

WOJCIECH RYBIŃSKI¹**MICHAŁ STARZYCKI**²**ROBERT RUSINEK**³**JAN BOCIANOWSKI**⁴**BOGUSŁAW SZOT**³¹ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Oddział w Poznaniu³ Instytut Agrofizyki PAN w Lublinie⁴ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Zmienność składu chemicznego nasion roślin strączkowych i ich odporności na obciążenia mechaniczne

Variation of legume seed's chemical composition and resistance to mechanical damage

Przeprowadzone badania miały na celu ocenę wewnątrzgatunkowej zmienności odmian i rodów roślin strączkowych pod względem odporności nasion na obciążenia mechaniczne i ich składu chemicznego. Materiał do badań stanowiły nasiona odmian i rodów reprezentujących cztery gatunki lubinu oraz groch i lędźwian siewny. Do analiz wybierano powietrznie suche nasiona pochodzące z Hodowli Roślin Przebędowo i tego samego roku zbioru. Wzrost i rozwój roślin w tej samej lokalizacji i w podobnych warunkach glebowo-klimatycznych umożliwił porównanie uzyskanych wyników między odmianami. Oceniano właściwości fizyczne nasion w celu określenia ich reakcji na obciążenia mechaniczne. Na pierwszym etapie określano grubość nasion, a następnie pojedyncze nasiona podawano obciążeniom mechanicznym wyrażając uzyskane wyniki wartościami siły maksymalnej (N), maksymalnego odkształcenia (mm), modułu elastyczności (MPa) i energii (J). Ponadto nasiona z każdej odmiany i rodu posłużyły do oceny zawartości białka, tłuszczu i profilu kwasów tłuszczowych. Wyniki opracowano za pomocą wielocechowej analizy statystycznej. Wiedza o fizycznych parametrach nasion wyrażona stopniem ich odporności na uszkodzenia mechaniczne ma istotne znaczenie dla optymalizacji technologii zbioru, suszenia i przechowywania przyczyniając się do zminimalizowania strat ilościowych i jakościowych oraz uszkodzeń mechanicznych zebranych nasion. Wykazano, że analizowane nasiona odmian i rodów charakteryzowały się zróżnicowaną grubością nasion i szerokim zakresem ich zmienności w reakcji na zastosowane obciążenia mechaniczne. Pozwoliło to na wyodrębnienie gatunków, ale przede wszystkim odmian i rodów o zwiększonej odporności nasion na obciążenia mechaniczne wyrażone między innymi wartością siły maksymalnej, której użycie powoduje zniszczenie ich struktury. Analizowane rody i odmiany

charakteryzowały się ponadto szerokim zakresem zmienności składu chemicznego nasion. Pod względem zawartości białka dominowały nasiona łubinu andyjskiego tradycyjnego (44,2%) i epigonalnego (41,3%), a wartościami powyżej 40% charakteryzowały się ponadto nasiona łubinu żółtego reprezentowane przez odmianę Lord oraz rody: R 1017/03 i R 851/03. Najwyższą zawartością tłuszczu wyróżniały się formy łubinu andyjskiego z dominującą pozycją nasion formy samokończącej na poziomie 15,5%, a najniższą nasiona grochu, przy znacznych różnicach odmianowych i gatunkowych w profilu kwasów tłuszczowych.

Słowa kluczowe: cechy ilościowe, odmiany i rody, obciążenia mechaniczne nasion, rośliny strączkowe, skład chemiczny nasion

The attempt was made at estimation of intra-species variation of cultivars of legumes for resistance of seeds to mechanical damage taking into account their chemical composition. The research material comprised Polish cultivars and lines representing four lupine species as well as pea and grasspea. The air-dry seeds of cultivars and breeding lines were harvested from the experimental field in breeding station Przebędowo in the same year. Growing of plants in the same locality and similar soil-conditions allowed comparison of the results obtained from cultivars and breeding lines. The collected seeds were analyzed for their physical properties. The first stage included determination of seed thickness and the next resistance of individual seeds to static loading expressed as the value of maximum force (N), maximum deformation (mm), the modulus of elasticity (MPa) and energy (J). Additionally, protein and fat contents as well as the composition of fatty acids were estimated in the harvested seeds. Obtained results were analyzed with use of multivariate statistic method. Knowledge of physical parameter of seeds is particularly important for optimization of technologies of harvesting, drying and storage, which is related to minimization of quantitative and qualitative losses and mechanical damage. Obtained results showed, that analyzed seeds of cultivars and lines differed greatly in spectrum of seed thickness and reaction to the mechanical loads. It allowed to distinguish cultivars and lines with increased resistance of seeds to mechanical loads expressed among others by maximum force that caused seed structure destruction. Additionally, analyzed seeds of cultivars and lines showed a broad range of variation in chemical composition. The highest protein content was established in seeds representing traditional and epigonal forms of Andean lupine (44.2 and 41.3% respectively). The protein level above 40% were also established in seeds of yellow lupine represented by cv. Lord and two lines: R 1017/03 and R 851/03. The seeds of all forms of Andean lupine were the richest in fat content with highest value in seeds of determinate form (15.5%). Lowest content was established in seeds of pea and grasspea. Specific fatty acids composition in seeds of cultivars depended on the species.

Key words: cultivars and lines, chemical composition of seeds, grain legumes, mechanical loads of seeds, quantitative traits

WSTĘP

Wszystkie badania rolnicze obejmujące materiały pochodzenia biologicznego przeniknięte są metodyką i wiedzą fizyczną (Haman, 2000). Postęp w fizycznych metodach badań materii, jaki dokonał się na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci umożliwia lepsze zrozumienie właściwości i oddziaływań w różnych obiektach, w tym roślinnych, które są przedmiotem zainteresowania wielu nauk przyrodniczych. Agrofizyka jako nauka interdyscyplinarna wzbogaca nauki rolnicze o fizyczne metody badawcze i skutecznie wspomaga rozwiązywanie złożonych zagadnień, w tym w mniejszym lub większym stopniu w genetyce, a zwłaszcza i hodowli roślin, dając hodowcy możliwość testowania i selekcji form (w zależności od kierunku hodowli) o poprawionych parametrach fizycznych. W tym aspekcie agrofizyka wyznacza nowe

kierunki hodowli by dostarczyć surowiec do przetwórstwa o lepszych parametrach jakościowych i wyższej wartości żywienia. Aby sprostać potrzebom współczesnej gospodarki surowiec i produkt biologiczny będący efektem prac hodowlanych musi więc odpowiadać określonym wymaganiom i standardom. Znaczna część tych wymagań sprowadza się do zachowania odpowiednich cech fizycznych, które winny być na bieżąco kontrolowane (Haman, 2000). Stąd zapotrzebowanie na specjalistyczną aparaturę i nowoczesne metody badawcze w agrofizyce zaowocowało opracowaniem i udoskonaleniem szeregu wyspecjalizowanych, fizycznych metod pomiarowych. Należy do nich między innymi metodyka pomiaru odporności nasion na obciążenia mechaniczne wykorzystywana w prezentowanej pracy. Do mikrouszkodzeń nasion w określonych warunkach pogodowych dochodzi już w polu (w okresie wykształcania i dojrzewania nasion) przy zmiennych gradientach temperatury i wilgotności (Grundas, 2004). Zasadnicze straty jakościowe surowca mają miejsce w procesie produkcyjnym powstające w efekcie oddziaływania zewnętrznych czynników fizycznych powodowane przede wszystkim przez maszyny rolnicze w trakcie zbioru nasion i ich transportu. Przyczyną uszkodzeń mechanicznych bywają również naprężenia w nasionach wywołane procesami termicznymi w procesie suszenia czy przechowywania w silosach. Wszelkie uszkodzenia mechaniczne nie tylko zmniejszają przydatność surowców rolniczych, w tym nasion, do siewu czy dalszego przerobu, lecz otwierają drogę zakażeniom bakteryjnym i grzybowym prowadzącym niejednokrotnie do całkowitego zniszczenia produktu. O ile straty powodowane przez uszkodzenia nasion mogą być ograniczane różnymi sposobami, w tym przez odpowiednią konstrukcję maszyn, czy optymalizowanie procesów przetwórczych, to według Hamana (2000) bardzo istotne są prace hodowlane, prowadzące do uzyskania produktu bardziej odpornego na wszelkie uszkodzenia. W celu określenia zróżnicowania stopnia podatności nasion na uszkodzenia mechaniczne, obciążeniom statycznym poddano nasiona wybranych odmian i rodów reprezentujących kilka gatunków roślin strączkowych. Badania uzupełniono o ocenę składu chemicznego nasion mogącego mieć związek ze zróżnicowaną reakcją nasion na oddziaływania mechaniczne.

MATERIAŁ I METODY

Materiał wyjściowy do badań stanowiły nasiona sześciu gatunków roślin strączkowych. Cztery z nich reprezentowały łąbin: biały (*Lupinus albus* L.), żółty (*Lupinus luteus* L.), wąskolistny (*Lupinus angustifolius* L.) i andyjski (*Lupinus mutabilis* Sweet), a ponadto groch siewny (*Pisum sativum* L.) oraz łądźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.). Powyższe gatunki reprezentowane były przez 33 odmiany i rody otrzymane z Hodowli Roślin Smolice, Oddział w Przebędowie.

Dwie odmiany reprezentowały łąbin biały (Nr 1 — Boros, 2 — Buthan), dziewięć odmian i rodów łąbin żółty (3 — Lord, 4 — Mister, 5 — Parys, 6 — Perkoz, 7 — Talar, 8 — PRH 714/07, 9 — R 851/03, 10 — R 867/03, 11 — R 1017/03), jednaście — łąbin wąskolistny (12 — Baron, 13 — Bojar, 14 — Boruta, 15 — Graf, 16 — Kalif, 17 — Mirela, 18 — Neptun, 19 — Regent, 20 — Zeus, 21 — PRH 631/08, 22 — PRG

1367/08), a trzy — łubin andyjski: 23 — tradycyjny, 24 — samokończący i 25 — epigonalny. Siedem odmian i rodów reprezentowało groch (26 — Marych, 27 — Medal, 28 — Merlin, 29 — Milwa, 30 — Muza, 31 — PRH 145/08, 32 — PRH 178/08), a jedna odmiana, Krab (nr 33) lędzwan siewny. Pośród 33 obiektów jednaście to rody hodowlane lub linie, a pozostałe to odmiany komercyjne. Wśród rodów cztery to łubin żółty, dwa reprezentowały łubin wąskolistny, trzy łubin andyjski, a dwa groch siewny. Nasiona pochodziły z tego samego roku zbioru (2010) i tej samej lokalizacji, którą było pole doświadczalne w Przebędowie.

Zebrane nasiona i dosuszone w tych samych warunkach do stałej wilgotności analizowano pod względem ich właściwości fizycznych oceniając na pierwszym etapie ich grubość oraz masę 1000 nasion. Z uwagi na przeważający owalno-kulisty kształt większości nasion ocenę parametrów geometrycznych ograniczono do określenia ich grubości. Mierzono ją na adaptowanym do tego celu mierniku zegarowym i za pomocą suwmiarki elektronicznej z dokładnością do 0,01 mm. Dla uzyskania dokładnego rozkładu tej cechy w próbkach wykonano pomiary dla 300 losowo wybranych, powietrznie suchych nasion. Masę 1000 nasion określano za pomocą licznika nasion typu LN-S-50A.

Odporność pojedynczych nasion na obciążenia statyczne oceniano na aparaturze do badań wytrzymałościowych INSTRON — model 6022 zgodnie z wcześniej opracowaną metodyką (Szot i in., 1994). Analizowano po 30 nasion w pięciu powtórzeniach. Na podstawie uzyskanych wyników określono odporność nasion na obciążenia mechaniczne wyrażone następującymi parametrami: siła maksymalna (siła powodująca zniszczenie nasiona), stopień odkształcenia maksymalnego (maksymalna deformacja w momencie pęknięcia nasiona), moduł (naprężenie w momencie pęknięcia nasiona), energia (energia potrzebna do zgniecenia nasiona). Wyniki wyrażono w wartościach siły maksymalnej (N), stopnia odkształcenia maksymalnego (mm), modułu (MPa) oraz energii (J).

Zawartość białka oznaczano metodą Kjeldahla. Procentową zawartość tłuszczu w nasionach określano metodą wagową przez ekstrakcję tłuszczu w aparacie Soxleta, a zawartość kwasów tłuszczowych przy wykorzystaniu chromatografu (Hewlett Packard, Gas Chromatograph 5890) i kolumny kapilarnej (30 m, RTX-225).

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie określając dla każdego obiektu wartość średniej i odchylenia standardowego. Dla obiektów w obrębie każdej z cech wyliczono wartość najmniejszej istotnej różnicy (NIR) oraz wartość współczynnika zmienności (Kozak i in., 2013). Ocena współzależności obserwowanych cech składu chemicznego nasion dokonana została w oparciu o odpowiednie współczynniki korelacji (Kozak i in., 2010). Uzyskane wyniki analizowano również za pomocą metod wielowymiarowych (Caliński i Kaczmarek, 1973; Rencher, 1998). Wielowymiarowe zróżnicowanie obiektów określono na podstawie odległości Mahalanobisa (1936). Z uwagi na znaczną liczbę danych podobieństwo między odmianami wyrażone odległościami Mahalanobisa ograniczono do porównań dla wybranych odmian reprezentujących każdy z badanych gatunków. W celu przedstawienia wielocechowej oceny podobieństwa genotypów zastosowano analizę zmiennych kanonicznych (Camussi i in., 1985; Rencher, 1998) oraz analizę składowych głównych. Umożliwią one zobrazowanie zróżnicowania obiektów

pod względem kompleksu cech w formie graficznej. Wszystkie obliczenia w analizie danych wykonano za pomocą pakietu statystycznego GenStat 15.

WYNIKI I DYSKUSJA

Jedną z cech różnicującą uprawne gatunki roślin strączkowych jest masa 1000 nasion (MTN). W prezentowanej pracy najwyższymi wartościami charakteryzują się nasiona łubinu białego — Boros i Buthan (336 i 253 g). Wśród łubinu żółtego odmiana Mister (149 g), łubinu wąskolistnego odmiana Boruta (145 g), a łubinu Andyjskiego forma epigonalna o MTN na poziomie 96 g (tab. 1). Zbliżoną wartość średniej MTN (137 g) dla łubinu wąskolistnego podaje Książak (2007). W odniesieniu do grochu siewnego dla większości odmian i rodów MTN przekraczała 200 g, wśród których najwyższą wartością wyróżniała się odmiana Medal (250 g). MTN dla lędzwanu siewnego odmiany Krab wynosiła 176 g i była na poziomie wartości uzyskanych przez Rybiński i in. (2008).

Szeroki zakres zmienności obserwowano dla grubości nasion: od 3,77 mm dla samokończącej formy łubinu andyjskiego do 7 mm dla odmiany grochu Medal (tab. 1). Wartościami powyżej 6 mm charakteryzowały się jedynie nasiona grochu. Znaczne różnice obserwowano dla łubinu białego: od 5,4 mm dla odmiany Boros do 4,2 mm dla odmiany Buthan. Zbliżonymi wartościami w zakresie od 4,2 mm dla odmiany Parys do 4,8 mm u rodu R 1017 oraz od 4,6 mm u odmiany Kalif do 5,1 mm charakteryzowały się nasiona, odpowiednio, łubinu żółtego i wąskolistnego – przy wyższej wartości średniej nasion odmian łubinu wąskolistnego. Z grubością nasion wiąże się ich odporność na obciążenia mechaniczne co ilustrują statystycznie istotne współczynniki korelacji w odniesieniu do niektórych parametrów obciążeń mechanicznych (Rybiński i in., 2011). Z reguły hodowca nie dysponuje warsztatem pozwalającym na ocenę laboratoryjną na wczesnych etapach hodowli i produkcji finalnym (odmianie) właściwości fizycznych nasion takich, jak np. ich odporność na uszkodzenia mechaniczne. Stąd w opisie nowo wyprowadzanych odmian ich użytkownik bardzo rzadko znajduje informacje na temat, który pozwoliłoby hodowcy na ich wykorzystanie w procesie selekcji (Rybiński i Szot, 2009; Szot i Rybiński, 2011). Istotnym parametrem wskazującym na stopień odporności nasion na obciążenia mechaniczne jest siła maksymalna potrzebna do ich destrukcji, czyli zgniecenia (tab. 1). Obserwowano nie tylko szeroki zakres zmienności między gatunkami, ale również między odmianami w obrębie gatunków. Najwyższymi wartościami, czyli największą opornością na obciążenia mechaniczne wyróżniały się nasiona łubinu wąskolistnego (średnio powyżej 600 N), następnie łubinu żółtego (powyżej 500 N), łubinu andyjskiego i grochu (powyżej 300 N), lędzwanu siewnego (powyżej 200 N) i łubinu białego (poniżej 200 N). Do obiektów o najwyższych wartościach siły maksymalnej zaliczamy, w obrębie łubinu żółtego odmiany: Parys i ród PRH 714; łubinu wąskolistnego — Baron, Regent i Zeus; łubinu białego — odmianę Boros, a łubinu andyjskiego formę epigonalną. Pośród grochów dominują odmiany — Medal i Muza przy najniższych wartościach dla odmiany Marych i Merlin. Ewentualnym o największej oporności spośród wszystkich ocenianych obiektów jest odmiana łubinu wąskolistnego Baron.

Charakterystyka zmienności grubości i parametrów obciążeń mechanicznych nasion
Characteristics of variation in seed thickness and parameters of mechanical loads

Gatunek Species	Odmiany i rody Cultivars and lines	Nr No.	MTN TSW (g)		Grubość nasion Seed thickness (mm)		Moduł Modulus (MPa)		Siła maksymalna Maximum force (N)		Odkształcenie maksymalne Maximum deformation (mm)		Energia Energy (J)	
			\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD
Łubin biały White lupine	Boros	1	336,4	85,15	5,37	0,1938	264,2	93,26	194,9	21,2	3,086	0,2603	2,861	0,5648
	Buthan	2	253,2	73,19	4,22	0,1555	414,9	174,45	165,6	35,3	1,842	0,533	1,584	0,6351
Łubin żółty Yellow lupine	Lord	3	117,9	66,97	4,48	0,1371	319,8	46,32	475,7	147,3	1,721	0,3966	0,511	0,2211
	Mister	4	149,7	45,58	4,72	0,2829	343,9	52,82	413,6	112,9	1,37	0,2506	0,331	0,1023
	Parys	5	117,4	39,97	4,22	0,1104	368,8	61,78	796,1	175,8	1,791	0,1849	0,723	0,1462
	Perkoz	6	137,2	45,87	4,45	0,1265	339,4	77,21	491,1	184,4	1,592	0,5307	0,615	0,0438
	PRH 714/07	7	88,07	29,18	4,33	0,0943	358,1	27,74	534,8	145,7	1,535	0,2284	0,498	0,174
	R 1017/03	8	135,9	38,71	4,76	0,1339	393,9	46,29	465,4	65,4	1,79	0,2215	0,533	0,1392
	R 851/03	9	117,4	42,02	4,30	0,0767	326,8	20,24	488,1	134,4	1,551	0,3015	0,440	0,1926
R 867/03	10	113,4	43,37	4,30	0,1255	322,5	75,0	494,5	201,4	1,58	0,4456	0,446	0,203	
Talar	11	122,1	50,08	4,31	0,2	350,0	146,17	499,5	96,7	1,799	0,6797	0,523	0,1725	
Łubin wąsko- listny Narrow leafed lupine	Baron	12	130,5	51,51	4,84	0,0519	343,9	25,45	919,6	113,4	2,678	0,2426	1,159	0,1885
	Bojar	13	134,1	52,84	4,88	0,179	284,9	29,77	406,2	257,3	2,062	0,5953	0,689	0,3577
	Boruta	14	145,1	55,79	5,10	0,0949	260,1	31,13	635,3	274,7	1,951	0,7708	0,772	0,1494
	Graf	15	120,4	43,97	4,72	0,183	251,3	78,48	514,2	276,8	1,922	0,4489	0,530	0,3246
	Kalif	16	130,1	28,17	4,61	0,2123	275,9	38,74	642,9	333,7	2,507	0,563	1,004	0,4107
	Mirela	17	127,2	53,48	4,68	0,075	298,7	50,78	584,7	248,9	1,856	0,417	0,55	0,2824
	Neptun	18	138,7	54,43	5,04	0,0374	367,5	150,05	660,6	279,2	2,278	0,4172	0,816	0,3656
	PRG1367/ 08	19	100,6	38,48	4,73	0,1776	289,4	44,74	550,1	266,5	2,11	0,8365	0,667	0,4025
	PRH 631/08	20	119,3	48,87	4,79	0,1675	326,6	46,85	577	279,9	2,007	0,7878	0,794	0,1965
	Regent	21	128,5	46,57	5,13	0,1398	296,6	30,54	687,1	298,1	2,153	0,8859	1,022	0,2036
Zeus	22	135,7	48,75	4,87	0,1907	258,0	49,76	688,1	399,4	2,18	0,916	0,966	0,4886	
Łubin andyski Andean lupine	Epigonalny Epigonal	23	95,9	27,73	3,94	0,2554	187,7	50,43	465,9	124,6	2,036	0,4113	0,452	0,0793
	Samo- kończący Determinate	24	82,1	29,87	3,77	0,0481	134,2	21,05	285,7	48,5	1,504	0,2621	0,206	0,0655
	Tradycyjny Traditional	25	80,1	29,74	4,03	0,1796	131,4	32,2	218,9	88,4	1,354	0,4231	0,884	1,0129
Groch siewny Pea	Marych	26	169,2	78,78	5,94	0,1072	404,3	227,77	307,4	141,8	0,521	0,0643	0,068	0,0346
	Medal	27	250,4	98,14	6,99	0,1893	616,4	150,72	426,9	82,9	0,472	0,0677	0,078	0,0288
	Merlin	28	222,5	78,94	6,53	0,1818	429,7	132,96	317,1	133,3	0,647	0,2445	0,105	0,0879
	Milwa	29	229,9	69,71	6,38	0,1779	542,9	198,89	358,5	107,7	0,507	0,0691	0,071	0,0214
	Muza	30	190,1	73,47	6,40	0,0648	565,2	95,88	387,7	34,5	0,603	0,1476	0,107	0,0552
PRH 145/08	31	219,7	78,21	6,39	0,0791	446,7	61,51	331,8	73	0,57	0,2156	0,166	0,1649	
PRH 178/08	32	242,9	68,17	6,35	0,3096	426,5	130,84	352,3	67,1	0,753	0,1819	0,130	0,0443	
Łędzwian Grasspea	Krab	33	176,4	55,73	4,94	0,1963	473,8	122,98	299,1	156,8	0,606	0,2778	0,091	0,0648
NIR _{0,001} — LSD _{0,001}			73,05		0,347		205,7		204,6		0,996		0,463	
Współczynnik zmienności Coefficient of variation (%)			37,49		17		39,85		50,73		49,66		97,68	

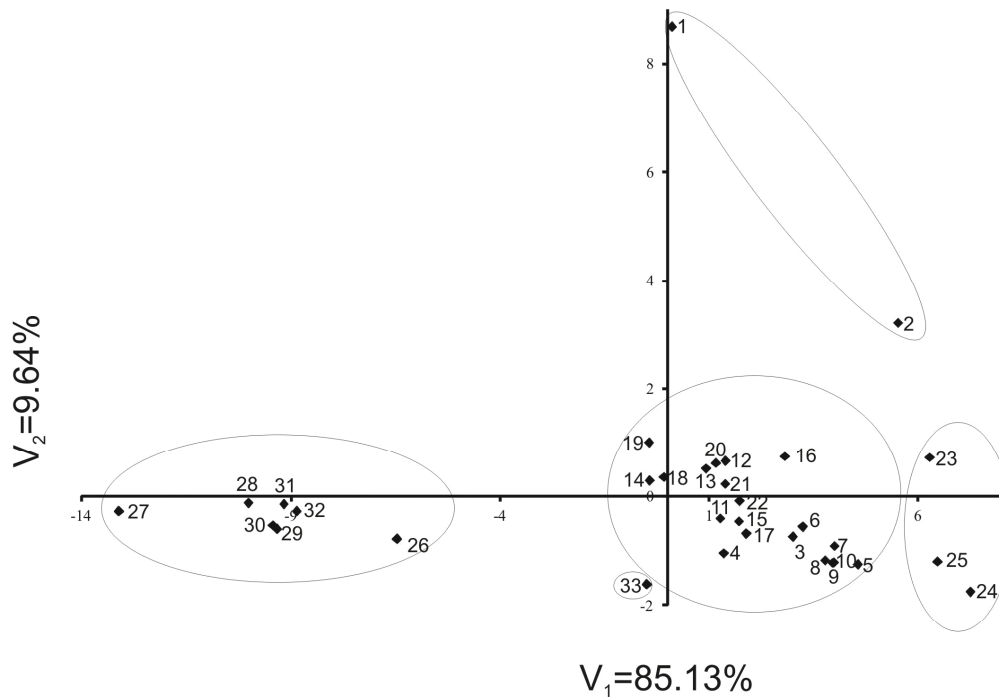
SD — Odchylenie standardowe — Standard deviation

W odniesieniu do lędźwianu siewnego odmiany Krab zbliżoną wartość na poziomie 257 N uzyskali Szot i in. (1998). Drugim z analizowanych parametrów było odkształcenie maksymalne nie powodujące destrukcji nasion, a informujące o stopniu „elastyczności” nasion w reakcji na zastosowane obciążenia mechaniczne. Pośród analizowanych gatunków najniższymi wartościami odkształcenia wyróżniały się odmiany i rody grochu w wąskim zakresie zmienności poniżej 1 mm. Zbliżoną wartością (0,6 mm) charakteryzował się lędźwian siewny, morfologicznie i genetycznie najbardziej podobny do grochu. Najwyższymi wartościami przekraczającymi 2 mm wyróżniały się odmiany łubinu wąskolistnego: Neptun, Zeus i Regent. Wśród obiektów łubinu żółtego wartości odkształcenia maksymalnego nie przekraczały 2 mm i były najwyższe u odmian Parys i Talar, a najniższe dla nasion odmiany Mister. O ile pod względem siły maksymalnej potrzebnej do destrukcji nasion dominowała odmiana łubinu wąskolistnego Baron to w odniesieniu do odkształcenia wyróżniały się nasiona łubinu białego odmiany Boros. W przeciwieństwie do dwóch wcześniej omawianych parametrów obciążeń mechanicznych, pod względem wartości średniej modułu, informującego o stopniu naprężeń w momencie pęknięcia nasion, dominowały odmiany grochu i lędźwianu. Zakres wartości modułu dla nasion grochu wynosił od 404,3 MPa dla odmiany Marych do 616,4 MPa dla odmiany Medal (najwyższa wartość pośród wszystkich obiektów). Wyraźnie niższe wartości średniej uzyskano dla, odpowiednio: łubinu białego, następnie łubinu żółtego, wąskolistnego, a najniższe, wyraźnie odbiegające od pozostałych dla łubinu andyjskiego. Najwyższe wartości modułu w grupie łubinu żółtego uzyskano dla nasion rodu R 101 i odmiany Parys, łubinu wąskolistnego: Neptun, PRH 631, Regent i Mirela, a w grupie łubinu andyjskiego dla nasion formy epigonalnej (tab. 1). O ile w łubinie białym pod względem siły maksymalnej potrzebnej do destrukcji nasion i odkształcenia w momencie ich ściskania wyróżniała się odmiana Boros, to w odniesieniu do modułu wyraźnie wyższą wartość uzyskano dla nasion odmiany Buthan. Pod względem wartości pochłoniętej energii mierzonej w czasie obciążeń mechanicznych prowadzących do destrukcji nasion najwyższymi wartościami wyróżniały się nasiona łubinu białego odmian Boros i Buthan, w następnej kolejności nasiona łubinu wąskolistnego (Baron, Kalif i Regent), łubinu żółtego (Parys i Perkoz) i andyjskiego (formy: tradycyjna i epigonalna). Na tle wymienionych gatunków wyraźnie najniższymi i odrębnymi wartościami wyróżniają się odmiany grochu w zakresie od zaledwie 0,07 J dla nasion odmiany Milwa do 0,16 J dla nasion rodu PRH 145.

O ile wyżej przedstawione wyniki dotyczyły oceny wartości poszczególnych parametrów obciążeń mechanicznych dla każdego z badanych obiektów, to w celu poznania podobieństwa rodów i odmian pod względem analizowanych parametrów łącznie wykorzystano odległości Mahalanobisa. Z uwagi na znaczną liczbę danych porównanie podobieństwa między obiektami pod względem grubości nasion i parametrów obciążeń mechanicznych łącznie ograniczono do wybranych odmian reprezentujących każdy z gatunków (tab. 2). Największe odległości Mahalanobisa (najmniejsze podobieństwo) uzyskano dla odmian grochu Medal i Merlin w porównaniu z pozostałymi obiektami. Dotyczy to w szczególności odmiany Medal najbardziej różniącej się od

pozostałych form pod względem badanych cech. Niskim stopniem podobieństwa w stosunku do innych odmian wyróżnia się także odmiana łubinu białego Boros (tab. 2).

Bardziej podobnymi (najmniejsze odległości) okazały się obie formy łubinu andyjskiego, łubinu żółtego oraz odmiany łubinu wąskolistnego i żółtego, na przykład odmiana Talar łubinu żółtego z formami łubinu wąskolistnego. Na rysunku 1 w formie przestrzennej dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych przedstawiono położenie odmian i rodów pod względem grubości nasion i parametrów obciążeń mechanicznych łącznie.



Rys. 1. Rozmieszczenie odmian i rodów w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych (V_1 i V_2) obliczonych na podstawie grubości i wartości parametrów obciążeń mechanicznych nasion.

Fig. 1. Distribution of cultivars and lines in the space of two canonical variates (V_1 and V_2) for seeds thickness and parameters of mechanical loads together

Wyróżniono pięć grup skupień odmian i rodów związanych z ich przynależnością gatunkową. Najbardziej odrębnymi okazały się odmiany łubinu białego (nr 1 i 2) i grochu (nr 26–32), a następnie kolejno formy łubinu andyjskiego (nr 23–25) oraz lędźwianu siewnego (nr 33). Ostatnią grupę stanowią zbliżone do siebie odmiany łubinu żółtego (nr 3–11) i wąskolistnego (nr 12–22). Potwierdzeniem znacznej odrębności odmian grochu

i łąbinu białego (zwłaszcza odmiany Boros) pod względem analizowanych cech są wyniki przedstawione w tabeli 2.

Tabela 2

Ocena podobieństwa wyrażona odległościami Mahalanobisa dla grubości i parametrów obciążeń mechanicznych nasion u wybranych odmian i rodów reprezentujących badane gatunki
Estimation of similarity expressed by Mahalanobis distances for seed thickness and parameter of mechanical loads together for chosen cultivars representing analyzed species

Boros	0											
Buthan	8,233	0										
Parys	11,072	5,826	0									
Talar	10,394	5,135	2,022	0								
Graf	9,369	6,695	3,734	2,832	0							
Mirela	9,595	6,548	3,213	2,486	0,674	0						
Samokoń	12,707	6,266	4,163	3,910	5,948	5,820	0					
Epigonalny	11,781	5,840	3,135	2,834	4,839	4,698	1,599	0				
Medal	16,013	19,162	17,774	17,141	14,928	15,059	20,545	19,666	0			
Merlin	13,440	16,273	14,799	14,113	11,770	11,957	17,379	16,527	3,432	0		
Krab	10,499	7,780	5,794	4,895	4,018	3,843	8,144	7,503	12,83	9,963	0	
	Boros	Buthan	Parys	Talar	Graf	Mirela	samo-kończący determinate	epigonalny epigonal	Medal	Merlin	Krab	
	Łubin biały White lupine	Łubin żółty Yellow lupine	Łubin wąskolistny Narrow-leaved lupine	Łubin andyjski Andean lupine	Groch Pea	Łędźwian Grasspea						

Zapewnienie wysokiej zawartości i jakości białka w żywieniu ludzi i zwierząt odgrywa dużą rolę w krajach EU (Święcicki i in., 2007). Obecnie 70% białka pochodzenia roślinnego jest importowane, głównie w postaci śruty poekstrakcyjnej i nasion soi z form GMO. Tymczasem większość tego zapotrzebowania mogłaby być pokrywana z upraw własnych roślin strączkowych klimatu umiarkowanego (Pahl, 2002). Na szeroki zakres zróżnicowania składu chemicznego nasion wybranych gatunków i odmian roślin strączkowych wskazują wyniki przedstawione w tabeli 3. Do gatunków o najwyższej zawartości białka w nasionach należą: łąbin andyjski (44,2% i 41,3% u formy tradycyjnej i epigonalnej), a w drugiej kolejności łąbin żółty z odmianami i rodami: R 1017, Lord, R 851 i R 867 również na poziomie 40% i powyżej. Według Sawickiej (1993) najważniejszą użytkową cechą łąbinu andyjskiego jest zawartość białka w nasionach wynosząca średnio 45%. Jest ono bogate w cysteinę, dość zasobne w lizynę, a odznacza się deficytem metioniny i innych aminokwasów siarkowych (Brücher, 1989). Zawartością białka na poziomie średnich 31 i 28% charakteryzują się nasiona łąbinu białego i wąskolistnego z najwyższymi wartościami dla odmian Boros i Buthan (32,6 i 30,9%), a w łąbinie wąskolistnym nieznacznie powyżej 30% dla odmian Graf, Baron, Neptun i Boruta. Do trzeciej grupy, o najniższej zawartości, zaliczyć można łąędźwian (24,9%) i groch (22,9%) z dominującą zawartością u odmiany grochu Marych (26,3%) i rodzie PRH 178 (24,7%). Średnia zawartość u grochu na poziomie 21% (Abreu i Bruno-Soares, 1998) i 25,7% (Pettersson i in., 1997) mieści się w zakresie uzyskanych wyników, a u łąędźwianu od 25 do 27% (Hanbury i in., 2000).

Szerszy zakres zmienności aniżeli w odniesieniu do białka obserwowano dla zawartości tłuszczu (tab. 3) z najwyższą zawartością u obiektów łubinu andyjskiego i jego formy samokończącej (15,5%). Według Sawickiej (1993) zawartość tłuszczu w nasionach łubinu andyjskiego wynosi 14%, a w niektórych wyselekcjonowanych formach do 21% (Mason i Romero, 1990).

Tabela 3

Skład chemiczny nasion odmian i rodów gatunków roślin strączkowych
Chemical composition of seeds of cultivars and lines of pulse crops

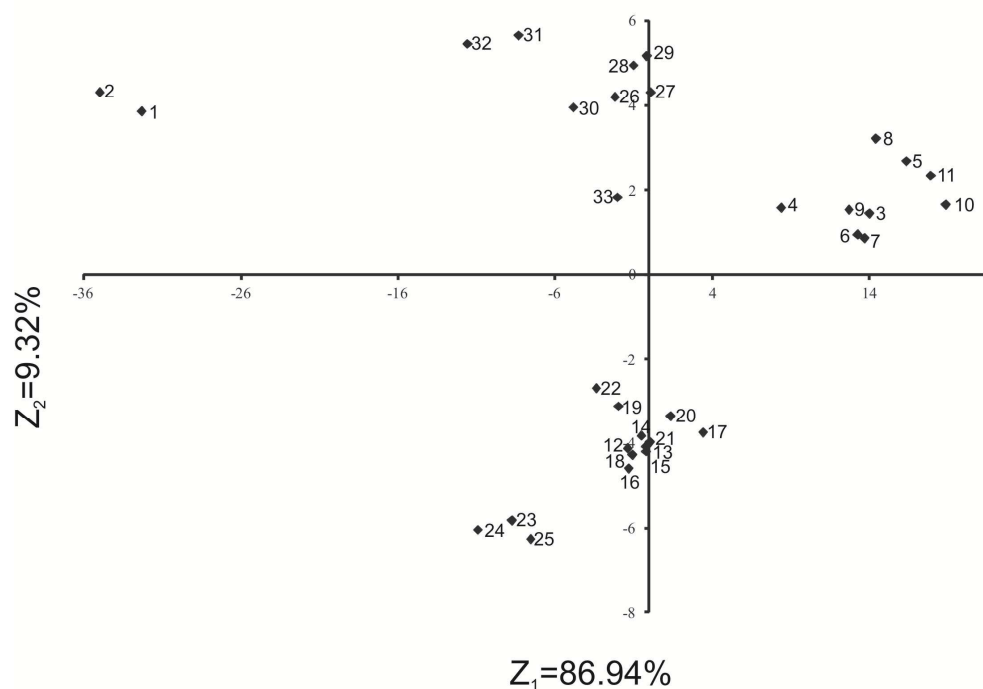
Nr No	Gatunek Species	Odmiany irody Cultivars and lines	Białko Protein (%)	Tłuszcz Fat (%)	Skład kwasów tłuszczowych Fatty acids composition						
					C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}	C _{22:1}
1	Łubin biały	Boros	32,61	12,09	5,9	2,4	60,9	16,7	8,0	4,3	1,8
2	White lupine	Buthan	30,94	9,76	6,5	1,6	62,4	14,5	8,3	5,0	1,7
3		Lord	42,84	4,86	4,6	2,3	30,7	51,9	7,6	2,0	0,8
4		Mister	32,69	5,25	4,9	3,1	33,8	47,2	7,8	2,2	1,0
5		Parys	36,41	8,76	4,8	2,5	28,1	52,8	9,4	1,9	0,6
6		Perkoz	37,17	6,30	4,0	2,6	31,8	51,8	6,7	2,3	0,8
7	Łubin żółty	Talar	38,11	5,13	5,1	2,3	27,1	54,0	9,2	1,8	0,5
8	Yellow lupine	PRH 714/07	39,98	4,94	4,9	2,0	31,4	52,1	7,0	2,0	0,6
9		R 851/03	40,50	5,38	5,0	2,1	31,5	50,9	7,8	2,0	0,7
10		R 867/03	40,00	5,35	4,4	2,1	27,2	55,3	7,9	2,1	0,9
11		R 1017/03	45,61	5,32	4,8	2,1	29,5	51,4	9,8	1,9	0,6
12		Baron	31,79	5,76	10,6	4,9	39,6	39,9	4,6	0,4	0,0
13		Bojar	23,74	6,69	9,6	4,7	39,8	41,5	4,0	0,4	0,0
14		Boruta	30,29	5,74	9,8	5,9	38,9	40,4	5,0	0,0	0,0
15		Graf	32,29	5,69	11,1	5,3	38,2	40,3	5,2	0,0	0,0
16	Łubin wąskolistny	Kalif	23,76	6,83	9,4	6,1	40,2	40,4	3,9	0,0	0,0
17	Narrow-leafed lupine	Mirela	27,46	6,58	10,5	4,7	36,3	43,4	5,3	0,0	0,0
18		Neptun	30,70	5,99	11,7	6,8	37,3	38,5	5,7	0,0	0,0
19		Regent	27,94	7,76	9,0	6,0	39,1	41,2	4,4	0,3	0,0
20		Zeus	24,07	7,62	8,8	5,3	41,5	38,7	5,4	0,4	0,0
21		PRH 631/08	28,90	6,71	9,8	4,4	38,2	42,2	5,1	0,4	0,0
22		PRG 1367/08	27,35	6,86	10,1	4,6	40,0	39,4	5,4	0,4	0,0
23	Łubin andyjski	Tradycyjny	44,20	14,12	11,9	6,3	43,4	35,2	2,9	0,2	0,0
	Andean lupine	Traditional									
24		Samokończący	38,08	15,56	11,9	5,7	46,3	33,2	2,8	0,2	0,0
		Determinate									
25		Epigonalny	41,37	14,77	11,8	5,0	45,1	35,0	2,9	0,2	0,0
		Epigonal									
26		Marych	26,35	1,44	8,1	3,4	38,4	37,4	12,7	0,0	0,0
27		Medal	20,68	1,74	6,7	3,5	37,9	38,4	12,8	0,7	0,0
28		Merlin	21,55	1,51	8,1	2,9	37,0	39,2	12,8	0,0	0,0
29	Groch	Milwa	21,92	1,43	6,6	2,5	38,2	39,7	12,9	0,0	0,0
30	Pea	Muza	23,52	1,59	7,2	3,4	41,3	36,3	11,8	0,0	0,0
31		PRH 145/08	21,37	1,43	7,8	2,9	42,7	32,9	13,8	0,0	0,0
32		PRH 178/08	24,76	1,91	6,3	2,3	46,5	31,7	12,2	0,9	0,0
33	Łędwian siewny	Krab	24,96	1,05	6,7	3,4	41,0	39,7	9,2	0,0	0,0
	Grasspea										
	Wartość średnia		31	6,1	7,8	3,79	39	41	7,6	0,97	0,30
	Mean value										
	Współczynnik zmienności (%)		24	62,5	32,8	40,69	20	23	43,7		
	Coefficient of variation (%)										

Oprócz form łubinu andyjskiego średnią wartością powyżej 10% charakteryzują się nasiona łubinu białego (12,1% u odmiany Boros). U pozostałych odmian i rodów zawartość tłuszczu nie przekraczała 9% i średnio była ona wyższa w nasionach łubinu wąskolistnego niż żółtego, przy czym w łubinie wąskolistnym dominowała odmiana Regent i Zeus (odpowiednio 7,7 i 7,6%), a żółtym — wyraźnie odbiegająca od pozostałych — odmiana Parys (8,8%). O stopniu międzygatunkowego zróżnicowania zawartości tłuszczu świadczą bardzo niskie wartości dla grochu (średnio 1,6% z dominującą pozycją nasion rodu PRH 179 i odmiany Medal), a zwłaszcza lędźwianu siewnego na poziomie 1%. Zbliżone wartości dla grochu 1,7 i 1,3% uzyskali Abreu i Bruno-Soares (1998) oraz Petterson i in. (1997), a dla lędźwianu, na poziomie 1,0; 1,2 oraz 1,6%, odpowiednio, Latif i in. (1975); Kuo i in. (1995) oraz Infascelli i in. (1995).

Niezależnie od gatunku, w profilu kwasów tłuszczowych dominują: kwas oleinowy i linolowy (tab. 3). Obydwa kwasy stanowią ponad 70% całego profilu kwasów. Znaczej zmienności międzygatunkowej podlega natomiast ich wzajemna proporcja. Przykładem mogą być odmiany Boros i Buthan łubinu białego oraz wszystkie formy łubinu andyjskiego, gdzie w tłuszczu kwas oleinowy ($C_{18:1}$) wyraźnie dominował nad kwasem linolowym ($C_{18:2}$). Odmienny profil obu kwasów prezentuje tłuszcz nasion łubinu żółtego, gdzie również bez wyjątku wyraźnie dominuje wieloniensycony kwas linolowy, a nie oleinowy, z najwyższymi wartościami kwasu linolowego (także pośród wszystkich badanych odmian i rodów) dla odmiany Talar i wysokobiałkowego rodu R 867 (tab. 3). Zbliżoną proporcją zawartości kwasu oleinowego do linolowego (z przewagą jednego lub drugiego w zależności od odmiany) charakteryzują się nasiona łubinu wąskolistnego (np. odmiany Mirela i Zeus) oraz grochu (np. odmiana Merlin i ród PRH 178). Na dominującą pozycję w tłuszczu nasion grochu kwasu oleinowego i linolowego (25,1 i 42,3%) wskazują badania Petterson i in. (1997). Według Hanbury i in. (2000) profil kwasów tłuszczowych lędźwianu jest podobny do nasion innych roślin strączkowych, u których najczęściej jest kwasu linolowego i kwasu oleinowego. Na tle wszystkich gatunków na znaczną odrębność w zawartości kwasu linolenowego ($C_{18:3}$) wskazują odmiany grochu z najwyższymi wartościami dla nasion rodu PRH 145 (13,8%), a nasyconego kwasu palmitynowego ($C_{16:0}$) nasiona łubinu andyjskiego (11,8–11,9%) i wąskolistnego (11,7 i 11,1% dla odmian, odpowiednio, Neptun i Graf). Według Petterson i in. (1997) zawartość kwasu palmitynowego u grochu, bobiku i łubinu nie przekraczały 14% co również potwierdzono w prezentowanej pracy. Zawartość kwasu palmitynowego w nasionach lędźwianu na poziomie 10,7% stwierdził Grela i in. (1999), a 8,1% Senatore i Basso (1994). Najwyższą zawartością nasyconego kwasu stearynowego ($C_{18:0}$) charakteryzowały się nasiona łubinu andyjskiego (6,3% u formy tradycyjnej) i wąskolistnego (6,8% u odmiany Neptun), a najniższą (2%) w nasionach łubinu białego oraz grochu (od 2,5 do 3,5%). Zawartość kwasu stearynowego w tłuszczu lędźwianu odmiany Krab wynosiła 3,4%, a w pracach innych autorów: 4,6% (Grela i Günter, 1995) i 6,6% (Grela i in., 1999). Z kolei nasiona łubinu białego na tle wszystkich gatunków wyróżniały się bardzo wysoką zawartością kwasu eikozenowego ($C_{20:1}$) na poziomie od 5% (u odmiany Buthan) do 4,3% (u odmiany Boros). W śladowych ilościach, i to tylko w nasionach łubinu białego i żółtego, stwierdzono obecność kwasu erukowego. Pośród kwasów nienasyco-

nych, nie syntetyzowanych w organizmie ludzkim, należy wyróżnić wysoką zawartość w nasionach roślin strączkowych jednonienasyconego kwasu oleinowego wpływającego na obniżenie we krwi szkodliwej formy cholesterolu (LDL — lipoproteiny o małej gęstości) i o ochronnej roli w profilaktyce miażdżycy. Należy też zwrócić uwagę na wysoką zawartość wielonienasyconych kwasów, tj. kwasu linolenowego (między innymi w nasionach grochu), a zwłaszcza linolowego (nasiona łubinu żółtego) zaliczanych do grupy NNKT, tj. niezbędnych nienasyconych kwasów tłuszczowych.

Zróznicowanie odmian i rodów pod względem zawartości kwasów tłuszczowych przedstawiono w przestrzennie w układzie dwu pierwszych składowych głównych (rys. 2).



Rys. 2. Rozmieszczenie odmian i rodów w układzie dwóch pierwszych składowych głównych obliczonych dla zawartości kwasów tłuszczowych łącznie
Fig. 2. Distribution of cultivars and lines in the space of two principal components for content of fatty acids together

Wyróżnić można pięć zasadniczych skupień odmian i rodów. Pierwsze na lewej górnej skrajnej części płaszczyzny tworzą odmiany łubinu białego (1 i 2), a drugie, obok łubinu białego, odmiany grochu (nr 26–32) i bliska botanicznie i morfologicznie odmiana lędzwanu siewnego (nr 33). Trzecie skupienie obejmujące prawą górną część

płaszczyzny utworzyły odmiany i rody łubinu żółtego (nr 3–11). W dolnej części wyróżnić można dwa dalsze skupienia, z lewej strony formy łubinu andyjskiego (nr 23–25), a w części centralnej odmiany i rody łubinu wąskolistnego (nr 12–22). Położenie przestrzenne obiektów wskazuje nie tyle na wewnątrzgatunkowe zróżnicowanie odmian i rodów, ale przede wszystkim na różnice między ocenianymi gatunkami pod względem profilu kwasów tłuszczowych. Różnice te między innymi o podłożu genetycznym, stanowiąc mogą interesujący przyczynek do dalszych prac hodowlanych i genetycznych nad udoskonalaniem roślin strączkowych. Na znaczne różnice w profilu kwasów tłuszczowych roślin strączkowych wskazuje również Bakoglu i in. (2009), a w rodzaju *Lathyrus* Bağcı i Sahin (2004).

Istotnym elementem oceny składu chemicznego jest wzajemne powiązanie analizowanych cech wyrażone współczynnikiem korelacji (tab. 4). Zawartość białka była statystycznie istotnie i dodatnio skorelowana z zawartością tłuszczu, jak i wyłącznie z wielonienasyconymi kwasami tłuszczowymi: linolowym, linolenowym i eikozenowym. Z kolei zawartość tłuszczu była statystycznie istotnie i dodatnio skorelowana z nasyconymi kwasami: palmitynowym i stearynowym, z jednonienasyconym kwasem oleinowym i ujemnie z wielonienasyconym kwasem linolenowym (tab. 4).

Tabela 4

Współczynniki korelacji dla cech składu chemicznego nasion, ich grubości nasion oraz modułu u odmian i rodów roślin strączkowych
Correlations of coefficient among analyzed traits of chemical composition of seeds, seed thickness and modulus for cultivars and lines of pulse crops

	Białko Protein	Tłuszcz Fat	C _{16:0}	C _{16:1}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}	C _{20:1}	C _{22:1}	Grubość nasion Seed thickness	Moduł Modulus
Białko Protein	1										
Tłuszcz Fat	0,533**	1									
C _{16:0}	-0,200	0,413*	1								
C _{16:1}	-0,158	0,388*	0,884***	1							
C _{18:1}	-0,301	0,369*	0,346*	0,144	1						
C _{18:2}	0,393*	-0,269	-0,387*	-0,165	-0,979***	1					
C _{18:3}	-0,386*	-0,746***	-0,576***	-0,681***	-0,084	-0,032	1				
C _{20:1}	0,426*	0,233	-0,645***	-0,650***	0,212	-0,119	0,096	1			
C _{22:1}	0,430*	0,227	-0,637***	-0,623***	0,196	-0,108	0,090	0,975***	1		
Grubość nasion Seed thickness	-0,748***	-0,708***	-0,098	-0,166	0,134	-0,272	0,758***	-0,305	-0,306	1	
Moduł Modulus	-0,516**	-0,810***	-0,481**	-0,520**	-0,107	0,007	0,848***	0,009	-0,023	0,747***	1

*P<0,05; ** P<0,01; *** P<0,001

Wskazuje to, że wraz ze wzrostem zawartości tłuszczu zwiększa się udział mniej pożądaných kwasów nasyconych, korzystnego kwasu oleinowego lecz obniża się istotna z punktu widzenia żywieniowego zawartość kwasu linolenowego. Stąd nie tyle istotny

jest wzrost zawartości tłuszczu, lecz korzystnie zbalansowany profil kwasów tłuszczowych. Wśród licznych istotnych statystycznie zależności między poszczególnymi kwasami na uwagę zasługuje bardzo wysoki ujemny współczynnik korelacji (-0,975) między zawartością kwasu oleinowego i linolowego (tab. 4), dwoma ilościowo najważniejszymi elementami profilu kwasów tłuszczowych, stanowiącymi 70–80% ich udziału w tłuszczu nasion roślin strączkowych. Wzrost zawartości jednego z nich wpływa na obniżenie drugiego, czego dobitnym przykładem jest profil kwasów tłuszczowych nasion łubinu białego (tab. 3). Podobną zależność w odniesieniu do nasion lędźwianu siewnego uzyskali Rybiński i Starzycki (2004); Rybiński i Grela (2007) oraz Grela i inni (2010). Istotnym jest uzyskanie informacji czy skład chemiczny nasion ma związek z odpornością nasion na obciążenia mechaniczne, a jeśli tak to w jakim stopniu i z czego on wynika. Wstępny etap badań i uzyskane wyniki nie upoważniają do udzielenia jednoznacznej odpowiedzi na to pytanie. Pośród czterech parametrów oceny odporności nasion na obciążenia mechaniczne tylko wartość modułu (tab. 4) była statystycznie istotnie skorelowana z zawartością białka i tłuszczu (wartości współczynników korelacji, odpowiednio, -0,516 i -0,810). Wskazuje to, że wzrost naprężenia w nasionach w momencie pęknięcia nasiona (wyrażony wartością modułu) jest bardziej prawdopodobny jeśli nasiona zawierają mniej białka, a zwłaszcza tłuszczu. Ponadto wartość modułu była dodatnio skorelowana z grubością nasion (0,747), a grubość nasion ujemnie z zawartością białka i tłuszczu (odpowiednio: -0,748 i -0,708). W profilu kwasów tłuszczowych wartość modułu była ujemnie skorelowana z zawartością kwasu palmitynowego i stearynowego (-0,481 i -0,512) oraz dodatnio z zawartością kwasu linolenowego (0,848). Z kolei grubość nasion była istotnie skorelowana tylko z zawartością kwasu linolenowego (0,758).

Przedstawione wyniki dotyczą wstępnego etapu badań, którego celem było ocena zróżnicowania roślin strączkowych w reakcji na zastosowane obciążenia mechaniczne nasion charakteryzujących się określonym składem chemicznym. Można założyć, że obserwowany szeroki zakres zmienności odporności nasion na obciążenia mechaniczne ma związek z odmienną mikrostrukturą nasion, której znaczne zróżnicowanie dla nasion różnych form kolekcyjnych lędźwianu wykazali Rybiński i in. (2006) oraz Sadowska i in. (2013). Wybór najbardziej zróżnicowanych obiektów w prezentowanej pracy i ich ocena pod względem mikrostruktury nasion stanowić będzie kontynuację dotychczasowych badań.

WNIOSKI

1. Zastosowana wielocechowa analiza statystyczna pozwoliła wykazać stopień podobieństwa odmian i rodów w reakcji na zastosowane parametry obciążeń mechanicznych nasion. Najmniejszym podobieństwem charakteryzowały odmiany i rody grochu oraz łubinu białego, a największym nasiona łubinu żółtego, wąskolistnego i andyjskiego.
2. Mimo wyraźnych różnic między gatunkami, obserwowana zmienność w obrębie każdego z gatunków pozwoliła wyodrębnić odmiany lub rody o większej (lub

- mniejszej) odporności na obciążenia mechaniczne. Można sądzić, że znaczne zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe ma związek z grubością i budową okrywy nasiennej oraz wewnętrzną strukturą nasion, a ta z kolei wiąże się z jej zmiennością wnoszoną do odmian przez ich formy rodzicielskie.
3. Wykazano szeroki zakres zmienności zawartości białka w nasionach, przy czym dominowały w tym względzie wysokobiałkowe formy łubinu andyjskiego. Szerszej zmienności podlegała zawartość tłuszczu, począwszy od wysokotłuszczowych nasion form łubinu andyjskiego do odmian grochu i lędźwianu, o bardzo niskiej zawartości tłuszczu. Uzyskane wyniki składu chemicznego nie upoważniają na ich jednoznaczne powiązanie ze zróżnicowaną odpornością nasion na obciążenia mechaniczne. Tylko w odniesieniu do wartości naprężeń w nasionach w momencie ich pęknięcia (wyrażonych wielkością modułu) uzyskano statystycznie istotną i ujemną korelację z zawartością białka i tłuszczu. Na znaczny wpływ grubości nasion na obciążenia mechaniczne wskazuje wysoka i dodatnia wartość współczynnika korelacji z wartością modułu, przy czym grubość nasion była wysoce istotnie i ujemnie skorelowana z zawartością białka i tłuszczu, a dodatnio z zawartością kwasu linolenowego.
 4. Mimo zbliżonego profilu kwasów tłuszczowych, typowego dla nasion roślin strączkowych, z dominującą pozycją kwasu oleinowego i linolowego, obserwowano specyficzne dla gatunku odmienne proporcje udziału poszczególnych kwasów w tłuszczu ogólnym. Wyróżniają się w tym względzie nasiona odmian i rodów łubinu żółtego z wysoką zawartością wielonienasyconego kwasu linolowego i linolenowego, mających szczególne znaczenie prozdrowotne w diecie człowieka. Niezależnie od obserwowanych różnic gatunkowych i odmianowych, pozytywnie zbalansowany skład kwasów tłuszczowych jest charakterystyczny dla nasion roślin strączkowych.

LITERATURA

- Abreu J. M. F., Bruno-Soares A. M. 1998. Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of nine legume grains. *Anim. Feed Sci. Technol.* 70: 49 — 57.
- Bagci E., Sahin A. 2004. Fatty acid patterns of the seeds oils of some *Lathyrus* L. species. (*Papilionideae*) from Turkey, a chemotaxonomic approach. *Pak. J. Bot.* 36 (2): 403 — 413.
- Bakoglu A., Bagci E., Cifteci H. 2009. Fatty acids, protein component and metal composition of some feed crop from Turkey. *Journal of Food, Agriculture and Environment* 7 (2): 343 — 346.
- Brücher H., 1989. *Lupinus mutabilis* Sweet. In: *Useful Plants of Neotropical Origin and Their Wild Relatives*, Springer-Verlag: 80 — 84.
- Caliński T., Kaczmarek Z. 1973. Metody kompleksowej analizy doświadczenia wielocechowego. *Colloquium Metodologiczne z Agro-Biometrii, PAN i PTB, Warszawa*, 3: 258 — 320.
- Camussi A., Ottaviano E., Caliński T., Kaczmarek Z. 1985. Genetic distance based on quantitative traits. *Genetics* 111: 945 — 962.
- Grela E. R., Günter K. D. 1995. Fatty acid composition and tocopherol content of some legume seeds. *Anim. Feed Sci. Technol.* 52: 325 — 331.
- Grela E., Jensen S. K., Jakobsen K. 1999. Fatty acids composition and content of tocopherols and carotenoids in raw and extruded grass pea (*Lathyrus sativus* L.). *J. Sci. Food Agric.* 79: 2075 — 2078.

- Grela E. R., Rybiński W., Klebaniuk R., Matras J. 2010. Morphological characteristics of some accessions of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. *Gent. Resour. Crop. Evol.* 57 (5): 693 — 701.
- Grundas S. 2004. Charakterystyka właściwości fizycznych ziarniaków w kłosach pszenicy zwyczajnej *Triticum aestivum* L. *Acta Agrophysica* 102: 1 — 64.
- Haman J. 2000. Aktualne kierunki i potrzeby badań agrofizycznych. *Polskie Towarzystwo Agrofizyczne; II Zjazd Naukowy, Lublin-Dąbrowica* 11–12. 09. 2000. Referaty i Doniesienia: 19 — 24.
- Hanbury C. D., White C. L., Mullan B. P., Siddique K. H. M. 2000. A review of the potential of *Lathyrus sativus* L. and *L. cicera* L. grain for use as animal feed. *Anim. Feed Sci. Tech.* 87: 1 — 27.
- Infascelli F., Di Lella T., Piccolo V. 1995. Dry matter, organic matter and crude protein degradability of high protein feeds in buffaloes and sheep. *Zoot. Nutr. Anim.* 21: 89 — 94.
- Kozak M., Bocianowski J., Rybiński W. 2013. Note on the use of coefficient of variation for data from agricultural factorial experiments. *Bulgarian Journal of Agricultural Science* 19 (4): 644 — 646.
- Kozak M., Bocianowski J., Sawkojć S., Wnuk A. 2010. Call for more graphical elements in statistical teaching and consultancy. *Biometrical Letters* 47 (1): 57 — 68.
- Księżak J. 2007. Plonowanie mieszanek łubinu wąskolistnego ze zbożami jarymi na różnych typach gleb. *Zesz. Probl. Postępu Nauk Roln.* 522: 255 — 260.
- Kuo Y. H., Bau H. M., Quemener B., Khan J. K., Lambein F. 1995. Solid-state fermentation of *Lathyrus sativus* seeds using *Aspergillus oryzae* sp. T-3 to eliminate the neurotoxin ODAP without loss of nutritional value. *J. Sci. Food Agric.* 60: 81 — 89.
- Latif M. A., Morris T. R., Jayne-Williams D. J. 1975. Use of khesari (*Lathyrus sativus* L.) in chick diets. *Brit. Poult. Sci.* 17: 539 — 546.
- Mahalanobis P. C. 1936. On the generalized distance in statistics. *Proceedings on the National Institute of Science of India*, 12: 49 — 55.
- Mason L., Romero N. 1990. Fatty acid composition in the extracted from different lupine seeds varieties. *Abstracts 6th Int. Lupine. Conf., Temuco-Pucon, Chile, 1990*, 13.
- Pahl H. 2002. Grain Legumes: production, consumption and trade in the EU and the world. In: *Legumes for sustainable agriculture*, Ed. by LINK, Strasburg, 1 — 15.
- Petterson D. S., Sipsas S., Macintosh J. B. 1997. The chemical composition and nutritive value of Australian pulses. *Grain Research and Development Corporation*. Canberra.
- Rencher A. C. 1998. Interpretation of canonical discriminate functions, canonical varieties, and principal components. *Am. Stat.* 46: 217 — 225.
- Rybiński W., Starzycki M. 2004. Ocena zmienności cech mutantów lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 497: 539 — 550.
- Rybiński W., Błaszczak W., Fornal J. 2006. Seed microstructure and genetic variation of characters in selected grasspea mutants. *Int. Agrophysics* 20 (4): 317 — 326.
- Rybiński W., Grela E. R. 2007. Zróżnicowanie genetyczne cech i składu chemicznego nasion mutantów lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 517: 613 — 627.
- Rybiński W., Bocianowski J., Pankiewicz K. 2008. Zróżnicowanie cech morfologicznych i plonotwórczych u indukowanych mutantów odmian lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Biul. IHAR* 249: 217 — 231.
- Rybiński W., Szot B. 2009. Związki między agrofizyką a genetyką i hodowlą roślin zbożowych oraz strączkowych. *Rozprawy i Monografie, Acta Agrophysica* 174: 1 — 55.
- Rybiński W., Szot B., Bocianowski J., Rusinek R. 2011. Geometric properties of grasspea seeds and their mechanical loads. *Int. Agrophysics* 25: 271 — 280.
- Sadowska J., Jeliński T., Błaszczak W., Konopka J., Rybiński W. 2013. The effect of seed size and microstructure of their mechanical properties and frictional behavior. *Int. J. Food Properties* 16(4): 813 — 825.
- Sawicka E. J. 1993. Indukowane mutacje u łubinu andyjskiego (*Lupinus mutabilis* Sweet.). *Prace Ogródu Botanicznego PAN, Monografie i Rozprawy* 3: 1 — 102.
- Senatore F., Basso F. 1994. Fatty acid and sterol composition from seeds of some *Lathyrus* ecotypes. *Riv. Ital. Sostanze Grasse* 71: 567 — 569.

- Świącicki W., Chudy M., Żuk-Gołaszewska K. 2007. Rośliny strączkowe w projektach badawczych Unii Europejskiej. Zesz. Prob. Post. Nauk Roln. 522: 55 — 65.
- Szot B., Milczak M., Wąsik A. 1998. Charakterystyka właściwości fizycznych nasion lędzwanu (*Lathyrus sativus* L.). Strączkowe Rośliny Białkowe. Ogólnopolska Konferencja Naukowa, Lublin, 4 grudnia 1998. Publikacje: 60 — 65.
- Szot B., Sosulski F. W., Stępniewski A. 1994. Mechanical strength of vitreous and mealy varieties of Canadian and Polish wheat. Int. Agrophysics 8: 339 — 342.
- Szot B., Rybiński W. 2011. Plant physical characteristics in breeding and varietal evaluation. Encyclopedia of Agrophysics, edited by Jan Gliński, Józef Horabik and Jerzy Lipiec. Published by Springer ISBN 978-90-481-3584-4; p: 610 — 621.

