

DOROTA OGRODOWSKA, RYSZARD ZADERNOWSKI, MAŁGORZATA
TAŃSKA, SYLWESTER CZAPLICKI

WŁAŚCIWOŚCI FIZYCZNE NASION AMARANTUSA (*AMARANTHUS CRUENTUS*) POCHODZĄCEGO Z RÓŻNYCH REJONÓW UPRAWY W POLSCE

Streszczenie

Celem pracy było określenie zmienności cech fizycznych nasion amarantusa w zależności od rejonu uprawy oraz roku zbioru. Materiał do badań stanowiły nasiona *Amaranthus cruentus* odmiany Aztek, pochodzące ze zbiorów w 2006, 2007 i 2008 r., z upraw zlokalizowanych w województwach: lubelskim, małopolskim oraz dolnośląskim. Oznaczono podstawowe cechy masowe (masę 1000 nasion, gęstość w stanie zsylnym i porowatość) i powierzchniowe (kąt usypu, kąt zsylny i współczynnik tarcia). Cechy geometryczne (długość, szerokość, średnicę zastępczą, obwód rzutu, pole powierzchni rzutu i kłistość rzutu) oraz barwę nasion analizowano, stosując technikę cyfrowej analizy obrazu.

Stwierdzono, że największą masą 1000 nasion charakteryzowała się próbka pochodząca z plantacji w Piaskach Górnych z roku 2008 (0,79 g). Gęstość w stanie zsylnym nasion amarantusa w zależności od roku oraz miejsca uprawy mieściła się w przedziale od 819,56 kg/m³ do 867,48 kg/m³. Wartość kąta usypu zawierała się w przedziale od 25,6° (próbki z okolic Lublina) do 30,6° (próbki z Piasków Górnych) – rok 2008 oraz kątem zsylnym zawierającym się w przedziale od 22,7° do 29,4° z plantacji z okolic Lublina, odpowiednio w roku 2008 i 2007. Nasiona amarantusa uprawianego w 2007 r. w Piaskach charakteryzowały się najmniejszą długością (1,27 mm) oraz szerokością (1,10 mm). Natomiast nasiona roślin uprawianych w tym samym regionie, lecz w 2008 r. miały największą długość (1,39 mm) oraz szerokość (1,20 mm). Jaśniejsze okazały się nasiona pochodzące z roku 2008, w przypadku których składowa L* wynosiła > 86 %.

Słowa kluczowe: amarantus, nasiona, cechy powierzchniowe, cechy masowe, cechy geometryczne, barwa

Wprowadzenie

Amarantus (szarłat) zaliczany jest do rodziny *Amaranthaceae*, rodzaj *Amaranthus*, gatunek *Amaranthus cruentus*. Należy on do najstarszych roślin uprawnych na świecie [2]. Szarłat uprawia się w wielu krajach obu Ameryk, południowo-wschodniej

Mgr inż. D. Ogrodowska, prof. dr hab. R. Zadernowski, dr inż. M. Tańska, dr inż. S. Czaplicki, Katedra Przetwórstwa i Chemii Surowców Roślinnych, Wydz. Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, Pl. Cieszyński 1, 10-957 Olsztyn

Azji oraz w Afryce. Plantacje zlokalizowane są również w wielu państwach europejskich, w tym także od początku lat 90. XX w. w Polsce.

Przeprowadzone doświadczenia polowe w wybranych kilkudziesięciu gospodarstwach rolnych wykazały, że szarłat może być uprawiany w różnych regionach klimatyczno-glebowych Polski, uzyskując plon od 1,8 do 3,5 t/ha [15]. Obecnie największe plantacje tej rośliny zlokalizowane są w województwach: lubelskim, małopolskim oraz świętokrzyskim. Jak podaje przedstawiciel firmy „Szarłat” – pierwszego w Polsce przedsiębiorstwa zajmującego się przetwarzaniem amarantusa – koszty uprawy szarłatu są dużo mniejsze niż innych zbóż. Najwyższą pozycję w nakładach finansowych stanowią koszty zbioru i dosuszania nasion. Zbiór nasion, przypadający na okres od końca września do końca października, można przeprowadzać ręcznie, jedno- lub wieloetapowo. Zbiór jednoetapowy kombajnem zbożowym polecany jest na dużych plantacjach, gdy dojrzałe rośliny tworzą zwarty, równy łan. Zbiór ręczny lub wieloetapowy umożliwia właściwe dosuszenie nasion i zachowanie większej ich czystości. Stosuje się go w przypadku małych plantacji, silnych opadów w okresie zbiorów oraz plantacji nasiennych [3, 7]. Suszenie nasion amarantusa stanowi istotny element ich obróbki pozbiorecznej, przygotowujący je do dalszego przerobu. Wraz ze wzrostem zawartości wody w ziarnie zmieniają się jego właściwości fizyczne, których znajomość jest konieczna przy projektowaniu maszyn i urządzeń rolniczych [24]. Wiedza na temat właściwości fizycznych przetwarzanych materiałów oraz poznanie wzajemnych relacji zachodzących pomiędzy materiałem a systemem technicznym będzie mieć niewątpliwie wpływ na jakość produktu oraz bezpieczny przebieg zachodzących procesów technologicznych [6].

Spośród materiałów roślinnych, najlepiej poznanym pod względem właściwości fizycznych, w tym strukturalno-mechanicznych, są ziarniaki pszenicy. Nasiona amarantusa niewspółmiernie różnią się wielkością i kształtem od ziaren zbóż chlebowych [1, 4] i należą do najdrobniejszych spośród pozyskiwanych w Polsce nasion roślin uprawnych [22]. Areał ich uprawy zwiększa się corocznie od kilku hektarów na początku lat 90. XX w. do kilkuset obecnie. Zarówno konsumenci, jak i rolnicy przekonują się do tej niekonwencjonalnej rośliny. Nasiona szarłatu wykorzystuje się do produkcji oleju, mąki, płatków, nasion ekspandowanych – poppingu, niektórych rodzajów pieczywa [8] oraz wyrobów cukierniczych [21].

Nasiona amarantusa są poddawane wielu operacjom technologicznym (m.in. rozdrabnianiu, płatkowaniu, ekspandowaniu), w których właściwości fizyczne surowca mają istotne znaczenie, dlatego celem pracy było określenie zmienności ważnych cech fizycznych nasion amarantusa w zależności od rejonu uprawy oraz roku zbioru nasion. Znajomość tych cech może zostać wykorzystana w doskonaleniu technologii w zakresie energooszczędności, wydajności, doskonalenia jakości produktu końcowego itp.

Materiał i metody badań

Materiał do badań stanowiły nasiona *Amaranthus cruentus* odmiany Aztek, oczyszczone na etapie zbioru. Nasiona pochodziły ze zbiorów w latach: 2006, 2007 i 2008, z upraw zlokalizowanych w województwach: lubelskim, małopolskim oraz dolnośląskim (tab. 1).

Tabela 1

Oznakowanie próbek nasion amarantusa.
Amaranth seed samples identification.

Próbka Sample	Miejsce uprawy (miejsowość/województwo) Place of growing (locality/Province)	Rok uprawy Year of growing
1	Hebdów/małopolskie	2007
2	Łaziska/lubelskie	2007
3	Piaski/lubelskie	2007
4	Oleśnica/dolnośląskie	2007
5	ok. Lublina/lubelskie	2007
6	Nowy Gaj/lubelskie	2007
7	Piaski Górne/lubelskie	2006
8	Piaski/lubelskie	2008
9	ok. Lublina/lubelskie	2008
10	Nowy Gaj/lubelskie	2008
11	Piaski Górne/lubelskie	2008

Przed wykonaniem właściwych analiz, w nasionach amarantusa oznaczono wilgotność [16], a następnie ujednolicono w nich zawartość wody.

Badania wykonywano w dwóch etapach: W pierwszym etapie oznaczano podstawowe cechy masowe oraz powierzchniowe nasion amarantusa. Spośród cech masowych do charakterystyki fizycznej próbek wybrano: masę tysiąca nasion [17] oraz gęstość w stanie zsylnym [5].

Masę tysiąca nasion oznaczano, ważąc 100 nasion amarantusa (odliczanych ręcznie) na wadze analitycznej serii WPA-WAA firmy Radwag ($\pm 0,0001$ g) w 10 powtórzeniach. Uzyskane wyniki mnożono przez 10, a następnie uśredniano. Oznaczanie gęstości w stanie zsylnym wykonywano następująco: do zważonego, na wadze laboratoryjnej Medicat LTD 1600 C, skalibrowanego cylindra klasy A o pojemności 250 cm³ wsypywano powoli, ruchem jednostajnym, nasiona o objętości 100 cm³, po czym ca-

łość ważono. Masę netto o podanej objętości przeliczano na kg/m^3 . Porowatość badanych nasion obliczano z równania zaproponowanego przez Rajabipour i wsp.[17]:

$$P = [(\gamma - \gamma_2) / \gamma] \times 100 \%,$$

gdzie: γ – masa właściwa ziarna [kg/m^3], γ_2 – gęstość w stanie zsypanym [kg/m^3].

Analizując cechy powierzchniowe nasion amarantusa mierzono kąt usypu i kąt zsypania wg zmodyfikowanej metody Szota [22] oraz wyznaczano współczynnik tarcia [23].

Kąt usypu oznaczano w przyrządzie składającym się z komory o średnicy 80 mm i wysokości 60 mm, mającej ruchomą zasuwę nad otworem zsypanym. Po napełnieniu komory ok. 280 g nasion i wysunięciu zasuw, nasiona swobodnie przesywały się do naczynia ustawionego poniżej. Kąt usypu odczytywano ze skali przyrządu umieszczonej na ścianie komory.

W przypadku pomiaru kąta zsypania przyrząd do pomiaru tej cechy (naczynie o szerokości 40 mm, którego bok stanowi trójkąt prostokątny równoramienny o długości przyprostokątnych 140 mm) napełniano całkowicie nasionami (ok. 280 g). Powolnym, jednostajnym ruchem przechyleno część roboczą przyrządu do pozycji pomiarowej i odczekiwano aż nasiona przestały się zsypywać. Wartość kąta zsypania odczytywano ze skali przyrządu.

Przyrząd do pomiaru współczynnika tarcia statycznego (równia pochyła o szerokości 80 mm i długości 600 mm) składał się z rynny pomiarowej, na którą nakłada się wybrany rodzaj materiału, skali pomiarowej oraz pokrętła podnoszącego ramię dźwigni. Na ustawione poziomo ramię dźwigni (położenie „0”), w jego górnej części rozsypanyo niewielką ilość ziarna (w jednej warstwie i linii). Pokręcając pokrętłem doprowadzano do pozycji, w której nasiona zaczęły się zsypywać. Wówczas odczytywano wynik ze skali wyrażonej w stopniach katowych (z tablic odczytywano wartość $\text{tg } \alpha$).

Wszystkie analizy tego etapu wykonano w 10 powtórzeniach.

W drugim etapie badań analizowano cechy geometryczne oraz barwę powierzchni nasion amarantusa. Charakterystyki wybranych losowo nasion z każdej próbki dokonywano według metodyki własnej przy użyciu zestawu do cyfrowej analizy obrazu, składającego się z kamery cyfrowej Nikon DXM 1200 (rozdzielczość 1280×1024 pikseli = 1,4 mln pikseli), oświetlenia KAISER RB HF składającego się z 4 lamp fluorescencyjnych 36 W o temp. barwowej ok. 5400 K, komputera z kartą akwizycji obrazu przeznaczoną do Digital Camera DXM 1200 oraz oprogramowania LUCIA G (Laboratory Universal Computer Image Analysis) wersja 4,80.

Mierzono sześć cech geometrycznych: długość, szerokość, średnicę zastępczą, obwód rzutu, pole powierzchni rzutu oraz kolistość. Uzyskane wartości zostały przeliczone przy użyciu oprogramowania LUCIA G ver. 4,80.

Do analizy z każdej próbki pobierano po 100 nieuszkodzonych nasion, które układano pojedynczo na płytce pomiarowej w odległości 13 cm od obiektywu kamery.

Barwę powierzchni nasion wyrażano za pomocą składowych modelu CIE $L^*a^*b^*$, w którym:

L^* – jasność barwy,

a^* – barwa: zielona (ujemne wartości a^*), czerwona (dodatnie wartości a^*),

b^* – barwa: niebieska (ujemne wartości b^*), żółta (dodatnie wartości b^*), przyjmuje wartości z zakresu od -120 do +120; jeśli $a^* = 0$ oraz $b^* = 0$ – barwa szara.

Uzyskane wyniki badań analizowano statystycznie z użyciem programu Statistica 9.0 PL (StatSoft Polska). Do wykazania istotności różnic pomiędzy próbkami zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) z testem Duncana, w którym jako krytyczny poziom istotności przyjęto $\alpha < 0,05$.

Wyniki i dyskusja

Wilgotność jest ważnym parametrem technologicznym nasion. Jak podają Waszkiewicz i Nowakowski [24], wraz ze wzrostem zawartości wody w ziarnie zmieniają się jego właściwości fizyczne. Ze względu na wysokie wymagania termiczne, amarantus wysiewa się w drugiej połowie maja by uniknąć wiosennych przymrozków. Jednak z uwagi na długi okres wegetacyjny nie należy nadmiernie opóźniać siewu, gdyż wpłynie to na znaczne zmniejszenie plonu oraz utrudni zbiór w warunkach jesiennych opadów [3]. Opady w okresie zbioru utrudniają omłot, a zebrane nasiona mają dużą wilgotność. Bez natychmiastowego dosuszania nasion wilgotność ta może być przyczyną utraty całego plonu w infekcji grzybowych [7].

Wilgotność nasion amarantusa była zróżnicowana i kształtowała się na poziomie od 6,18 % (próbka 7) do 12,05 % wody (próbka 9) (tab. 2). Nasiona próbki 7. zostały zebrane w 2006 r., a ich średnia wilgotność była najmniejsza i różniła się istotnie od pozostałych wyników. Wilgotność nasion zebranych w 2007 r. wynosiła od 8,06 % (próbka 6) do 10,56 % (próbka 1), natomiast w 2008 r. od 7,63 % (próbka 10) do 12,05 % (próbka 9). Różnice statystycznie istotne można tłumaczyć warunkami pogodowymi w poszczególnych latach. W ujęciu hydrologicznym suma opadów w Polsce z 2006 r. wynosiła 574,4 mm i była mniejsza od przeciętnych o 16,8 mm [18]. W 2007 r. wynosiła natomiast 777,4 mm i była wyższa od poprzedniego roku aż o 203,0 mm. Rok 2007 był rokiem wilgotnym [19]. W 2008 r. suma opadów wynosiła 621,6 mm [13].

Tabela 2

Wilgotność nasion amarantusa.
Moisture content in amaranth seeds.

Próbka Sample	Zawartość wody [%] / Water content [%] ($\bar{X} \pm s$)	Istotność statyst. Statistical significance
1	10,56 ± 0,54	a
2	9,14 ± 0,03	b
3	10,42 ± 0,23	a
4	9,43 ± 0,22	b
5	8,21 ± 0,21	c
6	8,06 ± 0,06	c
7	6,18 ± 0,38	d
8	9,98 ± 0,17	e
9	12,05 ± 0,20	f
10	7,63 ± 0,03	g
11	11,73 ± 0,07	f

Wartości średnie oznaczone tą samą literą nie różnią się statystycznie istotnie na poziomie istotności $\alpha < 0,05$ (test Duncana) / Mean values denoted by the same letter do not differ statistically significantly at $\alpha < 0.05$ (Duncan's test).

Tabela 3

Charakterystyka cech masowych nasion amarantusa.
Profile of mass features of amaranth seeds.

Próbka Sample	Masa 1000 nasion [g] Weight of 1000 seeds		Gęstość w stanie zsypanym Bulk density [kg/m ³]		Porowatość warstwy ziarna Porosity of seed layer [%]	
1	0,719 ± 0,001	a	841,35 ± 0,54	a	41,46 ± 0,89	a
2	0,767 ± 0,005	b	867,48 ± 1,49	b	47,94 ± 0,11	b
3	0,722 ± 0,001	a	841,41 ± 2,04	a	46,40 ± 0,96	c
4	0,773 ± 0,009	b	857,99 ± 2,06	c	45,62 ± 0,26	c
5	0,662 ± 0,002	c	862,95 ± 2,56	d	45,21 ± 0,48	c
6	0,750 ± 0,004	d	860,75 ± 0,38	d	43,14 ± 0,12	d
7	0,760 ± 0,003	e	840,67 ± 2,16	a	41,54 ± 0,53	e
8	0,643 ± 0,001	g	839,07 ± 1,16	a	34,18 ± 1,11	g
9	0,745 ± 0,004	d	849,29 ± 0,51	f	30,99 ± 0,94	h
10	0,661 ± 0,003	c	819,56 ± 1,37	g	34,02 ± 0,21	g
11	0,793 ± 0,002	f	829,67 ± 0,34	e	32,58 ± 0,43	i

Objaśnienie jak pod tab. 2. / Explanatory note as in Tab. 2.

Masa 1000 nasion charakteryzuje dorodność nasion i stopień ich wykształcenia. Na ogół, im nasiona są większe i lepiej wykształcone, tym większą mają wartość jako materiał siewny [24]. Największą masą 1000 nasion, spośród nasion niefrakcjonowanych, charakteryzowała się próbka 11. (0,79 g), natomiast najmniej dorodne były nasiona próbek: 8. (0,64 g), 10. (0,66 g) oraz 5. (0,66 g). Masa 1000 nasion pozostałych próbek była zbliżona i kształtowała się w zakresie 0,72 - 0,75 g (tab. 3). Podobne wyniki uzyskał Szot [22], który badał masę 1000 nasion amarantusa w zakresie wilgotności od 5,5 do 37,4 % (odmiana populacyjna), uzyskując wyniki od 0,603 do 0,780 g oraz w zakresie wilgotności od 7,8 do 38,0 % (odmiana Rawa), uzyskując wyniki od 0,747 do 1,053 g. W podobnym, jak w niniejszej pracy, przedziale wilgotności (tab. 2) Szot [22] uzyskał masę 1000 nasion wynoszącą od 0,635 do 0,686 g (odmiana populacyjna) oraz od 0,747 do 0,790 g (odmiana Rawa). Dla porównania, Kaur i wsp. [9] podczas charakterystyki nasion *Amaranthus hypochondriacus* oraz *Amaranthus caudatus* oznaczyli masę 1000 nasion na poziomie 0,62 - 0,88 g i 0,46 - 0,70 g. Nasiona amarantusa w porównaniu z nasionami innych roślin uprawnych są lekkie, np. masa 1000 nasion komosy, która jest również pseudozbożem, wynosi od 2,53 do 3,11 g [23].

Gęstość w stanie zsypanym nasion amarantusa wynosiła od 819,56 kg/m³ (próbka 10) do 867,48 kg/m³ (próbka 2). Wartości tej cechy są porównywalne z uzyskanymi przez innych autorów. Diakun i Kaczor [4] oznaczyli gęstość nasypową nasion na poziomie 820 - 850 kg/m³, natomiast Abalone i wsp. [1] uzyskali 720 - 840 kg/m³ nasion o wilgotności od 7,7 do 43,9 %. Szot [22], podczas badań nad cechami fizycznymi nasion amarantusa, stwierdził mniejszą gęstość w stanie zsypanym (802,00 - 784,00 kg/m³), analizując nasiona o wilgotności od 7,8 do 12,5 %.

Porowatość masy nasion jest to cecha, która odgrywa bardzo ważną rolę w procesie suszenia nasion. Jest to cecha bardzo istotna w przypadku nasion amarantusa, zbieranych późną jesienią, a więc w okresie krótkiego dnia, niskiej temperatury powietrza i wysokiej wilgotności. Nasiona po zbiorze mogą mieć powyżej 35 % wilgotności. Przy suszeniu takiego materiału ważny jest przepływ czynnika suszącego przez warstwę nasion i opór na jaki może napotkać [22]. Wartość porowatości zależy od wielkości, wilgotności, kształtu i sprężystości nasion, ich stanu powierzchni, ilości i rodzaju zanieczyszczeń, a także od rozmieszczenia masy zbożowej w silosie [14]. Analizując porowatość badanych próbek stwierdzono, że istotny wpływ na tę cechę masy nasiennej miał rok i rejon uprawy. Różnica pomiędzy próbkami z tego samego rejonu uprawy, ale z różnych lat zbiorów wynosiła 9 - 15 %. Wykazano, że istotnie mniejszą porowatością, w zakresie 31 - 34 %, cechowały się próbki z roku 2008. Porowatość pozostałych próbek kształtowała się w zakresie 41 - 48 %. Podobne wartości otrzymał Szot [22]. Wykazał on, że najmniejsza porowatość nasion amarantusa wynosiła ok. 40 %, a największa sięgała 48,5 % (przy nasionach bardzo wilgotnych). W przypadku amarantusa odmiany Rawa skrajne wartości wynosiły od 45,0 do 53 %.

Tabela 4

Charakterystyka cech powierzchniowych nasion amarantusa.
Profile of surface characteristics of amaranth seeds.

Próbka Sample	Kąt usypu Repose angle [°]		Kąt zsyphu Chute angle [°]		Współczynnik tarcia Friction coefficient [tg α]	
1	28,6 ± 0,2	af	27,5 ± 0,2	a	0,28 ± 0,004	af
2	26,0 ± 0,0	b	24,6 ± 0,2	b	0,29 ± 0,011	abf
3	29,1 ± 0,1	ad	27,5 ± 0,1	a	0,29 ± 0,003	abf
4	28,4 ± 0,2	a	26,8 ± 0,2	c	0,30 ± 0,004	bc
5	30,2 ± 0,2	cg	29,4 ± 0,3	d	0,32 ± 0,002	cd
6	29,1 ± 0,1	ae	28,0 ± 0,1	e	0,30 ± 0,006	ab
7	30,5 ± 0,0	c	28,9 ± 0,0	f	0,28 ± 0,001	af
8	29,9 ± 0,1	dce	27,1 ± 0,1	c	0,35 ± 0,025	e
9	25,6 ± 0,4	b	22,7 ± 0,4	h	0,28 ± 0,003	f
10	29,5 ± 0,5	defg	25,8 ± 0,3	i	0,33 ± 0,016	d
11	30,6 ± 1,5	c	28,3 ± 0,3	e	0,32 ± 0,002	cd

Objaśnienie jak pod tab. 2. / Explanatory note as in Tab. 2.

W tab. 4. zestawiono wyniki dotyczące cech powierzchniowych nasion amarantusa: kąta usypu, zsyphu oraz współczynnika tarcia. Zmienność wartości kątów zsyphu i usypu nasion jest bardzo istotna w ustalaniu parametrów technologii związanych z suszeniem, czyszczeniem, transportem, przeładunkiem i składowaniem [22]. Próbki charakteryzowały się kątem usypu w przedziale od 25,6° (próbka 9) do 30,6° (próbka 11). Szot [22], analizując odmiany populacyjne amarantusa uzyskał wartości w zakresie od 23,5° do 41,0°. Ten sam autor analizował również kąt usypu nasion odmiany Rawa, uzyskując wartości z przedziału od 38,0 do 53,3°.

Kąt zsyphu jest to najmniejszy kąt nachylenia płaszczyzny, przy którym ziarno się z niej ześlizguje. Wg Szota [22] kąt zsyphu nasion amarantusa zależy przed wszystkim od ich wilgotności i waha się w przedziale od 24,8 do 40,0°. W niniejszej pracy wartości tego parametru zawierały się w przedziale od 22,7° (próbka 9) do 29,4° (próbka 5).

Współczynnik tarcia statycznego jest definiowany podobnie jak kąt zsyphu, lecz wyrażany jest wartością tangensa kąta α . Cecha ta określa wielkość tarcia między cząsteczką a materiałem konstrukcyjnym. Występuje głównie w procesach rozdzielania i transportu jako właściwość tarciowa [11]. Współczynnik badanych nasion oznaczono

na zróżnicowanym poziomie, w zakresie od 0,28 (próbka 9) do 0,35 (próbka 8). Vilche i wsp. [23] uzyskali znacznie niższe wartości współczynnika tarcia nasion komosy, zawierające się, w zależności od wilgotności, w zakresie od 0,145 do 0,265.

Nasiona amarantusa należą do najdrobniejszych spośród pozyskiwanych w Polsce nasion roślin uprawnych [22]. Mają one kształt pogrubionej soczewki, zbliżonej do kuli [1, 4, 12, 22]. Zarodek ma postać pierścienia obejmującego bielmo [12].

Tabela 5

Cechy geometryczne nasion amarantusa.

Geometrical features of amaranth seeds.

Próbka Sample	Miara statyst. Statistical measure	Długość Length [mm]		Szerokość Width [mm]		Średnica zastępcza Diamete- re- quivalent [mm]		Obwód rzutu Projection perimeter [mm]		Pole powierzchni rzutu Projection area [mm ²]		Kolistość Circularity	
1	$\bar{X} \pm s$	1,35±0,10	a	1,16±0,08	ad	1,23±0,08	a	3,92±0,27	a	1,19±0,16	a	0,97±0,030	a
	Zakres	1,14-1,35		0,98-1,31		1,05-1,38		3,35-4,46		0,86-1,50		0,79-1,00	
2	$\bar{X} \pm s$	1,34±0,11	a	1,17±0,10	ad	1,23±0,10	a	3,91±0,31	a	1,20±0,19	a	0,98±0,017	b
	Zakres	1,11-1,55		0,95-1,39		1,00-1,44		3,18-4,58		0,79-1,64		0,87-1,00	
3	$\bar{X} \pm s$	1,27±0,11	b	1,10±0,09	b	1,16±0,09	b	3,70±0,30	b	1,07±0,17	b	0,98±0,016	b
	Zakres	1,06-1,58		0,89-1,33		0,96-1,41		3,03-4,49		0,72-1,56		0,91-1,00	
4	$\bar{X} \pm s$	1,34±0,10	a	1,16±0,09	ad	1,22±0,09	a	3,89±0,28	ac	1,18±0,17	ac	0,97±0,030	b
	Zakres	1,07-1,58		0,82-1,35		0,98-1,43		3,11-4,54		0,75-1,61		0,94-1,00	
5	$\bar{X} \pm s$	1,29±0,13	b	1,11±0,11	bc	1,17±0,12	b	3,75±0,38	b	1,09±0,21	b	0,97±0,035	a
	Zakres	0,98-1,58		0,82-1,34		0,88-1,40		2,84-4,93		0,61-1,53		0,71-1,00	
6	$\bar{X} \pm s$	1,34±0,11	a	1,16±0,10	ad	1,22±0,10	a	3,89±0,32	ac	1,18±0,19	ac	0,98±0,017	b
	Zakres	1,11-1,55		0,93-1,39		1,02-1,44		3,24-4,53		0,81-1,62		0,89-0,99	
7	$\bar{X} \pm s$	1,33±0,12	a	1,16±0,09	ad	1,22±0,10	a	3,89±0,32	ac	1,18±0,19	ac	0,98±0,011	b
	Zakres	1,02-1,63		0,89-1,43		0,93-1,50		3,01-4,76		0,68-1,77		0,91-1,00	
8	$\bar{X} \pm s$	1,32±0,12	a	1,13±0,10	ce	1,20±0,11	d	3,82±0,34	c	1,14±0,21	c	0,97±0,015	a
	Zakres	1,06-1,68		0,89-1,37		0,96-1,43		3,07-4,63		0,73-1,61		0,86-0,99	
9	$\bar{X} \pm s$	1,33±0,11	a	1,18±0,10	a	1,23±0,10	a	3,90±0,36	ac	1,19±0,19	a	0,97±0,02	b
	Zakres	1,03-1,59		0,85-1,36		0,96-1,41		3,07-4,54		0,73-1,55		0,81-1,00	
10	$\bar{X} \pm s$	1,34±0,11	a	1,14±0,09	ae	1,21±0,09	a	3,87±0,29	ac	1,16±0,17	ac	0,97±0,020	a
	Zakres	1,03-1,62		0,85-1,34		0,92-1,43		3,02-4,60		0,66-1,61		0,81-1,00	
11	$\bar{X} \pm s$	1,39±0,12	c	1,20±0,10	f	1,27±0,10	e	4,04±0,33	d	1,27±0,21	d	0,97±0,021	a
	Zakres	1,06-1,65		0,85-1,44		0,99-1,50		3,13-4,89		0,76-1,77		0,76-0,99	

Objaśnienie jak pod tab. 2. / Explanatory note as in Tab. 2.

W tab. 5. przedstawiono wyniki analizowanych cech geometrycznych nasion amarantusa. Próbka 3. charakteryzowała się najmniejszą długością (1,27 mm) oraz szerokością (1,10 mm). Podobne wyniki uzyskano w przypadku próbki 5., natomiast nasiona próbki 11. miały największą długość (1,39 mm) oraz szerokość (1,20 mm). Różnice te były statystycznie istotne na poziomie istotności $\alpha < 0,05$. Największą grupę jednorodną statystycznie pod względem długości nasion stanowiły próbki: 1., 2., 4., 6., 7., 8., 9. i 10. Podobnie kształtowała się szerokość, z wykluczeniem próbki 8. Na tej podstawie można stwierdzić, że zarówno rok uprawy, jak i rejon uprawy nie były czynnikami różnicującymi badane próbki pod względem wymiarów nasion. Diakun i Kaczor [4], analizując nasiona *Amaranthus cruentus* określili ich szerokość od 1,36 mm do 1,40 mm. Abalone i wsp. [1], analizując cechy geometryczne nasion amarantusa uprawianego w Argentynie, ustalili, że w zależności od wilgotności długość nasion kształtuje się od 1,35 mm do 1,50 mm, natomiast szerokość od 1,22 mm do 1,37 mm. Według Szota [22] natomiast średnia szerokość nasion wynosi 1,19 mm, a długość 1,34 mm. Nieznacznie niższe wyniki uzyskali Zapotoczny i wsp. [25] (długość 1,21 mm, szerokość – 1,01 mm).

Średnica zastępcza badanych partii nasion amarantusa mieściła się w zakresie od 1,16 mm (próbka 3) do 1,27 mm (próbka 11). Nasiona amarantusa uprawianego w 2007 r. charakteryzowały się średnicą zastępczą w przedziale od 1,16 mm (próbka 3) do 1,23 mm (próbka 2), natomiast uprawianego w 2008 r. – w zakresie od 1,19 mm (próbka 8) do 1,26 mm (próbka 11). Nasiona pochodzące z 2006 r. miały średnią, w stosunku do omówionych lat, wartość średnicy zastępczej, równą 1,22 mm. Wynika z tego, że parametr ten był zróżnicowany pomiędzy poszczególnymi latami, ale różnica nie była statystycznie istotna. Rasio i wsp. [20] podczas badania nasion amarantusa uprawianego w Argentynie wyznaczyli ich średnicę równą 0,90 mm, natomiast Abalone i wsp. [1] podczas analizy nasion pochodzących z tego samego regionu ustalili, że wartości tej cechy mieściły się w zakresie od 1,10 mm do 1,24 mm.

Obwód rzutu jest uzależniony od ilości i głębokości deformacji powierzchni nasienia. W badanych nasion amarantusa zawierał się w przedziale od 3,70 mm (próbka 3, 2007 r.) do 4,04 mm (próbka 11, 2008 r.). Nasiona ze zbiorów w 2006 r. charakteryzowały się obwodem rzutu równym 3,89 mm. Wyniki te są zbliżone do uzyskanych przez Zapotoczno i wsp. [25], którzy określili tę cechę na poziomie 3,65 mm. Wymienieni autorzy analizowali również pole powierzchni rzutu nasion amarantusa, uzyskując wartość równą 1,07 mm². W badaniach własnych wielkość pola powierzchni rzutu zawierała się w przedziale od 1,07 mm² (próbka 3) do 1,27 mm² (próbka 11).

Najmniej różnicującą badane próbki cechą geometryczną okazała się kolistość nasion. Średnie wartości tej cechy, opisującej kształt nasion, zawierały się we wszystkich próbkach w wąskim przedziale 0,97 - 0,98. Takie wartości wskazują, że rzut nasion jest bliski koła. Abalone i wsp. [1] uzyskali niższe wartości tej cechy (od 0,81 do 0,83).

Tabela 6

Charakterystyka barwy nasion amarantusa (model L*a*b*).
Profile of colour of amaranth seeds (model L*a*b*).

Próbka Sample	Miara statyst. Statistical measure	L* [%]		a* [-]		b* [-]	
1	$\bar{X} \pm s$	84,16 ± 2,33	a	-3,97 ± 0,61	a	22,34 ± 4,10	a
	Zakres	74,66 - 87,57		(-5,36) - (-2,52)		16,96 - 42,92	
2	$\bar{X} \pm s$	86,70 ± 1,21	b	-2,89 ± 0,51	b	18,01 ± 2,10	b
	Zakres	81,52 - 89,20		(-4,29) - (-1,65)		14,16 - 26,09	
3	$\bar{X} \pm s$	84,96 ± 1,81	c	-3,92 ± 0,46	a	20,85 ± 2,68	ce
	Zakres	78,37 - 87,90		(-5,21) - (-2,72)		15,18 - 29,86	
4	$\bar{X} \pm s$	85,22 ± 1,83	cd	-3,84 ± 0,46	ac	20,44 ± 3,80	cd
	Zakres	79,14 - 87,79		(-5,69) - (-2,76)		15,45 - 32,63	
5	$\bar{X} \pm s$	85,53 ± 1,58	d	-3,77 ± 0,38	c	21,18 ± 3,14	c
	Zakres	77,79 - 88,14		(-5,05) - (-2,85)		16,08 - 30,60	
6	$\bar{X} \pm s$	85,23 ± 1,76	cd	-3,95 ± 0,43	a	20,59 ± 3,52	cd
	Zakres	78,87 - 88,05		(-5,32) - (-2,54)		15,43 - 34,19	
7	$\bar{X} \pm s$	84,82 ± 1,85	c	-3,63 ± 0,54	d	19,72 ± 2,97	d
	Zakres	72,45 - 88,41		(-5,17) - (-1,84)		15,44 - 33,70	
8	$\bar{X} \pm s$	87,48 ± 2,18	e	-2,14 ± 0,56	d	18,70 ± 3,40	b
	Zakres	77,36 - 91,20		(-3,91) - (-0,43)		13,29 - 33,97	
9	$\bar{X} \pm s$	86,54 ± 2,37	b	-2,52 ± 0,61	e	20,44 ± 4,41	cd
	Zakres	78,16 - 90,49		(-4,14) - 1,25		12,64 - 47,57	
10	$\bar{X} \pm s$	86,33 ± 2,78	b	-2,48 ± 0,55	e	21,18 ± 4,35	c
	Zakres	74,84 - 90,74		(-5,02) - 1,80		13,13 - 42,83	
11	$\bar{X} \pm s$	86,36 ± 2,27	b	-2,52 ± 0,46	e	20,05 ± 3,85	de
	Zakres	77,84 - 90,95		(-4,02) - 0,05		13,14 - 44,51	

Objaśnienie jak pod tab. 2. / Explanatory note as in Tab. 2.

Barwę nasion amarantusa oceniono za pomocą składowych modelu L*a*b* (tab. 6). Największą jasnością L* charakteryzowały się nasiona próbki 8. (87,48 %), natomiast najmniejszą - nasiona próbki 1. (84,16 %). Generalnie jaśniejsze okazały się nasiona pochodzące z roku 2008, w przypadku których składowa L* wynosiła >86 %. Składowa a* przyjmowała we wszystkich próbkach wartości ujemne od -3,97 (próbka 1) do -2,14 (próbka 8), co wskazywało na udział barwy zielonej w barwie powierzchni

nasion. Większym udziałem zieloności ($a^* < -2,8$) cechowały się nasiona pochodzące z lat 2006 i 2007. Z kolei składowa b^* przyjmowała dodatnie wartości, co świadczyło o udziale barwy żółtej. Średnia wartość tej składowej mieściła się w zakresie od 18,01 (próbka 2) do 22,34 (próbka 1). Na podstawie wartości składowych modelu CIE $L^*a^*b^*$ stwierdzono, że nasiona amarantusa pochodzące z uprawy zlokalizowanej w rejonie Małopolski najbardziej odróżniały się od pozostałych. Barwa okrywy owocowo-nasiennej tych nasion była najciemniejsza, z największym udziałem zieloności i żółtości. Barwa nasion była także zależna od roku uprawy amarantusa, przy czym w większości przypadków istotne zmiany dotyczyły składowych L^* oraz a^* . Zapotoczny i wsp. [25] stwierdzili, że jasność nasion *Amaranthus cruentus* kształtuje się na poziomie równym 63,6 %. Autorzy ci uzyskali ponadto odmienny wynik składowej a^* (6,54), ale zbliżony składowej b^* (22,5). Kaur i wsp. [9], analizując barwę nasion *Amaranthus hypochondriacus*, uzyskali wartości składowych L^* , a^* , b^* w zakresach odpowiednio 61,38 - 68,29 %; 5,26 - 6,80; 19,71 - 23,84. Dla porównania Konopka i wsp. [10], podczas charakterystyki różnych odmian pszenicy uprawianej w Polsce, otrzymali odpowiednio wartości w przedziałach: 77,5 - 85,5 %; (-5,5) - (-5,0), 29,4 - 16,6.

Wnioski

1. Rok uprawy, a tym samym warunki pogodowe, miał istotny wpływ na cechy masowe nasion, a w szczególności na ich porowatość.
2. Miejsce uprawy oraz rok uprawy nie miały istotnego wpływu na wymiary badanych nasion.
3. Cechą geometryczną najmniej różnicującą badane próbki była kolistość nasion.
4. Rok oraz miejsce uprawy miały wpływ na barwę nasion, przy czym w większości przypadków istotne zmiany dotyczyły składowych L^* oraz a^* .

Praca współfinansowana przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego "DrInno – zwiększenie podaży technologicznej w województwie warmińsko-mazurskim przez stypendia dla doktorantów, numer umowy: 8/DRINNO/16/2008,1.10.2008-30.09.2010".

Literatura

- [1] [1] Abalone R., Cassinera A., Gastón A., Lara M.A.: Some Physical Properties of Amaranth Seeds. *Biosystems Eng.*, 2004, **89** (1), 109-117.
- [2] Black M, Bewley J.D, Halmer P.: *The Encyclopedia of Seeds, Science, Technology and Use*. Eds. CABI, Wallingford, UK, 2003, p. 336.
- [3] Bobel B.K., Sokół J.: Wartość pokarmowa nasion szarlatu (*Amaranthus ssp.*) i ich wykorzystanie w żywieniu ludzi i zwierząt. *Post. Nauk Rol.*, 2002, **2**, 69-80.

- [4] Diakun J., Kaczor A.: Badanie wpływu wilgotności ziaren amarantusa na efekt ich zgniatania. Inżynieria Rolnicza, 2005, **9 (69)**, 43-49.
- [5] Frączek J., Kaczorowski J., Ślipek Z., Horobik J., Molenda M.: Standaryzacja metod pomiaru właściwości fizyczno-mechanicznych roślinnych materiałów ziarnistych. Acta Agrophysica, 2003, **92**, 94-95.
- [6] Frączek J., Wróbel M.: Zastosowanie grafiki komputerowej w rekonstrukcji 3D nasion. Inżynieria Rolnicza, 2009, **6 (115)**, 87-94.
- [7] Gontarczyk M.: Szkarłat uprawny – *Amaranthus* ssp. Nowe rośliny uprawne na cele spożywcze, przemysłowe i jako odnawialne źródła energii. Wyd. SGGW, Warszawa 1996, ss. 21-43.
- [8] Januszewska-Józwiak K., Synowiecki J.: Charakterystyka i przydatność składników szkarłatu w biotechnologii i żywności. Biotechnologia, 2008, **3 (82)**, 89-102.
- [9] Kaur S., Singh N., Chand Rana J.: *Amaranthus hypochondracus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristic of plants, grain and flours. Food Chem., 2010, **123**, 1227-1234.
- [10] Konopka I., Kozirook W., Rotkiewicz D.: Lipids and carotenoids of wheat grain and flour and attempt of correlating them with digital image analysis of kornel surface and cross-section. Food Res. Int., 2004, **37**, 429-438.
- [11] Konopka S., Jeliński T., Sadowska J., Błaszczak W., Fornal J., Rybiński W.: Basic physical properties of seeds of *Lathyrus sativus* (*Lathyrus sativus* L.). Acta Agrophysica, 2009, **14 (1)**, 95-108.
- [12] Konopko H.: Analiza procesu ekspandowania nasion w przewodzie pneumatycznym. Rozpr. nauk. AR w Lublinie, Wyd. AR, Lublin 2004, zeszyt 280.
- [13] Kruszyk R.: Raport o stanie geoeosystemów Polski w 2008 roku. (<http://www.gios.gov.pl/zmsp/stan2008/ZMSP2008.pdf>)
- [14] Kusinska E.: Wpływ porowatości ziarna owsa na opór przepływu powietrza. Inżynieria Rolnicza, 2007, **8 (96)**, 149-155.
- [15] Nalborczyk E.: *Amaranthus* roślina uprawna ponownie odkryta. Przegl. Piek. Cuk., 1995, **43 (6)**, 34-35.
- [16] PN-ISO 712:2002. Zboża i przetwory zbożowe. Oznaczanie wilgotności. Rutynowa metoda odwoławcza.
- [17] Rajabipour A., Tabatabaeifar A., Farahani M.: Effect of moisture on terminal velocity of wheat varieties. Int. J. Agric. Biol., 2006, **8 (1)**, 10-13.
- [18] Raport ZMŚP. Rozdz. 4.1 – Metrologia. Stacja Bazowa Wigry 2006.
- [19] Raport ZMŚP. Rozdz. 4.1 – Metrologia. Stacja Bazowa Wigry 2007.
- [20] Resio A.C., Aguerre R.J., Suarez C.: Hydration kinetics of amaranth grain. J. Food Eng., 2006, **72**, 247-253.
- [21] Sindhuja A., Sudha M.L., Rahim A.: Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. Eur. Food Res. Technol., 2005, **221**, 597-601.
- [22] Szot B.: Właściwości agrofizyczne amarantusa (*Amaranthus cruentus* L.). Acta Agrophysica, 1999, **18**, 1-78.
- [23] Vilche C., Gely M., Santalla E.: Physical properties of quinoa seeds. Biosystems Eng., 2003, **86 (1)**, 59-65.
- [24] Waszkiewicz C., Nowakowski T.: Wstępne badania wybranych cech fizycznych nasion amarantusa. Zesz. Prob. Post. Nauk Rol., 1996, **425**, 281-286.
- [25] Zapotoczny P., Markowski M., Majewska K., Ratajski A., Konopko H.: Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristic of hot-air-puffed amaranth seeds. J. Food Eng., 2006, **76**, 469-476.

PHYSICAL PROPERTIES OF *AMARANTHUS CRUENTUS* SEEDS FROM DIFFERENT CULTIVATION REGIONS IN POLAND

S u m m a r y

The objective of the research study was to determine the variability of physical properties of amaranth seeds depending on the region where they were grown and the year when they were harvested. The research material were *Amaranthus cruentus* seeds of the Aztek cultivar from the crops harvested in the farms located in the Lubelskie, Małopolskie and Dolnośląskie Provinces, in the years 2006, 2007, and 2008. Determined were the basic mass features (weight of 1000 seeds, bulk density, porosity), and surface characteristics (repose angle, chute angle, and friction coefficient). Using a Digital Image Analysis technique analyzed were the geometric parameters (length, width, diameter equivalent, projection perimeter, projection area, and projection circularity), as well as the colour of seeds.

It was found that the highest weight of 1000 seeds (0.79 g) showed the sample (0.79 g) from the plantation located in Piaski Górne of the year 2008. Depending on the year and place of growing the amaranth seeds, their bulk density ranged from 819.56 kg/m³ to 867.48 kg/m³. Their repose angle value was between 25.6° (samples from the region near Lublin) and 30.6° (samples from Piaski Górne) and referred to the seeds harvested in 2008; the chute angle of the amaranth seeds from the plantation near Lublin ranged from 22.7° to 29.4°, of 2008 and 2007, respectively. The amaranth seeds grown in Piaski in 2007 were characterized by both the smallest length (1.27 mm) and the smallest width (1.10 mm). However, the seeds grown in the same region in 2008 had both the biggest length (1.39 mm) and the biggest width (1.20 mm). The seeds of 2008 were lighter and their L* component * was >86 %.

Key words: amaranth, seeds, surface characteristic, mass features, geometric parameters, colour 