

WOJCIECH RYBIŃSKI ¹
JAN BOCIANOWSKI ²
KATARZYNA PANKIEWICZ ¹

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań

² Katedra Metod Matematycznych i Statystycznych, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

Zróznicowanie cech morfologicznych i plonotwórczych u indukowanych mutantów odmian lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.)

Variability of morphological and yield-contributing traits of grasspea (*Lathyrus sativus* L.) mutants

Oprócz niewątpliwych zalet lędźwianu siewnego jak jego znaczna tolerancja na stresy abiotyczne, szereg niekorzystnych cech użytkowych limituje jego szerszy udział w krajowym rolnictwie. Stąd konieczne jest genetyczne ulepszenie tego gatunku a mutageniza może być wartościowym uzupełnieniem konwencjonalnych metod hodowlanych i zostać wykorzystana do tworzenia dodatkowej zmienności genetycznej. Materiał do badań stanowiły mutanty lędźwianu siewnego uzyskane z nasion z dwóch krajowych odmian Derek i Krab poddawanych działaniu chemomutagenów. W latach 2004–2006 w doświadczeniach polowych oceniano zmienność wybranych cech morfologicznych i plonotwórczych u dwunastu mutantów pochodzących z odmiany Krab oraz dziewięciu z odmiany Derek. Wyniki opracowano wykorzystując wielocechową analizę statystyczną. Uzyskane wyniki wskazują na zróżnicowanie cech mutantów w porównaniu z ich formami wyjściowymi Krab i Derek, przy czym lata badań (z których dwa charakteryzowały się suszą w okresie wegetacji), istotnie wpływały na zakres analizowanej zmienności. Dla badanych lat łącznie największe wartości współczynnika zmienności uzyskano dla terminu kwitnienia, wysokości roślin, liczby strąków z rośliny oraz liczby i masy nasion z rośliny, a najniższe dla długości i szerokości strąka oraz liczby nasion w strąku. Wartości kontrastu w porównaniach odmian z ich mutantami łącznie dla poszczególnych cech były najczęściej dodatnie, wskazując na niższe wartości badanych cech u mutantów, aczkolwiek dla niektórych mutantów wartości cech struktury plonu były wyższe niż u ich formy wyjściowej, zwłaszcza w latach suchych 2005 i 2006. Na podstawie analizy zmiennych kanonicznych wyróżniono mutanty, które pod względem kompleksu badanych cech wykazywały najmniejszy stopień podobieństwa w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi oraz w porównaniach mutantów między sobą. Mutanty te, zwłaszcza o szerszej reakcji na stres wodny stanowią mogą interesujący materiał wyjściowy do dalszych prac hodowlanych.

Słowa kluczowe: doświadczenia polowe, lędźwian siewny, mutanty, struktura plonowania, zmienność genetyczna cech

Apart from many advantageous features, such as high tolerance to abiotic stresses, grasspea is characterized by a few undesirable traits that limit its broader use in Polish agriculture. Genetic

improvement of this crop with mutation breeding can be a valuable supplement to conventional plant breeding methods to create additional genetic variability that may be utilized by plant breeders. The present studies deal with grasspea mutants obtained from seeds of two Polish cultivars Derek and Krab treated with different doses of chemomutagens. Nineteen mutants derived from the cultivar Krab and nine mutants from the cultivar Derek were studied in a field trial conducted in 2004-2006 at the Experiment Station of Polish Academy of Sciences in Cerekwica. The variability of morphological and yield-contributing traits of the mutants and the initial cultivars were estimated for each year, and the results obtained were analyzed with multivariate statistics. The results indicate that the mutants' traits differed from their initial cultivars. In 2005 and 2006 drought occurred, which might have influenced the results. Among the traits studied for three years the highest coefficient of variation was observed for time to flowering, plant height, pod number per plant, seed number per plant, seed weight per plant; the lowest for pod length and width and seed number per pod. The values of the contrasts for the comparisons of the cultivars with their mutants for particular traits were generally positive. This indicates that for three years studied together, the cultivars had higher values of the corresponding traits than their mutants. In spite of this negative trend, a few mutants exceeded their initial cultivars for yield-contributing traits, which was particularly visible in both dry years 2005 and 2006. Canonical variety analysis was a useful statistical tool for clear identification of multivariate genetic variation of grasspea mutants. The analyses performed allowed to distinguish these mutants that highly differed from their initial cultivars and the other mutants. Such mutants, particularly those with a broad reaction to water stress, could constitute an interesting initial material for further breeding

Key words: field trials, genetic variation, grasspea, mutants, yield-contributing traits

WSTĘP

Rodzaj *Lathyrus* jest bardzo liczny i obejmuje 187 gatunków i podgatunków rozprzestrzenionych na terenie zarówno Starego, jak i Nowego Świata (Allkin i in., 1983). Pośród nich dla celów żywieniowych w formie nasion najbardziej powszechny jest lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.). Inne gatunki jak *L. cicera*, *L. clymenum* i *L. ochrus* wykorzystuje się zarówno do produkcji nasion jak i na zielonkę (siano). Pozostałe, bardziej znane gatunki jak: *L. tingitanus*, *L. latifolius* i *L. sylvestris*, użytkowane są wyłącznie do produkcji pasz w formie zielonki. Dla celów ozdobnych, również w kraju, uprawia się groszek pachnący — *L. odoratus*. Ogółem w warunkach klimatycznych Polski występuje 15 gatunków (Dziamba, 1997), a znaczenie gospodarcze mają tylko dwa z nich: lędźwian afrykański (*Lathyrus tingitanus* L.), a zwłaszcza lędźwian siewny (*Lathyrus sativus* L.).

Problem niedoboru pasz białkowych w Polsce dotyczy zarówno ich ilości, jak i jakości. Podstawowymi paszami w tym względzie są nasiona roślin strączkowych, śruty postrakcyjne oraz były nimi dotąd odpadowe produkty pochodzenia zwierzęcego. W związku z chorobą BSE, z dniem 1 listopada 2003 obowiązuje w kraju zakaz produkcji i wykorzystywania w żywieniu zwierząt mączek mięsno-kostnych, które dotąd stanowiły 6–8% pasz. W żywieniu drobiu pasze te zostały zastąpione przez zboża i śrutę sojową, a w efekcie końcowym obserwuje się wzrost ceny pasz. Zwierzęta rosna na nich wolniej i zużywają większą jej ilość, aby osiągnąć wymaganą masę ciała. Efekt eliminacji wysokowartościowych pasz pochodzenia zwierzęcego oraz kontrowersje wokół genetycznie modyfikowanej soi (GMO) mogą jeszcze pogłębić istniejący deficyt białka w żywieniu zwierząt, wskazując jednocześnie na rolę rodzimych źródeł białka z roślin strączkowych. Oprócz tradycyjnych roślin strączkowych (groch, bobik, łubin) paletę tych gatunków w

żywieniu ludzi i zwierząt może uzupełnić wysokobiałkowy lędzwan siewny (30% białka i powyżej), który, mimo że jest uprawiany lokalnie od dziesiątków lat na terenie Podlasia, w krajowym rolnictwie ma niesłusznie marginalne znaczenie (Milczak i in., 2001). W ostatnich latach dzięki pracom hodowlanym i wzrostowi zainteresowania uprawą lędzwanu zarejestrowano dwie krajowe odmiany uprawne — Derek i Krab.

W Polsce mamy przewagę gleb lżejszych i piaszczystych, stanowiących 60% wszystkich gruntów ornyc. Na glebach tych tradycyjnie uprawia się żyto, ziemniaki, czasem seradelę, łubin żółty czy owies, a nie wysokobiałkowe rośliny strączkowe takie jak: groch czy bobik, wymagające znacznie lepszych stanowisk (Dziamba, 1997). Lędzwan siewny ma małe wymagania siedliskowe i dlatego może być alternatywny dla wyżej wymienionych roślin. Lędzwan siewny z powodzeniem można uprawiać na glebach lekkich IV, V, a nawet VI klasy przy plonach sięgających 35 dt/ha na lepszych glebach (Grela i Skórnicki, 1997; Cichy i Rybiński, 2007). Możliwość ta wynika między innymi z odporności tej rośliny na suszę, a wg danych literaturowych można ją uprawiać nawet przy 380 mm opadów. Takich właściwości nie ma żadna z krajowych roślin uprawnych. Jest to szczególnie istotne z uwagi na globalne zmiany klimatyczne, a zwłaszcza cykliczne okresy suszy obserwowane w ostatnich latach. Odporności na suszę sprzyja silnie rozwinięty, głęboki system korzeniowy (Campbell i in., 1994), który dodatkowo uruchamia substancje pokarmowe i transportuje je z niższych warstw gleby, przy równoczesnej poprawie jej pojemności wodnej. Nie bez znaczenia jest również wysoka zawartość białka (Rybiński i Starzycki, 2004), często wyższa niż u grochu, bobiku i wyki (Hanbury i in., 2000). Ponadto z uwagi na wiązanie azotu z atmosfery lędzwan stanowi cenny element płodozmianu. Ze względu na znaczną odporność lędzwanu na stresy abiotyczne (np. choroby, atak szkodników i suszę) lędzwan siewny został uznany za modelową roślinę dla zrównoważonego rolnictwa (Vaz Patto i in., 2006). Elementem niepożądanym jest obecność w nasionach antyżywniowej substancji neurotoksycznej — β -ODAP, aczkolwiek uzyskano już odmiany o śladowej zawartości tego składnika (Siddique i in., 1996; Tiwari i Campbell, 1996; Hanbury i in., 2000; Vaz Patto i in., 2006; Rybiński i Grela, 2007).

Mimo pozytywnych dokonań hodowlanych i niezaprzeczalnych walorów paszowych tej rośliny jej znaczenie w praktyce rolniczej jest nadal marginalne. Jedną z przyczyn tego stanu rzeczy jest nie tylko brak wyczerpujących informacji o zaletach uprawy tej rośliny, ale również fakt, że wymaga ona poprawienia szeregu cech, które mogą limitować szersze wprowadzenie lędzwanu do krajowego rolnictwa. Stąd potrzeba poszerzenia istniejącej puli zmienności genetycznej cech, co warunkuje możliwość wyboru najbardziej pożądanego genotypów. Uzyskać to można między innymi poprzez indukowanie mutacji (Rybiński, 2003; Rybiński i in., 2004; Smulikowska i in., 2008; Kozak i in., 2008), ale także poprzez próby wykorzystania zmienności rekombinacyjnej w krzyżowaniach wewnątrz, jak i międzygatunkowych możliwie zróżnicowanych genetycznie form pochodzących z światowych kolekcyjnych zasobów genowych (Yunus i Jackson, 1991; Tiwari i Campbell, 1996). W celu wzbogacenia puli genowej krajowych form lędzwanu siewnego rozpoczęto prace nad oceną zmienności genetycznej cech lędzwanu siewnego, wykorzystując w tym celu indukowane mutacje. Częścią tych badań jest prezentowana

praca, której celem jest ocena zmienności cech morfologicznych i plonotwórczych uzyskanych mutantów, a w dalszej kolejności wybór najbardziej korzystnych genotypów, które mogą zostać wykorzystane jako materiał wyjściowy w pracach hodowlanych nad ulepszaniem lędźwianu siewnego.

MATERIAŁ I METODY

Materiał wyjściowy poddawany działaniu mutagenów stanowiły nasiona dwóch krajowych odmian lędźwianu — Derek i Krab. 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 . Ustalono mutanty rozmnożono. Do doświadczenia polowego przeprowadzonego w latach 2004–2006 na Polu Doświadczalnym IGR PAN w Cerkwicy wybrano dziewiętnaście mutantów z odmiany Krab oraz dziewięć mutantów pochodzących z odmiany Derek, a także obydwie odmiany wyjściowe. Nasiona mutantów oraz ich form wyjściowych wysiewano na poletka w doświadczeniu bloków losowanych w trzech powtórzeniach w rozstawie 70 cm × 25 cm. 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 100 nasion (MSN).

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 × 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 nie występowanie istotnego statystycznie współdziałania obiekty × lata. Ocena współzależności obserwowanych cech dokonana została w oparciu o odpowiednie współczynniki korelacji, estymowanych na podstawie średnich obiektowych liczonych poprzez lata. Graficzne rozmieszczenie odmian Krab i Derek oraz mutantów lędźwianu na płaszczyźnie ze względu na wszystkie cechy łącznie możliwe było w wyniku zastosowania analizy zmiennych kanonicznych (Camussi i in., 1985; Rencher, 1992). Wszystkie analizy statystyczne wykonano z użyciem pakietu statystycznego GenStat v. 7.1 (Payne i in., 2003).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wzrostowi i rozwojowi roślin w okresie wegetacji 2004–2006 towarzyszył zróżnicowany poziom i rozkład 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 rozpoczynano 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 sum	dekady decade	suma sum	dekady decade	suma sum	dekady decade			
Marzec March	12,4	1,8 8,6	24,7	2,1 21,7	16,6	3,1 0,0	4,6	1,4	0,7
Kwiecień April	14,9	2,4 0	14,2	4,4 3,4	39,8	6,1 13,5	10,0	9,6	9,2
Maj May	45,9	25,7 15,1	68,0	27,5 24,2	33,3	11,3 7,1	13,2	14,3	14,4
Czerwiec June	63,8	6,3 29,3	11,5	11,5 0,0	17,4	5,8 3,0	16,7	17,4	19,5
Lipiec July	30,4	11,3 27,8	96,6	25,2 6,9	23,8	0,8 21,2	18,7	20,3	22,9
Sierpień August	41,8	2,6 0,2	56,7	64,5 41,5	162,0	1,8 102,4	21,0	17,6	16,7
		14,1 27,5		8,1 7,1		16,0 43,6			

Przeprowadzona dwuczynnikowa (obiekty, lata) analiza wariancji pozwoliła odrzucić hipotezę ogólną o braku różnic pomiędzy obiektami dla wszystkich badanych cech. Nie było natomiast podstaw do odrzucenia hipotezy o braku wpływu lat oraz hipotezy o braku interakcji obiekty \times lata dla obserwowanych cech.

Wartości średnich dla odmian wyjściowych i pochodzących z nich mutantów dla analizowanych cech w poszczególnych latach przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

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

Obiekty i lata Objects and years	Wartości średnich dla cech — Means for traits											
	TK*	WS	WOS	LIR	LSR	DS	SZS	LNS	MNS	LNR	MNR	MSN
Krab 2004	5,06	99,6	21,4	6,0	118,4	3,7	1,4	3,2	0,59	319,0	52,4	16,4
Mutanty	5,06	103,2	22,0	5,1	87,5	3,5	1,38	3,12	0,52	240,2	37,2	14,8
Krab 2005	9,06	58,0	22,2	6,0	24,0	3,4	1,3	3,2	0,61	74,2	13,9	18,7
Mutanty	10,06	56,0	23,0	4,8	26,1	3,4	1,34	3,15	0,50	75,3	11,61	14,4
Krab 2006	10,06	63,3	21,0	6,0	44,8	3,7	1,4	2,9	0,42	107,5	15,1	14,3
Mutanty	11,06	51,7	23,7	5,4	30,9	3,1	1,20	3,10	0,49	87,1	13,40	15,0
Derek 2004	6,06	93,0	17,0	5,2	100,6	3,6	1,3	3,7	0,47	342,0	41,5	12,0
Mutanty	5,06	88,5	15,8	4,2	79,9	3,67	1,25	3,23	0,42	219,0	28,4	12,4
Derek 2005	12,06	57,0	18,4	3,8	24,0	3,5	1,2	3,9	0,41	87,2	9,12	10,5
Mutanty	12,06	55,7	18,7	3,9	29,1	3,42	1,27	3,27	0,47	85,4	12,1	13,7
Derek 2006	12,06	56,6	16,1	5,0	54,0	3,8	1,3	3,5	0,36	157,6	12,91	8,8
Mutanty	13,06	65,3	22,3	4,1	38,0	3,10	1,13	3,40	0,37	103,5	10,38	10,0

*TK - Okres kwitnienia, Time of flowering; WS - Wysokość roślin, Plant height; WOS - Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LIR - 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; MSN - Masa 100 nasion, Weight of 100 seeds

Odmiany i mutanty rozpoczynały kwitnienie w podobnym terminie na początku czerwca, aczkolwiek niektóre mutanty rozpoczynały kwitnienie wcześniej niż ich odmiany wyjściowe. Najwyższe wartości średnich dla wysokości roślin, liczby strąków z rośliny, masy nasion ze strąka oraz liczby i masy nasion z rośliny obserwowano w roku 2004, charakteryzującym się wyższym i korzystniej rozłożonym poziomem opadów w porównaniu z suchymi latami 2005 i 2006. Analizując inną grupę mutantów z odmian Derek i Krab w latach 2002 i 2003 (Rybiński i Bocianowski, 2006), 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. Mimo znacznego deficytu wody w latach 2005 i 2006 średnia masa 100 nasion mutantów z odmiany Krab we wszystkich trzech latach była prawie identyczna, a dla odmiany Derek wyższa dla mutantów aniżeli ich formy wyjściowej. Wskazuje to, że redukcji liczby strąków z rośliny w suchych latach 2005 i 2006 w porównaniu z rokiem 2004 towarzyszyło dobre wykształcenie nasion, co rzutowało na stosunkowo wysoką masę 100 nasion zarówno mutantów, jak i odmian. Obie krajowe odmiany pod względem wielkości nasion zaliczyć można do średnio nasiennych (głównie odmiana Krab) w granicach od 100 do 190 g, przy czym formy drobnonasienne o masie 1000 nasion w zakresie od 29,5 do 67,7 g są typowe dla materiałów kolekcyjnych pochodzących z południowej Azji (Sarwar i in., 1995). W materiałach z innych regionów świata zakres masy 1000 wynosił: od 34,5 do 225,9 g (Robertson i Abd El Moneim, 1995), od 56 do 288 g (Campbell, 1997), od 232 do 354 g (Benkova i Žakova, 2001) oraz od 138

do 368 g (De La Rosa i Martin, 2001). Według Hammer i in. (1989) formy grubonasienne są typowe dla krajów europejskich, głównie Włoch i innych krajów Basenu Morza Śródziemnego. Średnia liczba nasion w strąku była wyższa u odmiany Derek aniżeli Krab przy średniej wartości wynoszącej 3,9 nasion u odmiany Derek w roku 2005. O ile średnia liczba nasion w strąku u odmiany Krab i mutantów z tej odmiany była zbliżona, większa redukcja liczby nasion ze strąka była widoczna u mutantów z odmiany Derek. W badaniach Campbell (1997) średnia liczba nasion w strąku w materiałach kolekcyjnych wynosiła od 1,4 do 4,6, a według Yadov (1995) od 2 do 5 nasion. U niektórych grubonasiennych form z Włoch o masie 1000 nasion przekraczającej 400 g średnia liczba nasion w strąku wynosiła 1,5 (badania własne, niepublikowane). Na uwagę zasługują niektóre z mutantów o wyższej masie 100 nasion w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi. Mimo zmiennych warunków klimatycznych w latach badań odmiana Krab wykształcała tę samą liczbę rozgałęzień z rośliny (6,0), przy niższej średniej wartości tej cechy u mutantów, zwłaszcza w roku 2005. Według Mehra i wsp. (1995) linie pochodzące z Francji wykształcały średnio 5,2 rozgałęzienia, a z Niemiec 5,0. Z kolei u 60 linii z Hiszpanii (De La Rosa i Martin, 2001) maksymalna średnia liczba rozgałęzień nie przekraczała 4,5. W porównaniu z odmianą Krab i pochodzącymi z niej mutantami odmiana Derek oraz mutanty uzyskane z tej odmiany charakteryzowały się niższą liczbą rozgałęzień, co było szczególnie widoczne w suchym roku 2005.

Wartości średnich dla wszystkich obiektów w latach oraz wartości współczynnika zmienności przedstawia tabela 3. Największe różnice w wartościach średnich między latami obserwowano dla wysokości roślin, liczby strąków z rośliny oraz liczby i masy nasion z rośliny. W porównaniu z wilgotnym rokiem 2004 średnie wartości wyżej wymienionych cech były wyraźnie niższe w suchych latach 2005 i 2006. Wartości pozostałych cech w tych latach różniły się jednak w mniejszym stopniu w porównaniu z rokiem 2004. Dla niektórych cech, jak przykładowo liczby i masy nasion ze strąka, średnie wartości w poszczególnych latach były prawie identyczne. Podobnie, chociaż przy większych różnicach dotyczyło to liczby rozgałęzień z rośliny, wysokości osadzenia najniższego strąka i masy 100 nasion. Analizując wartości współczynnika zmienności, najwyższe wartości dla poszczególnych cech uzyskano w latach 2004 i 2006, a niższe dla cech w roku 2005. Pośród dwunastu ocenianych cech najwyższe wartości współczynnika zmienności uzyskano dla sześciu cech w roku 2004 i sześciu w roku 2006. Najniższe wartości obserwowano w najbardziej suchym roku 2005. Podobny efekt u mutantów lędźwianu obserwowano w bardzo suchym roku 2002 (Rybiński i Bocianowski, 2006). Najwyższe wartości współczynnika zmienności dla okresu 2004–2006 uzyskano dla liczby strąków z rośliny oraz liczby i masy nasion z rośliny, a najniższe dla długości i szerokości strąka oraz liczby nasion w strąku. Mimo stosunkowo niskiej wartości współczynnika zmienności dla liczby nasion w strąku w latach 2004–2006, wartość współczynnika zmienności dla masy nasion ze strąka była wyraźnie wyższa, wskazując na większą zmienność tej cechy.

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

Cechy Traits	2004		2005		2006		2004-2006	
	średnia mean	współczynnik zmienności (%) coefficient of variation (%)	średnia mean	współczynnik zmienności coefficient of variation	średnia mean	współczynnik zmienności coefficient of variation	średnia mean	współczynnik zmienności coefficient of variation
Okres kwitnienia Time of flowering	5,16	18,4	11,03	15,71	12,19	8,45	9,46	35,30
Wysokość roślin (cm) Plant height (cm)	98,37	17,57	58,13	11,21	56,38	14,05	70,96	31,86
Wysokość osadzenia najniższego strąka Height of the lowest pod (cm)	20,0	25,96	21,59	16,93	22,92	15,35	21,50	20,20
Liczba rozgałęzień z rośliny Number of branches per plant	4,84	15,38	4,51	17,76	5,06	18,54	4,80	17,89
Liczba strąków z rośliny Number of pods/plant	86,75	26,1	26,89	24,03	34,42	22,08	49,29	61,38
Długość strąka (cm) Pod length (cm)	3,66	5,33	3,46	4,77	3,16	7,89	3,43	8,63
Szerokość strąka (cm) Pod width (cm)	1,30	5,68	1,32	5,01	1,19	6,89	1,27	7,29
Liczba nasion ze strąka Number of seeds/pod	3,18	10,63	3,22	7,46	3,20	10,94	3,2	9,77
Masa nasion ze strąka (g) Weight of seeds/pod (g)	0,49	17,22	0,49	13,07	0,45	18,75	0,48	16,85
Liczba nasion z rośliny Number of seeds/plant	239,9	29,72	78,77	22,34	95,08	22,34	137,92	61,55
Masa nasion z rośliny (g) Weight of seeds/plant (g)	35,26	29,37	11,75	26,01	12,54	23,33	19,85	63,86
Masa 100 nasion (g) Weight of 100 seeds (g)	14,62	15,39	14,73	14,31	13,23	21,53	14,19	17,68

Tabela 4

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

Cechy Traits	Wartość kontrastu dla porównywanych obiektów Contrast estimation for compared objects					
	odmiana Krab – mutanty, cv. Krab – mutants			odmiana Derek – mutanty, cv. Derek – mutants		
	2004	2005	2006	2004	2005	2006
*TK	0,105***	-1,53***	-1,9***	0,56***	0,0	-0,9***
WS	-3,62***	-1,31***	11,55***	4,42***	1,2***	-8,8***
WOS	0,637***	-0,895***	-2,67***	1,11***	0,29***	-6,2***
LIR	0,93***	1,23***	0,54***	1,0***	-0,08	0,9***
LSR	30,82***	-2,12***	13,93***	20,67***	-5,17***	16,0***
DS	0,016	-0,07**	0,57***	-0,08**	0,08**	0,7***
SZS	0,08***	-0,05***	0,19***	0,04***	-0,08***	0,2***
LNS	0,079***	0,09***	-0,2***	0,47***	0,61***	0,1***
MNS	0,068***	0,11***	-0,08***	0,05***	-0,06***	-0,01
LNR	78,37***	-1,19***	-20,37***	123,0***	1,72***	54,0***
MNR	15,1***	2,29***	1,74***	13,13***	-2,99***	2,52***
MSN	0,71***	3,47***	-0,64***	-0,44***	-3,2***	-1,2***

*Istotne na poziomie 0,05, Significant at $\alpha = 0.05$ **Istotne na poziomie 0,01, Significant at $\alpha = 0.01$ ***Istotne na poziomie 0,001, Significant at $\alpha = 0.001$

*TK - Okres kwitnienia, Time of flowering; WS – Wysokość roślin, Plant height; WOS - Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LIR - 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; MSN – Masa 100 nasion, Weight of 100 seeds

Ocenę różnic między odmianami wyjściowymi a mutantami pod względem analizowanych cech w poszczególnych latach wyrażono w wartościach kontrastu (tab. 4). Z nielicznymi wyjątkami mutanty istotnie różniły się od swych odmian wyjściowych. W roku 2004 o normalnych opadach zdecydowanie przeważały dodatnie wartości kontrastu, wskazując na wyższe wartości badanych cech u odmian wyjściowych w porównaniu z mutantami. W obu suchych latach 2005 i 2006, a zwłaszcza w roku 2005 w porównaniach Kraba z mutantami uzyskano liczne ujemne wartości kontrastu, co wskazuje na większe zróżnicowanie mutantów pod względem wartości niektórych cech w reakcji na zaistniały niedobór wody w okresie wegetacji. Szczegółową ocenę porównań odmiany wyjściowej z każdym z mutantów w trzyletnim cyklu badań przedstawiono w tabeli 5. Dla wszystkich ocenianych mutantów nieistotne wartości kontrastu uzyskano dla terminu kwitnienia oraz dla wysokości roślin. W odniesieniu do terminu kwitnienia wartości kontrastu były ujemne, wskazując na wcześniejsze kwitnienie mutantów w porównaniu z odmianami. Wszystkie mutanty, jak i odmiany charakteryzowały się jednolicie białą barwą kwiatów, co jest typowe dla europejskich form lędzwanu siewnego (Smartt, 1984) w przeciwieństwie do barwnie kwitnących form pochodzących z południowo wschodniej Azji (Campbell, 1997). Ze względu na znaczną skłonność lędzwanu do wylegania na uwagę zasługują mutanty o obniżonej wysokości, jak mutant K 31 z odmiany Krab czy D 412 z odmiany Derek.

Tabela 5

Ocena zróżnicowania między odmianami wyjściowymi i poszczególnymi mutantami dla badanych cech (za okres trzech lat)

The estimation of variability between initial cultivars and their mutants for the analyzed traits (for three years period)

Porównywane obiekty Compared objects	Ocena kontrastu dla cech — Contrast estimation for traits											
	TK ^x	WS	WOS	LIR	LSR	DS	SZS	LNS	MNS	LNR	MNR	MSN
Krab - K18	-1,7	8,0	-0,7	0,37	12,1	0,37**	0,1**	-0,027	0,003	30,0	4,4	0,23
Krab - K19	-1,0	-6,1	-5,8***	0,33	-1,2	0,33**	0,167***	0,263**	0,077**	9,1	2,6	1,1
Krab - K20	-0,3	0,01	-3,2*	0,8**	6,9	0,3*	0,1**	0,327***	0,05*	28,2	5,2	1,03
Krab - K21	-1,1	-1,1	-3,2*	1,97***	17,7	0,0	0,067	0,03	-0,027	48,1	6,0	-0,63
Krab - K22	0,0	1,9	-2,4	0,8**	6,8	0,03	0,033	0,213**	-0,007	21,8	1,5	-1,2
Krab - K23	0,3	13,3	2,9*	1,4***	11,1	0,0	0,067	-0,213**	0,113***	11,6	8,2	3,93***
Krab - K24	-0,7	-5,4	-5,0***	1,83**	25,6	0,03	0,033	-0,337***	-0,067**	50,6	4,8	0,1
Krab - K25	-0,3	2,3	-0,3	0,73**	12,1	0,07	0,067	-0,493***	-0,08***	-4,4	-1,4	0,07
Krab - K26	-0,3	9,9	1,1	0,67*	19,9	0,27**	0,033	0,13	0,043	53,6	8,9	0,4
Krab - K27	-1,7	12,1	4,2**	1,3***	18,0	0,33**	0,133***	0,12	0,083***	40,3	8,9	2,53***
Krab - K28	-0,3	16,0	3,0*	1,47***	16,3	0,23	0,1**	0,02	0,033	34,2	5,5	0,7
Krab - K29	-2,0	-2,4	-0,4	0,47	5,4	0,2	0,133***	0,03	0,073**	14,4	5,5	2,33***
Krab - K30	-2,7	0,1	-8,7***	1,13***	35,0*	0,13	0,1**	-0,373***	-0,027	93,0*	15,8**	1,13
Krab - K31	-2,0	-10,2	-6,4***	0,47	-1,0	0,33**	0,067	0,263**	0,113***	9,3	5,4	2,87***
Krab - K32	-2,0	-6,8	-2,9*	0,8**	19,7	0,03	0,067	-0,347***	0,03	42,3	9,6	1,43*
Krab - K33	-1,3	-4,0	-0,2	0,97***	7,1	0,1	0,067	-0,183*	0,08***	-7,4	4,4	3,13***
Krab - K34	-1,0	7,0	1,7	0,77**	29,1*	0,1	0,0	0,283***	0,0	76,3	11,8	-0,7
Krab - K35	0,0	4,1	1,9	0,83**	14,4	0,07	0,033	0,023	0,05*	37,2	7,1	1,17
Krab - K36	-3,0	2,3	-2,0	-0,07	15,3	0,33**	0,1**	0,067	0,07*	31,1	7,1	2,8***
Derek - D404	1,0	5,8	1,4	1,03***	18,1	0,27*	0,067	0,073	-0,003	64,3	7,0	-0,5
Derek - D405	-0,7	8,7	-1,9	0,67*	14,9	0,4**	0,067	0,6***	-0,027	75,9	5,0	-2,83***
Derek - D406	0,3	10,1	-0,6	0,63*	13,0	0,0	0,033	0,493***	-0,043	64,7	3,3	-1,37*
Derek - D407	-0,3	0,1	0,3	0,47	0,2	0,27*	0,033	0,16*	0,043	15,1	1,7	-0,07
Derek - D408	-0,3	-4,2	-2,3	0,87**	8,9	0,27*	0,067	0,183*	-0,01	34,1	2,5	-1,23
Derek - D409	-0,7	-4,1	-2,1	0,47	16,8	0,1	0,0	0,2*	-0,093***	66,6	3,8	-3,27***
Derek - D410	-0,3	0,0	-1,9	0,77**	5,4	0,6***	0,133***	0,32***	0,043	44,1	4,4	-0,27
Derek - D411	0,3	-10,7	-5,4***	0,13	12,1	0,13	0,067	0,623***	-0,02	104,0*	5,5	-2,97***
Derek - D412	-1,0	-13,9	-3,7**	0,4	5,3	0,07	-0,067	0,863***	0,047*	67,1	4,8	-2,03**

*Istotne przy $\alpha = 0,05$, Significant at $\alpha = 0,05$

**Istotne przy $\alpha = 0,01$, Significant at $\alpha = 0,01$

*** Istotne przy $\alpha = 0,001$, Significant at $\alpha = 0,001$

^xTK - Okres kwitnienia, Time of flowering; WS – Wysokość roślin, Plant height; WOS - Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LIR - 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; MSN – Masa 100 nasion, Weight of 100 seeds

W korzystnych warunkach środowiskowych i dostatecznej ilości opadów w Kanadzie rośliny mogą wyrastać do 172 cm, a w suchych warunkach w Indiach od 15 do 68 cm (Campbell, 1997). Jedną z istotnych cech użytkowych jest wysokość wiązania pierwszego od podstawy rośliny strąka w kontekście zbioru mechanicznego roślin. Dla kilku mutantów uzyskano ujemną i statystycznie istotną wartość kontrastu (przykładowo mutanty K 19, K 24, K 30 i D 411), co wskazuje, że wiązały one najniższy na roślinie strąk wyżej aniżeli odmiany wyjściowe. Odmiany wykazywały większą liczbę rozgałęzień z rośliny (dodatnie

wartości kontrastu) aniżeli mutanty, co wiązało się też z większą liczbą strąków na roślinie u odmian Derek i Krab. Mutanty ustępowały też odmianom pod względem liczby i masy nasion ze strąka. Wyjątek stanowiły mutanty K 24 i K 25 które pod względem obu cech istotnie przewyższały odmianę wyjściową Krab. Ponadto mutant K 25 charakteryzował się większą liczbą i wyższą masą nasion z rośliny, aczkolwiek różnice w porównaniu z odmianą Krab były statystycznie nieistotne. Pośród mutantów odmiany Krab żaden z nich nie przewyższał istotnie odmiany pod względem masy 100 nasion, aczkolwiek dla wielu z nich różnice były statystycznie nieistotne. Z kolei pośród mutantów z odmiany Derek cztery z nich (D 405, D 409, D 411 i D 412) istotnie przewyższały masę 100 nasion swej odmiany wyjściowej.

Termin kwitnienia był istotnie i ujemnie skorelowany z masą nasion ze strąka, masą nasion z rośliny oraz masą 100 nasion (tab. 6).

Tabela 6

Wartości współczynnika korelacji dla analizowanych cech mutantów lędźwianu siewnego (za okres trzech lat)

Correlation coefficients for the measured characteristics of grass pea mutants (for three years)

	TK ^x	WS	WOS	LIR	LSR	DS.	SZS	LNS	MNS	LNR	MNR	MSN
TK	1											
WS	0,24	1										
WOS	0,02	0,67***	1									
LIR	-0,21	0,27	0,46**	1								
LSR	-0,09	0,28	-0,06	0,30	1							
DS	-0,24	0,16	-0,003	-0,06	-0,15	1						
SZS	-0,41	0,18	0,24	0,45*	-0,11	0,60***	1					
LNS	0,17	-0,12	-0,29	-0,45*	-0,19	0,22	-0,26	1				
MNS	-0,41*	0,05	0,48**	0,35*	-0,44*	0,34	0,54**	-0,001	1			
LNR	-0,10	0,07	-0,28	0,12	0,83***	-0,02	-0,10	0,27	-0,33	1		
MNR	-0,50**	0,19	0,19	0,51**	0,62***	0,13	0,33	-0,13	0,39*	0,63***	1	
MSN	-0,50**	0,13	0,55**	0,54**	-0,26	0,19	0,62***	-0,45*	0,86***	-0,38*	0,42*	1

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

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

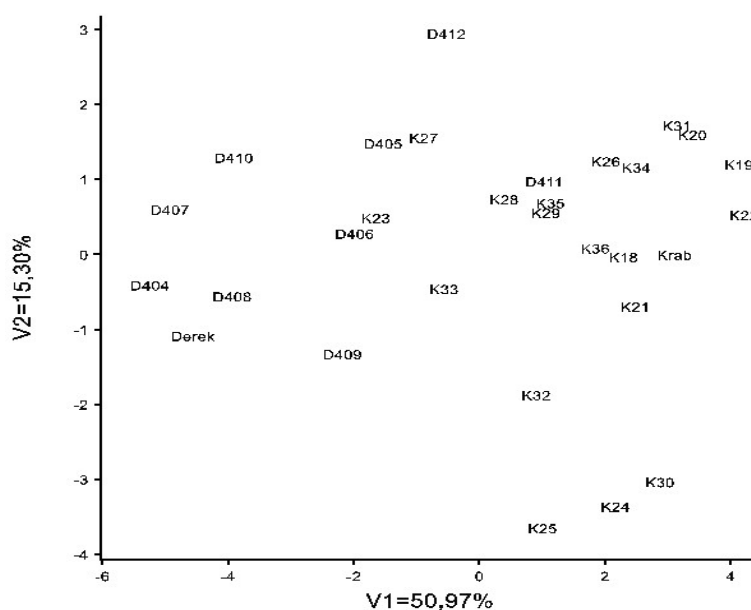
***Istotne na poziomie 0,001, Significant at $\alpha = 0.001$

^xTK - Okres kwitnienia, Time of flowering; WS – Wysokość roślin, Plant height; WOS - Wysokość osadzenia najniższego strąka, Height of the lowest pod; LIR - 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; MSN – Masa 100 nasion, Weight of 100 seeds

Wysoki i dodatni współczynnik korelacji uzyskano dla wysokości roślin i wysokości osadzenia pierwszego od podstawy rośliny strąka. Wskazuje to na trudności wyselekcjonowania roślin o obniżonej wysokości roślin (o lepszej odporności na wyleganie) i wyższym osadzeniu strąków w kontekście zbioru mechanicznego roślin. Ponadto wysokość osadzenia najniższego na roślinie strąka była dodatnio skorelowana z liczbą rozgałęzień z rośliny, masą nasion ze strąka oraz masą 100 nasion. Z uwagi na niezdeterminowany charakter wzrostu (Mileczak i in., 2001), rośliny lędźwianu na kolejnych rozgałęzieniach zawiązują mniej strąków lub żadnych (Campbell, 1997). Wraz ze wzrostem liczby rozgałęzień zmniejszała się liczba nasion w strąku ($r = -0,445$), lecz

zwiększała się masa nasion z rośliny ($r = 0,510$) i masa 100 nasion ($r = 0,538$). Liczba strąków z rośliny była dodatnio skorelowana z liczbą i masą nasion z rośliny, a ujemnie z długością i szerokością strąka, liczbą nasion w strąku oraz masą 100 nasion. Wysoce istotną i dodatnią korelację uzyskano dla długości i szerokości strąka ($r = 0,599$), między szerokością strąka a masą nasion w strąku ($r = 0,538$) oraz między szerokością strąka a masą nasion ze strąka ($r = 0,538$) i masą 100 nasion ($r = 0,623$). Ta ostatnia cecha była ujemnie skorelowana z liczbą nasion w strąku i z rośliny, dodatnio z masą nasion ze strąka, a na niższym poziomie istotności z masą nasion rośliny.

Rozkład średnich dla badanych cech mutantów za okres 2004-2006 przedstawiono na płaszczyźnie w układzie dwóch zmiennych kanonicznych (rys. 1).



Derek i Krab – odmiany wyjściowe
 Derek and Krab - initial cultivars
 D and K - mutanty z odmiany Derek lub Krab
 D and K - mutants from cultivars 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 wyjaśniała 50,97% całkowitej zmienności, natomiast druga 15,30%. Analizując przedstawiony rysunek wyróżnić można dwa skupienia mutantów. Pierwsze (prawa strona rysunku) obejmuje odmianę Krab i pochodzące z niej mutanty a drugie (lewa strona) odmiana Derek i mutanty z tej odmiany. Wskazuje to na znaczną odrębność obydwu odmian pod względem badanych cech, jak i bliższy związek w

tym względzie między odmianą wyjściową a pochodzącymi z niej mutantami. Pod względem badanych cech najbardziej od odmiany wyjściowej Derek różnią się mutanty D 412, D 405 i D 410, a od odmiany Krab mutanty K 25, K 24 i K 30. Pośród mutantów z odmiany Derek najbardziej podobnymi do mutantów z odmiany Krab jest mutant D 411, a z kolei mutanty z odmiany Krab: K 27 i K 23 różnią się najmniej od mutantów odmiany Derek.

Przedstawiony rozkład średnich dla badanych cech wskazuje na znaczny stopień zróżnicowania mutantów w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi. Mimo że z małymi wyjątkami za okres trzech lat pod względem cech struktury plonu mutanty ustępowały swym odmianom wyjściowym, bardziej zróżnicowana reakcja mutantów w okresie suszy w latach 2005 i 2006 wskazuje na możliwość wyboru tolerancyjnych genotypów w reakcji na stres wodny. Stanowią one mogą wartościowy materiał w badaniach podstawowych nad stresami abiotycznymi oraz w pracach hodowlanych nad udoskonalaniem lędźwianu siewnego.

WNIOSKI

1. Zastosowane chemomutageny okazały się efektywnym narzędziem poszerzenia zmienności genetycznej cech u uzyskanych mutantów w porównaniu z ich odmianami wyjściowymi Derek i Krab.
2. W porównaniu z normalnym w opady rokiem 2004 dwa kolejne lata charakteryzowały się bardzo niskim poziomem opadów i jego niekorzystnym rozkładem w miesiącach wegetacji lędźwianu siewnego. Zaistniały deficyt wody w latach 2005 i 2006 istotnie wpłynął na obniżenie wartości cech struktury plonu w porównaniu z rokiem 2004. W warunkach suszy rośliny reagowały obniżeniem ich wysokości, a główną przyczyną redukcji plonowania było obniżenie liczby strąków rośliny, czego następstwem była redukcja liczby i masy nasion z rośliny.
3. Mimo obniżenia liczby strąków z rośliny w warunkach deficytu wody nie stwierdzono istotnych zmian w liczbie i masie nasion ze strąka w porównaniu z normalnym w opady rokiem 2004. Wartości średnich dla wszystkich obiektów wskazują, że w warunkach suszy przy redukcji liczby strąków z rośliny pozostałe strąki wykształcały zbliżoną do roku wilgotnego liczbę i masę nasion, a masa 100 nasion także nie ulegała wyraźnym zmianom.
4. W wilgotnym roku 2004 wartości kontrastu między odmianami wyjściowymi a pochodzącymi z nich mutantami dla prawie wszystkich cech przyjmowały dodatnie wartości. Wskazuje to, że średnie wartości dla cech u odmian były wyższe aniżeli u mutantów. Odmienną sytuację obserwowano w obu suchych latach, gdzie dla kilku cech uzyskano ujemne wartości kontrastu. Oznacza to bardziej zróżnicowaną reakcję mutantów w porównaniu do odmian w warunkach stresu wodnego i możliwość wyboru genotypów o większej tolerancji na niedobór wody w glebie.
5. Podsumowując trzyletni okres doświadczeń polowych, można stwierdzić, że pod względem cech struktury plonu mutanty ustępowały swym odmianom wyjściowym. Mimo tej ogólnej tendencji wyróżnić można mutanty, które w porównaniu

z odmianami charakteryzowały się poszerzoną zmiennością genetyczną badanych cech. Mutanty te, zwłaszcza w kontekście ich reakcji na stres wodny mogą stanowić materiał do badań podstawowych nad stresami abiotycznymi oraz interesujący materiał wyjściowy do prac hodowlanych nad ulepszeniem cech lędźwianu siewnego.

LITERATURA

- 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.
- Benkova M., Žakova M. 2001. Evaluation of selected traits in grasspea (*Lathyrus sativus* L.) genetic resources. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 2: 27 — 30.
- 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 distance based on quantitative traits. *Genetics* 111: 945 — 962.
- Cichy H., Rybiński W. 2007. Ocena zdolności plonowania wybranych mutantów lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) w doświadczeniach polowych. *Zeszyty Problemowe Postępu Nauk Rolniczych* 52: 177 — 185.
- De La Rosa L., Martin I. 2001. Morphological characterization of Spanish genetic resources of *Lathyrus sativus* L. *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 2: 31 — 34.
- Dziamba S. 1997. Biologia i agrotechnika lędźwianu siewnego. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędźwian siewny – agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, 9-10 czerwca 1997: 27 — 33.
- Grela E. R., Skórnicki H. 1997. Skład chemiczny nasion lędźwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.) z terenu województwa radomskiego. Międzynarodowe Sympozjum Naukowe „Lędźwian siewny – agrotechnika i wykorzystanie w żywieniu zwierząt i ludzi”, Radom, czerwiec 9 — 10, 1997: 59 — 70.
- Hammer K. G., Laghetti G. Perrino, P. 1989. Collection of plant genetic resources in South Italy, 1988. *Kulturpflanzen* 37: 401 — 414.
- 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 an animal feed. *Animal Feed Science and Technology* 87: 1 — 27.
- Kozak M., Bocianowski, J., Rybiński, W. 2008 Selection of promising genotypes based on path and cluster analyses. *Journal of Agricultural Science* 146: 85 — 92.
- Mehra R. B., Raju D. B., Himabindu K. 1995. Evaluation and utilization of *Lathyrus sativus* collection in India. In: *Lathyrus Genetic Resources in Asia. Proceedings of a Regional Workshop, 27 — 29 December 1995*, Indira Gandhi Agricultural University, Raipur, India: 37 — 43.
- 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.
- Payne R., Murrey D., Harding S., Baird D., Soutou D., Lane P. 2003. *GenStat for Windows (7th edition) — Introduction*. VSN International, Oxford, England.
- Rencher A. C. 1992. Interpretation of canonical discriminant functions, canonical variates, and principal components. *Am. Stat.* 46: 217–225.
- Robertson L. D., Abd El Moneim A. M. 1995. *Lathyrus* germplasm collection, conservation and utilization. In: *Lathyrus Genetic Resources in Asia. Proceedings of a Regional Workshop, 27-29 December 1995*, Indira Gandhi Agricultural University, Raipur, India, 97 — 111.
- Rybiński W. 2003. Mutagenesis as a tool for improvement of traits in grasspea (*Lathyrus sativus* L.). *Lathyrus Lathyrism Newsletter* 3: 27 — 31.

- Rybiński W., Starzycki M. 2004. Ocena zmienności genetycznej cech mutantów łądzwianu siewnego. Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 497: 539 — 550.
- Rybiński W., Szot B., Pokora L. 2004. Estimation of genetic variation and physical properties of seeds for grass pea mutants (*Lathyrus sativus* L.). Int. Agrophysics 18: 339 — 346.
- Rybiński W., Bocianowski J. 2006. Zmienność cech morfologicznych i struktury plonu nasion mutantów łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). Biuletyn IHAR 240/241: 291 — 297.
- Rybiński W., Grela E. R. 2007. Zróżnicowanie genetyczne cech i składu chemicznego nasion mutantów łądzwianu siewnego (*Lathyrus sativus* L.). Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych 517: 613 — 627.
- Sarwar C. D. M., Sarkar A., Murshed A. N. M. M., Malik M. A. 1995. Variation in natural population of grass pea. pp. 161 — 164 in Yusuf, H.K.M., Lambein, F. (Eds) *Lathyrus sativus* and Human Lathyrism: Progress and Prospects. Proc. 2nd Int. Colloq. Lathyrus/Lathyrism, Dhaka, 10–12 December 1993. University of Dhaka.
- Siddique K. H. M., Loss S. P., Herwig S. P., Wilson J. M. 1996. Growth, yield and neurotoxin (ODAP) concentration of three *Lathyrus* species in Mediterranean-type environments of Western Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 36: 209 — 218.
- Smartt J. 1984. Evolution of grain legumes. I. Mediterranean Pulses. Experimental Agriculture 20: 275 — 296.
- Smulikowska S., Rybiński W., Czerwiński M., Taciak M., Mieczkowska A. 2008. Evaluation of selected mutants of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) cv. Krab as an ingredient in broiler chicken diet. Journal of Animal and Feed Sciences 17: 75 — 87.
- Tiwari K. R., Campbell C. G. 1996. Inheritance of neurotoxin (ODAP) content, flower and seed coat colour in grass pea (*Lathyrus sativus* L.). Euphytica 91: 195 — 203.
- 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.
- Yadov C. R. 1995. Genetic evaluation and varietal improvement of grasspea in Nepal. In: *Lathyrus* Genetic Resources in Asia. Proceedings of a Regional Workshop, 27-29 December 1995, Indira Gandhi Agricultural University, Raipur, India, 21 — 27.
- Yunus A. G., Jackson M. T. 1991. The gene pools of the grasspea (*Lathyrus sativus* L.) Plant Breeding 106: 319 — 328.