DŮLEŽITÉ ASPEKTY HERBICIDNÍ OCHRANY

Využití HT technologií při regulaci plevelů

IMPORTANT ASPECTS OF CHEMICAL WEED CONTROL:
USAGE OF HT TECHNOLOGIES FOR WEED CONTROL

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

Vývoj a zavedení nového herbicidu stojí v současnosti stovky milionů dolarů a trvá obvykle 8–10 let, než je uveden na trh, přičemž nově vyvinutý herbicid lze použít pouze v omezeném počtu plodin, v kterých je selektivní. Taková investice se vyplatí pouze u plodin s celosvětově velkým významem (1).

Z výše uvedených důvodů se agrochemické společnosti v posledních 15 letech zaměřily na možnost použití stávajících vysoce účinných herbicidů v plodinách, ve kterých nebylo dosud možné tyto herbicidy použít z důvodu fytotoxicity. Začaly tak vznikat technologie ochrany proti plevelům založené na herbicidní toleranci (HT). U některých herbicidů, především ze skupiny ALS inhibitorů (2, 3) a inhibitorů ACCasy (4), se podařilo konvenčními šlechtitelskými postupy vytvořit hybridy slunečnice, kukuřice, řepky, atd. tolerantní k těmto herbicidům. U jiných herbicidů (*glyphosate* a *glufosinate-NH$_4$*) bylo možné vytvořit tolerantní odrůdy pouze genetickou modifikací (GM), což však brání jejich rozšíření ve státech EU, kde se dosud tyto GM technologie nesmí komerčně využívat. Široce používaná je především tolerance ke *glyphosate*, neboť touto manipulací je dnes vybaveno asi 90 % všech GM plodin (5).

Zavedení HT technologií znamenalo výrazný pokrok v regulaci plevelů především v plodinách, kde byly možnosti herbicidní ochrany omezené a regulace plevelů byla velmi obtížná. Významné uplatnění však našly tyto technologie i v plodinách, kde je možné používat široký sortiment vysoce účinných herbicidů (kukuřice).

Tab. I. Celkové plochy GM plodin ve světě (James 2007)

Pozice	Stát	Výměra (mil. ha)	GM plodiny
1	USA	57,7	sója, kukuřice, bavlna, řepka, tykev, papája, vojtěška
2	Argentina	19,1	sója, kukuřice, bavlna
3	Brazílie	15,0	sója, bavlna
4	Kanada	7,0	řepka, kukuřice, sója
5	Indie	6,2	bavlna
6	Čína	3,8	bavlna, rajčata, topol, petúnie, papája, paprika
7	Paraguay	2,6	sója
8	JAR	1,8	kukuřice, sója, bavlna
9	Uruguay	0,5	sója, kukuřice
10	Filipíny	0,3	kukuřice
11	Austrálie	0,1	bavlna
12	Španělsko	0,1	kukuřice
13	Mexiko	0,1	bavlna, sója
14	Kolumbie	<0,1	bavlna, karafiáty
15	Chile	<0,1	kukuřice, sója, řepka
16	Francie	<0,1	kukuřice
17	Honduras	<0,1	kukuřice
18	Česká republika	<0,1	kukuřice
19	Portugalsko	<0,1	kukuřice
20	Německo	<0,1	kukuřice
21	Slovensko	<0,1	kukuřice
22	Rumunsko	<0,1	kukuřice
23	Polsko	<0,1	kukuřice

GM technologie

Podle mezinárodní organizace International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAA) se GM plodiny komerčně pěstují od roku 1995 a do roku 2010 dosáhly celosvětové výměry 148 mil. ha, přičemž každoroční nárůst činí asi 10 %. V současnosti se využívají GM technologie při regulaci plevelů především u sóji, kukuřice, bavlny, řepky a cukrovky (tab. I.). Hlavním důvodem masového rozšíření těchto technologii po celém světě (vyjma Evropy) je relativní jednoduchost herbicidní ochrany, která tkví v tom, že pěstitel dosáhne vysoké účinnosti na velmi široké spektrum plevelů v širokém aplikačním termínu bez rizika poškození plodiny.

K vytvoření tolerance k herbicidům se využívá mechanismů, které jsou známé např. u rezistentních plevelů (6). Protože jsou u většiny herbicidů známé cesty metabolizace, odbourávání a detoxikace účinných látek, lze cíleně využít genů, které tyto schopnosti kódují, a vpravit je do genomu kulturní rostliny pomocí transgenóze (7). Příslušné geny jsou v přírodě běžné a jsou součástí genomu bakterií i vyšších rostlin, které jsou schopné přirozeně herbicidně aktivní sloučeniny detoxikovat. Vložením genu získá plodina vysoký stupeň tolerance k danému herbicidu a jsou téměř vyloučeny problémy s fytotoxicitou.

Protože se u GM technologií využívají převážně neselektivní nebo širokospektrální herbicidy, nejsou jiné rostliny než s genem tolerance k danému herbicidu (plevele) schopné ošetření přežít. Herbicid na ně

působí stejným způsobem jako při použití v nemodifikovaných plodinách. Způsoby založení tolerance plodiny ke *glyphosate* jsou v zásadě tři (8):
– výrazná nadprodukce terčového enzymu,
– strukturální modifikace terčového enzymu,
– produkce enzymů, které dokáží herbicid rychle detoxikovat.

Nejvýznamnějšími účinnými látkami herbicidů využívaných u GM technologií jsou původně neselektivní listové herbicidy *glyphosate* (např. Roundup Ready systém) a *glufosinate-*NH_4 (Liberty Link systém), ale často se využívá také tolerance k růstovému herbicidu *dicamba*.

Hlavní pěstitelské a environmentální přínosy GM HT technologií

Základním přínosem těchto technologií je vysoká selektivita používaných herbicidů k plodině, od čehož se odvíjí řada agronomických, ale i ekologických předností. Především se zjednoduší chemická ochrana proti plevelům, tím, že volba herbicidu je předem daná a na pěstiteli je pouze volba dávky a termínu aplikace.

Glyphosate i *glufosinate* jsou neselektivní herbicidy, tzn. že zasahují širší plevelné spektrum než většina konvenčních selektivních herbicidů. *Glufosinate* však není rozváděn cévními svazky a jeho translokace v rostlině je proto omezena, takže vykazuje horší účinnost na vytrvalé a trávovité plevele. Vzhledem ke schopnosti plodiny rychle detoxikovat obě účinné látky a známým biochemickým cestám metabolizace v rostlině je velmi nízké riziko obsahu reziduí a neznámých metabolitů v rostlinných produktech (5, 9). Rovněž v půdě dochází k velmi rychlé metabolické degradaci *glyphosate* štěpením na aminomethylfosfát (10), nedochází proto k zatížení půdy jejich rezidui, proplavení do podzemních vod, a již velmi krátce po aplikaci lze pěstovat následnou plodinu. Také celková spotřeba herbicidu (kg.ha^{-1} úč. látky) je podle zkušeností z USA u těchto technologii výrazně nižší než na konvenčních plochách: o 20 % u sóji, o 33 % u kukuřice a o 30 % u řepky (11).

V porostech HT hybridů lze potlačit příměsi jiných odrůd, výdrol předplodiny nebo plevelné řepy (důležité u cukrovky), ovšem pouze za předpokladu, že nejsou k danému herbicidu rovněž tolerantní.

Využívání *glyphosate* tolerantních technologií je obvykle úzce spojeno s minimalizací zpracování půdy, neboť vytrvalé plevele jsou *glyphosete* dobře potlačovány a vyšší podíl posklizňových zbytků na povrchu půdy nesnižuje jeho účinnost (12). Především technologie využívající přímého setí do nezpracované půdy se budou v souvislosti s přísnějšími protierozními opatřeními (GAEC 2) do budoucna více uplatňovat, přičemž tento trend je celosvětově již patrný (5).

Někteří autoři poukazují také na mnohé další environmentální přínosy GM HT technologií, především snížení emisí CO_2, které v roce 2005 činilo tolik, kolik vyprodukuje 4 mil. osobních aut (13).

Agroekologické problémy při používání GM HT technologií

GM HT technologie mají také své slabé stránky, které mohou při jejich nesprávném požití způsobit pěstiteli či v prostředí problémy (14).

Přenos (introgrese) genu

Jedná se o vstup specifické genetické informace, která je pro daný organismus cizí, do jeho genomu. Na rozdíl od transgenóze k ní dochází přirozenou cestou – křížením. Např. některé geny typické pro kulturní rostliny jsou nalézány v populacích planě rostoucích příbuzných rostlin. K introgresi genu může tedy dojít při křížení mezi plevelem a plodinou (15, 16). Riziko mezidruhového křížení s příbuznými plevely je však z praktického hlediska zanedbatelné. Pouze u blízce příbuzných planě rostoucích nebo zplanělých druhů je míra tohoto rizika vyšší. Přesto lze plodiny rozdělit podle míry rizika přenosu genu rezistence na planě rostoucí druhy do tří kategorii:
– minimální riziko – brambory, rajčata, pšenice, kukuřice, luskoviny,
– nízké riziko – řepka, ječmen, len, maliník,
– vysoké riziko – cukrovka, pícní trávy.

Výměna genu mezi transgenní plodinou a příbuznými druhy je mimo sexuální kompatibility obou druhů ovlivněna také jejich opylovací vzdáleností, z čehož vyplývají izolační vzdálenosti mezi GM a konvenčními odrůdami, které jsou vyžadovány při pěstování GM plodin (17). Např. pylem řepky mohou být opyleny některé příbuzné brukvovité druhy (18, 19), především úzce příbuzný druh *Brassica rapa*. Naopak křížitelnost s ostatními druhy (*B. juncea* a *Raphanus raphanistrum, Hirschfeldia incana, Diplotaxis tenuifoila* a *Sinapis arvensis*) je jen velmi omezená (20). Úspěšnost mezidruhového křížení mezi výše uvedenými druhy je ovlivněna také mnoha faktory prostředí, jako je hustota a prostorové distribuce rodičovských druhů. Také fitness a reprodukční schopnost F1 a F2 generace významně kolísá v závislosti na rodičovských druzích, jejich genotypu a hustotě jejich populací (21). U kukuřice je tok genů na konvenční porosty sice možný, ale jeho význam je z praktického hlediska poměrně malý, neboť F2 generaci nelze obvykle použít jako osivo a výdrol kukuřice nebývá výraznějším problémem. Naopak největší možnost přenosu genu je mezi cukrovou řepou a tzv. řepou plevelnou (22, 23). Přenos pylu v místech množení řepy (Středozemí) je o to větší, že se zde mimo u nás běžných forem plevelné řepy vyskytuje i původní druh (*Beta vulgaris*. ssp. *maritima*), který je hojný nejen v agrofytocenozách, ale i v přirozených okolních ekosystémech. Protože vzniklí kříženci jsou obvykle jednoletí, hrozí jejich masivní reprodukce a tvorba bohaté půdní zásoby semen, které mohou v půdě setrvávat několik let. Zamezení nežádoucímu opylení semenářských porostu řepy je proto velmi důležité a je mu proto třeba věnovat velkou pozornost (24).

Pouhá přítomnost genu HT v genomu planě rostoucích rostlin by však sama o sobě neměla znamenat environmentální problémy. Stále se totiž nepodařilo prokázat, že GM znak kódující HT zásadním způsobem ovlivňuje vlastnosti populací planě rostoucích rostlin. Na rozdíl od ostatních GM (např. odolnost k suchu, rezistence k chorobám a škůdcům) se totiž tolerance k herbicidům neuplatňuje jako selekční výhoda v přirozených ekosystémech, kde nejsou herbicidy používány (21). Navíc mechanizmus HT může v některých případech způsobovat snížení fitness rostliny, což se negativně projevuje na konkurenční a reprodukční schopnosti (25). Nebezpečí přenosu genu HT na planě rostoucí rostliny je proto relevantní pouze na místech, kde se předpokládá používání herbicidů (agroekosystémy, železnice, průmyslové a obytné zóny, atd.).

Je také třeba vzít v úvahu také to, že může dojít k přenosu pylu z porostu transgenní plodiny na plodinu pěstovanou ekologickým způsobem, sklízený produkt by následkem zkřížení obsahoval transgen a nemohl by být tedy deklarován jako produkt ekologického zemědělství, čímž by pěstiteli mohla vzniknout ekonomická škoda.

Ovlivnění plevelných společenstev

Dlouhodobé používání stejných účinných látek vede k posuvu ve prospěch odolnějších plevelných druhů (26). Přestože herbicidy obsahující účinnou látku *glyphosate* pokrývají velmi široké spektrum plevelů, existují významné rozdíly v citlivosti plevelů (27). Laskavce, pěťoury, penízek rolní atd. jsou velmi citlivé a jsou proto potlačovány již v nízkých dávkách herbicidu (často nižší než 1 $l.ha^{-1}$). Pcháč rolní, kakosty, violky atd., ve vyšších růstových fázích také ježatka kuří noha a merlíky, však nemusí být dokonale potlačeny ani dávkou herbicidu 3 $l.ha^{-1}$ (28). Velmi odolný ke *glyphosate* je svlačec rolní (29) a např. přeslička je ke *glyphosate* tolerantní zcela. Určitým selekčním faktorem může být také minimální reziduální působení g*lyphosate* i *glufosinate* na nově vzcházející plevele, které může vést k sekundárnímu zaplevelení, především řidších a mezerovitých porostů a plevelnými druhy vzcházejícími v průběhu celé vegetace (bažanka roční, durman obecný, pěťoury atd.). Dalším potenciálním problémem masového a neustále opakovaného používání těchto herbicidů může být vývoj rezistentních populací plevelů, podobně jako se tomu děje u jiných herbicidů (6). V Evropě byly dosud zjištěny rezistentní populace ke *glyphosate* pouze u čtyř plevelných druhů (30), a to především v trvalých kulturách (sady a vinice) a na nezemědělské půdě, kde byl *glyphosate* aplikován dlouhodobě a jako jediný herbicid. Potenciálně lze předpokládat problémy s rezistentními populacemi především u turanky kanadské a jílků i v ČR (21).

To vše nevyhnutelně vede k selekci rezistentních či odolných plevelných biotypů, které jsou tím úspěšnější, k čím více herbicidním skupinám vykazuji odolnost, resp. rezistenci (31). Tento proces probíhá poměrně rychle, především v takových osevních sledech, ve kterých jsou HT plodiny řazeny nevhodným způsobem (monokulturní pěstování, či používání stejných HT technologii ve více plodinách). Mezi plevele, které se nejlépe přizpůsobily GM HT technologiím, patří i tři druhy, které jsou v Evropě hospodářsky velmi významné – merlík bílý, svlačec rolní a mračňák Theophrastův (32). To že, se tyto plevele nejlépe přizpůsobily GM HT technologiím, souvisí nejen s jejích odolností k účinným látkám g*lyphosate* i *glufosinate,* ale také přizpůsobivostí k minimalizačním technologiím zakládaní porostů, které s GM HT technologiemi úzce souvisí (21).

Výdrol

Výdrol GM HT plodin ze sklizňových ztrát musí být v následných plodinách potlačen mechanicky nebo herbicidy s jiným mechanizmem účinku, než vůči němuž byla vyvinuta tolerance. Plodiny s dlouhou primární dormancí a perzistencí v půdě jsou s hlediska regulace výdrolu v následných plodinách nejvíce problematické. Dlouhou perzistenci v půdě vykazují především semena olejnin (řepka, slunečnice), která si mohou udržet v půdě životnost i více než 10 let (33, 34, 35). Nicméně rozdíly v délce perzistence semen v půdě mezi konvenčními a HT odrůdami řepky nebyly nalezeny (35).

Regulace výdrolu olejnin je relativně snadná a levná v porostech obilnin, naopak v porostech brambor, cukrovky a sóji je výdrol olejnin potlačován hůře. V případě zařazení několika plodin s tolerancí ke stejnému herbicidu do osevního sledu vyvstává problém regulace výdrolu HT předplodin (36), čemuž lze do jisté míry čelit vhodným střídáním HT technologií a konvenčních odrůd v osevním sledu. Velmi důležitá jsou také preventivní opatření, která omezí sklizňové ztráty a vhodné ošetření strniště. Např. u řepky se doporučuje delší časový odstup mezi sklizní a následným zpracováním půdy (37), aby mohl výdrol vzejít a následně byl zničen zpracováním půdy či vhodným herbicidním ošetřením v následné plodině (21).

Regulace plevelů s využitím HT hybridů v plodinách

Kukuřice

Nejčastěji bývá do kukuřice uměle vkládán gen rezistence vůči *glyphosate* (obr. 1.). Vzhledem k tomu, že *glyphosate* nevykazuje téměř žádné reziduální působení a po jeho aplikaci proto mohou vzcházet nové plevele, používají se tyto herbicidy obvykle v TM kombinaci s reziduálním herbicidem (např. acetochlor, terbuthylazin, metolachlor atd.), který omezí vzcházení nových plevelů a působí také jako antirezistentní agent. Možná je také dělená aplikace herbicidu Roundup (např. 2–3 + 2–3 $l.ha^{-1}$), která zajistí udržení bezplevelného stavu do uzavření porostu, přičemž nově vzešlé plevele se již nedokážou v dobře zapojeném porostu prosadit. Dewar et al. (38) porovnával v téměř 300 pokusech účinnost konvenčních herbicidů a Roundup Ready technologii (2 + 2 $l.ha^{-1}$). Výsledky prokázaly jednoznačně vyšší účinnost (o 15 %) Roundup Ready systému na jednoleté trávovité plevele, účinnost na jednoleté dvouděložné plevele byla u obou testovaných systémů srovnatelná.

Další HT technologie využívaná k regulaci plevelů v kukuřici je tzv. DUO systém. Na rozdíl od předchozí technologie je u nás již registrována a je možné ji tedy využívat. Tato technologie je založena na hybridech přirozeně tolerantních k účinné látce *cycloxydim* obsažené v herbicidu Focus Ultra či Stratos Ultra. Své uplatnění nachází především na pozemcích velmi intenzivně zaplevelených plevelnými trávami, které často vzchází etapovitě (především za sucha), či na pozemcích zaplevelených troskutem prstnatým (odolný k sulfonylmočovinám). Proti pýru je vhodné aplikovat tyto přípravky se smáčedlem (Trend).

Existují také hybridy kukuřice přirozeně tolerantní k imidazolinovým herbicidům (ClearField®).

Cukrovka

Regulace plevelů v konvenčních porostech cukrovky je poměrně nákladná (náklady na herbicidy tvoří až 15 % tržeb z produkce řepy), většina plevelů je herbicidy úspěšně potlačována pouze v raných růstových fázích, k zasažení širšího spektra plevelů je třeba používat kombinace několika účinných látek v několika termínech a za nepříznivých povětrnostních podmínek (vysoké teploty a intenzita slunečního záření) mohou tyto herbicidy způsobovat poškození cukrovky (39).

Uplatnění HT technologií by proto mohlo znamenat výrazné zjednodušení regulace plevelů v této plodině, kdy především volba termínů herbicidního ošetření je velmi flexibilní (účinnost těchto herbicidů není zásadním způsobem ovlivněna růstovou

fází plevelů). Nezanedbatelnou výhodou HT technologií je vysoká selektivita k plodině, neboť právě poškození plodiny konvenčními herbicidy bývá velmi časté (40). V neposlední řadě je výhodné také porovnání nákladů na ochranu proti plevelům, a to zejména pokud se na pozemku vyskytují problematické plevele (pýr plazivý, pcháč rolní, svlačec rolní, výdrol brambor, mračňák Theophrastův atd.), které konvenční regulaci plevelů prodražují (41). HT technologie mohou také pomoci s řešením problémů regulace plevelné řepy (obr. 2.), na druhou stranu právě plevelná řepa představuje určité riziko přenosu genu (viz kapitola Přenos genu).

Přes všechny výše uvedené přínosy se GM HT technologie (Roundup Ready) komerčně využívá pouze v USA, kde tvoří více než 90 % ploch cukrové řepy (42). Přestože také u Roundup Ready cukrovky lze použít velmi široké aplikační okno, je vhodné s ošetřením příliš nevyčkávat, neboť plevele mohou působit silnou konkurenci, především v suchých podmínkách (43). První ošetření je proto vhodné provést v době, kdy plevele mají vytvořeny čtyři pravé listy. Obvykle se používá systém dvou ošetření glyphosate (44) v termínech T2 a T3.

Řepka

Pěstování HT hybridů řepky je velmi rozšířené především v jihozápadní Kanadě (přes 90 % plochy řepky v Kanadě). Pěstuje se zde převážně HT hybridní jarní řepka tolerantní k účinným látkám *glyphosate*, *glufosinate* a imidazolinovým herbicidům. Hybridy řepky odolné k imidazolinovým herbicidům (ClearField®) však nejsou GM a s jejich uplatněním v podmínkách EU i ČR lze v nejbližších letech počítat.

Pěstování HT hybridů jarní řepky v Kanadě je směřováno především na pozemky, které jsou intenzivně zaplevelené odolnými plevely a řepka zde plní funkci odplevelovací plodiny. Přesto časté řazení HT řepky v osevním sledu, může vést v kombinaci s minimalizací zpracování půdy a převažujícími velmi suchými podmínkami tamních prérií k výrazným změnám v plevelných společenstvech těchto pozemků (45).

Slunečnice

Nejpoužívanější HT technologií u slunečnice je ClearField®, která využívá odolnosti vyšlechtěných hybridů k imidazolinovým herbicidům (2, 46). U nás nebyl dosud zatím žádný „IMI“ hybrid slunečnice zaregistrován, ale je možné použít čtyři hybridy ze Společného evropského katalogu (Florimis, Primis, Sikllos a Neoma). Problém však je, že za tímto účelem není dosud v České republice registrován žádný herbicid (registrace se však připravují). Pro dosažení vysoké účinnosti herbicidů obsahujících účinnou látku *imazamox* (např. Pulsar) na široké spektrum

Obr. 1. Ošetření Roundup Ready kukuřice

Obr. 2. HT technologií je možné selektivně herbicidně regulovat plevelnou řepu

Obr. 3. Porost ClearField slunečnice po aplikaci imidazolinového herbicidu

plevelů je vhodné provést ošetření na plevele v raných růstových fázích (obr. 3.), nejlépe tzv. dělenou aplikaci (0,6 + 0,6 $l.ha^{-1}$ herbicidu Pulsar).

Vedle ClearField technologie existují i hybridy slunečnice s přirozenou tolerancí k jiným ALS inhibitorům, především sulfonylmočovinám. V Evropě je hojně používaná např. Express® technologie, jež využívá odolnosti vyšlechtěných hybridů k účinné látce *tribenuron*. Také k této technologii není v ČR dosud registrován žádný hybrid, lze však použít dva hybridy ze Společného evropského katalogu (PR63E82 a PR64A31).

Sója

Sója patří k plodinám, u nichž je genetická manipulace za účelem rezistence k účinné látce *glyphosat*e velmi hojně využívána. Přes 90 % světové produkce sóji je GM. Největší světoví producenti, kterými jsou USA a Brazílie, používají téměř výhradně těchto technologií. Hlavními příčinami velmi rychlého a masivního přechodu ke GM technologiím (mimo EU) bylo to, že konvenčními herbicidy lze velmi obtížné potlačit často velmi široké plevelné spektrum v sóji, navíc účinnost těchto herbicidů s rostoucí růstovou fází plevelů rychle klesá a selektivita může být výrazně snížena za nevhodných povětrnostních a půdních podmínek. Podle Brookese (47) je proto u Roundup Ready sóji dosahováno o 33 % vyšších výnosů při vyšší čistotě sklizeného semene oproti konvenčním plochám.

Přestože je podobně jako u kukuřice dosahováno nejlepší účinnosti po dělené aplikaci herbicidu Roundup (3 + 3 $l.ha^{-1}$), eventuelně TM kombinace s půdními herbicidy, objevily se s nárůstem takto ošetřovaných ploch sóji určité nedostatky, které se projevují především v nedostatečné účinnosti na některé plevele jako např. *Cyperus esculentus* a *Amaranthus tuberculatus* (45), což vedlo k vývoji GM tolerance k růstovému herbicidu *dicamba*. Dvojitá GM HT je proto dnes u sóji poměrně častá.

Tato práce vznikla za podpory projektu MSM 6046070901 a NAZV QH 91093.

Souhrn

Zavedení HT technologii znamenalo výrazný pokrok v regulaci plevelů především v plodinách, kde byly možnosti herbicidní ochrany omezené a regulace plevelů byla velmi obtížná. U některých herbicidů, především ze skupiny ALS inhibitorů a inhibitorů ACCasy, se podařilo konvenčními šlechtitelskými postupy vytvořit hybridy s herbicidní tolerancí (HT). U *glyphosate* a *glufosinate-NH_4* bylo možné vytvořit tolerantní odrůdy pouze genetickou modifikací (GM). V současnosti se využívají GM technologie při regulaci plevelů především u sóji, kukuřice, bavlny, řepky a cukrovky. Základním přínosem HT technologií je vysoká selektivita používaných herbicidů k plodině, od čehož se odvíjí řada agronomických, ale i ekologických předností. Především se zjednodušení chemické ochrany proti plevelům, tím že volba herbicidu je předem daná a na pěstiteli je pouze volba dávky a termínu aplikace. Při používání HT technologii je třeba počítat i s určitými agroekologickými riziky. Jde především o možnost přenosu genu rezistence na jiné (příbuzné) rostlinné druhy, či podruhy. Dlouhodobým monotoním používáním jednoho herbicidu (*glyphosate*) může dojít k výraznému posunu ve spektru plevelů ve prospěch odolných druhů, případně k vytvoření rezistence. Problematičtější může být také regulace výdrolu HT plodin.

Klíčová slova: genetické modifikace (GM), biotechnologie, herbicidní regulace plevelů, HT technologie, glyphosate.

Literatura

1. Jursík, M.; Soukup, J.; Holec, J.: Mechanizmy účinku herbicidů a projevy jejich působení na rostliny: Úvod do problematiky mechanizmu působení herbicidů. *Listy cukrov. řepař.*, 126, 2010 (1), s. 14–16.
2. Tan, S. Y. et al.: Imidazolinone-tolerant crop: History, current status and future. *Pest Management Sci.*, 61, 2005 (3), s. 264–257.
3. Jursík, M. et al.: Mechanizmy účinku herbicidů a projevy jejich působení na rostliny: Inhibitory acetolaktát syntázy (ALS inhibitory). *Listy cukrov. řepař.*, 126, 2010 (11), s. 376–379.
4. Jursík, M. et al.: Mechanizmy účinku herbicidů a projevy jejich působení na rostliny: Inhibitory biosyntézy lipidů – Inhibitory ACCasy (listové graminicidy). *Listy cukrov. řepař.*, 126, 2010 (12), s. 445–448.
5. Duke, S. O.; Powles, S. B.: Glyphosate: a one-in-a-century herbicide. *Pest Management Sci.*, 64, 2008 (4), s. 319–325.
6. Jursík, M. et al.: Důležité aspekty herbicidní ochrany – Rezistence plevelů vůči herbicidům a problémy s rezistentními populacemi v ČR. *Listy cukrov. řepař.*, 127, 2011 (4), s. 123–129.
7. Gressel, J.: *Molecular Biology of Weed Control.* Taylor & Francis, London, 2002.
8. Jursík, M. et al.: Mechanizmy účinku herbicidů a projevy jejich působení na rostliny: Inhibitory biosyntézy aminokyselin. *Listy cukrov. řepař.*, 126, 2010 (7/8), s. 250–253.
9. Giesy, J. P.; Dobson, S.; Solomon, K. R.: Ecotoxicological risk assessment for Roundup® herbicide. *Environmental Contaminaion and Toxicology*, 167, 2000, s. 35–120.
10. Wells, S.: Deevelopment of glyphosate tolerant crop into the market. In *Brighton Crop Protection Conference– Weeds*, 1995, s. 787–790.
11. Kleter, G. A. et al.: Altered pesticide use on transgenic crops and the associated general impact from an environmental perspective. *Pest Management Sci.*, 63, 2007 (11), s. 1107–1115.
12. Dill, G. M.; Cajacob, C. A.; Padgette, S. R.: Glyphosate resistant crops: adoption, use and future consideration. *Pesticide Management Sci.*, 64, 2008, s. 326–331.
13. Brookes, G.; Barfoot, P.: Global impact of biotech crops; socio-economic and environmental effects in the first ten years commercial use. *Journal of Agrobiotechnology Management & Economic*, 9, 2006, s. 139–151.
14. Baylis, A. D.: Why glyphosate is a global herbicide: strengths, weaknesses and prospects. *Pesticide Management Sci.*, 56, 2000, s. 299–308.
15. Ellstrand, N. C.: *Dangerous liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives.* Baltimore: The Johns Hopkins University Press, 2003.
16. Gressel, J. (ed): Crop ferality and volunteerism. London: CRC Press, 2005.
17. Hoyle, M.; Cresswell, J. E.: The effect of wind direction on cross-pollination in wind-pollinated GM crops. *Ecological Applications*, 17, 2007 (4), s. 1234–1243.
18. Jørgensen, R. B. et al.: Introgression of crop genes from oilseed rape (*Brassica napus*) to related wild species – an avenue for the escape of engineered genes. *Acta Horticulturae*, 459, 1998, s. 211–217.
19. Norris, C. et al.: Implications for hybridization and introgression between oilseed rape (*Brassica napus*) and wild turnip (*B. rapa*) from an agricultural perspective. In den Nijs, H. C. M.; Bartsch, D.; Sweet, J. (eds).: *Introgression from genetically modified plants into wild relatives.* Wallingford: CABI, 2004.
20. Devos, Y.; De Schrijver, A.; Reheul, D.: Quantifying the introgressive hybridisation propensity between transgenic oilseed rape and its wild/weedy relatives. *Environmental Monitoring and Assessment*, 149, 2009, s. 303–322.
21. Soukup, J. et al.: Environmental and Agronomic monitoring of adverse effects due to cultivation of genetically modified herbicide tolerant crops. *Journal of Consumer Protection and Food Safety*, 6, 2011 (1), s. 125–130.

22. Bartsch, D. et al.: Environmental implications of gene flow from sugar beet to wild beet – current status and future research needs. *Environment Biosafety Reserch*, 2, 2003, s. 105–115.
23. Darmency, H. et al.: Transgene escape in sugar beet production fields: data from six years farm scale monitoring. *Environment Biosafety Reserch*, 6, 2007, s. 197–206.
24. Desplanque, B.; Hautekéete, N.; Van Dijk, H.: Transgenic weed beets: possible, probable, avoidable? *Journal of Applied Ecology*, 39, 2002, s. 561–571.
25. Vila-Aiub, M. M.; Neve, P.; Powles, S. B.: Fitness costs associated with evolved herbicide resistance alleles in plants. *New Phytologist*, 184, 2009, s. 751–767.
26. Pallut, B.: Langzeitwirkungen reduzierter Herbizidanwengung und Stickstoffdüngung auf Populationsdynamik und Konkurrenz von Unkräutern im Getreide. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2002 (Spec. Issue 18), s. 293-304.
27. Hoss, N. E. et al.: Efficacy of glyphosate, glufosinate, and imazethapyr on selected weed species. *Weed Sci.*, 51, 2003, s. 110–117.
28. Soukup, J. et al.: Differences in sensitivity to glyphosate among weed species – implication for weed control in HT maize. *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2008 (Spec. Issue 21), s. 51–56.
29. DeGennaro, F. P.; Weller, S. C.: Differential susceptibility of Field bindweed (*Convolvulus arvensis*) biotypes to glyphosate. *Weed Science*, 32, 1984, s. 472–476.
30. Heap, I.: *International survey of herbicide resistant weeds.* [online] http://www.weedscience.org, 2010.
31. Owen, M. D. K.: Weed species shifts in glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, 64, 2008, s. 377–387.
32. Nandula, V. K. et al.: Glyphosate-resistant weeds: current status and future outlook. In *Outlook Pest. Management*, 2005, s. 183–187.
33. Pekrun, C.; Potter, T. C.; Lutman, P. J. W.: Genotypic variation in the development of secondary dormancy in oilseed rape and its impact on the persistence of volunteer rape. In *Brighton Crop Protection Conference*, 1997, s. 243–248.
34. Holec, J.; Soukup, J.; Kohout, V.: Secondary dormancy in sunflower and its variation between cultivars. In *12th EWRS symposium*, Wageningen, 2002, s. 362–363.
35. Lutman, P. J. W. et al.: Persistence of seeds from crops of conventional and herbicide tolerant oilseed rape (*Brassica napus*). *Proceedings of the Royal Society B-Biological Science*, 272, 2005 (1575), s. 1909–1915.
36. Senior, I. J.; Moyes, C.; Dale, P. J.: Herbicide sensitivity of transgenic multiple herbicide-tolerant oilseed rape. *Pest Management Sci.*, 58, 2002, s. 405–412.
37. Gruber, S.; Pekrun, C.; Claupein, W.: Population dynamics of volunteer oilseed rape (*Brassica napus* L.) affected by tillage. *European Journal of Agronomy*, 20, 2004 (4), s. 351–361.
38. Dewar, A. M.: Weed control in glyphosate-tolerant maize in Europe. *Pest management Sci.*, 65, 2009 (10), s. 1047–1058.
39. Tenning, P.: Transgenic herbicide tolerant sugar beet-present status and future developments. *Aspects of Applied Biology*, 52, 1998, s. 273–278.
40. Butner, G.; Beibner, L.; Harms, H.: Tolerance to selective and non selective herbicides in conventional and genetically modified sugar beet. In *61st IIRB Congress*, 1998, s. 333–337.
41. Brants, I.; Harms, H.: Herbicide tolerant sugar beet. In *61st IIRB Congress*, 1998, s. 195–204.
42. Dillen, K.; Demont, M.; Tollens, E.: Potential economic impact of GM sugar beet in the global sugar sector. *Int. Sugar Journal*, 111, 2009 (1330), s. 638–643.
43. Jursík, M. et al.: Konkurenční schopnost plevelů v porostu cukrovky. *Listy cukrov. řepař.*, 119, 2003, s. 230–233.
44. May, M. J.; Champion, G. T.; Qi, A.: Novel weed management options in GM herbicide tolerant sugar beet. *Int. Sugar Journal*, 105, 2003 (1255), s. 322–329.
45. Kirkwood, R. C.: Herbicide-Tolerant Crop. In Naylor, R. E. L.: *Weed Management Handbook.* British Crop Protection Council, Blackwell Science, Oxford, 2002.
46. Pfenning, M.; Palfay, G.; Guillet, T.: The CLEARFIELD® technology-A new broad-spectrum post-emergence weed control system for European sunflower growers, *Journal of Plant Diseases and Protection*, 2008 (Spec. Issue 21), s. 649–653.
47. Brookes, G.: *The farm level impact of using Roundup Ready soybeans in Romania.* [online] http://www.pgeconimics.co.uk/romania_soybeans.htm., 2003.
48. James, C.: *Global Stastus of Commercialized Biotech/GM Crops.* ISAAA, Ithaca, 2007.

Jursík M., Soukup J., Holec J.: Important Aspects of Chemical Weed Control: Usage of HT Technologies for Weed Control

Adoption of HT crops can mean easier weed management especially in those crop stands where chemical weed control can be limited and weed management complicated. In the case of selected herbicides (ALS and ACC-ase inhibitors), methods of conventional breeding were used to get hybrids showing herbicide tolerance. In breeding *glyphosate* and *glufosinate-NH_4* tolerant varieties, genetic modification – transgenosis was used. Recently, GM technologies are widely used in weed management in soybean, maize, cotton, oilseed rape, and sugar beet stands. Basic advantage of HT technology is in its high selectivity to crop species, which has many agronomical but also ecological positives. First of all, chemical weed management is easier as the herbicide selection is already done and the grower has to choose the dose and term of application only. Agro-ecological risks have to be taken into account – especially in the case of introgression of resistance-genes into related species or forms. Long-term use of only one herbicide can lead to a significant shift in weed species spectrum when tolerant species become more abundant and/or resistance may occur. Also management of HT volunteers can be problematic.

Key words: genetic modification (GM), biotechnology, herbicide weed control, HT technologies, glyphosate.

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 Suchdol, Česká republika, e-mail: jursik@af.czu.cz

ROZHLEDY

Pulsfort P.

Mobilní pračka cukrovky *(Mobile Waschanlage für Zuckerrüben)*

Firma Apullma vyvinula mobilní pračku řepy, která přímo na poli odstraní nečistoty a kamení, což je zvláště výhodné, pokud je cukrovka přímou surovinou pro výrobu bioplynu. Výkon zařízení je 60–70 $t.h^{-1}$, spotřeba energie 40 kW, hmotnost do 15 t. Celý robustní mobilní agregát se skládá ze zásobníku, mechanického předčištění, bubnové pračky, separátorů kamení a nečistot, vynášení vyprané řepy. Spotřeba vody – je uvedena pouze obecná informace: závisí na stupni znečištění cukrovky.

Zuckerrübenzeitung, 47, 2011, č.3, s. 20.

Číž