

LESZEK DOMAŃSKI ¹
DARIUSZ R. MAŃKOWSKI ²
BOGDAN FLIS ¹
HENRYKA JAKUCZUN ¹
EWA ZIMNOCH-GUZOWSKA ¹

¹ Zakład Genetyki i Materiałów Wyjściowych Ziemiaka, Oddział Młochów

² Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB w Radzikowie

Struktura wielo cechowej zmienności fenotypowej rodów ziemniaka uzyskanych z krzyżowań tetraploid × diploid

The structure of multivariable phenotypic variation in potato progenies derived from tetraploid × diploid crosses

W IHAR, Oddział Młochów w latach 2008–2009, dla osiemdziesięciu rodów ziemniaka z czterech krzyżowań tetraploid × diploid przeprowadzono oceny pod kątem 12 cech użytkowych i jakościowych. Celem badań była ocena struktury wielo cechowej zmienności. Eksploracyjna analiza czynnikowa (EFA) pozwoliła na wyodrębnienie 5 czynników odpowiedzialnych za 68% obserwowanej łącznej zmienności rodów. Wartości własne analizowanej macierzy korelacji dla tych czynników były większe od 1. Pierwszy czynnik (21,7% zmienności) był utworzony przez cechy odpowiedzialne za ogólny wygląd bulw (regularność kształtu, głębokość oczek, frekwencja bulw z wtórnym wzrostem). Drugi czynnik (15,5% zmienności), zwany czynnikiem plonotwórczym był skorelowany z plonem bulw, średnim ciężarem bulwy i stopniem spłaszczenia bulw. Trzeci czynnik (12,2% zmienności) określał przydatność do przetwórstwa i był skorelowany z dwoma wiodącymi cechami technologicznymi — zawartością skrobi i barwą chipsów. Czwarty czynnik (9,9% zmienności) został zinterpretowany jako wydłużenie bulw (korelacja z typem kształtu, frekwencją bulw spiczastych). Piąty czynnik (8,5% zmienności) był utworzony przez cechę wyglądu bulw. Wielowymiarowa struktura tej zmienności daje szansę na wyselekcjonowanie wartościowych tetraploidalnych rodów ziemniaka do użytkowania jadalnego, przetwórstwa spożywczego (chipsy, susze) oraz przetwórstwa na skrobię.

Słowa kluczowe: eksploracyjna analiza czynnikowa EFA, krzyżowanie interploidalne, zmienność wielo cechowa, ziemniak

In IHAR, Research Center Młochów during 2008–2009, eighty potato clones derived from the four tetraploid × diploid crosses were evaluated for 12 agronomic and tuber quality traits. The research objective was to examine the structure of multivariable variation. The first five axes of exploratory factor analysis (EFA) extracted 68% of the total variance among clones. Eigenvalues of the analyzed correlation matrix for these factors were above 1. The first factor (21.7% of total variance) was created by traits responsible for general appearance of tubers (shape regularity, depth of eyes, the frequency of

tubers with the symptoms of secondary growth). The second factor (15.6% of total variance) was called a performance factor and was correlated with tuber yield, mean tuber weight and tuber flatness. The third factor (12.2% of total variance) called a suitability for processing was correlated with the two key processing traits: starch content and chip colour. The fourth factor (9.9% of total variance) was interpreted as tuber elongation since it was correlated with type of shape and the frequency of tubers with pointed ends. The fifth factor (8.5% of total variance) was correlated with the skin appearance. Multivariate structure of this variance gives a chance for selecting of valuable potato clones for: table use, processing into chips or dry-products and starch processing.

Key words: exploratory factor analysis EFA, interploidy mating, multivariable variation, potato

WSTĘP

Złożone mieszańce międzygatunkowe ziemniaka diploidalnego stanowią ważne źródło zmienności genetycznej wykorzystywanej w pracach hodowlanych zmierzających do uzyskania nowych materiałów wyjściowych i odmian ziemniaka. Ta diploidalna pula *Solanum* powstawała w efekcie kilkunastoletniej kumulacji alleli genów cech odpornościowych i jakościowych (Hayes i Thill, 2002; Zimnoch-Guzowska, 2003; Haynes i Lu, 2005; Watanabe i in., 2005; Jakuczun i Wasilewicz-Flis, 2006). W ostatnim dwudziestolecu nastąpiło znaczące wzbogacenie zmienności genetycznej ziemniaka uprawnego o allele genów z ziemniaka diploidalnego warunkujących wysoki ciężar właściwy bulw (Haynes, 1990; Sterret i in., 2003), jasną barwę chipsów po przechowaniu bulw w temperaturze 4°C (Thill i Peloquin, 1995; Hayes i Thill, 2002, Domański i in., 2006, 2009) oraz tworzenie bardziej intensywnej żółtej barwy miąższu bulw (Haynes i Lu, 2005).

Programy hodowlano-badawcze ukierunkowane na wytworzenie materiałów wyjściowych dla hodowli ziemniaka jadalnego, jak również na cele przetwórstwa spożywczego, zakładają równoległe doskonalenie szeregu cech (Zimnoch-Guzowska i Flis, 2006), uwzględniających zarówno aspekty produktywności, jakości jak i odporności na agrofagi. Materiały hodowlano-badawcze są więc oceniane pod względem wielu cech, już od drugiego rozmnożenia wegetatywnego. Zgromadzone obserwacje dla tych cech umożliwiają zastosowanie statystycznych metod wielowymiarowych do wykonania wielocechowej analizy zmienności. Analizy tego rodzaju znalazły szerokie zastosowanie przy charakterystyce kolekcji zasobów genowych roślin uprawnych (Nassir i Ariyo, 2007; Ukalski i in., 2007; Mądry, 2007; Mańkowski i in., 2009; Studnicki i in., 2009; Makinde i Ariyo, 2010).

Celem badań była ocena struktury wielocechowej zmienności wśród 80 rodów tetraploidalnych, uzyskanych z próbnych krzyżowań typu tetraploid × diploid.

MATERIAŁ I METODY

Materiał badawczy obejmował 80 rodów uzyskanych z krzyżowań dwóch tetraploidalnych rodów M-62819 i M-62840 z trzema diploidalnymi formami ojcowskimi, z których dwie (DG.03-131 i DG.03-170) charakteryzowały się wysoką jakością kulinarną, a jedna (DG.03-277) była formą typu „cold chipping”. Dwadzieścia klonów, pobranych losowo z każdej z 4 rodzin, pochodzących z krzyżowań: M-62819 × DG.03-131 (A), M-

62819 × DG.03-170 (B), M-62840 × DG.03-170 (C), M-62840 × DG. 03-277 (D) zostało wysadzonych na 3-krzakowych poletkach, w dwóch powtórzeniach na polu IHAR Młochów w 2008 i 2009 roku. Zastosowano typowy dla plantacji ziemniaka jadalnego program nawożenia i ochrony, nie stosowano deszczowania. Dla każdego poletka po zbiorze oceniono 12 cech: plon bulw (PB), zawartość skrobi (SKR), średni ciężar bulwy (SCB), typ kształtu bulw (TKB), regularność kształtu bulw (RKB), głębokość oczek (GO), spłaszczenie bulw (SPB), wygląd skórki (WSK), frekwencję bulw spiczastych (FBSP), frekwencję bulw z objawami wtórnego wzrostu (FBWW), ciemnienie enzymatyczne miąższu bulw (CE), barwę chipsów (BCH). Dalsze metodyczne szczegóły, dotyczące opisów morfologicznych bulw i testów smażenia zawarte są w pracy Domańskiego i in. (2010).

Wielocechowe dane doświadczalne opracowano za pomocą eksploracyjnej analizy czynnikowej (EFA) posługując się procedurą FACTOR pakietu statystycznego SAS 9.2 (SAS Institute Inc., 2009). Obserwacje cech FBSP i FBWW, zawierające dane procentowe, przed rozpoczęciem analizy (EFA) przybliżano do rozkładu normalnego przy zastosowaniu transformacji Blissa. Eksploracyjną analizę czynnikową przeprowadzono metodą składowych głównych Hotellinga z normalizacją Kaizera i rotacją varimax (Kaiser, 1958; Szczotka, 1977; Timm, 2002; Krzyśko, 2009). Z racji, że zmienne źródłowe wyrażone były w różnych skalach, analizę oparto na macierzy korelacji.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Średnie i zakresy wartości wszystkich analizowanych cech w obrębie poszczególnych rodzin zestawiono w tabeli 1. Przeprowadzone wcześniej analizy wariancji dla każdej z cech wykazały istotne zróżnicowanie między rodzinami (Domański i in., 2010). Przeprowadzona analiza czynnikowa pozwoliła na wskazanie pięciu czynników wspólnych, które tłumaczyły 68% wielocechowej zmienności rodów (tab. 2). Wartości własne macierzy korelacji dla tych czynników były większe od 1. Uwzględniając więc kryterium wartości własnej (Mańkowski i in., 2009) i test osypiska (Timm, 2002) wybrano je do dalszej analizy.

Pierwszy czynnik o wartości własnej 2,608 wyjaśniał 21,7% łącznej zmienności, czynnik drugi o wartości własnej 1,877 wyjaśniał 15,6% łącznej zmienności, czynnik trzeci o wartości własnej 1,466 tłumaczył 12,2% łącznej zmienności rodów, czynnik czwarty o wartości własnej 1,193 wyjaśniał 9,9% łącznej zmienności, natomiast piąty czynnik o wartości własnej 1,016 tłumaczył 8,5% łącznej zmienności badanych rodów.

Szczegółowa analiza macierzy ładunków czynnikowych po rotacji umożliwiła określenie struktury budowy wyznaczonych czynników i zidentyfikowanie pięciu współzależności między rozpatrywanymi cechami ziemniaka (tab. 3).

Czynnik pierwszy został zinterpretowany jako wygląd zewnętrzny bulw i był wyrażony przez regularność kształtu, głębokość oczek i frekwencję bulw z objawami wtórnego wzrostu. Regularny kształt bulw, płytkie ułożenie oczek, a także możliwie niska frekwencja bulw z wtórnym wzrostem są właściwościami wymaganymi zarówno od

ziemniaka jadalnego, jak i ziemniaka przeznaczanego na przetwory spożywcze (Zgórska, 2002; Nowacki, 2003; Bradshaw i in., 2009; Lisińska i in., 2009).

Tabela 1

Średnie i wartości skrajne dla analizowanych cech w obrębie potomstwa każdej z czterech rodzin
Means and ranges of analyzed traits within each progeny of the four families

Cecha Trait	Średnie i zakresy dla Mean and range values for									
	rodzina A family A		rodzina B family B		rodzina C family C		rodzina D family D		odmiany wzorcowe standard cultivars	
PB Plon bulw (kg/poletko) Tuber yield (kg/plot)	4,10	2,30–5,41	3,50	2,29–4,53	3,98	2,68–5,00	2,59	0,57–4,51	3,63	1,87–4,54
SCB Średni ciężar bulwy (g) Mean tuber weight (g)	64,8	39,1–93,3	68,0	44,1–94,8	82,6	67,2–104,6	79,7	38,8–112,1	98,9	76,4–126,5
SKR Zawartość skrobi (%) Starch content (%)	17,9	15,6–19,7	16,9	14,8–19,0	16,4	13,6–19,7	18,5	15,1–21,4	15,4	14,8–15,9
BCH Barwa chipsów (1-9) Chip colour (1-9)	5,0	2,7–6,9	5,0	3,4–6,3	4,1	2,9–5,9	7,3	5,9–8,1	7,0	6,6–7,4
CE Ciemnienie enzymatyczne (1-9) Enzymatic discoloration (1-9)	7,8	7,3–8,3	7,8	6,5–8,2	7,6	7,0–8,1	6,9	6,0–7,4	7,4	6,8–7,5
TKB Typ kształtu bulw (1-9) Tuber shape (1-9)	3,9	2,6–4,8	3,7	1,9–6,2	4,3	1,8–6,7	3,8	2,3–6,8	4,7	2,0–7,3
RKB Regularność kształtu bulw (1-9) Regularity of tuber shape (1-9)	6,7	6,1–7,2	6,7	6,2–7,2	6,6	6,3–7,1	5,9	5,2–6,9	6,4	6,2–6,6
GO Głębokość oczek (1-9) Depth of eye (1-9)	6,7	6,2–7,2	6,9	6,4–7,3	6,7	6,1–7,3	6,0	5,5–6,8	6,3	6,0–6,6
SPB Spłaszczenie bulw (1-9) Tuber flatness (1-9)	6,8	6,5–7,3	6,7	6,1–7,3	7,1	6,7–7,5	7,0	6,6–7,6	6,9	6,4–7,4
WSK Wygląd skórki (1-9) Skin appearance (1-9)	6,5	6,2–7,0	6,7	6,3–7,1	6,4	6,1–6,7	6,1	5,8–6,4	6,9	6,4–7,4
FBSP % bulw spiczastych w plonie % of tubers with pointed ends in total yield	0,8	0,0–5,0	0,6	0,0–3,3	0,9	0,0–5,1	0,1	0,0–1,8	2,4	1,5–3,2
FBWW % bulw z objawami wtórnego wzrostu % of tubers with symptoms of secondary growth	2,4	0,4–12,1	25,8	0,2–10,4	2,4	0,7–28,4	3,4	0,0–21,0	10,5	1,7–15,0

Odmiiany wzorcowe (standard cultivars): Syrena, Snowden, Tokaj

Skala 1–9, 9 oznacza: jasną barwę chipsów, brak enzymatycznego ciemnienia miąższu, bulwy podłużne, najbardziej regularny zarys, najpłytse oczka, okrągły poprzeczny przekrój bulwy oraz najgładszą i błyszczącą skórę bulw
 Scale 1–9, 9 means: the light colour of chips, no enzymatic browning, elongated tubers, the most regular shape, the shallowest eyes, tuber round at transversal section and smooth, shiny tuber skin

Czynnik drugi (15,7% zmienności) określony jako zdolność plonotwórcza roślin był skorelowany z plonem bulw, średnim ciężarem bulwy i spłaszczeniem bulw, mówiącym o stopniu wypełnienia bulw. Badania Kamińskiego (1977) i Teodorczyk (1981) wykazały korelacje dodatnie fenotypowe i genetyczne między plonem bulw a wielkością bulw.

Tabela 2

Wyznaczone czynniki wspólne, wartości własne, udział wyjaśnionej i skumulowanej zmienności
The determined common factors, eigenvalues and percentages of explained and cumulative variance

Czynnik Factor	Wartość własna Eigenvalue	% udział zmienności wyjaśnionej Proportion of variation accounted for (%)	Skumulowany (%) zmienności Cumulative variance (%)
1	2,608	21,73	21,73
2	1,877	15,64	37,37
3	1,466	12,22	49,59
4	1,193	9,94	59,53
5	1,016	8,47	68,00
6	0,879	7,32	75,32
7	0,773	6,44	81,77
8	0,691	5,76	87,53
9	0,584	4,87	92,40
10	0,411	3,42	95,82
11	0,328	2,74	98,56
12	0,173	1,44	100,00

Tabela 3

Macierz ładunków czynnikowych po rotacji varimax
The factor loadings matrix after varimax rotation

Cecha Trait	Czynnik 1 Factor 1	Czynnik 2 Factor 2	Czynnik 3 Factor 3	Czynnik 4 Factor 4	Czynnik 5 Factor 5
PB	0,220	0,650	0,122	0,317	0,170
SCB	-0,287	0,780	-0,046	0,004	-0,035
TKB	0,088	0,166	0,040	0,642	-0,117
SPB	-0,079	0,770	-0,079	-0,149	-0,131
RKB	0,884	-0,057	-0,153	0,142	0,081
GO	0,744	-0,166	-0,306	0,333	0,064
WSK	0,026	-0,060	0,003	-0,117	0,926
CE	0,291	0,050	-0,322	0,452	0,293
FBWW	-0,607	0,076	-0,368	0,418	0,160
FBSP	0,041	-0,162	0,053	0,734	-0,041
SKR	0,009	0,077	0,853	0,169	0,116
BCH	-0,225	-0,121	0,782	-0,112	-0,122

Czynnik trzeci (12,2% zmienności), określający przydatność do przetwórstwa był powiązany z głównymi cechami technologicznymi w przetwórstwie na chipsy, jakimi są zawartość skrobi i barwa chipsów (Zgórska, 2002; Lisińska i in., 2009). Oszacowane w obrębie tego samego materiału badawczego, współczynniki odziedziczalności w szerokim sensie dla zawartości skrobi ($h = 0,77$) i barwy chipsów ($h = 0,76$) wskazały dość wysoki stopień genetycznego uwarunkowania obu cech (Domański i in. 2010).

Czynnik czwarty (9,9% zmienności), zinterpretowany jako wydłużenie bulw, był skorelowany z typem kształtu i frekwencją bulw ze spiczastymi końcami. Z wcześniej przeprowadzonych badań na tych samych rodach (Domański i in., 2010) wynika, że cecha frekwencji bulw ze spiczastymi końcami jest cechą o niskim uwarunkowaniu genetycznym ($h = 0,42$). Frekwencja bulw spiczastych była nieco wyższa wśród rodów o bardziej wydłużonym kształcie bulw, współczynnik fenotypowej korelacji liniowej między tymi cechami wyniósł 0,45 ($P < 0,01$).

Piąty czynnik, tłumaczący 8,5% łącznej zmienności rodów był powiązany z wyglądem skórki. Bulwy o gładkiej, lśniącej skórce są preferowane przez większość supermarketów sprzedających myte i paczkowane ziemniaki, gdyż konsumenci dokonując wstępnego wyboru kierują się właśnie wyglądem bulwy (Chotkowski, 2007).

Wyniki analiz czynnikowej (EFA) i składowych głównych (PCA) były podobne w wielowymiarowym opisie zmienności genotypów ryżu (Nassir i Ariyo, 2007), orzeszków ziemnych *Arachis hypogea* L. (Kumar i in., 2010), a także ziemniaka, na co wskazują nasze wyniki prezentowane w tej i poprzedniej pracy (Domański i in., 2012). Laudański i in. (2012) stwierdzili, że podstawą zastosowania analizy czynnikowej jest przypuszczenie, że jeżeli dysponujemy dużą liczbą powiązanych wzajemnie cech, to związki między nimi mogą wynikać z istnienia jednego lub wielu czynników wspólnych, które są powiązane z poszczególnymi cechami analizowanego zespołu.

Celem eksploracyjnej analizy czynnikowej jest wykrycie tych wspólnych czynników (nowego zbioru zmiennych), odpowiedzialnych za łączne (jednocześnie współzależne) zachowanie się poszczególnych cech, czy też poszczególnych grup cech. Zatem analiza czynnikowa służy także do poszukiwania grup cech współistniejących, czyli wzajemnie związanych.

WNIOSKI

1. Analiza czynnikowa pozwoliła na zidentyfikowanie pięciu współzależności w obrębie 12 obserwowanych cech, i tak:
 - pierwszy czynnik, tworzony przez cechy odpowiedzialne za ogólny zewnętrzny wygląd bulw (regularność kształtu, głębokość oczek oraz frekwencja bulw z objawami wtórnego wzrostu);
 - drugi czynnik zwany czynnikiem plonotwórczym (cechy: plon bulw, średni ciężar bulwy oraz spłaszczenie bulw);
 - trzeci czynnik, określający przydatność do przetwórstwa (cechy: zawartość skrobi oraz barwa chipsów);
 - czwarty czynnik zinterpretowany jako wydłużenie bulw (cechy: typ kształtu oraz frekwencja bulw spiczastych);
 - piąty czynnik, utworzony przez cechę wyglądu skórki bulw.
2. Badane potomstwo z próbnych krzyżowań typu tetraploid \times diploid wykazywało znaczącą zmienność fenotypową w odniesieniu do cech morfologii bulw, cech plonotwórczych i technologicznych. Wielowymiarowa struktura tej zmienności daje szansę na wyselekcjonowanie wartościowych tetraploidalnych rodów zarówno przeznaczonych do bezpośredniego spożycia jak i przetwórstwa spożywczego (chipsy, susze) oraz przetwórstwa na skrobię.

LITERATURA

Bradshaw J. E., Finlay M., Dale B., Mackay G. R. 2009. Improving the yield, processing quality and disease and pest resistance of potatoes by genotypic recurrent selection. *Euphytica* 170: 215 — 227.

- Chotkowski J. 2007. Rynek ziemniaków jadalnych w Polsce na tle Unii Europejskiej. *Więś Jutra* 2 (103): 25 — 26.
- Domański L., Zimnoch-Guzowska E., Domańska M., Jakuczun H. 2006. Efekt heterozji diploidalnego rodu ziemniaka DG, 97-943 typu „cold chipping” tworzącego gamety $2n$. *Biul. IHAR* 240/241: 307 — 313.
- Domański L., Flis B., Jakuczun H., Zimnoch-Guzowska E. 2009. Ocena postępu hodowlanego pod względem wartości przetwórczej materiałów wyjściowych wytworzonych w latach 1999-2007. *Biul. IHAR* 252: 275 — 283.
- Domański L., Flis B., Jakuczun H., Zimnoch-Guzowska E. 2010. Zmienność cech technologicznych i morfologicznych w potomstwie uzyskanym z krzyżowań interploidalnych $4x-2x$. *Biul. IHAR* 257/258: 57 — 69.
- Domański L., Mańkowski D.R., Flis B., Jakuczun H., Zimnoch-Guzowska E. 2012. Wielocechowa analiza różnorodności fenotypowej mieszańców ziemniaka uzyskanych z krzyżowań tetraploid \times diploid. *Biul. IHAR* 265 (w druku).
- Hayes R. J., Thill Ch. A. 2002. Co-current introgression of economically important traits in a potato – breeding program. *Amer. J. Potato Res.* 79: 173 — 181.
- Haynes K.G. 1990. Covariance's between diploid parents and tetraploid offspring in tetraploid \times diploid crosses of *Solanum* L. *J. Heredity* 81: 208 — 210.
- Haynes K.G., Lu W. 2005. Improvement at the diploid species level. In: *Genetic improvement of Solanaceous crops. Volume I: Potato*. Razdan M. K., Motto A.K. (Eds): 101 — 114. Science Publishers, Inc. Eufield (NH), USA, Plymouth, UK.
- Jakuczun H., Wasilewicz-Flis I. 2006. Przenoszenie zmienności genetycznej wybranych cech z ziemniaka diploidalnego na poziom tetraploidalny w IHAR w latach 1996-2005. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 511: 131 — 140.
- Kaiser, H. F. 1958. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika* 23: 187—200.
- Kamiński R. 1977. Phenotypic and genotypic correlations of morphological and physiological characters of potato. *Genetica Polonica* 18: 125 — 131.
- Krzyżo M. 2009. Podstawy wielowymiarowego wnioskowania statystycznego. Wydawnictwo Naukowe UAM, Poznań.
- Kumar S. I., Gowindaraj M., Kumar V. K. 2010. Estimation of genetic diversity of new advanced breeding lines of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *World J. Agric. Sci.* 6 (5): 547 — 554.
- Laudański Z., Mańkowski D. R., Flaszka M. 2012. Eksploracyjna analiza czynnikowa w badaniach struktury zespołu zmiennych obserwowanych. *Biuletyn IHAR, w druku*.
- Lisińska G., Pęksa A., Kita A., Rytel E., Tajner-Czopek A. 2009. The quality of potato for processing and consumption. In: Yee N., Bussel W.T. (Eds). *Potato IV, Food 3 (Special Issue 2)*: 99 — 104.
- Makinde S. C. D., Ariyo O. J. 2010. Multivariate analysis of genetic divergence in twenty two genotypes of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). *Journal of Plant Breeding and Crop Science* 2 (7): 192 — 204.
- Mańkowski D. R., Laudański Z., Martyniak D., Flaszka M. 2009. Struktura wielocechowej zmienności odmianowej wiechliny (*Poa pratensis* L.). *Biul. IHAR* 254: 189 — 200.
- Mądry W. 2007. Metody statystyczne do oceny różnorodności fenotypowej dla cech ilościowych w kolekcjach roślinnych zasobów genowych. *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 517: 21 — 41.
- Nassir A. L., Ariyo O. J. 2007. Multivariate analysis of the variation of field-planted upland rice (*Oryza sativa* L.) in a tropical habitat. *Malays. Appl. Biol.* 36 (1): 47 — 57.
- Nowacki W. 2003. Ocena wartości handlowej ziemniaków jadalnych. *Ziemniak Polski* 4: 32 — 36.
- SAS Institute Inc. 2009. SAS OnlineDoc® 9.2. Cary NC.
- Sterrett S. B., Henniger M. K., Yench G. C., Lu W., Winyarck B. T., Haynes K. G. 2003. Stability of internal heat necrosis and specific gravity in tetraploid \times diploid potatoes. *Crop Science* 43: 790 — 796.
- Studnicki W., Mądry W., Śmiałowski T. 2009. Wielocechowa analiza różnorodności fenotypowej w kolekcji roboczej pszenicy jarej. *Biul. IHAR* 252: 91 — 104.
- Szczotka F. A. 1977. Podstawy analizy czynnikowej. *Listy Biometryczne*, Nr 55-59: 1— 69.
- Teodorczyk A. 1981. Współzależność cech ziemniaka jadalnego. *Ziemniak* 1981/82: 25 — 43.
- Thill C. A., Peloquin S.J. 1995. Tetraploid potato clones with 25% wild species germplasm that produces cold (4°C) chipping progenies. *Am. Potato J.* 72: 659.

- Timm N. A. 2002. Applied multivariate analysis. New York, USA: Springer Verlag Inc.
- Ukalski K., Kociuba W., Mądry W., Ukalska J. 2007. Wielowymiarowa ocena zmienności fenotypowej w kolekcji zasobów genowych pszenżyta jarego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 517: 767 — 774.
- Watanabe K.N., Ortiz R., Watanabe J. A. 2005. Breeding potential and transmission of traits in $4x-2x$ crosses. In: Genetic improvement of *Solanaceous* crops. Volume I: Potato. Razdan M. K., Motto A. K. (Eds): Science Publishers, Inc. Enfield (NH), USA, Plymouth, UK: 101 — 114.
- Zgórska K. 2002. Jakość ziemniaków jadalnych i do przetwórstwa spożywczego. Ziemniak Polski 4: 14 — 20.
- Zimnoch-Guzowska E. 2003. Wykorzystanie form diploidalnych ziemniaka w pracach hodowlanych i genetycznych. Post. Nauk Roln. 1: 47 — 66.
- Zimnoch-Guzowska E., Flis B. 2006. Genetyczne podstawy cech jakościowych ziemniaka. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. z. 511: 23 — 36.