: herbicide mode of action, herbicide site of action, PPO inhibitors, sugar beet, phytotoxicity.

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Miroslav Jursík, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Kamýčká 129, 165 21 Praha 6 Suchbát, Česká republika, e-mail: jursik@af.czu.cz