

Vplyv pôdneho typu a systému agrotechniky na osud vybraných herbicídov

THE INFLUENCE OF SOIL TYPE AND TILLAGE SYSTEM ON SELECTED HERBICIDES FATE

Štefan Tóth, Martin Danilovič – Slovenské centrum poľnohospodárskeho výskumu – Ústav agroekológie, Michalovce

Na štúdium osudu pesticídov pri rozdielnej agrotechnike je zameraných mnoho pôvodných vedeckých prác (1, 2, 3, 4, 5). Hoci systém agrotechniky silno ovplyvňuje pôdne prostredie a tým sa potvrdzuje ako faktor osudu pôdnych herbicídov, všeobecne použiteľné uzávery sa pre rôznorodosť spôsobov hospodárenia a pokusných podmienok formulujú ťažko (4). Väčšina takto zameraných štúdií opisuje pôdne vlastnosti ako je obsah organického uhlíka (6), pH (7), štruktúra (8), obsah živín (9), vlhkosť (10), mikrobiálne zloženie (11) a ich vplyv na interakciu herbicídov s pôdou. Niekoľko dlhoročných štúdií dokumentuje obrovský význam klimatických činiteľov ako sú teplota a zrážky (4). Viac prác sleduje vplyv spôsobu hospodárenia na osud herbicídov (12, 13 a ďalší), pričom množstvo prác rozoberá ročné pozorovania (napr. 14, 15). Vplyv poveternostných podmienok a spôsobu hospodárenia má za výsledok lokálne unikátny osud herbicídov v pôde, vrátane vplyvu rezíduí herbicídov na následne pestované plodiny (16). Napriek značnému úsiliu vynaloženému pri štúdiu osudu herbicídov, je zatiaľ málo prác týkajúcich sa podmienok strednej Európy (14, 15), prípadne štúdie vplyvu rozdielnej agrotechniky absentujú.

Materiál a metóda

Problematika osudu piatich herbicídov (*terbuthylazine*, *dicamba*, *metribuzin*, *S-metolachlor* a *acetochlor*) v ornici a podornici pri troch systémoch agrotechniky bola riešená na dvoch lokalitách Východoslovenskej nížiny, resp. dvoch pôdnych typoch, v rokoch 2005–2007. Kým pokus na FM_G (fluvizem glejová – lokalita Milhostov) bol realizovaný počas troch rokov (2005 až 2007), pokus na FM_m (fluvizem modálna – Vysoká nad Uhom) bol z organizačných dôvodov realizovaný iba v roku 2005.

Na oboch lokalitách, resp. oboch pôdnych typoch, bol pokus realizovaný podľa rovnakej schémy. Na každej lokalite sme z desaťhonového oševného postupu sledovali 5 honov, resp. 5 plodín:

- FM_G – *terbuthylazine* (kukurica), *dicamba* (jačmeň jarný), *metribuzin* (sója), *S-metolachlor* (bôb obyč.), *acetochlor* (slnečnica),
- FM_m – *terbuthylazine* (kukurica), *dicamba* (jačmeň jarný), *metribuzin* (sója), *S-metolachlor* (hrach), *acetochlor* (slnečnica).

Výmera každého honu je rovná 1,5 ha. Na každom hone sme sledovali tri systémy agrotechniky:

- bezorbová (BO) – priama sejba do nespracovanej pôdy špeciálnymi sejacími strojmi Great Plains a Kinnze 2000,
- minimalizačná (MA) – plytké spracovanie pôdy bez jej obracania radličkovým kypričom po zbere predplodiny a predsejbová príprava pôdy ťažkými bránami, sejba Great Plains a Kinnze 2000,

- klasická (KA) – podmietka zbere predplodiny, stredne hlboká, resp. hlboká orba v závislosti od plodiny a predsejbová príprava pôdy ťažkými bránami, sejba Great Plains a Kinnze 2000.

Pokus sa realizuje za použitia veľkoplošnej techniky. Každý hon pozostáva zo štyroch podblokov, ktoré sa rovnajú štyrom priestorovo rozloženým opakovaniam troch systémov agrotechniky. Na honoch sa časom mení plodina, priestorové usporiadanie variantov agrotechniky v rámci podblokov sa časom nemení a tvorí tak dlhodobý systém. Výmera základného variantu reziduálnych pokusov bola 56 m² (8 × 7 m).

Testované herbicídy boli v registrovaných dávkach aplikované motorovým chrbtovým postrekovačom na povrch pôdy, resp. na list pri adekvátnom termíne vo vzťahu k štádiu plodiny (až na výraznejšie medziročné rozdiely pri *dicambe* a jačmeni), pri jednotnej dávke vody 300 l·ha⁻¹. Použité dávky a dátumy aplikácií ako aj detaily vysokorozlišovacích reziduálnych analýz uvádzame v tab. I., ďalšie ekologické parametre herbicídov v tab. II. Pôdne vzorky sme na rozdiel od termínov aplikácie odobrali približne v jednotnom termíne, koncom septembra až začiatkom októbra, a to z každého základného variantu.

Výsledky

Podľa nameraných hodnôt rezíduí sledovaných herbicídov (tab. III.) je zrejme, že výsledky sú podľa sledovaných herbicídov, rokov, pôdnych typov i vrstiev výrazne diferencované. I keď negatívne nálezy *acetochloru* a *S-metolachloru* vylučujú štatistické zhodnotenie, ich kauzalita môže byť objektivizovaná. Zhodnotenie osudu herbicídov *dicamba*, *metribuzin* a *terbuthylazine* je ďaleko komplikovanejšie.

Ako sme uviedli vyššie, v roku 2005 sme sledovali dva pôdne typy, v rokoch 2006 a 2007 jeden pôdny typ. Ročníky sa vzájomne výrazne odlišovali i charakterom poveternostných podmienok. Výnimočné charaktery ročníkov, najmä 2005 a 2007, obohatili pokus o ťažkosimulovateľné podmienky, avšak samozrejme sťažujú interpretáciu výsledkov. Týmto skutočnostiam zodpovedajúc predkladáme i hodnotenie.

Pokus v roku 2005

Pred samotným zhodnotením pokusu v roku 2005 k priebehu poveternostných podmienok uvádzame, že na žiadnej z dvoch lokalít nedošlo do piatich dní po aplikácii štyroch herbicídov *acetochlor*, *metribuzin*, *S-metolachlor* a *terbuthylazine* k vyššiemu dennému úhrnu zrážok ako 3,6 mm. Aplikácia herbicídu *dicamba* bola ale sprevádzaná enormnou zrážkovou čin-

nosťou. V nasledujúci deň po aplikácii došlo k trvalému dažďu o úhrne 36,8 mm (9. 6.), a obdeň spadlo 12,4 mm (10. 6.). To spôsobilo záplavu a následne odtok na ťažkej ílovitej pôde *fluvizemi glejovej* FM_G. Podobne 39,5 mm (9. 6.), resp. následne 8,8 mm (10. 6.), zrážok spadlo na stredne ťažkej pôde. Na *fluvizemi modálnej* FM_m ale k záplavovému efektu nedošlo a aplikácia herbicídu *dicamba* bola uskutočnená v ideálnych podmienkach o týždeň neskôr.

Ako sme uviedli, priebeh počasia v roku 2005 výrazne ovplyvnil osud herbicídu *dicamba*. V protiklade s tým, čo by sme očakávali po aplikácii za normálnych podmienok, sme menej rezíduí herbicídu *dicamba* namerali v ťažkej ílovitej pôde v porovnaní so stredne ťažkou piesočnatohlinitou pôdou, a podobne v protiklade aj s nameranými hodnotami rezíduí herbicídov *metribuzin* a *terbutylazine*. Vyšší obsah rezíduí *metribuzinu* a *terbutylazine* sme namerali na FM_G v porovnaní s FM_m. Vyšší obsah *metribuzinu* a *terbutylazine* v ťažkej ílovitej pôde súvisí so sorpčnými koeficientami samotných herbicídov a súčasne s vyššou sorpčnou kapacitou FM_G ako FM_m. Ťažká ílovitá pôda má vyššiu sorpčnú kapacitu ako piesočnatohlinitá stredne ťažká pôda a podobne *terbutylazine* má silnejší potenciál sorpcie ako *metribuzin*.

Všeobecne, obsah rezíduí herbicídov *dicamba*, *metribuzin* a *terbutylazine* bol v roku 2005 vyšší v orníčnej vrstve v porovnaní so sledovanou podorničnou vrstvou, hoci v prípade *metribuzinu* a *terbutylazine* nie sú rozdiely medzi pôdnymi vrstvami na FM_m. Vyšší obsah *terbutylazine* ako *metribuzinu* v ornici na FM_G zrejme súvisí s menšou mobilitou. Menší obsah rezíduí herbicídu *dicamba* na FM_G, vrátane oboch sledovaných vrstiev, ako na FM_m je pravdepodobne výsledkom odtoku spôsobeného záplavou. Medzi testovanými herbicídmi má *dicamba* najvyššiu mobilitu, čo zodpovedá za najvyšší obsah v podorničnej vrstve na FM_m.

Z analýzy reziduálnych hodnôt herbicídov *dicamba*, *metribuzin* a *terbutylazine* v pôde podľa systémov agrotechniky je zrejme, že sa neprejavila uniformita ani efektu samotného spôsobu obrábania ani interakčného efektu spôsobu obrábania s pôdnym typom. Musíme ale poznamenať, že pri vzorkovaní pôdy sme vylúčili vrchnú 0–5cm vrstvu ornice, kde sa vyskytujú rôzne organické zvyšky. V prípade herbicídu *dicamba* bol najvyšší obsah rezíduí pri klasickej agrotechnike, menší pri bezobovej a najmenší pri minimalizačnej agrotechnike. Tento všeobecný trend platil na FM_m, ale pri FM_G sa vystriedala pozícia KA a BO. Status rezíduí herbicídu *dicamba* je na FM_G pravdepodobne sekundárny, dôsledok záplavy. Rezíduá herbicídu *dicamba* vo vrstve 5–30 cm pôdy boli pri KA vyššie ako pri BO z pohľadu rozdielov zrážok. Viac rezíduí *dicamba* pri BO ako pri KA na FM_G sú zrejme spôsobené zrážkami, ktoré sa vyskytli deň po aplikácii. V protiklade s FM_m, kde sa zrážky nevyskytli niekoľko dní po aplikácii a obsah rezíduí *dicamba* bol vyšší pri KA ako pri BO.

V prípade hodnotenia rezíduí *metribuzinu* a *terbutylazine* podľa systémov obrábania pôdy je pozoruhodné, že na FM_m bol technicky merateľný obsah jedine pri *terbutylazine*, a to v ornici BO. Túto skutočnosť zdôvodňujeme vyšším sorpčným koeficientom *terbutylazine* v porovnaní s *metribuzine* ako aj predpokladane nižšou aktivitou mineralizačných procesoch

Tab. I. Herbicídne varianty a vybrané ekologické parametre aktívnych zložiek

Prípravok / účinná zložka (% v prípravku)	Dávka (kg, l.ha ⁻¹)	2005		2006	2007	Analyt. metóda / detektor / kv. l. / det. l.
		FM _G	FM _m	FM _G	FM _G	
Trophy <i>acetochlor</i> (76,8)	2,5	10,05	9,05	12,05	20,04	GC/MS/0,016
Dual Gold 960 EC <i>S-metolachlor</i> (96,0)	1,4	14,04	14,04	24,04	16,03	GC/ECD/0,01/0,008
Sencor 70 WP <i>metribuzin</i> (70,0)	1	10,05	10,05	4,05	24,04	GC/ECD/0,005/0,002
Click 500 <i>terbutylazine</i> (50,0)	3	10,05	9,05	12,05	23,04	GC/ECD/0,005/0,002
Banvel 480 S <i>dicamba</i> (48,0)	0,125	8,06	15,06	12,05	23,04	HPLC/DAD/0,01/0,009

GC – plynová chromatografia, HPLC – vysokoúčinná kvapalná chromatografia, MS – hmotnostný detektor, ECD – detektor elektrónového záchytu, DAD – detekcia diódovým poľom, kv. l. – kvantifikačný limit a det. l. – detekčný limit (mg.kg⁻¹)

pri BO. Vplyv všeobecne proklamovaného vyššieho obsahu organickej hmoty v ornici pri BO by sme mohli v prípade *terbutylazine* očakávať vo vrchnej 0–5cm vrstve, avšak v 5–30cm vrstve to môžeme zrejme zanedbať.

Hodnoty rezíduí *metribuzinu* a *terbutylazine* v ornici a podornici na FM_G boli podľa sledovaných systémov agrotechniky navzájom podobné a mohli byť ovplyvnené záplavou, ktorá sa vyskytla približne mesiac po aplikácii týchto herbicídov. Menší obsah a rozloženie rezíduí *metribuzinu* ako *terbutylazine* súhlasí s kratším polčasom rozkladu *metribuzine* v pôde v protiklade s vyšším polčasom rozkladu *terbutylazine*. Napriek vyššiemu sorpčnému potenciálu má *terbutylazine* vyššiu mobilita vďaka dlhšej perzistencii.

Pokus v rokoch 2006 a 2007

K priebehu poveternostných podmienok v rokoch 2006 a 2007 uvádzame, že do piatich dní po aplikácii sledovaných herbicídov nedošlo k zrážkam presahujúcim 4,6 mm, až na deň po aplikácii *metribuzinu* v 2006, kedy spadlo 6,8 mm. Teplotne boli ročníky 2006 a 2007 výrazne nadpriemerné. Kým väčšina mesiacov v ročníku 2006 boli vlhké, až na suchý august, ročník 2007 bol naopak suchý, až na september. Ak zanedbáme september 2007, kedy bol enormný úhrn zrážok, hydrotermicky ide o výnimočne suchý rok (H_k = 0,63), čo má pri ťažkej ílovitej pôde svoje dôsledky. Zrážky v septembri 2007 mali privalový charakter, väčšina mesačného úhrnu padla v troch dávkach počas štyroch dní (43,5 mm 4. 9.; 20,7 mm 5. 9.; 15,4 mm 17. 9. a 21,2 mm 27. 9.).

Podobne ako v roku 2005, všetky reziduálne analýzy *acetochloru* a *S-metolachloru* boli aj v rokoch 2006 a 2007 negatívne nálezy. V prípade *metribuzinu* sme v rokoch 2006 a 2007 zistili

Tab. II. Vybrané ekologické parametre aktívnych zložiek (17, 18)

Účinná látka	Plak pár (mPa)	Rozpustnosť vo vode pri 20 °C (mg.l ⁻¹)	Polčas rozkladu v pôde DT ₅₀ (dni)	Mobilita (GUS)	Sorpčný koeficient (mg.g ⁻¹)
acetochlor	400	223	14 (13)	1,94	203
S-metolachlor	3,7	480	22 (21)	0,76	2 261
metribuzin	0,121	1 165	19 (40)	2,57	37,9
terbutylazine	0,15	8,5	46 (45)	2,74	220
dicamba	1,67	5 500	14 (12)	3,31	13

Tab. III. Obsah reziduí herbicidů v půdě podľa pôdnych typov, pôdnych vrstiev a systémov agrotechniky

Agrotechnika Pôdna vrstva		aceto- chlor	dicam- ba	metri- buzin	S-meto- lachlor	terbutyl- lazine
Rezídua herbicidů v půdě (mg.kg ⁻¹)						
FM _g – 2005						
KA	ornica	< 0,016	0,250	0,003	< 0,008	0,010
	podornica	< 0,016	0,070	< 0,002	< 0,008	0,005
MA	ornica	< 0,016	0,160	0,003	< 0,008	0,023
	podornica	< 0,016	< 0,010	< 0,002	< 0,008	0,010
BO	ornica	< 0,016	0,645	< 0,002	< 0,008	0,006
	podornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,007
FM – 2005						
KA	ornica	< 0,016	0,950	< 0,002	< 0,008	< 0,002
	podornica	< 0,016	0,200	< 0,002	< 0,008	< 0,002
MA	ornica	< 0,016	0,300	0,002	< 0,008	< 0,002
	podornica	< 0,016	0,025	< 0,002	< 0,008	< 0,002
BO	ornica	< 0,016	0,300	< 0,002	< 0,008	0,008
	podornica	< 0,016	0,035	< 0,002	< 0,008	< 0,002
FM _g – 2006						
KA	ornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,051
	podornica	< 0,016	0,993	< 0,002	< 0,008	0,014
MA	ornica	< 0,016	0,045	< 0,002	< 0,008	0,056
	podornica	< 0,016	0,206	< 0,002	< 0,008	0,009
BO	ornica	< 0,016	0,023	< 0,002	< 0,008	0,018
	podornica	< 0,016	0,165	< 0,002	< 0,008	0,003
FM _g – 2007						
KA	ornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,038
	podornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,009
MA	ornica	< 0,016	< 0,009	0,006	< 0,008	0,048
	podornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,009
BO	ornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,005
	podornica	< 0,016	< 0,009	< 0,002	< 0,008	0,002

Uvedené údaje sú priemernou hodnotou získanou zo štyroch priestorovo rozložených opakovaní.

takmer totožný jav. Jediné technicky merateľné hodnoty reziduí *metribuzinu* sme namerali v oboch ročníkoch zhodne na ornici pri minimalizačnej agrotechnike. Kým v roku 2006 bol priemer tejto hodnoty na hranici detekčného limitu, v roku 2007 išlo o trojnásobne vyššiu hodnotu. Pri *metribuzine* sme v rokoch 2006 a 2007 nezistili detekovateľné hodnoty reziduí ani na BO ani na KA, v žiadnej z dvoch sledovaných vrstiev pôdy.

V prípade herbicidu *dicamba* sme v roku 2006 zaznamenali vyššie hodnoty reziduí v pôde ako v roku 2005, kým v roku 2007 bola väčšina vzoriek negatívna. Zaujímavým je zistenie, že v 2006 boli vyššie hodnoty reziduí *dicamby* namerané v spodnej vrstve v porovnaní s vrstvou ornice. Táto skutočnosť súhlasí s najvyššou mobilitou *dicamby* v porovnaní s ostatnými sledovanými herbicidmi. Za dôvod negatívnych nálezov herbicidu *dicamba* v roku 2007 pokladáme skutočnosť, že kalendárne bol aplikovaný o poldruha mesiaca skôr ako v roku 2005, a tiež

špecifikum ťažkých pôd – preferenčné prúdenie pôdnymi prasklinami vzťahujeme najmä na ročník 2007, čo priblížime v diskusii.

V prípade *terbutylazine* sme vyššie hodnoty reziduí namerali v 2006 v porovnaní s 2007, čo platilo tak o vrchnej vrstve ornice, ako aj o podornickej vrstve. Rezíduá *terbutylazine* v 2006 a 2007 prevyšovali hodnoty reziduí v 2005. Pokiaľ distribúcia reziduí *terbutylazine* podľa vrstiev súvisí s vysokou sorpciou, samotný vyšší obsah súvisí s vyššou perzistenciou herbicidu.

Diskusia

I keď negatívne nálezy *acetochloru* a *S-metolachloru* vylučujú štatistické zhodnotenie, kauzalita osudu týchto herbicidů môže byť objektivizovaná. Pri *acetochlore* spájame negatívne nálezy hlavne s vysokým tlakom pár, zapravenie tohto herbicidu do pôdy favorizujeme ako spôsob aplikácie, zamedzí úniku odparením. Pri *S-metolachlore* spájame negatívne nálezy s pomerne vysokými limitmi stanovenia ako aj termínom aplikácie. Je skutočnosťou že *S-metolachlor* bol v roku 2005 aplikovaný 14. 4., mesiac pred herbicidmi *acetochlor*, *terbutylazine* a *metribuzin* a približne dva mesiace skôr ako *dicamba*. V roku 2006 bol *S-metolachlor* aplikovaný neskôr 24. 4., dekadu pred herbicidom *metribuzin* a takmer dve dekadý pred herbicidmi *terbutylazine*, *acetochlor* a *dicamba*, kým v roku 2007 už 16. 3., mesiac pred *acetochlorom* a dekadu a mesiac skôr ako *terbutylazine*, *dicamba* a *metribuzin*.

Zhodnotenie osudu herbicidů *dicamba*, *metribuzin* a *terbutylazine* je ďaleko obtiažnejšie. Namerané hodnoty reziduí týchto herbicidů svedčia o významnej úlohe chemických a fyzikálnych vlastností pôd, ako aj o evidentnom vplyve priebehu poveternostných podmienok krátko po aplikácii, ale aj o celkovom charaktere ročníka. Rôzne štúdie spájajú osud herbicidů napr. *terbutylazine* s obsahom ílovitých minerálov, organickej hmoty a hodnotou pH (19). Naše údaje jednoznačne potvrdzujú vyšší obsah reziduí *metribuzine* a *terbutylazine* v pôde s vyšším obsahom ílovitých častíc a organickej hmoty. Sorbovaný herbicid je držaný a chránený od úniku odtokom či priesakom nadol a od mikrobiálnej degradácie, hlavného zdroja rozkladu (10, 6, 8, 9, 20, 21 a veľa ďalších prác). Kým herbicidy *metribuzin* a *terbutylazine*, v roku 2005 obe aplikované mesiac pred *dicambou* na FM_g, boli sorpciou chránené proti úniku záplavou, naopak *dicamba* prejavila svoju mobilitu. Menej *terbutylazine* na FM_m v roku 2005 a menej až žiadny *metribuzin* na FM_m a FM_G v rokoch 2005 až 2007 je zrejme výsledkom vyššej aktivity mikroorganizmov, nižšej sorpčnej kapacity stredne ťažkej piesočnatohlinitej pôdy, prípadne skoršej aplikácie.

V prípade *dicamby* je stav a distribúcia v roku 2005 očividne skreslený záplavou, kým stav v roku 2006 je zrejme „normálny“. Stav *dicamby* v roku 2007 pokladáme za výsledok skoršej aplikácie a hlavne suchej jari a suchého leta, za ktorými nasledovali privalové dažde v mesiaci september, kedy bol mobilný prípravok pravdepodobne zmytý do spodných vrstiev preferenčným prúdením cez makropóry, pôdne praskliny vytvorené v dôsledku predošlého dlhšetrvajúceho sucha. Ide o špecifikum ťažkých pôd, napučievania a vysychania ílovitých minerálov. Predpokladáme, že pôdne pukliny umožnili preferenčné prúdenie až do hlbších vrstiev pôdneho profilu ako bola nami sledovaná vrstva 50–60 cm. Priaznivú mikrobiálnu degradáciu v roku 2007 nepredpokladáme, išlo o ročník výrazne suchý a teplý, kým aktivita mikroorganizmov je podľa zistení ZHOUA ET

al. (22) vysoká pri teplej a vlhkej pôde s pH blízkou neutrálnym hodnotám. Hodnoty hydrotermického koeficientu explicitne poukazujú na intenzitu mikrobiálnej činnosti, svedčia o vysokej degradácii herbicídov na FM_m v roku 2005.

Hodnotenie sledovaných vrstiev pôdy prináša najzreteľnejšie výsledky nielen v prípade herbicídu *dicamba*. Relácie medzi rezíduami herbicídov *dicamba*, *terbutylazine* a *metribuzin* zodpovedajú ich mobilite. Napriek výraznej sorpcii herbicídu *terbutylazine* (19) môže byť tento herbicíd transportovaný k povrchovým vodným nádržiam (23). V podmienkach nášho pokusu sa *terbutylazine* v každom z troch sledovaných rokov „disciplinované“ držal orníčnej vrstvy a bol najperzistentnejší. Podľa sledovaní presakovania herbicídov *atrazine*, *metolachlor* a *diuron* v závislosti od hĺbky zapravenia v naplavených hlinených pôdach, DELPHIN A CHAPOT (24) uvádzajú vysokú horizontálnu variabilitu koncentrácie herbicídov v pôdnom roztoku, čo s hrudovitou štruktúrou obrábanej vrstvy prispelo k cestám úniku. Túto heterogenitu hodnotia ako kanály toku vody k zakázaným pásmam a tak narastá riziko kontaminácie podzemných vôd. Touto heterogenitou zdôvodňujeme úroveň smerodajných odchýlok priemerných hodnôt rezíduí herbicídov, pri matematickom spracovaní sme žiadnu z nameraných hodnôt nevylúčili.

Príčiny nejednotného vplyvu obrábania pôdy na obsah rezíduí herbicídov *dicamba*, *metribuzin* a *terbutylazine* spája hlavne s mobilitou a perzistenciou. Aktuálna mobilita priesakom, resp. odtokom vychádza z intenzity a rozloženia zrážok. V sledovanom období bol odlišný priebeh počasia a potvrdzujeme skutočnosť, že vplyv počasia je tlmený alebo zvýraznený systémom agrotechniky. Podľa záverov MYERSA ET AL. (25) týkajúcich sa simulovania intenzity zrážok, produkuje klasická agrotechnika všeobecne menej povrchového odtoku a s tým spojeného úniku koncentrácií chemikálií v porovnaní s bezorbovým systémom so zvyškami kukurice i v porovnaní s bezorbovým systémom bez zvyškov kukurice, a to pri zrážkach o menšej intenzite (12,7 mm za hodinu) ako aj vysokej intenzite (50,8 mm za hodinu) navodených do 30 minút po aplikácii herbicídov *atrazine* a *metolachlor*. Dôležité z tohto pohľadu uvádzajú uzavierací proces pôdy pri klasickej agrotechnike. Menšie hodnoty odtoku pri klasickej agrotechnike spôsobuje vyššiu koncentráciu chemikálií v pôde, podľa agrotechnických variantov ide spravidla o rozdiely vo vrchnej 0–15cm vrstve pôdy.

Naše výsledky, týkajúce sa herbicídu *dicamba* na FM_G v roku 2005 indikujú vyšší priesak pri klasickej agrotechnike v porovnaní s minimalizačnou i bezorbovou agrotechnikou a zároveň poukazujú na najvyšší odtok pri minimalizačnej agrotechnike. Úhrn zrážok po aplikácii herbicídu *dicamba* na FM_G v roku 2005 prevyšil sumu zrážok simulovaných vo štúdiu MYERSA ET AL. (25). Naše výsledky korešpondujú s uzáverom GAYNORA ET AL. (26) v štúdiu rozdielne mobilných herbicídov *atrazine* a *metolachlor*, kde bezorbová agrotechnika zmenila zdroj mobility v porovnaní s klasickej agrotechnikou, avšak pre určenie strát herbicídov boli environmentálne podmienky po aplikácii herbicídov dôležitejšie ako systém agrotechniky. V poľných podmienkach môžu rastlinné zvyšky očividne zachytiť a na čas zadržať niektoré herbicidy. Podľa práce DAO (21) pridanie slamy do pôdy zvyšuje obsah organického uhlíka v oblasti blízko povrchu pôdy pri bezorbovej agrotechnike čo má za výsledok dvoj až pätnásobné zvýšenie retencie *metribuzinu*. Podľa údajov MYERSA ET AL. (25) povrchová 0–7,5cm vrstva pôdy obsahuje najvyššie koncentrácie chemikálií pri klasickej agrotechnike ako aj bezorbových systémoch, pričom agrotechnika ovplyvňuje rozdiely hlavne vo vrchnej 0–15cm vrstve

pôdy. Hoci vyššie množstvo vertikálne presakujúcej *dicamby* v chodbách dažďoviek sa očakáva práve pri bezorbovej agrotechnike ak sa zrážky väčšej intenzity vyskytnú krátko po aplikácii. Redukciu tohto transportu pri BO na FM_G spájame s dňovým oneskorením priesak a odtok vyvolávajúcou zrážkou vysokého úhrnu a s tým, že tejto udalosti predchádzaly zrážky nízkej intenzity v roku 2005 (0,7 mm na FM_G 8. 6. 2005 – deň aplikácie herbicídu *dicamba*, resp. 38,6 mm 9. 6.).

Agrotechnika vplyva na rozklad herbicídov. Podľa pozorovaní rozkladu herbicídov GASTONA A LOCKEHO (27), je rozklad rýchlejší na povrchu pôdy v porovnaní s hlbšími vrstvami pôdy a rýchlejší pri klasickej v porovnaní s bezorbovou agrotechnikou. Podobne štúdia HANG ET AL. (28) týkajúca sa osudu *atrazine* v pôdnom profile nezoraných pôd, je len výnimkou ak sa vyskytne rýchlejšia degradácia v hlbšej vrstve v porovnaní s povrchovou alebo podpovrchovou vrstvou. DAO (20) spája asymetriu krivky rozkladu oboch ním sledovaných herbicídov *metribuzinu* a *S-ethylmetribuzinu* s pomalým uvoľňovaním herbicídu z rastlinných zvyškov. Afinita slamy môže redukovať herbicídnu účinnosť v pôde aktivovaných herbicídov ak sú aplikované postrekom na povrch pôdy pri bezorbovej agrotechnike.

Záver

Naše sledovanie a výsledky potvrdzujú fenomén silného vplyvu agrotechniky na osud herbicídov, ktorý je zosilnený prípadne oslabený pôdnym typom, avšak determinovaný je aktuálnym priebehom poveternostných podmienok. Dominantný vplyv charakteru ročníka diferencuje osud herbicídov v súlade s environmentálnymi parametrami samotných herbicídov. Zo sledovaných faktorov jediný agronomicky ovládateľný – agrotechnika, môže byť použitý ako nástroj zníženia prípadne zvýšenia herbicídnej účinnosti, avšak nesprávna interakcia použitej agrotechniky a herbicídu umocňuje neželané znečistenie životného prostredia. Pre súčasné zmeny v technológiách obrábania pôdy sa žiada pri uvádzaní herbicídov konkretizovať alternatívy ich environmentálneho osudu vo vzťahu k agrotechnike.

Súhrn

Predkladaná práca porovnáva osud *acetochloru* (GC/MS), *dicamby* (HPLC/DAD), *metribuzinu* (GC/ECD), *S-metolachloru* (GC/ECD) a *terbutylazine* (GC/ECD) v orníčnej (5–30 cm) a podorníčnej vrstve (50–60 cm) pri bezorbovej (BO), minimalizačnej (MA) a klasickej agrotechnike (KA). Dlhoročný stacionárny a veľkoplošný poľný pokus bol založený na dvoch lokalitách, resp. dvoch pôdnych typoch Východoslovenskej nížiny, Fluvizemi glejovej (FM_G) a Fluvizemi modálnej (FM_m), hodnotené údaje pochádzajú z obdobia rokov 2005–2007. Všetky reziduálne analýzy *acetochloru* a *S-metolachloru* boli negatívnym nálezom, čo spájame hlavne s vysokým tlakom pár, resp. vysokým detekčným limitom. Obsah rezíduí *dicamby*, *metribuzinu* a *terbutylazine* v pôde bol ovplyvnený agrotechnikou a determinovaný aktuálnym priebehom poveternostných podmienok. Pri *dicambe* sa prejavila vysoká mobilita, pri *terbutylazine* naopak vysoká sorpcia. Hoci sme najvýraznejšiu vertikálnu mobilitu *dicamby* očakávali pri BO, kedy sa na FM_G deň po aplikácii vyskytla enormná zrážková činnosť s následným efektom záplavy v 2005, presakovanie a odtok boli redukované výskytom zrážky malej intenzity v deň aplikácie. Pomer obsahu rezíduí *dicamby* pri BO a KA naznačujú zmenu zdroja úniku medzi presakovaním a povrchovým odtokom. V „normálnych“ podmienkach ročníka 2006 bol obsah rezíduí *dicamby* všeobecne vyšší v podorníčnej ako v orníčnej vrstve. Podmienky

suchej jare a leta v ročníku 2007 a následne september s enormne vysokým úhrnom zrážok pravdepodobne spôsobili na ťažkej pôde FM_G únik *dicamba* až do hlbších ako sledovaných vrstiev pôdy. Vyšší obsah *metribuzinu* a *terbutylazine* pri FM_G ako FM_m súvisí s vyššou sorpčnou kapacitou pôdy. Všeobecne bol najvyšší obsah reziduí *terbutylazine* pri MA, menej pri KA a najmenej pri BO.

Literatúra

- STODDARD C. S. ET AL.: Fertilizer, tillage and dray manure contributions to nitrate and herbicide leaching. *Journal of Environmental Quality*, 34, 2005 (4), s. 1354–1362
- MICKELSON S. K. ET AL.: Tillage and herbicide incorporation effect on residue cover, runoff, erosion, and herbicide loss. *Soil and Tillage Research*, 60, 2001 (1–2), s. 55–66.
- HANSEN N. C., GUPTA S. C., MONCRIEF J. F.: Herbicide banding and tillage effects on runoff, sediment, and phosphorus losses. *J. Environ. Quality*, 29, 2005 (5), s. 1555.
- LOCKE M. A., BRYSON C. T.: Herbicide – soil interactions in reduced tillage and plant residue management systems. *Weed Science*, 45, 1997, s. 307–320.
- LOCKE M. A., ZABLOTOWICZ R. M., WEAVER M. A.: Herbicide fate under conservation tillage, cover crop, and edge-of-field management practises. In *Handbook of Sustainable Weed Management*, Haworth Press, Inc., Binghamton, NY, 2006, s. 373–391.
- BRICENO G., PALMA G., DURAN N.: Influence of organic amendment on the biodegradation and movement of pesticides. *Critical Reviews in Environm. Sci. and Technol.*, 37, 2007 (3), s. 233–271.
- DELGADO MORENO L. ET AL.: Behaviour of bensulfuron-methyl in an agricultural alkaline soil. *J. Environm. Sci. and Health, Part B – Pesticides Food Contaminants and Agricultural Wastes*, 42, 2007 (3), s. 241–248.
- BUELKE S. ET AL.: Evaluation of simplifying assumptions on pesticide degradation in soil. *J. Environm. Quality*, 3, 2005 (6), s. 1933–1943.
- CALVET R., TERCÉ M., ARVEIEU J. C.: Adsorption des pesticides par les sols et leur constituants. III. Caractéristiques générales de l'adsorption des pesticides. *Ann. Agron.*, 31, 1980, s. 239–257.
- ALLETO L. ET AL.: Effects of temperature and water content on degradation of isoproturon in the three soil profiles. *Chemosphere*, 64, 2006 (7), s. 1053–1061.
- GRUNDMANN S. ET AL.: Application of microbial hot spots enhances pesticide degradation in soils. *Chemosphere*, 68, 2007 (3), s. 511–517.
- WALKER A., AUSTIN C. R.: Effect of recent cropping history and herbicide use on the degradation rates of isoproturon in soil. *Weed Research*, 44, 2004 (1), s. 5–11.
- BRESNAHAN G. A. ET AL.: Sorption-desorption of aged isoxaflutole and diketonitrile degradate in soil. *Weed Research*, 44, 2004 (3), s. 397–403.
- KOČÁREK M. ET AL.: Chlortoluron behaviour in five different soil types. *Plant Soil Environ.*, 51, 2005 (7), s. 304–309.
- HILLER E. ET AL.: Laboratory study of retention and release of weak acid herbicide MPCA by soils and sediments and leaching potential of MCPA. *Plant Soil Environ.*, 52, 2006 (2), s. 550–558.
- TÓTH Š.: Rizikové faktory reziduí herbicídov na produkciu repy cukrovej. *Listy cukrov. řepář.*, 123, 2007 (5/6), s. 158–161.
- University of Hertfordshire & Footprint: Pesticide Properties Database. *Creating tools for pesticide risk assessment and management in Europe*, [online] <http://www.herts.ac.uk/aeru/footprint/en> (9. 11. 2007).
- TOMLIN C. D. S.: *The pesticide Manual*. BCPC, Hampshire, UK, 13th edition, 2003, 1344 s., ISBN 1 901396134.
- FINOCCHIARO R. ET AL.: Adsorption of molinate, terbutylazine, bensulfuron-methyl, and cinosulfuron on different Italian soils. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14, 2005 (8), s. 690–697.
- DAO T. H.: Field decay of wheat straw and its effects on metribuzin and S-ethyl metribuzin sorption and elution from crop residues. *J. Environm. Quality*, 20, 1991 (1), s. 203.
- DAO T. H.: Subsurface mobility of metribuzin as affected by crop residue placement and tillage method. *J. Environm. Quality*, 24, 1995 (6), s. 1193.
- ZHOU X., OKAMURA H., NAGATA S.: Abiotic degradation of triphenylborane pyridine (TPBP) antifouling agent in water. *Chemosphere*, 67, 2007 (10), s. 1904–1910.
- OTTO S., ALTISSIMO L., ZANIN G.: Terbutylazine contamination of the aquifer north of Vicenza (North-East Italy). *Environmental Science and Pollution Research*, 14, 2007 (2), s. 109–113.
- DEPLPHIN J. E., CHAPOT J. Y.: Leaching of atrazine, metolachlor and diuron in the field in relation to their injection depth into a silt loam soil. *Chemosphere*, 64, 2006 (11), s. 1862–1869.
- MYERS J. L., WAGGER M. G., LEIDY R. B.: Chemical movement in relation to tillage system and stimulated rainfall intensity. *J. Environm. Quality*, 24, 1995 (6), s. 1183.
- GAYNOR J. D., MAC TAVISH D. C., FINDLAY W. I.: Atrazine and metolachlor loss in surface and subsurface runoff from three tillage treatments in corn. *J. Environm. Quality*, 24, 1995 (2), s. 246.
- GASTON L. A., LOCKE M. A.: Acifluorfen sorption, degradation and mobility in a Mississippi delta soil. *Soil Science Society of America J.*, 64, 2000 (1), s. 112.
- HANG S., BARRRUSO E., HOUOT S.: Atrazine behaviour in the different pedological horizons of two Argentinean non-till soil profiles. *Weed Research*, 45, 2005 (1), s. 130–139.

Tóth Š., Danilovič M.: The influence of soil type and tillage system on selected herbicides fate

The study compares the results of investigation of *acetochlor* (GC/MS), *dicamba* (HPLC/DAD), *metribuzin* (GC/ECD), *S-metolachlor* (GC/ECD) and *terbutylazine* (GC/ECD) fate from topsoil (5–30 cm) and subsoil (50–60 cm) samples according to no-till technology (NT), reduced agrotechnique (RA) and conventional tillage (CT). The long-term stationary field trial was established on Gleyic Fluvisol (GF) and Eutric Fluvisol (EF) and valuated data come from the environmental conditions of 2005–2007, from Central European East Slovakian Lowland. All *acetochlor* and *S-metolachlor* residual analyses were negative findings, what is connected mainly with high vapour pressure or with high detection limit respectively. *Dicamba*, *metribuzin* and *terbutylazine* residue content in soil was dependent on the used tillage system enhanced or delayed by soil conditions and actually determined by weathering. It was demonstrated the highest mobility of *dicamba* and the highest sorption of *terbutylazine*. However the greatest *dicamba* vertical movement was expected at NT when high-intensity rainfall occurred one day after it's application concerning GF in 2005 invoking deluge event, the leaching was reduced by a delay in rainfall and by low-intensity events prior to high intensity. Relations between *dicamba* residues content according agrotechnique variants indicate the source of escape altering, especially leaching and surface run-off relevant for CT and NT. In 2006 at normal weathering conditions there was higher *dicamba* content in subsoil in comparing to topsoil, valid for each of three solved agrotechnique variants. Arid spring and summer conditions in 2007 formed soil cracks on heavy clay soil and subsequently humid September apparently resulted leaching at NT on GF. The higher *metribuzin* and *terbutylazine* content at GF corresponds to the herbicide own higher organic carbon sorption constant in one breath with higher sorption capacity of GF as EF. In general there was the highest *terbutylazine* residues content on RA, less on CT and the least on NT.

Key words: tillage system, soil type, herbicide, residue.

Kontaktná adresa – Contact address:

Ing. Štefan Tóth, PhD., Ing. Martin Danilovič, PhD., Slovenské Centrum Poľnohospodárskeho Výskumu – Ústav Agroekológie, Michalovce, Špitálska 1273, 071 01 Michalovce, Slovensko, e-mail: toth@scpv-ua.sk