

EDWARD SZELEŹNIAK

Zakład Uprawy Roślin Zbożowych
Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Puławy

WPŁYW ZWIĄZKÓW MINERALNYCH I ORGANICZNYCH
MODYFIKUJĄCYCH pH CIECZY OPRYSKOWEJ NA SKUTECZNOŚĆ
DZIAŁANIA TRALKOKSYDYMU

Effect of mineral and organic compounds modifying spray pH on tralkoxydim efficacy

ABSTRAKT: Wyniki badań opublikowane w literaturze zagranicznej i krajowej wskazują, że skuteczność chwastobójcza wielu herbicydów, zwłaszcza stosowanych w dawkach zmniejszonych, jest silnie modyfikowana zarówno przez niektóre sole mineralne obecne w wodzie użytej do przygotowania cieczy opryskowej, zmieniające jej pH, jak również przez jedno- i wieloskładnikowe adiuwanty do niej dodawane.

Celem badań, przeprowadzonych w szklarni, było określenie wpływu wybranych związków mineralnych oraz adiuwantów organiczno-mineralnych i organicznych na biologiczną aktywność tralkoksydymu stosowanego w małych dawkach, a także ustalenie zależności między skutecznością chwastobójczą tego herbicydu i pH cieczy opryskowej oraz składem jonowym wód naturalnych pochodzących z różnych źródeł.

Wykazano, że wodorotlenki i sole mineralne znacznie zwiększające pH roztworu opryskowego wydawnie wzmagają skuteczność chwastobójczą tralkoksydymu aplikowanego w wodzie dejonizowanej, odznaczającej się odczynem kwaśnym. Stopień redukcji świeżej masy gatunku *Setaria glauca* zwiększał się w miarę wzrostu (do określonego poziomu) ich stężenia w cieczy opryskowej i pH roztworu. Nie stwierdzono wyraźnego ukierunkowanego powiązania skuteczności chwastobójczej herbicydu z wielkością wskaźnika pH, kiedy tralkoksydim aplikowano łącznie z adiuwantami organicznymi lub organiczno-mineralnymi. W takich warunkach wystąpiło znaczne zróżnicowanie aktywności biologicznej tralkoksydymu w zależności od składu jonowego wód naturalnych i składu chemicznego adiuwantów.

Uzyskane wyniki poszerzyły wiedzę z zakresu reakcji tralkoksydymu na czynniki natury chemicznej. Ponadto wykazały, że efektem zastosowania właściwego adiuwanta jest osiągnięcie bardzo dobrej skuteczności chwastobójczej tego preparatu, nawet w warunkach zastosowania małej dawki substancji aktywnej herbicydu, niezależnie od składu jonowego wody użytej do sporządzenia roztworu opryskowego.

słowa kluczowe: key words:

tralkoksydim – tralkoxydim, efektywność chwastobójcza – weed-control efficacy, adiuwanty – adjuvants, skład jonowy wody – water ionic composition, pH cieczy opryskowej – spray pH

WSTĘP

Badania naukowe dotyczące wpływu soli mineralnych obecnych zarówno w wodzie służącej do rozcieńczania herbicydu, jak i dodawanych celowo do cieczy opryskowej zaczęto prowadzić na dużą skalę kilkanaście lat temu. Zagadnienie to jest jednak w dalszym ciągu aktualne, przede wszystkim ze względu na systematyczne wprowadzanie do praktyki rolniczej nowych substancji biologicznie czynnych, bardzo duże zróżnicowanie zasolenia wód powierzchniowych, gruntowych i głębinowych używanych do przygotowania roztworu opryskowego, jak również stosunkowo powszechnie występującą, pozytywną lub negatywną reakcję wielu herbicydów na kationy występujące w wodzie pochodzącej ze źródeł naturalnych. Użycie wody silnie zmineralizowanej, o dużym stężeniu kationów Na^+ , Ca^{++} i Mg^{++} , może być przyczyną zmniejszenia biologicznej aktywności takich herbicydów jak np.: glifosat (8, 10), 2,4-D (2, 9), setoksydym (3, 4, 5), tralkoksydym (6), uazifop P, quizalofop (10) i inne. Sole miedzi, żelaza i cynku także ograniczają skuteczność działania niektórych środków chwastobójczych (4). Wykazano, że określony związek mineralny np. CaCl_2 , który działa antagonistycznie w stosunku do jednej substancji biologicznie czynnej, w obecności innej może spowodować wystąpienie zjawiska synergizmu (10). Ustalono ponadto, że związki mineralne zawarte w wodzie pochodzącej ze źródeł naturalnych mogą zarówno wspomagać, hamować, jak też nie wywierać istotnego wpływu na fitotoksyczność herbicydu, a kierunek reakcji zależy od składu kationowo-anionowego wody (9), a także pH roztworu opryskowego (11, 12). Dlatego konieczne jest przeprowadzenie szczegółowych badań w tym zakresie z każdą substancją biologicznie czynną wprowadzaną do praktyki rolniczej. W związku z tym, że zasób wiedzy odnośnie reakcji tralkoksydymu na czynniki związane z jakością wody był ograniczony, podjęto badania mające na celu ustalenie:

- a) które związki mineralne i w jakim zakresie stężeń zwiększają skuteczność chwastobójczą tralkoksydymu,
- b) jakie są zależności między stopniem fitotoksyczności tego herbicydu a wielkością wskaźnika pH cieczy opryskowej, który jest modyfikowany składem jonowym wody i fizykochemicznymi właściwościami adiuwanta wchodzącego w skład roztworu opryskowego,
- c) które z wybranych adiuwantów wykazują największą efektywność wspomaganie herbicydu w warunkach ograniczenia jego dawki oraz dużego zróżnicowania składu jonowego wód naturalnych użytych do przygotowania cieczy opryskowej.

MATERIAŁ I METODY

Eksperymentalną część badań przeprowadzono w latach 2001–2002 w Uniwersytecie Stanowym Dakoty Północnej w Fargo (USA). Doświadczenia wazonowe

zakładano w szklarni, w układzie kompletnie zrandomizowanym, każde w czterech powtórzeniach i dwu seriach następujących po sobie w odstępie 7–10 dni. Gatunkiem testowym była włośnica sina *Setaria glauca* (L.) Beauv. (SETGL). Nasiona wysiewano do doniczek o średnicy 4 cm i wysokości 20 cm zawierających substrat wyprodukowany na bazie torfu. Po przerywce wykonanej w fazie 1–2 liści, w doniczkę pozostawiano siedem roślin. W szklarni panowała temperatura $25 \pm 5^\circ\text{C}$ w dzień i $18\text{--}20^\circ\text{C}$ w nocy, a wilgotność względna powietrza kształtowała się w granicach 50–60%. Światło słoneczne od godz. 6.00 do 22.00 w razie potrzeby uzupełniano oświetleniem sztucznym o intensywności $600 \text{ mE}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$. Zabieg opryskiwania wykonywano w fazie trzech liści. W doświadczeniach, w których podstawowym elementem różnicującym odczyn cieczy opryskowej były substancje mineralne, tralkoksydym (substancja aktywna graminicydu Grasp 250 EC) aplikowano w dawce $30 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$. W tych eksperymentach w obiektach porównawczych stosowano związek organiczny trójetanoloaminę (TEA), która zwiększa pH cieczy opryskowej. W pozostałych doświadczeniach herbicyd aplikowano w dawce $10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ z adiuwantami zaliczanymi do następujących grup: 1) surfaktanty niejonowe: Activator 90, Alfonic 810-40, LI-700, Tergitole: 15-S-3, 7, 15 i 40 oraz X-77; 2) mieszaniny surfaktantów niejonowych z siarczanem amonowym: Class Act NG, Surfate; 3) zemulgowane oleje mineralne: Herbimax; 4) zemulgowane oleje roślinne: Prime Oil, Veg Oil; 5) estry metylowe kwasów tłuszczowych: Scoil; 6) mieszaniny estrów metylowych kwasów tłuszczowych, surfaktantów, nawozów azotowych i buforów pH: Z-64; 7) mieszaniny estrów metylowych kwasów tłuszczowych, surfaktantów i buforów pH: L-132; 8) mieszaniny estrów metylowych kwasów tłuszczowych i środków kondycjonujących: Super Charge; 9) mieszaniny surfaktantów niejonowych, nawozów azotowych i środków zwiększających pH: Quad 7; 10) surfaktanty organosilikonowe: Silwet L-77; 11) stężony wodny roztwór mieszaniny soli mineralnych: Brake Out.

Ciecz opryskową w ilości $240 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ stosowano przy użyciu stacjonarnego opryskiwacza z ruchomą dyszą zaopatrzoną w płaskostrumieniowy rozpylacz 800067, pod ciśnieniem 240 kPa wytwarzanym przez sprężone powietrze. Do przygotowania roztworu opryskowego użyto wody dejonizowanej oraz wód naturalnych charakteryzujących się bardzo zróżnicowanym składem jonowym. Odczyn każdego roztworu o temperaturze 20°C określano przed wykonaniem zabiegu opryskiwania.

Efekt chwastobójczy tralkoksydymu oceniano na podstawie redukcji świeżej masy roślin testowych zbieranych po upływie 14 dni od oprysku, w stosunku do masy roślin z obiektu kontrolnego.

Uzyskane wyniki poddano ocenie statystycznej stosując analizę wariancji dla układu kompletnie zrandomizowanego. Do określenia istotności różnic między obiektami wykorzystano wielokrotny test Tukeya na poziomie istotności $\alpha = 0,05$. Ponieważ dane źródłowe wyrażone były w procentach i nie podlegały rozkładowi normalnemu, dokonano ich przekształceń według wzoru Blissa. W tabelach przedstawiono średnie z dwu serii doświadczeń.

WYNIKI

Ciecz opryskowa przygotowana na bazie wody dejonizowanej i tralkoksydymu w dawce 30 g/ha⁻¹ charakteryzowała się odczynem kwaśnym. Związki mineralne oceniane w doświadczeniu, zawarte w roztworze roboczym w stężeniu 1000 ppm, bardzo wyraźnie różnicowały jego pH (tab. 1). Spośród 19 substancji mineralnych tylko wodorosiarczan amonowy bardzo silnie zakwasił ciecz opryskową. Dziewięć soli nieznacznie zwiększyło pH roztworu utrzymując jego odczyn w zakresie kwaśnym. Pozostałe związki mineralne to jest: wodorowęglan i węglan amonowy, wodorowęglan i węglan sodowy oraz wszystkie wodorotlenki, a także TEA nadały cieczy opryskowej odczyn mniej lub bardziej zasadowy, różnicując wskaźnik pH w zakresie 7,2–11,0. Wszystkie sole utrzymujące wielkość wskaźnika pH cieczy opryskowej poniżej wartości 7,0 odznaczały się mniejszymi możliwościami zwiększania skuteczności chwastobójczej tralkoksydymu. W grupie związków mineralnych najsilniej

Tabela 1

Fitotoksyczność tralkoksydymu (30 g·ha⁻¹) w zależności od składu jonowego związku mineralnego zawartego w cieczy opryskowej i jej pH; źródło wody – woda dejonizowana
Tralkoxydim (30 g·ha⁻¹) phytotoxicity as influenced by ionic composition of mineral compound present in spray and pH of spraying solution; water source – deionized water

Związek chemiczny Chemical compound (1000 mg·l ⁻¹)	pH cieczy opryskowej pH of spray mixture	Zniszczenie SETGL SETGL control (%)
-	5,5	10
NH ₄ HSO ₄	2,0	10
(NH ₄) ₂ SO ₄	5,9	18
NH ₄ Cl	6,1	17
NH ₄ NO ₃	6,1	14
NH ₄ HCO ₃	7,3	24
(NH ₄) ₂ CO ₃	8,3	87
NH ₄ OH	8,8	89
NaCl	6,2	15
Na ₂ SO ₄	6,2	20
NaHCO ₃	7,6	49
Na ₂ CO ₃	9,8	52
NaOH	11,0	72
KCl	6,2	17
K ₂ SO ₄	6,2	20
KOH	11,0	64
CaCl ₂	5,6	14
Ca(OH) ₂	10,9	26
MgCl ₂	6,0	18
Mg(OH) ₂	9,0	60
TEA*	7,2	85
NIR; LSD (α = 0,05)		8,3

* TEA – trójetanoloamina; triethanolamine (związek organiczny; organic compound)

wzmagających biologiczną aktywność herbicydu znalazły się: wodorotlenek amonowy, węglan amonowy oraz wodorotlenki: sodowy, potasowy i magnezowy, a więc substancje nadające cieczy opryskowej silny odczyn zasadowy. Należy jednak podkreślić, że słabo rozpuszczalny wodorotlenek wapniowy nie wykazał takich właściwości, pomimo dużej wartości wskaźnika pH roztworu opryskowego. Natomiast wodorotlenek amonowy wspomagał działanie tralkoksydymu równie dobrze jak TEA.

Wyniki przedstawione w tabeli 2 wskazują, że efektem wprowadzenia do podstawowego roztworu roboczego poszczególnych związków chemicznych (każdy w trzech stężeniach) było zarówno duże zróżnicowanie skuteczności chwastobójczej tralkoksydymu, jak i znaczne zróżnicowanie odczynu cieczy opryskowej. Biologiczna aktywność herbicydu zwiększała się w miarę wzrostu koncentracji dodawanych substancji oraz zwiększania się wskaźnika pH. Związkiem nieorganicznym najsilniej różnicującym odczyn roztworu opryskowego okazał się wodorotlenek sodowy, który już w stężeniu $62,5 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ zwiększył pH cieczy o 2,3 jednostki, natomiast w stężeniu $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aż o 5,5 jednostki, osiągając poziom taki sam, jaki uzyskano przy stężeniu $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Zarówno NaOH, jak i NH_4OH w stężeniu $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ zwiększały pH cieczy opryskowej do bardzo zbliżonej lub takiej samej wartości, jaki uzyskano w pierwszym eksperymencie przy stężeniu $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. W związku z powyższym

Tabela 2

Wpływ TEA i związków mineralnych silnie zwiększających pH cieczy opryskowej na skuteczność chwastobójczą tralkoksydymu ($30 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$); woda dejonizowana
Effect of TEA and mineral compounds strongly raising spray pH on tralkoxydim ($30 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) efficacy; water source – deionized

Związek chemiczny Chemical compound Czynnik I; I factor	Stężenie Concentration ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) Czynnik II; II factor	pH cieczy opryskowej pH of spray mixture	Zniszczenie SETGL SETGL control (%)
-	0,0	5,5	9
$(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$	62,5	6,6	62
	250,0	7,6	85
	1000,0	8,4	89
NaHCO_3	62,5	6,2	30
	250,0	6,9	40
	1000,0	7,7	48
NH_4OH	62,5	5,8	62
	250,0	7,8	89
	500,0	8,7	90
NaOH	62,5	7,8	64
	250,0	9,9	66
	500,0	11,0	73
TEA	62,5	5,8	46
	250,0	6,5	51
	1000,0	7,2	83
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)			$I \times II = 4,3$; $II \times I = 5,0$

za maksymalne stężenie obydwu substancji w omawianym doświadczeniu przyjęto $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Zdecydowanie największymi możliwościami modyfikowania skuteczności chwastobójczej tralkoksydymu odznaczały się wodorotlenek amonowy i węglan amonowy, które już w koncentracji $250 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ zwiększyły skuteczność chwastobójczą herbicydu odpowiednio o 80 i 76% w porównaniu z obiektem bez dodatku substancji mineralnej. Wzrost stężenia $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$ do $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ i NH_4OH do $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, a co za tym idzie zwiększenie się pH odpowiednio o 0,8 i 0,9 jednostki, nie spowodował statystycznie istotnego wzrostu skuteczności chwastobójczej herbicydu. Obydwa wymienione związki mineralne już w stężeniu $250 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ aktywizowały tralkoksydym silniej niż trójetanoloamina.

Trzydzieści wybranych adiuwantów spośród licznej grupy znajdujących się na rynku amerykańskim, jeden eksperymentalny oraz po jednym najlepszym dla tralkoksydymu surfaktancie z grup Tergitol 15-S i Alfonic zaaplikowano w zalecanych stężeniach (tab. 3). Wszystkie adiuwanty zmieniły odczyn podstawowej cieczy opryskowej. Dwanaście dodatków obniżyło jej pH, a tylko 5 spośród 17 nieznacznie zwiększyło ten wskaźnik. Bez względu na odczyn roztworu opryskowego, każdy z adiuwan-

Tabela 3

Skuteczność chwastobójcza tralkoksydymu ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od rodzaju adiuwanta i pH cieczy opryskowej; źródło wody – wodociągowa z Fargo
Tralkoxydim ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) efficacy as affected by adjuvant and spray pH
water source – Fargo tap

Adiuwant Adjuvant	Stężenie adiuwanta Adjuvant concentration (%)	pH cieczy opryskowej pH of spray mixture	Zniszczenie SETGL control (%)
Bez adiuwanta No adjuvant	-	7,2	14
LI 700	0,25	3,4	35
Activator 90	0,5	6,0	69
Prime Oil	1,0	6,2	96
Tergitol 15-S-7	0,5	6,3	84
X 77	0,5	6,5	75
Herbimax	1,0	6,5	83
Veg Oil	1,0	6,5	83
Scoil	1,0	6,6	96
Silwet L-77	0,05	6,8	62
Alfonic 810-40	0,5	6,8	74
Class Act NG	1,0	7,0	69
Super Charge	0,5	7,0	97
Surfate	1,0	7,6	91
Z 64	1,0	7,6	98
Quad 7	1,0	7,7	99
L – 132 (eksp. – exp.)	0,5	7,8	98
Brake Out	1,0	7,9	62
NIR; LSD ($\sigma = 0,05$)			5,5

tów istotnie zwiększył skuteczność działania tralkoksydymu aplikowanego w dawce $10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$. Ponadto stwierdzono bardzo duże zróżnicowanie skuteczności działania herbicydu w zależności od rodzaju adiuwanta. Najslabiej działał LI 700, silnie zakwaszający ciecz opryskową. Zdecydowanie najlepsze były eksperymentalny L-132 i Super Charge, które w stężeniu 0,5% zwiększyły stopień zniszczenia włośnicy sianej odpowiednio o 84 i 83%, a następnie Quad 7, Z 64, Scoil i Prime Oil, które w stężeniu 1% zwiększyły skuteczność chwastobójczą herbicydu odpowiednio o 85, 84, 82 i 82%. Wszystkie zawierały co najmniej jeden związek organiczny, przy czym w czterech z nich podstawowym składnikiem były estry metylowe olejów roślinnych. Spośród sześciu wymienionych, dwa zapewniły lekko kwaśny odczyn roztworu opryskowego, jeden obojętny, zaś trzy lekko zasadowy. Tralkoksydym z adiuwantem Brake Out (mieszanią wyłącznie związków mineralnych) wykazał stosunkowo słabą skuteczność działania pomimo największej wartości wskaźnika pH cieczy opryskowej.

W środowisku naturalnym woda pobrana z różnych źródeł charakteryzuje się nie tylko odmiennym składem jonowym, ale przede wszystkim dużym zróżnicowaniem stężenia poszczególnych soli mineralnych (tab. 4). Woda powierzchniowa z okolicy Devils Lake zawierała niemal czterokrotnie większe stężenie związków mineralnych, a pobrana ze studni głębinowej prawie dziesięciokrotnie większe niż woda wodociągowa z Fargo. W wodach z Devils Lake dominowały siarczany, natomiast w wodzie z Fargo siarczany i wodorowęglany występowały w podobnym stężeniu. W każdej z nich kationy dwuwartościowe Ca^{++} i Mg^{++} dominowały nad kationami jednowartościowymi K^+ i Na^+ . Ponadto badane wody odznaczały się nieco innym wskaźnikiem pH (tab. 5). Woda dejonizowana charakteryzowała się odczynem kwaśnym, powierzchniowa z Devils Lake miała odczyn lekko zasadowy, zaś wodociągowa z Fargo i głębinowa z Devils Lake najbardziej zasadowy. W wyniku dodania tralkoksydymu w dawce $10 \text{ g} \cdot \text{ha}^{-1}$ uzyskano podstawowe cieczki opryskowe, których wskaźnik pH, w porównaniu ze wskaźnikiem wody był mniejszy o 0,1 do 1,4 jednostki w zależności od składu jonowego wody. Największą, lecz niezadowalającą skuteczność chwastobójczą herbicydu aplikowanego bez adiuwanta uzyskano przy lekko kwaśnym odczynie cieczy opryskowej przygotowanej na bazie słabo zmineralizowanej wody wodociągowej, a najmniejszą przy wykorzystaniu silnie zmineralizowanych wód powierzchniowej i głębinowej z Davils Lake, odznaczających się odczynem słabo zasadowym.

Każdy z adiuwantów w stężeniu 0,5% silnie zwiększył skuteczność działania herbicydu, zmieniając również w szerokim zakresie pH roztworu opryskowego. Największe różnice w odczynie cieczy (4,6 jednostki), spowodowane odmiennym składem chemicznym poszczególnych adiuwantów, wystąpiły przy użyciu wody demineralizowanej, a najmniejsze (0,6) w przypadku zastosowania wody głębinowej, odznaczającej się dużym stężeniem soli (najsilniejszymi właściwościami buforowymi). W wodzie dejonizowanej wszystkie adiuwenty za wyjątkiem Quad 7 zmniejszyły pH cieczy opryskowej. Największy stopień zniszczenia gatunku testowego uzyskano przy zastosowaniu adiuwantów Quad 7 (odczyn lekko zasadowy) i Super Charge (odczyn kwaśny). W wodzie wodociągowej z Fargo Tergitol 15-S-40, Super Char-

Tabela 4

Skład jonowy wody użytej do przygotowania cieczy opryskowej
Ionic composition of water used for spraying

Źródło wody Water source	Stężenie jonów; Ions concentration (mg·dm ⁻³)										Suma; Total
	Ca	Mg	Na	K	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄			
Dejonizowana; Deionized	0	1	1	0	0	4	1	4			11
Wodociągowa z Fargo; Fargo tap*	31	225	27	5	12	98	17	114			328
Staw; Pond**	100	118	64	20	18	172	112	686			1190
Studnia głębinowa; Deep-water well**	240	293	173	120	0	452	82	1777			3137

* Woda pochodząca z rzeki Red River of North

** Źródła wody zlokalizowane w okolicy Devils Lake (Północna Dakota); Wells located at Devils Lake region (North Dakota)

Tabela 5

Redukcja świeżej masy SETGL przez tralkoksydym ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) w zależności od składu jonowego wody, rodzaju adiuwantu i pH cieczy opryskowej SETGL fresh weight reduction by tralkoxydim ($10 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$) as influenced by ions composition of spray water, adjuvant and pH of spraying solution

Adiuwant; Adjuvant (0,5%) Czynnik II; II factor	Źródło wody; Water source – Czynniki I; I factor;									
	dejonizowana deionized (5,1)*		wodociągowa z Fargo Fargo tap (8,2)*		staw; pond (7,4)*		studnia głębinowa deep water well (8,0)*			
	pH	zniszczenie control (%)	pH	zniszczenie control (%)	pH	zniszczenie control (%)	pH	zniszczenie control (%)	pH	zniszczenie control (%)
Bez adiuwantu; No adjuvant	5,0	15	6,8	23	7,2	5	7,9	8		
Tergitol 15-S-7	2,6	67	6,1	93	6,7	93	7,6	93		
Tergitol 15-S-15	3,7	88	6,7	85	7,2	94	8,0	97		
Tergitol 15-S-3	4,2	81	6,8	85	7,2	93	8,0	81		
Tergitol 15-S-40	4,2	76	6,9	84	7,3	97	8,1	84		
Herbimax	4,0	63	6,4	47	6,8	70	7,5	66		
Scoil	3,6	70	6,0	68	7,0	94	7,7	86		
Super Charge	4,4	90	7,0	94	7,3	94	8,0	93		
Quad 7	7,2	93	7,4	84	7,5	96	7,8	91		
NIR; LSD ($\alpha = 0,05$)	I \times II = 4,6; II \times I = 3,8									

* pH wody; water pH

ge i Quad 7 zwiększyły pH cieczy opryskowej, ale tylko ten ostatni doprowadził jej odczyn do lekko zasadowego. Pomimo to, istotnie większą skuteczność chwastobójczą herbicydu uzyskano z adiuwantem Super Charge (obojętny odczyn roztworu) i z surfaktantem Tergitol 15-S-7 (odczyn lekko kwaśny). Tralkoksydym wykazał największą biologiczną aktywność, kiedy był aplikowany z adiuwantami, w mocno zasolonej wodzie powierzchniowej pochodzącej z Devils Lake. W tych warunkach, siedem z ośmiu zastosowanych dodatków zwiększyło skuteczność działania herbicydu aż o 88–92%, przy stosunkowo niewielkim (0,8 jednostki) zróżnicowaniu pH. W sytuacji użycia najbardziej zasolonej wody pochodzącej ze studni głębinowej, tylko cztery adiuwanty zapewniły uzyskanie efektywności chwastobójczej przekraczającej 90% i trzy w granicach 81–86%.

Spśród adiuwantów komercyjnych ocenianych w tym doświadczeniu, Super Charge i Quad 7 najsilniej zwiększały skuteczność działania tralkoksydymu, a ich efektywność wspomaganie herbicydu nie zależała od ilościowego i jakościowego składu wody użytej do przygotowania roztworu opryskowego. W tej grupie Herbi-max był adiuwantem zdecydowanie najslabszym, zaś Scoil najsilniej zwiększał skuteczność chwastobójczą tralkoksydymu w warunkach użycia wody mocno lub bardzo mocno zasolonej. Natomiast stopień wysycenia wody solami był dość ważnym czynnikiem przy doborze najbardziej efektywnego surfaktanta z grupy Tergitol 15-S. Tylko w przypadku użycia mocno zasolonej wody powierzchniowej z Devils Lake, chemiczne właściwości surfaktanta okazały się mniej istotne, bowiem maksymalna różnica w skuteczności działania herbicydu z surfaktantem najsilniej i najslabiej aktywizującym substancję biologicznie czynną wyniosła tylko 4%, przy ogólnie bardzo dużej efektywności działania tralkoksydymu. Natomiast przy wykorzystaniu wody z innych źródeł skuteczność chwastobójcza herbicydu była mniejsza, a zróżnicowanie między wynikami spowodowane odmiennymi fizykochemicznymi właściwościami surfaktantów znacznie większe. Średnio zdecydowanie najmniejszą fitotoksyczność stwierdzono wówczas, kiedy do sporządzenia cieczy opryskowej użyto wody dejonizowanej.

DYSKUSJA

Wyniki badań własnych wykazały, że wszystkie wodorotlenki i większość ocenianych soli mineralnych obecnych w cieczy opryskowej w stężeniu 1000 ppm zwiększała istotnie biologiczną aktywność tralkoksydymu, a stopień zniszczenia roślin w dużej mierze zależał od składu jonowego substancji dodanej do roztworu. Określone związki mineralne występujące w cieczy opryskowej zmniejszają skuteczność działania wielu herbicydów, np. takich jak: 2,4-D (2), setoksydym (3-6), glyfosat (8, 10), a także mogą znacznie ograniczać wystąpienie efektu synergistycznego powodowanego obecnością innych substancji w roztworze opryskowym, które odznaczają się działaniem pozytywnym (3-5). Woźnica (9) wykazał, że związki mineralne zawarte w wodzie użytej do przygotowania roztworu opryskowego mogą wspomagać, hamo-

wać lub nie wywierać wpływu na fitotoksyczność soli dwuetanoloaminowej 2,4-D, a kierunek reakcji zależy od składu kationowo-anionowego i nie zawsze jest skorelowany z odczynem cieczy opryskowej.

Rezultaty badań własnych wskazują, że do substancji mineralnych wywierających najsilniejszy pozytywny wpływ na aktywność tralkoksydymu zaliczyć należy związki kationu NH_4^+ z anionami OH^- i CO_3^{2-} . Korzystny wpływ kationu NH_4^+ na skuteczność chwastobójczą uazifopu, haloksyfopu, kletodymu, setoksydymu i 2,4-D został udokumentowany również w innych publikacjach (1, 3, 6). Należy podkreślić, że w przypadku setoksydymu aniony mogą także ograniczać jego skuteczność chwastobójczą, co wykazał autor we wcześniej przeprowadzonych badaniach (5).

Analiza wyników dotyczących skuteczności chwastobójczej tralkoksydymu działającego w obecności wodorotlenku wapnia lub każdej z soli sodowych mocno alkalizujących roztwór wskazuje, że kationy Ca^{2+} i Na^+ mogą ograniczać pozytywne oddziaływanie zasadowego odczynu cieczy opryskowej. Sole wapnia i sodu, pomimo wyraźnego wpływu na wzrost odczynu cieczy opryskowej nie zwiększały skuteczności działania herbicydu w tak dużym stopniu jak kationy NH_4^+ będące składnikiem węglanu amonowego. Niekorzystny wpływ kationów Na^+ i Ca^{2+} na skuteczność chwastobójczą niektórych herbicydów został udokumentowany także przez innych autorów (2, 3, 5, 8).

Tralkoksydym aplikowany bez adiuwanta organicznego najskuteczniej niszczył włóšnicę siną wówczas, kiedy w roztworze opryskowym znajdowała się substancja mineralna zwiększająca jego pH do wartości 7 i większej, jakkolwiek nie było to regułą. Pomimo że tralkoksydym należy do grupy cyklohexanonów, bardzo pozytywnie reagował na wysokie pH roztworu opryskowego, podobnie jak herbicydy sulfonylomocznikowe (11, 12) i odmiennie niż setoksydym należący do tej samej grupy co tralkoksydym.

Relacje między efektywnością chwastobójczą herbicydów i stężeniem określonej substancji mineralnej w cieczy opryskowej często są trudne do wyjaśnienia. Na przykład we wcześniejszych doświadczeniach autora (4) NaHCO_3 we względnie małym stężeniu ograniczał skuteczność setoksydymu, pozytywnie reagującego na niskie pH. Natomiast sól w dużej koncentracji nie wykazywała takich właściwości nawet w warunkach najbardziej niekorzystnych dla działania tego herbicydu.

W badaniach własnych stwierdzono, że jakościowy i ilościowy skład jonowy wody pochodzącej ze źródeł naturalnych okazał się ważnym czynnikiem modyfikującym skuteczność działania tralkoksydymu. Największą jego aktywność biologiczną stwierdzono w warunkach zastosowania wody odznaczającej się bardzo dużym zasoleniem i mocno zasadowym odczynem, co jest ewenementem, ponieważ w przypadku większości herbicydów woda charakteryzująca się dużą koncentracją jednej lub kilku soli powoduje wystąpienie zjawiska antagonizmu (2, 5, 6, 9).

Bardzo ważną rolę w zwiększaniu efektywności chwastobójczej herbicydów odgrywają powszechnie stosowane adiuwanty. Skuteczność chwastobójcza tralkoksydymu, w szczególności w warunkach niekorzystnych dla działania substancji aktywnej pre-

paratu, znacznie wzrasta pod ich wpływem (7). Wyniki badań własnych potwierdziły, że osiągnięcie bardzo dobrej skuteczności chwastobójczej tralkoksydymu wymaga doboru właściwego adiuwanta. Pomimo pozytywnej reakcji tralkoksydymu na wysokie pH adiuwant nie musi zwiększać odczynu cieczy opryskowej.

Na podstawie wyników uzyskanych zarówno w badaniach własnych, jak i omówionych w licznych publikacjach nie można jednoznacznie stwierdzić, który z czynników: skład jonowy soli obecnych w wodzie czy odczyn cieczy opryskowej w większym stopniu decydują o skuteczności działania tralkoksydymu. Problem reakcji herbicydów na poszczególne związki mineralne czy też kationy lub aniony, a także odczyn roztworu opryskowego wydaje się być bardzo złożony i wymaga przeprowadzenia dodatkowych, kompleksowych badań w celu jego wyjaśnienia.

WNIOSKI

1. Spośród ocenianych substancji mineralnych największą zdolność zwiększania skuteczności działania tralkoksydymu aplikowanego w małej dawce i bez adiuwanta organicznego wykazały: NH_4OH , $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, NaOH , KOH i $\text{Mg}(\text{OH})_2$, a więc wodorotlenki i sole, które zwiększyły wskaźnik pH cieczy opryskowej do poziomu 8–11.

2. Tralkoksydym zastosowany w małej dawce łącznie z wieloskładnikowym adiuwantem zawierającym substancję organiczną wykazał większą efektywność działania w warunkach użycia wody silnie zasolonej o odczynie zasadowym niż wody miękkiej o odczynie kwaśnym.

3. Ilościowy i jakościowy skład chemiczny wody użytej do przygotowania cieczy opryskowej nie wywierał wpływu na efekt chwastobójczy tralkoksydymu aplikowanego w małej dawce, kiedy herbicyd zastosowano z właściwie dobranym adiuwantem.

LITERATURA

1. Harker K. N.: Ammonium sulfate effects on the activity of herbicides for selective grass control. *Weed Tech.*, 1995, 9: 260-266.
2. Nalewaja J. D., Woznica Z., Manthey F. A.: Sodium bicarbonate antagonism of 2,4-D amine. *Weed Tech.*, 1990, 4: 588-591.
3. Nalewaja J. D., Matysiak R., Szeleniak E. F.: Sethoxydim response to spray carrier chemical properties and environment. *Weed Tech.*, 1994, 8: 591-597.
4. Szeleniak E.: Reakcja setoksydymu na jakościowy oraz ilościowy skład soli mineralnych występujących w cieczy opryskowej. *Fragm. Agron.*, 1997, 1(97): 87-93.
5. Szeleniak E.: Wpływ kationów i anionów na chwastobójcze działanie setoksydymu. *Pam. Puł.*, 1997, 109: 89-100.
6. Szeleniak E.: Czynniki modyfikujące skuteczność chwastobójczą tralkoksydymu. *Fragm. Agron.*, 2000, 2: 100-108.
7. Szeleniak E.: Skuteczność działania tralkoksydymu w zależności od specyficznych właściwości surfaktanta oraz temperatury i wilgotności względnej powietrza. *Pam. Puł.*, 2003, 133: 197-206.

8. Thelen K.D., Jackson E.P., Penner D.: The basis for the hard-water antagonism of glyphosate activity. *Weed Sci.*, 1995, 43: 541-548.
9. Woźnica Z.: Wpływ związków mineralnych występujących w wodzie na fitotoksyczność soli dwuetanolo-aminowej 2,4-D. *Rocz. AR Poznań, Rozpr. Nauk.*, 1990, 203.
10. Woźnica Z., de Villiers B.L., Messersmith C.G., Nalewaja J.D.: Calcium nitrate as a potential adjuvant for herbicides. *Proceedings of 6th International Symposium on Adjuvants for Agrochemicals, ISAA 2001, Amsterdam, The Netherlands*, 75-81.
11. Woźnica Z., Nalewaja J.D., Messersmith C.G.: Sulfosulfuron efficacy is affected by surfactants, pH of spray mixture and salts. *Pesticide Formulation and Application Systems: A New Century for Agricultural Formulations. ASTM STP 1414*, 2001, 11-22.
12. Woźnica Z., de Villiers B.L., Nalewaja J.D., Messersmith C.G.: Sulfosulfuron and glyphosate efficacy with various humectants. *Pesticide Formulation and Delivery Systems: Meeting the Challenges of the Current Crop Protection Industry, ASTM STP 1430*, 2003, 163-172.

EFFECT OF MINERAL AND ORGANIC COMPOUNDS MODIFYING SPRAY PH ON TRALKOXYDIM EFFICACY

Summary

Efficacy of many herbicides particularly applied at a low rate is negatively or positively modified by some mineral salts present in natural waters used for spray preparing.

Greenhouse experiments were conducted at North Dakota State University (USA) in years 2001–2002 to determine tralkoxydim efficacy as influenced by a few salts and hydroxides when added to spray consisting of deionised water and tralkoxydim at 30 g ai·ha⁻¹. Several adjuvants were tested as additives for tralkoxydim applied at 10 g ai·ha⁻¹. Some of them were examined under big differentiation of salts concentration in water taken from different wells.

Results of this study indicate that most hydroxides and mineral salts greatly enhancing spray pH increased the efficacy of tralkoxydim applied at 30 g ai·ha⁻¹. Yellow foxtail fresh weight reduction increased as concentration of the most active mineral substances present in spray increased as well as spray pH increased. Efficacy of tralkoxydim applied at 10 g·ha⁻¹ with the organic adjuvant at concentration 0.5% was the greatest when strongly mineralised water was used as a herbicide carrier. Super Charge lowering and Quad 7 raising spray pH (both multicomponent adjuvants) were the most effective for increasing tralkoxydim efficacy independently of ionic composition of water and spray pH.

Praca wpłynęła do Redakcji 17 III 2005 r.