

Herbicidní rezistence: vývoj, prevence a management



syngenta®

Herbicidní rezistence: vývoj, prevence a management

Informační brožura vznikla v rámci dlouholetého společného výzkumného projektu mezi společnostmi Syngenta a katedrou agroekologie a rostlinné produkce na ČZU v Praze zaměřeného na herbicidní rezistenci.

Autorský kolektiv:

Ing. Kateřina Hamouzová, Ph.D.

Ing. Pavlína Košnarová, Ph.D.

Prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Obsah

Příjem a hlavní mechanismy účinku herbicidů	5
Jak se dostane herbicid do rostlinných buněk?	5
Transport herbicidu v rostlině.	6
Mechanismus účinku herbicidů	7
Klasifikace nejpoužívanějších herbicidů podle hlavních mechanismů účinku a rizika vzniku rezistence	8
Selhání účinku - odolnost plevelu, aplikační chyba, nebo rezistence?	10
Důvody vzniku herbicidní rezistence a její postupná evoluce v populaci	12
Herbicidní rezistence v ČR	14
Hlavní rezistentní plevelu v ozimých a jarních plodinách	18
Trávovité plevelu	
Chundelka metlice	18
Sveřep jalový	19
Psárka polní	20
Dvouděložné plevelu	20
Plevelu škodící v jarních širokořádkových plodinách	
– laskavec ohnutý a merlík bílý	21
Plevelu škodící v ozimých plodinách	
– mák vlčí a heřmánkovec přímořský.	21
Odběr vzorku v případě podezření na rezistenci a metody testování	22
Sběr vzorků na pozemku	22
Zaznamenávaná data	22
Metody testování rezistence	24
Posouzení citlivosti populace k herbicidům prostřednictvím růstových esejí	24
Metoda agarových kultur - RISQ test	27
Hodnocení rizika vzniku rezistence a její prevence v podniku (JS)	30
Rizika jednotlivých herbicidních skupin	30
Rizika rezistence založené vlastnostmi plevelů	32
Modifikátory rizika	32
Použití přípravků Syngenta v antirezistentních strategiích	31

Příjem a hlavní mechanismy účinku herbicidů

Znalost hlavních principů příjmu, translokace a mechanismů účinku herbicidů je důležitá nejen pro dosažení jejich vysoké účinnosti v polních podmínkách, ale také z pohledu posouzení příčin, které mohly vést k selhání herbicidu, které nemusí být vždy způsobeno rezistencí plevelů.

Vzhledem k tomu, že mají molekuly herbicidů často rozdílné fyzikálně-chemické vlastnosti, je jejich transport na místo účinku ovlivňován celou řadou faktorů prostředí i specifickými vlastnostmi samotné plevelné rostliny, které se mění i v průběhu jejího vývoje. Navíc všechny účinné látky herbicidů, jakmile se dostanou do prostředí nebo do rostlinných buněk, začnou podléhat degradačním procesům a jejich koncentrace se postupně snižuje. Komplexní působení těchto vlivů má ve svém důsledku za následek rozdílnou účinnost herbicidů v různých podmínkách prostředí, rozdíly v citlivosti jednotlivých plevelů, ale souhra nepříznivých faktorů může mít za následek i vznik rezistence.

Jak se dostane herbicid do rostlinných buněk?

Podle růstové fáze plevelu v době aplikace se může herbicid do rostliny dostat třemi způsoby:

Kořenový příjem je typický pro herbicidy aplikované preemergentně, které působí v půdě již v době klíčení a vzcházení plevelů. Kořenový příjem se odehrává pasivně, na základě koncentračního spádu mezi půdním prostředím a buňkami kořene. Hlavní roli z pohledu příjmu má kořenové vlášení, které má velkou aktivní plochu a zprostředkovává kontakt s půdou. Pro kořenový příjem i další transport herbicidu je důležitá dostatečná půdní vlhkost, která zvyšuje množství dostupného herbicidu v půdním roztoku. Na chování herbicidu v půdě a jeho příjem má však vliv i celá řada dalších půdních vlastností, především sorpční kapacita půdy, pH a zrnitostní složení. Na pozemcích s extrémními půdními vlastnostmi bývá proto používání půdních herbicidů problematické. Pro dostatečnou celoplošnou koncentraci herbicidu v zóně příjmu je důležité, aby se aplikací vytvořil rovnoměrný film. Tomu někdy brání hroudy, rostlinné zbytky, neupravený povrch pozemku, či vydatnější srážky působící smyv či infiltraci herbicidu. Transport přijatého herbicidu je velmi rychlý, je zprostředkováván transpiračním proudem a herbicid se prakticky okamžitě dostává do všech vegetujících částí rostliny. Rizikem reziduálních herbicidů z pohledu rozvoje rezistence je, že vystavují populaci dlouhodobějším selekčním tlaku (neumožňují pozdější vzejít citlivých biotypů v populaci) a při postupném snižování koncentrace v půdě vzcházejí jen biotypy odolnější.

Listový příjem převažuje u postemergentně aplikovaných herbicidů. Výhodou listového příjmu je vyloučení negativních vlivů půdního prostředí, ale aplikace musí být uskutečněna v určitém, často velmi krátkém rozmezí růstových fází plevelů a za příznivého počasí. Anatomické struktury listu jsou tvořeny pletivy a mezibuněčnými prostory s vrstvami různého složení, které vytvářejí bariéry pro příjem i transport herbicidu. Právě změny v povrchových strukturách a transportním systémem bývají častou příčinou rezistence z důvodu sníženého příjmu a translokace. Listový příjem bývá pomalejší a ne vždy je transport látky systemický. Z pohledu příjmu listem bývají limitujícími faktory rovnoměrnost depozice přípravku na rostlině, smáčivost, rychlost vysychání kapky a krystalizace účinné látky, dostatečný čas na proniknutí herbicidu do rostliny před deštěm a také fyziologická aktivita rostliny důležitá pro transport.

Kombinovaný příjem je typický u časně postemergentně aplikovaných herbicidů. Kombinací kořenového a listového příjmu je možné zasáhnout jak vzešlé rostliny, tak klíčící semena v půdě, avšak platí to pouze pro perzistentnější účinné látky. Látky, které mohou být přijímány kořeny i listy, mají tu výhodu, že jsou schopné pokrýt účinkem druhu, které vzcházejí etapovitě, jako tomu bývá u teplomilných jednoletých jarních plevelů, např. v kukuřici. Kořenového a listového příjmu může být u herbicidu dosaženo i kombinací dvou účinných látek, z nichž jedna má převážně půdní a druhá listový příjem. Používání kombinací dvou a více látek s různým mechanismem účinku je výhodné jak z pohledu příjmu herbicidu, tak i z pohledu antirezistentní strategie.

Transport herbicidu v rostlině

Transport herbicidů probíhá u půdních herbicidů prostřednictvím xylému spolu s kapilárním proudem k nejmladším vegetujícím pletivům a je vždy systemický. Přestup herbicidů z kořenového vlášení do vodivých pletiv v centrálním válci je rychlý, probíhá přes buňky i mezibuněčnými prostory. Případy rezistence z důvodu omezené translokace xylémem nejsou příliš běžné. Komplikovanější je transport herbicidů přijímaných listy, protože látka, aby se dostala do floému, kterým je pak rozváděna po celé rostlině i do kořenů s proudem asimilátů, musí vstoupit do buněk a mezi nimi je transportována mikroskopickými spojnicemi mezi buňkami - plasmodesmy. Proto je transport herbicidů přijímaných listy mnohem pomalejší a k účinku je potřeba delší doba, zpravidla 2–3 týdny. Vzhledem k mnoha překážkám na cestě od povrchu listu do vodivých pletiv vzniká i riziko rezistence z důvodu sníženého příjmu a translokace zvláště u starších pletiv, pokud se v populaci vyselektují biotypy s většími morfologickými či anatomickými bariérami příjmu a transportu. Větší rozsah textu byl věnován příjmu a translokaci z toho důvodu, že tyto pochody bývají častější příčinou selhání účinku než herbicidní rezistence.

Mechanismus účinku herbicidů

V naprosté většině případů je pro vznik herbicidní rezistence klíčový mechanismus účinku, angl. *mode of action*. Herbicidy jsou organické sloučeniny toxické pro rostliny tím, že inhibují fyziologické pochody zásadní pro jejich metabolismus. Vlastní herbicidní účinek se odehrává až v rostlinné buňce a jejích organelách, kam se musí herbicid (často komplikovaně) dostat v příslušné koncentraci, aby se mohl navázat na specifický cílový enzym, způsobit jeho inhibici a narušení některé z metabolických drah nezbytných pro život rostliny. Přestože je známo více než 30 různých mechanismů účinku, mezi hlavní místa herbicidního účinku patří fotosystém II, metabolismus dusíku (syntéza aminokyselin), syntéza lipidů, syntéza rostlinných pigmentů (fotosyntetických i ochranných), buněčné dělení a regulace růstu. Strukturálně podobné účinné látky patřící do jedné chemické skupiny mívají primárně jeden mechanismus účinku, např. inhibici enzymu acetolaktát syntázy (ALS), ale jeden enzym může být inhibován i více chemickými skupinami. Například zmíněný enzym ALS je inhibován herbicidy ze skupiny sulfonylmočovin, triazolopyrimidinů, imidazolinonů a některými dalšími skupinami, i když každá z nich má trochu jiný způsob vazby. Častou příčinou rezistence bývá změna vazebného místa na cílovém enzymu, v důsledku čehož je pak rezistencí obvykle postižena celá herbicidní skupina. Znalost mechanismů účinku je klíčová jak pro prevenci vzniku rezistence, tak i pro výběr účinných přípravků použitelných pro hubení již rezistentních populací.

Klasifikací herbicidů z pohledu mechanismu účinku se zabývá Herbicide Resistance Action Committee (<https://www.hracglobal.com/>) a klasifikační systém se podle názvu této odborné skupiny nazývá HRAC. V současné době je u používaných herbicidů známo 24 základních mechanismů účinku, které byly dříve označovány abecedně velkými písmeny, ale od r. 2020 došlo ke sjednocení s americkým systémem WSSA (Weed Science Society of America) a označení skupin a podskupin je číselné. Všechny registrované herbicidy na trhu musejí mít mechanismus účinku uvedený na etiketě přípravku. Hlavním důvodem je informování uživatele, aby se vyhnul opakovanému používání herbicidů se stejným mechanismem účinku několikrát za sebou během vegetační sezóny, nebo v osevním postupu.

Klasifikace nepoužívanějších herbicidů podle hlavních mechanismů účinku a rizika vzniku rezistence

Riziko vzniku rezistence

nízké

střední

vysoké

Mechanismus účinku	skupina HRAC/WSSA	Chemická skupina	Příklady účinných látek
Inhibitory syntézy lipidů			
INHIBITORY ENZYMU ACETYL-KOENZYM A KARBOXYLÁZY (ACCázy)	1	Aryloxyfenoxy-propionáty 'FOPY'	fenoxaprop, fluazifop, haloxyfop propaquizafop
		Cyclohexanediony 'DIMY'	cycloxydim
		Fenylpyrazoliny 'DENY'	pinoxaden
Inhibitory syntézy aminokyselin			
INHIBITORY ENZYMU ACETOLAKTÁT SYNTÁZY (ALS)	2	Sulfonylmočoviny	chlorsulfuron, mesosulfuron
			sulfosulfuron, thifensulfuron
			triflusaluron, tribenuron
		Imidazolinony	imazamox
		Triazolové pyrimidiny	florasulam
pyroxsulam, penoxsulam			
Sulfonylaminokarbonyl triazolinony	propoxycarbazone, thienecarbazone		
Inhibitory buněčného dělení			
INHIBITORY STAVBY MIKROTUBULŮ	3	Dinitroaniliny	pendimethalin
Růstové herbicidy			
SYNTETICKÉ AUXINY	4	Fenoxy-karboxylové kyseliny	2,4-D, MCPA
		Deriváty kyseliny benzoové	dicamba
		Pyridin-karboxylové kyseliny	aminopyralid, clopyralid, fluroxypyr, halauxifen

Mechanismus účinku	skupina HRAC/WSSA	Chemická skupina	Příklady účinných látek
Inhibitory fotosyntézy			
INHIBITORY FOTOSYSTÉMU II	5	Triaziny a triazinony	terbuthylazine, metamitron, metribuzin
		Fenyl-karbamáty	desmedipham, phenmedipham
		Substituované močoviny	chlorotoluron
		Benzotiadiazinony	bentazone
Inhibitory syntézy aminokyselin			
INHIBITORY 5-ENOL-PYRUVYLŠIKIMÁT-3-FOSFÁT SYNTÁZY (EPSP)	9	Glyciny	glyphosate sulphosate
Inhibitory biosyntézy rostlinných pigmentů			
INHIBITORY FYTOENDESATURÁZY (PDS)	12	Karboxamidy	diflufenican, picolinafen
INHIBITORY DIPERTENŮ		Amidy	flurochloridone
		Isoxazolidinony	clomazone
INHIBITORY PROTOPORFYRIN OXYDÁZY (PPO)	14	Fenylfthalimidy	flumioxazin
INHIBITORY HYDROXYPHENYLPYRUVÁT DIOXYGENÁZY (HPPD)	27	Triketony	mesotrione
Inhibitory syntézy mastných kyselin			
INHIBICE SYNTÉZY MASTNÝCH KYSELIN S DLOUHÝM ŘETĚZCEM (VLCFA)	15	Chloroacetamidy	dimethachlor, S-metolachlor
			metazachlor, pethoxamid, dimethenamid
		Acetamidy	propyzamide
		Oxyacetamidy	flufenacet
		Thiocarbamáty	prosulfocarb

Selhání účinku - odolnost plevelu, aplikační chyba, nebo rezistence?

Ne každé selhání účinku herbicidu musí být z důvodu rezistence, ale může se na něm podílet celá řada vlivů souvisejících s příjmem herbicidu, jeho translokací, osudem v prostředí a buňce, ale i podmínkami prostředí ovlivňujícími metabolismus rostliny v době aplikace herbicidu.

Při posuzování účinnosti herbicidu je potřeba rozlišovat mezi přirozenou odolností populací některých plevelných druhů a rezistencí, což je vlastnost získaná v důsledku dlouhodobého selekčního tlaku herbicidů na původně citlivou populaci. Rozdílná citlivost jednotlivých plevelných druhů je dána množstvím různých morfologických a fyziologických vlastností. Některé druhy mohou přežívat ošetření herbicidem díky tomu, že dochází k pozdějšímu vzcházení části populace, kterou už herbicid nezasáhne. Druhy s velkými semeny nebo druhy vytrvalé mohou vzcházet z větších hloubek, kde preemergentní herbicidy nemohou působit. Jiné druhy mají omezenou schopnost přijímat a translokovat herbicid, případně jej detoxifikují. Příčinou nízké účinnosti přípravku je tedy přirozená odolnost (tolerance) určitého plevelného druhu, jakožto soubor dědičných vlastností druhu umožňujících mu přežít a reprodukovat se i po aplikaci herbicidního přípravku v doporučené dávce. Tuto vlastnost, na rozdíl od herbicidní rezistence, má celá populace bez ohledu



Obr. 1: Kalamitní výskyt chundelky metlice v porostu pšenice ozimé



Obr. 2: Laskavec ohnutý je druhem s vysokým potenciálem ke vzniku herbicidní rezistence

na historii používání herbicidů. V některých případech je však velmi těžké odlišit od sebe přirozenou toleranci a herbicidní rezistenci, zejména v situaci, kdy se jedná o nízké úrovně rezistence. Bez ohledu na mechanismus tolerance vede opakované používání herbicidních přípravků k přeměnám ve společenstvech plevelů, kdy postupně začnou převažovat odolnější druhy.

Herbicidní rezistence je ve své podstatě evoluční proces, který silně závisí na genetických faktorech plevelného druhu (počtu a frekvenci genů rezistence, mechanismu dědičnosti a dalších), vlastnostech plevelné rostliny (samo-, či cizosprašnost, přenos pylu, produkce semen, šíření semen, živostnost v půdní zásobě apod.), herbicidu (chemismus, mechanismus účinku, reziduální aktivita), dávce herbicidu a environmentálních faktorech. Nicméně v praxi dochází často k mnoha situacím, které vedou k nedostatečné účinnosti herbicidu/herbicidů, aniž se jedná o herbicidní rezistenci. Je známo, že pouze malá část z celkového aplikovaného množství účinné látky herbicidu dosáhne určeného cíle a je přijata plevelnou rostlinou. Herbicidy jsou rozkládány světlem, může dojít k úletu (driftu) herbicidu, některé herbicidní účinné látky jsou těkavé (volatilní). Tyto faktory jsou silně ovlivněny povětrnostními podmínkami, aplikační technikou i velikostí aplikovaných kapének. Další ztráta účinné látky je způsobena ulpíváním na půdě, vlastní plodíně a dalších necílových površích. Z tohoto pohledu je pro dosažení účinku stěžejní dodržení dávky přípravku a rovnoměrnost aplikace. Je však třeba podotknout, že celá řada těchto faktorů napomáhá vzniku a rozvoji herbicidní rezistence. Tím, že je část populace zasažena nižší dávkou přípravku, může dojít ke změnám v jejím genetickém profilu a může být nastartován rozvoj herbicidní rezistence.

Důvody vzniku herbicidní rezistence a její postupná evoluce v populaci

V současné době se na herbicidní rezistenci nahlíží jako na výsledek adaptační evoluce plevelné populace na intenzivní selekční tlak vyvolaný herbicidy. Jedinci s nejnižší citlivostí k herbicidu mají selekční výhodu v plevelné populaci vystavené opakovanému tlaku herbicidu, a proto mohou postupně v populaci převládnout.

Herbicidní rezistencí je myšlena dědičná vlastnost rostlin přežít a reprodukovat se po vystavení takové dávce herbicidu, která je za normálních podmínek pro daný druh letální. V rostlině může být rezistence jev přirozeně se vyskytující vyvolaný postupnou selekcí nebo indukovaný technikami jako je genetické inženýrství nebo v tkáňových kulturách či mutagenézí. Uměle indukovaná odolnost však není považována za rezistenci a pokud se jedná o odrůdy plodin, používá se termín herbicidně tolerantní (HT).

Rezistentní plevele mohou pro překonání účinku herbicidních látek uplatnit různé mechanismy. V nejširším slova smyslu je rozdělujeme do dvou kategorií, a to rezistenci v místě účinku (angl. *target-site resistance*, zkratka TSR) a rezistenci mimo místo účinku (angl. *non-target-site resistance*, zkratka NTSR). Mechanismus rezistence v místě účinku zahrnuje strukturální změny vazebného místa herbicidu (obvykle jím bývá enzym), což snižuje jeho afinitu pro herbicid. Méně často se rezistence v místě účinku může projevit zvýšenou expresí cílového místa, což způsobí, že počet molekul herbicidu nestačí k dosažení letálního účinku. První případy herbicidní rezistence s tímto mechanismem byly potvrzeny v 80. letech minulého století. Strukturální změny jsou obvykle způsobeny substitucí aminokyselin v jedné nebo několika možných pozicích na cílovém proteinu herbicidu. První záměny, které potvrdily rezistenci k triazinovým herbicidům, byly popsány již před téměř 50 lety. Od té doby počty identifikovaných záměn, které jsou zodpovědné za herbicidní rezistenci narůstají. Známé substituce byly publikovány např. na www.weedscience.org. V posledních letech bylo zjištěno, že k rychlému rozvoji herbicidní rezistence přispívá zejména druhý mechanismus, který nazýváme rezistencí mimo místo účinku. Tento mechanismus převládá u skupiny herbicidů HRAC 9 (glyfosát) a HRAC 1 (inhibitory Acetal-CoA- karboxylázy), dále je převládajícím mechanismem u trav rezistentních ke skupině herbicidů HRAC 2 - inhibitorů acetolaktátsyntázy a předpokládá se, že jeho význam u dvouděložných je podceňován. Navíc u některých skupin herbicidů je doposud jediným zjištěným mechanismem. Pro překonání účinku herbicidu v tomto případě rostlina využívá stejné mechanismy, jako při jejím vystavení abiotickému stresu, proto je často spojována se sekundárním metabolismem v rostlině. Současná hypotéza pro NTSR říká, že aplikace herbicidu je stresem, který



Obr. 3: První výskyty rezistentního heřmánkovce přímořského v ČR

vyvolá odpověď v metabolických cestách u všech plevelných jedinců bez ohledu na jejich citlivost k danému přípravku. Rozsah této odpovědi pak závisí na genetické variabilitě citlivosti u jedinců, proto jsou reakce na daný přípravek různé a liší se i vnitrodruhově. Dále se mechanismy liší po použití různých herbicidů, změna v translokaci herbicidu je běžná u glyfosátu, naproti tomu zvýšený metabolismus je znám u inhibitorů acetolaktátsyntázy a acetyl-CoA- karboxylázy. Vzhledem k tomu, že jsou aktivovány obecné mechanismy působící vůči stresu, bylo v mnoha studiích prokázáno, že NTSR může vyvolat vícenásobnou rezistenci k herbicidům s různým mechanismem účinku, tedy situaci, kdy aplikace jednoho herbicidu aplikovaného po několik generací může zřetelně přispět k rozvoji herbicidní rezistence k jinému herbicidu. Proto rotování nebo směsi herbicidů, které se liší mechanismem účinku, mohou paradoxně vést k silné selekci pro NTSR a naopak oproti běžně doporučovaným antirezistentním strategiím, zvýšit pravděpodobnost vzniku rezistence spíše než snížit její pravděpodobnost.

I když se TSR a NTSR liší svým genetickým určením a mechanismem vzniku, přesto se vyvíjejí společně díky selekčnímu tlaku způsobenému herbicidem, oba se mohou vyskytovat u stejného druhu, ve stejné populaci, a dokonce u stejného jedince. Jeden nebo druhý mechanismus může převládat v závislosti na daném druhu plevelu nebo na použitém přípravku. Opakované používání přípravků se stejným mechanismem účinku vede ke kontinuálnímu selekčnímu tlaku, a tím dochází k nárůstu rezistentních jedinců v čase.

Problémem je, že plevelné rostliny s rezistencí k herbicidům nejsme schopni odlišit od rostlin téhož druhu, který je k danému přípravku citlivý, na základě morfologických znaků. Plevelné rostliny citlivé a rezistentní jsou často morfologicky shodné. Proto byla vyvinuta celá řada metod na různých úrovních (od celých rostlin až po zkoumání genů a proteinů), jak rozlišení provést.

Herbicidní rezistence v ČR

V České republice byl detekován poměrně vysoký počet rezistentních plevelných druhů (Tab. 1). Většina z nich byla nalezena a popsána v 80. a 90. letech dvacátého století a jednalo se zejména o rezistenci k herbicidům, které se již v současné době příliš nepoužívají - k dnes již zakázanému atrazinu ze skupiny inhibitorů fotosystému II. Velmi často docházelo ke vzniku rezistence na nezemědělských pozemcích (cesty, železnice), které byly dlouhodobě ošetřovány vysokými dávkami triazinových herbicidů. Další rezistentní druhy byly objeveny v sadech, výjimečně na orné půdě nebo se jednalo o druhy s lokálním významem (bytel metlatý, rosička krvavá, turanka kanadská). V devadesátých letech minulého století se díky řadě výhod, které spočívají např. v aplikaci pouze gramových dávek na hektar, širokém spektru účinku na plevele a nízké toxicitě vůči necílovým organismům, na našem trhu staly nejpoužívanější herbicidní skupinou sulfonylmočoviny. Bohužel však u této skupiny herbicidů, která patří spolu s triazolopyrimidiny a imidazolinony mezi inhibitory enzymu ALS, dochází velmi rychle a často k rozvoji herbicidní rezistence. V důsledku intenzivního používání inhibitorů ALS se od 90. let minulého století začaly po celém světě včetně České republiky objevovat rezistentní populace jednoděložných i dvouděložných plevelných druhů k různým účinným látkám skupiny, brzy se objevila i křížová rezistence. Od roku 2004, kdy byla na našem území detekována první rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) vůči chlorsulfuronu, bylo na ČZU v Praze do roku 2020 identifikováno již přes 750 rezistentních populací k ALS inhibitorům a řada z nich vykazovala i křížovou rezistenci. Brzy se objevily ALS rezistentní populace u dalšího



Do roku 2020 bylo na ČZU v Praze identifikováno přes 750 populací chundelky metlice rezistentních k ALS inhibitorům



V posledních letech se rozvíjí rezistence k ALS inhibitorům u sveřepu jalového.

trávnitého druhu - psárky polní (*Alopecurus myosuroides*) a v posledních letech se rozvíjí rezistence k této skupině herbicidů u sveřepu jalového. V případě ochrany proti chundelce metlice a psárky polní zemědělci začali často na základě doporučení antirezistentních strategií volit jiné mechanismy účinku herbicidů, především inhibitory ACCázy a fotosystému II. V několika lokalitách však došlo k rozvoji rezistence i k těmto účinným látkám a dnes se zde zemědělci potýkají s vícenásobnou rezistencí.

V roce 2016 zahájilo vývojové centrum Jeallot Hills Syngenta Limited spolu s ČZU v Praze monitoring výskytu herbicidní rezistence k PSII inhibitorům u významných dvouděložných druhů širokořádkových plodin - laskavce ohnutého (*Amaranthus retroflexus*), merlíku bílého (*Chenopodium album*) a lilku černého (*Solanum nigrum*). O dva roky později byl se společností Syngenta zahájen tříletý projekt s názvem Výskyt a mechanismy herbicidní rezistence k inhibitorům ALS a syntetickým auxinům u problematických dvouděložných plevelů v ozimých plodinách, který byl zaměřen na výskyt rezistence u máku vlčího (*Papaver rhoeas*) a heřmánkovce přímořského (*Tripleurospermum maritimum*). U všech zmíněných druhů byly na našem území potvrzeny první případy rezistence k aktuálně používaným účinným látkám na orné půdě v ČR. I když se v některých případech (např. merlík bílý, lilek černý) jedná zatím pouze o malé procento populací, nelze tyto první případy podceňovat a v zasažených lokalitách je třeba dodržovat antirezistentní strategie, aby nedošlo k rozšíření těchto rezistentních populací, jako tomu bylo u chundelky metlice.

Tab. 1: **Plevelné druhy, u nichž byla na území ČR potvrzena herbicidní rezistence.**

Druh (český název)	Druh (latinský název)	Rok popsání
Rdesno blešník	<i>Polygonum lapathifolium</i>	1982
Laskavec ohnutý	<i>Amaranthus retroflexus</i>	1985
		2017
Merlík bílý	<i>Chenopodium album</i>	1986
		2017
Turanka kanadská	<i>Conyza canadensis</i>	1987
		2007
Starček obecný	<i>Senecio vulgaris</i>	1988
Lipnice roční	<i>Poa annua</i>	1988
Laskavec Powellův	<i>Amaranthus powellii</i>	1989
Rdesno červivec	<i>Polygonum persicaria (Persicaria maculata)</i>	1989
Ježatka kuří noha	<i>Echinochloa crus-galli</i>	1994
		2014
Bytel metlatý	<i>Kochia scoparia</i>	1996
		1996
Lilek černý	<i>Solanum nigrum</i>	1999
		2017
Rosička krvavá	<i>Digitaria sanguinalis</i>	2005
Chundelka metlice	<i>Apera spica-venti</i>	2005
		2005
		2011
Psárka polní	<i>Alopecurus myosuroides</i>	2008
Sveřep jalový	<i>Bromus sterilis</i>	2017
Oves hluchý	<i>Avena fatua</i>	2017
Heřmánkovec přímořský	<i>Tripleurospermum inodorum</i>	2018
Mák vlčí	<i>Papaver rhoeas</i>	2018

Účinná látka	Skupina herbicidů	Místo nalezení
atrazin	PS II inhibitory	železnice
atrazin	PS II inhibitory	železnice, kukuřice, cukrovka
terbuthylazine, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
atrazin	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
terbuthylazine, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady, kukuřice
glyphosate	ESPS inhibitory	železnice
atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady
atrazin	PS II inhibitory	železnice, sady
atrazin	PS II inhibitory	sady
atrazin	PS II inhibitory	železnice
atrazin	PS II inhibitory	kukuřice
nicosulfuron	ALS inhibitory	kukuřice
chlorsulfuron	ALS inhibitory	železnice
imazapyr	PS II inhibitory	železnice
atrazin	PS II inhibitory	kukuřice
terbuthylazine, metamitron	PS II inhibitory	kukuřice, cukrovka
atrazin	PS II inhibitory	železnice
chlorsulfuron	ALS inhibitory	pšenice
isoproturon	PS II inhibitory	pšenice
fenoxaprop	ACCCase inhibitory	pšenice
chlorsulfuron	ALS inhibitory	pšenice
pyroxsulam	ALS inhibitory	pšenice
propaquizafop	ACCCase inhibitory	pšenice
tribenuron	ALS inhibitory	pšenice
tribenuron	ALS inhibitory	pšenice

Hlavní rezistentní plevelé v ozimých a jarních plodinách

Trávovité plevelé

Současný způsob hospodaření na orné půdě vyhovuje většině travovitých plevelů. Jejich zastoupení a význam na našich polích v posledních letech výrazně stoupá. Populační dynamika chundelky metlice, psárky polní a sveřepu jalového je v posledních letech podporována zvyšováním podílu ozimých plodin v pěstebních systémech spolu s rostoucím podílem ploch s omezeným zpracováním půdy nebo přímým setím do nezpracované půdy. Zmiňované plevelné druhy vzcházejí především na podzim a jejich růst a životní cyklus je přizpůsoben cyklu ozimých obilnin, zejména ozimé pšenici. Dokáží během jedné vegetace vyprodukovat ohromné množství generativních diaspor (několik tisíc), které se vyznačují vysokou vzcházejivostí i při nízkých teplotách od 2 °C. Tyto jejich biologické vlastnosti patří také mezi hlavní faktory, které ovlivňují vznik herbicidní rezistence.

Chundelka metlice

Největší hospodářské ztráty v České republice způsobují vzhledem k četnosti výskytu rezistentní populace chundelky metlice (*Apera spica-venti*) v obilninách. První rezistentní populace chundelky metlice k účinné látce chlorsulfuronu (inhibitor ALS) byla objevena již roku 2004. Od té doby bylo na ČZU otestováno pomocí růstových testů mnoho populací chundelky s podezřením na rezistenci. Přes 70 % testovaných populací, které byly odebrány na pozemcích, kde byla pozorována snížená účinnost herbicidního přípravku, vykazovalo rezistenci k různým účinným látkám ze skupiny inhibitorů enzymu acetolaktát syntázy (ALS). Poměrně běžnou se u chundelky metlice stává i křížová rezistence k sulfonylmočovinám (chlorsulfuronu, iodosulfuronu, meso-sulfuronu, sulfosulfuronu), triazolovým pyrimidinům (penoxsulamu, pyroxsulamu) a sulfonylamino-carbonyl-triazolinonům (propoxycarbazonu). V posledních letech bohužel začalo přibývat případů, kdy jsou tyto populace zároveň rezistentní také k některé z účinných látek ze skupiny inhibitorů enzymu acetyl-koenzym A karboxylázy (fenoxaprop, pinoxaden) nebo k inhibitorům fotosystému II (nejčastěji k chlorotoluronu). Tato vícenásobná rezistence k různým herbicidním mechanismům v daných lokalitách velmi komplikuje ochranu. Existují již i populace, které jsou rezistentní ke všem třem výše uvedeným mechanismům účinku. Tento typ rezistence nalezený v jižních Čechách prakticky vylučuje z použití většinu postemergentních herbicidů. Tento typ rezistence byl potvrzen také v sousedním Německu a Polsku, kde představuje chundelka metlice podobně závažný problém jako u nás. V Německu je chundelka po psárce polní druhým nejrozšířenějším travovitým plevelem.

Obilky chundelky klíčí výborně z vrchních vrstev ornice, nejlépe pak z povrchu půdy. Z tohoto důvodu by se mělo ustoupit od bezorebného zpracování půdy, kdy obilky chundelky zůstávají na povrchu půdy a lépe klíčí. Obilky chundelky metlice z rezistentních rostlin zaklopené orbou hlouběji do půdy nemají možnost vzcházet, odumírají v průběhu roku a nejsou schopny založit rezistentní potomstvo.

Sveřep jalový

Sveřepy jsou přirozeně velmi odolné vůči většině běžně používaných herbicidů. Ve Francii byly již v roce 2009 popsány populace rezistentní vůči inhibitorům ALS a v sousedním Německu v roce 2012 vůči inhibitorům ACCázy. Sveřep jalový (*Bromus sterilis*) je jednoletý vysoce konkurenceschopný přezimující plevel, který se v ČR v posledních letech expanzivně šíří. K šíření sveřepu také přispívají minimalizační technologie zpracování půdy, protože obilky sveřepu mají jen velmi krátkou dormanci a okamžitě po disperzi klíčí z povrchu půdy. Dalším důvodem šíření sveřepu je obtížná a nedostatečně účinná chemická ochrana. Regulace sveřepu jalového v ozimých obilninách je komplikovaná zejména z důvodu jeho rychlé populační dynamiky, odolnosti vůči většině herbicidů registrovaných v obilninách a úzkému spektru vhodných přípravků. Nejvíce používané jsou přípravky obsahující úč. látky propoxycarbazone, pyroxulam, mesosulfuron a sulfosulfuron. Všechny tyto účinné látky patří do skupiny inhibitorů acetolaktátsyntázy (ALS). V České republice byla u jedné populace sveřepu jalového potvrzena křížová rezistence ke všem těmto uvedeným účinným látkám a objevují se postupně populace další. Protože jiné selektivní přípravky než ze skupiny ALS inhibitorů proti sveřepu registrovány nejsou, je třeba věnovat pozornost soustavnému uplatňování antirezistentních strategií a preventivním metodám zabráňujícím jeho šíření.



Obr. 4: Kalamitní výskyt rezistentního sveřepu jalového v pšenici ozimé

Psárka polní

Dalším trávovitým plevelem, u kterého u nás v poslední době přibývají případy snížené účinnosti použitých přípravků, je psárka polní (*Alopecurus myosuroides*). Psárka polní je nejzávažnějším rezistentním plevelem obilnin ve Francii, Velké Británii, Belgii a Německu. U nás se tento plevel zatím vyskytuje pouze na několika lokalitách, zde se však stává neřešitelným problémem. Nejsilnější výskyty byly zaznamenány v okresech České Budějovice, Třeboň a Jindřichův Hradec. V posledních letech se psárka vlivem nevhodného střídání plodin, kdy časté zařazování obilnin podporuje její reprodukci, šíří také v okolí Prahy, Mělníka, Mladé Boleslavi a Hradce Králové. Regulace psárky polní je obtížnější, než je tomu v případě chundelky metlice, a to zejména z důvodu užšího spektra registrovaných přípravků a také proto, že tento druh vytváří dlouhodobou půdní zásobu obilek. Je u ní také třeba počítat s výrazně vyšší odolností vůči většině herbicidů. U všech testovaných vzorků z jižních Čech byla prokázána rezistence alespoň k jedné účinné látce ze skupiny inhibitorů ALS. U několika dalších populací se vyskytovala vícenásobná rezistence k ALS inhibitorům a pinoxadenu či fenoxapropu nebo k ALS inhibitorům a chlorotoluronu.

Dvouděložné plevele

Rezistence dvouděložných plevelů vůči herbicidům zatím není pro zemědělskou praxi v ČR závažnějším problémem. Výsledky našeho průzkumu však dokládají, že u nejběžnějších plevelů širokořádkových plodin, merlíku bílého a laskavce ohnutého existuje značné množství populací rezistentních vůči herbicidům s účinnými látkami na bázi inhibitorů fotosystému II, které sice patří ke starší skupině herbicidních látek, ale jsou často používány z důvodu příznivých uživatelských vlastností, zvláště ceny, širokého spektra účinku a vysoké selektivity. Vzhledem k tomu, že laskavec ohnutý i merlík bílý patří k plevelům s velmi vysokou reprodukční schopností a dlouhověkou půdní zásobou, mají tyto druhy vysoký potenciál ke vzniku herbicidní rezistence v důsledku větší pravděpodobnosti výskytu mutací zakládajících rezistenci.

V posledních letech dochází na našich polích také k nárůstu heřmánkovitých plevelů, významně vzrostlo i zastoupení svízele přituly, rozrazilů a máku vlčího. Vzhledem k tomu, že v několika evropských zemích (např. Německo, Francie, Polsko, Itálie) již byly popsány rezistentní populace heřmánkovce přímořského a máku vlčího vůči inhibitorům ALS, je potřeba monitorovat výskyt herbicidní rezistence i u těchto plevelných druhů.

Plevele škodící v jarních širokořádkových plodinách - laskavec ohnutý a merlík bílý

Přestože bylo ve studii s ČZU v Praze zjištěno, že u většiny testovaných populací merlíku bílého a laskavce ohnutého, které v polních podmínkách přežily ošetření herbicidem, došlo k selhání účinnosti ochrany z jiných důvodů než z důvodu přítomnosti rezistence, byly mezi nimi detekovány první výskyty rezistence k účinným látkám metamitron a terbuthylazine. V roce 2017 a 2019 bylo otestováno celkem 63 populací merlíku bílého a 34 populace laskavce ohnutého. V případě merlíku bílého bylo v obou letech detekováno poměrně malé procento rezistentních populací, v prvním roce byla rezistence potvrzena u 6 % vzorků a ve druhém u 10 %. U laskavce ohnutého je situace již závažnější. V roce 2017 byly z celkem 15 testovaných 4 populace rezistentní k terbuthylazine a 13 v různé míře k metamitronu. O dva roky později se rezistence k oběma účinným látkám potvrdila již u 47 % testovaných populací. V řadě případů byla tato rezistence velmi silná a rostliny dokonce přežívaly 30x vyšší dávku, než je doporučená. U jednotlivých rostlin z těchto populací byly objeveny bodové mutace psbA genu, který kóduje D1 protein ve fotosystému II. Jedná se tedy o rezistenci v místě účinku, při které dochází ke změně vazebného místa herbicidu.

Plevele škodící v ozimých plodinách - mák vlčí a heřmánkovec přímořský

Sběry semen populací máku vlčího a heřmánkovce přímořského, které přežívaly po aplikaci herbicidů na pozemcích s ozimou pšenicí a ozimou řepkou probíhaly v letech 2019 a 2020. Celkem bylo otestováno růstovými esejemi 46 populací máku vlčího a 28 populací heřmánkovce přímořského. Testovány u těchto druhů byly účinné látky tribenuron a florasulam (ALS inhibitory) a 2,4-D a dicamba (růstové herbicidy). V prvním roce testování byly detekovány dvě rezistentní populace máku vlčího a dvě rezistentní populace heřmánkovce přímořského, všechny k účinné látce tribenuron, k ostatním testovaným účinným látkám byly všechny populace citlivé. O rok později byly objeveny tři populace heřmánkovce rezistentní opět k tribenuronu a jedna rezistentní populace máku vlčího k tribenuronu a zároveň i k florasulamu.



Obr. 5: První výskyty herbicidní rezistence u máku vlčího

Odběr vzorku v případě podezření na rezistenci a metody testování

Sběr vzorků na pozemku

Z vytipovaných pozemků, nejčastěji z těch, kde došlo k opakovanému selhání herbicidního ošetření, sbíráme na základě zvolené metody testování rezistence buď diaspory (semena, nažky apod.), pletiva či orgány rostlin, nejčastěji listy nebo přímo celé klíčící rostliny zájmového plevele. V omezeném množství případů je možné některá měření provádět přímo in situ, tedy přímo na pozemku na konkrétních rostlinách, např. měření fluorescence chlorofylu.

Při testování herbicidní rezistence téměř vždy porovnáваме data se standardy - tedy referenční populací stejného druhu, ideálně pocházející z podobných podmínek, o které je předem prověřeno, že je k dané účinné látce / přípravku citlivá.

Při odběru zaznamenáváme následující data:

- identifikace pozemku (ID, GPS souřadnice, LPIS číslo atd.)
- datum sběru, osoba, která poskytne detailní informace
- plocha, na které byl sběr proveden, metoda, která byla použita (Z schéma, ohniska atd.)
- plodina, osevní postup, způsob zpracování půdy
- úroveň zaplevelení na pozemku
- pokud je to možné - historie používání herbicidů (dávka, datum, přípravek), ideálně 5 let

U samosprašných druhů se doporučuje odebrat minimálně 20–40 rostlin, u cizosprašných druhů alespoň 5–10 rostlin. V případech vysokého zaplevelení na pozemku, doporučujeme sbírat diaspory alespoň u 100 jedinců a doručit k testování směsný vzorek. V případě, že jsou jedinci na pozemku rozmístěni homogenně, doporučuje se nesbírat je na okrajích a v rozích pozemků, ideálním způsobem je transekt (např. 3 × 100 m rovnoběžně). Případně je doporučováno sbírat jedince pomocí různých vzorů či písmen např. W, Z atd. Častěji se však setkáváme s případy, kdy je na pozemku několik přežívajících rostlin nebo se vyskytují v ohniscích. Zde je nutné vyloučit to, že se jedná o aplikační chybu (vyloučení určitých ploch), sbírat semena z rostlin individuálně anebo sbírat směsné vzorky z jednotlivých ohnisek.



NĚKTERÁ SPOJENÍ JEDNODUŠE FUNGUJÍ LÉPE

- + **Výkonná:** jedinečná kombinace účinných látek
- + **Spolehlivá:** široké spektrum účinnosti v obilninách
- + **Nezávislá:** za všech podmínek

 **Avoxa**[®]

syngenta.

Metody testování rezistence

V současné době existuje široká škála metod k prokázání rezistence a jejich použití se řídí účelem studie. V prvním kroku je potřeba na úrovni vzorku populace prokázat, zda se skutečně jedná o rezistenci. K tomuto účelu se používají růstové eseje, pomocí kterých je možné stanovit nejen, zdali je populace rezistentní, ale také stupeň rezistence. Pokud je rezistence prokázána, je možné navázat laboratorními studii na metabolické nebo molekulárně genetické úrovni, kterými lze stanovit mechanismus rezistence. Stanovení mechanismu rezistence není významné jen z vědeckého hlediska, ale poskytuje důležitou informaci pro vytvoření vhodné anti-rezistentní strategie, jak z pohledu prevence vzniku a šíření rezistence v populaci, tak i managementu rezistentních populací.

Posouzení citlivosti populace k herbicidům prostřednictvím růstových esejí

Mezi nejběžnější a na vybavení nejjednodušší metody testování herbicidní rezistence patří metody biologického testu a mezi nimi nádobové pokusy. Semena testovaných populací se vysévají do pokusných pěstebních nádob naplněných půdou, která neobsahuje žádná rezidua herbicidů či jiných chemických látek. Krátce po vzejití jsou rostliny vyjednoceny na konečný počet 8–12 rostlin/nádobu dle druhu. Nádobky mohou být umístěny v kryté venkovní vegetační hale (Obr. 6) nebo ve skleníku s regulovanou teplotou. Ke každému druhu jsou vysety citlivé standardy pocházející z lokality, které nebyly herbicidně ošetřeny. Rostliny předpěstované v nádobách ošetřujeme obvykle ve fázi jednoho až tří pravých listů nebo v časných růstových fázích registrovanými (1N) a dvojnásobnými (2N) dávkami vybraných herbicidů. Pro tyto testy jsou vybírány herbicidy, u kterých docházelo k selhání účinnosti a další nejčastěji používané účinné látky proti danému plevelnému druhu. Aplikace herbicidů se provádí v přesném komorovém postřikovači, kde aplikovanou dávku lze regulovat rychlostí pojezdu, pracovním tlakem a volbou velikosti trysek. Účinnost herbicidů se hodnotí odhadovou metodou a je vyjádřena v % vůči neošetřené kontrole (Obr. 7). Účinek jednotlivých herbicidů je porovnáván s citlivým biotypem. Účinnost je hodnocena na základě typických symptomů (zastavení růstu, chlorózy, fialovění, nekrózy až případně uhynutí rostlin) po 14, 21, 28 či 30 dnech (v některých případech i více) od aplikace v závislosti na mechanismu účinku herbicidu.

Anděl strážný vašich polí



Hlídá a chrání před rezistencí...

 **Axial[®] Plus**

syngenta.

- Specialista na rezistentní populace chundelky metlice
- Nejvyspělejší graminecid na trhu
- Nejvyšší spolehlivost účinku

Používejte přípravky na ochranu rostlin bezpečně. Před použitím si vždy přečtěte označení a informace o přípravku. Respektujte varovné věty a symboly.

www.syngenta.cz

TM



Obr. 6: Pohled do zastřešené vegetační haly, kde probíhají růstové eseje u chundelky metlice

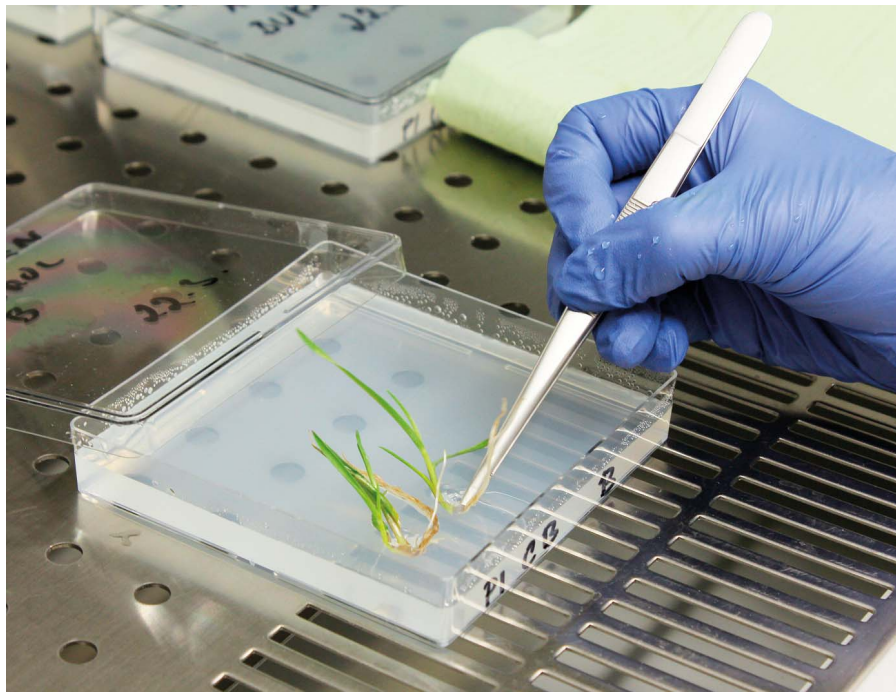


Obr. 7: Hodnocení účinnosti různých herbicidů u populace chundelky metlice 30 dní po aplikaci

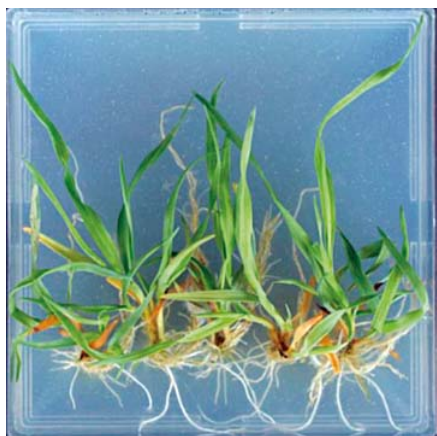
Metoda agarových kultur - RISQ (Resistance In-Season Quick) test

Jedna z nejjednodušších metod byla vyvinuta týmem doktora S. S. Kaunduna ze společnosti Syngenta a na její optimalizaci pro chundelku metlici se podílela doktorka K. Hamouzová z katedry agroekologie a rostlinné produkce ČZU. Tato metoda bývá označována jako RISQ test (z angl. Resistance In-Season Quick test).

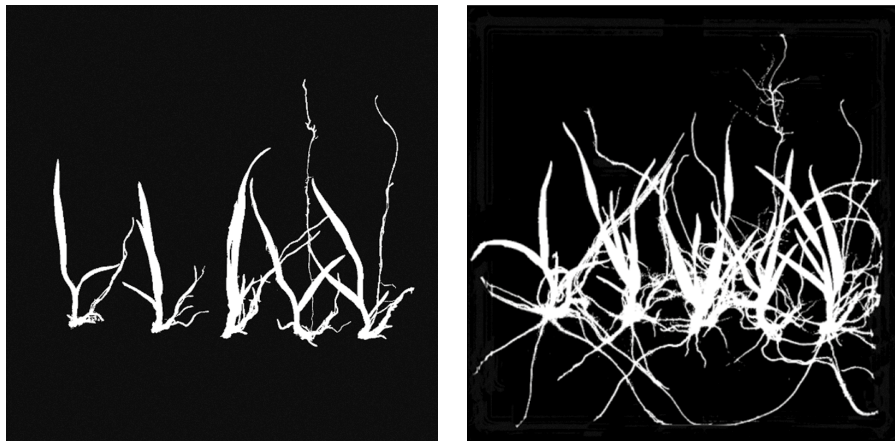
Na podzim či brzy na jaře (obvykle konec února – první polovina března) se odebírají rostliny plevelů přímo na pozemcích, ideálně ve fázi 2–3 listů, u jedno-
děložných rostlin max. ve fázi prvních odnoží. Pro testování jednoho přípravku je zapotřebí odebrat kolem 100 jedinců. Výhodou je, že se rostliny testují v průběhu sezóny a na základě výsledku testu je ještě možné vybrat vhodný herbicid. V laboratoři jsou rostliny zbaveny zbytků zeminy na kořenech a přesazeny do Petriho misek s rozpuštěným agarovým médiem (Obr. 8). Agarové médium obsahuje herbicid o známé koncentraci, pomocí které je možné rozlišit, zda se jedná o citlivé či rezistentní jedince vůči dané účinné látce přípravku a také odhadnout mechanismus rezistence. Po přesazení rostlin jsou Petriho misky umístěny buď do skleníku nebo klimatizovaných komor s řízenými podmínkami (zejm. teplotou) po dobu 10–14 dnů. Po uplynutí této doby je možné vyhodnotit na základě symptomů (růst listů, kořenů, změna barvy rostlin, odumírání rostlin), zda jsou jedinci rezistentní vůči danému přípravku, či nikoliv (Obr. 9). Pro kvantitativní hodnocení nárůstu biomasy a statistické vyhodnocení dat lze navíc stanovit listovou a kořenovou plochu rostlin pomocí analýzy obrazu (Obr. 10).



Obr. 8: Přesazení klíčící rostliny chundelky metlice do agarového média s rozpuštěným herbicidem



Obr. 9: Hodnocení účinnosti iodosulfuronu v koncentraci 6.4 μ M 10 dní po založení (vlevo rezistentní populace, vpravo citlivá populace)



Obr. 10: Převedení fotografie na černobílý obraz pro výpočet skutečné plochy rostlin (vlevo 1. den pokusu, vpravo 10 dní po založení pokusu)

Výhody metody RISQ

- + Rychlost a spolehlivost metody.
- + Testování v podzimním i jarním období ještě před vlastní aplikací herbicidů na pozemku, kde byl vzorek odebrán. To umožní zemědělcům zvolit vhodný přípravek, který by potlačil i rezistentní jedince daného plevelného druhu.
- + V ČR bylo testování optimalizováno pro chundelku metlici a účinné látky: chlorsulfuron, iodosulfuron, pinoxaden, isoproturon, pyroxsulam.
- + Možnost zavedení antirezistentního opatření ještě v daném vegetačním období.

Nevýhody metody RISQ

- Je nutné mít rostliny plevelného druhu o známé citlivosti k danému přípravku (jak citlivé, tak rezistentní) a ty testovat souběžně se vzorky.
- Omezené množství druhů a herbicidních přípravků, které můžeme testovat. Pro každý přípravek a každý plevelný druh je nutné nejprve stanovit tzv. diskriminační dávku přípravku, která bezpečně a jednoznačně umožní určit, zda se jedná o citlivý či rezistentní biotyp daného plevelného druhu.
- Test není možné zopakovat vzhledem k tomu, že růst rostlin je v jarním období velmi rychlý a brzy nastoupí do vyšší růstové fáze, což by ovlivnilo účinnost herbicidu.

Hodnocení rizika vzniku rezistence a její prevence v podniku (JS)

Předpokladem pro zavedení a používání antirezistentních strategií je vyhodnocení rizika vzniku rezistence. Používání antirezistentních strategií s sebou nese vícenásledky, ať již z důvodu změn v osevních postupech, způsobech zpracování půdy, či volby nákladnějších přípravků. Uplatňování antirezistentních strategií umožňuje zpomalit vývoj rezistence omezením selekčního tlaku a prodloužit tak životnost přípravku, tj. zachovat jeho použitelnost do budoucna.

Celkové riziko vzniku rezistence vůči určitému přípravku se skládá ze složky inherentního rizika daného vlastnostmi konkrétního herbicidu (např. mechanismus účinku, snadnost metabolizace, perzistence v půdě...), vlastnostmi plevelného druhu, proti kterému je používán (populační hustota, genetická variabilita, snadnost šíření, rychlý metabolismus...) a ze složky agronomického rizika, které je určeno způsobem používání herbicidu v konkrétním systému hospodaření (opakované používání podobných herbicidů v úzkých osevních postupech, nízké zastoupení nechemických metod, minimalizace zpracování půdy...). Výsledné riziko vzniku rezistence je tedy dáno nejen vlastnostmi herbicidu a cílového plevele, ale také celkovým způsobem hospodaření, který zahrnuje i způsob používání herbicidů.

Hodnocení rizika herbicidní rezistence je součástí registračního řízení nového herbicidu. Vyžaduje informace o výskytu rezistence v regionu na základě monitoringu a stanovení základní citlivosti rizikových populací k dané účinné látce v době před zavedením přípravku a sledování jejího vývoje v čase, včetně nových případů rezistence.

Rizika jednotlivých herbicidních skupin

Ne všechny herbicidní skupiny jsou z pohledu vzniku rezistence stejně rizikové. Rizikovost přípravku zakládá především jeho mechanismus účinku. Některé cílové enzymy herbicidního účinku mají vyšší přirozenou proměnlivost a výskyt mutací bývá vyšší, jako např. ALS, ACCasa nebo D1 protein ve fotosystému II. Výskyt unikátních případů rezistence je u těchto mechanismů účinku celosvětově nejvyšší. Z pohledu rizika vzniku rezistence je významný nejen mechanismus účinku, ale také rozsah používání, případně oboje. Zmiňované ALS inhibitory jsou rizikové i proto, že četnost jejich používání roste a různé herbicidy s tímto mechanismem účinku se používají i v několika plodinách osevního postupu za sebou, v poslední době navíc ještě v odrůdách s tolerancí k herbicidům, jako jsou systémy Clearfield® nebo Conviso® Smart založené na toleranci k ALS inhibitorům. Zajímavý je z tohoto pohledu glyfosát, jehož místo účinku je považováno za silně konzervativní a málo rizikové

Definitivní zásah proti plevelům



 **Defi[®] Evo**

syngenta.

- Herbicid pro podzimní ošetření všech obilnin
- Specialista na trávy včetně rezistentních populací chundelky metlice
- Spolehlivá účinnost na dvouděložné plevele

Používejte přípravky na ochranu rostlin bezpečně. Před použitím si vždy přečtěte označení a informace o přípravku. Respektujte varovné věty a symboly.

www.syngenta.cz

TM

z pohledu výskytu mutací, ale obrovský celosvětový rozsah používání glyfosátu přesto zapříčinil během posledních dvou desetiletí strmý růst případů rezistence. Vyšší riziko rezistence mají herbicidy snadněji metabolizovatelné rostlinami, jako jsou např. již několikrát zmiňované sulfonylmočoviny.

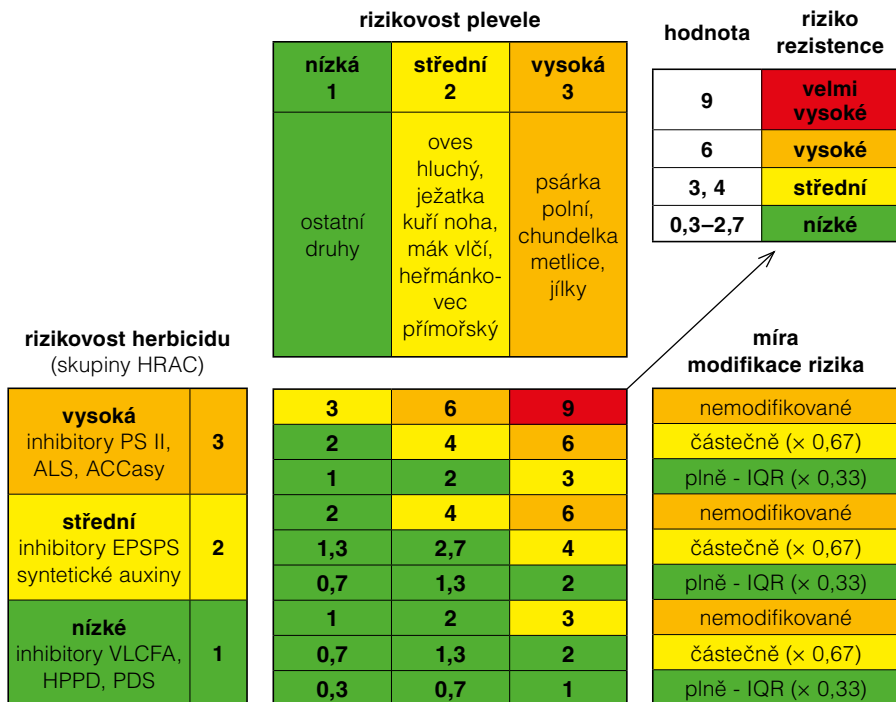
Riziko rezistence založené vlastnostmi plevelů

Dalším významným prvkem ovlivňujícím výši rizika jsou biologické vlastnosti plevelů (skupiny plevelů), proti kterým je daný herbicid používán. Riziko je vyšší u druhů cizosprašných, s vysokou konkurenční a reprodukční schopností, schopných rychlého navyšování populační hustoty, s vyšší perzistencí semen v půdní zásobě a širokou ekologickou valencí. Interakce mezi herbicidem a příslušným plevelným druhem zakládá specifické inherentní riziko vzniku rezistence. Monitoring výskytu rezistence přináší lokálně specifickou informaci o tom, které skupiny herbicidů vykazují v daných podmínkách nejvyšší frekvenci případů rezistence u sledovaných plevelných druhů (v našich podmínkách např. chundelka metlice, psárka polní, laskavec ohnutý apod.). Identifikace druhů patřících v oblasti mezi nejvíce rizikové z pohledu vzniku rezistence i ekonomických dopadů je důležitou informací pro posuzovatele při hodnocení nového herbicidního přípravku. Pokud je výše inherentního rizika příliš vysoká a z toho by vyplývalo i vysoké agronomické riziko při neomezeném používání přípravku, je třeba navrhnout vhodné modifikátory rizika.

Modifikátory rizika

Výrazné omezení rizika a prodloužení životnosti přípravku lze dosáhnout jeho používáním podle zásad integrované ochrany, v kombinaci s preventivními opatřeními a nechemickými metodami ochrany. V praxi představují antirezistentní strategie doporučení a návody pro pěstitele plodin jak předcházet rezistenci, případně jak zvýšit účinnost ochranných opatření u plevelů, u kterých se rezistence již vyskytuje. Za neúčinnější modifikátory agronomického rizika je považováno vhodné střídání plodin, které brání nárůstu populační hustoty problematických druhů ve společenstvech a brzdí rozvoj rezistence v populaci. Rovněž hlubší zpracování půdy, které přispívá k přirozenému úbytku semen v půdní zásobě včetně vyselektovaných rezistentních jedinců, důsledná regulace plevelů v mezíporostním období mechanickými zásahy i používáním neselektivních herbicidů a mnoho dalších agronomických zásahů specifických podle místních podmínek a způsobu hospodaření jsou důležitými modifikátory rizika. Paradoxně by měly být preventivní metody - modifikátory rizika využívány více a cíleněji, pokud jsou používány modernější, účinnější, ale z pohledu vzniku rezistence rizikovější herbicidní skupiny, jako jsou inhibitory ALS nebo ACCázy. Částečného snížení rizika vzniku rezistence lze dosáhnout používáním směsných přípravků a tank-mixů s komponenty s různými mechanismy účinku,

omezením počtu aplikací přípravků se stejným mechanismem účinku v sezóně či po sobě následujících letech a správným termínem aplikace. Tato doporučení jsou jako nejběžnější modifikátory rizika uváděna na etiketách přípravků, bohužel často paušálně u každého přípravku stejně, bez skutečného vyhodnocení rizik.



Obr. 11. Příklad kvantitativního hodnocení rizika vzniku rezistence (upraveno podle Mosse a kol. 2019)

Použití přípravků Syngenta v antirezistentních strategiích

Společnost Syngenta věnuje dlouhodobou pozornost vývoji a prevenci herbicidní rezistence a doporučuje svoje přípravky tak, aby byly účinné i v případě populací již rezistentních k přípravkům konkurenčním a aby si svoji účinnost zachovaly pokud možno co nejdéle. Výhodou sortimentu přípravků (a také zákazníků) společnosti Syngenta je, že dlouhou dobu, po kterou se v celé Evropě rozvíjela rezistence vůči ALS inhibitorům u travovitých plevelů ozimých obilnin, společnost Syngenta přípravky s tímto rizikovým mechanismem účinku proti travovitým plevelům nenabízela. V současnosti jsou v portfoliu přípravky s dobrým potenciálem uplatnění i v ALS rezistentních populacích trav i dvouděložných plevelů a vyhodnocením rizik a vhodným používáním sortimentu herbicidů lze rezistenci cíleně předcházet.

Z hospodářského pohledu je v současné době nejčastějším a nejzávažnějším problémem v ČR rezistence plevelných trav vůči inhibitorům ALS. Za jejím rozšířením stojí celá řada příčin, ale především dlouhodobé a nekritické používání oblíbených širokospektrálních herbicidů ze skupiny sulfonylmočovin a triazolopyrimidinů proti chundelce metlici a psárce polní. V lokalitách a na pozemcích, kde se objevila rezistence pouze k inhibitorům ALS, lze na chundelku metlici i psárku polní dosáhnout **výborné účinnosti s herbicidem Axial® Plus** (úč.l. pinoxaden) na bázi inhibitorů ACCázy. Výhodou je, že **Axial® Plus dobře účinkuje až do počátku sloupková- ní chundelky metlice a lze jej použít i později na jaře**, pokud je zjištěno selhání účinnosti z důvodu rezistence dříve použitého přípravku. Vzhledem k tomu, že pinoxaden je z pohledu vzniku rezistence také poměrně rizikovou látkou, neměl by být používán paušálně ani na ALS rezistentní populace, protože mnohé z nich mají částečně založenou i metabolickou rezistenci, která by s postupem času zasáhla i tuto látku. V posledních letech bylo sice nalezeno několik populací s vícenásobnou rezistencí jak k ALS inhibitorům, tak k pinoxadenu, ale jejich výskyt zatím není příliš velký. Výskyt rezistence pouze k pinoxadenu zatím v ČR nalezen nebyl. U psárky polní bývá problém v tom, že její populace mívají často metabolicky založenou rezistenci k ALS a ACCase inhibitorům, samotné postemergentní herbicidy nemívají očekávaný efekt a je vhodné jejich účinek posílit na podzim aplikovaným herbicidem Defi® Evo s účinnou látkou prosulfocarb. Prosulfocarb patří do skupiny tzv. inhibitorů syntézy lipidů, které jsou považovány za málo rizikové z pohledu vzniku rezistence. Bez ohledu na širokou nabídku postemergentních herbicidů určených pro aplikaci na jaře, měly by mít prosulfocarb (**herbicidy Defi® Evo nebo Boxer®**), případně flufenacet své místo v osevním postupu mezi sortimentem herbicidů používaných proti plevelným travám. Touto antirezistentní strategií je chráněna účinnost postemergentních herbicidů používaných na jaře, které jsou pouze na bázi ALS a ACCase inhibitorů, sice velmi účinné, ale s vysokým rizikem vzniku rezistence vůči nim.

První kroky jsou zásadní



Ideální partner pro podzimní
herbicidní ošetření pšenice ozimé



syngenta®

- Výborný a spolehlivý partner do TM kombinací
- Podpora antirezistentní strategie
- Specialista na svízel přítulu

Používejte přípravky na ochranu rostlin bezpečně. Před použitím si vždy přečtěte označení a informace o přípravku. Respektujte varovné věty a symboly.

www.syngenta.cz

TM

Novým přípravkem s **vysokou účinností proti trávovitým plevelům je Avoxa®**, protože se jedná o kombinaci dvou vysoce účinných látek pyroxsulamu (ALS inhibitor) a pinoxadenu (ACCCase inhibitor) s moderními koformulanty. Složení přípravku zajišťuje účinek jak na biotypy citlivé, tak i s rezistencí vůči jedné z účinných látek obsažených v přípravku, protože každá z nich má jiný mechanismus účinku. Vzhledem k tomu, že se jedná o kombinaci dvou mechanismů účinku, násobně se snižuje riziko vzniku rezistence, protože jsou v populaci pokryty biotypy s rezistencí vůči jedné či druhé skupině látek. Avoxu lze použít proti mnoha trávovitým plevelům, ale primárně je kvůli vyšší ceně určena proti nejodolnějšímu sveřepu jalovému. Částečného účinku dosahuje i v ALS rezistentních populacích sveřepu, ale v tomto případě by se nemělo jednat o opakovanou praxi, která by vedla k prohloubení rezistence.

Výskyt rezistentních populací sveřepu jalového a někdy i psárky polní k ALS inhibitorům působí velké problémy s jejich regulací. Z pohledu dobrého efektu na citlivé i rezistentní populace těchto trav **lze doporučit na vzešlé rostliny těchto trav v mezíporostním období nebo před setím aplikaci neselektivního herbicidu Touchdown® Quattro** (sulfosát), který je inhibitorem EPSPS. Tento mechanismus účinku je mezi herbicidy ojedinělý, a proto velmi užitečný z pohledu antirezistentní strategie.

V případě výskytu nebo podezření na rezistenci u populací máku vlčího, heřmánkovce přímořského nebo ptačince prostředního k inhibitorům ALS lze v rámci antirezistentních strategií v obilninách doporučit přípravky s obsahem syntetických auxinů - 2,4D nebo dicamby, které jsou obsaženy v přípravcích **Camaro® a Banvel® 480 S**, které je možno použít jak v ALS rezistentních, tak citlivých populacích jmenovaných plevelů i z preventivních důvodů.

V okopaninách a kukuřici se v ČR poměrně často vyskytují populace laskavce ohnutého, merlíku bílého a lilku černého rezistentní vůči PS II inhibitorům, mezi něž patří terbuthylazine a metamitron. **Vzhledem k tomu, že přípravky společnosti Syngenta určené do okopanin a kukuřice mají jiné mechanismy účinku, nebo obsahují minimálně 2 účinné látky s rozdílným mechanismem účinku, jsou schopné potlačovat i populace rezistentní k PS II inhibitorům a zároveň jejich používání nezakládá větší riziko vzniku rezistence.**

Antirezistentní strategie nelze doporučovat paušálně, ale jejich návrh se musí řídit lokálními podmínkami, které zahrnují podmínky přírodní a způsob hospodaření, na nichž závisí výskyt plevelů, pěstované plodiny a použitelné způsoby regulace plevelů. Vedle vhodného výběru přípravků a jejich kombinací je nutno pamatovat i na diverzitu používaných agrotechnických postupů, zvláště osevních postupů a způsobů zpracování půdy, které jsou v antirezistentních strategiích nepostradatelným prvkem.

Tato informační brožura vznikla v rámci dlouholeté spolupráce mezi společností Syngenta UK Limited a katedrou agroekologie a rostlinné produkce na ČZU v Praze při řešení výzkumných projektů zaměřených na výskyt a mechanismy herbicidní rezistence v ČR:

*Evaluation of the biology, geographical distribution and identification of herbicide resistance status in *Apera spica-venti* in the Czech Republic and development of solutions for its control (2002–2015)*

*Prevalence and mechanism of resistance to PSII inhibitors in *Chenopodium album*, *Solanum nigrum* and *Amaranthus retroflexus* in Czech Republic (2016–2019)*

Occurrence and mechanisms of resistance to ALS inhibitors and synthetic auxins in problematic dicot weeds in the Czech Republic (2019–2021)

a systematického monitoringu rezistence uskutečňovaného společností Syngenta CZ/SK pro své zákazníky v zemědělských podnicích v ČR a na Slovensku.

Autoři:

Ing. Kateřina Hamouzová, Ph.D.

Ing. Pavlína Košnarová, Ph.D.

Prof. Ing. Josef Soukup, CSc.

Foto na obálce: Ing. Pavel Hamouz, Ph.D.

Katedra ekologie a rostlinné produkce
Fakulta agrobiologie, přírodních a potravinových zdrojů
Česká zemědělská univerzita v Praze
165 00 Praha - Suchbát

Informace v tomto materiálu mají informativní charakter.

Při používání přípravků se řiďte pokyny uvedenými na etiketě přípravku.