

Hanna Gołębiowska

*Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
w Puławach*

**ZRÓŻNICOWANIE W ZACHWASZCZENIU ORAZ ODDZIAŁYWANIE
HERBICYDÓW W ZASIEWACH ROŚLIN UPRAWNYCH W KONTEKŚCIE
KRÓTKO- I DŁUGOTERMIONOWYCH ZMIAN POGODOWYCH***

Słowa kluczowe: warunki atmosferyczne, stan zachwaszczenia, skuteczność, selektywność, herbicydy

Wstęp

Zarówno zmiany warunków klimatycznych zachodzące na przestrzeni dekad czy wieków, jak i zróżnicowania zachodzące w skali jednego lub kilku lat mają znaczenie dla gospodarki rolnej, gdyż oddziałują na dynamikę pojawiania się agrofagów, w tym głównie chwastów segetalnych, utrudniając podejmowanie właściwych decyzji o ich eliminacji z upraw rolniczych (8, 14, 15, 24, 46, 58). Racjonalne ograniczenie liczebności chwastów, które są groźnymi konkurentami o przestrzeń życiową, wodę, światło i składniki pokarmowe, lub bezwzględna ich eliminacja z zasiewów roślin rolniczych będzie w najbliższym czasie nadal dokonywać się z wykorzystaniem herbicydów. O wyborze właściwego herbicydu decyduje dopasowanie do stanu gatunkowego zbiorowiska kształtującego się na przestrzeni wielu lat, jak też liczebność każdego z gatunków w zbiorowisku zmieniająca się w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Nie mniej ważną rolę odgrywają właściwości fizykochemiczne środków związane z retencją, pobieraniem, przemieszczaniem i tempem blokowania przebiegu wielu przemian biochemicznych w roślinach (1, 23, 51). W każdej z tych sytuacji na końcowy efekt chwastobójczy znaczącą wpływają warunki termiczno-wilgotnościowe.

* Opracowanie wykonano w ramach zadania 2.4 w programie wieloletnim IUNG-PIB.

Wpływ długoterminowych zmian warunków termiczno-wilgotnościowych na bioróżnorodność flory segetalnej i dobór herbicydów

Według raportu opublikowanego przez Międzynarodowy Zespół do Spraw Zmian Klimatu (IPCC) w okresie 1880-2012 średnia temperatura powietrza wzrosła o $0,85^{\circ}\text{C}$, rosła więc przeciętnie o $0,06\text{-}0,07^{\circ}\text{C}$ na 10 lat (5, 29, 30, 65). Względny stan równowagi w zbiorowiskach chwastów utrzymujący się przez wiele lat, na tle nie odbiegających od normy warunków pogodowych oraz znajomość optymalnych wymagań do skielkowania nasion poszczególnych gatunków, umożliwiał wyznaczenie, z wykorzystaniem modeli matematycznych, terminu wschodów chwastów i prognozowanie o ile opóźnić lub przyspieszyć siew rośliny uprawnej, by ograniczyć konkurencyjność ze strony tych agrofagów (44, 48, 49). W badaniach Adamczewskiego i in. (2) zastosowanie takich obliczeń miało wpływ na obniżenie zagrożenia między innymi chwastnicą jednostronną, włóściami, komosą białą, rdestem kolankowatym, ostrożeniem polnym i powojem polnym w uprawie kukurydzy. Obserwacje stanu zachwaszczenia w zasiewach kukurydzy prowadzone w rejonie południowo-zachodniej Polski w latach 1972-1991 oparte na danych zebranych metodą zdjęć fitosocjologicznych pozwoliły ustalić stan zachwaszczenia na plantacjach kukurydzy. Największe zagrożenie w grupie gatunków jednoliściennych stanowiła dla tego okresu chwastnica jednostronna *Echinochloa crus-galli* oraz perz właściwy *Elymus repens*, a z dwuliściennych: komosa biała *Chenopodium album* i gwiazdnica pospolita *Stellaria media*, natomiast rdesty powojowaty *Fallopia convolvulus* i plamisty *Polygonum persicaria* oraz włósnice *Setaria*, wg opracowań Roli i in. (56) pojawiały się rzadziej, głównie na stanowiskach gleb czarnych (tab. 1).

Tabela 1

Stan zachwaszczenia kukurydzy gatunkami segetalnymi na podstawie zdjęć fitosocjologicznych
wykonanych w latach 1972-1991 w makroregionie południowo-zachodnim Polski

Gatunek	Liczba zdjęć	Liczba wystąpień	*S	**W.p.
Czarne ziemie-kompleks przydatności rolniczej 1 i 2				
<i>Chenopodium album</i>	1112	1001	V	1567
<i>Echinochloa crus-galli</i>		846	IV	1325
<i>Stellaria media</i>		889	IV	567
<i>Setaria</i> spp.		368	II	294
<i>Elymus repens</i>		344	II	244
<i>Fallopia convolvulus</i>		112	I	42
<i>Fallopia persicaria</i>		79	I	43
Gleby brunatne-kompleks przydatności rolniczej 4 i 5				
<i>Chenopodium album</i>	128	121	V	2186
<i>Elymus repens</i>		83	IV	2074
<i>Stellaria media</i>		115	V	832
<i>Echinochloa crus-galli</i>		125	V	634
<i>Fallopia convolvulus</i>		57	III	179
<i>Fallopia persicaria</i>		29	II	79
<i>Setaria</i> spp.		71	III	36
<i>Equisetum arvense</i>		64	III	28

Tabela 1 cd.

Gleby płowe-kompleks przydatności rolniczej 5 i 6				
<i>Chenopodium album</i>	565	527	V	1782
<i>Elymus repens</i>		519	V	1502
<i>Stellaria media</i>		520	V	1569
<i>Echinochloa crus-galli</i>		421	IV	1443
<i>Setaria</i> spp.		178	II	978
<i>Equisetum arvense</i>		411	IV	489
<i>Fallopia convolvulus</i>		48	I	258
<i>Fallopia persicaria</i>		44	I	47

*S – Stałość fitosocjologiczna, **W.p. – Współczynnik pokrycia

Źródło: opracowanie własne na podstawie Rola i in., 1992 (56)

Stabilny rozkład warunków termiczno-wilgotnościowych na przestrzeni lat pozwalał również na regularne pojawianie się faz fenologicznych krzewów i drzew (np. *Forsythia viridissima*, *Syringa vulgaris*, *Prunus spinosa*, *Rosa multiflora*, *Sorbus aucuparia*), których terminy kwitnienia czy owocowania służyły do wyznaczania terminów wschodów chwastów, takich jak żółtlica pospolita, gwiazdnica pospolita, przetacznik perski i często służyły do ustaleniu optymalnych terminów zwalczania tych gatunków w zbożach jarych czy uprawie kukurydzy nie tylko w warunkach Polski, ale również w różnych rejonach Europy (4, 50).

Względny stan równowagi w zbiorowiskach chwastów dał możliwość ustalenia charakterystycznych zbiorowisk chwastów dla poszczególnych upraw rolniczych oraz terminów ich wschodów, co pozwoliło dopasować do ich eliminacji odpowiednie środki chwastobójcze np. z grupy herbicydów triazynowych w uprawie kukurydzy. Były to środki stosowane przez ponad pięćdziesiąt lat do zwalczania wielu gatunków chwastów, z zachowaniem wysokiej selektywności w stosunku do zróżnicowanych pod względem genetycznym mieszańców odmianowych kukurydzy. Oprócz tego, możliwość łączenia tych środków z innymi herbicydami pozwalała zwiększać spektrum działania i na długo zabezpieczać plantację przed zachwaszczeniem, nawet w późniejszych okresach wegetacji. Po ponad 50 latach ciągłego stosowania triazyn, oprócz negatywnych skutków dla środowiska glebowego i wodnego, zmalała ich skuteczność w stosunku do niektórych gatunków chwastów, nastąpiło uodparnianie się gatunków wrażliwych, np. komosy białej, oraz kompensacja gatunków średnio wrażliwych i odpornych (24, 62).

W 2005 roku atrazyna została wycofana z listy herbicydów zalecanych, głównie ze względu na długi okres zalegania w glebie oraz obecność produktów jej rozpadu w wodach gruntowych. Obecnie, na skutek zmian pogodowych i niskiej skuteczności atrazyny w niszczeniu gatunków ciepłolubnych, zwłaszcza jednoliściennych: chwastnicy jednostronnej, włośnicy zielonej i sieniei, których udział w zasiewach kukurydzy sukcesywnie wzrasta, szersze zastosowanie mają herbicydy z grupy pochodnych sulfonilomocznika, charakteryzujące się znacznie większym spektrum działania i ograniczonym wpływem na środowiska.

Wpływ krótkoterminowych zmian warunków termiczno-wilgotnościowych na bioróżnorodność flory segetalnej i dobór herbicydów

Z raportu IPCC wynika, że w latach 2001-2010 tempo ocieplenia wyraźnie wzrosło, średnio do około $0,13^{\circ}\text{C}$ na 10 lat i było już niemal dwukrotnie większe niż w okresie 1880-2000 (5, 29, 30, 65). W przebiegu pogody zwiększył się udział lata, a zmalał – zimy. Ponadto dekada 2001-2010 była najcieplejsza w analizowanym okresie pod względem zarówno średniej rocznej temperatury, jak też wartości w krótszych okresach odpowiedzialnych za poszczególne etapy rozwoju roślin (63, 64). Taki układ pogodowy charakteryzuje rejon południowo-zachodni, gdzie wzrost średnich temperatur w ostatnich dwóch dekadach oraz niższe opady w porównaniu ze średnimi wieloletnimi skutkuje: pojawianiem się łagodnych, często bezśnieżnych zim oraz wczesnego przedwiośnia, wzrostem natężenia światła, co w efekcie przyspiesza kiełkowanie, kwitnienie i rozwój chwastów. Naraża to zboża jare, okopowe czy kukurydzę na silniejszą konkurencję (23, 26, 40, 42); (tab. 2).

Tabela 2

Średnie miesięczne temperatury powietrza (T) oraz miesięczne sumy opadów (O) w rejonie Wrocławia w okresie 1997-2015 w porównaniu do średniej wieloletniej za okres 1956-1996

Lata	Średnie temperatury i opady za dany okres	Kwiecień	Maj	Czerwiec	Lipiec	Sierpień	Wrzesień	Październik
1956 -1996	T $^{\circ}\text{C}$	13,7	8,0	13,3	16,6	18,2	17,5	13,5
	O mm	57,7	37,6	61,3	71,4	80,0	67,7	47,6
1997 -2015	T $^{\circ}\text{C}$	15,2	10,7	14,9	17,7	19,8	19,0	14,2
	O mm	38,86	19,9	37,5	42,9	72,5	43,7	29,6
2013	T $^{\circ}\text{C}$	15,06	11	15	17,1	21	19,3	12,9
	O mm	12,03	22	29	9,3	5,8	9,1	0,4
2014	T $^{\circ}\text{C}$	15,19	10,9	13,1	16,2	20,3	17,6	15,4
	O mm	17,3	8,1	23,9	13,5	26,9	21,1	26
2015	T $^{\circ}\text{C}$	15,10	9	13,4	16,7	20,2	22,4	14,8
	O mm	11,4	3,93	9,5	18,2	22,7	11,7	0,6

Źródło: opracowanie własne na podstawie Gołębiowska, 2008 (23)

Z wielu doniesień literaturowych wynika, że temperatura gleby i powietrza, wielkość opadów oraz wilgotność w największym stopniu stymulują bądź hamują kiełkowanie i wschody chwastów zgromadzonych w glebowym banku nasion, przez co zbiorowiska te według Korres i Froudd-Williams, zdolne są do szybkich przekształceń (39). Natomiast na produkcję biomasy chwastów korzystniej wpływa dostępność wody niż temperatura czy inne warunki siedliskowe, a zmiany tych warunków na przestrzeni lat w różnych regionach głównie kształtują ich bioróżnorodność (9, 28). W uprawie kukurydzy ilość opadów od kwietnia do maja jest czynnikiem silniej decydującym o poziomie zachwaszczenia niż suma temperatur w tym okresie (10).

Na skutek zmian pogodowych zachodzących w skali jednego lub kilku lat w okresie od 2001 do 2015, w zbiorowiskach chwastów występowały istotne zróźnicowania. Odnotowano stały wzrost liczebności gatunków ciepłolubnych, późno wschodzących, jak: psianka czarna *Solanum nigrum*, czy włośnica zielona *Setaria viridis* bądź sina *Setaria pumila*, które stanowiły zagrożenie w zachwaszczeniu wtórnym. Konsekwencją ocieplenia są również migracje gatunków inwazyjnych łatwo wnikaających do zbiorowisk antropogenicznych z nieużytków np. bylicy pospolitej *Artemisia vulgaris*, lub z rejonów Europy południowej np. ambrozji bylicolistnej *Ambrosia artemisiifolia*, sorga alepskiego *Sorghum halepense*, czy zaślazu pospolitego *Abutilon theophrasti* (18, 25, 43, 45). Gatunki stanowiące potencjalne zagrożenie dla upraw sianych w szerokich międzyrzędziach łatwo wnikaają w tzw. nisze ekologiczne powstałe w wyniku całkowitego usunięcia gatunków stałych np. komosy białej. Pojawienie się nowych, niepożądanych gatunków silnie wypierających inne taksony z agroekosystemów lub szybko aklimatyzujące się do nowych warunków (np. wyczyniec polny *Alopecurus myosuroides*) często prowadzi do kompensacji agresywnego gatunku, co stwarza problemy z ustaleniem programów odchwaszczenia i odpowiednim doбором herbicydów (11, 12, 16).

Na skutek wyższych średnich rocznych temperatur w uprawie kukurydzy, w latach 1983-2013 odnotowano wzrost wskaźników bioróżnorodności zwłaszcza w grupie gatunków dwuliściennych jednorocznych. Wyższe były również współczynniki pokrycia dla gatunków dominujących, zaobserwowano większe nasilenie gatunków inwazyjnych jak bylica pospolita *Artemisia vulgaris* czy pojawienie się *Abutilon theophrasti* oraz gatunków ciepłolubnych, zwłaszcza włośnicy sianej i zielonej, psianki czarnej i blekotu pospolitego *Aethusa cynapium* (18); (tab. 3).

Tabela 3

Wybrane wskaźniki bioróżnorodności zbiorowisk chwastów w uprawie kukurydzy w latach 1973-2013

Wskaźniki bioróżnorodności zbiorowisk	Średnie z badanych okresów			
	1973-1982	1983-1992	1993-2002	2003-2013
Liczba zdjęć fitosocjologicznych	179	264	470	444
Średnia liczba gatunków w zdjęciu fitosocjologicznym	49	45	53	51
w tym:				
- jednoliścienne jednoroczne	5	5	3	4
- jednoliścienne wieloletnie:	1	1	1	1
- dwuliścienne jednoroczne	35	33	43	41
-dwuliścienne wieloletnie:	8	5	5	4
-inne	-	1	1	1
Liczba gatunków sporadycznych i rzadkich	12	4	8	4

Tabela 3 cd.

Gatunki dominujące	*W.p.	**S	W.p.	S	W.p.	S	W.p.	S
<i>Echinochloa crus-galli</i>	1444,9	IV	1560	IV	1783,7	V	1704,2	V
<i>Chenopodium album</i>	2325,9	V	2823	V	1523,5	IV	1512,1	V
Suma współczynników pokrycia	3770,8		4383		3307,2		3216,3	

*W.p. – Współczynnik pokrycia (ang. *Cover factor*), **S – Stałość fitosocjologiczna (ang. *Phytosociological stability*)

Źródło: opracowanie własne na podstawie Gołębiowska, Badowski, 2010 (18)

Bardzo ważnym elementem, który wpływa na skuteczność herbicydów jest przestrzeganie zaleceń producenta środka, który na etykiecie produktu zamieszcza informacje dotyczące warunków atmosferycznych podczas zabiegu, np.: temperatura powietrza i gleby, wilgotność powietrza, wielkość opadu przed i w trakcie zabiegu, czy stan rośliny i gleby w momencie oprysku. Zbyt niska temperatura, susza lub nadmierne opady, jako czynniki stresowe wpływają również na obniżenie selektywności środków chwastobójczych zwłaszcza tych z grupy regulatorów wzrostu, inhibitorów syntezy aminokwasów lub pigmentów, szczególnie w stosunku do odmian o niskiej tolerancji (6, 32, 19, 59). Środki te działając fitotoksycznie i mogą zakłócać szereg procesów życiowych roślin, czego konsekwencją są zmiany w morfologii (np. nekrozy, chlorozy, odbarwienia, zahamowanie wzrostu, deformacje). Takie obserwacje zostały wykazane na podstawie wieloletnich badań nad reakcją odmian zbóż (33, 36, 37, 52) oraz nad oddziaływaniem herbicydów na odmiany mieszańcowe kukurydzy w zróżnicowanych warunkach pogodowych (17, 20, 21).

W uprawie zbóż problemem staje się dostosowanie optymalnych terminów aplikacji herbicydów w okresie jesiennym. Przed wschodami zbóż skuteczność herbicydów w znacznej mierze zależy od temperatury gleby - wyższej od minimalnej dla kiełkowania nasion chwastów oraz stanu jej uwilgotnienia umożliwiającego kontakt chwastów z herbicydem. Często jednak duże wahania temperatur oraz występująca okresowo susza opóźniają lub znacznie wydłużają wschody chwastów, co może spowodować konieczność wykonania zabiegu dopiero wiosną.

Warunki panujące w glebie w mniejszym stopniu wpływają na efektywność zabiegów nalistnych, ale poprzez hamowanie wschodów i osłabienie przemieszczania się herbicydu w roślinie mogą pośrednio przyczyniać się do zmniejszenia ich skuteczności (52). Dla zabiegów nalistnych większe znaczenia ma odpowiednia temperatura powietrza. Ogólnie przyjmuje się, że optymalną dla większości herbicydów jest temperatura w granicach 10-25°C. W tym zakresie temperatur obserwowane jest najwyższe tempo przemian fizjologicznych zachodzących w chwastach (62). Wysoka temperatura sprzyja szybkiemu pobieraniu herbicydów przez chwasty, jednak zbyt szybkie wysychanie cieczy opryskowej znacznie zmniejsza wchłanianie przez roślinę. Tylko nieliczne etykiety-instrukcje stosowania herbicydów podają graniczne wartości temperatur podczas ich aplikacji. Wynika z nich, że o ile maksymalna temperatura

dla większości herbicydów wynosi 20-25 °C, to temperatura minimalna zawiera się w zdecydowanie szerszym zakresie, od -3°C dla chlorotoluronu do około 8-12°C dla chlorosulfuronu czy 2,4-D (7).

Czynniki atmosferyczne, takie jak temperatura powietrza, czy gleby istniejące tuż przed i w momencie wykonania zabiegu oraz krótko po nim wpływają na efektywność herbicydów w dwojaki sposób. Bezpośrednio na zachowania się herbicydów na powierzchni roślin i gleby oraz pośrednio w kształtowaniu się cech anatomicznych i morfologicznych roślin oraz na przebieg procesów fizjologicznych, co determinuje ich wrażliwość w stosunku do herbicydów (41). Wyższa temperatura powietrza zwiększa skuteczność działania herbicydów poprzez zwiększenie tempa pobierania, przemieszczania oraz degradacji w roślinie (34, 35).

Korzystny rozkład opadów i wysoka wilgotność sprzyjają wschodom wielu gatunków chwastów aż do późnej jesieni, co w konsekwencji prowadzi do wzrostu bioróżnorodności gatunkowej. Wzrost średniej rocznej temperatury i nasłonecznienia, zwłaszcza w miesiącach czerwiec/lipiec, w bilansie rocznym prowadzi jednak do ubytku wody z gleby i zmniejszeniu jej wilgotności (65). Warunki te są mniej dokuczliwe dla chwastów lepiej znoszących okresy suszy od roślin uprawnych, które w warunkach długotrwałej suszy na ogół reagują istotnym spadkiem plonu ziarna (38, 10, 23). Warunki wilgotnościowe ogrywają również istotny wpływ na przeprowadzenie zabiegów chwastobójczych z użyciem herbicydów stosowanych zarówno doglebowo jak i nalistnie. Wiele herbicydów doglebowych tuż po zabiegu wymaga przemieszczenia w wilgotną glebę, co umożliwi szybki kontakt z kiełkującymi chwastami, a także w celu ogranicza procesy parowania i fotorozkładu. Brak właściwego uwilgotnienia w tym czasie prowadzi do znacznego obniżenia skuteczności zabiegu. Natomiast intensywne, długotrwałe opady deszczu, mogą spowodować wymywanie herbicydów w głębsze warstwy gleby poza strefę dostępną dla wschodzących chwastów. Zalegające w głębszych warstwach gleby herbicydy mogą być powodem pojawiających się uszkodzeń, głębiej korzeniących się roślin uprawnych (62). Warunki jakie panują w glebie w mniejszym stopniu wpływają na efektywność zabiegów nalistnych, ale hamując wschody chwastów lub powodując wystąpienie stresu wodnego (osłabienie tempa wzrostu, silnie wykształcona kutikula, ograniczenie procesów fizjologicznych, a co z tym się wiąże słabsze przenikanie i przemieszczanie się w roślinie), mogą pośrednio przyczyniać się do zmniejszenia ich skuteczności działania (62).

Według wymagań European and Mediteranean Plant Protection Organization aplikacja herbicydów powinna odbywać się przy wilgotności względnej powietrza pomiędzy 50 a 90%, a optymalnie 75-80%. Niska wilgotność, zwłaszcza w połączeniu z wysoką temperaturą, powoduje wytwarzanie na liściach chwastów grubej warstwy kutikuli, utrudniającej wnikanie cieczy opryskowej do wnętrza tkanek roślinnych. Ponadto przy niskiej wilgotności powietrza dochodzi do szybkiego wyparowania cieczy opryskowej. Przy wyższej wilgotności zmniejszeniu ulega stres wodny,

a także wydłuża się czas wysychania kropel cieczy na liściach chwastów i poprawia się skuteczność zabiegu (13). Poprawność wykonanego zabiegu to również przestrzeganie takich warunków jak:

- stan roślin podczas zabiegu – turgor i uwilgotnienie. Rośliny nie powinny być zwiędnięte i mokre np. od porannej rosy. Wpływa to na tempo wchłaniania herbicydów przez liście chwastów lub spływanie nadmiaru cieczy wraz z rosą lub obniżenie stężenia herbicydu na jednostce powierzchni.
- termin wystąpienia i intensywność opadów przed i po zabiegu. Minimalny czas, jaki powinien upłynąć od zabiegu opryskiwania do wystąpienia pierwszych opadów jest zwykle bardzo różny i zależy głównie od substancji czynnej, formulacji preparatu czy obecności adiuwantów w cieczy roboczej (np. pinoksaden pobierany jest w ciągu 1 godziny od zastosowania, przez co opady deszczu, które wystąpią po tym czasie nie obniżają skuteczności jego działania). Nieco dłuższy czas wchłaniania, wynoszący około 3 godzin, posiadają środki zawierające w swoim składzie chlorosulfuron. Natomiast dla większości herbicydów stosowanych nalistnie przyjmuje się minimalny okres 6 godzin od wykonania zabiegu do wystąpienia opadów (7).
- prędkość i kierunek wiatru podczas zabiegu, który może spowodować znoszenie cieczy opryskowej na sąsiednie rośliny uprawne, powodując ich uszkodzenia. Wykonywanie oprysków powinno się odbywać przy prędkości wiatru nie przekraczającej 3 m/s (około 11 km/h), z stosowaniem zabezpieczeń w postaci dysz płaskostrumieniowych antydryfowych.

W uprawie kukurydzy – rośliny wymagającej stosowania szerokich międzyrzędzi – zachodzi obawa, czy w warunkach integrowanej uprawy dopuszczającej łączenia różnych metod regulacji zachwaszczenia w tym także optymalizacji dawek herbicydów zachodzi obawa pojawienia się zachwaszczenia wtórnego. Korzystny dla uprawy kukurydzy rozkład temperatur i opadów na przedwiośniu w rejonie południowo-zachodnim Polski umożliwia siew i wykonanie pierwszych zabiegów doglebowych już w połowie kwietnia. Przeprowadzone zabiegi wykazują dobrą skuteczność, jednak w dalszym etapie rozwoju rośliny uprawnej, szczególnie po obfitych opadach w czerwcu, pojawia się zachwaszczenie wtórne (40). Wykorzystanie systemu zabiegów w dawkach dzielonych z dodatkiem adiuwantu, skutecznie wydłuża czas działania na chwasty. W rezultacie straty plonów z tytułu zachwaszczenia wtórnego udaje się skutecznie ograniczać nawet przy niezbyt korzystnym przebiegu pogody (22, 47).

Realizacja założeń integrowanej ochrony roślin związana jest z ograniczeniem stosowania środków chemicznych. Jednym z rozwiązań jest redukcja dawek. Wielu autorów dowodzi, że niższe od zalecanych dawki herbicydów mogą okazać się skuteczne, ponieważ nawet nie zniszczone całkowicie chwasty są na tyle ograniczone w rozwoju, że nie wpływają istotnie na plon rośliny uprawnej (27, 61). Skuteczność herbicydów stosowanych w obniżonej dawce w znacznie większym stopniu jest modyfikowana przez warunki siedliskowe i zależna od przebiegu pogody (41). Są

również inne badania, które dowodzą, że nawet optymalne warunki środowiskowe oraz stosowanie herbicydów we wczesnych fazach rozwojowych chwastów nie gwarantuje wysokiej skuteczności chwastobójczej (51, 55). Niekorzystny wpływ pogody może być w znacznym stopniu ograniczony dzięki łącznej aplikacji herbicydów z adiuwantami, których głównym zadaniem jest poprawa skuteczności działania preparatu, przez wzrost retencji i absorpcji (3, 54). Adiuwanty ograniczają również proces krystalizacji cieczy użytkowej na powierzchni roślin i opóźniają jej wysychanie, a także znacznie zwiększają przyczepność i rozpuszczalność herbicydu (53, 60). Możliwość wykorzystania tribenuronu metylu w ograniczonej dawce z dodatkiem adiuwanta do niszczenia niektórych gatunków chwastów wykazano w badaniach wpływu interakcji temperatury (20/10 i 10/5°C) lub wilgotności powietrza (75 i 50%) z fazą rozwojową chwastów (2-4 i 6-8 liści). W warunkach optymalnych, tj. faza rozwojowa 2-4 liście i wysoka temperatura (20/10°C) lub wilgotność powietrza 75%, tribenuron metylu zastosowany w dawce zredukowanej łącznie z adiuwantem Trend 90 EC był wysoce skuteczny w stosunku do rumianu polnego *Anthemis arvensis*, maku polnego *Papaver. rhoeas* i gwiazdnicy pospolitej *Stelaria media*. Skuteczność badanego herbicydu w większym stopniu uzależniona była od fazy rozwojowej chwastów niż czynnika abiotycznego. W przypadku roślin starszych działanie herbicydu w dawce zredukowanej było słabsze, nawet w warunkach wyższej temperatury i wilgotności powietrza.

Zatem adiuwanty mogą odgrywać znaczącą rolę w niwelowaniu niekorzystnego wpływu warunków środowiska na efektywność herbicydów, a ich dodatek umożliwia znaczne ograniczenie dawki herbicydu, z jednoczesnym zachowaniem skuteczności chwastobójczej na satysfakcjonującym poziomie (57, 31).

Podsumowanie

Stosowanie herbicydów to nadal podstawowa metoda regulacji zachwaszczenia na plantacjach roślin uprawnych. Wykorzystywane preparaty dopasowane są zarówno do stanu gatunkowego zbiorowiska kształtującego się na przestrzeni wielu lat, jak i do liczebności każdego z gatunków w zbiorowisku, zróżnicowanej w kolejnych sezonach wegetacyjnych. Na skutek długoterminowych zmian pogodowych w zbiorowiskach chwastów zachodzą istotne zróżnicowania. Obserwowany jest wzrost liczebności gatunków ciepłolubnych późnowschodzących, jak psianki czarnej *Solanum nigrum* czy włośnicy zielonej *Setaria viridis* bądź siennej *Setaria pumila*. Konsekwencją tych zmian są również migracje gatunków inwazyjnych z terenów odłogowanych – bylicy pospolitej *Atrémisia vulgáris* czy z rejonów Europy południowej – zaślazu pospolitego *Abutilon theophrasti*. Pojawienie się nowych, niepożądanych gatunków, silnie wypierających inne taksony z rodzimych agroekosystemów lub szybko aklimatyzujących się do nowych warunków, jak wyczyniec polny *Alopecurus myosuroides*, często prowadzi do kompensacji

agresywnego gatunku na skutek błędów wynikających ze źle dobranych herbicydów. Wykorzystując obecnie preferowane metody regulacji zachwaszczenia, w tym stosowanie odpowiednio dobranych herbicydów lub ich mieszanin aplikowanych w systemie dawek dzielonych z dodatkiem adiuwantów, możemy skutecznie ograniczać zachwaszczenie. Takie zabiegi systemowe umożliwiają znaczne ograniczenie dawki herbicydu z jednoczesnym wydłużeniem okresu jego oddziaływania na chwasty, często aż do późnych faz rozwojowych roślin uprawnych.

Przebieg pogody w czasie wykonywania zabiegów wpływa bezpośrednio na zachowanie się herbicydów na powierzchni roślin i gleby oraz pośrednio w kształtowaniu cech anatomicznych i morfologicznych roślin, jak również przebieg procesów fizjologicznych, co determinuje wrażliwość roślin w stosunku do herbicydów. Zbyt niska temperatura, susza lub nadmiar opadów, jako czynniki stresowe, często wpływają na obniżenie selektywności środków chwastobójczych, zwłaszcza tych z grupy regulatorów wzrostu, inhibitorów syntezy aminokwasów lub pigmentów, szczególnie w stosunku do odmian o niskiej tolerancji. Omawiane środki mogą zakłócać szereg procesów życiowych roślin, czego konsekwencją jest obniżenie kondycji i zmiany morfologiczne roślin.

Skuteczność herbicydów przedwiosennych w znacznej mierze zależy od temperatury i wilgotności gleby. Dla zabiegów nalistnych większe znaczenie ma temperatura powietrza decydująca o szybkości przemian fizjologicznych w roślinie. Korzystny rozkład opadów i wysoka wilgotność sprzyjają wschodom wielu gatunków chwastów, aż do późnej jesieni, co prowadzi do wzrostu bioróżnorodności gatunkowej.

Literatura

1. Adamczewski K., Heller K.: Zmiany w zachwaszczeniu wywołane zmianami w agrotechnice roślin i zmianami klimatycznymi. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2002, **42(1)**: 349-357.
2. Adamczewski K., Praczyk T., Stachecki S.: Wpływ opadów atmosferycznych i temperatury powietrza na występowanie niektórych gatunków chwastów oraz ich konkurencyjność w stosunku do roślin uprawnych. *Mat. 17 Konf. „Przyczyny i źródła zachwaszczenia pól uprawnych”*. Olsztyn-Bęsia, 28-29 czerwca 1994: 109-116.
3. Aliverdi A., Mohassel M.H.R., Mahallati M.N.: Increased foliar activity of clodinafop-propargyl and/or tribenuron-methyl by surfactants and their synergistic action on wild oat (*Avena ludoviciana*) and wild mustard (*Sinapis arvensis*). *Weed Biol. Manag.*, 2009, **9(4)**: 292-299.
4. Alonen J., Hyvonen T.: Response of weed floras in spring cereal fields to changes in crop production in Finland over four decades. In: XI colloque international sur la biologie des mauvaises herbes, Dijon 6-8. september 2000, 127-134.
5. Biernacki D., Filipiak J., Miętus M., Wójcik R.: Zmienność warunków termicznych w Polsce po roku 1951. Rezultaty projektu KLIMAT. W: Bednorz E., Kolendowicz L. (red.), *Klimat Polski na tle klimatu Europy. Zmiany i ich konsekwencje*, Seria: Studia i Prace z Geografii i Geologii, 2010, **16**: 9-21.
6. Bónis P., Árendás T., Berzsény Z., Marton C.S.: Herbicide tolerance studies on maize inbred lines. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz. J. Plant Diseases and Prot., Sonderheft*, 2004, **XIX**: 901-907.

7. Bortniak M., Sekutowski T.: Pogoda jednak ma wpływ na działanie herbicydów. Nasza rola. 29.10.2015: 5-6.
8. Bradley B.A., Oppenheimer M., Wilcove D. S.: Climate change and plant invasions: restoration opportunities ahead? *Global Change Biology*, 2009, **15(6)**: 1511-1521.
9. Christensen J. H., Hewitson B.: Regional climate projections. In: *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 2007: 847-940.
10. Dobrzański A., Adamczewski K.: Wpływ walki z chwastami na bioróżnorodność agrofitycenozy. Effect of weed control on biodiversity agrophytocenosis. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2009, **49(1)**: 176-182.
11. Domaradzki K.: Influence of herbicide and application timing on *Alopecurus myosuroides* Huds. control in winter wheat in Poland. *J. Plant Dis. Prot.*, 2006, **XX**: 817-821.
12. Domaradzki K., Snopczyński T., Jezierska-Domaradzka A. Zaślazł pospolity (*Abutilon theophrasti* Medik.), nowy groźny chwast upraw polowych – charakterystyka, występowanie i możliwości zwalczania. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2008, **48(2)**: 567-574.
13. European and Mediteranean Plant Protection Organization (EPPO). Bulletin 2005, No.: 135, 152, 181, 214, 50.
14. Evans N.: Range and severity of a plant disease increased by global warming. *J. R. Soc. Interface*, 2008, **5**: 525-531 (doi:10.1098/rsif. 2007.1136).
15. Ewert F., Rounsevell M. D. A., Reginster I., Metzger M. J., Leemans R.: Future scenarios of European agricultural land use I. Estimating changes in crop productivity. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 2005, **107**: 101-116.
16. Fumanal B., Girod C., Fried G., Bretagnolle F., Chauvel B.: Can the large ecological amplitude of *Ambrosia artemisiifolia* explain its invasive success in France? *Weed Res.*, 2008, **48(4)**: 349-359.
17. Gołębiowska H., Rola H.: Reakcja odmian kukurydzy na herbicydy w świetle badań prowadzonych w warunkach Dolnego Śląska w latach 1992-2007. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2008, **48(2)**: 590-601.
18. Gołębiowska H., Badowski M.: Przenikanie *Artemisia Vulgaris* L. do zbiorowisk segetalnych niektórych upraw rolniczych na terenie Dolnego Śląska. *Fragm. Agron.*, 2010, **27(3)**: 54-62.
19. Gołębiowska H., Kieloch R.: Stresy roślin rolniczych-reakcje, objawy, identyfikacja oraz skutki ich oddziaływania. Aplikacyjne i teoretyczne problemy w przemyśle rolno-spożywczym. *Studia i monografie, Politechnika Opolska*, 2014, **370**: 58-65
20. Gołębiowska H., Rola H.: The assessment of grain quality of maize cultivars depending on the way and term of herbicides application. *Polish J. Agron.*, 2010, **2**: 11-17.
21. Gołębiowska H., Rola H., Sumińska J.: Oddziaływanie herbicydów stosowanych w kukurydzy na jakość ziarna. *Progr. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2009, **49(2)**: 797-806.
22. Gołębiowska H., Skorupa M.: Problem zachwaszczenia wtórnego w warunkach integrowanej technologii produkcji. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2013, **46(2)**: 413-415.
23. Gołębiowska H.: Dynamika występowania flory segetalnej w uprawie kukurydzy na Dolnym Śląsku w latach 1972-2008 i obecne możliwości jej regulacji. *Monografie i rozprawy naukowe, IUNG-PIB Puławy*, 2011, **30**: 1-113.
24. Gołębiowska H.: The problems of weed management by herbicide systems applied in maize. *J. Plant Prot. Res.*, 2008, **48(1)**: 120-128.
25. Gornall J., Betts R., Burke E., Clark R., Camp J., Willett K., Wiltshire A. Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2010, **365**: 2973-2989.
26. Górski T., Kozyra J.: Agroklimatyczna norma średniej temperatury powietrza w Polasce na lata 2011-2020. *Polish J. Agron.*, 2011, **5**: 21-28.
27. Haliniarz M.: Skuteczność zwalczania chwastów w pszenicy ozimej w zależności od dawki chlorotoluronu (Lentipur Flo 500 SC). *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska*, 2013, Sec. E, **LXIX(3)**: 20-31.

28. Hurle K., Maier J., Amann A., Weishaar T., Mozer B., Pulcher-Hausling M.: Auswirkungen unterlassener Pflanzenschutz und Dungungsmassnahmen auf die Unkrautflora-Erste Ergebnisse aus einen mehrjahring Versuchsprogramm. Z. für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz J. Plant Diseases and Prot., Sonderheft, 1988 Sp. Issue XI: 175-187.
29. IPCC, 2009. Zmiana klimatu 2007: Raport Syntetyczny. Wkład Grup roboczych I, II i III do Czwartego Raportu Oceniającego Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu, red. R.K. Pachauri, A. Reisinger, IOS, Warszawa 2009.
30. IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change red. T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, Marosz M.
31. Javid M. M., Tanveer A., Ahmad R., Yaseen M., Khaliq A.: Optimizing activity of herbicides at reduced rate on *Emex spinosa* Campd. with adjuvants. Planta Daninha, 2012, **30(2)**: 425-435.
32. Kacperska A.: Reakcje roślin na abiotyczne czynniki stresowe. W: Fizjologia roślin, Kopcewicz J. (red.), St. Lewak. Warszawa, 2002: 612-678.
33. Kieloch R.: Stabilność plonowania odmian pszenicy ozimej w warunkach zróżnicowanej ochrony herbicydowej. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2013, **53(4)**: 740-743.
34. Kieloch R., Domaradzki K.: Wpływ współdziałania wilgotności gleby i fazy rozwojowej chwastów na skuteczność herbicydów stosowanych w zróżnicowanych dawkach. Post. Ochr. Rośl., 2015, **55(1)**: 58-63.
35. Kieloch R., Sadowski J., Domaradzki K.: Influence of selected soil-climatic parameters and application method of tribenuron methyl on biomass productivity and amino acids content in weeds. J. Plant Dis. Prot., 2014, **121(1)**: 26-31.
36. Kieloch R., Sumińska J.: Oddziaływanie herbicydów na plonowanie oraz jakość ziarna trzech odmian pszenicy ozimej. Prog. in Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2012, **52(2)**: 266-271.
37. Kieloch R., Sumińska J., Rola H.: Wpływ pochodnych fenylmocznika na przydatność ziarna odmian pszenicy ozimej do celów młynarskich i piekarniczych. Fragm. Agron., 2008, **1(97)**: 157-167.
38. Kohot V., Tyšer L., Holec J., Soukup J.: The influence of changes in crop sowing area on the composition of weed communities on arable land in the Czech Republic. Herbologia, 2003, **4(1)**: 13-19.
39. Korres N. E., Froudd-Williams R. J. Effect of winter wheat cultivars and seed rate on the biological characteristics of naturally occurring weed flora. In: Weed Res., 2002, **42(6)**: 417-428.
40. Kozyra J.: Climatic conditions for millet cultivation in Poland. WMO – CagM Report, Geneva, 2004, **94**: 34-35
41. Kudsk P.: Reduced herbicide rates: present and future. Proceedings of 26th German Conference on Weed Biology and Weed Control. Braunschweig, Germany, 11-13 March, 2014: 37-44.
42. Kundzewicz Z.W., Kozyra J.: Ocena zmian klimatu i ograniczanie wpływu zagrożeń klimatycznych w odniesieniu do rolnictwa i obszarów wiejskich. Polish J. Agron., 2011, **7**: 68-81.
43. Latowski K., Chmiel J., Jackowiak B., Żukowski W.: Udział antropofitów we florze segetalnej Wielkopolski. Fragm. Agron., 2010, **27(3)**: 103-111.
44. Leguizamón E. S., Fernandez-Quinilla G., Barroso J., Gonzalez-Andujar J. L.: Using thermal nad hydrothermal time to model seedling emergence of *Avena sterilis* ssp. Ludoviciana in Spain. Weed Res. 2004, **45**: 149-156.
45. Lipa J. J.: Następstwa zmian klimatycznych dla kwarantanny i ochrony roślin . Prog. in Plant Prot./Post. Ochr. Roślin, 2008, **48(3)**: 777-791.
46. Lisowicz F.: Narastająca szkodliwość omacnicy prosowianki (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) dla kukurydzy w południowo-wschodniej Polsce. Prog. Plant Protection/ Post. Ochr. Roślin, **43**: 247-250.
47. Lobell D.B., Field C.B.: Global scale climate–crop yield relationships and the impacts of recent warming. Environ. Res. Lett., 2007, **2**: 1-7.
48. Mačák M., Žák Š., Djalović I., Szombathová N.: The influence of an ecological and low input systems on weed density, weed diversity and weed competition on spring barley. J. Plant Dis. Prot., 2008, **XXI**: 425-430.
49. Melander B., Rasmussen I. A., Barbieri P.: Integrating physical and cultural methods of weed control – examples from European research. Weed Sci., 2005, **53**: 369-381.

50. Otto S., Masin R., Chiste G., Zanin G.: Modelling the correlation between plant phenology and weed emergence for improving weed control. *Weed Res.*, 2005, **45(6)**: 149-156.
51. Petersen J., Hurlle K.: Influence of climatic conditions and plant physiology on glufosinate-ammonium efficacy. *Weed Res.*, 2001, **41(1)**: 31-39.
52. Praczyk T.: Diagnostyka uszkodzeń herbicydowych roślin rolniczych. PWRiL, Poznań 2002.I.
53. Praczyk T.: Rozwój badań i zastosowań adiuwantów w Polsce. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2001, **41(1)**: 110-113.
54. Praczyk T., Bączkowska E., Balcer G., Kulczyński J., Dorna J.: Nowy adiuwant wspomagający aktywność niektórych herbicydów i fungicydów. *Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin*, 2008, **48(2)**: 647-652.
55. Riethmuller-Haage I., Bastiaans L., Kempenaar C., Smutny V., Kropff M. J.: Are pre-spraying growing conditions a major determinant of herbicide efficacy? *Weed Res.*, 2007, **47(5)**: 415-424.
56. Rola J., Rola H., Kucharczyk A., Latowski K., Borowiec S., Kutyna I.: Występowanie wybranych gatunków chwastów w uprawach rolniczych – makroregion południowo-zachodni. *Wyd. IUNG Puławy*, 1992: 22-26.
57. Stagnari F., Chiarini M., Pisante M.: Influence of fluorinated surfactants on the efficacy of some post-emergence sulfonyleurea herbicides. *J. Pestic. Sci.*, 2007, **32(1)**: 16-23.
58. Surawska M., Rzeźnicki B.: Ustawodawstwo – projekty ustaw i rozporządzenia z zakresu ochrony roślin. Materiały z IX konferencji „Racjonalna technika ochrony roślin”. IOR-PIB Poznań 06. X. 2010, 9-17.
59. Týr Š., Vereš T., Lacko-Bartošová M.: Weed as an important stress factor in ecological farming. *Cereal Res. Commun.*, 2009, **37**: 181-184.
60. Wang C. J., Liu Z. Q.: Foliar uptake of pesticides – Present status and future challenge. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 2007, **87(1)**: 1-8.
61. Wesołowski M., Cierpiała R.: Plonowanie i zachwaszczenie pszenicy ozimej w zależności od dawek herbicydu Huzar 05 WG. *Acta Agrophysica*, 2010, **15(2)**: 429-439.
62. Woźnica Z.: *Herbologia*. Poznań 2008, ss. 430.
63. Wójcik R., Biernacik D., Jakusik E., Pilarski M., Owczarek M., Miętus M.: Zmienność klimatu Polski od połowy XX wieku. Rezultaty projektu KLIMAT, *Prace i Studia Geograficzne*, 2011, **47**: 51-66.
64. Wójcik R., Miętus M.: Niektóre cechy wieloletniej zmienności temperatury powietrza w Polsce (1951-2010). *Przegląd Geograficzny*, 2014, **86, 3**: 339-364.
65. Żmudzka E.: Współczesne zmiany klimatu Polski. *Acta Agroph.*, 2009, **13(2)**: 555-568.

Adres do korespondencji:

dr hab. Hanna Gołębiowska, prof. nadzw.
IUNG-PIB
Zakład Herbologii i Technik Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław
tel. 71 363 87 07 w. 116
h.golebiowska@iung.wroclaw.pl

