

MECHANIZMY ÚČINKU HERBICIDŮ A PROJEVY JEJICH PŮSOBENÍ NA ROSTLINY

Inhibitory biosyntézy dlouhých řetězců mastných kyselin

HERBICIDE MODE OF ACTIONS AND SYMPTOMS OF PLANT INJURY BY HERBICIDES:
INHIBITORS OF VERY LONG CHAIN FATTY ACID BIOSYNTHESIS

Miroslav Jursík, Josef Soukup, Josef Holec, Jiří Andr
Česká zemědělská univerzita v Praze

Inhibitory prodlužování řetězců mastných kyselin

Herbicidey z této skupiny inhibují multienzymový komplex acyl-CoA elongalasu, který je lokalizován v endoplazmatickém retikulu a katalyzuje reakci mezi malonyl-CoA a substráty acyl-CoA mastných kyselin při syntéze dlouhých řetězců mastných kyselin, které jsou součástí povrchových lipidů (vosky, suberin a kutin). Nedostatek suberinu v kořenech následně vyvolá dehydrataci rostliny a napadení patogeny. Poškození travovitých plevelů se projevuje zhroucením koleoptile. Citlivé trávy často ani nevzejdou, přestože samotné klíčení ovlivněno není (1). Zasažené dvouděložné plevele zvětšují dělohy a zpomalují růst pravých listů, které bývají pohárkovitě prohnuté, svráštělé a tmavě zelené. Charakteristickým symptomem poškození je špatné rozbalování listů v důsledku nedostatečné voskové vrstvy (obr. 1. až obr. 3.). Kořeny jsou krátké, tlusté, křehké a kyjovité. Z chemického hlediska lze herbicidey s tímto mechanismem účinku rozdělit na thiokarbamáty a benzofurany (tab. I.).

Ze skupiny **benzofuranů** jsou v ČR registrovány pouze herbicidey s úč. látkou *ethofumesate* (Ethosat, Stemat atd.), které jsou určené především k regulaci dvouděložných plevelů v cukrovce, ale také ve slunečnici, cibuli, hrachu a dalších plodinách. Účinná látka *ethofumesate* je přijímána jak listy, tak kořeny plevelů, a používá se především na svízel přitulu a bažanku roční (obr. 4.). U cukrovky se využívá také synergického působení s úč. látkami *pbenmedipham* a *desmedipham* (Betanal, Betasana Trio atd.) při regulaci dalších druhů, např. rdesna blešního, durmanu obecného atd. (2). Při vyšším dávkování, nebo pokud je aplikace provedena při vyšších teplotách či intenzitě slunečního svítu může na cukrovku působit fyto toxicky (obr. 5.) V USA se *ethofumesate* (dávka přes 2 kg.ha⁻¹) používá také k regulaci lipnice roční na travních golfových hřištích, jejichž základem je jilek vytrvalý (3). *Ethofumesate* se v půdě vyznačuje vyšší pohyblivostí, takže ohrožuje povrchové a podpovrchové vodní zdroje (4).

Z velmi bohaté skupiny **thiokarbamátů** je v ČR registrován pouze přípravek Boxer (*prosulfocarb*). Přestože se jedná o starší účinnou látku, byl v ČR registrován poměrně nedávno k regulaci dvouděložných

i travovitých plevelů v obilninách, slunečnici a bramborách. Většina ostatních thiokarbamátů (u nás neregistrovaných) je vysoce těkavá a používá se proto pouze k předseťovému ošetření se zapravením do půdy ihned po aplikaci. Jestliže jsou tyto thiokarbamáty aplikovány na suchou půdu, vykazují nižší

Obr. 1. Poškození merlíku bílého účinnou látkou prosulfocarb (herbicide Boxer v dávce 5 l.ha⁻¹); zasažena jsou především dělivá pletiva



Obr. 2. Poškození cukrovky účinnou látkou prosulfocarb (Boxer): není-li řepa zasažena při vzházení (nebo krátce po něm), dobře regeneruje



Obr. 3. Poškození řepky ozimé účinnou látkou prosulfocarb (herbicid Boxer)



Obr. 4. Účinná látka ethofumesate vykazuje velmi dobrou účinnost na bažanku roční



těkavost, než v případě aplikace na vlhkou nebo mokrou půdu (6). Thiokarbamatové herbicidy jsou přijímány z půdního roztoku a plynné fáze kořenovou i vrcholovou (převládá) částí klíčící rostliny. Jejich translokace je možná pouze xylémem. Vysoká těkavost těchto herbicidů může být užitečná při jejich selektivitě k plodině – k odpaření účinné látky z půdy dojde dříve, než klíčící plodina spotřebuje všechny své tukové zásobní látky (7). V rostlině jsou thiokarbamáty aktivovány sulfooxidací. Odolné druhy jsou schopny thiokarbamáty konjugovat na herbicidně neúčinný glutathion. Thiokarbamáty se vyznačují nízkou rozpustností ve vodě. V půdě jsou velmi dobře poutány, a proto jsou jen zřídka proplavovány do spodních vod. Opakované používání thiokarbamatových herbicidů může na některých pozemcích způsobit adaptaci půdní mikroflóry, která tyto herbicidy odbourává, čímž se snižuje jejich účinnost a délka reziduálního působení v půdě.

Tab. 1. Členění inhibitorů biosyntézy dlouhých řetězců mastných kyselin do chemických skupin

Inhibitory	Chemická skupina	Účinná látka	Herbicid
Inhibitory prodlužování řetězců mastných kyselin	Thiokarbamáty	prosulfocarb EPTC butylate triallate	Boxer
	Benzofurany	ethofumesate	Ethosat, Stermat, Betanal atd.
Inhibice syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (VLCFA)	Oxyacetamidy	dimethenamid flufenacet	Outlook, Frontier Tiara, Cougar Forte
	Chloracetamidy	acetochlor metolachlor metazachlor propachlor dimethachlor pethoxamid propisochlor alachlor	Guardian, Trophy, Harness atd. Dual, Gardoprim, Lumax Butisan, Sultan, Fuego, Autor atd. Ramrod Brasan, Teridox Successor, Koban Proponit Lasso
	Propanacetamidy	napropamide	Devrinol

Inhibitory syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (VLCFA)

Místo ani mechanismus působení těchto herbicidů v rostlině nejsou zatím přesně známy, předpokládá se však, že alkylují sulfhydrylové skupiny některých esenciálních rostlinných enzymů, čímž ovlivňují různé biochemické procesy, především syntézu mastných kyselin s dlouhými řetězci (> C18), potažmo lipidů, kutikulárních vosků, suberinu a kutinu, tím narušují dělení, normální růst a vývoj buněk a tvorbu ochranných bariér (obr. 6. až obr. 8.). Ačkoliv chemická struktura těchto látek se od sebe liší, předpokládá se, že místo a mechanismus působení je stejný (8).

Jde o herbicidně poměrně bohatou skupinu, kterou z chemického hlediska řadíme k acetamidům (tab. I.). Působí především na klíčící plevely, u nichž inhibují vrcholovou i kořenovou část klíčku. Používají se proto převážně preemergentně, případně časně postemergentně. Možná je i jejich předseťová aplikace, s mělkým zapravením do půdy (vyšší jistota účinku za sucha). V našich podmínkách nacházejí tyto herbicidy významné uplatnění v řadě plodin. Používají se především v ozimé řepce k regulaci heřmánkovitých a dalších citlivějších plevelů: *metazachlor* (Butisan, Sultan, Autor, Fuego), *dimethachlor* (Brasan), *napropamide* (Devrinol), *propachlor* (Ramrod), atd. S ohledem na vysokou a dlouhodobou účinnost na trávovité plevely bývají taktéž často používány do TM kombinací k regulaci ježatky kuří nohy a bérů v kukuřici a slunečnici: *acetochlor* (Trophy, Guardian), *metolachlor* (Dual), *dimethenamid* (Outlook) a *petboxamid* (Successor); nebo k regulaci chundelky metlice, lipnice roční či psárky polní v ozimých obilninách: *flufenacet* (Cougar Forte).

Do cukrovky jsou z této skupiny registrovány herbicidy Dual (preemergentně) a Outlook (od 6 pravých listů cukrovky),

Obr. 5. Poškození cukrovky způsobené vysokou dávkou účinnou látky ethofumesate (herbicid Stemat Super v dávce 2 l.ha⁻¹) a nevhodnými aplikačními podmínkami; 5 dní po aplikaci



za účelem potlačení trávovitých plevelů, působí však také na laskavce, heřmánky a Outlook také na lilky. Ošetření však musí být provedeno před vzejitím plevelů (trávy), maximálně krátce po něm (dvouděložné plevele).

Dvouděložné plevele přijímají tyto herbicidy především kořeny, zatímco trávy vrcholovou částí klíčku (koleoptile). V rostlině jsou rozváděny pouze xylémem. Poškození trávovitých plevelů se projevuje zhroucením koleoptile. Citlivé trávy často ani nevzejdou. Poškození dvouděložných se projevuje zakrňováním pravých listů a krabacením jejich okrajů. Na plevele ve vyšších růstových fázích jsou tyto herbicidy neúčinné.

K poškození plodiny acetamidy dochází především na lehčích půdách s nižším obsahem humusu, kde může nastat proplavení herbicidu ke kořínkům vzcházející plodiny, což se projevuje problémy při vzcházení, zakrňováním (zkracují se internodia na lodyze, resp. stéblu), dochází k opoždění dozrávání a může způsobit až výnosovou depresi (9). Přestože se za sucha doporučuje u těchto herbicidů mělké zapravení do půdy, zvyšuje se tím riziko poškození plodiny, především při mělkém setí. Účinná látka *acetochlor* je ve všech u nás registrovaných herbicidech (Trophy, Guardian, atd.) formulována společně se safenerem (*dichlormid*, *furilazole*, nebo *MON 13900*), který zvyšuje selektivitu herbicidu především ke kukuřici.

Acetamidy jsou ve vodě poměrně dobře rozpustné. Délka jejich reziduálního působení v půdě je velmi variabilní (velmi dlouhou perzistenci vykazují např. *metazachlor*). V půdě jsou rozkládány především mikrobiálně a na půdách s velkou biologickou aktivitou, proto může být reziduální působení kratší. S ohledem na vyšší pohyblivost v půdě a riziko proplavování do podzemních vod lze v nejbližší budoucnosti předpokládat ukončení registrace některých těchto herbicidů (např. *acetochlor*).

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

nepatrný začátek



syngenta[®]

www.syngenta.cz

Obr. 6. Poškození slunečnice způsobené postemergentním ošetřením herbicidem obsahujícím účinnou látku acetochlor



Obr. 7. Poškození cukrovky způsobené úletem herbicidu obsahujícím acetochlor



Obr. 8. Poškození brambor způsobené postemergentním ošetřením herbicidem obsahujícím účinnou látku acetochlor



Souhrn

Herbicidey obsahující úč. látku *ethofumesate* a *prosulfocarb* inhibují multienzymový komplex acyl-CoA elongalasu, čímž blokují prodlužování řetězců mastných kyselin. Poškození trávovitých plevelů se projevuje zhroucením koleoptile. Zasažené dvouděložné plevele zvětšují dělohy a zpomalují růst pravých listů, které bývají pohárkovitě prohnuté, svraštělé a tmavě zelené. Charakteristickým symptomem poškození je špatné rozbalování listů v důsledku nedostatečné tvorby povrchových ochranných bariér. *Ethofumesate* je přijímán jak listy, tak kořeny plevelů a používá se především k regulaci svícele přítuly a bažanky roční. Využívá se také synergického působení s úč. látkami *phenmedipham* a *desmedipham* k regulaci dalších druhů, např. rdesna blešníku, durmanu obecného, atd.

Podobné projevy fytotoxicity vykazují také inhibitory syntézy mastných kyselin s dlouhým řetězcem (VLCFA inhibitory). Jde o herbicidně poměrně bohatou skupinu, kterou z chemického hlediska řadíme k acetamidům. Místo ani mechanismus jejich působení v rostlině však není zatím přesně známé. Předpokládá se, že alkylují sulfhydrylové skupiny některých esenciálních rostlinných enzymů, čímž ovlivňují různé biochemické procesy, především syntézu mastných kyselin s dlouhými řetězci (> C18). Používají se preemergentně, případně časně postemergentně (možná je i jejich předseťová aplikace, s mělkým zapravením do půdy). V ČR nacházejí tyto herbicidey uplatnění především v ozimé řepce (*metazachlor*, *dimetachlor*, *napropamide*, *propachlor*), v kukuřici, slunečnici (*acetochlor*, *metolachlor*, *dimetbenamid*, *petboxamid*) a v obilninách (*flufenacet*).

Klíčová slova: mechanismus působení herbicidů, místo působení herbicidů, inhibice biosyntézy lipidů, inhibice prodlužování řetězců mastných kyselin, VLCFA inhibitory, cukrovka, fytotoxicita.

Literatura

1. NEGRE, M. ET AL.: Evaluation of the bioavailability of the herbicide prosulfocarb through adsorption on soils and model soil colloids, and through a simple bioassay. *Pest Management Sci.*, 62, 2006 (10), s. 957–964.
2. JURSIK, M.; SOUKUP, J.; HOLEC, J.: Regulace plevelů v cukrovce. *Listy cukrov. řepař.*, 124, 208 (7/8), s. 207–210.
3. UDDIN, W. ET AL.: Effects of timing of ethofumesate application on severity of gray leaf spot of perennial ryegrass turf. *Plant Disease*, 88, 2004 (10), s. 1146–1152.
4. DROZDZYNSKI, D; FOLKMAN, W.; KOWALSKA, J.: Pesticide residues in surface water samples collected in areas of intensive agricultural practice of the Wielkopolska province (2006–2007). *Proc. Ecopole*, 3, 2009 (2), s. 445–449.

5. TYŠER, L.; NEČASOVÁ, M.: Současné spektrum plevelů v porostech cukrovky na vybraných plochách České republiky. *Listy cukrov. řepař.*, 125, 2009 (4), s. 116–119.
6. BAKER, J. M.; KOSKINEN, W. C.; DOWDY, R. H.: Volatilization of EPTC: Simulation and measurement. *J. Environmental Quality*, 25, 1996 (1), s. 169–177.
7. 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.
8. YANG, X. ET AL.: The action of herbicides on fatty acid biosynthesis and elongation in barley and cucumber. *Pest Management Sci.*, 66, 2010 (7), s. 794–800.
9. ROETH, F. W.; BURNSIDE, O. C.; WICKS, G. A.: Protection of grain sorghum (*Sorghum bicolor*) from chloracetamide herbicide injury. *Weed Sci.*, 31, 1983, s. 373–379.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr J.: Herbicide Mode of Actions and Symptoms of Plant Injury by Herbicides: Inhibitors of Very Long Chain Fatty Acid Biosynthesis

Herbicides containing active ingredients *ethofumesate* and *prosulfocarb* inhibit multi-enzymatic complex acyl-CoA elongase resulting in fatty acids chains elongation blocking. The injury of grassy weeds performs by coleoptile collapse. Treated broadleaf weeds increase cotyledons and slow down the growth of first true leaves, which can be calyciform, rugose, and dark green. Characteristic symptom of injury is a bad leaf opening as a result of insufficient production of cover waxes. *Ethofumesate* is absorbed both by leaves and by roots of weed plants and is mostly used for control of *Galium aparine* and *Mercurialis annua*. Its synergic effect with active ingredients *phenmedipham* and *desmedipham* is used to control other weed species, as *Polygonum lapathifolium*, *Datura stramonium*, etc.

Similar symptoms of phytotoxicity show also inhibitors of very long chain fatty acids (VLCFA inhibitors). This group of herbicides is relatively rich and from a chemical point of view can be classified as acetamides. The site and mode of their action is still not clearly understood. It is supposed that they act in alkylation of sulphhydrylic groups of selected essential phytohormones and through this they influence different biochemical processes, especially the synthesis of very long chain fatty acids (>C18). They are used for pre-emergent, respectively early post-emergent applications. Their pre-sowing application is also possible, together with shallow incorporation into the soil. In the Czech Republic, these herbicides are used especially in winter oilseed rape (*metazachlor*, *dimethachlor*, *napropamide*, *propachlor*), in maize, sunflower (*acetochlor*, *metolachlor*, *dimetbenamid*, *petboxamid*), and in cereals stands (*flufenacet*).

Key words: herbicide mode of action, herbicide site of action, inhibition of lipid biosynthesis, inhibition of elongase of fatty acid, VLCFAs inhibitors, sugar beet, phytotoxicity.

Kontaktní adresa – Contact address:

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



The power to perform

Skvělý výsledek

Širokospektrální insekticid pro moření osiva nové generace s dlouhodobou účinností.

Interakce mořidla Cruiser s bílkovinným komplexem mladých vzházejících rostlin způsobuje jejich lepší odolnost vůči stresovým činitelům v počátečních stádiích růstu.

Zlepšení vitality rostlin a eliminace škůdců v konečném důsledku vede ke zvýšení výnosu.

Pro ochranu osiva cukrové řepy jsou určena mořidla Cruiser Force SB a Force Magna, která poskytují jistotu účinku proti listovým a půdním škůdcům, zejména však vůči drátovcům (*Agriotes* spp.), maločlenci čárkovitému (*Atomaria linearis*), květilce řepné (*Pegomia betae*), dřepčíkům (*Cheatoconema* spp.) a mšicím jako vektorům virů.



Vynikající
insekticidní
ochrana

+



Lepší vitalita
rostlin

=



Vyšší
výnos

nepatrný začátek

syngenta