

Plonowanie *Amaranthus cruentus* L. jako rośliny energetycznej w zależności od odmiany, rozstawy i nawożenia

Marzena S. Brodowska, Ryszard Brodowski, Barbara Skwaryło-Bednarz

*Mała popularność amarantusa jako rośliny energetycznej wskazuje na potrzebę podejmowania wielu badań ukierunkowanych na pełną ocenę jego plonowania oraz składu chemicznego decydującego o jego wykorzystaniu. Stąd też celem niniejszej pracy było przeanalizowanie wpływu odmiany, siewu i zróżnicowanego nawożenia NPK na plonowanie szarłat (*Amaranthus cruentus* L.). Podstawę pracy stanowi trzyletnie doświadczenie polowe założone metodą losowanych podbloków (split-plot), w którym czynnikami zmiennymi były: odmiana rośliny (A), rozstawa (B), zastosowane na dwóch poziomach oraz nawożenie NPK (C) – na pięciu. Analiza uzyskanych wyników badań wskazuje istotne różnicowanie wielkości plonów łodyg i liści *Amaranthus cruentus* L. w efekcie działania czynników doświadczalnych. Spośród analizowanych odmian wyższe plony łodyg odnotowano w przypadku odmiany Aztek. Szarłat reagował istotną zwyżką plonów na nawożenie azotem, fosforem i potasem. Najwyższe plony amarantusa uzyskano przy nawożeniu NPK3 (90 kg N·ha⁻¹, 60 kg P·ha⁻¹, 60 kg K·ha⁻¹). Najwyższa dawka azotu, fosforu i potasu (NPK4) wiązała się ze spadkiem plonowania rośliny testowej, bez względu na odmianę, czy rozstaw roślin.*

Słowa kluczowe: amarantus, biomasa, plony, łodygi, liście, odmiana, nawożenie.

Wstęp

Ciągły rozwój gospodarczy wymusza coraz większe zapotrzebowanie na energię, stąd też w najbliższych latach przewiduje się sukcesywny wzrost jej konsumpcji [2]. Zgodnie z bilansem energetycznym Polski szacuje się, że w roku 2015 około 10 – 11% energii będzie pochodzić ze źródeł odnawialnych, w tym między innymi z biomasy roślin energetycznych [3, s. 909-914]. Obecnie w strukturze wykorzystania odnawialnych źródeł energii biomasa przekracza 98%, przy czym jej zasadniczą część pochodzi z lasów. Jednakże z uwagi na potrzebę racjonalnej gospodarki zasobami leśnymi ilość drewna przeznaczanego na potrzeby energetyki jest ograniczona. Stąd też w ostatnim okresie wzrosło zainteresowanie tzw. plantacjami energetycznymi. W Polsce do celów energetycznych najczęściej wykorzystuje się rośliny charakteryzujące się możliwościami wytwarzania dużej ilości biomasy, takie jak miskant chiński (*Miscanthus sinensis* Thumb.), ślazio-wiec pensylwański (*Sida hermaphrodita* Rusby), wierzba krzewiasta (*Salix* sp.), czy topinambur (*Helianthus tuberosus* L) [1, 4, s. 358-364, 6, s. 47-62]. Od pewnego czasu zwraca się uwagę na energetyczne wykorzystanie amarantusa [16, s. 865-873, 17, s. 77-83, 18, s. 84-91]. Szarłat (*amarantus*) należy do klasy dwuliściennych (*Dicotyledones*), rodziny szarłatowatych (*Amaranthaceae*), rodzaju szarłat (*Amaranthus*) [14, s. 307-

312]. Jest rośliną, której tradycje uprawy sięgają czasów Inków i Azteków. Badania archeologiczne prowadzone w Meksyku oraz w Ameryce Północnej i Południowej świadczą o tym, iż roślinę tę uprawiano już 4000 lat p.n.e. Pomimo, że amarantus do Europy dotarł w XVI-XVII wieku, to szczególnie duże zainteresowanie wzbudził dopiero od lat 70. ubiegłego wieku. Od tego czasu rodzaj *Amaranthus* stał się przedmiotem wielokierunkowych badań naukowców z całego świata [11, s. 217-222].

Szarłat jest rośliną oszczędnie gospodarującą wodą, stąd też może być uprawiany nawet w rejonach, gdzie roczne opady wynoszą poniżej 200 mm. Najlepiej plonuje na glebach lekkich lub średniozwięzłych, kompleksu żytniego dobrego i bardzo dobrego, o pH w zakresie 5,5 do 8,5 [13, s. 52-55; 15, s. 172-180]. Po zbiorze nasion amarantusa zeschnięta biomasa rośliny stanowi surowiec energetyczny o wartości słoju zbożowej. W sprzyjających warunkach można uzyskać nawet 100 ton biomasy amarantusa z 1 hektara [8, s. 13-17; 9, s. 16-19]. Jednakże uzyskanie wysokich plonów roślin zależy od ich odmiany, nawożenia i często sposobu uprawy [3, s. 909-914]. O ilości i jakości plonu amarantusa w dużej mierze decyduje nawożenie makroelementami. Największe znaczenie w plonowaniu szarłat, przy optymalnym pH gleby ma azot. Ilości pobranego fosforu i potasu odgrywają mniejszą rolę

w kształtowaniu wysokości uzyskanego plonu [19]. Wymagania amarantusa odnośnie nawożenia makroskładnikami nie są zbyt wygórowane i wynoszą one około 120 kg N·ha⁻¹, 60 kg P₂O₅·ha⁻¹, 60 kg K₂O·ha⁻¹ [13, s. 52-55]. Stąd też celem pracy było przeanalizowanie wpływu odmiany, uprawy i nawożenia makroskładnikami na plony łodyg i liści szarłat (*Amaranthus cruentus* L.) przeznaczonego na cele energetyczne.

1. Metodyka badań

1.1. Doświadczenie polowe

Badania wykonano w oparciu o trzyletnie doświadczenie polowe przeprowadzone w miejscowości Bodaczów (N – 50°71', E – 23°04') koło Zamościa. Doświadczenie przeprowadzono na glebie brunatnej wytworzonej z lessu charakteryzującej się odczynem lekko kwaśnym oraz wysoką zasobnością w fosfor, potas i magnez. Eksperyment założony metodą losowanych podbloków (split-plot) obejmował 3 czynniki zmienne, z których odmianę (A) i rozstaw rośliny (B) zastosowano na dwóch poziomach, a nawożenie NPK (C) na pięciu poziomach.

W każdym roku prowadzonych badań wnoszono stałe nawożenie azotem, fosforem i potasem zgodnie z poniższym schematem:

NPK0 (N – 0 kg·ha⁻¹, P – 0 kg·ha⁻¹, K – 0 kg·ha⁻¹),

NPK1 (N – 50 kg·ha⁻¹, P – 40 kg·ha⁻¹, K – 40 kg·ha⁻¹),

NPK2 (N – 70 kg ha⁻¹, P – 50 kg ha⁻¹, K – 50 kg ha⁻¹),

NPK3 (N – 90 kg ha⁻¹, P – 60 kg ha⁻¹, K – 60 kg ha⁻¹),

NPK4 (N – 130 kg ha⁻¹, P – 70 kg ha⁻¹, K – 70 kg ha⁻¹).

Rośliną testową były dwie odmiany szarłat (*Amaranthus cruentus* L.) uprawiane w rozstawie wąskorzędowej (30 cm) i szerokorzędowej (60 cm). Powierzchnia mikropoletek do zbioru roślin wynosiła 1 m². W każdym roku uprawy przeprowadzono tylko jednokrotne zwalczanie chwastów, ponieważ rośliny szarłat tworzą szybko zamknięty łań, co nie sprzyja zachwaszczeniu. W polskich warunkach klimatycznych nie stwierdzono istotnego wpływu chorób i szkodników na plon szarłat. Dlatego też nie stosuje się ochrony chemicznej.

Sumy opadów atmosferycznych w sezonie wegetacyjnym 2007 roku wynosiły 419,8 mm i były niższe od sumy wieloletniej (1971 – 2005: 443,8 mm) o 24 mm (źródło: IMGW i opracowania własne). W sezonie wegetacyjnym 2008 roku opady wynosiły 425,6 mm i były o 18,2 mm niższe od sumy wieloletniej. Szczególnie duże opady obserwowano w lipcu (104,6 mm) i we wrześniu (80,4 mm). Podobny rozkład opadów w miesiącach letnich odnotowano w 2007 roku. W sezonie 2009 r. suma opadów atmosferycznych była niższa o 9,2 mm od średniej sumy wieloletniej, przy czym przekropany był maj (102,6 mm) i październik (100,0 mm). Sumy temperatur powietrza w sezonach wegetacyjnych

2007 i 2009 roku były niższe od sumy wieloletniej (1971 – 2005: 2680°C). A mianowicie, w sezonie 2007 – o 24°C (2656°C), w sezonie 2009 – o 141°C (2539°C). W sezonie wegetacyjnym 2008 roku wynosiły 2694°C i były wyższe od sumy wieloletniej o 14°C.

1.2. Obliczenia statystyczne

Podane w tabelach plony szarłat są wartościami średnimi dla trzech lat prowadzenia doświadczenia polowego. Uzyskane wyniki eksperymentalne weryfikowano statystycznie modulem ANOVA (dla układów czynnikowych) programu STATISTICA. Testem HSD Tukeya przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ określono porównania wielkości udziału poszczególnych czynników doświadczalnych w wyjaśnieniu wariancji zmiennej zależnej obliczono współczynniki η_p^2 (częstkowe eta-kwadrat).

2. Wyniki badań i dyskusja

W przeprowadzonym eksperymencie plony łodyg amarantusa wahały się w zależności od obiektu doświadczalnego od 4,34 do 10,90 kg·m⁻², a plony liści od 0,51 do 0,71 kg·m⁻² (tab. 1).

Analiza otrzymanych wyników eksperymentalnych wskazuje, że zastosowane czynniki doświadczalne oraz ich kombinacje do trzeciego stopnia wywarły istotny wpływ na plony łodyg i liści *Amaranthus cruentus* L. Wyjątek stanowią liście rośliny, w przypadku których nie stwierdzono istotnego wpływu

w interakcji odmiana (A) × nawożenie (C) i rozstawa roślin (B) × nawożenie (C) oraz interakcji trzech czynników doświadczalnych (A × B × C) na uzyskane plony. Ogólnie należy stwierdzić, że wyższe plony łodyg rośliny testowej odnotowano w przypadku odmiany Aztek. Taka prawidłowość wystąpiła przy obu zastosowanych w doświadczeniu rozstawach roślin. Analizując wpływ rozstawy roślin na plonowanie *Amaranthus cruentus* L. jednoznacznie można stwierdzić, że istotnie wyższe plony łodyg szarłat odnotowano w rozstawie szerokorzędowej. Nawożenie azotem, fosforem i potasem wiązało się z istotnym wzrostem plonów amarantusa. W badaniach Modisane i współpracowników [7, s. 213-216] wykazano, że azot i fosfor odgrywają bardzo duże znaczenie w tworzeniu masy rośliny testowej amarantusa. W badaniach tych eliminacja azotu z nawożenia istotnie wpływała na spadek plonów, podczas gdy brak potasu nie wpływał na obniżenie plonu roślin. Podobnie wzrost plonów amarantusa w efekcie zwiększania dawki azotu stwierdzono w badaniach innych autorów [10, s. 506-513, 12, s. 511-515]. Należy jednak zaznaczyć, że zastosowanie najwyższego nawożenia makroskładnikami wiązało się ze spadkiem plonowania rośliny testowej, bez względu na odmianę, czy rozstaw roślin. W badaniach własnych najwyższe plony amarantusa uzyskano przy nawożeniu azotem w dawce 90 kg N ha⁻¹. Podobnie badania z Minnesoty wskazują

Tab. 1. Plony łodyg i liści *Amaranthus cruentus* L. w zależności od odmiany i rozstawy roślin oraz nawożenia NPK

Nawożenie (C)	Odmiana (A)						Rozstawa (B)			
	Rawa			Aztek			I	II	średnio	
	I*	II**	średnio	I	II	średnio				
Plon łodyg, kg·m ⁻²										
NPK0	4,34	5,80	5,07	8,86	9,75	9,31	6,60	7,78	7,19	
NPK1	4,45	5,89	5,17	8,43	10,18	9,31	6,44	8,04	7,24	
NPK2	4,49	6,19	5,34	8,59	10,60	9,60	6,54	8,40	7,47	
NPK3	4,75	6,35	5,55	8,92	10,90	9,91	6,84	8,63	7,74	
NPK4	4,49	6,14	5,32	8,92	10,49	9,71	6,71	8,32	7,52	
średnio	4,51	6,07	5,29	8,74	10,38	9,57	6,63	8,23		
NIR _{0,05} / η_p^2 [%]	A – 9,0 / 99,9 A × B – 0,03 / 31,1			B – 0,02 / 99,8 A × C – 0,06 / 75,6			C – 0,04 / 98,3 B × C – 0,06 / 95,4			A × B × C – 0,10 / 92,2
Plon liści, kg·m ⁻²										
NPK0	0,62	0,57	0,60	0,53	0,63	0,58	0,58	0,60	0,59	
NPK1	0,64	0,57	0,61	0,51	0,66	0,59	0,58	0,62	0,60	
NPK2	0,64	0,60	0,62	0,52	0,69	0,61	0,58	0,65	0,62	
NPK3	0,68	0,62	0,65	0,53	0,71	0,62	0,61	0,67	0,64	
NPK4	0,64	0,60	0,62	0,53	0,68	0,61	0,59	0,64	0,62	
średnio	0,64	0,59	0,62	0,52	0,67	0,61	0,59	0,64	0,62	
NIR _{0,05} / η_p^2 [%]	A – 0,01 / 23,7 A × B – 0,02 / 89,8			B – 0,01 / 67,4 A × C – n.i.			C – 0,03 / 48,4 B × C – n.i.			A × B × C – n.i.

* – rozstawa wąskorzędowa, ** – rozstawa szerokorzędowa

na korzystny wpływ azotu w ilości do 90 kg·ha⁻¹ na plonowanie *Amaranthus cruentus* L. RRC 1011 [5, s. 127-139].

W przeprowadzonym eksperymencie wpływ odmiany *Amaranthus cruentus* L. na uzyskane plony liści był uzależniony od rozstawy roślin. W rozstawie wąskorzędowej wyższe plony liści uzyskano dla odmiany Rawa, natomiast w przypadku rozstawy szerokorzędowej – dla odmiany Aztek. Podobnie jak w przypadku łądyg najwyższe plony liści *Amaranthus cruentus* L. odnotowano przy nawożeniu NPK na poziomie: N – 90 kg·ha⁻¹, P–60 kg·ha⁻¹, K–60 kg·ha⁻¹ (NPK3). W badaniach Modisane i współpracowników [7, s. 213-216] zastosowanie kompletnego nawożenia NPK istotnie wpływało na wzrost plonów amarantusa, zaś najwyższe plony uzyskano przy dawce 100 kg N ha⁻¹. W badaniach własnych zarówno w przypadku liści, jak i łądyg w uprawie wąskorzędowej amarantusa odmiany Aztek przy dwóch najwyższych poziomach nawożenia (NPK3 i NPK4) uzyskano takie same plony roślin, co może potwierdzać tezę, że nawożenie azotem powyżej 100 kg N ha⁻¹ nie skutkuje wzrostem plonów *Amaranthus cruentus* L.

Z analizy współczynników η_p^2 wynika, że w największym stopniu zmienność plonów łądyg amarantusa, po odłączeniu innych badanych efektów, wyjaśnia odmiana rośliny ($\eta_p^2 = 99,9\%$) i rozstawa roślin ($\eta_p^2 = 99,8\%$), natomiast w najmniejszym stopniu interakcja obu tych czynników doświadczalnych ($\eta_p^2 = 31,1\%$). Z kolei w przypadku liści *Amaranthus cruentus* L. to właśnie interakcja odmiana rośliny × rozstawa w największym stopniu ($\eta_p^2 = 89,8\%$) wyjaśnia plony liści rośliny testowej.

Podsumowanie

Biomasa jako odnawialne źródło energii może mieć znaczący wpływ na bilans energetyczny Polski, poprawić zaopatrzenie w energię na obszarach ze słabo rozwiniętą infrastrukturą energetyczną, jak również przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa ener-

tycznego kraju. Obecnie dysponujemy coraz bogatszym zestawem gatunków roślin, które mogą być przeznaczane na cele energetyczne. Niemniej jednak zasadne jest wprowadzanie nowych gatunków roślin energetycznych. Wymaga ono gruntownych badań w celu wyboru nie tylko najlepiej plonujących odmian, ale również sposobów ich uprawy i nawożenia.

Bibliografia

1. Borkowska H., Styk B., *Ślaziowiec pensylwański (Sida hermaphrodita Rusby). Uprawa i wykorzystanie*. Wyd. AR, Lublin 1997.
2. Charter Ph., Beenackers A.A., Grassi G., *Biomass for energy, environment, agriculture and industry*. Pergamon Press, London 1995.
3. Kalebasa D., *Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych*. Acta Agrophysica 2006, nr 7(4).
4. Kalebasa S., Symanowicz B., Kalembasa D., Malinowska E., *Możliwość pozyskiwania i przeróbki biomasy z roślin szybko rosnących (energetycznych)*. Nowe spojrzenie na osady ściekowe – odnawialne źródła energii. Cz. II. Politechnika Częstochowska 2003.
5. Kauffman, C.S., Weber L.E., *Grain amaranth*. [In:] *Advances in new crops*, Janick and J.E. Simon (eds.). Timber Press 1990, Portland, OR.
6. Kościk B., Kalita E., *Stan i perspektywy uprawy roślin alternatywnych na Zamojszczyźnie*. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 1999, nr 468.
7. Modisane P. C., Beletse Y., Du Plooy C. P., *Yield response of Amaranthus and Cleome to fertilizer application*. African Crop Science Conference Proceedings 2009, nr 9.
8. Nalborczyk E. *Rośliny alternatywne rolnictwa XXI wieku i perspektywy ich wykorzystania*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 1999, nr 468.
9. Nalborczyk E., *Rolnicza energetyka*. *Academia – Panorama*, Energia Odnawialna 2005, nr 3(7).

10. Olaniyi I.O., Adelasoye K.A., Jegede C.O., *Influence of nitrogen fertilizer on the growth, yield and quality of grain Amaranth varieties*. World J. Agric. Sci. 2008, nr 4.
11. Paśko P., Bednarczyk M., *Szarłat (Amaranthus sp.) – możliwości wykorzystania w medycynie*. Bromat. Chem. Toksykol. 2007, nr XL(2).
12. Singh B.P., Whitehead W.F., *Management methods for producing vegetable amaranth*. [In:] Janick J. (eds.). *Progress in new crops*. ASHS Press, Arlington, VA., 1996.
13. Skwaryło-Bednarz B., Nalborczyk E., *Uprawa i wykorzystanie amarantusa*. Wieś Jutra 2006, nr 4(93).
14. Songin H., Szarłat. [W:] Jasińska Z., Kotecki A. (red.). *Szczegółowa uprawa roślin*, T.1, Wyd. AR, Wrocław 2003.
15. Versova A., Hoffmanova Z., *The evaluation of an experimental growing of Amaranth*. [In:] *Biologization of a plant production VI*, SAU, Nitra 1995.
16. Víglašky J., Andrejčák I., Húska J., Suchomel J., *Amaranth (Amaranthus L.) is a potential source of raw material for biofuels production*. Agronomy Research 2009, nr 7(2).
17. Víglašky J., Húska J., Langová N., Suchomel J., *The potential of amaranth as an energy crop and its environmental impact*. 5th International Symposium of the European Amaranth Association "Amaranth – Plant for the Future. Book of Abstracts, Nitra, November 9-14, Slovak Republic 2008.
18. Víglašky J., Húska J., Langová N., Suchomel J., *Multifunctional use of amaranth phytomass for industry and energy*. 5th International Symposium of the European Amaranth Association "Amaranth – Plant for the Future. Book of Abstracts, Nitra, November 9-14, Slovak Republic 2008.
19. Weber L.E., *Amaranth – grain production guide*. Rodale Press Inc. 1990.

Yielding of *Amaranthus cruentus* L. as energy plant depending on its cultivar, plant spacing and fertilization

*Poor popularity of amaranth as an energy plant indicates the need to undertake numerous studies upon the complete evaluation of its yield and chemical composition determining its utilization. Therefore, the aim of present research was to analyze the influence of cultivar, plant spacing, and diverse NPK nutrition on yielding of amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). The paper was based on three-year field experiment established by means of randomized sub-blocks (split-plot) and included three variable factors: plant cultivar (A), spacing (B) (two levels each), and NPK nutrition (C) (five levels). Analysis of achieved results indicated some remarkable differentiation of *Amaranthus cruentus* L. yield size of stems and leaves as an effect of experimental factors. Among examined cultivars, Aztec cv. produced higher yields of stems. Amaranth reacted with remarkable increase of yields towards nitrogen, phosphorus, and potassium nutrition. The highest yields were produced at NPK3 fertilization (90 kg N·ha⁻¹, 60 kg P·ha⁻¹, 60 kg K·ha⁻¹). The highest nitrogen, phosphorus, and potassium rates (NPK4) contributed to the decrease of the test plant yielding, regardless of the cultivar and spacing.*

Key words: amaranth, biomass, yield, stems, leaves, cultivar, fertilization.

Autorzy:

dr **Marzena S. Brodowska** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

dr **Ryszard Brodowski** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie

dr **Barbara Skwaryło-Bednarz** – Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie