

Růstové herbicidy (syntetické auxiny)

HERBICIDE MODE OF ACTIONS AND SYMPTOMS OF PLANT INJURY BY HERBICIDES:
PLANT GROWTH REGULATOR HERBICIDES (SYNTHETIC AUXINS)

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

Auxiny v rostlině regulují celou řadu procesů, především růst, dělení a diferenciaci rostlinných pletiv. Významně působí také při biosyntéze bílkovin. V rostlině jsou auxiny syntetizovány z tryptofanu a jsou obsaženy ve velmi malých koncentracích, především ve vegetačním vrcholu. Jejich koncentrace ve vyváženém poměru je řízena fyziologickými mechanismy, které regulují jejich biosyntézu, konjugaci a jiné způsoby degradace.

Růstové herbicidy jsou synteticky vyráběné látky, fungující jako rostlinné hormony auxinoidní povahy. Z chemického hlediska je lze rozdělit na fenoxykyseliny, deriváty kyseliny benzoové, pyridin-karboxylové a chinolin-karboxylové (tab. 1.).

Narušení vyvážené fytohormonální hladiny citlivých rostlin v důsledku aplikace růstových herbicidů způsobuje poruchy metabolismu a normálního růstu rostliny. Na rozdíl od auxinů přírodního původu jsou syntetické auxiny v rostlinách špatně degradovány a rostliny proto nejsou schopny udržet vyváženou fytohormonální hladinu.

Přestože herbicidy z této skupiny jsou jedny z nejstarších, přesné místo jejich působení dosud není přesně popsáno. Předpokládá se, že nepůsobí pouze v jednom místě, nýbrž ovlivňují několik biochemických procesů probíhajících v rostlinných buňkách. Průběh poškození rostliny se projevuje ve třech po sobě jdoucích, odlišných fázích (1):

1. Ihned po aplikaci dochází ke stimulaci fotosyntézy a otevření průduchů (zvýšení koncentrace K^+ iontů), zvyšuje se aktivita RNA polymerázy, zvyšuje se syntéza proteinů a mRNA. To vše vede ke zvýšené růstové aktivitě. Růst je však často nerovnoměrný.
2. Během týdne dochází k nekontrolovatelnému buněčnému dělení a růstu, což se projevuje především růstem adventivních kořenů a postraních výhonů. Objevují se deformace listů a stonku (obr. 1. až 3.).
3. Do deseti dnů po aplikaci obvykle dochází k vyčerpání buněčných zásob, k nekrotizaci v důsledku destrukce buněčných membrán, ucpání vodivých pletiv a citlivé rostliny postupně odumírají (obr. 4.).

Mechanismus působení úč. látek *quinmerac* a *quinclorac* je prozkoumaný poněkud podrobněji. Tyto účinné látky indukují syntézu 1-aminocyklopropan-1-karboxylové kyseliny (ACC), což vyvolává masivní hromadění kyseliny abscisové a tvorbu velkého množství ethylenu. Rostliny na vzniklou situaci reagují uzavřením průduchů, čímž se sníží transpirace a příjem CO_2 (2).

Většina růstových herbicidů je velmi rychle přijímána listy (některé i kořeny) rostlin a je rozváděna, především floémem, do pletiv s vysokou růstovou aktivitou, což má za následek velmi výrazné systemické působení a vynikající a dlouhodobou účinnost na vytrvalé plevely (obr. 5.), zejména pcháče rolní (3). Vyšší účinnosti je dosahováno při vyšších teplotách a intenzitě slunečního svitu a při aplikaci v období intenzivního růstu plevelů, nejlépe v období plného otevření vegetace na jaře. U trav je translokace růstových herbicidů omezena, což je jednou z hlavních příčin jejich vysoké tolerance k většině těchto herbicidů.

Hlavními příznaky poškození růstovými herbicidy jsou růstové a reprodukční anomálie, které se projevují zejména na nově vytvářených orgánech (nadzemních i podzemních). U dvouděložných rostlin jsou typickými projevy kroucení listů a lodyh (obr. 3.), deformace listů, prodloužování listů a jejich abnormální růst, tvorba hojivého pletiva nebo nádorů (obr. 6.) a zakrňování růstu kořenů. Posléze se objevují chlorózy vegetačního vrcholu, vadnutí a nekrózy (obr. 4.). Zasaženým citlivým stromům může praskat kůra.

Růstové herbicidy jsou nejstarší z dosud používaných organických herbicidů. Účinná látka *MCPA* byla objevena již na začátku 40. let 20. století. Velký

Tab. 1. Členění růstových herbicidů do chemických skupin

Chemická skupina	Účinná látka	Obchodní název přípravku
Fenoxykyseliny	2,4-D MCPA MCPB MCPP-P 2,4-D-P	Dicopur D, Mustang, atd. Agritox, Aminex, Bofix, atd. Butoxone, Tropotox Duplosan KV, Optica, atd. Duplosan DP
Benzoové kyseliny	dicamba	Banvel, Cambio, Arrat, Lintur, atd.
Pyridin-karboxylové kyseliny	picloram clopyralid aminopyralid fluroxypyr triclopyr	Galera Lontrel, Galera, Cliophar, atd. Hurricane, Galera Podzim, atd. Starane, Tomigan, atd. Garlon
Chinolin-karboxylové kyseliny	quinmerac	Flirt, Butisan Star

Obr. 1. Poškození cukrové řepy růstovými herbicidy (2,4-D) se projevuje deformacemi listů již několik hodin po zasažení, vegetační vrchol bývá obvykle naduřelý



význam při vývoji těchto herbicidů sehrála 2. světová válka, neboť byly tajně vyvíjeny jako potenciální chemické zbraně. Herbicid Agent Orange (2,4,5-T), v jehož formulaci bylo velké množství dioxinů, byl rozsáhle používán americkou armádou ve Vietnamské válce a ve válce o Indočínu k letecké defoliaci lesních porostů. Aplikované dávky však byly 20–40× vyšší, než dávky běžně používané v zemědělství, přičemž destrukce vegetace, která byla takto způsobena, je patrná ještě dnes.

Herbicidy z této skupiny jsou určeny především k regulaci dvouděložných plevelů v obilovinách, kukurici, či v porostech trav (louky, pastviny, trávníky). Nejčastějšími účinnými látkami jsou MCPA (Agritox, Aminex, atd.), MCPP, 2,4-D (Esteron), dicamba (Banvel), fluroxypyr (Starane, Tomigan atd.), aminopyralid (Hurricane, Kantor Plus atd.) a clopyralid (Lontrel atd.). Některé růstové herbicidy lze použít také ve dvouděložných plodinách. Například v řepce se využívá clopyralid, picloram (Galera), aminopyralid (Galera Podzim) a quinmerac (jedna z účinných látek v herbicidu Butisan Star), v cukrovce se aplikuje clopyralid (obr. 2.) či quinmerac (jedna z účinných látek v herbicidu Flirt), v hrachu je možné použít MCPB (Butoxone) a v máku fluroxypyr. Uplatnění však nacházejí tyto herbicidy i v mnoha dalších, u nás spíše minoritních, plodinách a zeleninách. Účinná látka triclopyr (Garlon) se používá jako arboricid k regulaci nežádoucích dřevin a plevelů na loukách a pastvinách, v lesním hospodářství a na nezemědělské půdě.

Růstové herbicidy se zařazují většinou k postemergentnímu ošetření, pouze chinolin-karboxylové kyseliny (quinmerac) se aplikují také preemergentně. Z důvodu silného a rychlého systemického účinku na vytrvalé plevele se často používají v kombinaci s herbicidy ze skupiny ALS inhibitorů (TM kombinace nebo směsné přípravky jako např. Mustang, Lintur, Arrat, atd.), zejména k regulaci dvouděložných plevelů v jarních obilninách.

Obr. 2. Poškození pcháče rolního způsobené herbicidem Lontrel 300 (clopyralid) v porostu cukrovky; týden po aplikaci



Obr. 3. Kroucení a deformace listů a lodyh slunečnice po aplikaci růstového herbicidu; pět dní po aplikaci 2,4-D



Obr. 4. Odumírání rostlin slunečnice po aplikaci růstového herbicidu; dva týdny po aplikaci 2,4-D



Obr. 5. Pokud jsou vytrvalé dvouděložné plevely (pcháč rolní) zasaženy v plném prodlužovacím růstu, působí růstové herbicidy výrazně systematicky a následná regenerace je minimální; tři týdny po aplikaci herbicidu Lontrel 300 (clopyralid)



Přes vysokou selektivitu většiny růstových herbicidů k travám se můžeme často setkat s projevy fytoxicity i u obilnin, kukuřice, prosa a pod. K fytoxicitě dochází především při předávkování herbicidu (nejčastěji MCPA, 2,4-D a dicamba) a při aplikaci za nevhodných povětrnostních podmínek, především při extrémně vysokých či nízkých teplotách, za sucha následuje-li po aplikaci silný vítr atd. (obr. 7.). Citlivost jednotlivých plodin se v průběhu ontogeneze výrazně mění (4). Existují také výrazné odrudové rozdíly v citlivosti k jednotlivým účinným látkám a jejich formulačním typům. Symptomy poškození obilnin i kukuřice jsou velmi variabilní v závislosti na mnoha faktorech. Časté je především stáčení listů (u kukuřice tzv. cibulové olistění), ohýbání a křehnutí stébel (kukuřice, čirok), redukce odnožování (důležité především u ječmene), anomálie při metání (obilniny), nebo anomálie vzdušných kořenů

(kukuřice). Růstové herbicidy mohou také způsobovat nenormální větvení kořenů a jejich srůstání, snižovat výšku stébla, způsobovat sterilitu klasů nebo negativně ovlivňovat počet květů v klasu, snižovat klíčivost zrna (důležité u sladovnických a množitelských porostů) a oddalovat dozrávání (5). Po preemergentní aplikaci může navíc docházet k deformacím klíčících rostlin. Nejvíce jsou zasažena pletiva s vysokou meristemickou aktivitou v době aplikace, záleží tedy především na termínu aplikace, jaké budou symptomy poškození. Poškození plodiny bývá nejnižší, pokud je ošetření provedeno ve vhodné růstové fázi (pšenice od fáze 4 listů do poloviny sloupkování, ječmen od poloviny odnožování až do fáze druhého kolénka, kukuřice od fáze 6 listů), ranější i pozdější aplikace jsou rizikovější (6), především u ječmene, které tvoří výnos převážně na odnožích (nikoliv na hlavním stéble), může pozdní ošetření herbicidem obsahujícím účinnou látku *dicamba* způsobit výrazné snížení výnosu (7).

Účinná látka MCPB je herbicidně neaktivní, přičemž k její aktivaci dochází až v citlivých rostlinách β -oxidací. Rostliny, ve kterých k této reakci nedochází dostatečně rychle, jsou k této účinné látce odolné, což je hlavním důvodem odolnosti jetelovin k herbicidům obsahujícím MCPB (8).

Růstové herbicidy mohou za určitých podmínek způsobovat poškození sousedících porostů velmi citlivých plodin (brambory, rajčata, slunečnice, cukrová řepa, sója, tykvovitá zelenina, vinná réva, atd.). Již velmi malá dávka těchto přípravků (úlet či těkání) může způsobit velmi vysokou fytoxicitu (obr. 8.). Především fenoxykyseliny, které jsou formulovány jako estery, jsou velmi těkavé a mohou se proto snadno šířit větrem do sousedních porostů či vegetace. Estery tvořící kratší řetězce (methyl, ethyl, isopropyl, butyl) jsou více těkavé než estery tvořící delší řetězce (butoxyethyl). Naopak fenoxykyseliny formulované jako aminy mají těkavost výrazně nižší, jejich nevýhodou však je vyšší riziko inaktivace Ca^{2+} a Mg^{2+} ionty v tvrdé vodě a nižší translokace v rostlině (8). Těkavost benzoových kyselin je vysoce závislá na teplotě: s růstem teploty prudce stoupá těkavost, k poškození sousedních porostů proto může dojít i několik dní po aplikaci. Těkavost benzoových kyselin je do značné míry ovlivněna také formulací přípravku.

Fenoxykyseliny mají v přírodním prostředí většinou relativně krátkou životnost (biologická degradace), pouze degradace MCPB je pomalejší (8). V půdě jsou disociovány a vzniklý anion se neváže na půdní koloidy. *Dicamba* je v půdě poměrně pohyblivá, nicméně je rychle odbourávána půdní mikroflórou. Naopak např. *picloram* a *clopyralid* jsou ve vodě dobře rozpustné a v půdě dlouho perzistentní, proto by neměly být používány na velmi lehkých půdách s vysokou hladinou podzemních vod. Např. poločas rozpadu *clopyralidu* v půdě se obvykle pohybuje mezi 5 až 70 dny v závislosti na mikrobiální aktivitě, teplotě, vlhkosti a zastínění půdy (9). Krátký odstup mezi aplikací herbicidu s obsahem účinné látky *clopyralid* a založením porostu citlivých plodin (slunečnice, brambory, atd.) proto může působit výrazné poškození plodiny, podobně jako hnojení kompostem vzniklým z biomasy trav, které byly ošetřeny takovým herbicidem.

Obr. 6. Tvorba hojivého pletiva (kalusu) na apikální části lodyhy slunečnice způsobená herbicidem Lontrel 300 (clopyralid); pět týdnů po aplikaci



Obr. 7. K fytotoxicitě po aplikaci růstových herbicidů v kukuřici dochází u citlivých hybridů při předávkování, nebo při aplikaci za nevhodných povětrnostních podmínek



Souhrn

Růstové herbicidy jsou synteticky vyráběné látky fungující jako rostlinné hormony auxinoidní povahy. Narušení vyvážené fytohormonální hladiny citlivých rostlin v důsledku aplikace růstových herbicidů způsobuje poruchy metabolismu a normálního růstu rostliny. Většina růstových herbicidů je velmi rychle přijímána listy (některé i kořeny) rostlin a je rozváděna, především floémem, do pletiv s vysokou růstovou aktivitou, což má za následek velmi výrazné systemické působení a vynikající a dlouhodobou účinnost na vytrvalé plevely. Hlavními příznaky poškození těmito herbicidy jsou růstové a reprodukční anomálie. U dvouděložných rostlin jsou typickými projevy kroucení listů a lodyh, deformace listů, prodlužování listů a jejich abnormální růst, tvorba hojivého pletiva nebo nádorů a zakřivování růstu kořenů. Posléze se objevují chlorózy vegetačního vrcholu, vadnutí a nekrózy. Zasaženým citlivým stromům může praskat kůra. Symptomy poškození obilnin i kukuřice jsou stáčení listů, ohýbání a křehnutí stébel, redukce odnožování, anomálie při metání, nebo anomálie vzdušných kořenů (kukuřice). Herbicidy z této skupiny jsou určeny především k regulaci dvouděložných plevelů v obilovinách, kukuřici či v porostech trav. Nejčastěji používanými úč. látkami jsou *MCPA*, *MCPB*, *2,4-D*, *dicamba*, *fluroxypyr*, *aminopyralid* a *clopyralid*. Některé růstové herbicidy lze použít také ve dvouděložných plodinách. Například v řepce se používá *clopyralid*, *picloram*, *aminopyralid* a *quinmerac*, v cukrovce se používá *clopyralid* či *quinmerac*, v hrachu je možné použít *MCPB*, v máku *fluroxypyr*. Uplatnění však nacházejí tyto herbicidy i v mnoha dalších, u nás spíše minoritních plodinách a zeleninách. Úč. látka *triclopyr* se používá jako arboricid k regulaci nežádoucích dřevin a plevelů na loukách a pastvinách, v lesním hospodářství a na nezemědělské půdě.

Klíčová slova: mechanismus působení herbicidů, místo působení herbicidů, růstové herbicidy, syntetické auxiny, cukrovka, fytotoxicita.

Práce vznikla za podpory projektu MSM 6046070901 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, Oxford: Blackwell Science, 2002.
2. SCHELTRUP, F.; GROSSMANN, K.: Abscisic Acid is a Causative Factor in the Mode of Action of the Auxinic Herbicide, Quinmerac, in Cleaver (*Galium aparine* L.). *Journal of Plant Physiology*, 147, 1996, s. 118–126.

Obr. 8. Poškození révy vinné způsobené úletem růstového herbicidu při ošetření sousedního porostu



3. JURSIK, M.; HOLEC, J.; BRANT V.: Biologie a regulace významných plevelů cukrové řepy: Pcháč rolní – *Cirsium arvense* (L.) SCOP. *Listy cukrov. řepář.*, 122, 2006 (12), s. 335–339.
4. MARTIN, D. A.; MILLER, S. D.; ALLEY, H. P.: Winter wheat (*Triticum aestivum*) response to herbicide applied at three growth stages. *Weed technol.*, 3, 1989, s. 90–94.
5. HEERING, D. C.; PEEPER, T. F.: Winter wheat (*Triticum aestivum*) response to picloram and 2,4-D. *Weed Technol.*, 5, 1991, s. 317–320.
6. IVANY, J. A.; NASS, H. G.; SANDERSON, J. B.: Effect of time of application of herbicides on yield of three winter wheat cultivars. *Canad. J. Plant Science*, 70, 1990, s. 605–609.
7. FRIESEN, H. A.; BAENZIGER, H.; KEYS, C. H.: Morphological and cytological effect of dicamba on wheat and barley. *Canad. J. Plant Science*, 44, 1964, s. 288–294.
8. ANDERSON, W. P.: *Weed Science: Principles and Application*. Waveland Press, Long Grove, USA, 2007.
9. AHMAD, R. ET AL.: Dissipation of the herbicide clopyralid in an allophanic soil: Laboratory and field studies. *Analyst*, 128, 2003 (12), s. 1478–1484.

Jursík M., Soukup J., Holec J., Andr V.: Herbicide Mode of Actions and Symptoms of Plant Injury by Herbicides: Plant Growth Regulator Herbicides (Synthetic Auxins)

The growth regulator herbicides are synthetic chemicals acting as auxin-type phytohormones. Application of growth regulator herbicides promotes the disbalance in phytohormone levels in the sensitive plants resulting in metabolic defects and disruption of normal plant growth. The majority of growth regulator herbicides are relatively fast uptaken by plant leaves (some of them also by roots) and translocated (especially by phloem) into the tissues showing high growth activity. This is causing significant systemic and long-term efficacy on perennial weed species.

The main symptoms of phytotoxicity are growth and reproduction anomalies. Dicotyledonous plants show typical leaf and stem twisting, leaf deformations, elongations, and/or abnormal growth, production of calluses or tumours, and root dwarfing. Consequently, meristem chloroses occur together with wilting and necroses. Treated sensitive trees can show bark cracking. In case of maize and cereals, following injury symptoms can be found: leaf twisting, stem bending, brittle stem, tiller number reduction, anomalies during earing, anomaly growth of aerial roots (maize). Herbicides of this group are predominantly used for control of dicotyledonous weed species in cereal stands. The most commonly used active ingredients are *MCPA*, *MCPB*, *2,4-D*, *dicamba*, *fluroxypyr*, *aminopyralid*, and *clopyralid*. Some growth regulator herbicides can be used also in dicotyledonous crop stands. In oilseed rape stands, there can be used *clopyralid*, *picloram*, *aminopyralid*, and *quinmerac*; in sugar beet stands *clopyralid* or *quinmerac*, in field pea *MCPB*, and in poppy stands *fluroxypyr*. Beside this, herbicides of this group are used also in some other crops and vegetables, minor under our conditions. The active ingredient *triclopyr* is used as an arboricide to control weedy trees and shrubs and weeds in pastures and meadows, in forest management, and on non-agriculture land.

Key words: herbicide mode of action, herbicide site of action, synthetic auxins, plant growth regulator herbicides, sugar beet, phytotoxicity.

Kontaktní adresa – Contact address:

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

stříbrná energie pro výnos

AltronSilver

Makroprvky + mikroprvky v komplexních vazbách + látky z Krebsova cyklu
Aktivace buněčných pochodů + zvýšení hladiny fytohormonů
S nanostříbrem k vyšší účinnosti fungicidů



Časné růstové fáze - snížení toxicity herbicidů, podpora růstu
Aktivní růst - zakrytí řádků, pozitivní ovlivnění výnosu
Pozdější aplikace - zvýšení výnosu, zvýšení cukernatosti
Kdykoli - regenerace porostu (mráz, krupobíjí, herbicidní šok)

Makroprvky + mikroprvky v komplexních vazbách + látky z Krebsova cyklu
Aktivace buněčných pochodů + zvýšení hladiny fytohormonů
Zachovává výhody společných aplikací Almiro Silver + Almiro Ultra

www.almiro.cz



Sadová 309 | 793 26 Vrbno pod Pradědem | T./F.: +420 554 751 351 | E: info@almiro.cz