

Pobranie miedzi, cynku, manganu i żelaza przez *Amaranthus cruentus* L. jako roślinę energetyczną w zależności od odmiany, rozstawy i nawożenia

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

*Niniejsza praca obejmuje przeanalizowanie wpływu różnych dawek azotu, fosforu i potasu oraz rodzaju siewu dwóch odmian (Rawa i Aztek) szarlatu (*Amaranthus cruentus* L.) na pobranie mikrośladników (Cu, Zn, Mn, Fe) przez roślinę testową. Podstawę pracy stanowi trzyletnie doświadczenie polowe założone metodą losowanych podbloków (split-plot) w trzech powtórzeniach, w którym czynnikami zmiennymi były: odmiana rośliny i sposób siewu, zastosowane na dwóch poziomach oraz nawożenie NPK na pięciu. Uzyskane wyniki eksperymentalne weryfikowano statystycznie modelem ANOVA (dla układów czynnikowych) programem STATISTICA. Testem HSD Tukeya określono wartości NIR. W celu wzajemnego porównania wielkości udziału poszczególnych czynników doświadczalnych w wyjaśnieniu wariacji zmiennej zależnej obliczone zostały współczynniki η_p^2 . Uzyskane wyniki badań wskazują, że zastosowane czynniki doświadczalne przyczyniły się do istotnego zróżnicowania pobrania miedzi, cynku, manganu i żelaza przez *Amaranthus cruentus* L. Ogólnie należy stwierdzić, że wyższe pobranie wszystkich analizowanych mikrośladników przez rośliny testowe odnotowano w przypadku odmiany Aztek. Biorąc pod uwagę wpływ siewu roślin na pobranie miedzi, cynku, manganu i żelaza przez amarantus w przypadku odmiany Aztek wyższe pobranie odnotowano przy siewie szerokorzędownym. W przeprowadzonym eksperymencie nie stwierdzono jednoznacznie ukierunkowanego wpływu nawożenia na kumulację mikrośladników w roślinie testowej.*

Słowa kluczowe: biomasa, *amarantus*, pobranie, miedź, cynk, mangan, żelazo.

Wstęp

Biomasa stanowi trzecie, co do wielkości odnawialne źródło energii. Jest ona przyjazna dla środowiska, ponieważ podczas jej spalania bilans tlenu węgla(IV) jest zerowy, gdyż tyle jest go emitowanego do atmosfery, ile rośliny pobierają go podczas procesu fotosyntezy [10, s. 205-213]. W Polsce coraz częściej w celach energetycznych wykorzystywana jest słoma zbóż i rzepaku [1, s. 15-26; 5, s. 83-89; 6]. W ostatnim okresie w literaturze pojawia się coraz więcej doniesień dotyczących wprowadzania na listę odmian roślin energetycznych nowych gatunków. Jednym z nich jest szarłat, zwany amarantusem. Amarantus to roślina dająca nawet do 100 t biomasy z 1 ha. Spalanie pozostałej po zbiorze nasion zeschniętej biomasy jest surowcem energetycznym o wartości słomy zbożowej.

Produktem odpadowym uzyskiwanym podczas spalania biomasy jest popiół, który nieprawidłowo składowany może prowadzić do zanieczyszczenia środowiska [12, s. 91-99]. Jednakże walory nawozowe popiołu umożliwiają jego rolnicze wykorzystanie w produkcji roślinnej [2; 7, s. 909-914]. Popiół pozyskany z biomasy roślinnej zawiera niezbędne dla roślin makro- i mikrośladniki, przez co może być wykorzystany w celu poprawy właściwości fizykochemicznych gleby i plonowania roślin [3, s. 321-327; 9, s. 159-164; 13, s. 97-104; 14, s. 507-512]. Pomimo, że główne składniki biomasy to węgiel, wodór, tlen, azot, siarka i chlor, jej skład w dużym stopniu zależy od miejsca oraz sposobu uprawy, jak również zastosowanego nawożenia. Wśród głównych składników formujących popiół są glin, wapń, żelazo, potas, magnez, sód, fosfor i krzem. Z kolei do składników dodatkowych poza arsenem, kadmem, kobaltem, chromem

i molibdenem na uwagę zasługuje miedź, cynk i mangan [4, s. 725-754].

W związku z faktem, iż rośliny szarlatu szybko tworzą zamknięty łań, co zapobiega zachwaszczeniu, w uprawie tej rośliny najczęściej przeprowadza się jednokrotne zwalczanie chwastów. W warunkach klimatycznych Polski nie stwierdza się ponadto istotnego wpływu chorób i szkodników na plon szarlatu. Dlatego też nie stosuje się ochrony chemicznej. W efekcie tego rośliny szarlatu nie są narażone na ewentualny dodatek metali ciężkich w efekcie stosowania środków ochrony roślin. Wzrost pobrania metali ciężkich przez amarantus może mieć miejsce na glebach zanieczyszczonych tymi pierwiastkami [8, s. 120-123]. Ma to szczególne znaczenie w przypadku uprawy tej rośliny na cele energetyczne, ponieważ obecnie w aspekcie ochrony środowiska zalecana jest uprawa roślin energetycznych w celu przeprowadzenia sanitacji agrotechnicznej (fitoremediacji, fitomelioracji) na glebach zanieczyszczonych, szczególnie metalami ciężkimi [7, s. 909-914].

W Polsce do produkcji roślin przeznaczonych na cele energetyczne można wykorzystać grunty orne leżące odłogiem o powierzchni około 1,5 mln ha, czy też gleby skażone o areale około 1,8 mln ha. Zakładając, że na uprawy energetyczne wykorzystamy zaledwie 25% tej powierzchni, to możemy w każdym roku uzyskać ilość biomasy równoważną około 30 mln ton węgla [11, s. 16-19]. Jednakże wiąże się to z ryzykiem nagromadzenia w biomase roślin znacznych ilości metali ciężkich. Stąd też celem pracy było przeanalizowanie różnic w pobraniu miedzi, cynku, manganu i żelaza przez dwie odmiany *Amaranthus cruentus* L. w zależności od ich rozstawy i nawożenia makrośladnikami.

1. Metodyka badań

1.1. Doświadczenie polowe

Przedstawione w pracy badania wykonano na podstawie trzyletniego doświadczenia polowego zlokalizowanego na polu rolnika indywidualnego w miejscowości Bodaczków (N – 50°71', E – 23°04') niedaleko Zamościa.

Doświadczenie przeprowadzono na glebie brunatnej wytworzonej z lessu charakteryzującej się wysoką zasobnością w fosfor (60 mg·kg⁻¹), potas (120 mg·kg⁻¹) i magnez (70 mg·kg⁻¹). Gleba charakteryzowała się odczynem lekko kwaśnym (pH_{KCl} – 5,9), pojemnością sorpcyjną na poziomie 193,7 mmol(+)·kg⁻¹ oraz zawartością węgla organicznego w granicach 29,5 g·kg⁻¹ gleby. Doświadczenie założone metodą losowanych podbloków (split-plot) obejmowało 3 czynniki zmienne – odmiana rośliny (A), rozstawa (B) oraz nawożenie NPK (C). Odmianę i rozstaw rośliny zastosowano na dwóch poziomach, a nawożenie NPK na pięciu.

W każdym roku trwania eksperymentu wnoszono stałe nawożenie azotem, fosforem i potasem zgodnie z zamieszczonym 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 był *Amaranthus cruentus* L odmiany Rawa i Aztek. Rośliny uprawiane były w rozstawie wąskorzędowej (30 cm) i szerokorzędowej (60 cm). Powierzchnia mikropoletek do zbioru roślin wynosiła 1 m². W każdym roku badań przeprowadzono jednokrotne zwalczanie chwastów. 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 były niższe od sumy wieloletniej o 18,2 mm i wynosiły 425,6 mm. Duże opady obserwowano w lipcu (104,6 mm) i we wrześniu (80,4 mm). Analogiczny rozkład opadów odnotowano w miesiącach letnich 2007 roku. Z kolei w sezonie 2009 r. suma

opadów atmosferycznych była niższa o 9,2 mm od średniej sumy wieloletniej, przy czym szczególnie wysokie opady wystąpiły w maju (102,6 mm) i październiku (100,0 mm). Sumy temperatur powietrza w sezonach wegetacyjnych 2007 i 2009 roku były niższe od sumy wieloletniej (1971 – 2005: 2680°C). 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

Pobranie miedzi, cynku, manganu i żelaza obliczono na podstawie plonów szarlatu oraz zawartości analizowanych pierwiastków w łodygach i liściach rośliny testowej. Podane w tabelach wartości są wartościami średnimi dla trzech lat prowadzenia doświadczenia polowego. Uzyskane wyniki weryfikowano statystycznie modulem ANOVA (dla układów czynnikowych) programu STATISTICA. Testem HSD Tukeya ($\alpha = 0,05$) określono wartości NIR. W celu wzajemnego porównania wielkości udziału poszczególnych czynników doświadczalnych w wyjaśnieniu wariancji zmiennej zależnej obliczono współczynniki η_p^2 (cząstkowe eta-kwadrat).

2. Wyniki badań

Pobranie miedzi przez *Amaranthus cruentus* L zależało od organu rośliny oraz zastosowanych czynników doświadczalnych. Pobranie to wahało się w zależności od obiektu doświadczalnego od 7,86 do 27,15 mg Cu·m⁻² w przypadku łodyg oraz od 1,66 do 4,74 mg Cu·m⁻² w przypadku liści rośliny testowej (tab. 1). Analiza otrzymanych wyników wskazuje, że zastosowane czynniki doświadczalne wywarły istotny wpływ na pobranie analizowanego mikroskładnika. Wyjątek stanowiły łodygi rośliny, w przypadku których nie stwierdzono istotnego wpływu interakcji odmiana rośliny (A) x rozstawa (B) oraz odmiana rośliny (A) x nawożenie (C) na pobranie miedzi.

Ogólnie należy stwierdzić, że wyższe pobranie miedzi przez łodygi rośliny testowej odnotowano w przypadku odmiany Aztek. Taka prawidłowość wystąpiła przy obu rozstawach roślin zastosowanych w doświadczeniu. Analizując wpływ rodzaju

Tab. 1. Pobranie miedzi przez *Amaranthus cruentus* L. w zależności od odmiany i rozstawu roślin oraz nawożenia NPK

Nawożenie (C)	Odmiana (A)						Rozstawa (B)		
	Rawa			Aztek			I	II	średnio
	I*	II**	średnio	I	II	średnio			
Łodygi, mg Cu·m ⁻²									
NPK0	10,41	14,89	12,65	18,61	22,10	20,36	14,51	18,50	16,51
NPK1	7,86	12,57	10,22	11,52	27,15	19,34	9,69	19,86	14,78
NPK2	9,58	19,61	14,60	26,05	18,37	22,21	17,82	18,99	18,41
NPK3	7,91	17,99	12,95	18,43	18,17	18,30	13,17	18,08	15,63
NPK4	9,43	12,69	11,06	13,68	26,58	20,13	11,56	19,64	15,60
średnio	9,04	15,55	12,30	17,66	22,47	20,07	13,35	19,01	–
NIR _{0,05} / η_p^2 [%]	A – 0,87 / 89,1 A × B – n.i.			B – 0,87 / 81,3 A × C – n.i.			C – 1,94 / 45,5 B × C – 3,21 / 57,5		A × B × C – 5,14 / 80,8
Liście, mg Cu·m ⁻²									
NPK0	2,85	2,66	2,76	2,23	2,71	2,47	2,54	2,69	2,62
NPK1	2,71	2,24	2,48	1,66	2,33	2,00	2,19	2,29	2,24
NPK2	2,65	3,66	3,16	2,92	3,84	3,38	2,79	3,75	3,27
NPK3	3,38	3,14	3,26	2,83	4,38	3,61	3,11	3,76	3,44
NPK4	4,74	4,46	4,60	2,97	3,58	3,28	3,86	4,02	3,94
średnio	3,27	3,23	3,25	2,52	3,37	2,95	2,90	3,30	–
NIR _{0,05} / η_p^2 [%]	A – 0,10 / 48,6 A × B – 0,19 / 66,4			B – 0,10 / 63,1 A × C – 0,37 / 78,5			C – 0,22 / 93,7 B × C – 0,37 / 54,9		A × B × C – 0,59 / 49,1

* – rozstawa wąskorzędowa, ** – rozstawa szerokorzędowa

siewu na pobranie miedzi przez łodygi i liście amarantusa jednoznacznie można stwierdzić, że istotnie wyższe pobranie odnotowano w siewie szerokokorzędowym. W przeprowadzonym eksperymencie nie stwierdzono jednoznacznie ukierunkowanego wpływu nawożenia na kumulację miedzi w roślinie testowej.

Analiza współczynników η_p^2 (eta-kwadrat czastkowe) wskazuje, że odmiana rośliny (A) w prawie 90% (po odłączeniu innych badanych efektów) wyjaśnia zmienność pobrania miedzi przez łodygi amarantusa, zaś w przypadku liści różny poziom nawożenia (C) w ponad 90% ($\eta_p^2 = 93,7\%$) wyjaśnia zmienność zależną (tab. 1). Natomiast w najmniejszym stopniu w przypadku łodyg ($\eta_p^2 = 45,5\%$) zmienność pobrania miedzi wyjaśnia nawożenie roślin (C), zaś w przypadku liści ($\eta_p^2 = 48,6\%$) odmiana (A) *Amaranthus cruentus* L.

W przeprowadzonym eksperymencie pobranie cynku przez łodygi amarantusa zawierało się w przedziale od 84,7 do 358,8 mg Zn·m⁻², natomiast przez liście w granicach od 19,7 do 60,8 mg Zn·m⁻² (tab. 2). Analiza tabeli 2 wskazuje na statystyczną istotność zastosowanych czynników doświadczalnych i ich kombinacji do trzeciego stopnia w stosunku do pobrania cynku przez roślinę testową. Analizując wpływ odmiany na kumulację cynku należy stwierdzić, iż wyższe jego pobranie w przypadku łodyg odnotowano w odmianie Aztek, natomiast nieco wyższe pobranie analizowanego pierwiastka w przypadku liści stwierdzono w odmianie Rawa. Biorąc pod uwagę wpływ siewu roślin na pobranie cynku odnotowano jego wyższą koncentrację w łodygach i liściach *Amaranthus cruentus* rosnącego w rozstawie szerokokorzędowej.

W największym stopniu w przypadku łodyg amarantusa zmienność pobrania cynku, po odłączeniu innych badanych efektów, wyjaśnia rozstawa (B) ($\eta_p^2 = 91\%$) oraz interakcja odmiana (A) x nawożenie (C) ($\eta_p^2 = 91,5\%$), natomiast w przypadku liści – nawożenie (C) rośliny testowej ($\eta_p^2 = 96\%$). Z kolei w najmniejszym stopniu pobranie cynku wyjaśnia w przypadku łodyg interakcja odmiana (A) x rozstawa roślin (B), zaś w przypadku liści interakcja wszystkich czynników doświadczalnych.

W badaniach własnych pobranie manganu przez łodygi rośliny testowej wahało się w granicach od 91,1 do 819,0 mg Mn·m⁻², natomiast przez liście w przedziale od 129,2 do 530,6 mg Mn·m⁻² (tab. 3). Zastosowane czynniki doświadczalne istotnie różnicowały pobranie manganu przez *Amaranthus cruentus* L. Wyjątek stanowiły łodygi, w przypadku których nie stwierdzono istotnego wpływu interakcji odmiana (A) x rozstawa (B) oraz odmiana (A) x rozstawa (B) x nawożenie (C) na pobranie manganu. Analizując wpływ odmiany na pobranie manganu należy stwierdzić, iż wyższe pobranie w przypadku łodyg stwierdzono dla odmiany Aztek, natomiast wyższe pobranie analizowanego pierwiastka w przypadku liści stwierdzono w odmianie Rawa. Podobnie jak w przypadku cynku wyższe pobranie manganu stwierdzono w siewie szerokokorzędowym, bez względu na odmianę rośliny, czy jej nawożenie. W przeprowadzonych badaniach nie stwierdzono jednoznacznie ukierunkowanego wpływu nawożenia roślin na pobranie analizowanego mikroelementu.

Analiza współczynników η_p^2 wskazuje, że w największym stopniu zmienność pobrania manganu przez *Amaranthus cruentus* L., po odłączeniu innych badanych efektów, wyjaśnia odmiana (A) oraz nawożenie (C), odpowiednio o 96,4% i 96,9% w przypadku łodyg oraz o 98,4% i 92,9% w przypadku liści rośliny testowej.

W przeprowadzonych badaniach odnotowano istotny wpływ czynników eksperymentalnych oraz ich interakcji na pobranie żelaza przez amarantusa. Pobranie to zawierało się w zależności od obiektu doświadczalnego w przedziale od 175,2 do 429,5 mg Fe·m⁻² w przypadku łodyg oraz od 96,8 do 363,2 mg Fe·m⁻² w przypadku liści rośliny testowej (tab. 4).

Ogólnie należy stwierdzić, że wyższe pobranie odnotowano w siewie szerokokorzędowym w przypadku łodyg w odmianie Rawa, zaś w przypadku liści w odmianie Aztek.

Podsumowanie

Biomasa będzie stanowiła podstawowe odnawialne źródło energii. Jednakże jej wykorzystanie jako paliwa wiąże się z trudnościami wynikającymi z jej właściwości fizykoche-

Tab. 2. Pobranie cynku przez *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				
Łodygi, mg Zn·m ⁻²										
NPK0	84,7	330,5	207,6	311,0	358,8	334,9	197,9	344,7	271,3	
NPK1	142,9	118,6	130,8	191,9	340,4	266,2	167,4	229,5	198,5	
NPK2	112,6	186,5	149,6	162,6	314,5	238,6	137,6	250,5	194,1	
NPK3	217,8	319,4	268,6	160,3	178,7	169,5	189,1	249,1	219,1	
NPK4	146,7	267,5	207,1	173,0	188,1	180,6	159,9	227,8	193,9	
średnio	140,9	244,5	192,7	199,8	276,1	238,0	170,4	260,3	–	
NIR _{0.05} / η_p^2 [%]	A – 9,0 / 72,0 A × B – 16,9 / 18,9			B – 9,0 / 91,0 A × C – 33,4 / 91,5			C – 20,2 / 81,4 B × C – 33,4 / 59,8			A × B × C – 53,5 / 84,9
Liście, mg Zn·m ⁻²										
NPK0	54,3	52,8	53,6	43,7	53,6	48,7	49,0	53,2	51,1	
NPK1	60,8	56,9	58,9	52,3	57,3	54,8	56,6	57,1	56,9	
NPK2	43,4	42,8	43,1	35,0	41,2	38,1	39,2	42,0	40,6	
NPK3	41,7	46,5	44,1	19,7	35,5	27,6	30,7	41,0	35,9	
NPK4	43,3	39,3	41,3	28,2	24,1	26,2	35,8	31,7	33,8	
średnio	48,7	47,7	48,2	35,8	42,3	39,1	42,3	45,0	–	
NIR _{0.05} / η_p^2 [%]	A – 1,2 / 86,2 A × B – 2,2 / 52,0			B – 1,2 / 36,6 A × C – 4,3 / 69,1			C – 2,6 / 96,0 B × C – 4,3 / 62,3			A × B × C – 6,9 / 24,8

* – rozstawa wąskorzędowa, ** – rozstawa szerokokorzędowa

Tab. 3. Pobranie manganu przez *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				
Łodygi, mg Mn·m ⁻²										
NPK0	91,1	139,1	115,1	708,8	819,0	763,9	400,0	479,1	439,6	
NPK1	194,4	371,0	282,7	632,4	807,5	720,0	413,4	589,3	501,4	
NPK2	140,6	189,8	165,2	160,3	208,5	184,4	150,5	199,2	174,9	
NPK3	251,8	336,5	294,2	199,2	236,2	217,7	225,5	286,4	256,0	
NPK4	190,1	217,0	203,6	264,6	356,7	310,7	227,4	286,9	257,2	
średnio	173,6	250,7	212,2	393,1	485,6	439,3	283,4	368,2	–	
NIR _{0,05} / η _p ² [%]	A – 14,1 / 96,4 A × B – n.i.			B – 14,1 / 78,6 A × C – 52,3 / 97,4			C – 31,6 / 96,9 B × C – 52,3 / 52,6			A × B × C – n.i.
Liście, mg Mn·m ⁻²										
NPK0	500,3	464,6	482,5	342,8	415,1	379,0	421,6	439,9	430,8	
NPK1	460,7	418,3	439,5	336,8	432,4	384,6	398,8	425,4	412,1	
NPK2	483,7	503,6	493,7	304,4	301,8	303,1	394,1	402,7	398,4	
NPK3	393,9	479,7	436,8	129,2	243,2	186,2	261,6	361,5	311,6	
NPK4	530,6	528,6	529,6	196,2	265,3	230,8	363,4	397,0	380,2	
średnio	473,8	479,0	476,4	261,9	331,6	296,7	367,9	405,3	–	
NIR _{0,05} / η _p ² [%]	A – 7,3 / 98,4 A × B – 13,6 / 66,8			B – 7,3 / 73,0 A × C – 26,9 / 94,0			C – 16,3 / 92,9 B × C – 26,9 / 66,9			A × B × C – 43,1 / 61,0

* – rozstawa wąskorzędowa, ** – rozstawa szerokorzędowa

Tab. 4. Pobranie żelaza przez *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				
Łodygi, mg Fe·m ⁻²										
NPK0	238,8	330,5	284,7	301,3	341,3	321,3	270,1	335,9	303,0	
NPK1	203,3	325,8	264,6	275,4	244,3	259,9	239,4	285,1	262,3	
NPK2	175,2	396,2	285,7	429,5	293,2	361,4	302,4	344,7	323,6	
NPK3	267,6	410,7	339,2	264,6	352,4	308,5	266,1	381,6	323,9	
NPK4	187,1	313,1	250,1	234,9	395,1	315,0	211,0	354,1	282,6	
średnio	214,4	355,3	284,9	301,1	325,3	313,2	257,8	340,3	–	
NIR _{0,05} / η _p ² [%]	A – 12,8 / 33,5 A × B – 23,9 / 68,1			B – 12,8 / 81,0 A × C – 47,2 / 50,7			C – 28,5 / 58,9 B × C – 47,2 / 50,1			A × B × C – 75,7 / 73,8
Liście, mg Fe·m ⁻²										
NPK0	141,9	135,6	138,8	102,0	126,6	114,3	122,0	131,1	126,6	
NPK1	212,0	198,6	205,3	96,8	217,6	157,2	154,4	208,1	181,3	
NPK2	183,4	183,4	183,4	168,2	363,2	265,7	175,8	273,3	224,6	
NPK3	333,9	323,2	328,6	218,2	355,9	287,1	276,1	339,6	307,9	
NPK4	233,8	277,2	255,5	175,4	264,6	220,0	204,6	270,9	237,8	
średnio	221,0	223,6	222,3	152,1	265,6	208,9	186,6	244,6	–	
NIR _{0,05} / η _p ² [%]	A – 4,4 / 49,3 A × B – 8,2 / 94,3			B – 4,4 / 94,8 A × C – 16,1 / 92,7			C – 9,7 / 98,7 B × C – 16,1 / 81,3			A × B × C – 25,9 / 84,1

* – rozstawa wąskorzędowa, ** – rozstawa szerokorzędowa

micznych. Brak jednorodnego składu chemicznego, wynikający z różnorodności gatunków roślin energetycznych oraz miejsca i sposobu uprawy może przyczynić się do wielu niekorzystnych zjawisk podczas procesu spalania. Dlatego też niezmiernie ważnym zagadnieniem jest ocena składu chemicznego biomasy, w tym zawartości metali ciężkich, zwłaszcza w przypadku uprawy roślin energetycznych na terenach zanieczyszczonych.

Bibliografia

1. Budzyński W., Bielski S., *Surowce energetyczne pochodzenia rolniczego. Cz. II. Biomasa jako paliwo stałe*. Acta Sci. Pol., Agricultura 2004, nr 3(2).
2. Charter Ph., Beenackers A.A., Grassi G., *Biomass for energy, environment, agriculture and industry*. Pergamon Press, London 1995.
3. Chudecka J., Tomaszewicz T., *Wybrane właściwości fizyczne i chemiczne gleb antropogenicznych wytworzonych na bazie odpadów paleniskowych*. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 2009, nr 540.

4. Chungen Yin, Lasse A., Rosendahl, Siren K. Koer, *Grate-firing of biomass for heat and power production*. Institute of Energy Technology, Aalborg University, DK-9220 Aalborg East, Denmark, Progress in Energy and Combustion Science 2008, nr 34.
5. Denysiuk W., *Słoma jako paliwo*. Inż. Rol. 2009, nr 1.
6. Hołubowicz-kliza G., *Wykorzystanie słomy*. Instrukcja upowszechnieniowa 134. Wyd. IUNG-PIB Puławy 2007.
7. Kalebasa D., *Ilość i skład chemiczny popiołu z biomasy roślin energetycznych*. Acta Agrophysica 2006, nr 7(4).
8. Kona J., *Accumulation of heavy metal by Amaranth*. [In:] Proceedings from the conference „Biologization of a plant production”, SAU, Nitra 1995.
9. Kowalczyk-Juško A., *Popiół z różnych roślin energetycznych*. Proceedings ECOpole 2009, nr 3(1).
10. Kuczaj A., *Emisja związków organicznych przy spalaniu biomasy*. Civil and Environmental Engineering 2010, nr 1.
11. Nalborczyk E., *Rolnicza energetyka*. Academia – Panorama, Energia Odnawialna 2005, nr 3(7).
12. Piekarczyk M., Kotwica K., Jaskulski D., *Wpływ stosowania popiołu ze słomy jęczmienia jarego na chemiczne właściwości gleby lekkiej*. Fragm. Agronom. 2011, nr 28(3).
13. Piekarczyk M., Kotwica K., Jaskulski D., *Skład elementarny popiołu ze słomy i siana w aspekcie jego rolniczego wykorzystania*. Acta Sci. Pol., Agricultura 2011, nr 10(2).
14. Yeledhalli N.A., Prakash S.S., Ravi M.V., Narayanarao K., *Long-term effect of fly ash on crop field and soil properties*. Karnataka J. Agric. Sci. 2008, nr 21.

Uptake of copper, zinc, manganese and lead by *Amaranthus cruentus* L. As energy plant depending on its cultivar, plant spacing and fertilization

*Present research includes analysis of the influence of varied nitrogen, phosphorus, and potassium rates as well as spacing type of two amaranth cultivars (Rawa and Aztek) (*Amaranthus cruentus* L.) on uptake of microelements (Cu, Zn, Fe, Mn) by the test plant. The paper was based on three-year field experiment established by means of randomized sub-blocks (split-plot) in three replicates and included three variable factors: plant cultivar, spacing (two levels each), and NPK nutrition (five levels). Results achieved during the experiments were statistically verified using ANOVA mode (for factorial systems) in STATISTICA software. LSD values were determined with a help of HSD Tukey test. In order to compare the shares of particular experimental factors in explaining the variance of dependent variable, η_p^2 (partial eta-squared) coefficients were calculated. Achieved results indicated that applied experimental factors contributed to a substantial differentiation of uptake of copper, zinc, manganese and lead by *Amaranthus cruentus* L. It should be stated that higher uptake of all analyzed microelements by test plants were in the case of Aztek cv. Considering the influence of plant spacing on copper, zinc, manganese and lead uptake by amaranth, their higher levels were found at wide-spacing for Aztek cv. No univocally directed influence of fertilization on microelements accumulation at test plant was found in the experiment.*

Key words: biomass, amaranth, uptake, copper, zinc, manganese, lead.

Autorzy:

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

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

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