

MAŁGORZATA WYRZYKOWSKA**CZESŁAW STANKIEWICZ**

Katedra Hodowli Roślin i Nasiennictwa

Akademia Podlaska w Siedlcach

Wielowymiarowa analiza zmienności cech rolniczych różnych form lucerny mieszańcowej (*Medicago sativa ssp. media*)

A multidimensional analysis of variability in agronomic traits for different forms of lucerne (*Medicago sativa ssp. media*)

W doświadczeniu badano różne formy lucerny mieszańcowej: o szczytowym kwiatostanie, przedłużonym kwitnieniu, rozgałęzionych kwiatostanach i długogroniaste; pochodzące z kolekcji Zakładu Genetyki IHAR Radzików. Celem opracowania była analiza zmienności plonowania nasiennego i cech fenotypowych składających się na składowe plonu nasion, 17 form lucerny mieszańcowej. Zastosowano analizę składowych głównych. Do podziału obiektów na grupy jednorodne pod względem 11 cech zastosowano hierarchiczną metodą skupień z użyciem metody k-średnich i odległości euklidesowej. Podzielono badaną kolekcję lucerny mieszańcowej na dwie wyraźne odrębne grupy fenotypowe. Cechami najbardziej różnicującymi badane obiekty były: plon i liczba nasion z pędu oraz średnie liczby nasion z grona i strąka. Przedstawiono charakterystykę statystyczną wydzielonych grup. Na tej podstawie sporządzono ideotyp formy o wysokim plonie nasion.

Słowa kluczowe: lucerna, plon nasion, analiza składowych głównych, analiza skupień, zróżnicowanie fenotypowe

The genetic lucerne forms included in the studies were characterized by: top-inflorescence, prolonged florescence, branched inflorescence or long clusters. The forms came from the collection maintained at the Department of Genetics, IHAR Radzików. The aim of the paper was to analyze 17 forms of lucerne for seed yielding and phenotypic characters, which were typical of the seed crop. The principal component analysis was applied. In order to divide the accessions into homogeneous groups in respect of the level of 11 traits, the hierarchical cluster analysis was applied (both with the k-mean and the Euclidean distance methods). The agglomeration of the lucerne forms into two distinct phenotypic groups was revealed. The most pronounced differences between the groups were found in the following traits: seed crop, number of seeds in one shoot average number of seeds from a cluster, and average number of seeds from a pod. The statistical characteristic of the distinguished groups was done. Based on the results, an ideotype of the form yielding at a level has been defined.

Key words: lucerne, seed yield, principal component analysis, cluster analysis, phenotypic diversity

WSTĘP

Uzyskanie wysokoplennych odmian lucerny charakteryzujących się również wysokim plonem nasion możliwe jest, między innymi, dzięki wykorzystaniu w kreowaniu nowych form, cech budowy i właściwości kwiatostanu jak również cechy samokończenia wzrostu. W Katedrze Hodowli Roślin i Nasiennictwa Akademii Podlaskiej w Siedlcach rozpoczęto prace hodowlane nad materiałem wyjściowym lucerny mieszańcowej o samokończącym się wzroście, przedłużonym kwitnieniu, rozgałęzionych kwiatostanach i długich gronach; pochodzącym z kolekcji Zakładu Genetyki IHAR Radzików. Prace selekcyjne i badanie stabilności cech są zadaniami bardzo trudnymi i często opartymi na intuicji hodowcy. Lucerna, jako roślina obcopolna i wieloletnia, u której plon właściwy zielonej masy czy też nasion uzyskuje się dopiero w drugim i następnych latach uprawy, jest obiektem trudnym do badania stabilności. Wykrycie pewnych wspólnych, nieznanymi czynników powodujących istnienie zależności między zmiennymi, czy inaczej mówiąc przedstawienie tych obserwowanych zmiennych w postaci mniejszej liczby nieobserwowalnych („ukrytych”) zmiennych zwanych czynnikami (Morrison, 1990) można wykorzystać w podziale (selekcji) materiału wyjściowego na grupy jednorodne o charakterystycznym dla każdej z nich układzie cech. Oparte na analizie wielowymiarowej wczesne rozpoczęcie selekcji i izolacja płciowa wydzielonych grup może przyczynić się do przyspieszenia prac hodowlanych. W niniejszym opracowaniu przeprowadzono wstępną analizę wielowymiarową kolekcji 17 form genetycznych lucerny mieszańcowej pod względem plonowania nasiennego i cech składających się na strukturę plonu nasion. Celem badań było wykrycie cech, które charakteryzują się największą mocą dyskryminacyjną w tej kolekcji lucerny oraz podział badanych form na grupy o dużym podobieństwie wielocechowym. Będzie to podstawą selekcji grup pojedynków o najlepszej produktywności nasiennej.

MATERIAŁ I METODY

W doświadczeniu, w układzie całkowicie losowym, badano różne formy genetyczne lucerny mieszańcowej. Materiał badawczy stanowiły biotypy (formy) lucerny otrzymane z Zakładu Genetyki IHAR w Radzikowie koło Warszawy, od dr. Zbigniewa Bodzona.

Badano:

- linie wyprowadzone z materiału hodowlanego odmiany Radius oznaczane jako Rah100, selekcyjonowane na długie grona — formy „Lp” (ang. long pedunde). Potomstwo niestabilne, rozszczepiające się, obejmujące formy: 5*, 6, 7, 8 (*oznaczenia hodowlane).
- linie S₁, selekcyjonowane na cechę długiej żywotności kwiatów — formy „L.v” (ang. long viability). Obejmuje formy: 14, 17, 23, 25.
- linie S₁, selekcyjonowane na cechę samokończenia — formy „tf” (ang. terminal flower). Obejmuje formy o numerach: 1, 2, 11, 13, 19, 21, 22.
- rody odznaczające się rozgałęzionymi gronami „wiechy” — formy „br” (ang. branched raceme). Ekspresja cechy od bardzo wyraźnej do ledwo zauważalnej, nawet

na jednym osobniku, silnie modyfikowana przez warunki środowiska (temperatura i długość dnia). Obejmuje formy pojedynków: 28 i x .

Charakterystyka biotypów sporządzona została na podstawie danych udostępnionych przez ich pierwotnego właściciela i polowych obserwacji autorów. Ze względu na małą ilość nasion, ich twardość oraz nieznaną energię i siłę kiełkowania zastosowano siew gniazdowy (2003 r.) na podłożu ogrodniczym w donicach bez dna, które umieszczono w szklarni. Gleba na zagonach szklarniowych należy do gleb kulturoziemnych typu hortisoli i charakteryzuje się wysoką zasobnością w składniki pokarmowe oraz pH w 1 mol $\text{KCl} \cdot \text{dm}^{-3}$ — 6,6. Szklarnia w okresie jesiennym, zimowym i w okresie wegetacji, pozbawiona była dachu i dlatego warunki zimowania i rozwoju roślin zbliżone były do naturalnych. Oceny roślin dokonano w latach 2004 i 2005, obejmujących pierwszy i drugi roku użytkowania. Z każdego gniazda pobrano losowo 15 pędów. Zebrane pędy potraktowano jako pojedynki, zachowując informację o ich wspólnym pochodzeniu (linie, rody) poprzez podział na grupy hodowlane o numerach odpowiadających kolejnym gniazdom wysianych nasion. Materiał roślinny opracowano biometrycznie uwzględniając: długość pędu, liczbę węzłów na pędzie, liczbę gron na pędzie, MTN, plon nasion z pędu. Charakterystyka biometryczna gron znajdujących się na poszczególnych pędach wymagała wyznaczenia wartości średnich dla następujących cech: długość osadki grona, długość części produktywnej grona, liczby nasion w gronie, liczby nasion w strąku, liczby strąków w gronie. Uzyskane w pomiarach biometrycznych wyniki opisujące różnorodność badanego materiału wyjściowego lucerny, opracowano statystycznie wyznaczając dla każdej z cech ocenę podstawowych charakterystyk zmienności takich, jak średnia, wartość minimalna i wartość maksymalna oraz współczynnik zmienności. Przeprowadzono analizę wielowymiarową, w której zastosowano analizę składowych głównych. Jako taksonomiczną miarę podobieństwa między obiektami wybrano odległości euklidesowe i pogrupowano obiekty podobne wielocechowo za pomocą analizy skupień metodą k -średnich. Opisy stosowanych tutaj metod statystycznych i ich zastosowania podano w pracach Siczko i wsp. (2004), Liu i wsp. (2004), Kesek i wsp. (2004), James (2000), Rojas i wsp. (2000), Ostasiewicz (1999), Zeven i wsp. (1999), Mądry (1993), Marek (1989). Analizę składowych głównych wykonano na podstawie macierzy współczynników korelacji \mathbf{R} dla średnich z dwu lat i jedenastu rozpatrywanych cech. Wyznaczono oceny wartości własnych $\hat{\lambda}_i$ macierzy korelacji \mathbf{R} oraz odpowiadające im oceny wektorów własnych \mathbf{q}_i . Obliczono współczynniki korelacji prostej $r_{\hat{z}_i x_j}$ między i -tą składową główną, a j -tą cechą obserwowaną, korzystając ze wzoru (Siczko i in., 2004):

$$r_{\hat{z}_i x_j} = \frac{q_{ij} \sqrt{\hat{\lambda}_i}}{S_j^2}$$

gdzie: S_j^2 jest oceną wariancji j -tej cechy x_j (j -tym elementem na przekątnej macierzy kowariancji \mathbf{S} q_{ij} są elementami i -tego wektora własnego dla j -tej cechy obserwowanej x_j , $j = 1, \dots, p$).

Obliczenia przeprowadzono za pomocą programu Statistica.

WYNIKI I DYSKUSJA

Analiza jednowymiarowa zmienności cech genotypowych nie zawsze daje odpowiedź na ważne pytania hodowcy. Proste stwierdzenia, iż badane obiekty różnią się lub nie pod względem kolejnych cech, bez uwzględnienia związków między tymi cechami, zubaża wnioskowanie i może opóźniać postęp prac hodowlanych. Metody wielowymiarowe są stosowane z powodzeniem w ocenie zmienności genotypowej populacji roślin rolniczych (Kubicka i in., 2004; Kuriata i in., 2004; Mądry, 1993; Szczepaniak, 2003; Noffsinger, 2000; Pietrzykowski, 2004; Sieczko i in., 2004; Tyrka, Mikulski, 2004; Ronfort i in., 1998) i ogrodniczych (Ukalska i in., 2004). Badania wielowymiarowe różnorodności biologicznej stosowane są również w hodowli i ocenie zmienności lucerny, lecz najczęściej w badaniach wykorzystujących markery genetyczne, analizę DNA i podobieństwo chromosomów (Bauchan i in., 2003; Jenczewski i in., 1999; Bena i in., 1998; Baraccia i in., 1997).

Tabela 1

Zmienność cech u badanych form lucerny mieszańcowej (2004–2005)
Variability of traits in the lucerne forms (2004–2005)

Cecha Trait	Średnia Mean	Minimum Minimum	Maksimum Maximum	Współczynnik zmienności [%] Coefficient of variation
Długość pędów (cm) Shoot length (cm)	83,9	41 ^{22*}	169 ⁷	21
Liczba węzłów na pędzie (szt.) Number of knots on a shoot	18,25	8 ^{14,28}	30 ²⁵	22
Liczba gron na pędzie (szt.) Number of clusters on a shoot	50,0	7 ²¹	326 ¹¹	85
Średnia liczba strąków w gronie (szt.) Average number of pods in a cluster	11,7	3,1 ²⁵	26,9 ⁸	34
Długość osadki grona (cm) Cluster torus length (cm)	4,9	2,2 ⁸	11,1 ^{14,7}	28
Długość części produktywnej grona (cm) Cluster productive part length (cm)	2,8	0,92 ¹⁹	8,96 ¹⁴	45
Średnia liczba nasion w gronie (szt.) Average number of seeds in a cluster	17,9	0,5 ²⁵	108 ⁶	78
Średnia liczba nasion w strąku (szt.) Average number of seeds in a pod	1,4	0,13 ²⁵	9,0 ⁶	75
Liczba nasion z pędu (szt.) Number of seeds from a shoot	720	5,0 ²⁵	3639 ²⁸	78
MTN (g) Thousand seeds weight (g)	1,96	1,0 ²⁵	4,3 ²²	19
Plon nasion z pędu (g) Seed crop from a shoot (g)	1,38	0,3 ⁵	7,88 ²⁸	80

*Numery oznaczają formy genetyczne, z której pochodzi pojedynek o skrajnej wartości cechy

* Numbers mean the genetic forms from which the individual showing an extremal value of the trait has been derived

W badanej kolekcji lucerny mieszańcowej największą zmiennością (tab. 1) odznaczały się cechy charakteryzujące produktywność nasienną roślin lucerny: średnia liczba nasion w gronie, średnia liczba nasion w strąku, liczba nasion z pędu, plon nasion z pędu oraz liczba gron na pędzie. Najczęściej minimalne wartości badanych cech charakteryzowały pędy z grupy nr 25. Najwyższe wartości cech zanotowano u form o numerach: 6, 28, 14, 7.

Analiza składowych głównych (tab. 2) pozwala na stwierdzenie, że dwie pierwsze składowe wyjaśniły łącznie 57,5% ogólnej wielocechowej zmienności badanych form genetycznych lucerny. Średnia liczba nasion w gronie, średnia liczba nasion w strąku, liczba nasion z pędu oraz plon nasion z pędu, najsilniej skorelowane z pierwszą składową główną, najsilniej i wyraźnie różnicują badane grupy jednorodne. W drugiej składowej głównej największą moc dyskryminacyjną wykazują: długość grona i jego części produktywnej.

Tabela 2

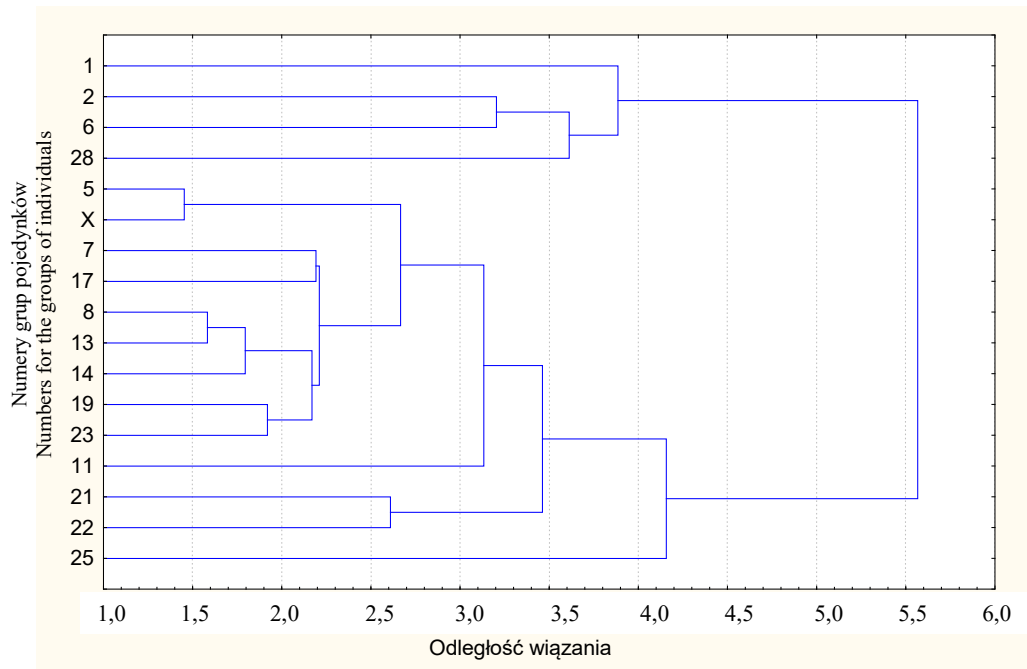
Wartości własne $\hat{\lambda}_i$ dla dwóch składowych głównych oraz współczynniki korelacji $r_{\hat{z}_i, x_j}$

Eigenvalue $\hat{\lambda}_i$ for two main components and correlation coefficients $r_{\hat{z}_i, x_j}$

Cecha Trait	Składowa 1, \hat{z}_1	Składowa 2, \hat{z}_2
	Component 1, \hat{z}_1	Component 2, \hat{z}_2
	correlation coefficients $r_{\hat{z}_1, x_j}$	correlation coefficients $r_{\hat{z}_2, x_j}$
Długość pędów Shoot length	0,313	0,411
Liczba węzłów na pędzie Number of knots on a shoot	-0,044	0,631
Liczba gron na pędzie Number of clusters on a shoot	0,337	0,116
Średnia liczba strąków w gronie Average number of pods in a cluster	0,683	-0,14
Długość osadki grona Cluster torus length	0,031	0,888
Długość części prod. grona Cluster productive part length	0,007	0,918
Średnia liczba nasion w gronie Average number of seeds in a cluster	0,919	-0,147
Średnia liczba nasion w strąku Average number of seeds in a pod	0,837	0,128
Liczba nasion z pędu Number of seeds from a shoot	0,947	0,064
MTN Thousand seed weight	0,183	0,124
Plon nasion z pędu Seed crop from a shoot	0,934	0,088
Wartości własne $\hat{\lambda}_i$ — Eigenvalue $\hat{\lambda}_i$	$\hat{\lambda}_1 = 4,03$	$\hat{\lambda}_2 = 2,30$
Procent wyjaśnionej wielocechowej zmienności obiektów Percentage of elucidated multifactor variability of objects	36,6	20,9

Na podstawie diagramu (rys. 1) można stwierdzić, iż badane grupy form można podzielić na dwa skupienia. Pierwsze z nich obejmuje formy o numerach: 1, 2, 6, 28. W drugim skupieniu znajdują się pozostałe grupy pojedynków. Należy zwrócić uwagę na widoczną odrębność grupy o numerze 25. Średnie wartości cech dla poszczególnych skupień znajdują się w tabeli 3. Cechami różnicującymi badane grupy form są: średnia

liczba nasion w strąku i gronie, plon i liczba nasion z pędu; cechy wyznaczone już wcześniej w analizie składowych głównych.



Rys. 1. Diagram dla 17 form lucerny
Fig. 1. Cluster analysis for the 17 lucerne forms

Pędy o wysokiej produktywności nasiennej (średnio 1,96 g nasion z pędu) zawiązywały na pędzie średnio 1063 nasion (tab. 3). Ich strąki wiązały po 2,0 nasion a w gronie było ich średnio 22,8. O dodatniej zależności między plonowaniem nasiennym lucerny a liczbą nasion zawiązywanych w gronie donosi Staszewski (1975), Puzio-Idźkowska (1993). We wcześniejszych pracach współautorki niniejszego opracowania (Wyrzykowska, 2004) znajduje potwierdzenie zależność, iż rośliny lucerny dobrze plonujące nasienie wiążą dużo nasion na pędzie i w gronie.

Dobrze plonujące rośliny z grupy 1 i 2 są formami samokończącymi. W polu zaobserwowano, że są to typowe formy lucerny mieszańcowej, a ich kwitnienie było opóźnione w stosunku do innych roślin o ok. 2 tygodnie. Formy grupy 6. to przedstawiciele genotypów długogroniastych. Cecha ta, jak widać, nie zawsze wpływa korzystnie na produktywność nasienną, pozostałe grupy pojedynków (5,7,8) wydały niski plon nasion. Rośliny na polu miały długie grona, które były bardzo często ubogie w strąki, czego nie stwierdzono w grupie 6. Mała zbiżość grona może być spowodowana słabszym wiązaniem nasion (pogoda, owady, krótka żywotność kwiatów) lub ich obłamywaniem w czasie zbioru. Grupa 28 to przedstawiciel roślin o wiechowatych gronach. W tej grupie były pędy

o największych: plonie i liczbie nasion. U roślin na polu rozgałęzienie gron było słabo zaznaczone, ale grona były dość zbite.

Tabela 3

Średnie wartości badanych cech dla skupień
Average values for the tested traits in agglomerations

Cecha Trait	Średnie wartości cech dla skupienia nr 1 Average values for agglomeration traits number 1	Średnie wartości cech dla skupienia nr 2 Average values for agglomeration traits number 2	Poziom istotności różnic między skupieniami Significance of differences between agglomerations
Długość pędów (cm) Shoot length (cm)	84,1	83,3	0,48
Liczba węzłów na pędzie (szt.) Number of knots on a shoot	16,9	19,1	0,42
Liczba gron na pędzie (szt.) Number of clusters on a shoot	57,9	46,0	0,03
Średnia liczba strąków w gronie (szt.) Average number of pods in a cluster	12,2	11,5	0,35
Długość osadki grona (cm) Cluster torus length (cm)	4,8	5,1	0,69
Długość części produktywnej grona (cm) Cluster productive part length (cm)	2,6	3,1	0,74
Średnia liczba nasion w gronie (szt.) Average number of seeds in a cluster	22,8	12,9	0,01
Średnia liczba nasion w strąku (szt.) Average number of seeds in a pod	2,0	1,26	0,01
Liczba nasion z pędu (szt.); Number of seeds from a shoot	1063	470	0,01
MTN (g) Thousand seeds weight (g)	1,74	1,82	0,77
Plon nasion z pędu (g); Seed crop from a shoot (g)	1,96	0,9	0,01

Na podstawie uzyskanych wyników, do dalszej hodowli wybrano formy: 1, 2, 6, 28. Ich wartość hodowlana została potwierdzona w dwóch latach użytkowania. Następnym etapem hodowli będzie rozmnożenie w izolacji i sprawdzenie ich produktywności nasiennej oraz paszowej w następnych latach i miejscowościach.

WNIOSKI

1. Stosowane metody taksonomiczne: metoda składowych głównych, odległości euklidesowych i grupowania metodą k-średnich udzielały ogólnie podobnych, ale również wzajemnie uzupełniających się informacji. Dzięki temu uzyskaliśmy wykaz cech różnicujących istotnie badaną kolekcję wyjściową lucerny, ich podział na skupienia jak również średnie wartości cech w każdym skupieniu.
2. W przestrzeni dwóch pierwszych składowych głównych, ogólna wielocechowa zmienność badanych grup form, została wyjaśniona w 57,5%. Z pierwszą składową główną najsilniej skorelowane były średnia liczba nasion w gronie i strąku oraz liczba

- i plon nasion z pędu; z drugą: długość grona i jego części produktywnej. Są to cechy o największej mocy dyskryminacyjnej.
3. Zastosowanie metody analizy wielowymiarowej, pozwoliło na podział badanej kolekcji lucerny na dwie grupy jednorodnej o wyraźnym zróżnicowaniu produktywności nasiennej i cech charakteryzujących plon nasion. Pierwsze skupienie charakteryzujące się wysoką produktywnością nasienną obejmuje grupy pojedynków o różnym pochodzeniu, oznaczone numerami 1 i 2 (linie samokończące), 6 (linia selekcyjowana na długie grona), 28 (ród z cechą „wiechowatych” gron).
 4. Wyselekcjonowane pojedynki o wysokiej produktywności nasiennej (średnio 1,96 g nasion z pędu) charakteryzowały się: średnio 1063 nasionami na pędzie, średnio 2,0 nasionami w strąku i zawiązywały 22,8 nasion w gronie.

LITERATURA

- Baraccia G., Falcinelli M., Papa R., Pellicoro A., Tavoletti S., Veronesi F. 1997. Genomic variability estimation and agronomic evaluation of cultivated lucerne populations of central Italy. Proceedings of the 20th Meeting of EUCARPIA Fodder Crops and Amenity Grasses Section, Radzików, Poland, 7–10 October 1996: 48 — 56.
- Bauchan G. G., Campbell A., Hossain M. A. 2003. Comparative chromosome banding studies of nondormant alfalfa germplasm. *Crop Sci.* 43: 2037 — 2042.
- Bena G., Prospero J.M., Oliveri I., Lejeune B. 1998. Molecular Phylogeny of the Genus *Medicago*. Taxonomic and Evolutionary Implications. North American Alfalfa Improvement Conference, <http://genes.alfalfa.ksu.edu/98Reports.html>.
- James, G., Hastie, T., Sugar, C. 2000. A principal component models for sparse functional data. *Biometrika* 87: 587 — 602.
- Jenczewski E., Prospero J. M., Ronfort J. 1999. Evidence for gene flow between wild and cultivated *Medicago sativa* (*Leguminosae*) based on allozyme markers and quantitative traits. *Am. J. Bot.* 86: 677 — 687.
- Kesek M., Jernberg T., Lindahl B., Xue J., Englund A., 2004. Principal component analysis of the T wave in patients with chest pain and conduction disturbances. *Pacing and Clinical Electrophysiology*. 27: 1378 — 1387.
- Kubicka H., Mądry W., Sieczko L., Komar A., Puchalski J. 2004. Wielowymiarowa analiza różnorodności genotypowej linii wsobnych żyta ozimego (*Secale cereale* L.) dla cech rolniczych i fenologicznych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 497 (2): 375 — 390.
- Kuriata R., Kadłubiec W., Bulińska-Radomska Z., Adamczyk J. 2004. Ocena genetycznego zróżnicowania linii wsobnych kukurydzy. *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 497 (2): 399 — 404.
- Liu L., Kakihara E., Kato M. 2004. Characterization of six varieties of *Cucumis melo* L. based on morphological and physiological characters, including shelf-life of fruit. *Euphytica* 135: 305 — 313.
- Marek T. 1989. Analiza skupień w badaniach empirycznych. *Metody SAHN*. PWN, Warszawa: 23 — 24.
- Mądry W. 1993. Studia statystyczne nad wielowymiarową oceną zróżnicowania cech ilościowych w kolekcji zasobów genowych zbóż. *Wyd. SGGW, Warszawa, Rozprawy Naukowe i Monografie*.
- Morrison D. F. 1990. *Wielowymiarowa analiza statystyczna*. PWN, Warszawa.
- Noffsinger S. L., Huyghe Ch., Santen E. 2000. Analysis of grain-yield components and inflorescence levels in winter-type white lupin. *Agron. J.* 92: 1195 — 1202.
- Ostasiewicz W. (red.). 1999. *Statystyczne metody analizy danych*. Wyd. A. E. im. O. Lange, Wrocław.
- Pietrzykowski R. 2004. Wykorzystanie nowej wielowymiarowej metody statystycznej do badania zmienności somaklonalnej na przykładzie żyta ozimego (*Secale cereale* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Roln.* 497: 495 — 502.

- Puzio-Idźkowska M. 1993. Odziedziczalność niektórych cech determinujących plon nasion lucerny mieszańcowej (*Medicago media* L.) odmiany Warmińska. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu, Rolnictwo LVIII, 223: 317 — 323.
- Rojas W., Barriga P., Figueroa H. 2000. Multivariate analysis of the genetic diversity of Bolivian quinoa germplasm. Plant Genet. Res. Newsletter 122: 1623 — 1627.
- Ronfort J., Jenczewski E., Bataillon T., Rousset R. 1998. Analysis of population structure in autotetraploid species. Genetics 150: 921 — 930.
- Sieczko L., Mądry W., Zieliński A., Paderewski J., Urbaś-Szwed K. 2004. Zastosowanie analizy składowych głównych w badaniach nad wielocechową charakterystyką zmienności genetycznej w kolekcji zasobów genowych pszenicy twardej (*Triticum durum* L.). Colloquium Biometryczne 34: 223 — 239.
- Staszewski Z. 1975. Lucerny. PWRiL Warszawa: 354 s.
- Szczepaniak M. 2003. Krytyczne studia taksonomiczne nad *Elymus repens* (L.) Gold. Zastosowania metod statystycznych w badaniach naukowych. Kraków: http://www.statsoft.pl/czytelnia/badania_naukowe/d1biolmed/krytycznestudia.pdf
- Tyrka M., Mikulski W. 2004. Porównanie zmienności fenotypowej i genotypowej odmian i linii pszenicy zwyczajnej. Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 497: 613 — 620.
- Ukalska J., Skórniak-Pokarowska U., Masny A. 2005. Ocena zróżnicowania wielocechowego w kolekcji odmian truskawki (*Fragaria* × *Ananassa*): cechy plonu owoców i jego jakości. Colloquium Biometryczne 34 a: 181 — 194.
- Wyrzykowska M. 2004. Analiza zależności między czynnikami plonotwórczymi, plonem nasion i plonem zielonej masy u lucerny (*Medicago* sp. L.). Zesz. Probl. Post. Nauk Roln. 497: 627 — 635.
- Zeven A. C., Waninge J., Hintum T., Singh S. P. 1999. Phenotypic variation in a core collection of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Netherlands. Euphytica 109: 93 — 106.