

MECHANIZMY ÚČINKU HERBICIDŮ A PROJEVY JEJICH PŮSOBNÍ NA ROSTLINY

Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS inhibitory)

HERBICIDE MODE OF ACTIONS AND SYMPTOMS OF PLANT INJURY BY HERBICIDES:
INHIBITORS OF ACETOLACTATE SYNTHASE (ALS INHIBITORS)Miroslav Jursík, Josef Soukup, Josef Holec, Jiří Andr
Česká zemědělská univerzita v Praze

Acetolaktát syntáza (ALS) označovaná též jako acetohydroxyacid syntáza (AHAS) je klíčovým enzymem při biosyntéze esenciálních rozvětvených aminokyselin valinu, leucinu a isoleucinu. Všechny herbicidy z této skupiny inhibují aktivitu tohoto enzymu lokalizovaného v chloroplastech rostlinných buněk. ALS katalyzuje jednak konjugaci dvou molekul pyruvátu za vzniku acetolaktátu na biochemické cestě vzniku valinu a leucinu a také reakci pyruvátu s kyselinou α -ketomáseľnou za vzniku acetohydroxymáseľné kyseliny na počátku biochemické cesty vzniku isoleucinu (obr. 1).

Zablokováním funkce ALS se bezprostředně projeví zastavením tvorby jmenovaných aminokyselin a následně i proteinů. Druhotným důsledkem je inhibice syntézy DNA a zástava buněčného dělení v meristematických pletivech, následně pak omezení transportu asimilátů vodivými pletivy (floémem) a konečné zastavení růstu (1). Existuje však několik isoenzymů ALS s rozdílným stupněm inhibice jednotlivými účinnými látkami níže uvedených herbicidních skupin (tab. I).

Nejvýznamnějšími ALS inhibitory jsou **sulfonylmočoviny**, které se staly, co do počtu registrovaných účinných látek, v současnosti nejfrekventovanější herbicidní skupinou s více než třiceti účinnými látkami. Největší uplatnění nacházejí sulfonylmočoviny

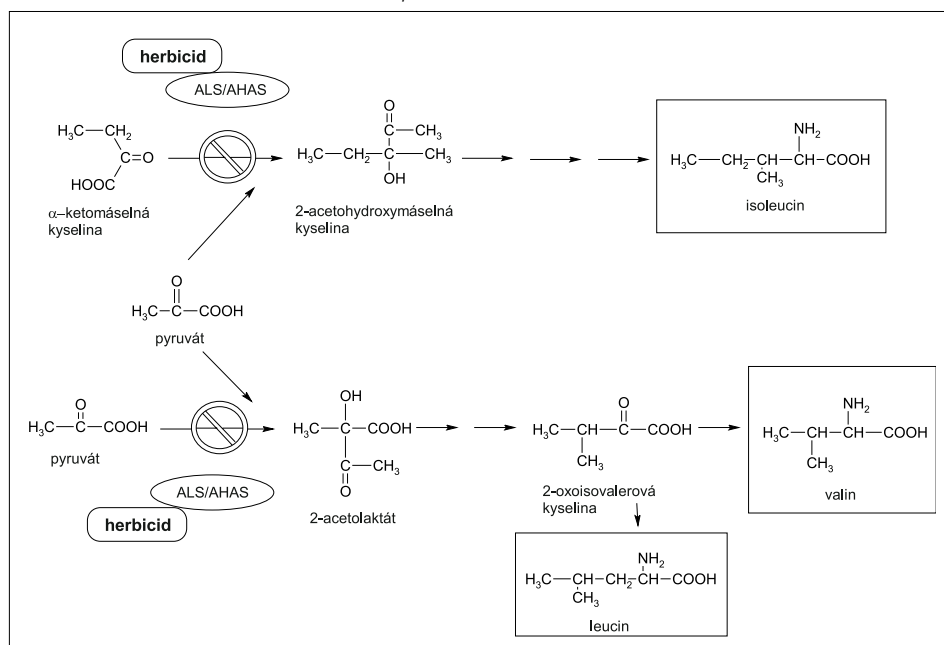
při regulaci plevelů v porostech obilnin. Mohou být použity preemergentně (u nás není registrováno), časně postemergentně (*chlorsulfuron* – Glean, *triasulfuron* – Logran), největší uplatnění však nachází při jarním ošetření (*iodosulfuron* – Husar, *sulfosulfuron* – Monitor, *tribenuron* – Granstar, *amidosulfuron* – Grodyl, *metsulfuron* – Arkem), atd. Časté jsou také kombinované přípravky se dvěma sulfonylmočoviny (Sekator, Atlantis, Chevalier, atd.), nebo sulfonylmočovinou a růstovým herbicidem (Arrat, Lintur, atd.), tyto přípravky obvykle pokrývají velmi široké plevelné spektrum včetně odolnějších druhů. Velmi významně uplatnění nachází sulfonylmočoviny také v kukuřici, kde se používají k postemergentní regulaci trávovitých i dvouděložných plevelů (*foramsulfuron* + *iodosulfuron* – MaisTer, *nicosulfuron* – např. Milagro či Epilog, *rimsulfuron* – Titus, a další). Některé sulfonylmočoviny lze použít také k regulaci plevelů v bramborách (Titus), cukrovce (*triflurosulfuron* – Safari) a v řadě zelenin (*balosulfuron* – v České republice není registrován žádný přípravek). Pro dosažení vysoké účinnosti je obvykle třeba sulfonylmočoviny aplikovat společně se smáčedlem (tak jak je doporučováno výrobcem), které zvyšuje a urychluje příjem přípravku (platí především pro WG formulace), v opačném případě se účinnost snižuje a odrostlejší plevelné trávy a plevele tvořící silnější voskovou vrstvičku

(merlík bílý) nemusí být dostatečně potlačeny (2). Použití smáčedla je obzvláště důležité, pokud aplikace následuje po delším bezsrážkovém období. Sulfonylmočoviny mají oproti jiným herbicidním skupinám řadu uživatelských předností, mj.:

- aplikují se ve velmi nízkých dávkách,
- jsou bezpečné pro člověka i ostatní teplokrevné živočichy,
- vyznačují se nízkou toxicitou pro ryby a včely,
- mohou být aplikovány v pásmech hygienické ochrany vod.

Časté a opakované používání sulfonylmočoviny, zejména v obilninách, však způsobilo na mnoha místech vznik rezistentních populací u některých plevelů. V České republice byly nalezeny především rezistentní populace chundelky metlice (3).

Obr. 1. Schématické znázornění místa působení ALS inhibitorů



Vedle sulfonfylmočoviny inhibují ALS také **imi-dazolinony** (*imazamox*, *imazapyr*, atd.), které však už v ČR nejsou registrovány. Tyto herbicidy působí na velmi široké plevelné spektrum a vykazují poměrně dlouhé reziduální působení (což je hlavní důvod jejich postupné restrikce v zemích EU). V zahraničí jsou tyto účinné látky (např. přípravek Pulsar) používány především v luskovinách (soja) a jetelovinách (vojtěška) a při pěstování herbicidně tolerantních odrůd (ClearField® technologie), také k postemergentní regulaci plevelů ve slunečnici, kukuřici, řepce, pšenici, aj. (4). Další chemickou skupinou inhibující ALS jsou **triazolopyrimidiny**, z nichž se u nás používá pouze *florasulam* (Kantor), vhodný především pro velmi časně jarní aplikace v ozimých obilninách (nízké teploty nesnižují účinnost), případně v kombinaci s růstovými herbicidy (Kantor Plus, Mustang) k ošetření jarních i ozimých obilnin proti dvouděložným plevelům. Poměrně novou úč. látkou působící také na ALS je *propoxy-carbazone* (Attribut), jde o **prosulfonfylamino-karbonyl-triazolinon** používaný v ozimé pšenici především k regulaci problematických trávovitých plevelů (pýr plazivý, psárka rolní, sveřepy, atd.).

V **cukrovce** je možné použít pouze jeden ALS inhibitor, sulfonfylmočovinu *triflusulfuron* (Safari). Vyznačuje se poměrně vysokou selektivitou k řepě a dobrou účinností na široké spektrum plevelů, včetně problematických druhů, jako tetlucha kozí pysk, mračník theophrastův (obr. 2.), bažanka roční, atd. Pokud však má být účinnost na tyto plevele dostatečná (zvláště na mračník theophrastův) musí být aplikace (především T1 a T2) tohoto přípravku provedena včas a se směčedlem nebo se směsným herbicidem (*pbenmedipham* + *desmedipham* + *ethofumesate*), který směčedlo obsahuje (5).

Přestože k inhibici růstu (zastavení buněčného dělení) dochází okamžitě po aplikaci ALS inhibitorů, vizuální projevy poškození se většinou objevují až za několik dní. To je způsobeno určitou zásobou aminokyselin v buňkách, která může několik dní udržovat funkční metabolismus. Až po vyčerpání těchto zásob pod kritickou hladinu dojde k destruktivním změnám, způsobeným rozpadem důležitých biochemických pochodů (1). Zpočátku dochází ke zpomalení až zastavení růstu, později ke žloutnutí zejména mladých listů mezi nervaturou (obr. 3.), u některých dvouděložných rostlin se listová nervatura ze spodní strany zabarvuje do fialova. Typické je antokyanové zabarvení řepky a trávovitých plevelů (obr. 4.). Následně dochází k zaschnutí vegetačního vrcholu (obr. 5.). Kořeny často nepřírozně větví. Při nižších koncentracích je plný účinek pozorovatelný až po uplynutí 3–4 týdnů a nemusí vždy dojít k odumření zasažených plevelů (pouze zakrnění), přičemž plevele nekonkurují plodině. Subletální dávky těchto herbicidů mohou u některých dvouděložných rostlin iniciovat tvorbu postraních výhonů z níže položených laterálních pupenů (časté např. u herbicidu Safari). Mezi hybridy kukuřice existují velmi výrazné rozdíly v citlivosti k ALS inhibitorům, přičemž poškození se projevuje krátkodobým prožloutnutím nejmladších listů brzy po aplikaci (obr. 6.), následně dochází k jejich krabacení zkracováním internodií, k redukci sekundárního kořenového systému, zakrňování kořenů a následně nedostatečné výživě. Příznaky poškození kukuřice jsou častější za nepříznivých aplikačních podmínek (extrémně vysoké

Tab. 1. Členění ALS inhibitorů do chemických skupin

Skupina inhibitorů	Účinná látka	Přípravek
Sulfonfylmočoviny	<i>chlorsulfuron</i> <i>tribenuron</i> <i>thifensulfuron</i> <i>nicosulfuron</i> <i>rimsulfuron</i> <i>sulfosulfuron</i> <i>foramsulfuron</i> <i>amidosulfuron</i> <i>iodosulfuron</i> <i>mesosulfuron</i> <i>triasulfuron</i> <i>triflusulfuron</i> <i>metsulfuron</i> <i>tritosulfuron</i> <i>flupyrsulfuron</i>	Glean, Balance, Chisel Granstar, Biplay Refine, Grid, Chisel Milagro, Epilog, Accent, atd. Grid, Titus Monitor MaisTer Grodyl, Sekator, Zeus Husar, MaisTer, Chevalier, atd. Atlantis, Chevalier Logran, Lintur Safari Arkem, Biplay Arrat Balance
Imidazolinony	<i>imazamethabenz</i> <i>imazamox</i> <i>imazethapyr</i> <i>imazapyr</i>	Assert Escort, Pulsar Pivot Arsenal
Triazolové pyrimidiny	<i>metosulam</i> <i>florasulam</i> <i>pyroxsulam</i>	Factor Kantor, Mustang, Hurricane Hurricane
Sulfonfylamino-karbonyl-triazolinony	<i>propoxycarbazone</i>	Attribut

nebo nízké teploty, sucho, silný vítr, atd.). Cukrovka je k ALS inhibitorům (vyjma *triflusulfuronu*) velmi citlivá, přičemž poškození se projevuje zastavením růstu, postupným prožloutáváním listů (obr. 7.), které následně zasychají a rostlina, v závislosti na použitém herbicidu a jeho dávce, obvykle do 1–3 týdnů odumírá.

V rostlině jsou ALS inhibitory obvykle dobře rozváděny xylémem i floémem na místo působení – vegetační vrchol. Některé sulfonfylmočoviny (např. Safari) však mají translokaci cévními svazky omezenou, a působí tedy pouze na plevele ve velmi raných růstových fázích (2–6 pravých listů).

Selektivita k těmto herbicidům je většinou podmíněna fyziologicky, tedy rozdíly v metabolismu plodiny a citlivých plevelů – konjugace, hydroxylace a fotolýza (imidazolinony), méně často je využíváno poziční selektivity. Z důvodu omezení fyto toxicity pro plodinu musí být součástí formulace některých sulfonfylmočoviny (*iodosulfuron*, *mesosulfuron*, *foramsulfuron*, atd.) tzv. safenery (*mefenpyr-diethyl* nebo *isoxadifen-ethyl*), které v plodinách (pšenice, resp. kukuřice) stimulují metabolizaci herbicidu.

Mnoho ALS inhibitorů vykazuje v půdě dlouhou perzistenci a mohou tedy poškozovat následné plodiny, existují však značné rozdíly mezi chemickými skupinami, ale také mezi jednotlivými účinnými látkami z jedné skupiny (např. mezi sulfonfylmočoviny). Sulfonfylmočoviny jsou v půdě rozkládány především mikrobiálně, u některých (např. *triflusulfuron*) však převládá chemická degradace. K degradaci dochází obvykle v důsledku

Obr. 2. Safari vykazuje jako jediný postemergentní cukrovkový herbicid uspokojivou účinnost na mračňák theophrastův, ošetření je však třeba opakovat



Obr. 3. Chlorózy nejmladších listů slunečnice způsobené sulfonfylmočovinou (Husar) – 5 dní po aplikaci



Obr. 4. Typické poškození rostlin ježatky kuří nohy způsobené sulfonfylmočovinou (Milagro)



rozštěpení sulfonfylmočovinného můstku (6). Poločasy rozkladu sulfonfylmočoviny se pohybují od několika dnů až po několik týdnů. Degradace probíhá rychleji při vyšší teplotě a vlhkosti půdy a na lehkých půdách s nižším pH. Naopak na těžkých půdách s vysokým obsahem humusu a vyšším pH jsou sulfonfylmočoviny poměrně pevně poutány (ve formě aniontů), což někdy způsobuje problémy s pěstováním následných plodin, které jsou k těmto herbicidům citlivé (řepka, hořčice, řepa, slunečnice, atd.). V extrémních případech mohou dlouze perzistentní sulfonfylmočoviny (např. *chlorsulfuron*) způsobovat problémy při pěstování následných plodin i několik let po jejich použití (7, 8). Dlouhou perzistenci v půdě vykazují také imidazolinony, především na kyselějších půdách (perzistence *imazamoxu* je poněkud nižší). Naopak krátkou perzistenci v půdě má např. *florasulam*.

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

Souhrn

Acetolaktát syntáza (ALS) je klíčovým enzymem při biosyntéze esenciálních rozvětvených aminokyselin valinu, leucinu a isoleucinu. Nejvýznamnější ALS inhibitory jsou sulfonfylmočoviny, které se staly co do počtu registrovaných účinných látek v současnosti nejfrekvencovanější herbicidní skupinou (největší uplatnění nacházejí při regulaci plevelů v porostech obilnin, velmi významné uplatnění nachází také v kukuřici, některé lze použít v bramborách, cukrovce a v řadě zelenin. V cukrovce je možné použít pouze *triflusulfuron*, který se vyznačuje poměrně vysokou selektivitou k řepě a dobrou účinností na široké spektrum plevelů, včetně problematických druhů (tetlucha kozí pysk, mračňák theophrastův, bažanku roční, atd.). Vedle sulfonfylmočoviny inhibují ALS také imidazolinony, triazolopyrimidiny a prosulfonfylaminokarbonyl-triazolinony. V rostlině jsou ALS inhibitory obvykle dobře rozváděny xylémem i floémem na místo působení (vegetační vrchol), *triflusulfuron* však má translokaci cévními svazky omezenou. Přestože k inhibici růstu (zastavení buněčného dělení) dochází okamžitě po aplikaci, vizuální projevy poškození se většinou objevují až za několik dní. Zpočátku dochází ke zpomalení až zastavení růstu, později ke žloutnutí zejména mladých listů. Typické je také antokyanové zabarvení trávovitých plevelů. Následně dochází k zaschnutí vegetačního vrcholu. Mnoho ALS inhibitorů vykazuje v půdě dlouhou perzistenci a mohou tedy poškozovat následné plodiny.

Klíčová slova: mechanismus působení herbicidů, místo působení herbicidů, ALS inhibitory, cukrovka, fytoxicita

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. Stagnari, F.; CHIARINI, M.; PISANTE M.: Influence of fluorinated surfactants on the efficacy of some post-emergence sulfonfylurea herbicides. *Journal of Pesticide Science*, 32, 2007 (1), s. 16–23.

3. NOVÁKOVÁ, K. ET AL.: Chlorsulfuron resistance in silky bent-grass (*Apera spica-venti* (L.) Beauv.) in the Czech Republic. *J. Plant Diseases and Protection*, 113, 2006 (Spec. is. 20), s. 139–146.
4. PFENNING, M.; PALFAY, G.; GUILLET, T.: The CLEAR-FIELD® technology: A new broad-spectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers, *J. Plant Diseases and Protection*, 115, 2008 (Spec. is. 21), s. 649–653.
5. JURSIK, M. ET AL.: Biologie a regulace významných plevelů cukrové řepy – Mračňák Theophrastův (*Abutilon theophrasti* Med.). *Listy cukrov. řepář.*, 120, 2004 (9/10), s. 255–259.
6. BOSCHIN G. ET AL.: Chemical and microbial degradation of triflurosulfuron-methyl and azimsulfuron under laboratory conditions. In *Pesticide in Air, Plant, Soil & Water System*, 12th Symposium on Pesticide Chemistry, Piacenza, 2003, s. 217–222.
7. MOYER, J. R.; ESAU, R.; KOZUB, G. C.: Chlorsulfuron persistence and response of nine rotation crops in alkaline soils of southern Alberta. *Weed Technology*, 4, 1990, s. 543–548.
8. HOLLAWAY, K. L. ET AL.: Persistence and leaching of sulfonylurea herbicides over a 4-year period in the highly alkaline soils of south-eastern Australia. *Australian J. Exper. Agriculture*, 46, 2006 (8), s. 1069–1076.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr J.: Herbicide mode of actions and symptoms of plant injury by herbicides: Inhibitors of acetolactate synthase (ALS inhibitors)

Acetolactate synthase (ALS) is a key enzyme of essential aminoacids valine, leucine, and isoleucine biosynthesis. The most important ALS inhibitors are sulfonylureas that are now the most frequent group of herbicides as for the number of active ingredients registered. The largest areas of their use are in weed management in cereals, but also in maize stands, some of them can be used also in potatoes, sugar beet, and in stands of many vegetable species. In sugar beet, *triflurosulfuron* can be used only. *Triflurosulfuron* show relatively high selectivity to the beet and is effective in controlling broad weed spectrum, including hard-to-control species like *Aethusa cynapium*, *Abutilon theophrasti*, *Mercurialis annua*, etc. Other groups of ALS inhibitors are *imidazolinones*, *triazolopyrimidines* and *prosulfonylaminocarbonyls-triazolinones*. In plant, ALS inhibitors are well transported via both xylem and phloem to the target site (apical growing point), but *triflurosulfuron* has got only limited translocation via vascular bundles. Even if the inhibition of growth (cell division blocking) take place immediately after application, visual symptoms of plant injury can be found after several days for the first time. At the beginning, there is slowing till blocking of growth, followed by yellowing of (especially young) leaves. Anthocyanin coloration of grassy weeds is also typical. Consequently, the apical growing point becomes dry. Many ALS inhibitors can persist in soil for a long time posing threat for succeeding crop.

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

Kontaktní adresa – Contact address:

Ing. Miroslav Jursík, Ph. D., Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 Suchbátka, Česká republika, e-mail: jursik@af.czu.cz

Obr. 5. Zasychání vegetačního vrcholu slunečnice způsobené sulfonylmočovinou (Husar) – 2 týdny po aplikaci



Obr. 6. Prožloutnutí nejmladších listů kukuřice po aplikaci sulfonylmočovinného herbicidu (MaisTer) bývá poměrně časté



Obr. 7. Poškození rostlin cukrové řepy sulfonylmočovinou (Milagro) – 2 týdny po aplikaci

