

Adiuwanty we współczesnej ochronie roślin

Magdalena Jastrzębska, Maria Wanic, Janusz Nowicki
Katedra Systemów Rolniczych, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski
pl. Łódzki, 10-718 Olsztyn
e-mail: jama@uwm.edu.pl

Słowa kluczowe: ochrona roślin, adiuwanty, terminologia, skuteczność, bezpieczeństwo dla środowiska

Wstęp

Uznany i nieodzownym elementem we współczesnej ochronie roślin jest dodawanie do środków chemicznych wspomagaczy (adiuwantów). Potrzeba ich stosowania wynika z niepełnego wykorzystywania aplikowanych substancji, z których znaczna część nawet nie dociera do miejsca działania, a jako biologicznie czynna może zagrażać środowisku [22].

W ochronie roślin adiuwanty mają dość długą historię; pojawiły się już około roku 1800, kiedy to stwierdzono, że dodatek roztworu mydła zwiększa efektywność działania insektycydu zawierającego związki arsenu [28]. W Polsce wprowadzono je do programów ochrony roślin pod koniec lat 60. XX wieku [30].

Największe dotychczas zastosowanie w ochronie roślin znalazły adiuwanty jako dodatki zwiększające skuteczność działania herbicydów, w mniejszym zaś stopniu są wykorzystywane łącznie z fungicydami i insektycydami oraz w procesie zaprawiania materiału siewnego [1, 30]. W Stanach Zjednoczonych AP, które są światowym potentatem w ich produkcji i zużyciu (około 500 zarejestrowanych adiuwantów), prawie 50% środków ochrony roślin, a w wypadku herbicydów ponad 70%, zostało dopuszczonych do łącznego stosowania ze wspomagaczami [1]; tego rodzaju lista krajowa aktualnie obejmuje 21 adiuwantów [51].

Oprócz aspektów praktycznych, które przemawiają za dodawaniem adiuwantów do środków ochrony roślin, obligują do tego również względy prawne. W Polsce, zgodnie z obowiązującą ustawą o ochronie roślin uprawnych z dnia 12 lipca 1995 r., do środków ochrony roślin aplikowanych za pomocą sprzętu agrolotniczego muszą być dodawane substancje obciążające; zapobiegają one znoszeniu, a tym samym – skażeniu terenów przyległych (art. 37, pkt 2a).

Piśmiennictwo dotyczące adiuwantów jest dziś bardzo bogate, ale też niepełne. Liczne prace szeroko naświetlają mechanizmy ich działania oraz ocenę skuteczności [30]. Mniej miejsca poświęca się natomiast kwestiom związanym z bezpieczeństwem środowiska i człowieka, co oczywiście może rodzić uzasadniony niepokój [50]. Adiuwanty, poza oczekiwanym usprawnieniem działania stosowanych preparatów chemicznych (skuteczność, toksyczność dla agrofaga itp.), przynoszą szereg skutków o charakterze środowiskowym, modyfikując między innymi dyspersję substancji aktywnych, czas ich aktywności lub okres potrzebny do degradacji. Pakiet źródłowych publikacji naukowych dotyczących tych zagadnień oraz zachowania i przemian samych adiuwantów w środowisku jest dość ubogi [41]. Z powyższych względów zrodził się pomysł dokonania przeglądu ważniejszych prac o adiuwantach, ze szczególnym zwróceniem uwagi na zagrożenia płynące z ich stosowania.

Terminologia i klasyfikacja

Terminologia dotycząca adiuwantów w Polsce stanowi często przyczynę nieporozumień. Samo określenie „adiuwant” jest często wymiennie używane z terminami: „wspomagacz”, „zwilżacz”, „środek zwiększający zwilżalność i przyczepność”, „dodatek”. Zresztą i w literaturze światowej brakuje jednolitego sformułowania tego pojęcia [1]. Wśród definicji najszerszą jest przyjęta przez Amerykańskie Towarzystwo Herbologiczne, która zalicza do adiuwantów substancje spełniające bardzo różnorodne funkcje. Mówi ona, że „...adiuwantem jest każda substancja zawarta w formie użytkowej środków ochrony roślin lub dodawana do zbiornika opryskiwacza w celu zmodyfikowania właściwości biologicznych substancji biologicznie czynnej lub zmiany parametrów fizykochemicznych cieczy użytkowej” [3]. Dla porównania, we Francji terminem „adiuwant” określa się „...substancję niewykazującą własnego biologicznego działania, która wywiera pozytywny wpływ na stabilność fizykochemiczną środka chemicznego lub na aktywność biologiczną substancji aktywnej. Działanie adiuwanta może także dotyczyć bezpieczeństwa lub łatwości stosowania preparatu” [12]. Trudności z ujednoczeniem definicji i klasyfikacji tych środków wynikają głównie z ich bardzo zróżnicowanej budowy chemicznej oraz wielokierunkowego mechanizmu działania [12, 48].

Działanie adiuwantów sprowadza się do dwóch zasadniczych funkcji: zwiększenia ilości substancji aktywnej w miejscu, do którego ona dotarła, oraz poprawienia właściwości użytkowych cieczy opryskowej [3, 22, 42]. Odpowiednio, w zależności od wykonywanych zadań, wyróżnia się adiuwanty aktywujące oraz modyfikujące. Adiuwanty z pierwszej grupy mają na celu poprawienie skuteczności stosowanego preparatu, poszerzenie spektrum jego działania oraz ograniczenie wpływu czynników środowiska na końcowy efekt zabiegu [22]. Adiuwanty modyfikujące w mniejszym stopniu wpływają na aktywność środków ochrony roślin, natomiast poprzez zmianę właściwości fizykochemicznych cieczy użytkowej umożliwiają bardziej dokładne

i bezpieczne wykonanie zabiegu, mieszanie ze sobą różnych agrochemikaliów oraz zmniejszają korozyjne oddziaływanie cieczy użytkowej na elementy konstrukcyjne opryskiwacza. Klasyfikację adiuwantów aktywujących najczęściej przeprowadza się, uwzględniając ich budowę chemiczną oraz dominujący mechanizm działania. Stosowany podział pod względem chemicznym jest trudny, bowiem producenci w etykietach nie zamieszczają pełnego składu adiuwantów. Po części wydaje się to zrozumiałe, zważywszy na tajniki produkcji, ale jednocześnie kwestionuje i ogranicza przydatność dla praktyki [26]. Głównym kryterium podziału adiuwantów modyfikujących jest mechanizm ich działania. Klasyfikację adiuwantów, wraz z polską nomenklaturą, i charakterystykę poszczególnych grup przedstawili Adamczewski i Matysiak [3]. Gauvrit [12] do adiuwantów zalicza także repelenty i środki wymiotne, zmniejszające niebezpieczeństwo skażenia przy ewentualnym stosowaniu preparatów toksycznych.

Przyjęte podziały mają charakter wyłącznie umowny, z uwagi na różnokierunkowość działania adiuwanta, wskazują bowiem jedynie na główną jego funkcję. Przykład kompleksowego oddziaływania różnych typów adiuwantów na penetrację liściową przedstawiono za Gauvritem [11] w tabeli 1.

Tabela 1. Działanie różnych typów adiuwantów na penetrację liściową [11]

Etapy penetracji liściowej	Surfaktanty	Oleje	Humektanty
Adhezja kropelek	×	0	0
Zmiany w osadzie	×	×	×
Przenikanie do kutykuli	×	×	×
Dyfuzja w kutykuli	×	×	×
Wyjście z kutykuli	×	0	0
Migracja w tkance	×	0	0
Migracja w roślinie	0	0	0

Oddziaływanie w momencie wejścia i dyfuzji w kutykuli zależy od odnośnych właściwości substancji biologicznie czynnej i adiuwanta; × – działanie, 0 – brak działania.

Adiuwanty mogą być „wbudowane” w formulację danego preparatu (co-formulants) lub łączone z nim w zbiorniku opryskiwacza podczas sporządzania cieczy roboczej (tank-mix, extemporané). W gotowych formach użytkowych środków ochrony roślin znajdują się najczęściej adiuwanty modyfikujące [12].

Skuteczność działania

Wpływ adiuwantów na poprawę skuteczności środków ochrony roślin jest rozważany i szeroko akcentowany w pracach wielu autorów [2, 27, 29, 31, 34, 38, 43, 47, 48]. Z powyższego względu, w niniejszym artykule zagadnienie to omówiono raczej skrótowo, ze zwróceniem uwagi jedynie na niektóre ważniejsze jego wątki.

Efektywność działania adiuwantów zależy przede wszystkim od rodzaju środka chemicznego oraz gatunku (szczepu) zwalczanego agrofaga. Duży wpływ w tym względzie wywierają wszystkie czynniki decydujące o skuteczności samych preparatów, szczególnie zaś warunki środowiskowe [11, 12, 50]. Powodzenie zabiegu ochronnego zależy od ilości substancji czynnej, która dociera do celu (pokrywa lub przenika): rośliny chronionej – w wypadku fungicydów i regulatorów wzrostu, ciała szkodnika – gdy chodzi o insektycydy, oraz chwastu – jeśli stosujemy herbicydy. Efekt działania danego środka zależy zarówno od procesów składających się na zabieg opryskiwania, jak też od przemian, jakim substancja ta podlega w organizmie żywym. Rozważane procesy obejmują zjawiska wytwarzania kropeł cieczy opryskowej (atomizacja), przenoszenia tychże kropeł na drodze od dyszy opryskiwacza do powierzchni celu (rośliny chronionej lub agrofaga), ich zatrzymywania na „atakowanej” powierzchni (retencja), formowania się na niej osadów po odparowaniu wody z cieczy opryskowej, pobierania (przenikania) substancji biologicznie czynnej (absorpcja, penetracja), przemieszczania substancji aktywnej (translokacja) oraz reakcje biochemiczne, jakim substancje czynne ulegają w miejscu właściwego działania. O zmianach w ich przebiegu pod wpływem adiuwantów literatura informuje wyczerpująco [7, 10, 11, 13, 22, 48, 50]. Za Zabkiewiczem [50], w tabeli 2 przedstawiono wpływ adiuwantów na skuteczność zabiegu herbicydowego w poszczególnych etapach dro-

Tabela 2. Oddziaływanie adiuwantów na procesy składające się na skuteczność zabiegu herbicydowego z uwzględnieniem współdziałania techniki opryskiwania i czynników środowiskowych [50]

Procesy składające się na skuteczność formulacji (etapy drogi herbicydu)	Czynniki związane z techniką zabiegu, rośliną i środowiskiem	Działanie adiuwantów
Osadzanie (depozycja)	objętość cieczy opryskującej dobór (wybór, rodzaj) dyszy architektura rośliny (pokrój) ustawienie liści	natężenie przepływu spektrum kropeł
Zatrzymywanie (retencja)	prędkość kropeł charakter powierzchni liścia warunki środowiskowe	wielkość kropeł zmiana napięcia powierzchniowego cieczy opryskującej
Pobranie (absorpcja)	nalot woskowy na liściu wiek i budowa (skład) kutykuli warunki środowiskowe różnice gatunkowe	stężenie surfaktanta właściwości surfaktanta zwilżenie osuszanie (osadzanie) rozprzestrzenienie się (rozprowadzenie) napięcie powierzchniowe przepuszczalność kutykuli
Przemieszczanie (translokacja)	stadium wzrostu różnice gatunkowe fizjologia rośliny warunki środowiskowe	wydajność pobrania fitotoksyczność kontaktowa
Toksyczność substancji biologicznie czynnej	specyfika substancji biologicznie czynnej (właściwości)	

Tabela 3. Wpływ adiuwantów na skuteczność herbicydów – wybrane przykłady wg różnych źródeł (wybór autorów)

Roślina chroniona	Zwalczane chwasty	Herbicyd (dawka s.b.cz. na 1 ha) + adiuwant (dawka lub stężenie %)	Skuteczność regulacji* [%]
Praczyk [29], Polska, Winna Góra, Sośnicowice, 1997			
Kukurydza	dwuliścienne ogółem	Nikosulfuron 37,5 g	73
		+ Adpros 85 SL 1,5 l	95
		+ mocznik 2,5 kg	78
		+ Adpros 85 SL 1,5 l + mocznik 2,5 kg	83
<i>Chenopodium album</i> L.		Nikosulfuron 37,5 g	38
		+ Olejan 85 EC 1,5 l + saletra amonowa 2,5 kg	93
		+ mocznik 2,5 kg	41
		Nikosulfuron 20 g	66
		+ Adpros 85 SL 1,5 l + saletra amonowa 2,5 kg	100
Sharma, Singh [34], Lake Alfred, Floryda, USA			
Badania wazonowe	<i>Bidens frondosa</i> L.	Glifosat 560 g	36,3
		+ Ortho X-77 0,25%	52,5
		+ Silwet L-77 0,1%	94,0
		+ Meth Oil 1% (metyl. olej roślin.)	77,5
<i>Panicum. maximum</i> JACQ.		Glifosat 560 g	17,5
		+ Ortho X-77 0,25%	30,0
		+ Silwet L-77 0,1%	0,0
		+ Meth Oil 1% (metyl. olej roślin.)	58,8
Szeleźniak [38], Pn.Dakota, USA			
Badania wazonowe, przeciętne warunki wilgotnościowe	<i>Echinochloa crus-galli</i> L.	Quinklorak 500 g	66
		+ olej słonecznikowy 2,5 l	89
		+ estry metylowe oleju słonecznikowego 2,5 l	96
		Cyjanazyna 500 g	33
		+ olej słonecznikowy 2,5 l	78
		+ estry metylowe oleju słonecznikowego 2,5 l	93
Varshney, Singh [43], Uidaphur, India 1980–1982			
Pszenica	chwasty ogółem	średnio dla 4 substancji i 2 dawek (metoksuron 1 i 1,75 kg, terbutryn 0,5 i 0,75 kg, metabenzotiazuron 1 i 1,5 kg, izoproturon 0,5 i 0,75 kg) bez adiuwanta	82
		+ Triton 11 XE 0,5%	90
Woźnica, Miłkowski, Waniorek [47]			
Kukurydza	chwasty ogółem, z dominującymi <i>Agropyron repens</i> L. i <i>Chenopodium album</i> L.	Rimsulfuron 30 g	0
		+ Trend 90 0,1%	30
		+ Scoil 1,5 l	27
		Rimsulfuron 60 g	10
		+ Trend 90 0,1%	30
		+ Scoil 1,5 l	47

* Odsetek zniszczonych chwastów.

gi, jaką substancja czynna przebywa do miejsca działania. Odnośnie środków chwastobójczych, Praczyk i Adamczewski [31] podają, że im gorsze warunki dla ich działania, tym generalnie większe znaczenie ma użycie adiuwantów, przy czym herbicydy z grupy sulfonilomocznikowych z reguły wymagają ich stosowania. Rodzaj i dawka adiuwanta oraz sposób jego wprowadzenia różnicują także reakcję środków ochrony roślin [49]. W świetle wielu badań, dodatek adiuwanta może zapewnić bardzo dobry efekt przy obniżonej dawce herbicydu: do 30 [32], a nawet 50% [27, 47]. W przedmiotowej literaturze podkreśla się, że skutkuje to niższymi nakładami na ochronę roślin oraz mniejszym zanieczyszczeniem środowiska rolniczego chemikaliami [11, 31, 47]. W tabeli 3 przedstawiono wybrane przykłady działania adiuwantów na skuteczność herbicydów.

Bezpieczeństwo adiuwantów dla środowiska i człowieka

Wspomniana rola adiuwantów w redukcji zagrożenia ekosystemów ze strony pestycydów nie jest do końca jasna. Zazwyczaj bowiem chodzi o „aktywne” biologiczne środki ochrony roślin. Z definicji adiuwantów wprawdzie wynika brak ich własnego biologicznego działania, rodzi się jednak pytanie, czy jest to równoznaczne z całkowitą ich obojętnością dla roślin uprawnych i środowiska? czy zastąpienie części jednego ksenobiotyku innym (właśnie adiuwantem) odbywa się bez negatywnych następstw?

Wielu autorów twierdzi, że nieodpowiednio dobrany adiuwant może spowodować zmniejszenie selektywności herbicydów w stosunku do roślin uprawnych, a w konsekwencji ich uszkodzenie [3, 5, 7, 13, 22, 31]. Przykład badań francuskich nad skutecznością izoproturonu i diklofopu metylu w uprawie pszenicy ozimej przekonuje, że mieszanina adiuwantów (wśród nich także płynny nawóz azotowy) kilkunastokrotnie zwiększała ilość substancji aktywnej wnikażącej do rośliny uprawnej, podczas gdy wzrost absorpcji przez chwast *Lolium multiflorum* LAM. był tylko około 4-krotny, a skutkiem tego było zmniejszenie selektywności herbicydu [7, 13]. Mercier i in. [23] podają, że przez zastosowanie adiuwantów z grupy alkilowanych oleinianów penetracja fenmedifamu i quinzalop-P-etylu po 27 godzinach w większym stopniu wzrosła u grochu (o 30–80%) i jęczmienia (o 50%) niż u przytulii czepnej (o 10–45%). W badaniach Szeleźniaka [37] wysoka skuteczność chwastobójcza quinkloraku i jego mieszanek z triazynami oraz dodatkiem adiuwanta olejowego była równoznaczna z silnym zahamowaniem wzrostu i rozwoju kukurydzy, zaliczanej pierwotnie do gatunków tolerujących quinklorak. Cytowany autor podkreśla, że problem wrażliwości kukurydzy na ten herbicyd dotyczy warunków sprzyjających szybkiemu pobieraniu substancji biologicznie czynnej przez roślinę przy włączeniu adiuwanta. Starke i in. [35] stwierdzili znaczącą (o 21–66%) redukcję suchej masy u buraka pod wpływem adiuwantów.

Po opryskiwaniu nalistnym nie raz obserwowano fitotoksyczne działanie stosowanych preparatów na rośliny uprawne w formie brunatnienia ich części. Efekt ten był często wywoływany nie przez sam składnik aktywny pestycydu, lecz właśnie przez adiuwanty zawarte w jego formulacji [15, 21, 33, 45]. Gauvrit [12] podaje, że niektóre adiuwanty mogą wykazywać własną fitotoksyczność, jeśli użyje się je w zbyt dużym stężeniu (lub dawce); limitują wówczas transport herbicydu, któremu towarzyszą. U roślin polowych objawy zewnętrzne zwykle zanikają po pewnym czasie [7, 13], w innych jednak wypadkach mogą pozostawać dłużej, niekiedy przekreślając jakość handlową uzyskanego produktu. Na przykład w badaniach Uhliga i Wissemeiera [40] surfaktanty niejonowe Triton X-100 i Genapol C-80 ($1 \text{ g} \cdot \text{dm}^{-3}$) w zdejonizowanej wodzie indukowały silne nekrozy na kolorowych przylistkach doniczkowej rośliny *Euphorbia pulcherrima* (u nas nazywanej „Gwiazdą Betlejemską”). Istnieją także doniesienia o hamującym wpływie adiuwantów na proces rozkładu substancji biologicznie czynnych w roślinie, co powodowało wzrost ich pozostałości w produktach [18].

Bruschi i in. [4], badając wpływ wysokich koncentracji wybranych surfaktantów na kultury roślinne *in vitro* (*Pittosporum tobira* AIT. i *Nicotiana tabacum*), obserwowali skutki ich działania na poziomie tkankowym i komórkowym. Działanie inhibicyjne lub stymulacyjne zależało od rodzaju adiuwanta, jego stężenia oraz użytego materiału roślinnego. Efekt fitotoksyczności dotyczył również struktur komórkowych, przejawiając się modyfikacją protoplazmy, w tym zmianami lub zniszczeniem (rozrywaniem) membran plazmatycznych. Również Matysiak i in. [22] (za McWhorter 1985) podają, że wprawdzie adiuwanty generalnie nie wpływają na procesy metaboliczne w roślinach, jednak niektóre z nich mogą zakłócać podziały komórek, fotosyntezę i oddychanie.

Swarcewicz i in. [36] wskazują na potrzebę szerszych badań dotyczących zachowania adiuwantów w glebie oraz nad ich wpływem na aktywność środków ochrony roślin. W zależności bowiem od typu gleby, stężenia pestycydu i adiuwanta oraz panujących warunków mogą one wywoływać różnorodne efekty [9, 16]. Dotychczasowe prace świadczą o określonym ich oddziaływaniu na środowisko glebowe. Nowak i in. [25] stwierdzili w glebie (czarna ziemia) zmianę aktywności enzymów (wzrost aktywności dehydrogenazy, czasową zmianę aktywności fosfataz) pod wpływem adiuwanta (olej roślinny) stosowanego z trifluraliną i propachlorem. Z badań Nowak i in. [24] nad wpływem fenmedifamu i jego kombinacji z adiuwantami (olej rzepakowy i parafinowy) na oddychanie glebowe wynika, że adiuwanty nie miały żadnego wpływu na ten proces. Intensywność wymywania środków ochrony roślin może ulec zmianie w obecności adiuwanta [6, 39]. Tan i Singh [39] odnotowali zmniejszenie wymycia norflurazonu, używając surfaktanta kationowego, który jednak nie miał podobnego wpływu na wymycie bromacylu. Dodatek niewłaściwego wspomagacza do cieczy użytkowej może powodować zwolnienie dynamiki zanikania niektórych substancji aktywnych [17]. Na przykładu Praczyk i Adamczewski [31], na podstawie badań wykonanych w Instytucie Ochrony Roślin w Poznaniu, donoszą, że poziom pozostałości atrazyny w warstwie gleby 0–5 cm, po 3 miesiącach od zabiegu, był o 42% wyższy w próbkach

pochodzących z poletek opryskiwanych nią z dodatkiem estrów metylowych oleju rzepakowego w porównaniu z obiektami traktowanymi samym herbicydem. Wyniki te nie zostały jednak potwierdzone przez inne, zwłaszcza zagraniczne ośrodki badawcze. Należy dodać, że w cytowanym eksperymencie po upływie 12 miesięcy od zabiegu różnice w poziomie pozostałości atrazyny były nieistotne [31]. W badaniach Kucharskiego i Sadowskiego [19] szybkość zanikania chizalofopu w glebie malała wraz ze wzrostem dawki stosowanych z nim adiuwantów.

Niektóre opracowania sygnalizują, że stosowane adiuwanty mogą stanowić poważne zagrożenie dla bezkręgowców. Folmar i in. [8] stwierdzili, że techniczny glifosat charakteryzował się stosunkowo niską toksycznością dla muszki *Chironomus plumosus*. Natomiast jego formuła handlowa, zawierająca adiuwanty, odznaczała się znacząco wyższą szkodliwością. Omawiana postać środka okazała się toksyczna także dla wielu innych organizmów wodnych, m.in. dafni, jętek, ryb i żab [8, 44]. Wilson i in. [46], testując benzofenap (w postaci handlowej oraz tzw. ślepej, czyli zawierającej tylko adiuwanty wchodzące w skład formy użytkowej) pod względem toksyczności dla australijskich bezkręgowców słodkowodnych (larwy muszki *Chironomus tepperi* i osobników dorosłych ślimaka wodnego *Isidorella newcombi*), mocno podkreślają, że adiuwanty wchodzące w formułę tego herbicydu wykazywały tendencję do wyraźniejszego chronicznego efektu u obydwu ww. gatunków niż sama jego substancja biologicznie czynna. Z uwagi na możliwość kumulowania się substancji szkodliwych w łańcuchach pokarmowych, spostrzeżenie to może być znaczące.

Grabińska-Sota i Kalka [14] wskazują, że niektóre adiuwanty, wnikając do środowiska, są w stanie powodować trudne do przewidzenia szkody. Na przykład należące do substancji powierzchniowo-czynnych rokaminy (wchodzące w skład niektórych herbicydów), przenikając do wód, mogą zahamować procesy życiowe roślin i zwierząt korzystających z tego środowiska. Cytowane autorki sygnalizują również (za Challis 1992), że pojawienie się związków powierzchniowo-czynnych, które zawierają w swojej cząsteczce azot, stwarza potencjalną możliwość powstania podczas biodegradacji nitrozamin – substancji niebezpiecznych dla człowieka. Podobne, niepokojące wyniki przyniosły prace zrealizowane w uniwersytecie w Minnesocie. Lin i Garry [20], zdopingowani wcześniejszymi doniesieniami o zwiększonej liczbie wad płodowych w tym regionie, zwłaszcza w rodzinach osób bezpośrednio stykających się z pestycydami, podjęli badania nad toksycznością 16 wybranych agrochemikaliów; w doświadczeniach *in vitro* traktowano nimi wyselekcjonowane szczepy komórek raka piersi. Analizy wykazały, że adiuwanty X-77 i Activate Plus w stężeniach 0,1 i 1 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ wywołały istotną proliferację komórek. Dwa herbicydy 2,4-D LV4 i 2,4-D amina zaaplikowane w postaci handlowej również wywoływały proliferację badanych komórek w stężeniach 1 i 10 $\mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Natomiast te same preparaty użyte w postaci czystej substancji biologicznie czynnej nie spowodowały takich zmian, co sugeruje, że to substancje dodatkowe, przypuszczalnie właśnie adiuwanty, które znajdują się w postaci handlowej herbicydów są odpowiedzialne za efekt namnożenia. Powyższe badania z dużym prawdopodobieństwem wskazują, iż niektóre adiuwanty mogą stymulować rozwój komórek nowotworowych.

Podsumowanie

Przedstawione informacje niezbicie dowodzą zasadności włączenia adiuwantów do programów badań środowiskowych oraz potrzeby rozszerzania zakresu tych prac. W wielu krajach, m. in. również i w Polsce, istnieje obowiązek rejestracji adiuwantów, a przed dopuszczeniem każdego z nich do obrotu i stosowania wymagane jest przedstawienie odpowiednich danych ekotoksykologicznych [1]. Czy oznacza to, że dotychczas obowiązujące uregulowania prawne likwidują problem? Z całą pewnością nie; nierzadko bowiem niektóre zjawiska są wyjaśniane po upływie dłuższego okresu, na inne zwraca się uwagę dopiero po pewnym czasie. Wiele substancji biologicznie czynnych, obecnie wycofanych z użycia (załącznik 8 do ustawy o ochronie roślin uprawnych z dnia 12 lipca 1995 r.), było przez lata z powodzeniem stosowane. Dzisiaj często uspokaja stwierdzenie, że dany preparat jest pochodzenia roślinnego (np. adiuwanty na bazie olejów roślinnych). W omawianym przypadku wskazana substancja z pewnością nie jest obca dla rośliny, która ją wyprodukowała, oraz dla organizmów, dla których jest niezbędna do życia (np. jest ich pokarmem, nawozem); dla wielu jest jednak ksenobiotykiem. Nie należy oczywiście demonizować zagadnienia, ale też nie można go bagatelizować. Szczególnie istotne jest odpowiednie ukształtowanie świadomości problemu wśród praktyków, którzy na co dzień dokonują wyboru – czym, jak i kiedy chronić rośliny. Powinni oni kierować się nie tylko zaleceniami, ale również wyjątkową rozwagą – stosować tylko to, co konieczne, i tylko tyle, ile konieczne.

Literatura

- [1] Adamczewski K., Praczyk T. 2000. Regulacje prawne dotyczące rejestracji i stosowania adiuwantów w świecie i w Polsce. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 40(1): 155–159.
- [2] Adamczewski K., Dobrzański K. 1997. Regulowanie zachwaszczenia w integrowanych programach uprawy roślin. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 37(1): 59–65.
- [3] Adamczewski K., Matysiak R. 1997. Adiuwanty do środków ochrony roślin – podział i klasyfikacja. *Ochr. Rośl.* 4–5: 16–18.
- [4] Bruschi P., Schiff S., Bennici A., Mori B. 1998. An example of in vitro test to study the effects of surfactants in plant materials. *Chemosphere* 36(4–5): 715–720.
- [5] Chadeuf R., Dufour J.L., Gauvrit C. 1991. Effet d'un mélange d'adjuvants sur la phytotoxicité de l'isoproturon à l'égard du blé d'hiver. XXIème Congrès du Groupe Français des Pesticides, Nancy Brabois, 22–23 V: 205–211.
- [6] Chandran R.S., Singh M. 1999. Reduction of norflurazon leaching in a sandy soil by adjuvants. *Biull. Environ. Contam. Toxicol.* 62: 315–323.

- [7] Dufour J.L., Gauvrit C. 1990. Effet d'un mélange d'adjuvants sur les paramètres d'efficacité de l'isoproturon. XXème Congrès du Groupe Français des Pesticides, Lépin le Lac, 29–30 V: 24–27.
- [8] Folmar L.C., Sanders H.O., Julin A.M. 1979. Toxicity of the herbicide glyphosate and several of its formulations to fish and aquatic invertebrates. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 8: 269–278.
- [9] Foy C.L. 1992. Influence of certain surfactants on the mobility of selected herbicides. W: Foy C.L. (red.) *Adjuvants for Agrochemicals*, CRC Press, Boca Raton, Florida: 349–366.
- [10] Gauvrit C. 1994. Les huiles en phytosanitaire: le cas des herbicides. *Phytoma – La Défences des Végétaux* 458: 37–42.
- [11] Gauvrit C. 1995. Les adjuvants: mirifiques, illusoires ou dangereux? *Phytoma – La Défences des Végétaux* 470: 17–22.
- [12] Gauvrit C. 1996. Efficacité et sélectivité des herbicides. INRA Éditions: 158 ss.
- [13] Gauvrit C., Dufour J.L. 1990. Effet d'un mélange d'adjuvants sur les paramètres d'efficacité du dicklofop-méthyl. 14 ème Conf. COLUMA, Versailles, 23–24 I: 137–145.
- [14] Grabińska-Sota E., Kalka J. 1997. Biodegradacja związków polepszających właściwości zwilżające herbicydów. *Pestycydy* 3–4: 93–99.
- [15] Hadorn C. 1967. Untersuchungen über die Ursachen von Berostung und Rauhschaligkeit bei der Apfelsorte Golden Delicious. *Obstbau Weinbau* 4: 1–28.
- [16] Iglesias-Jiménez E., Sánchez-Martín M.J., Sánchez-Camazano M. 1996. Pesticide absorption in a soil-water system in the presence of surfactants. *Chemosphere* 32(9): 1771–1782.
- [17] Kostowska B., Sadowski J. 1992. Wpływ wspomagaczy na dynamikę rozkładu atrazyny w roślinie i glebie. *Mat. 32 Sesji Nauk. IOR. Cz. I. Referaty*: 260–267.
- [18] Kucharski M., Sadowski J. 2001. Wpływ adiuwantów na poziom pozostałości metamitronu i chlorydazonu w glebie i roślinie buraka cukrowego. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 41(2): 885–887.
- [19] Kucharski M., Sadowski J. 2001. Zmiany dynamiki rozkładu chizalofopu w glebie modyfikowane działaniem adiuwantu. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 41(2): 870–872.
- [20] Lin N., Garry V.F. 2000. In vitro of cellular and developmental toxicity of adjuvants, herbicides and fungicides commonly used in Red River Valley, Minnesota. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 60(6): 423–439.
- [21] Mantinger H., Vigl J. 1995. Ursachen von Fruchtberostungen im heurigen Jahr. *Obstbau Weinbau* 32(7–8): 204–207.
- [22] Matysiak R., Woźnica Z., Pudełko J., Skrzypczak G. 1995. Adiuwanty do herbicydów – mechanizm działania. *Mat. 35 Sesji Nauk. IOR, Cz. I*: 67–72.
- [23] Mercier L., Serre I., Cabanne F., Gauvrit C. 1997. Behaviour of alkyl oleates following foliar application in relation to their influence on the penetration of phenmedipham and quizalofop-P-ethyl. *Weed Research Oxford* 77(4): 267–276.
- [24] Nowak A., Nowak J., Przybulewska K., Haas H.U. (red.), Hurle K. 2000. Auswirkung von Betanal 160 EC allein und in Kombination mit Zusatzstoffen auf die Bodenatmung. *Proceedings 20th German conference on weed biology and weed control*, Stuttgart – Hohenheim, Germany, 14–16 March. 2000. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz Sonderh.* 17: 775–780.

- [25] Nowak J., Nowak A., Klodka D., Turos-Biernacka M., Haas H.U. (ed.), Hurle K. 2000. Einfluss der gemeinsamen und getrennten Applikation von Herbiziden und Zusatzstoffen auf die Aktivität von Dehydrogenase und Phosphatase im Boden. Proceedings 20th German conference on weed biology and weed control, Stuttgart – Hohenheim, Germany, 14–16 March. 2000. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*. Sonderh. 17: 769–774.
- [26] Paradowski A. 1998. Zastosowanie adiuwantów i dawek dzielonych w łącznym stosowaniu herbicydów. Mat. z konf. pt. „Łączne stosowanie agrochemikaliów w uprawach rolniczych. Chronić czy nie? Ekonomiczne aspekty ochrony roślin”. Poznań 21–22 IX: 20–25.
- [27] Pietryga J., Głazek M., Krzyżyńska B. 1997. Zwalczenie chwastów dwuliściennych w pszenicy ozimej przy zastosowaniu łącznie herbicydów z adiuwantami. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 37(2): 100–103.
- [28] Podgórska B. 1994. Adiuwanty w ochronie roślin. Wybór z AGROW 17.12.1993, nr 198. *Ochr. Rośl.* 3: 20.
- [29] Praczyk T. 1998. Biologiczna aktywność nikosulfuronu stosowanego łącznie z adiuwantami. Rozprawy Naukowe IOR, Poznań, z. 3: 62 ss.
- [30] Praczyk T. 2001. Rozwój badań i zastosowań adiuwantów w Polsce. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 41(1): 110–113.
- [31] Praczyk T., Adamczewski K. 1996. Znaczenie adiuwantów w chemicznej ochronie roślin. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 36(1): 117–121.
- [32] Rola J., Rola H. 1996. Problemy zwalczania chwastów we współczesnym rolnictwie. *Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, ser. Rol.* LXVI(290): 153–163.
- [33] Ruiter (de) H., Mainx H.G., Wollenweber H.W., Uffing A.J.M., Withagen J.C.M., de Ruiter H. 1999. Phytotoxicity of different classes of adjuvants. Proceedings, 51st international symposium on crop protection, Gent, Belgium, 4 May 1999. Part II. Medelingen Faculteit Landbouwkundige en Toegepaste Biologische Wetenschappen, Universiteit Gent, 64, 3b: 729–735.
- [34] Sharma S.D., Singh M. 2000. Optimizing foliar activity of glyphosate on *Bidens Frondosa* and *Panicum Maximum* with different adjuvant types. *Weed Research* 40: 523–533.
- [35] Starke R.J., Renner K.A., Penner D., Roggenbuck F.C. 1996. Influence of adjuvants and desmedipham plus phenmedipham on velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) and sugarbeet response to trifluralin. *Weed Science* 44(3): 489–495.
- [36] Swarczewicz M.K., Muliński Z., Zbiec. I. 1998. Influence of spray adjuvants on the behavior of trifluralin in the soil. *Biull. Environ. Contam. Toxicol.* 60: 569–576.
- [37] Szeleźniak E. 2000. Skuteczność chwastobójcza i fitotoksyczność quinkloraku oraz jego mieszanek z triazynami. *Fragm. Agron.* 3(67): 87–96.
- [38] Szeleźniak E. 2000. Wpływ adiuwantów na biologiczną aktywność quinkloraku. *Fragm. Agron.* 1(65): 87–97.
- [39] Tan S., Singh M. 1998. Effects of cationic surfactants on leaching of bromacil and norflurazon. *Biull. Environ. Contam. Toxicol.* 55: 359–365.
- [40] Uhlig B.A., Wissemeyer A.H. 2000. Reduction of non-ionic surfactant phytotoxicity by divalent cations. *Crop Protection* 19: 13–19.
- [41] Van der Werf H.M.G., Zimmer Ch. 1998. Un indicateur d’impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Le Courrier de l’environnement* 34 (VII 1998): <http://www.inra.fr/Internet/Produits/dpenv/vandec34.htm#2>.
- [42] Van Valkenburg J.W. 1982. Terminology, classification and chemistry. Adjuvants for herbicides. Weed Science Society of America, Champaign, Illinois: 1–9.

- [43] Varshney J.G., Singh H.G. 1990. Effect of adjuvants on herbicide efficacy in controlling weeds in wheat. *Weed Science* 38: 229–236.
- [44] WA EPA (Western Australia Environmental Protection Authority). 1995. Acute toxicity of a herbicide to selected frog species. Technical Series, report 79: 9 ss.
- [45] Weolter M., Barthlott W., Knoche M., Noga G. 1988. Concentration effects and regeneration of epicuticular waxes after treatment with Triton X-100 surfactant. *Angew. Bot.* 62: 53–62.
- [46] Wilson A.L., Stevens M.M., Watts R.J. 2000. Acute and chronic toxicity of the herbicide benzofenap (Taipan 300) to *Chironomus tepperi* skuse (Diptera: Chironomidae) and *Isidorella newcombi* (ADAMS and ANGAS) (Gastropoda: Planorbidae). *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 38: 178–181.
- [47] Woźnica Z., Miłkowski P., Waniorek W. 1997. Adiuwanty a skuteczność chwastobójcza herbicydów. *Progress in Plant Protection – Postępy w Ochronie Roślin* 37(2): 190–192.
- [48] Woźnica Z., Skrzypczak G. 1998. Adjuvants for foliar applied herbicides. *Ann. Warsaw Agricult. Univ. – SGGW, Agriculture* 32: 33–42.
- [49] Woźnica Z.J., Nalewaja J.D., Szeleźniak E. 1996. Spray volume and adjuvants affect sulfonylurea herbicides. *Proc. North Cent. Weed Sci. Soc., St Louis, Missouri*, vol. 51: 15–16.
- [50] Zabkiewicz J.A. 2000. Adjuvants and herbicidal efficacy – present status and future prospects. *Weed Research* 40: 139–149.
- [51] Zalecenia ochrony roślin na rok 2001/2002. Cz. I: 74–75

Adjuvants in contemporary plant protection

Key words: plant protection, adjuvants, terminology, effectiveness, safety for the environment

Summary

Paper presents a review of major issues concerning application of adjuvants in plant protection media. It discusses the terminology, effectiveness of adjuvants and conditions influencing it as well as the hazards of adjuvant use for the environment and humans.