

Received: 24.07.2023 / Accepted: 24.10.2023

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Wpływ kwasu krotonowego na skuteczność działania i fitotoksyczność diflufenikanu stosowanego w obniżonych dawkach

Influence of crotonic acid on efficacy and selectivity of diflufenican applied at reduced doses

Renata Kieloch* , Marcin Bortniak 

Streszczenie

Przedmiotem badań była ocena wpływu kwasu krotonowego, aplikowanego w czterech dawkach, na działanie diflufenikanu (w dawce zalecanej i dawkach obniżonych o 50 i 75%) w stosunku do niektórych gatunków chwastów. Przeprowadzono trzy serie doświadczeń w warunkach szklarniowych. Oceniano również fitotoksyczność mieszanin obu składników wobec dwóch odmian pszenicy ozimej. Dodatek kwasu krotonowego nie wpłynął istotnie na działanie diflufenikanu w stosunku do *Viola arvensis*, *Descurainia sophia* i *Thlaspi arvense*. Mieszaniny kwasu krotonowego w badanych dawkach i diflufenikanu w dawce obniżonej o 50% lepiej niszczyły *Apera spica-venti* niż herbicyd w dawce zalecanej. Kwas krotonowy w dawce najwyższej (5,4 kg/ha) znacząco poprawił skuteczność diflufenikanu w dawce obniżonej o 50% w zwalczaniu *Papaver rhoeas* i *Stellaria media*. Kwas krotonowy, diflufenikan oraz mieszaniny tych składników były bezpieczne dla pszenicy ozimej odmian KWS Dakotana i RGT Bilanz.

Słowa kluczowe: kwas krotonowy, herbicyd, mieszaniny, zniszczenie chwastów, pszenica ozima

Abstract

The subject of the research was the evaluation of the effect that crotonic acid applied at four doses has on diflufenican activity (at the recommended dose and doses reduced by 50 and 75%) against certain weed species. Three series of experiments were performed in glasshouse conditions. Phytotoxicity of the mixtures of both components was also evaluated against two cultivars of winter wheat. The addition of crotonic acid did not markedly affect the activity of diflufenican against *Viola arvensis*, *Descurainia sophia* and *Thlaspi arvense*. Mixtures of crotonic acid in the tested doses and diflufenican at a 50% reduced dose destroyed *Apera spica-venti* even more effectively than the recommended dose of the herbicide. At the highest rate (5.4 kg/ha) crotonic acid significantly improved the efficacy of diflufenican at the reduced by 50% dose in destroying *Papaver rhoeas* and *Stellaria media*. Crotonic acid, diflufenican and the mixtures of these compounds were safe for winter wheat cultivars KWS Dakotana and RGT Bilanz.

Key words: crotonic acid, herbicide, mixtures, weed control, winter wheat

Instytut Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Herbologii i Techniki Uprawy Roli
ul. Orzechowa 61, 50-540 Wrocław

*corresponding author: r.kieloch@iung.wroclaw.pl

Wstęp / Introduction

Komisja Europejska, wprowadzając strategię Europejskiego Zielonego Ładu, przyjęła założenia redukcji pestycydów do 2030 roku aż o połowę. W związku z tym systematycznie wycofywane są substancje czynne, które podejrzewa się, że mogą wpływać na zaburzenia w gospodarce hormonalnej ssaków oraz mieć negatywny wpływ na środowisko i zapylacze. Wprowadzenie wyżej wymienionej strategii Unii Europejskiej zmusza do poszukiwania nowych substancji, które miałyby swoje zastosowanie w zwalczaniu agrofagów. Od kilkudziesięciu lat prowadzone są w szerokim zakresie badania nad wykorzystaniem potencjału allelopatycznego roślin do ochrony upraw przed agrofagami (Alsaadawi i wsp. 2012; Weston i wsp. 2013; Muhammad i wsp. 2019; Iftikhar Hussain i wsp. 2022). Jeden z aspektów tych prac dotyczył wykorzystania wyciągów wodnych z roślin o właściwościach allelopatycznych (np. słonecznika, sorgo, ryżu) jako dodatku do herbicydów w celu obniżenia ich dawki (Iqbal i wsp. 2009; Khan i wsp. 2016). Uzyskane wyniki pozwalają sądzić, że wyciągi te zawierają substancje, które w połączeniu z herbicydami dają lepszy efekt chwastobójczy niż herbicyd zastosowany samodzielnie. Z tego powodu uzasadnione jest poszukiwanie nowych substancji, występujących naturalnie w roślinach, których działanie służyłoby obniżeniu dawki herbicydów.

Jedną z takich substancji jest kwas krotonowy, naturalnie występujący w nasionach roślin z rodziny selerowatych (Apiaceae) – głównie w marchwi, który uwalnia się w czasie ich kiełkowania. Kwas krotonowy zawarty w ekstrakcie nasion marchwi hamował kiełkowanie i wzrost siewek kilku gatunków roślin, tj. cebuli, marchwi, ogórka i rzeżuchy (Jasicka-Misiak i wsp. 2005). Syntetyczny kwas krotonowy ograniczył także wzrost siewek oraz aktywność enzymu reduktazy azotanowej kukurydzy rosnącej w kulturach wodnych przy jednoczesnym wzroście zawartości chlorofilu (Demczuk i wsp. 2012). Inne prace prowadzone w kulturach wodnych dostarczyły dowodów na to, że kwas krotonowy wchodzi w interakcję z herbicydem zawierającym rimsulfuron i modyfikuje jego działanie w stosunku do siewek kukurydzy (Demczuk i wsp. 2014). Brakuje natomiast informacji o wpływie kwasu krotonowego na inne substancje czynne herbicydów, które pozwoliłyby ocenić możliwość jego praktycznego wykorzystania w zabiegach chwastobójczych.

Celem badań była ocena wpływu kwasu krotonowego na skuteczność chwastobójczą diflufenikanu stosowanego w obniżonych dawkach względem dawki zalecanej oraz ocena fitotoksycznego oddziaływania mieszaniny obu składników na rośliny pszenicy ozimej.

Materiały i metody / Materials and methods

W Zakładzie Herbologii i Technik Uprawy Roli Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego In-

stytutu Badawczego we Wrocławiu, wykonano w latach 2020–2022 w warunkach szklarniowych trzy serie badań nad możliwością wykorzystania kwasu krotonowego do łącznego stosowania z diflufenikanem w obniżonych dawkach. W ramach badań wykonano dwa rodzaje doświadczeń: 1. ocena skuteczności chwastobójczej, 2. ocena fitotoksyczności w stosunku do roślin pszenicy ozimej.

Badanie skuteczności

Doniczki wypełniono podłożem składającym się z torfu i piasku w stosunku objętościowym 2 : 1, do których wysiano nasiona następujących gatunków chwastów: miotła zbożowa [*Apera spica-venti* (L.) P. Beauv. – APESV], mak polny [*Papaver rhoeas* (L.) – PAPRH], fiołek polny [*Viola arvensis* Murr. – VIOAR], stulicha psia [*Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl – DESSO], gwiazdnica pospolita [*Stellaria media* (L.) Vill. – STEME] i tobołki polne [*Thlaspi arvense* (L.) – THLAR]. Bezpośrednio po siewie doniczki umieszczono w szklarni, w której panowały odpowiednie warunki do wzrostu roślin: temperatura ± 20 – 22°C , fotoperiod 14 godzin dnia i 10 godzin nocy. Rośliny podlewano codziennie przez cały okres prowadzenia doświadczenia, a dzień przed zabiegiem wykonano ręczną przerywkę roślin, pozostawiając po 5 sztuk w każdej doniczce.

Schemat doświadczenia uwzględniał następujące obiekty: kontrola, kwas krotonowy w dawkach 0,9 kg/ha (KK1); 1,8 kg/ha (KK2); 3,6 kg/ha (KK3); 5,4 kg/ha (KK4), diflufenikan w dawce zalecanej (H 100%DZ) oraz dawkach obniżonych o 75% (H 25%DZ) i 50% (H 50%DZ), a także mieszaniny kwasu krotonowego i herbicydu w różnych proporcjach (25%ZD).

Do badań zastosowano zakupiony kwas krotonowy produkcji Sigma-Aldrich Chemie GmbH oraz herbicyd Legato 500 SC, zawierający 500 g diflufenikanu w 1 l preparatu (ADAMA Polska Sp. z o.o.), dla którego dawka zalecana wynosiła 0,2–0,3 l/ha (100–150 g s.cz./ha).

Zabieg wykonano w komorze opryskowej (Aporo Sp. z o.o.) wyposażonej w ruchomą dyszę (TeeJet XR 11003-VS), pracującą przy ciśnieniu roboczym 200 kPa i zapewniającą wydatek cieczy użytkowej 250 l/ha. Komora posiada ruchomy stół roboczy, umożliwiający optymalne umieszczenie opryskiwanych roślin względem rozpylacza – w tym przypadku 50 cm. W momencie aplikacji środków chwasty dwuliścienne znajdowały się w fazie 2–4 liści właściwych (BBCH 12–14), zaś *A. spica-venti* w fazie 2 liści (BBCH 12). Trzy tygodnie po aplikacji środków rośliny z każdej doniczki ścięto i określono świeżą masę. Do pomiarów masy chwastów wykorzystano wagę HB43 Mettler Toledo.

Doświadczenie prowadzono w układzie kompletnej randomizacji w trzech powtórzeniach. Zastosowano analizę wariancji, a następnie średnie porównano za pomocą testu Tukey'a. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu oprogramowania ARM ver. 2023.

Badanie fitotoksyczności

Nasiona pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) odmian RGT Bilanz i KWS Dakotana wysiano do doniczek wypełnionych podłożem składającym się z torfu i piasku w stosunku objętościowym 2 : 1, po 7 sztuk na doniczkę. Schemat doświadczenia uwzględniał następujące obiekty: kontrola, kwas krotonowy w dawce 5,4 kg/ha (KK4), herbicyd w dawce zalecanej (H 100%DZ) i obniżonej o 85% (H 15%DZ) oraz mieszanina kwasu krotonowego (KK4) z herbicydem w dawce obniżonej (15%DZ). Jeden dzień przed zabiegiem dokonano przerywki, zostawiając po 5 sztuk pszenicy na jedną doniczkę. Opryskiwanie wykonano w fazie 2–3 liści pszenicy ozimej (BBCH 12–13). Parametry zabiegu były takie same, jak w badaniu skuteczności. Po upływie 7 i 14 dni od opryskiwania wykonano ocenę fitotoksyczności, posługując się skalą 9-stopniową, zaś po 3 tygodniach oceniono wysokość każdej rośliny w doniczce. Następnie rośliny ścięto tuż nad glebą i określono świeżą masę przy użyciu wagi Sartorius AS Gottingen Typ 1402 MPE-1.

Uzyskane wartości świeżej masy roślin oraz wysokości roślin pszenicy ozimej dla pojedynczego doświadczenia (1 odmiana = 1 doświadczenie) poddano jednoczynnikowej analizie wariancji. W celu porównania średnich zastosowano test post-hoc Tukey'a na poziomie istotności 0,05, w wyniku czego wyodrębniono grupy jednorodne. Analizy statystyczne wykonano przy użyciu oprogramowania ARM ver. 2023.

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Kwas krotonowy aplikowany we wszystkich testowanych dawkach w bardzo słabym stopniu zredukował biomasę badanych gatunków chwastów (tab. 1). Trzy gatunki chwastów spośród badanych: *V. arvensis*, *D. sophia* i *T. arvense* zostały zniszczone na podobnym poziomie, zarówno po aplikacji samego herbicydu w różnych dawkach, jak i w mieszaninach z kwasem krotonowym. Redukcja bio-

Tabela 1. Wpływ kwasu krotonowego, diflufenikanu i mieszanin obu składników na świeżą masę chwastów
Table 1. Influence of crotonic acid, diflufenican and mixtures of both compounds on weeds fresh weight

Lp. No.	Obiekty Treatments	Dawka Dose [ha]	Świeża masa roślin [g] Plant fresh weight [g]					
			APESV	PAPRH	VIOAR	DESSO	STEME	THLAR
1.	kontrola – untreated	–	0,54 a	3,64 a	0,99 a	0,77 a	3,87 ab	0,55 a
2.	KK1	0,9 kg	0,51 a	3,63 a	1,01 a	0,82 a	3,86 ab	0,55 a
3.	KK2	1,8 kg	0,49 abc	3,52 ab	1,05 a	0,79 a	3,86 ab	0,52 a
4.	KK3	3,6 kg	0,46 a-d	3,52 ab	1,05 a	0,81 a	3,99 a	0,52 a
5.	KK4	5,4 kg	0,48 a-d	3,32 a-d	1,01 a	0,77 a	3,81 ab	0,50 a
6.	herbicyd 500 SC 25%DZ	0,05 l	0,55 a	3,46 ab	0,14 b	0,38 b	3,40 b	0,06 b
7.	herbicyd 50%DZ	0,1 l	0,52 a	3,38 a-d	0,12 b	0,33 b	3,37 b	0,06 b
8.	herbicyd 100%DZ	0,2 l	0,50 abc	2,93 cd	0,06 b	0,30 b	2,64 c	0,05 b
9.	herbicyd 25%DZ + KK1	0,05 l + 0,9 kg	0,36 cde	3,45 ab	0,11 b	0,41 b	3,60 ab	0,06 b
10.	herbicyd 25%DZ + KK2	0,05 l + 1,8 kg	0,37 b-e	3,43 abc	0,09 b	0,38 b	3,54 ab	0,06 b
11.	herbicyd 25%DZ + KK3	0,05 l + 3,6 kg	0,31 e	3,46 ab	0,10 b	0,30 b	3,49 ab	0,04 b
12.	herbicyd 25%DZ + KK4	0,05 l + 5,4 kg	0,27 e	3,14 a-d	0,09 b	0,30 b	3,36 b	0,04 b
13.	herbicyd 50%DZ + KK1	0,1 l + 0,9 kg	0,35 de	3,46 ab	0,07 b	0,32 b	3,51 ab	0,05 b
14.	herbicyd 50%DZ + KK2	0,1 l + 1,8 kg	0,32 e	3,11 bcd	0,08 b	0,29 b	3,49 ab	0,05 b
15.	herbicyd 50%DZ + KK3	0,1 l + 3,6 kg	0,31 e	2,91 d	0,08 b	0,26 b	3,40 b	0,05 b
16.	herbicyd 50%DZ + KK4	0,1 l + 5,4 kg	0,25 e	1,59 e	0,07 b	0,23 b	2,39 c	0,43 b

KK1–4 – kwas krotonowy w dawkach 0,9; 1,8; 3,6 i 5,4 kg/ha – crotonic acid at the doses of 0.9; 1.8; 3.6 and 5.4 kg/ha

DZ – dawka zalecana herbicydu – recommended dose of herbicide

APESV – *Apera spica-venti* (L.) P. Beauv., PAPRH – *Papaver rhoeas* (L.), VIOAR – *Viola arvensis* Murr., DESSO – *Descurainia sophia* (L.) Webb ex Prantl, STEME – *Stellaria media* (L.) Vill., THLAR – *Thlaspi arvense* (L.)

Wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Values in columns marked with the same letter do not differ significantly

masy na powyższych obiektach była znacząco wyższa w porównaniu z obiektem kontrolnym, co potwierdzono w analizie statystycznej.

W przypadku *A. spica-venti* diflufenikan wykazał niską skuteczność działania bez względu na wysokość zastosowanej dawki. Wszystkie mieszaniny kwasu krotonowego i diflufenikanu wykazały istotnie lepsze działanie na ten gatunek niż herbicyd stosowany samodzielnie z wyjątkiem kombinacji herbicyd 25%DZ + KK1. Nie wykazano istotnych różnic w skuteczności pomiędzy wszystkimi badanymi mieszaninami.

Dla *P. rhoeas* i *S. media* uzyskano istotnie niższe wartości świeżej masy dla zalecanej dawki diflufenikanu w porównaniu z kontrolą. Nie wykazano różnic pomiędzy obiektami, na których herbicyd zastosowano w obniżonych dawkach. Mieszaniny kwasu krotonowego we wszystkich badanych dawkach z diflufenikanem w dawce 25%DZ nie ograniczyły znacząco świeżej masy chwastów w stosunku do kontroli, jak również do herbicydu aplikowanego samodzielnie. Podobne rezultaty uzyskano dla mieszanin kwasu krotonowego w dawkach 0,9; 1,8 i 3,6 kg/ha z herbicydem w dawce 50%DZ. Jedynie mieszanina herbicydu z kwasem w dawce najwyższej (5,4 kg/ha) spowodowała istotny ubytek masy w stosunku do kontroli oraz samego herbicydu.

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano stymulujący wpływ kwasu krotonowego na działanie diflufenikanu w obniżonych dawkach tylko u niektórych gatunków chwastów. Badana substancja nie poprawiała skuteczności herbicydu w stosunku do *D. sophia*, *V. arvensis* i *T. arvense*.

Masa tych chwastów była istotnie zredukowana w stosunku do kontroli przez wszystkie badane dawki środka, nie istniała więc konieczność poprawy efektywności dawek obniżonych.

U niektórych gatunków, które wyraźnie zareagowały na dodatek kwasu krotonowego, tj. *P. rhoeas* i *D. sophia*, zaobserwowane różnice zależały od wysokości dawek składników mieszaniny. Znaczącą poprawę działania diflufenikanu zanotowano jedynie dla kombinacji z najwyższą dawką kwasu krotonowego i o połowę obniżoną dawką herbicydu. Odmienne rezultaty uzyskano we wcześniejszych badaniach z użyciem kwasu krotonowego w połączeniu z innymi herbicydami, tj. nikosulfuronem oraz mieszaniną bromoksynil + terbutylazyna (Kieloch i Gołębiowska 2020). Wykazały one brak różnic w skuteczności tychże mieszanin niezależnie od dawki kwasu krotonowego. Należy jednak wziąć pod uwagę, że testowano w nich tylko dwa poziomy dawek tego składnika i były one niższe od dawki różnicującej w obecnym badaniu (5,4 kg/ha), co mogło przekładać się na brak różnic w działaniu mieszanin. Ze wszystkich badanych chwastów, *A. spica-venti* była gatunkiem, u którego wpływ kwasu krotonowego na działanie diflufenikanu był najbardziej wyraźny. Gatunek ten (w etykiecie herbicydu zakwalifikowany jako średniowrażliwy na tę substancję) był w słabym stopniu niszczonej nawet przez zalecaną dawkę preparatu. Tak niska skuteczność prawdopodobnie przyczyniła się do zaobserwowania istotnych różnic w zwalczaniu *A. spica-venti* po zastosowaniu mieszanin z kwasem krotonowym.

Tabela 2. Wpływ diflufenikanu i jego mieszanin z kwasem krotonowym na świeżą masę i wysokość roślin pszenicy ozimej
Table 2. The effect of diflufenican and its mixtures with crotonic acid on the fresh weight and plant height of winter wheat

Obiekt Treatments	Dawka Dose [kg/ha]	Fitotoksyczność (1–9)		Wysokość Height [cm]	Świeża masa Fresh weight [g]
		I	II		
KWS Dakotana					
Kontrola – Untreated	–	1	1	42,6 b	18,61 a
KK4	5,4 kg	1	1	44,4 a	19,48 a
Herbicyd 15%DZ	0,03 l	1	1	43,3 ab	18,81 a
Herbicyd 100%DZ	0,2 l	1	1	43,7 ab	18,84 a
Herbicyd 15%DZ + KK4	0,03 l + 5,4 kg	1	1	41,9 b	18,44 a
RGT Bilanz					
Kontrola – Untreated	–	1	1	43,5 b	21,83 a
KK4	5,4 kg	1	1	46,9 a	22,32 a
Herbicyd 15%DZ	0,03 l	1	1	44,1 b	22,28 a
Herbicyd 100%DZ	0,2 l	1	1	43,4 b	22,36 a
Herbicyd 15%DZ + KK4	0,03 l + 5,4 kg	1	1	44,1 b	22,76 a

F – fitotoksyczność, gdzie: 1 – brak uszkodzeń, 9 – całkowite zniszczenie roślin – phytotoxicity, where: 1 – no crop injury, 9 – total crop destruction

I, II – obserwacje odpowiednio 7 i 14 dni po zabiegu – 7 and 14 days after treatment, respectively

KK4 – kwas krotonowy w dawce 5,4 kg/ha – crotonic acid at the dose of 5.4 kg/ha

DZ – dawka zalecana herbicydu – recommended dose of herbicide

Wartości w kolumnach oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie – Values in columns marked with the same letter do not differ significantly

Przeprowadzone badania obejmowały również fitotoksyczność mieszanin kwasu krotonowego z badanym herbicydem w stosunku do dwóch odmian pszenicy ozimej, tj. RGT Bilanz i KWS Dakotana. Herbicyd aplikowany w dawce podstawowej i obniżonej (15%DZ) był selektywny dla badanych odmian pszenicy ozimej (tab. 2). Zastosowany samodzielnie lub łącznie z kwasem krotonowym nie spowodował uszkodzeń roślin oraz nie wpłynął negatywnie na wysokość oraz świeżą masę roślin pszenicy ozimej. Zaobserwowano natomiast nieznaczny wzrost dla wysokości roślin badanych odmian pszenicy ozimej po traktowanych samym kwasem krotonowym.

Wnioski / Conclusions

1. Aplikacja kwasu krotonowego w mieszaninie z diflufenikanem w zredukowanych o 50 i 75% dawkach nie wpłynęła istotnie na redukcję masy *V. arvensis*, *D. sophia* i *T. arvense* w porównaniu z herbicydem stosowanym pojedynczo w dawce pełnej oraz dawkach zredukowanych.
2. Najlepsze rezultaty w łącznej aplikacji kwasu krotonowego z herbicydem uzyskano w zwalczaniu *A. spi-*

ca-venti. Mieszaniny kwasu krotonowego w badanych dawkach i diflufenikanu w dawce obniżonej o 50% oraz kwasu krotonowego w dawkach 3,6 oraz 5,4 kg/ha i diflufenikanu w dawce obniżonej o 25% statystycznie lepiej niszczyły ten gatunek niż herbicyd w dawce zalecanej.

3. Dodatek kwasu krotonowego w dawce najwyższej (5,4 kg/ha) istotnie poprawił skuteczność diflufenikanu w dawce obniżonej o 50% w zwalczaniu *P. rhoeas* i *S. media*.
4. Kwas krotonowy, diflufenikan oraz mieszaniny kwasu krotonowego w badanych dawkach z diflufenikanem w dawce obniżonej o 85% nie wykazywały fitotoksyczności pszenicy ozimej odmian KWS Dakotana i RGT Bilanz.

Finansowanie / Funding

Opracowanie wykonano w ramach programu statutowego 2.43 Instytutu Uprawy Nawożenia i Gleboznawstwa – Państwowego Instytutu Badawczego.

Literatura / References

- Alsaadawi I.S., Sarbout A.K., Al-Shamma L.M. 2012. Differential allelopathic potential of sunflower (*Helianthus annuus* L.) genotypes on weeds and wheat (*Triticum aestivum* L.) crop. Archives of Agronomy and Soil Science 58 (10): 1139–1148. DOI: 10.1080/03650340.2011.570335
- Demczuk A., Grzyś E., Majewska E., Sacała E. 2012. Oddziaływanie kwasu krotonowego na siewki kukurydzy. [Effect of crotonic acid on maize seedlings]. Przemysł Chemiczny 91 (5): 729–732.
- Demczuk A., Grzyś E., Sacała E. 2014. The combined action of allelochemicals and the sulfonylurea herbicide on maize seedlings. Proceedings of 7-th World Congress of Allelopathy, Vigo, Spain, 28.07–01.08.2014, s. 148.
- Iftikhar Hussain M., Araniti F., Schulz M., Baerson S., Vieites-Álvarez Y., Rempelos L., Bilsborrow P.E., Chinchilla N., Macías F.A., Weston L.A., Roger M.R., Sánchez-Moreiras A.M. 2022. Benzoxazinoids in wheat allelopathy – from discovery to application for sustainable weed management. Environmental and Experimental Botany 202 (1): 104997. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2022.104997
- Iqbal J., Cheema Z.A., Mushtaq M.N. 2009. Allelopathic crop water extracts reduce the herbicide dose for weed control in cotton (*Gossypium hirsutum*). International Journal of Agriculture and Biology 11 (4): 360–366.
- Jasicka-Misiak I., Wieczorek P.P., Kafarski P. 2005. Crotonic acid as a bioactive factor in carrot seeds (*Daucus carota* L.). Phytochemistry 66 (12): 1485–1491. DOI: 10.1016/j.phytochem.2005.04.005
- Khan M.A., Afridi R.A., Hashim S., Khattak A.M., Ahmad Z., Wahid F., Chauhan B.S. 2016. Integrated effect of allelochemicals and herbicides on weed suppression and soil microbial activity in wheat (*Triticum aestivum* L.). Crop Protection 90: 34–39. DOI: 10.1016/j.cropro.2016.08.018
- Kieloch R., Gołbiowska H. 2020. Ocena wpływu dodatku kwasu krotonowego do mieszaniny bromoksynilu z terbutylazyną oraz nicosulfuronu w dawkach obniżonych na zniszczenie wybranych gatunków chwastów. [Evaluation of the impact of crotonic acid addition to the mixture of bromoxynil with terbutylazine and nicosulfuron in lowered doses on selected weed species control]. Progress in Plant Protection 60 (3): 261–265. DOI: 10.14199/ppp-2020-028
- Muhammad Z., Inayat N., Majeed A., Rehmanullah, Ali H., Ullah K. 2019. Allelopathy and agricultural sustainability: implication in weed management and crop protection – an overview. European Journal of Ecology 5 (2): 54–61. DOI: 10.2478/eje-2019-0014
- Weston L.A., Alsaadawi I.S., Baerson S.R. 2013. Sorghum allelopathy – from ecosystem to molecule. Journal of Chemical Ecology 39: 142–153. DOI: 10.1007/s10886-013-0245-8