

WOJCIECH RYBIŃSKI ¹
JAN BOCIANOWSKI ²
KATARZYNA PANKIEWICZ ¹

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

² Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Zmienność cech ilościowych mutantów dwóch odmian łądźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.)

Variability of quantitative traits of two mutated grasspea (*Lathyrus sativus* L.) cultivars

Łądźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.) zajmuje w krajowym rolnictwie marginalną pozycję mimo, że na ziemiach polskich obecny jest już od ponad 200 lat (Podlasie i przyległe regiony) i charakteryzuje się wysoką zawartością białka (26–34%) oraz unikalną odpornością na stresy abiotyczne. Wynika to między innymi z faktu konieczności genetycznego udoskonalenia tego gatunku, co może skutkować wzrostem jego konkurencyjności w stosunku do innych uprawnych gatunków roślin strączkowych. Obecna na Podlasiu od dziesiątków lat populacja lokalnych form z ograniczoną pulą genową może limitować prowadzenie efektywnej selekcji w pracach hodowlanych zmierzających do otrzymania ulepszonych odmian łądźwianu siewnego. Rekombinacje, ale głównie indukowane mutacje, mogą wzbogacić aktualne materiały łądźwianu o dodatkową zmienność cech o znaczeniu gospodarczym. W wyniku działania chemomutagenami na nasiona odmian Krab i Derek (wywodzących się z populacji z Podlasia), w pokoleniu M₂ wybrano szereg form. Po kolejnych rozmnożeniach stanowiły one materiał do doświadczeń polowych, które przeprowadzono w latach 2004–2006. Celem pracy była ocena zmienności cech ilościowych u form uzyskanych w wyniku działania mutagenów w porównaniu do ich odmian wyjściowych stanowiących kontrolę. Uzyskane wyniki analizowano w oparciu o wielocechową analizę statystyczną. W celu weryfikacji hipotez ogólnych o braku wpływu obiektów i braku wpływu lat oraz hipotezy o braku współdziałania obiekty × lata na obserwowane cechy fenotypowe, przeprowadzono dwuczynnikową analizę wariancji. Oszacowano wartości średnie i współczynniki zmienności. Dla badanych lat łącznie największe wartości współczynnika zmienności uzyskano dla takich cech jak: wysokość roślin, liczba strąków z rośliny, liczba i masa nasion z rośliny oraz masa 1000 nasion, a najmniejsze dla terminu kwitnienia, liczby nasion ze strąka oraz długości i szerokości strąka. Uzyskany kontrast w porównaniu analizowanych obiektów z ich formami wyjściowymi najczęściej przyjmował znak dodatni, wskazując na wyższe wartości cech dla odmian. Wyrażając odległościami Mahalanobisa podobieństwo poszczególnych obiektów w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi pod względem badanych cech łącznie, wyróżniono formy o największym i najmniejszym podobieństwie na poziomie fenotypowym. Niektóre z nich, o najbardziej korzystnych cechach użytkowych mogą stanowić interesujący materiał wyjściowy w pracach hodowlanych nad ulepszaniem łądźwianu siewnego.

Słowa kluczowe: cechy ilościowe, doświadczenia polowe, *Lathyrus sativus*, mutanty, wielocechowa ocena statystyczna

Grasspea (*Lathyrus sativus* L.) is cultivated in Poland (Podlasie and adjacent regions) since 200 years. Although this pulse crop is characterized by high protein content (26-34%) and unique resistance against abiotic stresses, grasspea plays a marginal role in Polish agriculture. This indicates, among others, the necessity of genetic improvement of this crop to make grasspea more competitive as compared to others pulse crops. A local population of grasspea present in the Podlasie region since many years is characterized by narrow gene pool which limits effective selection in breeding works leading to release improved cultivars. Recombination but mainly induced mutations may enrich the existing grasspea materials with an additional variability of traits important in agriculture. As a result of mutagenic treatment of seeds of two Polish cultivars: Derek and Krab (derived from a local Podlasie population) with chemomutagens, in M₂ progeny many changed plants were selected. After propagation of obtained lines in next generation, part of them constituted initial material for field trials conducted in 2004–2006. The aim of this work was an estimation of quantitative traits variations of mutants in comparison to initial cultivars. The results obtained from field trials were analyzed with a use of multivariate statistics. The two-way analysis of variance was carried out to determine the effects of objects, years and objects × years interaction on the variability of observed phenotypic traits. The mean values and coefficient of variation were estimated. For jointly analyzed results from all years, the highest coefficients of variation were obtained for plant height, number of pods per plant, number and seed weight per plant and 1000 seed weight, and the lowest for flowering times, seeds number per pod and length and broad of pod. The values of contrast in comparisons between initial cultivars (control) and mutants in the most cases were positive which indicated higher values of traits for cultivars. Based on Mahalanobis distances the similarity of particular forms in comparison to cultivars for all traits together were estimated. The forms with highest and lowest similarity to cultivars were distinguished. Part of them, characterized by desirable traits from breeding point of view, can constitute a valuable initial material for further work on genetic improvement of domestic grasspea.

Key words: field trials, *Lathyrus sativus*, multivariate analysis, mutants, quantitative traits

WSTĘP

Badania rolnicze tradycyjnie skupiają się na gatunkach podstawowych, podczas gdy niewiele uwagi poświęca się gatunkom marginalnym. Gatunki takie z reguły traktowane są jako mało atrakcyjne. Inaczej niż gatunki wiodące, wiele gatunków marginalnych jest doskonale zaadaptowanych do skrajnych warunków środowiskowych, takich jak między innymi tereny wyżynne, suche czy gleby o znacznym zasoleniu. Ponadto wiele gatunków uprawnych o marginalnym znaczeniu w skali globalnej ma duże znaczenie na poziomie krajowym, a zwłaszcza regionalnym, dostarczając często żywności będącej ważnym elementem dobrze zbalansowanej diety. Czynnikiem ograniczającym upowszechnienie wielu niedocenianych gatunków jest brak wyczerpującej informacji na ich temat. Należy do nich niewątpliwie lędźwian siewny (obecny na Podlasiu od ponad 200 lat), który z uwagi na swe unikalne właściwości, w obrębie rodzaju *Lathyrus* uznany został za modelową roślinę dla potrzeb zrównoważonego rolnictwa (Vaz Patto i in., 2006). Rodzaj *Lathyrus* należy do plemienia *Vicieae*, do którego należą tak ważne gatunki roślin strączkowych cywilizacji śródziemnomorskiej, jak: bobik (*Vicia faba* L.), groch siewny (*Pisum sativum* L.) czy soczewica (*Lens culinaris* L.). Według Allkin i in. (1983) rodzaj *Lathyrus* jest bardzo bogaty, 187 gatunków występuje zarówno na terenie Starego, jak i Nowego Świata. Najbardziej rozpowszechnionym gatunkiem użytkowym z rodzaju *Lathyrus* jest lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.), który był już uprawiany na Bałkanach około 8000 lat przed Chrystusem. Również wykopaliska archeologiczne prowadzone w

Turcji i Iraku wskazują, że gatunek ten był od dawna uprawiany w tych krajach (Kislev, 1986).

Łęźwian siewny w Polsce znany jest już od ponad 200 lat lecz jego udział w krajowym rolnictwie ma charakter marginalny. Mimo niewątpliwych zalet tego gatunku, jak duża tolerancja na rodzaj gleb, unikalna odporność na suszę (Dziamba, 1997) czy wysoka zawartość białka (do 36%), obecność szeregu niekorzystnych cech w znacznym stopniu limituje udział łęźwianu w strukturze zasiewów. Z uwagi na ograniczoną efektywność rekombinacji powodowaną limitowaną zmiennością naturalną krajowych ekotypów łęźwianu, sięgnięcie po metodę indukowania mutacji daje możliwość poszerzenia istniejącej zmienności genetycznej cech użytkowych (Rybiński i Bocianowski, 2006 a). Otrzymywanie mutantów po działaniu czynników mutagennych przyspiesza i poszerza zmienność pozwalając na wystąpienie zmian nie obserwowanych w przyrodzie lub pojawiających się rzadko (Rybiński i in., 2008 a). Indukowanie mutacji ma szczególne znaczenie w hodowli gatunków odznaczających się wąskim zakresem zmienności naturalnej (Sawicka, 1993). Do takich gatunków należy łęźwian siewny, reprezentowany przez nieliczne krajowe populacje z Podlasia. Indukowane mutacje i hodowla mutacyjna mogą więc być istotnym uzupełnieniem konwencjonalnej metody hodowli roślin, a genetycy i hodowcy roślin mogą je wykorzystywać do tworzenia dodatkowej zmienności cech w programach hodowlanych, zmierzających do uzyskiwania nowych odmian uprawnych (Campbell i in., 1994; Ahloowalia i Małuszyński, 2001; Ahloowalia i in., 2004). Przed kilkoma laty w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu zapoczątkowano prace nad indukowanymi mutacjami, w wyniku których uzyskano mutanty łęźwianu siewnego, systematycznie włączane do kolekcji IGR PAN w Poznaniu oraz Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych w Radzikowie. Część materiałów kolekcyjnych jest przedmiotem prezentowanej pracy. Jej celem jest ocena zmienności cech ilościowych (głównie plonotwórczych) u form uzyskanych działaniem mutagenów w porównaniu do odmian stanowiących kombinację kontrolną.

MATERIAŁ I METODY

Materiał wyjściowy poddawany działaniu mutagenów stanowiły nasiona dwóch krajowych odmian łęźwianu — Derek i Krab. Mutanty otrzymano w wyniku naświetlania nasion światłem lasera oraz indukowania mutacji przy zastosowaniu dwóch chemomutagenów — azydku sodu (NaN_3) i N-nitroso-N-metylomocznika (MNU). W pokoleniu M_2 przeprowadzono wybór zmutowanych genotypów. W pokoleniu M_3 potomstwo wybranych form wysiewano wraz z ich odmianami wyjściowymi w celu potwierdzenia obserwowanych zmian w pokoleniu M_2 . Ustalony mutanty rozmnożono. Do doświadczeń polowych przeprowadzonych w latach 2004–2006 na Polu Doświadczalnym Instytutu Genetyki Roślin PAN w Cerekwicy wybrano dwadzieścia mutantów odmiany Krab oraz szesnaście mutantów odmiany Derek, a także obydwie odmiany wyjściowe. Nasiona mutantów oraz odmian Derek i Krab wysiewano na poletka (o powierzchni $5,2 \text{ m}^2$) w doświadczeniu o blokach losowanych kompletnych w trzech powtórzeniach w rozstawie: 70 cm między rzędami i 25 cm między nasionami w rzędzie. Oprócz określenia

terminu kwitnienia (TK) po zbiorze roślin (na 15 losowo wybranych roślinach z każdego powtórzenia) oceniono wartości następujących cech: wysokość roślin (WS), wysokość osadzenia najniżej na roślinie zawiązanego strąka (WOS), liczbę rozgałęzień (LR), liczbę strąków z rośliny (LSR), długość i szerokość strąka (DS i SZS), liczbę i masę nasion ze strąka pędu głównego (LNS i MNS), liczbę i masę nasion z rośliny (LNR i MNR) oraz masę 1000 nasion (MTN).

Uzyskane wyniki analizowano statystycznie. Dwuczynnikowa analiza wariancji została przeprowadzona w celu weryfikacji hipotez ogólnych o braku wpływu obiektów i braku wpływu lat oraz hipotezy o braku współdziałania obiekty \times lata na obserwowane cechy fenotypowe. Oszacowano wartości średnie i współczynniki zmienności dla badanych cech. W celu oceny zróżnicowania między odmianami wyjściowymi, a ich mutantami pod względem badanych cech, wykonano odpowiednie analizy kontrastów. Analizę kontrastów przeprowadzono poprzez lata ze względu na niewystępowanie istotnego statystycznie współdziałania obiekty \times lata. Ocena współzależności obserwowanych cech dokonana została w oparciu o odpowiednie współczynniki korelacji, estymowane na podstawie średnich obiektowych liczonych poprzez lata. Uzyskane wyniki analizowano również za pomocą metod wielowymiarowych (Caliński i Kaczmarek, 1973; Rencher, 1992). Wielowymiarowe zróżnicowanie obiektów kolekcji określono na podstawie odległości Mahalanobisa (Mahalanobis, 1936). W celu przedstawienia wielocехowej oceny podobieństwa odmian Krab i Derek oraz mutantów lędźwianu w mniejszej liczbie wymiarów z jak najmniejszą stratą informacji zastosowano analizę zmiennych kanonicznych (Camussi i in., 1985; Rencher, 1992). Umożliwia ona zobrazowanie zróżnicowania obiektów pod względem dwunastu cech w formie graficznej. Wszystkie analizy statystyczne wykonano z użyciem pakietu statystycznego GenStat v. 10.1 (GenStat, 2007).

WYNIKI I DYSKUSJA

Lata 2004–2006, w których prowadzono doświadczenia polowe, w okresie wegetacji charakteryzowały się zróżnicowanym poziomem i rozkładem opadów (tab. 1). Jedynie w roku 2004, począwszy od kwietnia (wschody roślin) do końca czerwca, obserwowano systematyczny wzrost opadów z najwyższą wartością w czerwcu (63,8 mm), po okresie kwitnienia i na początku fazy zawiązywania strąków. W analogicznym okresie roku 2005 okresy bardzo niskiego poziomu opadów (14,2 i 11,5 mm w kwietniu i czerwcu) przeplatane były wyższymi opadami w maju (68,0 mm) oraz w ostatniej dekadzie lipca, kiedy rośliny wchodziły w fazę dojrzewania, a dostatek wody nie miał już większego wpływu na poziom plonowania. Poziom opadów w roku 2006 był w każdym miesiącu okresu wegetacji bardzo niski, z minimum (17,4 mm) przypadającym na czerwiec. Susza przerwana została dopiero w pierwszej dekadzie sierpnia (102,4 mm), kiedy rozpoczęto zbiór roślin.

Tabela 1

Poziom opadów i średnie temperatury w okresie doświadczeń polowych w latach 2004–2006
Rainfall level and average temperature during field trials in 2004–2006

| Miesiące Months | Opady (mm) Rainfall (mm) | | | | | | Temperatura (°C) Temperature(°C) | | |
|--------------------|-----------------------------|---------------------|---------------|----------------------|---------------|-----------------------|-------------------------------------|------|------|
| | 2004 | | 2005 | | 2006 | | 2004 | 2005 | 2006 |
| | suma total | dekady decade | suma total | dekady decade | suma total | dekada decade | | | |
| Marzec March | 12,4 | 1,8 8,6 2,0 | 24,7 | 2,1 21,7 0,9 | 16,6 | 3,1 0,0 13,5 | 4,6 | 1,4 | 0,7 |
| Kwiecień April | 14,9 | 2,4 0 12,5 | 14,2 | 4,4 3,4 6,4 | 39,8 | 6,1 13,5 20,2 | 10,0 | 9,6 | 9,2 |
| Maj May | 45,9 | 25,7 15,1 5,1 | 68,0 | 27,5 24,2 16,3 | 33,3 | 11,3 7,1 14,9 | 13,2 | 14,3 | 14,4 |
| Czerwiec June | 63,8 | 6,3 29,3 28,2 | 11,5 | 11,5 0,0 0,0 | 17,4 | 5,8 3,0 8,6 | 16,7 | 17,4 | 19,5 |
| Lipiec July | 30,4 | 11,3 27,8 2,6 | 96,6 | 25,2 6,9 64,5 | 23,8 | 0,8 21,2 1,8 | 18,7 | 20,3 | 22,9 |
| Sierpień August | 41,8 | 0,2 14,1 27,5 | 56,7 | 41,5 8,1 7,1 | 162,0 | 102,4 16,0 43,6 | 21,0 | 17,6 | 16,7 |

Przeprowadzona dwuczynnikowa analiza wariancji (obiekty, lata) pozwoliła odrzucić hipotezę ogólną o braku różnic pomiędzy obiektami dla wszystkich badanych cech. Nie stwierdzono wpływu na określone cechy lat ani interakcji genotypów badanych obiektów z latami badań. W tabeli 2 przedstawiono wartości średnich dla odmian wyjściowych i pochodzących z nich mutantów pod względem analizowanych cech w poszczególnych latach. Termin kwitnienia ocenianych form wyrażono liczbą dni od wysiewu do momentu kiedy 50% roślin osiągało fazę kwitnienia. Najpóźniej zakwitły odmiany Derek i Krab oraz mutanty w roku 2004 (powyżej 70 dni). Wcześniej (poniżej 66 dni) rozpoczynały kwitnienie rośliny w latach 2005 i 2006. Wykazane powyżej różnice mogły wynikać z przebiegu pogody w końcu maja, a zwłaszcza w czerwcu, na który przypadało kwitnienie roślin. O ile poziom opadów w czerwcu 2004 roku wynosił 63,8 mm, to w dwóch kolejnych latach był to poziom 11,5 i 17,4 mm (tab. 1). Wyższe średnie temperatury w czerwcu 2005 i 2006 przy silnym niedoborze wody mogły mieć wpływ na przyspieszenie terminu rozpoczęcia kwitnienia w porównaniu z rokiem 2004. Nie obserwowano natomiast wyraźnych różnic dla średnich dotyczących terminu kwitnienia między mutantami a odmianami, aczkolwiek wyróżniono mutanty które w trzyletnim okresie badań charakteryzowały się wcześniejszym kwitnieniem. Wszystkie oceniane w pracy rośliny odznaczały się jednolicie białą barwą kwiatu, co jest typowe dla europejskich form lędźwianu (Campbell, 1997; Grela i in., 2010).

Silny stres wodny towarzyszący roślinom w czerwcu 2005 i 2006 roku wpłynął na obniżenie wartości analizowanych cech w porównaniu z otrzymanymi w roku 2004.

Dotyczy to w szczególności wysokości roślin, liczby strąków z rośliny oraz liczby i masy nasion z rośliny (tab. 2). Oceniając inną grupę mutantów, otrzymanych w ten sam sposób jak mutanty w prezentowanej pracy, zakres zmienności wysokości roślin oraz liczby strąków z rośliny w wyjątkowo suchym roku 2003 (148,9 mm od marca do września) wynosił odpowiednio od 27,5 do 42,5 cm oraz 33,5 do 64,4 strąków natomiast w mokrym roku 2002 (361,6 mm w analogicznym okresie) wynosił od 67,8 do 94,3 cm oraz 72,5 do 145,6 strąków z rośliny (Rybiński i Bocianowski, 2006 b). W zależności od odmiany i warunków środowiskowych rośliny mogą osiągać różną wysokość. W badaniach nad europejskimi materiałami kolekcyjnymi w warunkach stresu wodnego zakres wysokości roślin wynosił od 37,2 cm do 63,6 cm (Rybiński i in., 2008 b). W badaniach 1187 form z Indii wysokość roślin wynosiła od 15 do 68 cm (Pandey i in., 1995), w warunkach Kanady od 24 do 172 cm (Campbell, 1997), a w Polsce (Dziamba, 1997) od 60 do 120 cm, przy 2–3 łodygach z rośliny. Na istotne poszerzenie zmienności genetycznej wysokości roślin uzyskanych działaniem mutagenów w zakresie od 37 do 118 cm, przy średniej 68,3 cm, wskazują wyniki Waghmare i Mehra (2000). Wynika z tego, że możliwe jest otrzymanie mutantów o obniżonej wysokości sprzyjającej zwiększeniu odporności na wyleganie. Zgodnie z klasyfikacją Dziamby (1997) wartości graniczne masy 1000 nasion dla ich podziału na drobnonasienne, średnio nasienne i grubonasienne wynoszą odpowiednio: 50–150 g; 150–250 g i powyżej 250 g. Pośród krajowych odmian: Derek i Krab, pierwsza z nich to forma drobnonasienna o masie 1000 nasion nie przekraczającej 130 g, a druga średnionasienna o masie w granicach od 150 do 200 g (Milczak i in., 1997; Milczak i in., 2001). Potwierdziły to wyniki prezentowanej pracy, przy czym średnie wartości MTN dla mutantów odmiany Derek w każdym roku były niższe niż dla odmiany Krab. Najmniej było to widoczne w suchym roku 2006 (137,4 i 143 g). Odmienną reakcją obserwowano dla mutantów z odmiany Derek, z najwyższą MTN u mutantów w roku 2006 wynoszącą 148,8 g przy 105 g dla odmiany Derek. Podsumowując wyniki dotyczące MTN, można stwierdzić, że redukcji liczby strąków z rośliny w warunkach niedoboru wody nie musi towarzyszyć obniżenie masy pojedynczego nasiona. Roślina w warunkach stresowych wiąże mniej strąków lecz przy późniejszym wzroście poziomym opadów mniejszej liczbie nasion z rośliny towarzyszy ich lepsze wypełnienie i wzrost MTN. Przykładem mogą tu być mutanty odmiany Krab w najbardziej suchym roku 2006. Liczba strąków z rośliny dla odmiany i mutantów wynosiła odpowiednio 44 i 28 strąków (przy silnej redukcji liczby i masy nasion z rośliny u mutantów), natomiast MTN była prawie identyczna na poziomie 143 i 137 g. W badaniach Waghmare i Mehra (2000) pośród form pokolenia M₃ po działaniu promieni gamma i chemomutagenu EMS, zakres zmienności MTN wynosił od 51 do 232 g przy wartości średniej na poziomie 121 g. W Australii pośród 451 form kolekcyjnych MTN wynosiła od 190 do 220 g (Hanbury i in., 1995), w Bangladesz od 29,5 do 67,6 g (Sarwar i in., 1995), pośród 272 form od 34,5 do 225,9 g (Robertson i Abd El Moniem, 1995), a w Kanadzie pośród 732 form od 56 do 288 g (Campbell, 1997). W badaniach formy drobnonasienne z reguły pochodziły z Azji Południowo-Wschodniej, a wielkonasienne z terenów Morza Śródziemnego.

Tabela 2

Wartości średnich dla analizowanych cech odmian wyjściowych i mutantów w poszczególnych latach
Mean values of analyzed traits for initial cultivars and their mutants in years

| Obiekty i lata Objects and years | Wartości średnich dla cech Means for traits | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|--------|-------|--------|
| | TK* | WS | WOS | LR | LSR | DS | SZS | LNS | MNS | LNR | MNR | MTN |
| cv. Krab 2004 | 74,01 | 99,60 | 21,40 | 6,00 | 118,4 | 3,70 | 1,40 | 3,20 | 0,59 | 319,00 | 52,40 | 163,76 |
| Mutantki mutantów | 74,65 | 96,93 | 21,24 | 5,38 | 78,5 | 3,64 | 1,28 | 3,08 | 0,44 | 210,85 | 31,49 | 145,55 |
| cv. Krab 2005 | 62,97 | 58,00 | 22,20 | 6,06 | 24,0 | 3,40 | 1,30 | 3,24 | 0,61 | 74,20 | 13,90 | 187,15 |
| Mutantki, mutantów | 63,80 | 60,26 | 22,22 | 4,88 | 27,9 | 3,50 | 1,31 | 3,19 | 0,48 | 77,32 | 11,69 | 152,00 |
| cv. Krab 2006 | 61,12 | 63,32 | 21,00 | 6,03 | 44,8 | 3,70 | 1,40 | 2,90 | 0,42 | 107,50 | 15,14 | 143,27 |
| Mutantki mutantów | 61,00 | 50,89 | 22,92 | 5,64 | 28,4 | 3,10 | 1,20 | 3,10 | 0,44 | 79,60 | 10,63 | 137,40 |
| cv. Derek 2004 | 75,23 | 92,91 | 17,29 | 5,20 | 100,6 | 3,60 | 1,30 | 3,70 | 0,47 | 342,08 | 41,50 | 120,18 |
| Mutantki mutantów | 74,06 | 96,61 | 18,81 | 4,52 | 71,5 | 3,72 | 1,28 | 2,97 | 0,45 | 166,59 | 25,21 | 145,50 |
| cv. Derek 2005 | 66,31 | 57,04 | 18,40 | 3,81 | 24,1 | 3,50 | 1,20 | 3,88 | 0,41 | 87,20 | 9,12 | 105,06 |
| Mutantki mutantów | 63,75 | 68,47 | 24,75 | 4,85 | 31,6 | 3,47 | 1,27 | 2,97 | 0,46 | 83,11 | 12,56 | 148,87 |
| cv. Derek 2006 | 62,88 | 56,60 | 16,10 | 5,11 | 54,4 | 3,80 | 1,30 | 3,50 | 0,36 | 157,60 | 12,91 | 87,98 |
| Mutantki mutantów | 62,81 | 68,78 | 22,21 | 6,26 | 34,8 | 3,53 | 1,30 | 2,91 | 0,32 | 87,44 | 9,24 | 105,75 |

*TK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR — Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds

W tabeli 3 przedstawiono wartości średnich oraz współczynników zmienności dla poszczególnych cech u badanych mutantów. Biorąc pod uwagę wartości średnich, najwyższe wartości, zwłaszcza w odniesieniu do najważniejszych cech plonotwórczych obserwowano w mokrym roku 2004, następnie w suchszym roku 2005, a tylko dla liczby rozgałęzień z rośliny w najbardziej suchym roku 2006. Z kolei najwyższe wartości współczynnika zmienności w latach 2004 i 2006 uzyskano odpowiednio dla siedmiu oraz pięciu cech, a dla żadnej w roku 2005. W okresie trzyletnim, największej zmienności podlegała liczba i masa nasion z rośliny, liczba strąków z rośliny i wysokość roślin, a najmniejszej długość i szerokość strąka oraz termin kwitnienia. Podobny efekt u mutantów lędźwianu obserwowano w bardzo suchym roku 2002 (Rybiński i Bocianowski, 2006 b).

Charakterystyka zmienności cech mutantów lędzwanu siewnego
Characteristics of traits variation of grasspea mutants

| Cechy Traits | 2004 | | 2005 | | 2006 | | 2004-2006 | |
|---|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| | \bar{x} | CV (%) | \bar{x} | CV (%) | \bar{x} | CV (%) | \bar{x} | CV (%) |
| Czas kwitnienia Time of flowering | 74,39 | 1,26 | 63,78 | 3,05 | 61,81 | 3,35 | 66,66 | 8,71 |
| Wysokość roślin (cm) Plant height (cm) | 96,79 | 20,87 | 63,78 | 11,04 | 58,84 | 19,30 | 70,00 | 29,92 |
| Wysokość osadzenia najniższego strąka Height of the lowest pod (cm) | 20,19 | 26,39 | 23,30 | 15,36 | 22,61 | 11,25 | 22,04 | 18,86 |
| Liczba rozgałęzień z rośliny Number of branches per plant | 5,01 | 18,89 | 4,87 | 12,96 | 5,92 | 12,71 | 5,27 | 17,26 |
| Liczba strąków z rośliny Number of pods/plant | 75,64 | 32,61 | 29,48 | 24,31 | 31,23 | 21,18 | 45,03 | 57,83 |
| Długość strąka (cm) Pod length (cm) | 3,67 | 6,38 | 3,49 | 6,59 | 3,29 | 9,25 | 3,48 | 8,62 |
| Szerokość strąka (cm) Pod width (cm) | 1,28 | 7,73 | 1,29 | 6,18 | 1,24 | 7,79 | 1,27 | 7,34 |
| Liczba nasion ze strąka Number of seeds/pod | 3,03 | 9,25 | 3,03 | 9,55 | 3,01 | 13,70 | 3,07 | 10,70 |
| Masa nasion ze strąka (g) Weight of seeds/pod (g) | 0,45 | 16,89 | 0,47 | 13,69 | 0,39 | 21,86 | 0,43 | 19,15 |
| Liczba nasion z rośliny Number of seeds/plant | 192,62 | 37,61 | 79,80 | 21,76 | 83,08 | 24,96 | 117,46 | 58,00 |
| Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds/plant (g) | 28,90 | 46,27 | 12,06 | 27,21 | 10,01 | 21,72 | 16,81 | 68,66 |
| Masa 1000 nasion (g) Weight of 1000 seeds (g) | 145,53 | 22,79 | 150,66 | 14,06 | 123,33 | 20,08 | 139,63 | 20,84 |

CV — współczynnik zmienności (%)
 CV — Coefficient of variation (%)

W badaniach mutacyjnych Waghmare i Mehra (2000) stosujących EMS i promienie gamma najwyższe wartości współczynnika zmienności dla roślin ocenianych w pokoleniu M₃ uzyskano dla masy i liczby nasion z rośliny (70,1 i 20,8%) oraz liczby strąków z rośliny (66,5%) i wysokości roślin (19,2%), a najniższe (7,9% i 9,9%) dla długości strąka i terminu kwitnienia. Mimo stosunkowo niskiej wartości współczynnika zmienności dla liczby nasion w strąku w latach 2004-2006, jego wartość dla masy nasion ze strąka była wyraźnie wyższa, wskazując na większą zmienność tej cechy. Ocenę różnic między odmianami Derek i Krab a mutantami pod względem analizowanych cech w poszczególnych latach wyrażono w wartościach kontrastu (tab. 4). Zdecydowanie dominowały dodatnie wartości kontrastu, wskazując na wyższe wartości cech u odmian aniżeli mutantów. Dla niektórych cech uzyskano ujemne wartości. Dotyczy to w szczególności suchego 2005 roku. W odniesieniu do porównań odmiany Krab i Derek z ich mutantami liczba ujemnych wartości kontrastu wynosiła odpowiednio: siedem i dziewięć. Wskazuje to, że w roku 2005 pod względem największej liczby cech mutanty przewyższyły odmiany Derek i Krab. Niezależnie czy wartości kontrastu przyjmowały wartości dodatnie czy ujemne, tylko część z nich była statystycznie istotna. Na uwagę zasługują ujemne i statystycznie istotne wartości kontrastu w suchym 2005 roku dla porównań odmiany Derek z mutantami w

odniesieniu do wysokości roślin, wysokości osadzenia najniżej zawiązanego na roślinie strąka, liczby nasion w strąku i MTN oraz wysokości roślin i wysokości osadzenia najniżej zawiązanego na roślinie strąka w roku 2006.

Tabela 4

Ocena zróżnicowania między odmianami wyjściowymi a mutantami dla badanych cech
The estimation of variability in analyzed traits between initial cultivars and mutants

| Cechy w latach Traits in years | Wartość kontrastu dla porównywanych obiektów Contrast estimation for compared objects | | | | | |
|--------------------------------------|--|--------|---------|--|----------|----------|
| | odmiana Krab — mutant cv. Krab — mutant | | | odmiana Derek — mutant cv. Derek — mutant | | |
| | 2004 | 2005 | 2006 | 2004 | 2005 | 2006 |
| ^x TK | -0,65 | -0,80 | 0,00 | 0,94 | 2,30* | 0,19 |
| WS | 2,70 | -2,30 | 12,26** | -3,61 | -11,27** | -12,00** |
| WOS | 0,17 | -0,02 | -1,91* | -1,94* | -6,30*** | -6,12*** |
| LR | 0,62 | 1,10* | 0,36 | 0,65 | -1,00 | -1,32* |
| LSR | 40,00*** | -3,90 | 16,31* | 28,28** | -7,42 | 19,47* |
| DS | 0,07 | -0,10 | 0,60* | -0,11 | 0,03 | 0,27 |
| SZS | 0,13* | -0,01 | 0,20* | 0,02 | -0,07 | 0,00 |
| LNS | 0,13 | 0,05 | -0,20 | 0,72 | -4,52*** | 0,59 |
| MNS | 0,15* | 0,13* | -0,02 | 0,02 | -0,05 | 0,04 |
| LNR | 108,01*** | -3,11 | 28,32 | 171,25*** | 0,91 | 70,00** |
| MNR | 21,04** | 2,23 | 4,51 | 16,04** | -3,42 | 3,72 |
| MTN | 18,22 | 35,28* | 5,60 | -25,28 | -44,05* | -18,06 |

*Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0.05$ level

**Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0.01$ level

***Istotne na poziomie $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0.001$ level

^xTK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR - Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds

Szczegółową ocenę porównań odmiany wyjściowej z każdym z mutantów odmian Krab i Derek w trzyletnim okresie badań przedstawiono w tabelach 5 i 6. W porównaniach odmiany Krab z mutantami dominowały dodatnie wartości kontrastu, wskazując na wyższe wartości cech u odmian (tab. 5). Wyjątek stanowiły wyniki w odniesieniu do terminu kwitnienia i wysokości najniżej osadzanych na roślinie strąków, gdzie dla większości porównań uzyskano ujemne wartości kontrastu, wskazujące na późniejsze kwitnienie mutantów i wyższe zawiązywanie strąków. Z kolei prawie wyłącznie dodatnie wartości kontrastu dla wysokości roślin wskazują na redukcję wartości tej cechy u mutantów. Ma to istotne znaczenie w kontekście silnej tendencji łądzwianu do wylegania (Dziamba, 1997), związanej z wiotkimi i wolno drewniejącymi łodygami tworzącymi charakterystyczny „rozpostarty” pokrój roślin. Mimo widocznej redukcji wartości cech struktury plonu mutantów na uwagę zasługuje mutant K 42 o wyższej masie nasion z rośliny i istotnie wyższej MTN.

Ocena zróżnicowania między odmianą wyjściową Krab i poszczególnymi mutantami dla badanych cech (za okres trzech lat)
The estimation of variability in analyzed (for three years period) traits between initial cultivar Krab and its mutants

| Porównywane obiekty Compared objects | Ocena kontrastu dla cech Contrast estimation for traits | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|------|------|-----|-------|---------|-------|--------|------|------|------|
| | ^x TK | WS | WOS | LR | LSR | DS | SZS | LNS | MNS | LNR | MNR | MTN |
| Krab-K 37 | -1,3 | 5,0 | -0,3 | 0,47 | 15 | 0,3 | 0,03 | 0,11 | 0,07 | 38 | 9 | 16 |
| Krab-K 38 | -1,3 | 2,0 | 0,4 | 0,63 | 40 | 0,2 | 0,1 | 0,08 | 0,1 | 99 | 18 | 32 |
| Krab-K 39 | -2,0 | -5,0 | -5,0 | -0,1 | 17 | 0,33 | 0,1 | -0,02 | 0,1 | 57 | 11 | 15 |
| Krab-K 40 | -0,7 | 7,0 | -5,0 | 0,23 | 24 | 0,2 | 0,03 | -0,05 | 0,13* | 74 | 15 | 32 |
| Krab-K 41 | 0,7 | 4,0 | -2,0 | 0,23 | 7,0 | 0,4 | 0,2** | -0,05 | 0,15* | 30 | 11 | 44* |
| Krab-K 42 | 1,3 | 4,0 | -2,4 | 0,5 | 12 | 0,07 | 0,0 | 0,03 | 0,02 | 29 | -6,0 | -40* |
| Krab-K 43 | 0,7 | 8,0 | -0,8 | 1,1 | 19 | 0,2 | 0,13 | -0,05 | 0,07 | 69 | 10 | -3 |
| Krab-K 44 | -1,7 | 8,0 | 0,9 | 0,6 | 20 | 0,23 | 0,17* | -0,36 | 0,07 | 32 | 10 | 36 |
| Krab-K 45 | -1,0 | 8,0 | 0,5 | 0,67 | 5,0 | 0,4 | 0,23*** | -0,23 | 0,17** | -7,0 | 9,0 | 58** |
| Krab-K 46 | 0,7 | 2,0 | -0,1 | 1,53 | 33 | 0,53* | 0,27*** | -0,27 | 0,20** | 74 | 18 | 67** |
| Krab-K 47 | -0,7 | 4,0 | -0,9 | 0,23 | 8,0 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,05 | 17 | 4,0 | 6 |
| Krab-K 48 | 0,3 | 6,0 | 2,3 | 0,97 | 15 | -0,17 | 0,1 | 0,03 | 0,013 | 43 | 6,0 | -1 |
| Krab-K 49 | 0,0 | 7,0 | 2,2 | 0,23 | 3,0 | 0,03 | 0,1 | 0,08 | 0,08 | 7,0 | 4,0 | 22 |
| Krab-K 50 | -1,0 | 9,0 | 2,6 | 1,37 | 11 | 0,37 | 0,03 | 0,12 | 0,16** | 31 | 12 | 48* |
| Krab-K 51 | 0,0 | 1,0 | 0,0 | 1,2 | 26 | 0,5* | 0,13 | 0,27 | 0,16** | 76 | 15 | 36 |
| Krab-K 52 | 0,7 | 4,0 | -0,7 | 0,77 | 11 | 0,07 | 0,07 | 0,22 | 0,07 | 39 | 6,0 | 5 |
| Krab-K 53 | -2,3 | 0,0 | -4,8 | 0,6 | 29 | 0,2 | 0,1 | -0,18 | 0,05 | 67 | 13 | 19 |
| Krab-K 54 | -1,7 | 5,0 | 1,5 | 0,5 | 15 | 0,07 | 0,17* | -0,23 | 0,04 | 16 | 5,0 | 18 |
| Krab-K 55 | -2,0 | 4,0 | -0,3 | 1,4 | 22 | -0,27 | 0,07 | -0,05 | -0,04 | 45 | 6,0 | -10 |
| Krab-K 56 | 1,7 | 3,0 | 0,0 | 0,87 | 16 | 0,07 | 0,0 | 0,33 | 0,04 | 51 | 7,0 | -8 |

*Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0,05$ level

**Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0,01$ level

*** Istotne na poziomie $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0,001$ level

^xTK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR — Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds

Z kolei mutanty z odmiany Derek charakteryzowały się wcześniejszym kwitnieniem, wyższymi roślinami, wyższym osadzaniem najniższych strąków i lepszą krzewistością, przy silnej i istotnej redukcji liczby nasion w strąku (tab. 6). Ta ostatnia cecha, przy niższej liczbie strąków z rośliny wiązała się z wykształcaniem większych nasion, co znalazło odzwierciedlenie w wyższych wartościach MTN mutantów jak np. D 413 czy D 425. Cecha ta była pozytywnie i istotnie skorelowana z szerokością strąka oraz masą nasion ze strąka i rośliny (tab. 7). Z kolei masa nasion ze strąka była pozytywnie i istotnie skorelowana z jego morfologią (długością i szerokością) oraz masą nasion z rośliny. Z reguły formy o szerokich i eliptycznych strąkach wiążą mniej nasion w strąku lecz o wysokiej masie pojedynczego nasiona, co jest typowe dla grubonasiennych form pochodzących z Basenu Morza Śródziemnego (Campbell, 1997).

Ocena zróżnicowania między odmianą wyjściową Derek i poszczególnymi mutantami dla badanych cech (za okres trzech lat)
The estimation of variability in analyzed (for three years period) traits between initial cultivar Derek and its mutants

| Porównywane objekty Compared objects | Ocena kontrastu dla cech Contrast estimation for traits | | | | | | | | | | | |
|---|--|------|-------|-------|-----|-------|-------|---------|-------|-----|-----|------|
| | ^x TK | WS | WOS | LR | LSR | DS | SZS | LNS | MNS | LNR | MNR | MTN |
| Derek-D 413 | 0,7 | -27 | -7,8* | -0,67 | 9 | 0,00 | -0,03 | 1,4*** | 0,02 | 100 | 7,0 | -43* |
| Derek-D 414 | 0,3 | -20 | -6,6 | -0,27 | 17 | 0,10 | 0,00 | 0,74*** | 0,03 | 85 | 7,0 | -20 |
| Derek-D 415 | 2,3 | -24 | -4,0 | -0,60 | 16 | 0,03 | 0,00 | 1,13*** | 0,10 | 123 | 12 | -21 |
| Derek-D 416 | 1,7 | -8,0 | -3,9 | -1,52 | 23 | -0,16 | -0,13 | -0,10 | 0,04 | 84 | 10 | 7 |
| Derek-D 417 | 0,0 | -8,0 | -3,9 | -1,17 | 10 | 0,43* | 0,02 | 0,90*** | 0,00 | 75 | 5,0 | -27 |
| Derek-D 418 | 0,3 | -9,0 | -4,5 | -0,47 | 7 | 0,07 | 0,03 | 0,94*** | 0,01 | 79 | 5,0 | -37 |
| Derek-D 419 | 0,3 | -19 | -6,6 | -0,60 | 11 | 0,07 | 0,00 | 0,51* | -0,01 | 61 | 4,0 | -24 |
| Derek-D 420 | 0,3 | -12 | -5,2 | -0,87 | 7 | 0,13 | -0,07 | 0,59** | -0,03 | 52 | 0,0 | -35 |
| Derek-D 421 | -0,7 | -6,0 | -6,8 | -0,73 | 12 | -0,23 | -0,07 | 0,33 | -0,08 | 74 | 3,0 | -40 |
| Derek-D 422 | 1,3 | -7,0 | -5,7 | -0,87 | 10 | 0,13 | -0,03 | 0,86*** | 0,02 | 65 | 3,0 | -27 |
| Derek-D 423 | 1,0 | -2,0 | -4,7 | -0,40 | 22 | -0,27 | -0,10 | 0,47* | -0,11 | 91 | 4,0 | -28 |
| Derek-D 424 | 2,7 | -1,0 | -6,0 | 0,03 | 19 | 0,00 | -0,03 | 0,46* | 0,00 | 92 | 7,0 | -27 |
| Derek-D 425 | 2,3 | -3,0 | -2,0 | -0,27 | 17 | 0,07 | 0,00 | 1,09*** | 0,02 | 96 | 6,0 | -43* |
| Derek-D 426 | 1,3 | 3,0 | -1,3 | -1,07 | 7 | 0,30 | 0,00 | 0,92*** | 0,04 | 74 | 4,0 | -31 |
| Derek-D 427 | 1,0 | -2,0 | -3,1 | -0,20 | 23 | 0,00 | 0,03 | 0,97*** | 0,08 | 107 | 10 | -17 |
| Derek-D 428 | 3,0 | 2,0 | -3,5 | -0,03 | 26 | 0,30 | 0,07 | 0,45* | -0,01 | 98 | 9,0 | -14 |

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0.05$ level

** Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0.01$ level

*** Istotne na poziomie $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0.001$ level

^xTK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR — Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds

Ważna z plonotwórczego punktu widzenia, liczba strąków z rośliny, była pozytywnie i istotnie skorelowana z liczbą rozgałęzień oraz liczbą i masą nasion z rośliny. Ze względu na mechaniczny zbiór roślin pożądaną są formy zawiązujące najniższe strąki dostatecznie wysoko od powierzchni gleby (Dziamba, 1997). Cecha ta jest istotnie i dodatnio związana z wysokością roślin, wskazując na problemy z selekcją form o zredukowanej wysokości (i poprawionej odporności na wyleganie) lecz zawiązujące strąki dostatecznie wysoko.

Podobieństwo między każdym z mutantów, a odmianami Derek i Krab pod względem badanych cech łącznie w trzyletnim okresie doświadczeń polowych wyrażono odległościami Mahalanobisa (tab. 8). Generalnie wyższe wartości uzyskano w porównaniach mutantów z odmianą Derek niż z odmianą Krab. Wskazuje to, że mutanty z odmiany Derek bardziej różniły się od swej formy wyjściowej niż mutanty z odmiany Krab. Uzyskane wyniki pozwoliły wyróżnić mutanty o największym jak i najmniejszym podobieństwie na poziomie fenotypowym w stosunku do kontrolnych odmian Derek i Krab.

Tabela 7

Wartości współczynnika korelacji dla analizowanych cech mutantów lędzwanu siewnego (z trzech lat)
Correlation coefficient between analyzed characteristics of grasspea mutants (mean values from three years)

| | ^x TK | WS | WOS | LR | LSR | DS | SZS | LNS | MNS | LNR | MNR | MTN |
|-----|-----------------|--------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|---------|---------|---------|-----|
| TK | 1 | | | | | | | | | | | |
| WS | 0,26 | 1 | | | | | | | | | | |
| WOS | 0,15 | 0,40* | 1 | | | | | | | | | |
| LR | 0,16 | 0,13 | 0,30 | 1 | | | | | | | | |
| LSR | 0,04 | 0,01 | -0,19 | 0,33* | 1 | | | | | | | |
| DS | 0,13 | 0,21 | -0,04 | -0,02 | 0,08 | 1 | | | | | | |
| SZS | 0,01 | 0,14 | 0,17 | 0,28 | 0,11 | 0,56*** | 1 | | | | | |
| LNS | 0,18 | -0,36* | -0,02 | 0,05 | -0,10 | -0,08 | 0,06 | 1 | | | | |
| MNS | 0,06 | -0,30 | 0,14 | 0,12 | 0,15 | 0,42** | 0,39* | 0,10 | 1 | | | |
| LNR | 0,16 | -0,28 | -0,31 | 0,22 | 0,82*** | 0,05 | 0,01 | 0,17 | 0,30 | 1 | | |
| MNR | -0,08 | -0,26 | -0,07 | 0,26 | 0,68*** | 0,26 | 0,32 | 0,09 | 0,70*** | 0,72*** | 1 | |
| MTN | -0,20 | -0,09 | 0,24 | 0,14 | 0,21 | 0,30 | 0,40* | -0,05 | 0,76*** | 0,06 | 0,69*** | 1 |

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0.05$ level

**Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0.01$ level

***Istotne na poziomie $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0.001$ level

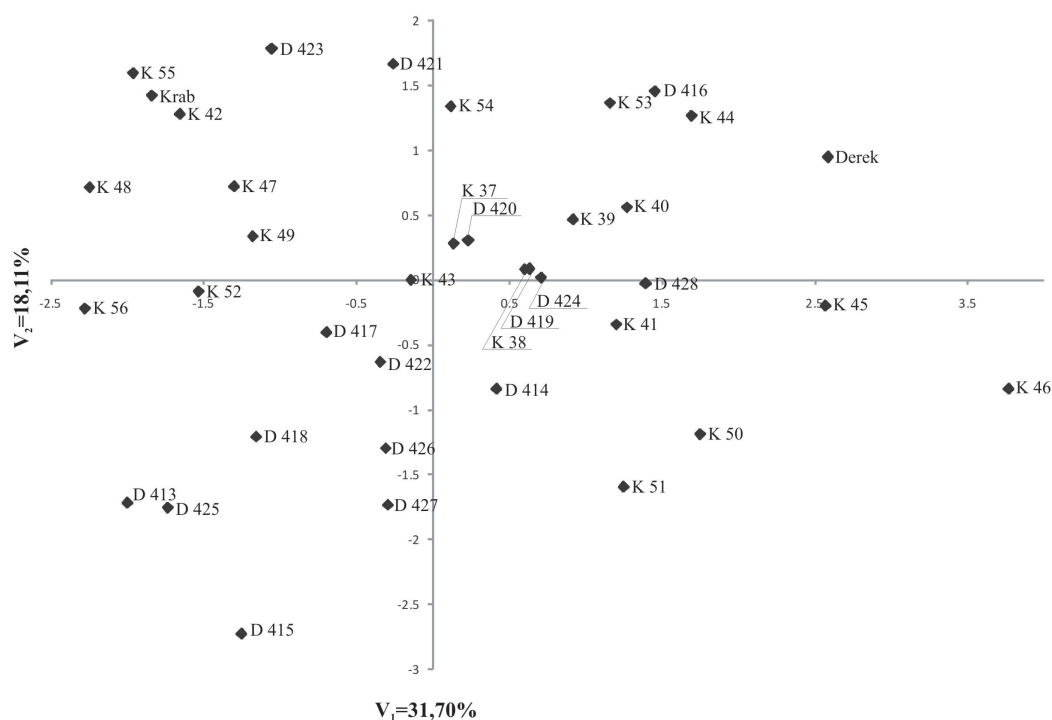
^xTK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR — Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds.

Tabela 8

Porównanie odległości Mahalanobisa w pomiędzy mutantami i ich formami wyjściowymi Derek i Krab
Mahalanobis distances compared between mutants and their initial cultivars Derek and Krab

| Mutanty (D 413-D 428) — Derek Mutants (D 413-D 428) — c.v. Derek | | | | Mutanty (K 37-K 56) — Krab Mutants (K 37-K 56) — c.v. Krab | | | |
|---|-------|-------|-------|---|-------|------|-------|
| D 413 | 6,269 | D 421 | 4,135 | K 37 | 2,925 | K 47 | 2,223 |
| D 414 | 3,934 | D 422 | 4,323 | K 38 | 3,926 | K 48 | 2,712 |
| D 415 | 6,014 | D 423 | 5,059 | K 39 | 3,865 | K 49 | 2,185 |
| D 416 | 4,858 | D 424 | 3,143 | K 40 | 4,219 | K 50 | 4,974 |
| D 417 | 5,594 | D 425 | 5,512 | K 41 | 4,011 | K 51 | 4,679 |
| D 418 | 5,105 | D 426 | 4,857 | K 42 | 3,483 | K 52 | 2,162 |
| D 419 | 3,354 | D 427 | 4,685 | K 43 | 3,324 | K 53 | 4,000 |
| D 420 | 3,895 | D 428 | 3,144 | K 44 | 4,036 | K 54 | 3,354 |
| | | | | K 45 | 5,331 | K 55 | 3,276 |
| | | | | K 46 | 6,577 | K 56 | 2,219 |

Najwyższymi wartościami odległości Mahalanobisa (a więc najmniejszym podobieństwem) wyróżniały się mutanty D 413, D 415 oraz D 425, a w odniesieniu do odmiany Krab mutant K 46, K 45 i K 50 (tab. 8). Szereg innych mutantów (najkrótsze odległości) w znacznie mniejszym stopniu różniło się od swych odmian kontrolnych. W formie przestrzennej prezentuje to rysunek 1 obrazując położenie wszystkich obiektów w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych. Dwie pierwsze zmienne kanoniczne wyjaśniały w sumie 49,81% całkowitej zmienności.



Derek i Krab — odmiany wyjściowe; Derek and Krab — initial cultivars

D and K — mutant z odmiany Derek lub Krab; D and K — mutant from cultivar Derek or Krab

Rys. 1. Rozmieszczenie mutantów i ich form wyjściowych Derek i Krab w układzie dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych pod względem badanych cech

Fig. 1. Distribution of mutants and their initial cultivars Derek and Krab in the space of two first canonical variables for the analyzed traits

Pierwsza zmienna kanoniczna skorelowana była dodatnio z liczbą nasion ze strąką, a ujemnie z długością strąka, szerokością strąka, masą nasion ze strąką, masą nasion z rośliny i masą tysiąca nasion (tab. 9). Natomiast druga zmienna kanoniczna skorelowana była dodatnio z długością strąka, szerokością strąka, liczbą nasion ze strąką, masą nasion ze strąką, liczbą nasion z rośliny i masą nasion z rośliny, a ujemnie z wysokością rośliny (tab. 9). Wyniki te wskazują, że ich wykorzystanie w dostatecznym stopniu uwiarygodnia przestrzenne położenie obiektów oraz potwierdza efektywność charakterystyki wielocechowej. Ocena taka jest bardzo wiarygodna, czego potwierdzeniem jest jej szerokie zastosowanie przez hodowców i genetyków (Bocianowski i Rybiński, 2006; 2008; Bocianowski i Skomra, 2008; Bocianowski i in., 2009; Rybiński i in., 2009; Bocianowski i Stokłosa, 2010; Seidler-Łożykowska i in., 2010).

Współczynniki korelacji między trzema pierwszymi zmiennymi kanonicznymi a cechami mutantów łądźwianu siewnego
Correlation coefficients between the first three canonical variates and the characters of grasspea mutants

| Cecha Trait | Pierwsza zmienna kanoniczna First canonical variate | Druga zmienna kanoniczna Second canonical variate | Trzecia zmienna kanoniczna Third canonical variate |
|---|--|--|---|
| TK* | 0,183 | 0,241 | 0,020 |
| WS | -0,197 | -0,351* | -0,088 |
| WOS | -0,003 | 0,169 | 0,408* |
| LR | -0,161 | 0,285 | 0,340* |
| LSR | -0,284 | 0,040 | 0,098 |
| DS | -0,564*** | 0,376* | -0,615*** |
| SZS | -0,481** | 0,322* | 0,097 |
| LNS | 0,606*** | 0,740*** | -0,329* |
| MNS | -0,482** | 0,771*** | 0,177 |
| LNR | 0,053 | 0,414** | -0,041 |
| MNR | -0,469** | 0,507** | 0,183 |
| MTN | -0,762*** | 0,284 | 0,389* |
| Wartości własne Eigenvalues | 3,359 | 1,919 | 1,607 |
| Procent zmienności Percentage of variability | 31,70 | 18,11 | 15,17 |

* Istotne na poziomie $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0.05$ level

**Istotne na poziomie $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0.01$ level

***Istotne na poziomie $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0.001$ level

*TK — Czas kwitnienia, Time of flowering; WS — Wysokość roślin, Plant height; WOS — Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LR — Liczba rozgałęzień z rośliny, Number of branches per plant; LSR — Liczba strąków z rośliny, Number of pods/plant; DS — Długość strąka, Pod length; SZS — Szerokość strąka, Pod width; LNS — Liczba nasion ze strąka, Number of seeds/pod; MNS — Masa nasion ze strąka, Weight of seeds/pod; LNR — Liczba nasion z rośliny, Number of seeds/plant; MNR — Masa nasion z rośliny, Weight of seeds/plant; MTN — Masa 1000 nasion, Weight of 1000 seeds

WNIOSKI

1. Indukowanie mutacji okazało się skuteczną metodą poszerzenia zmienności cech u łądźwianu siewnego. Mimo obserwowanego wyraźnego obniżenia parametrów plonowania mutantów w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi, część mutantów charakteryzowała się poprawieniem niektórych cech istotnych z użytkowego punktu widzenia.
2. Analizując wartości średnich za okres trzech lat, wykazano zróżnicowanie mutantów pod względem ocenianych cech w porównaniu do ich odmian wyjściowych (kontrolnych), przy czym zakres zmienności różnił się w zależności od roku badań. Najwyższe wartości średnich dla cech plonotwórczych mutantów obserwowano w pierwszym roku badań z wyraźnie niższymi wartościami w latach 2005 i 2006, charakteryzujących się w czerwcu silnym niedoborem wody w glebie.
3. Najwięcej najwyższych wartości współczynnika zmienności dla cech decydujących o wysokości plonu uzyskano w mokrym roku 2004, a mniej w dwu kolejnych suchych latach. Może to sugerować, że stres wodny po części ograniczał zmienność cech plonotwórczych i zakres ich zróżnicowania.

4. Większe odległości Mahalanobisa w porównaniu mutantów z odmianą Derek niż z odmianą Krab wskazują na różnice w efektywności działania mutagenów w zależności od rodzaju materiału wyjściowego użytego do badań i większą przydatność w tym względzie odmiany Derek aniżeli Krab.

LITERATURA

- Ahloowalia B. S., Małuszyński M. 2001. Induced mutations — a new paradigm in plant breeding. *Euphytica* 118: 167 — 173.
- Ahloowalia B. S., Małuszyński M., Nitcherlein K. 2004. Global impact of mutation — derived varieties. *Euphytica* 135: 187 — 204.
- Allkin R., Macfarlane T. D., White F. A., Bisby F. A., Adey M. E. 1983. Names and synonyms of species and subspecies in *Viciae*. Issue 2, *Viciae* Database Project Publication No. 2, Southampton, UK.
- Bocianowski J., Liersch A., Bartkowiak-Broda I. 2009. Badanie zmienności fenotypowej mieszańców F₁ CMS *ogura* rzepaku ozimego i ich form rodzicielskich za pomocą statystycznych metod wielowymiarowych. *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops* XXX: 161 — 184.
- Bocianowski J., Rybiński W. 2006. Wykorzystanie wielowymiarowej metodyki oceny cech ilościowych mutantów lędzwanu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) uzyskanych działaniem chemomutagenów i światła lasera helowo-neonowego. *Acta Agrophysica* 8 (4): 791 — 802.
- Bocianowski J., Rybiński W. 2008. Wykorzystanie analizy zmiennych kanonicznych do wielocechowej charakterystyki dwurzędowych i wielorzędowych linii DH jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). *Annales UMCS, Sectio E: Agricultura* LXIII (3): 53 — 61.
- Bocianowski J., Skomra U. 2008. Wykorzystanie analizy zmiennych kanonicznych do wielocechowej charakterystyki odmian chmielu zwyczajnego (*Humulus lupulus* L.). *Pamiętnik Puławski* 148: 107 — 118.
- Bocianowski J., Stokłosa A. 2010. Ocena kiełkowania odmian botanicznych owsa głuchego (*Avena fatua* L.) w różnych warunkach świetlnych i termicznych za pomocą analizy zmiennych kanonicznych. *Nauka Przyroda Technologic* 4: 60 — 65.
- Caliński T., Kaczmarek Z. 1973. Metody kompleksowej analizy doświadczenia wielocechowego. *Colloquium Metodologiczne z Agrobiometrii, PAN i PTB, Warszawa*, 3: 258 — 320.
- Campbell C. G., Mehra R. B., Agrawal S. K., Chen, Y. Z., Abd El Moneim A. M., Khawaja H. I. T., Yadov, C. R., Tay, J. U., Araya, W. A. 1994. Current status and future strategy in breeding grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Euphytica* 73: 167 — 175.
- Campbell C. G. 1997. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 18. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research. Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Camussi A., Ottaviano E., Caliński T., Kaczmarek Z. 1985. Genetic distances based on quantitative traits. *Genetics* 111: 945 — 962.
- Dziamba S. 1997. Biologia i agrotechnika lędzwanu siewnego. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędzwan siewny — agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, 9–10 czerwca 1997: 27 — 33.
- GenStat 2007. GenStat Release 10 Reference Manual, Lawes Agricultural Trust Rothamsted.
- Grela E. R., Rybiński W., Klebaniuk R., Matras J. 2010. Morphological characteristics of some accessions of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) grown in Europe and nutritional traits of their seeds. *Genet. Resour. Crop. Evol.* 57 (5): 693 — 701.
- Hanbury C. D., Sarker A., Siddique K. H. M., Perry M. W. 1995. Evaluation of *Lathyrus* germplasm in a Mediterranean type environment in South-Western Australia. Cooperative Research Center for Legumes in Mediterranean Agriculture, Occasional Paper, No 8. Perth.
- Kislev M. E. 1986. Archeobotanical findings of the origin of *Lathyrus sativus* and *L. cicera*. In: *Lathyrus and Lathyrism* (Eds. Kaul A.K. and Combes D.). Third World Medical Research Foundation, New York: 46 — 51.

- Mahalanobis P. C. 1936. On the generalized distance in statistics. *Proceedings of the National Institute of Science of India* 12: 49 — 55.
- Milczak M., Pędziński M., Mnichowska H., Szwed-Urbaś K. 1997. Hodowla twórcza łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) — podsumowanie pierwszego etapu. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Łądzwian siewny — agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”. Radom, 9–10 czerwca 1997: 13 — 22.
- Milczak M., Pędziński M., Mnichowska H., Szwed-Urbaś K., Rybiński W. 2001. Creative breeding of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) in Poland. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 2: 18 — 23.
- Pandey R. L., Agrawal S. K., Chitale M. W., Sharma R. N., Kashyap O. P., Geda A. K., Chandrakar H. K., Agrawal K. K. 1995. Catalogue of grasspea (*L. sativus* L.) germplasm. I. Gandhi Agric. Univ. Press, Raipur, India.
- Rencher A. C. 1992. Interpretation of canonical discriminate functions, canonical varieties, and principal components. *Am. Stat.* 46: 217 — 225.
- Robertson L. D., Abd El Moneim A. M. 1995. Status of *Lathyrus* germplasm held at ICARDA and its use in breeding programmes. In: R. K. Arora, P. N. Mathur, K. W. Riley & Y. Adham (Eds.), *Lathyrus Genetic Resources in Asia. Proceedings of a Regional Workshop, 27–29 December, Raipur, India*: 97–111.
- Rybiński W., Bocianowski J. 2006 a. Zmienność cech ilościowych roślin łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) pokolenia M₁ uzyskanego działaniem chemomutagenów. *Biul. IHAR* 240/241: 285 — 290.
- Rybiński W., Bocianowski J. 2006 b. Zmienność cech morfologicznych i struktury plonu nasion mutantów łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Biul. IHAR* 240/241: 291 — 297.
- Rybiński W., Bocianowski J., Pankiewicz K. 2008 a. Zróżnicowanie cech morfologicznych i plonotwórczych u indukowanych mutantów odmian łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). *Biul. IHAR* 249: 217 — 231.
- Rybiński W., Szot B., Rusinek R. 2008b. Estimation of morphological and mechanical properties of grasspea seeds (*Lathyrus sativus* L.) originating from EU countries. *International Agrophysics* 22: 261 — 275.
- Rybiński W., Szot B., Rusinek R., Bocianowski J. 2009. Estimation of geometric and mechanical properties of seed of Polish cultivars and lines representing selected species of pulse crops. *International Agrophysics* 23: 257—267.
- Sarwar C. D. M., Sarkar A., Murshed A. N. M. M., Malik M. A. 1995. Variation in natural population of grass pea. In: *Lathyrus sativus* and Human Lathyrism. Progress and Prospects. Proc. 2nd Int. Colloq. Lathyrus Lathyrism, 10–12 December 1993, Dhaka, Bangladesh.
- Sawicka E. 1993. Induced mutations in Andean lupine (*Lupinus mutabilis* Sweet). *Prace Ogródu Botanicznego. Seria: Monografie i Rozprawy* 3: 1 — 101.
- Seidler-Łożykowska K., Król D., Bocianowski J. 2010. Zawartość olejku eterycznego i jego skład w owocach pochodzących z kolekcji kminku zwyczajnego (*Carum carvi* L.). *Rośliny Oleiste — Oilseed Crops XXXI*: 147 — 160.
- Vaz Patto M. C., Skiba B., Pang E. C. K., Ochatt S. J., Lambein F., Rubiales D. 2006. *Lathyrus* improvement for resistance against biotic and abiotic stresses: From classical breeding to marker assisted selection. *Euphytica* 147: 133 — 147.
- Waghmare V. N., Mehra R. B. 2000. Induced mutations in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 1: 21 — 24.