

## WPLYW FORMY UŻYTKOWEJ CHLOMAZONU NA WZROST ROŚLIN RZEPAKU\*

*Renata Matuszak-Slamani<sup>1</sup>, Małgorzata Włodarczyk<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Katedra Fizyki i Agrofizyki, Wydział Kształtowania Środowiska i Rolnictwa  
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie  
ul. Papieża Pawła VI 3, 71-459 Szczecin

<sup>2</sup>Zakład Chemii, Mikrobiologii i Biotechnologii Środowiska  
ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin  
e-mail: Renata.Matuszak@zut.edu.pl

**Streszczenie.** Badania dotyczące fitotoksyczności chlomazonu w postaci dwóch formułacji: herbicydu Command 480 EC i chlomazonu immobilizowanego w alginianowych kapsułkach w stosunku do roślin rzepaku przeprowadzono w kontrolowanych warunkach. Stwierdzono, że rośliny rzepaku, odmiany Bellevue, wykazują większą tolerancję w stosunku do chlomazonu immobilizowanego w hydrożelowej matrycy alginianowej niż do standardowej formy użytkowej tego herbicydu. Chlomazon w formie herbicydu Command 480 EC istotnie zmniejszył zawartość chlorofilu a, b, a+b oraz całkowitą zawartość karotenoidów. Zaobserwowano również istotnie ujemny wpływ chlomazonu, w formie środka Command 480 EC, na efektywność aparatu fotosyntetycznego rzepaku.

**Słowa kluczowe:** fitotoksyczność, herbicyd, chlomazon, alginianowa kapsułka, rzepak

### WSTĘP

Roślina uprawna pozbawiona opieki człowieka ustępuje miejsca chwastom, które są lepiej przystosowane do zróżnicowanych warunków siedliskowych i bez trudu wygrywają z nią współzawodnictwo o składniki pokarmowe, wodę i światło (Rola 1991). W związku z tym chemiczna ochrona roślin stała się niezbędnym i trwałym elementem, wykorzystywanym w technologii uprawy roślin rolniczych, jako skuteczny i szybki sposób na pozbycie się niebezpiecznej konkurencji. Odpowiednio stosowane herbicydy umożliwiają osiągnięcie wysokiej skuteczności zabiegu, poprzez eliminację szerokiego spektrum gatunków chwastów, bez uszczerbku dla chronionej rośliny. Selektywność herbicydów nie jest jednak całkowita i zdarza

\* Praca finansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, nr projektu NN 305151433.

się, że mogą one niszczyć również roślinę uprawną (Sikorski i in. 2015). W celu zminimalizowania negatywnego wpływu herbicydów, wprowadzanych jest szereg innowacyjnych rozwiązań, których głównym celem jest uzyskanie jak największej skuteczności stosowanych środków, przy jak najmniejszym ich negatywnym wpływie na roślinę chronioną i środowisko. Istotne znaczenie mają adiuwanty, które poprawiają aktywność biologiczną herbicydów, umożliwiając tym samym skuteczniejsze zwalczanie chwastów (Foster i in. 2006, Green i Beestman 2007, Kucharski i Sadowski 2009). Nowe kierunki rozwoju skierowane są także w stronę badań nad formami użytkowymi, umożliwiającymi zmniejszenie ilości stosowanych herbicydów lub polepszenie ich działania. Dzięki technologii kontrolowanego uwalniania, opartej na naturalnych polimerach (np.: alginian, celuloza, lignina, chitozan), herbicydy w sposób kontrolowany uwalniane są do środowiska glebowego, przez co ich stężenie utrzymuje się na stałym, określonym poziomie. Umożliwia to ograniczenie ilości ich stosowania, zwiększenie trwałości (w przypadku szybko degradowanych związków), a tym samym zminimalizowanie niekorzystnego oddziaływania na rośliny uprawne i zmniejszenie niepożądanych zjawisk środowiskowych tj.: wymywania, spływów powierzchniowych czy parowania (Fernández-Pérez i in. 2011, Włodarczyk i in. 2011, Roy i in. 2014, Włodarczyk i Siwek 2016).

Rzepak należy do roślin o dużym znaczeniu gospodarczym. Od 1995 roku systematycznie wzrasta jego udział w ogólnej powierzchni upraw roślin oleistych (Kapusta 2015). W 2015 roku powierzchnia jego zasiewów wynosiła 947,1 tys. ha, co stanowiło 95,3% powierzchni uprawnej wszystkich roślin oleistych (GUS 2015). Rzepak jest rośliną silnie reagującą na zachwaszczenie, zwłaszcza w początkowym okresie swego rozwoju, dlatego stosowanie środków przedwzrostowych jest najefektywniejsze (Franek i Rola 2002). Po wycofaniu wielu substancji czynnych m.in. trifluraliny i alachloru zmniejszyła się liczba dostępnych środków ochrony roślin stosowanych w ramach programów ochrony rzepaku przed chwastami (Franek 2000, Jarecki i in. 2013, Gołębiowska i Badowski 2015). Zalecany do stosowania Command 480 EC często powoduje wystąpienie trwałych uszkodzeń, pogarszających jakość plonu wrażliwych odmian (Franek i Rola 2002, Gołębiowska i Badowski 2015).

Celem badań było porównanie fitotoksyczności chlomazonu zastosowanego w postaci dwóch form użytkowych, alginianowych kapsułek i herbicydu handlowego Command 480 EC, w stosunku do roślin rzepaku, odmiany Bellevue.

## MATERIAŁ I METODY

### Charakterystyka herbicydu

Chlomazon (*2-(2-chlorobenzyl)-4,4-dimetylo-1,2-oxazolidin-3-one*) należy do związków z grupy izoksolidionów, jest selektywnym herbicydem, stosowanym doglebowo. Charakteryzuje się dużą rozpuszczalnością w wodzie  $1102 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$  i czasem połowicznego zaniku wynoszącego od 4 do 16 tygodni (Mervosh i in. 1995, Bhattacharyya i in. 2014)

W badaniach zastosowano chlomazon, w postaci preparatu handlowego Command 480 EC oraz chlomazon immobilizowany w alginianowych kapsułkach. Formulację chlomazonu opartą na alginianowej matrycy otrzymano w Centrum Bioimmobilizacji i Innowacyjnych Materiałów, Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie (Włodarczyk i in. 2010). Wykorzystany w badaniach chlomazon, o stopniu czystości 99,9%, udostępniły Zakłady Chemiczne „Organika-Sarzyna” Polska.

### Badania fitotoksyczności

Badania fitotoksyczności chlomazonu wykonano w warunkach laboratoryjnych. Rośliną testową był rzepak (*Brassica napus* L.), odmiany Bellevue. Nasiona rzepaku wysiewano w plastikowe pojemniki wypełnione glebą (o pojemności  $250 \text{ cm}^3$ ), które przetrzymywano w minifitotronie, przy oświetleniu lampami HPL – R 400 (PPFD  $200 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , fotoperiod 12h/12h), w temperaturze  $16^\circ\text{C}$ . W badaniach fitotoksyczności wykorzystano glebę pobraną w miejscowości Zaspy Małe, w województwie zachodniopomorskim. Gleba należy do V klasy bonitacyjnej kompleksu żyniego dobrego. Charakteryzuje się składem granulometrycznym piasku gliniastego, o zawartości węgla organicznego na poziomie 0,85% i kwaśnym odczynie ( $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 5,56$ ;  $\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,28$ ). W czasie wegetacji rośliny podlewano pożywką Hoaglanda, utrzymując stałą wilgotność podłoża na poziomie 70% polowej pojemności wodnej.

Chlomazon zastosowano bezpośrednio po siewie rzepaku w formie standardowego herbicydu Command 480 EC i alginianowych kapsułek. Zawartość substancji czynnej w obu formach użytkowych wynosiła  $120 \text{ g}\cdot\text{ha}^{-1}$ , co odpowiada zalecanej dawce preparatu Command 480 EC  $0,25 \text{ l}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

Po 40 dniach od siewu nasion, w fazie 5-6 liści właściwych rzepaku (BBCH 15-16) (BBCH – Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt i Chemical Industry (Meier 2001)), wykonano pomiary intensywności fotosyntezy przy pomocy gazoanalyzeru typu TPS-2 (PP-System) oraz pomiary fluorescencji chlorofilu przy użyciu fluorymetru impulsowego PAM 200 (Walz).

Dodatkowo w liściach rzepaku oznaczono zawartość barwników chlorofilowych. Pomiar barwników chlorofilowych wykonano w wyciętych z liści rzepaku krążkach o średnicy  $d=1,1$  mm. Ekstrakcję barwników wykonano w roztartych krążkach liściowych za pomocą 100% acetonu (cz.d.a). Otrzymane acetonowe ekstrakty poddano analizie spektrofotometrycznej. Pomiar absorpcji wykonano przy trzech długościach fali: 661,6 nm, 644,8 nm i 470 nm na skomputeryzowanym spektrofotometrze Specord M-40 z oprogramowaniem Aspect (Carl Zeiss Jena). Pomiar absorpcji wykonano w kuwetach szklanych o grubości 1 cm. Stężenia barwników obliczano ze wzorów Lichtenthalera (1987):

$$c_a = 11,24 A_{661,6} - 2,04 A_{644,8}; c_b = 20,13 A_{644,8} - 4,19 A_{661,6}$$

$$c_{a+b} = 7,05 A_{661,6} + 18,09 A_{644,8}; c_{x+c} = (1000 A_{470} - 1,90 C_a - 63,14 C_b)/214$$

gdzie:  $c_a$  – chlorofil a,  $c_b$  – chlorofil b,  $c_{a+b}$  – chlorofil a i b,  $c_{x+c}$  – zawartość karotenoidów.

Po 40 dniach od siewu nasion określono świeżą i suchą masę części nadziemnych oraz korzeni roślin rzepaku. Suchą masę roślin wyznaczono po wysuszeniu w suszarce przez 12 h, w temperaturze 105°C.

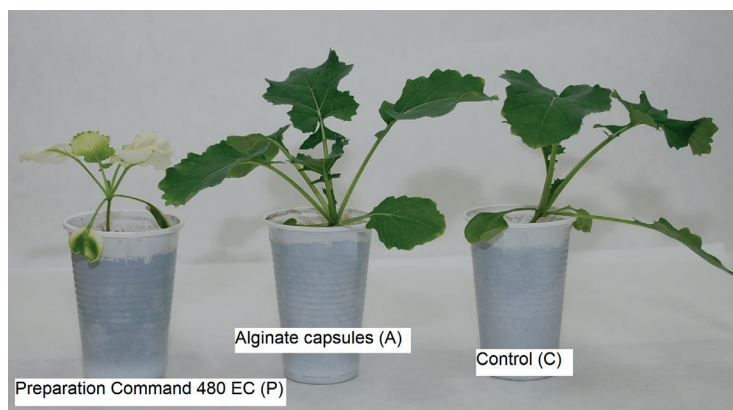
Dla wszystkich analizowanych kombinacji (kontrola, alginianowe kapsułki chlomazonu, herbicyd Command 480 EC) badania przeprowadzono w sześciu powtórzeniach. Wyniki pomiarów przedstawiono jako średnie arytmetyczne. Uzyskane wyniki opracowano statystycznie przy pomocy programu Statistica, wersja 9.0. Do porównania wartości średnich wykorzystano analizę wariancji, która stanowiła bazę do wyseparowania grup jednorodnych przy zastosowaniu testu Tukeya na poziomie istotności  $p = 0,05$ .

## WYNIKI I DYSKUSJA

Chlomazon jest inhibitorem biosyntezy karotenoidów. Herbicydy o tym mechanizmie działania doprowadzają do zaniku wytwarzania karotenoidów, który jest poprzedzony zanikiem chlorofilu. Zanik barwników roślinnych doprowadza do charakterystycznych objawów, całkowitego bielenia roślin (Woźnica 2008).

Na podstawie przeprowadzonych badań laboratoryjnych stwierdzono istotny wpływ formy użytkowej chlomazonu na początkowy okres wzrostu i rozwój roślin rzepaku, odmiany Bellevue. Objawy fitotoksycznego działania chlomazonu widoczne były już po pierwszym tygodniu wzrostu roślin, w warunkach kontrolowanych. Chlomazon w formie herbicydu Command 480 EC (P) w dawce dopuszczonej w Polsce do stosowania w warunkach polowych ( $0,25 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) wykazał silne działanie fitotoksyczne w stosunku do roślin rzepaku ozimego, odmiany Bellevue. Powodował on silne bielenie roślin i zahamował ich wzrost (rys. 1). Nie odnotowano natomiast takich zmian w wyniku zastosowania takiej samej dawki chlomazonu, w postaci alginianowych kapsułek (A). Potwierdzają to badania Gołębiowskiej i Badowskiego

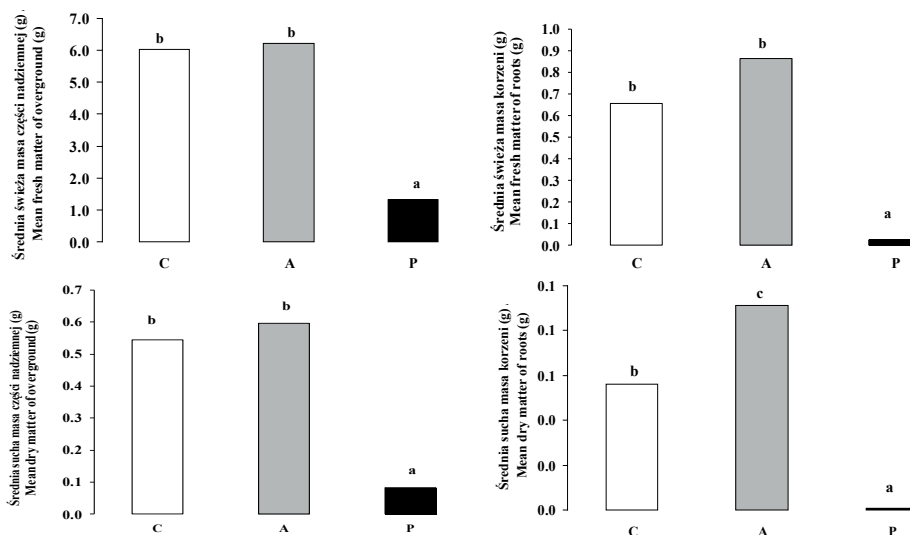
(2015). Po zastosowaniu herbicydu Command 480 EC zaobserwowali oni także krótkotrwałe wybielanie liści rzepaku. Podobnie w badaniach prowadzonych przez Sawicką i in. (2007), liście roślin *H. tuberosus* potraktowane nalistnie chlomazonem, okazały się bardzo wrażliwe na tę substancję czynną, reagując bieleniem blaszek liściowych. Dalszym następstwem działania tego herbicydu było zahamowanie wzrostu i zamieranie uszkodzonych liści. Stwierdzone przez nich zmiany fitocydalne ustąpiły praktycznie po 6 tygodniach, ale wywołały nieodwracalne uszkodzenia aparatu asymilacyjnego roślin. W konsekwencji chlomazon poprzez przejściowe uszkodzenia i zahamowanie wzrostu roślin wpływał na jakość plonu (Sawicka i in. 2007, Gołębiowska i Badowski 2015).



**Rys. 1.** Rośliny rzepaku ozimego, odmiany Bellevue, po 40 dniach wegetacji: A – poddane działaniu chlomazonu ( $120 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ), w formie biopolimerowej kapsułki; P – traktowane herbicydem Command 480 EC; C – kontrola

**Fig. 1.** The plants of winter rape, cv. Bellevue after 40 days of vegetation: A – exposed to clomazone ( $120 \text{ g s.a.} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) in the form of alginate microcapsules; P – treated with herbicide Command 480 EC; C – control

Stwierdzono również istotny wpływ formy użytkowej chlomazonu na cechy biometryczne rzepaku ozimego, w tym na świeżą i suchą masę korzeni oraz części nadziemnych. Po 40 dniach wegetacji rzepaku, w wyniku zastosowania herbicydu Command 480 EC, stwierdzono istotny spadek świeżej i suchej masy, zarówno części nadziemnych jak i korzeni. W przypadku części nadziemnych spadek ten wyniósł: świeża masa – 83%, sucha masa – 89%, natomiast w przypadku korzeni spadek masy był jeszcze większy: świeża masa – 97%, sucha masa – 98%. Zastosowanie chlomazonu immobilizowanego w alginianowej matrycy nie wpłynęło na analizowane cechy biometryczne nadziemnych części roślin. Świeża i sucha masa części nadziemnych roślin była porównywalna z kontrolą (rys. 2). W przypadku korzeni zastosowanie chlomazonu immobilizowanego przyczyniło się do wzrostu ich świeżej (30%) i suchej (60%) masy.



**Rys. 2.** Wpływ formy użytkowej chlomazonu na świeżą i suchą masę części nadziemnych i korzeni rzepaku, odmiany Bellevue. Wartości oznaczone tymi samymi literami nie różnią się istotnie, wg testu Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ ; C – kontrola; A – chlomazon immobilizowany w alginiano-wej matrycy; P – herbicyd Command 480 EC

**Fig. 2.** Impact of clomazone formulation on fresh and dry matter of aboveground parts and roots of rape cv. Bellevue. Values marked by the same letter do not differ significantly according to Tukey's test, at  $p = 0.05$ ; C – control; A – clomazone immobilized in alginate matrix; P – herbicide Command 480 EC

Badania wielu autorów potwierdzają negatywny wpływ chlomazonu na rozwój roślin. Anyszka i Dobrzański (2007) po zastosowaniu chlomazonu zaobserwowali wystąpienie przejaśnień i bielenie brzegów liści marchwi, a także niewielkie przejściowe ograniczenie wzrostu roślin. Również Gołębiowska i Badowski (2015), porównując wpływ mieszaniny metazachloru z chlomazonem oraz metazachloru z chinomerakiem do działania chlomazonu użytego w formie herbicydu Command 480 EC na morfologię i jakość plonu odmian rzepaku ozimego, stwierdzili, że objawy fitotoksycznego oddziaływania badanych mieszanin w każdym przypadku były niższe od samego chlomazonu.

W celu oceny wpływu formy użytkowej chlomazonu na przebieg procesu fotosyntezy wykonano pomiary podstawowych parametrów fotosyntezy oraz pomiary fluorescencji chlorofilu. Niemożliwe było wykonanie pomiarów asymilacji  $\text{CO}_2$  i intensywności transpiracji na roślinach poddanych działaniu chlomazonu w formie herbicydu Command 480 EC, ponieważ chlomazon w tej postaci doprowadził do znacznego bielenia roślin i zahamowania ich wzrostu. Nie zaobserwowano natomiast istotnych różnic w asymilacji  $\text{CO}_2$  i intensywności transpiracji liści rzepaku z kontroli i poddanych działaniu chlomazonu w formie biopolimerowej kapsułki (tab. 1).

**Tabela 1.** Wpływ chlomazonu na podstawowe parametry fotosyntezy  
**Table 1.** The impact of clomazone on basic parameters of photosynthesis

Warianty doświadczenia Experimental variant	Parametry fotosyntezy / Parameters of photosynthesis	
	Asymilacja CO <sub>2</sub> Assimilation CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )	Intensywność fotosyntezy Intensity of photosynthesis ( $\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ )
Kontrola / Control	11,98 a	3,58 a
Biopolimerowa kapsułka Alginate capsules	12,70 a	3,36 a
Herbicyd Command 480 EC Herbicide Command 480 EC	–	–

\*Wartości w kolumnach, oznaczone tymi samymi literami, nie różnią się istotnie, wg testu Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  / Values in columns marked with the same letters do not differ significantly according to Tukey's test, at  $p = 0.05$

Zaobserwowano istotnie ujemny wpływ chlomazonu w formie herbicydu Command 480 EC na efektywność aparatu fotosyntetycznego roślin. Statystycznie istotne zmniejszenie wartości parametru Rfd (wskaźnik vitalności), Y (maksymalna wydajność konwersji energii fotonów PAR na energię chemiczną w danych warunkach świetlnych (przy danej wartości AL)) i  $F_v/F_m$  (maksymalna efektywność reakcji fotochemicznej w PS II) zaobserwowano u roślin poddanych działaniu chlomazonu w formie herbicydu Command 480 EC, w porównaniu do pozostałych wariantów doświadczenia (tab. 2). Zmniejszenie wartości parametrów fluorescencji chlorofilu, pod wpływem zastosowania herbicydu, świadczy o obniżeniu sprawności reakcji pierwotnych fotosyntezy w fotosystemie II. Uzyskane wyniki wskazują na istotny, ujemny wpływ chlomazonu na efektywność aparatu fotosyntetycznego badanych roślin. Potwierdzają to również badania Sawickiej i in. (2007), w których stwierdzili istotnie ujemny wpływ chlomazonu na efektywność aparatu fotosyntetycznego roślin.

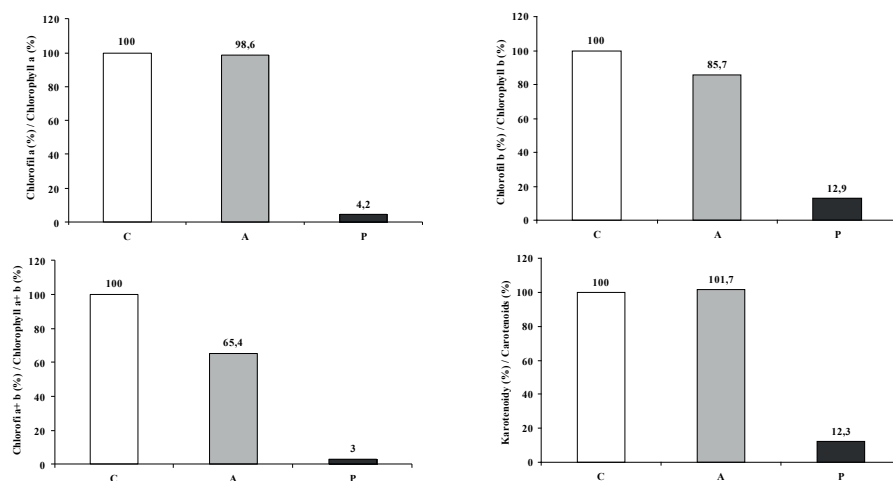
**Tabela 2.** Wpływ chlomazonu na parametry fluorescencji chlorofilu ( $F_v/F_m$ , Y, Rfd)  
**Table 2.** The impact of clomazone on chlorophyll fluorescence ( $F_v/F_m$ , Y, Rfd)

Warianty doświadczenia / Experimental variant	$F_v/F_m$	Y	Rfd
Kontrola / Control	0,761 b	0,514 b	1,730 b
Biopolimerowa kapsułka / Alginate capsules	0,774 b	0,524 b	2,003 c
Herbicyd Command 480 EC / Herbicide Command 480 EC	0,560 a	0,249 a	1,008 a

Wartości w kolumnach, oznaczone tymi samymi literami, nie różnią się istotnie, wg testu Tukeya, przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$  / Values in columns marked with the same letters do not differ significantly according to Tukey's test, at  $p = 0.05$

Zaobserwowano, że pod wpływem herbicydu Command 480 EC zmniejszyła się znacząco (o ok. 90%) zawartość chlorofilu a, b i a+b oraz całkowita zawartość karotenoidów w stosunku do kontroli i chlomazonu w alginianowych kapsułkach (rys. 3). Zastosowanie alginianowej matrycy zmniejszyło wrażliwość barwników na

chlomazon. Dla alginianowych kapsułek zmiany w zawartości chlorofilu a i karotenoidów, w porównaniu do kontroli, były nieznaczne. Natomiast zawartość chlorofilu b zmniejszyła się o ok. 15%, zaś chlorofilu a+b o ok. 35% w stosunku do kontroli.



**Rys. 3.** Wpływ formy użytkowej chlomazonu na zawartości chlorofilu a, b i c+a oraz karotenoidów w liściach rzepaku, odmiany Bellevue: C – kontrola; A – chlomazon immobilizowany w alginianowej matrycy; P – herbicyd Command 480 EC

**Fig. 3.** Impact of clomazone formulation on the content of chlorophyll a, b and c+a and carotenoids in the leaves of rape, cv. Bellevue: C – control; A – clomazone immobilized in alginate matrix; P – herbicide Command 480 EC

Chlomazon jest inhibitorem biosyntezy karotenoidów. Rola karotenoidów jest bardzo istotna w przebiegu wielu ważnych funkcji życiowych roślin. Przede wszystkim, obok chlorofilu są one akceptorami światła w fotosystemie II i I. Ich ważną funkcją jest też działanie ochronne w aparacie fotosyntetycznym, polegające na pobieraniu nadmiaru wytworzonej energii, neutralizacji destrukcyjnego działania wzbudzonego chlorofilu trypletowego, a także tlenu singletowego. Funkcjonowanie roślin fotosyntetycznych bez obecności karotenoidów i ich ochronnego działania byłoby niemożliwe. Zanik wytwarzania karotenoidów pod wpływem chlomazonu jest poprzedzony zanikiem chlorofilu, co doprowadza do charakterystycznych objawów a mianowicie całkowitego bielenia roślin (Praczyk i Skrzypczak 2004). Lichenthaler (1996) sugeruje również, że chlomazon po wnikięciu do młodych zarodków przez korzenie i łodygi zatrzymuje syntezę chlorofilu oraz powstawanie karotenoidów.

## WNIOSKI

1. Stwierdzono istotny wpływ formy użytkowej herbicydu chlomazon na początkowy okres wzrostu i rozwój rzepaku, odmiany Bulleve.



2. Chlomazon w postaci herbicydu Command 480 EC wykazał silne działanie fitotoksyczne w stosunku do roślin rzepaku ozimego, odmiany Bellevue, powodując silne bielenie i zahamowanie wzrostu roślin.

3. W wyniku zastosowania środka Command 480 EC odnotowano istotny spadek świeżej i suchej masy części nadziemnych roślin i korzeni oraz spadek efektywności aparatu fotosyntetycznego.

4. Stwierdzono, iż rzepak odmiany Bellevue wykazuje większą tolerancję w stosunku do chlomazonu immobilizowanego w alginianowej matrycy. Alginianowe kapsułki chlomazonu nie spowodowały istotnych zmian we wzroście i rozwoju rzepaku. Wyjątek stanowi masa korzeni, która pod wpływem alginianowych kapsułek uległa istotnemu wzrostowi.

5. Zastosowanie alginianowej matrycy istotnie ograniczyło negatywny wpływ chlomazonu na barwniki fotosyntetyczne.

#### LITERATURA

- Anyszka Z., Dobrzański A., 2007. Skuteczność herbicydu chlomazon w zwalczaniu chwastów w marchwi. *Post. Ochr. Roślin*, 47(4), 33-36.
- Bhattacharyya A., Ghosh B., Das S.P., 2014. Degradation dynamics of clomazone in paddy field. *J. Crop & Weed*, 10(2), 392-396.
- Fernández-Pérez M., Garrido-Herrera F.J., González-Pradas E., 2011. Alginate and lignin-based formulations to control pesticides leaching in a calcareous soil. *J. Hazard. Mater.*, 190, 794-801.
- Foster D. K., Taylor W. A., Parsons R. G., 2006. Effects of adjuvants on the deposition, retention and efficacy of pesticides. *Aspects Appl. Biol.*, 77(1), 127-132.
- Franek M., 2000. Ekonomiczne aspekty ograniczania zachwaszczenia w rzepaku ozimym. Economic aspect of reducing weed infestation in winter oilseed rape. *Pam. Puł.*, 120, 117-125.
- Franek M., Rola H., 2002. Ocena przydatności herbicydu Nimbus 283 SE do odchwaszczania plantacji rzepaku ozimego na Dolnym Śląsku. *Rośliny Oleiste*, 23(2), 351-356.
- Gołębiowska H., Badowski M., 2015. The effect of metazachlor used in mixtures with clomazone and chinomerac on morphology of plants and seed quality of some cultivars of winter oilseed rape. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 14(3), 25-38.
- Green J.M., Beestman G.B., 2007. Recently patented and commercialized formulation and adjuvant technology. *Crop Prot.*, 26, 320-327.
- GUS, 2016. Wyniki produkcji roślinnej w 2015 r. Zakład Wydawnictw Statystycznych, Warszawa.
- Jarecki W., Bobrecka-Jamro D., Noworól M., 2013. Plonowanie odmian rzepaku ozimego w zależności od intensywności agrotechniki. *Acta Sci. Pol. Agricultura*, 12(1), 25-34.
- Kapusta F., 2015. Ewolucja miejsca i roli rzepaku w rolnictwie oraz gospodarce Polski. *Zesz. Nauk. SGGW w Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego*, 15(30), zeszyt 2, 85-95.
- Kucharski M., Sadowski J., 2009. Influence of adjuvants on behavior of phenmedipham in plant and soil, *Polish J. Agron.*, 1, 32-36.
- Lichenthaler H.K., 1987. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in enzymology*, 148, 350-382.
- Lichenthaler H.K., 1996. Vegetation stress an introduction to the stress concept in plants. *J. Plant Physiol.*, 148, 4-11.

- Meier U., 2001. Growth Stages of Mono- and Dicotyledonous-Plants. BBCH Monograph. Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry, Berlin, Germany.
- Mervosh T.L., Sims G.K., Stoller E.W., 1995. Clomazone fate in soil as affected by microbial activity, temperature and soil moisture. *J Agric. Food Chem.*, 43, 537-543.
- Praczyk T., Skrzypczak G., 2004. *Herbicydy*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań.
- Rola J., 1991. Ekologiczno-ekonomiczne podstawy chemicznej walki z chwastami na polach uprawnych. *Mat. XXXI Sesji Nauk. Inst. Ochr. Roślin*, 1, 110-124.
- Roy A., Singh S. K., Bajpai J. B., Bajpai A. K., 2014. Controlled pesticide release from biodegradable polymers, *Cent. Eur. J. Chem.*, 12, 453-469.
- Sawicka B., Michałek W., Skiba D., 2007. Wrażliwość roślin *Heliantus tuberosus* L. na chlomazon. *Post. Ochr. Roślin*, 47(4), 365-370.
- Sikorski L., Baciak M., Bęś A., Piotrowicz-Cieślak A.I., Adomas B., 2015. Fitotoksyczność glifosatu wobec siewek łubinu żółtego (*Lupinus luteus* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.*, 582, 53-61.
- Włodarczyk M., Matuszak R., Muszyńska A., Maciejuk M., 2011. Pendimetalina w formułacji kontrolowanego uwalniania opartej na alginianowej matrycy i jej wpływ na wzrost i rozwój rośliny testowej. *Przem. Chem.* 5, 1072-1075.
- Włodarczyk M., Muszyńska A., Siwek H., Bartkowiak A., 2010. Optymalizacja tworzenia i charakterystyka hydrożelowych mikrokapsulek o kontrolowanym uwalnianiu wybranych herbicydów. *Przem. Chem.*, 4, 581-586.
- Włodarczyk M., Siwek H., 2016. Influence of formulation on mobility of clomazone in soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 97(4), 582-587.
- Woźnica Z., 2008. *Herbologia*. Państwowe Wydawnictwo Rolnicze i Leśne, Poznań.

## THE IMPACT OF CLOMAZONE FORMULATION ON TEST PLANTS GROWTH

*Renata Matuszak-Slamani*<sup>1</sup>, *Małgorzata Włodarczyk*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics and Agrophysics, West Pomerania University of Technology, Szczecin  
ul. Papieża Pawła VI/3, 71-459 Szczecin, Poland

<sup>2</sup>Institute of Chemistry, Microbiology and Environmental Biotechnology  
West Pomerania University of Technology, Szczecin  
ul. Słowackiego 17, 71-434 Szczecin, Poland  
e-mail: Renata.Matuszak@zut.edu.pl

**Abstract.** The impact of two formulations of clomazone (herbicide Command 480 EC and alginate capsules) on the growth and development of winter rape cv. Bellevue in controlled conditions was studied. It was found that winter rape was more tolerant to clomazone immobilised in alginate matrix than to clomazone in standard formulation EC. Clomazone in EC formulation significantly reduced the content of chlorophyll a, b and a + b and the total content of carotenoids. A highly negative impact of clomazone in the form of herbicide Command 480 EC on the efficiency of the photosynthetic apparatus of tasted plants was observed.

**Key words:** phytotoxicity, clomazone, rape, alginate capsules