

Výskyt rezistentních plevelů v porostech herbicidně tolerantní cukrové řepy

OCCURRENCE OF RESISTANT WEEDS IN STANDS OF HERBICIDE-TOLERANT SUGAR BEET

Kateřina Hamouzová, Pavlína Košnarová – Česká zemědělská univerzita

Cukrová řepa byla plodinou, u níž vždy byla herbicidní ochrana velmi komplikovanou záležitostí a nutností pro dosažení výnosu. Se zavedením odrůd cukrové řepy s tolerancí k herbicidům, došlo k výraznému zjednodušení herbicidní ochrany, proto si pěstitelé v Česku velmi brzy tuto technologii oblíbili a v současné době je většina ploch oseta těmito odrůdami (technologie Conviso Smart). Hlavní předností byla možnost jednoduché regulace plevelné řepy v porostech cukrovky a velmi dobrá účinnost na běžné plevelné spektrum, které představují zejména tzv. pozdní jarní plevely, tedy druhy, které vzházejí při vyšších teplotách a často vzházejí i ochrana, která je v konvenčním systému rozdělena do několika po sobě jdoucích aplikací. I v systému pěstování herbicidně tolerantních řep byly zachovány dvě aplikace přípravku Conviso One, aby byla pokryta druhá vlna vzházení plevelných druhů. Herbicidní přípravek Conviso One obsahuje dvě účinné látky – tj. foramsulfuron a thienencarbazone,

obě ze skupiny HRAC 2, inhibitorů enzymu acetolaktátsyntázy (ALS). V konvenční technologii pěstování cukrové řepy nemohly být účinné látky z této skupiny zařazovány z důvodu fytotoxicity na vlastní plodinu.

Na jedné straně tedy došlo k výraznému zjednodušení herbicidní ochrany, na straně druhé se v osevních sledech běžně pěstovaných plodin navýšil počet aplikací herbicidů ze skupiny inhibitorů ALS. V některých podnicích tvoří přípravky této skupiny až 80 % celkových herbicidních aplikací v osevním sledu, což vede ke zvýšení selekčního tlaku na plevelné druhy. U plevelných rostlin pak pozorujeme sníženou účinnost herbicidů ze skupiny ALS inhibitorů a posléze i rychlý vznik herbicidní rezistence. V důsledku velké obliby systému Conviso Smart v Česku se začaly objevovat první zprávy o snížené účinnosti tohoto přípravku zejména na laskavec ohnutý, merlík bílý a další druhy.

Merlík bílý je jednoletý pozdní jarní plevel patřící do čeledi *Chenopodiaceae* (merlíkovité). Má širokou ekologickou

Obr. 1. Různá citlivost biotypů laskavce ohnutého po ošetření přípravkem Conviso One (celková dávka $1 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$) + Mero; fotografie byla pořízena 30 dnů po aplikaci herbicidu



amplitudu a je tedy hojný na celém území ČR od nížin až do podhorských oblastí. Rostliny v porostech cukrové řepy často velmi bohatě větví a mohou vytvořit až několik desítek tisíc nažek, které na rostlině dozrávají nepravidelně. Délka dormance nažek je značně variabilní jak v rámci populace, tak dokonce i v mezi jedinci v rámci jedné populace. Vzhledem k jejich velikosti nejsou nažky schopné vzházet z hloubek větších než 3 cm. Hlavní vlna vzházení nastává při vyšších teplotách, obvykle na přelomu dubna a května. Z pohledu výskytu v půdní zásobě semen patří merlík bílý mezi nejrozšířenější druhy. V konvenční i v herbicidně tolerantní (HT) cukrové řepě je nutné tento druh potlačit včas, s vyšší růstovou fází je jeho regulace velmi obtížná a rostliny jsou často schopné regenerovat a způsobovat sekundární zaplevelení.

Laskavec ohnutý je rovněž z pohledu biologie zařazen mezi jednoleté pozdní jarní druhy. Patří do čeledi laskavcovitých (*Amaranthaceae*) a je nejrozšířenějším druhem na našem území. Původně byl do Evropy zavlečen ze Severní Ameriky, odkud se šířil dále do teplejších oblastí. S postupujícím oteplováním však pozorujeme, jak se postupně šíří i do vyšších poloh. Tento druh se rozmnožuje pouze semeny a podobně jako u merlíku je jeho reprodukční schopnost ovlivněna dobou výsevu plodiny, a tedy délkou vegetace. Semena tohoto druhu se vyznačují poměrně silnou a dlouhou dormancí. Vzházivost semen laskavce ovlivňuje teplota a světlo. Druh vzhází nejlépe z povrchu půdy, a i když je schopen vzejít již ve druhé polovině dubna, hlavní vlna vzházení bývá až v květnu. V teplejších oblastech je tento druh velmi konkurenceschopný a patří mezi nejškodlivější plevely okopanin, kde je schopen vytvořit téměř monokulturní zaplevelení. S ohledem na jeho vysokou reprodukční schopnost je vhodné předcházet jeho vysemenění a cílit regulaci na tento druh v širokořádkových plodinách.

U nás je regulace výše uvedených druhů převážně založena na použití PSII a ALS inhibitorů, tedy skupin, u nichž jsou často pozorovány případy herbicidní rezistence. Herbicidní rezistence u laskavce ohnutého byla doposud popsána v mnoha evropských zemích. V České republice byl první biotyp s rezistencí k PSII inhibitorům popsán již v roce 1985, v posledních třech letech stále přibývá populací s rezistencí k ALS inhibitorům. Obdobná situace byla zjištěna také u merlíku bílého. Výskyt rezistence vůči několika účinným látkám ze skupiny ALS inhibitorů, jako jsou imazamox, tribenuron-methyl, nicosulfuron a kombinace foramsulfuron + thienencarbazone-methyl, však významně komplikuje účinnou regulaci, zejména v plodinách tolerantních k herbicidům (HT plodiny), ve kterých se často spoléhá pouze na ALS inhibitory.

Rezistence k herbicidům se u plevelů obvykle vyvíjí dvěma hlavními mechanismy – rezistencí v cílovém místě účinku (z anglického target-site resistance – TSR) a rezistencí mimo toto místo

(z anglického non-target-site resistance NTSR). TSR zahrnuje genetické změny v cílových proteinech v důsledku mutací v kódující sekvenci, amplifikaci genů nebo zvýšenou expresi cílových genů. Naopak NTSR brání herbicidním molekulám v dosažení cílového místa a je založena na mechanismech, jako je omezení absorpce nebo translokace herbicidu a jeho detoxikaci enzymy, jako jsou např. cytochrom P450, glutathion-S-transferázy (GST), glykosyltransferázy nebo ABC transportéry.

V tomto příspěvku bychom rádi shrnuli výsledky testování u uvedených druhů a popsali situaci vzniku a výskytu herbicidní rezistence v cukrové řepě v Česku. Pro účely testování byly odebrány vzorky semen výše uvedených plevelů na řadě lokalit, zejména se jednalo o oblasti Mladoboleslavska, Královéhradecka a Slánska. Celkem bylo na jaře v roce 2025 otestováno 11 populací laskavce ohnutého, 15 populací merlíku bílého a 5 populací heřmánkovce nevonného. Populace byly sbírány v porostech herbicidně tolerantních cukrových řep na základě informace od zemědělců, že dochází k poklesu účinnosti (90 % případů), a v několika případech byly odebrány vzorky na náhodně vybraných pozemcích. Testování účinnosti herbicidních přípravků s účinnými látkami foramsulfuron a thienencarbazone-methyl, imazamox a tribenuron-methyl probíhalo v nádobách naplněných zemínou bez reziduí herbicidů. Po dosažení růstové fáze byly vzešlé rostliny ošetřeny dávkou, která je doporučována výrobcem herbicidu za pomoci přesného laboratorního postřikovače (obr. 1.). Pro účely stanovení stupně rezistence, byly pak dávky zvyšovány až na desetinásobek registrované dávky. Pokusy probíhají v jarním období tak, aby podmínky byly podobné jako v přírodě. Každá varianta ošetření (1 populace/1 dávka přípravku) byla provedena ve čtyřech opakováních a hodnocení probíhalo pomocí odhadové metody, kdy jsou vizuálně hodnoceny příznaky na ošetřených rostlinách a vztaženy k neošetřené kontrole daného biotypu (0 % – rostliny nevykazují žádné symptomy poškození, 100 % – rostliny uhynou). Dále byla stanovena hmotnost nadzemní biomasy. V případě laskavce ohnutého byly rovněž odeslány vzorky do společnosti IDENTXX GmbH (Stuttgart, Německo) k analýze jednonukleotidových polymorfismů (SNP). Sekvenování bylo zaměřeno na známé mutační body genu ALS: Ala-122, Pro-197, Ala-205, Asp-376, Arg-377, Trp-574, Ser-653 a Gly-654. Pokud v těchto pozicích dojde k záměně aminokyselin, rostliny jsou obvykle rezistentní k některým inhibitorům ALS.

Získané výsledky potvrdily výskyt rezistentních laskavců a merlíků na území Česka. Ve stupni herbicidní rezistence však byly u obou druhů pozorovány významné rozdíly v citlivosti k testovaným účinným látkám. Obecně lze konstatovat, že počet rezistentních populací merlíku bílého byl nižší v porovnání s laskavcem ohnutým a rovněž míra rezistence se pohybovala na daleko nižší úrovni (tab. I.). Navíc, pokud se podíváme na současně dostupné portfolio herbicidních přípravků, které je možné

Tab. I. Výsledky testování rezistentních laskavců a merlíků na jaře roku 2025

Plevelný druh	Počet testovaných populací	Počet populací s potvrzenou rezistencí		
		thienencarbazone + foramsulfuron	tribenuron-methyl	imazamox
Laskavec ohnutý	11	8	5	3
Merlík bílý	15	4	2	0

Obr. 2. Zaplevelení HT řepy laskavcem ohnutým se silnou rezistencí vůči foramsulfuronu + thiencarbazonu, na pozemku bylo provedeno standardní ošetření přípravkem Conviso One a Mero* v odpovídající růstové fázi plevelného druhu; foto měsíc po aplikaci 2. dávky Conviso One (17. 5. 2025)



* Conviso One (0,5 + 0,5 l·ha⁻¹) + Mero (1 + 1 l·ha⁻¹)

aplikovat v cukrové řepě, pro merlíky existuje více možností řešení a účinnost bývá obecně lepší než v případě laskavců.

Některé biotypy laskavce vykazovaly výrazně sníženou účinnost všech testovaných herbicidů (obr. 1.), což naznačuje křížovou rezistenci vůči imazamoxu i tribenuron-methylu. U populace, která vykazovala vysokou úroveň herbicidní rezistence ke všem testovaným látkám, byla odhalena mutace Trp574Leu, která byla popsána již u dalších 38 druhů plevelů a je známá tím, že způsobuje rezistenci vůči širokému spektru ALS inhibitorů. Naproti tomu se v testech vyskytovaly populace s mírnou až střední úrovní rezistence pouze k imazamoxu, zatímco byly citlivé na tribenuron-methyl. Tyto biotypy nevykazovaly žádnou z uvedených známých mutací v genu ALS, což naznačuje, že jeho rezistence by mohla být způsobena necílovými mechanismy (např. metabolickou detoxikací). V našich dalších pokusech byla tato hypotéza potvrzena a jedním z mechanismů je rovněž zvýšený metabolismus rostlin. Výsledky podrobnějších analýz ukázaly, že biotypy laskavců vykazovaly tzv. faktor rezistence v rozpětí od 12 až po 350. Tato hodnota je teoretická a udává

Obr. 3. Pozdní herbicidní ošetření merlíku bílého v porostech herbicidně tolerantní cukrové řepy; v porostu bylo rovněž provedeno plečkování



kolikrát vyšší by musela být aplikována dávka herbicidu, aby došlo ke stejnému účinku jako u populace citlivé.

Rostoucí globalizace a zvýšené koncentrace CO₂ mohou rovněž ovlivnit vývoj herbicidní rezistence u plevelů typu C3 i C4. Laskavec patří z tohoto pohledu mezi C4 rostliny, tedy takové, které s vyšší účinností využívají vodu a mají nižší kompenzační bod CO₂, jsou tedy schopny přijímat oxid uhličitý ze vzduchu i při jeho nižších koncentracích. Bylo zjištěno, že tyto rostliny často lépe hospodaří s vodou a jsou odolnější vůči abiotickým stresům. Proto změny prostředí spolu s metabolickými schopnostmi některých druhů mohou zvyšovat jejich adaptabilitu a rezistentní potenciál. Například u *Amaranthus palmeri* bylo zjištěno, že zvýšené teploty zrychlují metabolismus mesotriónu, čímž snižují jeho účinnost a zvyšují riziko rezistence.

V případě merlíku bílého byl potvrzen mnohem nižší podíl rezistentních populací z celkového testovaného počtu, rovněž stupeň rezistence byl nižší. Ačkoliv stále neznáme podstatu herbicidní rezistence u tohoto druhu, domníváme se, že by se mohlo jednat o změny v metabolismu herbicidu. Tato domněnka

bude v brzké době testována na pracovišti ČZU. Obecně platí, že mutace v cílovém místě poskytuje vysoký stupeň rezistence vůči specifickému herbicidu, zatímco zvýšený metabolismus umožňuje vznik křížové rezistence i vůči herbicidům s odlišným mechanismem účinku. Z toho důvodu představuje metabolická rezistence jeden z nejobtížnější detekovatelných mechanismů rezistence, a tudíž zásadní výzvu pro účinnou regulaci plevelného druhu.

Na lokalitách, kde byly potvrzeny biotypy, které mají vysoký stupeň rezistence, byla zaznamenána úzká osevní rotace se zařazením dalších širokořádkových plodin, často se jednalo rovněž o herbicidně tolerantní odrůdy slunečnice (Express Sun, Clearfield). Ještě čtenější byl však případ, kdy byla na stejném pozemku pěstována kukuřice, kde byly plevelné druhy ošetřovány rovněž herbicidy ze skupiny inhibitorů ALS, což vedlo k výraznému selektivnímu tlaku na vývoj rezistentních biotypů. Takový osevní postup pěstitelům nedoporučujeme, jelikož může zásadním způsobem urychlit vývoj rezistence i vůči dalším ALS inhibitorům.

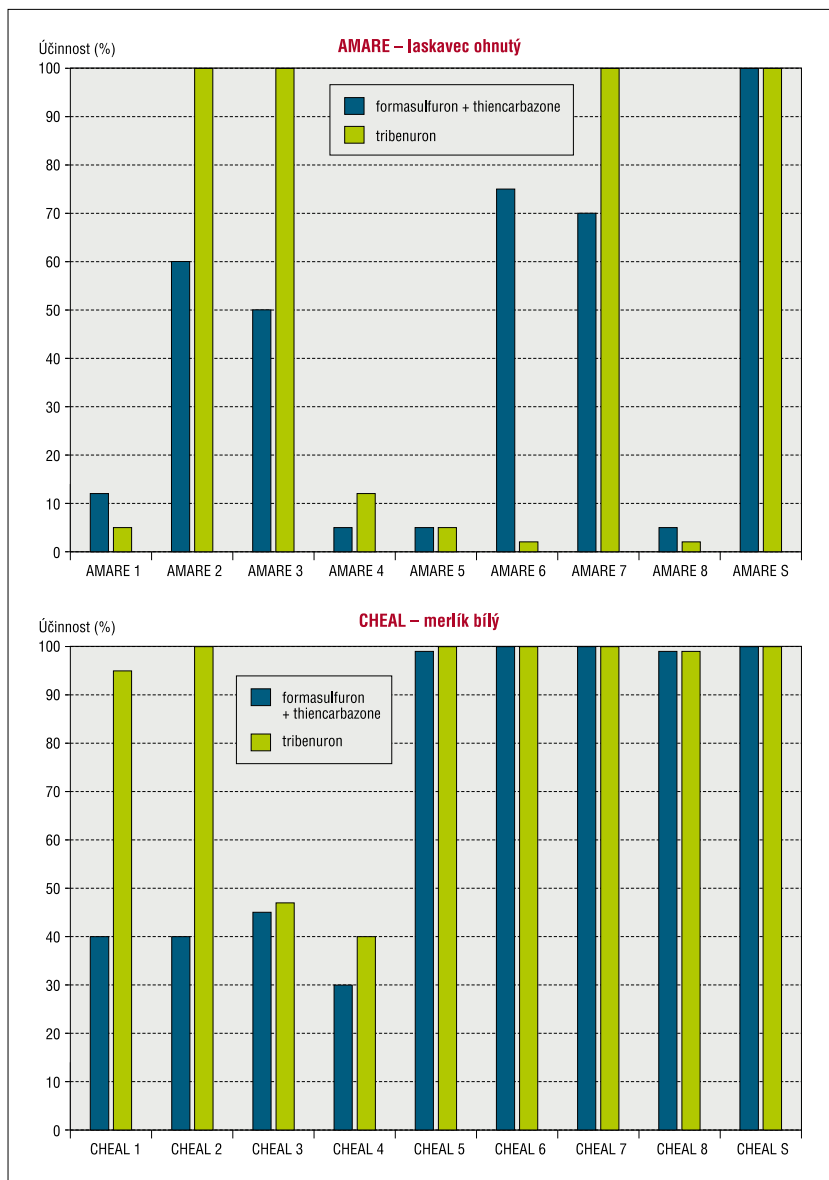
Z pohledu mechanismu herbicidní rezistence, kombinace TSR a NTSR zásadním způsobem komplikuje strategie regulace plevelů. Efektivní regulace plevelů vyžaduje tzv. proaktivní a integrovaný přístup, který je založen na preventivních opatřeních a zahrnuje pravidelné sledování výskytu plevelů, rotaci herbicidů s různým mechanismem účinku a zapojení nechemických metod či mechanické zásahy (orba, vláčení, plečkování). Použití různých metod ve vzájemné kombinaci zvyšuje účinnost ochrany a snižuje riziko vzniku další rezistence.

Závěr

Výsledky této studie ukazují, že sledované biotypy laskavce ohnutého jsou rezistentní vůči kombinaci foramsulfuron + thiencazobon-methyl a zároveň často vykazují křížovou rezistenci vůči imazamoxu a tribenuron-methylu. Mechanismus účinku se u testovaných populací laskavce ohnutého liší. U fenotypově odolnějších populací byla hlavním mechanismem substituce aminokyselin v pozici Trp-574-Leu, která snižuje citlivost cílového enzymu vůči inhibici herbicidy. U ostatních biotypů se na rezistenci podílí metabolická detoxikace. V řadě případů se však zdá, že se jedná o kombinaci obou výše uvedených mechanismů. V případě merlíku bílého nebyl zatím mechanismus herbicidní rezistence popsán, ale jeho výskyt a škodlivost se zatím z tohoto pohledu zdají být nižší.

Vzhledem k tomu, že foramsulfuron + thiencazobon-methyl je jediným registrovaným herbicidem pro selektivní ochranu HT cukrové řepy, představuje potvrzení této silné ALS-rezistence významné varování pro pěstitele využívající tento systém.

Obr. 4. Výsledky vizuálního hodnocení účinnosti u 8 populací laskavce ohnutého (AMARE) a 8 populací merlíku bílého (CHEAL), kdy u některých populací byla pozorována tzv. křížová rezistence; populace označené S jsou tzv. citlivé standardy – hodnocení bylo provedeno 30 dnů po aplikaci herbicidních přípravků, které byly aplikovány v dávce doporučené výrobcem



Pojem křížová rezistence (z angl. cross-resistance) popisuje situaci, kdy plevelný druh vykazuje rezistenci ke dvěma či více účinným látkám, které mají stejný mechanismus působení (v tomto případě inhibice enzymu acetolaktátsyntázy, skupina HRAC 2).

Přítomnost rezistentních plevelů představuje nutnost včasného zavedení integrovaného systému regulace plevelů a dalších opatření, která omezí vývoj rezistence. V současné situaci testujeme v polních podmínkách na lokalitách s potvrzeným výskytem rezistentních plevelných druhů různé varianty herbicidních ošetření, abychom pěstitelům cukrové řepy dali návod, jak v těchto situacích postupovat i v praxi (obr. 2.).

Závěrem je však ještě nutné zdůraznit, že ne vždy se musí nutně jednat o herbicidní rezistenci, ale také v některých případech dochází k aplikačním chybám nebo k pozdním aplikacím (obr. 3.). Nicméně i tyto případy mohou vést k rychlejšímu následnému rozvoji herbicidní rezistence u daného plevelného druhu.