

WIELOCECHOWA ANALIZA WARTOŚCI HODOWLANEJ I ZRÓŻNICOWANIA GENETYCZNEGO ODMIAN PORZECZKI CZARNEJ (*Ribes nigrum* L.) NA PODSTAWIE EFEKTÓW OGÓLNEJ ZDOLNOŚCI KOMBINACYJNEJ

Wiesław Mądry¹, Paweł Krajewski², Stanisław Pluta³,
Edward Żurawicz³

¹Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie²Instytut Genetyki
Roślin PAN w Poznaniu

³Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach

Streszczenie. Przedstawiono wielocephową charakterystykę wartości hodowlanej i ocenę zróżnicowania genetycznego pięciu odmian porzeczki czarnej (*Ribes nigrum* L.) na podstawie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej, ocenianych w pełnym układzie diallelicznym, dla plonu owoców na roślinie, cech plonotwórczych i odpornościowych, obserwowanych w dwóch latach. Zastosowano metodę wielowymiarowej analizy wariancji dla stałego wielocephowego modelu diallelicznego w doświadczeniu blokowym oraz analizę zmiennych kanonicznych. Proponowane podejście statystyczne dostarcza jednocześnie informacji dotyczących dwóch uznanych kryteriów doboru form rodzicielskich do krzyżowań, takich jak: wielocephowe (łączne) oceny efektów GCA rodziców oraz oceny ich zróżnicowania genetycznego, określone na podstawie efektów genetycznych na cechy morfologiczne i rolnicze. Z badań wynika, że efekty GCA dla plonu owoców na roślinie, wielkości krzewu, stopnia uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne, stopnia porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową oraz stopnia porażenia mączniakiem amerykańskim miały największy udział w wielocephowym zróżnicowaniu efektów GCA analizowanych odmian. Stwierdzono, że decydującym kryterium efektywnego wyboru odmian rodzicielskich w programie hodowlanym porzeczki czarnej, dla uzyskania populacji potomstwa o dużej produktywności rolniczej jest wielocephowa wartość hodowlana tych odmian pod względem atrybutów plonotwórczych roślin, nie zaś ich odległość genetyczna mierzona na podstawie wielocephowych efektów GCA. Praca jest pomyślana głównie jako eksperymentalne studium metodyczne nad efektywnym zastosowaniem i przydatnością

Adres do korespondencji – Corresponding author: Wiesław Mądry, Katedra Statystyki Matematycznej i Doświadczalnictwa SGGW, ul. Nowoursynowska 159, 02-776 Warszawa, tel. (22) 59 327 22, e-mail: w.madry@agrobiol.sggw.waw.pl; Paweł Krajewski, Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań, tel. (61) 823 35 11, e-mail: pkra@igr.poznan.pl; Stanisław Pluta, Edward Żurawicz, Zakład Hodowli Roślin Sadowniczych, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach, ul. Pomologiczna 18, 96-100 Skierniewice, e-mail spluta@insad.pl, zzuraw@insad.pl

proponowanej techniki statystycznej w badaniach naukowych z zakresu hodowli roślin. Przedstawione wyniki badań mają także znaczenie poznawcze dla hodowli porzeczki czarnej.

Słowa kluczowe: czarna porzeczka, układ dialleliczny, zdolność kombinacyjna, MANOVA, analiza zmiennych kanonicznych

WSTĘP

Powodzenie programu hodowli odmian roślin uprawnych zależy w dużej mierze od trafności wyboru form rodzicielskich do krzyżowań. Hodowcy są zainteresowani wskazaniami takich genotypów rodzicielskich (linii wsobnych, klonów, odmian populacyjnych), które stwarzają duże szanse otrzymania potomstwa z kontrolowanych krzyżowań par rodziców (mieszańców F_1 , populacji heterozygotycznych w pokoleniu F_1 i w dalszych pokoleniach) z pożądanymi średnimi (odpowiednio dużymi lub małymi) najważniejszych rolniczych cech ilościowych i możliwie dużą wewnątrzpopulacyjną zmiennością tych cech [Fehr 1987, Falconer 1991, Albuquerque i in. 1998, Ray i in. 2003]. Średnie cech potomstwa z krzyżowania są zależne od efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej ich rodziców i efektów specyficznej zdolności kombinacyjnej (SCA) lub średniej rodziców i efektów heterozji mieszańców. Z teorii genetycznej i jej licznych potwierdzeń doświadczalnych wynika, że efekty SCA i heterozji oraz zmienność cech potomstwa z krzyżowań mogą zależeć pozytywnie od zróżnicowania genetycznego rodziców, zwanego też oddaleniem, odległością lub niepodobieństwem genetycznym [Virmani 1994, Dias i Kageyama 1997, Gopal i Minocha 1997, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Cheres i in. 2000, Drzewiecki i Warzecha 2000, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004].

Przy obecnym stanie wiedzy i praktyki hodowlanej uznaje się generalnie dużą przydatność ogólnej zdolności kombinacyjnej (GCA) rodziców dla cech produktywności w prognozowaniu średnich tych cech w ich potomstwie. Jednakże wyniki wielu badań nad związkiem efektów SCA lub heterozji mieszańców cech użytkowych oraz zróżnicowaniem genetycznym ich rodziców są niejednoznaczne. Zależą one między innymi od zastosowanego źródła informacji do oceny odległości genetycznej form rodzicielskich [Damerval i in. 1987, Tsegaye i in. 1996, Dillmann i in. 1997, Dias i in. 2003].

Badania eksperymentalne wskazują często na słabą zgodność średnich cech, efektów heterozji mieszańców i efektów SCA ze zróżnicowaniem genetycznym rodziców, szczególnie wtedy, gdy odległość genetyczna między rodzicami jest mierzona na podstawie markerów biochemicznych (enzymatycznych) lub molekularnych (DNA) losowej próby loci [Sekhon i Gupta 1995, Abreu i in. 1999, Lui i in. 1999, Betrán i in. 2003, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Riday i in. 2003]. Badacze tłumaczą to niebraniem pod uwagę w tak określonych odległościach genetycznych informacji dla genów w tych najważniejszych loci, które warunkują rozpatrywane cechy użytkowe albo są z nimi sprzężone [Bernardo 1992, Stuber i in. 1992, Ray i in. 2003]. Wartości efektów heterozji oraz efektów SCA dla ważnych rolniczych cech potomstwa mogą być związane ściślej ze zróżnicowaniem genetycznym rodziców, mierzonym na podstawie informacji

o ich genach cech ilościowych (QTL) albo efektach genotypowych lub efektach GCA dla jednocześnie wielu ważnych cech, głównie morfologicznych i rolniczych [Bhatt 1970, Shamsuddin 1985, Damerval i in. 1987, Moser i Lee 1994, Ali i in. 1995, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Abreu i in. 1999, Daoyu i Lawes 2000, Dias i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004]. Określenie odległości genetycznych rodziców na podstawie obserwacji cech ważnych w hodowli może być bardziej wiarygodne niż określanie ich na podstawie informacji biochemicznych i molekularnych [Tsegaye i in. 1996, Dillmann i in. 1997, Dias i in. 2003, Riday i in. 2003].

Pożądana średnia wartość cech złożonych (plonu roślin, jakości plonu, odporności na choroby, szkodniki i warunki niesprzyjające itp.) oraz ich znaczna zmienność w populacjach potomstwa może być rezultatem krzyżowania rodziców odległych wielocechowo (zróżnicowanych genetycznie) z powodu odmiennej, ale uzupełniającej się, korzystnej architektury cech składowych, uwarunkowanej efektami genetycznymi [Dias i Kageyama 1997, Meinel i in. 1997, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Abreu i in. 1999, Daoyu i Lawes 2000, Kaczmarek i Łuczkiwicz 2001, Bourion i in. 2002, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004]. Skuteczny wybór i kojarzenie genotypów rodzicielskich o takich walorach wymaga wielocechowej charakterystyki wartości hodowlanej i opartej na niej oceny zróżnicowania genetycznego potencjalnych form rodzicielskich, szczególnie zaś wielocechowej charakterystyki oraz oceny zróżnicowania ich efektów GCA. Do tych badań przydane są statystyczne metody wielowymiarowe, takie jak: analiza składowych głównych [Górczyński i Mądry 1988, Bourion i in. 2002, Albuquerque i in. 1998], wielozmienna analiza wariancji [Camussi i in. 1985, Dias i Kageyama 1997, Abreu i in. 1999, Daoyu i Lawes 2000, Kaczmarek i Łuczkiwicz 2001, Dias i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004], analiza zmiennych kanonicznych [Bhatt 1970, Lee i Kaltsikes 1973, Camussi i in. 1985, Shamsuddin 1985, Górczyński i Mądry 1988, Mądry 1993, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes 2000, Kaczmarek i Łuczkiwicz 2001, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004] i analiza skupień [Mądry 1993, Meinel i in. 1997, Dias i in. 2003].

Wielocechowa analiza zróżnicowania ilościowych efektów genetycznych rodziców, warunkujących plon i jego składowe oraz inne cechy plonotwórcze i rolnicze potomstwa, może pomóc w wydzieleniu grup form rodzicielskich o różnych typach morfologicznych i strategiach plonowania oraz adaptacji do warunków siedliskowych i uprawowych [Bhatt 1970, Brown i Caligari 1988, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes 2000, Karsai i in. 2001, Bourion i in. 2002, Dias i in. 2003]. To mogłoby być przydatne w doskonaleniu metodyki hodowli praktycznej, zmierzającej do zwiększenia jej efektywności.

Celem pracy jest wielocechowa charakterystyka wartości hodowlanej i ocena zróżnicowania genetycznego pięciu odmian porzeczki czarnej (*Ribes nigrum* L.) na podstawie efektów ogólnej zdolności kombinacyjnej, ocenianych w pełnym układzie diallelicznym, dla plonu owoców na roślinie, cech plonotwórczych i odpornościowych, obserwowanych w dwóch latach. Zastosowano metodę wielowymiarowej analizy wariancji dla stałego wielocechowego modelu diallelicznego w doświadczeniu blokowym oraz analizę zmiennych kanonicznych [Camussi i in. 1985, Kaczmarek i Krajewski 1992, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004, Mądry i in. 2004]. Proponowane podejście statystyczne dostarcza jednocześnie informacji dotyczących dwóch uznanych kryteriów doboru form

rodzicielskich do krzyżowań oraz prognozowania średnich cech mieszańców F_1 lub populacji potomstwa z krzyżowań, zarówno roślin samopylnych, jak i obcopolnych. Tymi kryteriami są oceny efektów GCA dla rozpatrywanych cech rodziców oraz oceny ich zróżnicowania genetycznego, stwierdzone na podstawie wiarygodnego źródła informacji genetycznej lub fenotypowej, z preferencją dla cech morfologicznych i rolniczych [Dias i Kageyama 1997, Cilas i in. 1998, Abreu i in. 1999, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004]. W pracy badano związek odległości Mahalanobisa dla efektów GCA form rodzicielskich z efektami SCA kombinacji krzyżowania dla każdej z badanych cech. Postanowiono w ten sposób sprawdzić, czy zastosowana ocena zróżnicowania genetycznego rodziców porzeczki czarnej może być ważnym kryterium przewidywania średnich cech produktywności ich populacji potomstwa.

MATERIAŁ I METODY STATYSTYCZNE

Materiał roślinny i układ doświadczenia. Przedmiotem badań były wyrośnięte (czwarty i piąty rok po posadzeniu w kwaterze hodowlanej) siewki porzeczki czarnej należące do 25 populacji potomstwa (rodzin mieszańców) F_1 z krzyżowań 5 form rodzicielskich w kompletnym układzie diallelicznym, według pierwszej metody Griffinga [1956]. Badanymi formami rodzicielskimi były znane odmiany porzeczki czarnej, tj. 'Ben Nevis' – 1BN, 'Białoruskaja Słodkaja' – 2BS, 'Consort' – 3CO, 'Ojebyn' – 4OJ i 'Titania' – 5TI, pochodzące z różnych rejonów geograficznych świata [Pluta 1994]. Odmiany te są zróżnicowane genetycznie pod względem cech morfologicznych i rolniczych [Pluta 1994]. Krzyżowanie roślin przeprowadzono wiosną 1987 r. w polu, a siewki wyprodukowano w szklarni zimą 1987/1988 r. Dla celów doświadczenia użyto siewek wybranych losowo z większej liczby roślin należących do każdej populacji potomstwa. Siewki posadzono wiosną 1988 r. w polu, zakładając doświadczenie porównawcze w układzie losowanych bloków w czterech powtórzeniach. Na poletkach wysadzono po 15 siewek w rozstawie 3,0 m × 1,0 m. W każdym bloku oprócz potomstwa z krzyżowań posadzono także odmiany rodzicielskie. Rozstawa roślin odmian rodzicielskich była taka sama jak potomstwa. Doświadczenie połowe założono w Sadowniczym Zakładzie Doświadczalnym w Dąbrowicach (koło Skierniewic) na glebie płowej słabo próchnicznej o składzie mechanicznym piasków gliniastych położonych na glinie lekkiej, o pH około 6,0. Nie stosowano żadnych zabiegów ochrony roślin przeciwko chorobom i szkodnikom. Chwasty zwalczano przy użyciu herbicydów, a pozostałe zabiegi pielęgnacyjne wykonywane były zgodnie z zaleceniami dla plantacji produkcyjnych.

Obserwacje roślin prowadzono w latach 1991–1992, dokonując oceny 1800 roślin (1500 siewek należących do 25 populacji potomstwa oraz 300 krzewów 5 odmian rodzicielskich). Obserwowano między innymi następujące cechy [Pluta 1994, Żurawicz i in. 1996]: plon owoców na roślinie (kg) – X_1 , średnią wielkość owocu (g/100 owoców) – X_2 , wielkość krzewu (m^2 , wysokość × szerokość) – X_3 , termin kwitnienia (dni od 1 kwietnia) – X_4 , stopień uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne (skala bonitacyjna od 1 = małe, brak uszkodzeń do 5 = duże, największe uszkodzenia) – X_5 , stopień porażenia przez rdzę wejmutkowo-porzeczkową (*Cronartium ribicola* Fisch) – (skala bonitacyjna od 1 = małe, brak porażenia do 5 = duże, największe porażenie) – X_6 ,

stopień porażenia przez opadzinę liści (*Drepanopeziza ribis* Kleb.) – (skala bonitacyjna od 1 do 5 określona jak dla poprzedniej choroby) – X_7 , stopień porażenia przez amerykański mączniak agrestu (*Sphaerotheca mors uvae* Schw.) – (skala bonitacyjna od 1 do 5 określona jak dla poprzednich chorób) – X_8 .

Z obserwacji 15 roślin na każdym poletku uzyskanych w roku 1991 i 1992 obliczono średnią (średnia z 30 obserwacji) dla każdej rozpatrywanej cechy. Takie wyniki doświadczalne stanowiły źródłową bazę danych do wszystkich analiz statystycznych.

Metody statystyczne. W pracy zastosowano metodykę zaproponowaną i przedstawioną w źródłowej pracy przez Kaczmarka i Krajewskiego [1992] dla wielocechowej analizy danych, otrzymanych w polowym układzie blokowym, w którym obiektami są mieszańce z kompletnego diallelicznego układu krzyżowań zgodnie z pierwszą metodą Griffinga [1956]. Statystyczną analizę danych i wnioskowanie oparto na wielowymiarowym modelu liniowym (modelu MANOVA) – Seber [1984]. Analiza ta polega na zastosowaniu wielowymiarowej analizy wariancji (MANOVA) i metody pokrewnej do niej, tzn. analizy zmiennych kanonicznych [Seber 1984, Camussi i in. 1985, Mądry 1993, Mądry i in. 2004]. Wielowymiarowa analiza wariancji obejmuje estymację wielocechowych efektów GCA (wektorów efektów GCA), testowanie hipotezy ogólnej, traktującej o zerowych wektorach efektów GCA dla wszystkich odmian za pomocą testu T^2 Hotellinga oraz jednocześnie testowanie (procedura testu F oparta na nierówności Bonferroniego) hipotez szczegółowych [Caliński i in. 1979], traktujących o zerowych wektorach wielocechowych efektów GCA i zerowych jednocechowych efektach GCA dla każdej odmiany osobno. Analiza zmiennych kanonicznych, stosowana w przyjętym modelu diallelicznym Griffinga, jest oparta na takich liniowych funkcjach obserwacji cech oryginalnych, oznaczonych symbolami Z_1, Z_2, \dots, Z_p (p jest liczbą rozpatrywanych cech), które wyjaśniają możliwie największą część całkowitej zmienności odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 dla estymatorów efektów GCA [Seber 1984, Camussi i in. 1985, Mądry 1993, Mądry i in. 2004]. Metoda ta umożliwia wykrycie cech o największym udziale (sile dyskryminacyjnej) w wielocechowym zróżnicowaniu efektów GCA badanych odmian, mierzonych za pomocą odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 . Drugim jej walorem jest umożliwienie dość dokładnego przedstawienia podobieństw wielocechowych efektów GCA odmian, wyrażonych w kategoriach odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 , w małej liczbie wymiarów (zwykle dwóch) pierwszych zmiennych kanonicznych. Wszystkie obliczenia w analizie danych wykonano za pomocą pakietu statystycznego GenStat [GenStat Release 4.21, 2001].

WYNIKI

Analiza wariancji

Wykonano jednowymiarowe analizy wariancji według stałego modelu Griffinga [1956] dla każdej cechy. Stwierdzono istotne zróżnicowanie efektów GCA i SCA dla wszystkich cech ($P < 0,05$), nie stwierdzono zaś istotnych efektów krzyżowania odwrotnego ($P > 0,05$) – [Pluta 1994]. W uwarunkowaniu większości cech potomstwa

mieszkańców większą rolę odgrywały efekty GCA niż efekty SCA. Wynika stąd, że w dziedziczeniu badanych cech porzeczki czarnej w rozpatrywanej puli genowej większe znaczenie odgrywały efekty addytywne niż nieaddytywne (dominacyjne i epistatyczne). Stanowi to najważniejszy argument, uzasadniający ograniczenie się w ocenie przydatności hodowlanej interesujących odmian i ich podobieństwa genetycznego tylko do wielo cechowej analizy efektów GCA.

W testowaniu hipotezy ogólnej o zerowych wartościach wielo cechowych efektów GCA dla odmian rodzicielskich za pomocą testu Hotellinga T^2 otrzymano wartość statystyki $T^2 = 584,8$ ($F_{emp} = 16,28$ z $v_1 = 32$ oraz $v_2 = 167$) i na tej podstawie odrzucono hipotezę ($P < 0,05$). Stwierdzono więc istotnie różne od zera wielo cechowe efekty GCA dla co najmniej jednej formy rodzicielskiej. Wyniki testowania jednoczesnego hipotez szczegółowych o braku wielo cechowych efektów GCA każdej odmiany podano w tabeli 1. Natomiast wyniki podobnego testowania hipotez o braku jedno cechowych efektów GCA każdej odmiany podano w tabeli 2.

Tabela 1. Wyniki testowania jednoczesnego hipotez szczegółowych o braku wielo cechowych efektów GCA każdej z 5 odmian porzeczki czarnej

Table 1. Simultaneous testing hypotheses regarding no multivariate GCA effects for each of five blackcurrant varieties

Odmiany Varieties	F_{emp} ^{a)}	P ^{b)}	Istotność efektu Significance of the effect
1 BN	9,31	0,0000	*
2 BS	1,97	0,0628	ns – ni
3 CO	12,42	0,0000	*
4 OJ	3,68	0,0013	*
5 TI	13,20	0,0000	*

^{a)} obliczona wartość statystyki F_{emp} opartej na 8 i 28 stopniach swobody – F_{emp} statistic based on 8 and 28 degrees of freedom

^{b)} przy testowaniu jednoczesnym hipotezę szczegółową dotyczącą danej odmiany odrzucamy, gdy obliczony poziom istotności P jest mniejszy od 0,05/5 (* oznacza wielowymiarowy efekt istotnie różny od zera przy $\alpha = 0,05$, ns zaś nieistotnie różny od zera) – in simultaneous testing a hypothesis is rejected if calculated P-value is less then 0.05/5 (* a multivariate GCA effect significantly different from zero at the level $\alpha = 0.05$; ns – this effect is not significantly different from zero)

Na podstawie wyników testowania w tabeli 1 stwierdzono istotnie niezerowe wielo cechowe efekty GCA dla odmian rodzicielskich 1 BN, 3CO, 4OJ i 5TI, natomiast nie stwierdzono istotnego wielo cechowego efektu GCA dla odmiany 2BS. Oznacza to, że każda oceniana odmiana (oprócz odmiany 2BS) odznacza się istotnie różnym od zera (dodatnim lub ujemnym, zgodnie z tab. 2) efektem GCA dla co najmniej jednej spośród ośmiu badanych cech. Zatem każda z czterech odmian: 1BN, 3CO, 4OJ i 5TI przekazuje potomstwu średnią wartość co najmniej jednej cechy (ujawnianą w półrodzeństwie) różną od średniej ogólnej wszystkich mieszkańców w układzie diallelicznym. Uznajemy

więc, że odmiana 2BS przekazuje wszystkie badane cechy na potomstwo na średnim poziomie nieistotnie różnym od średniej ogólnej każdej tych cech.

Tabela 2. Macierz ocen wielowymiarowych efektów GCA 5 odmian porzeczki czarnej dla 8 cech i dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych Z_1 i Z_2

Table 2. Matrix of multivariate GCA effect estimates for eight traits of blackcurrant varieties and two the first canonical variates Z_1 and Z_2

Cechy odmiany Traits of varieties	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Z_1	Z_2
1 BN	0,06	0,75*	-0,28	-0,79*	-0,01	-0,06	-0,26	0,49*	-0,04	-0,25
2 BS	-0,08	-0,25*	0,01	0,16	0,25	-0,02	0,40*	0,10	-0,04	0,07
3 CO	-0,58*	-0,63*	-0,43*	0,17	0,28	-0,72*	0,33	0,68*	-0,21	0,09
4 OJ	0,01	-0,21	0,19	-0,12	-0,13	0,33*	0,17	-0,62*	0,11	0,06
5 TI	0,58*	0,35*	0,52*	0,58*	-0,39*	0,47*	-0,64*	-0,66*	0,19	0,03

* efekt GCA istotnie różny od zera przy $\alpha = 0,05$ na podstawie testowania jednoczesnego

* the GCA effect significantly different from zero at the level $\alpha = 0,05$, using simultaneous testing

Odległości Mahalanobisa efektów GCA odmian

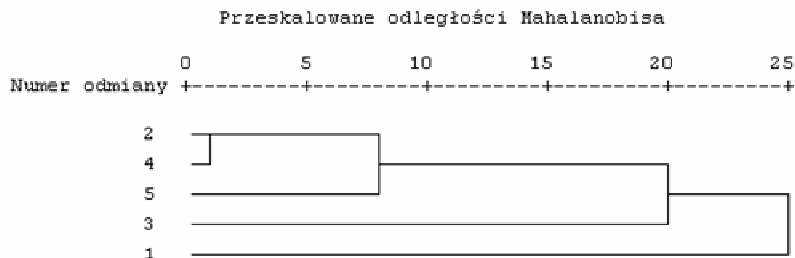
Wyniki estymacji wielocechowych efektów GCA i informacje o istotności tych efektów dla każdej cechy (tab. 2) mogą być wykorzystane do wyznaczenia odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 (tab. 3), będących miarą odległości genetycznych między odmianami oraz do charakterystyki wartości hodowlanej odmian pod względem wszystkich cech jednocześnie.

Tabela 3. Macierz odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 między 5 odmianami rodzicielskimi porzeczki czarnej określonych na podstawie ocen efektów GCA dla 8 cech

Table 3. Matrix of Mahalanobis distance D_{GCA}^2 between five blackcurrant varieties as determined on the based of GCA effect estimates for eight traits

Odmiany Varieties	1 BN	2 BS	3 CO	4 OJ	5 TI
1 BN	0,000	0,105	0,147	0,127	0,141
2 BS		0,000	0,037	0,034	0,069
3 CO			0,000	0,120	0,168
4 OJ				0,000	0,044
5 TI					0,000

Macierz odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 wskazuje, że odmiana 1BN różni się genetycznie (pod względem 8-cechowych efektów GCA) najbardziej od każdej z pozostałych odmian. Również odmiany 3CO i 5TI są bardzo odległe genetycznie od siebie. Ilustruje to dobrze dendrogram (rys. 1) wykonany za pomocą metody Warda analizy skupień.



Rys. 1. Dendrogram dla 5 odmian porzeczki czarnej, uzyskany za pomocą metody Warda analizy skupień na podstawie odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2

Fig. 1. Dendrogram of five blackcurrant varieties; Ward's method of cluster analysis based on Mahalanobis distance D_{GCA}^2 for eight traits

Analiza zmiennych kanonicznych dla efektów GCA

Charakterystyka wartości hodowlanej odmian pod względem wszystkich cech jednocześnie tylko na podstawie wyników ocen efektów GCA w tabeli 2 jest dość trudna percepcyjnie i rzeczowo, a ponadto może być za mało efektywna w zrozumieniu mechanizmu genetycznego uwarunkowania badanego zespołu cech potomstwa przez geny ocenianych form rodzicielskich. W miarę zwiększenia liczby cech, problem ten staje się coraz poważniejszy. Badacz mający w posiadaniu wyniki takie, jak w tabeli 2, widzi efekty dziedziczne dla każdej cechy, bardziej jako kategorie oddzielne niż jako główne i towarzyszące składowe zjawiska dziedziczenia skorelowanego zespołu cech ilościowych, które łącznie stanowią o przydatności hodowlanej genotypów. Interpretator narażony jest na utratę pewnej ilości informacji biologicznej, zawartej w wynikach, podobnych do tych w tabeli 2. Trzeba bowiem liczyć się z możliwością niezauważenia ważnych faktów, dotyczących związków pomiędzy efektami GCA form rodzicielskich dla różnych cech, świadczących o dziedziczeniu sprzężonym i określonych konsekwencjach tego faktu dla charakterystyki genetyczno-hodowlanej rodziców, analizy ich wielocechowego zróżnicowania/podobieństwa, grupowania oraz wykorzystania w programie hodowli. Przy badaniu zróżnicowania genetycznego rodziców na podstawie ocen wielocechowych efektów GCA (tab. 2) nie wiadomo także, czy zróżnicowanie tych efektów dla każdej cechy (także tych istotnie różnych od zera) ma podobne znaczenie i udział w łącznym zróżnicowaniu wielocechowym, opisanym za pomocą macierzy odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 . Problem ten odnosi się do identyfikacji najważniejszych cech w wielocechowym zróżnicowaniu obiektów, czyli cech posiadających największą moc dyskryminacyjną. Podane tutaj dylematy mogą być rozwiązywane za pomocą analizy zmiennych kanonicznych. Jej wyniki podano w tabeli 4.

Tabela 4. Wartości własne dla dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych Z_1 i Z_2 dla efektów GCA 8 cech odmian porzeczki czarnej oraz współczynniki korelacji zmiennych kanonicznych z tymi efektami dla każdej cechyTable 4. Eigenvalues for two the first canonical variables Z_1 and Z_2 based on multivariate GCA effects of five blackcurrant varieties and correlation coefficients between the canonical variables and single-trait GCA effects

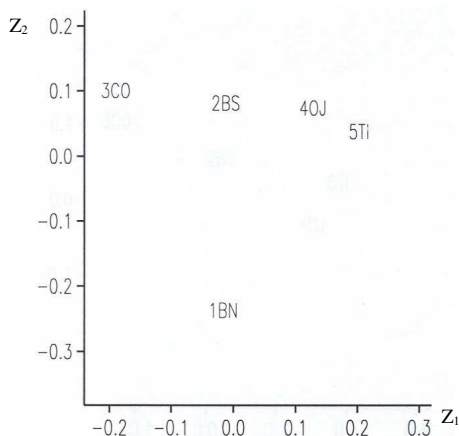
Zmienne Traits	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	Wartości. własne λ_i Eigenvalues λ_i	Udział w dyskryminacji Contribution to discrimination (%)
Z_1	0,92	0,47	0,95	0,28	-0,90	0,99	-0,64	-0,94	3,78	48,4
Z_2	-0,25	-0,86	0,27	0,81	0,16	-0,07	0,47	-0,31	3,16	40,5

istotne współczynniki korelacji przedstawiono pogrubionymi cyframi
significant correlation coefficients are denoted by bolded numbers

Dwie pierwsze zmienne kanoniczne Z_1 i Z_2 wyjaśniały 88,9% ogólnej zmienności 8-cechowej efektów GCA form rodzicielskich (zmienności odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 w tabeli 3). Udział każdej z dwóch zmiennych kanonicznych w wielocechowej zmienności efektów GCA był podobny i wynosił ponad 40%. Z tego powodu do dalszej analizy 8-cechowego zróżnicowania efektów GCA odmian wykorzystano dwie pierwsze zmienne kanoniczne.

Korelacje każdej zmiennej kanonicznej z efektami GCA dla pojedynczych cech (tab. 4) wskazują na znaczenie biologiczne tych zmiennych syntetycznych i stanowią podstawę ich interpretacji w kategoriach wspólnych czynników genetycznych (zespołów genów), wywierających efekty addytywne (GCA), warunkujące jednocześnie badane cechy. Taka interpretacja umożliwia pogłębione wnioskowanie o genetycznym uwarunkowaniu badanego zespołu cech w obrębie rozpatrywanej puli genowej, wskazując na efekty plejotropowe i efekty genów sprzężonych. Wykorzystując istotę informacji o zróżnicowaniu wielocechowych efektów GCA, wyrażoną przez najważniejsze zmienne kanoniczne Z_1 i Z_2 , można przeprowadzić także sprawniejszą percepcyjnie i bardziej przystępną niż na podstawie wyników w tabeli 2, chociaż nieco przybliżoną, wielocechową charakterystykę wartości hodowlanej pięciu odmian oraz syntetyczną analizę różnic genetycznych (odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2) tych odmian pod względem jednocześnie wszystkich oryginalnych cech (rys. 2).

Pierwsza zmienna kanoniczna Z_1 jest silnie skorelowana dodatnio z efektami GCA dla plonu owoców na roślinie – X_1 , wielkością krzewu – X_3 oraz nasileniem porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową – X_6 , natomiast ujemnie skorelowana z uszkodzeniem kwiatów przez przymrozki wiosenne – X_5 oraz nasileniem porażenia mączniakiem amerykańskim – X_8 (tab. 4). Zatem ta składowa zawiera informacje jednocześnie o skorelowanych efektach GCA odmian dla plenności (rolniczej produktywności wegetatywnej i generatywnej) oraz stopniem porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową i mączniakiem amerykańskim. Można rozumieć ją jako syntetyczną (wielocechową) informację o efektach addytywnego działania genów na najważniejsze cechy, decydujące o rolniczej produktywności roślin. Efekty GCA dla cech najsilniej skorelowanych



Rys. 2. Rozmieszczenie wielocechowych efektów GCA odmian porzeczki czarnej w przestrzeni dwóch pierwszych zmiennych kanonicznych

Fig. 2. Configuration of multivariate GCA effects for five blackcurrant varieties in the space of two the first canonical variables

z pierwszą zmienną kanoniczną Z_1 mają największy udział w wielocechowym różnicowaniu efektów GCA (mają one największą relatywnie moc dyskryminacyjną wśród badanych jednocechowych efektów GCA). Zgodnie z tradycyjnym nazewnictwem zmiennych kanonicznych, jako czynnik, zmienną Z_1 nazwiemy czynnikiem produktywności rolniczej. Drugą zmienną kanoniczną Z_2 jest silnie skorelowana dodatnio z terminem kwitnienia – X_4 , zaś ujemnie ze średnią wielkością owocu – X_2 . Identyfikuje ona skorelowane efekty addytywne warunkujące genetycznie zmniejszanie się wielkości owocu wraz z opóźnianiem się terminu kwitnienia. Drugą zmienną kanoniczną Z_2 nazwiemy czynnikiem kształtowania wielkości owoców. Z charakteru informacji wnoszonej przez pierwszą zmienną kanoniczną wynika, że na rysunku 2 odmiany z największymi wartościami (dodatnimi) dla Z_1 i Z_2 (5TI i 4OJ) przekazują na potomstwo geny, których efekty addytywne (GCA) warunkowały stosunkowo duży plon owoców, będący rezultatem jednocześnie dużej wielkości krzewu oraz dużego porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową (współistnienie genetycznego, addytywego, uwarunkowania dużej produktywności rolniczej i dużego porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową, por. tab. 2, wskazuje na trudny do wyjaśnienia mechanizm biologiczny), a małego uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne oraz małego stopnia porażenia mączniakiem amerykańskim. Z racji na dodatnie wartości drugiej zmiennej kanonicznej Z_2 dla tych dwóch odmian, wnioskujemy, że przekazują one efekty GCA warunkujące małe owoce wraz z opóźnionym terminem kwitnienia.

Odmiany 1BN i 2BS, dla których wartości pierwszej zmiennej kanonicznej Z_1 są bliskie zera, wyróżniają się nieistotnie różnymi od zera efektami GCA dla wszystkich cech silnie skorelowanych z tą zmienną kanoniczną. Odmiana 2BS, dla której wartość drugiej zmiennej kanonicznej Z_2 jest prawie największa, odznacza się efektami GCA, warunkującymi jednocześnie relatywnie małe owoce i późny termin kwitnienia, w przeci-

wieństwie do odmiany IBN z najmniejszą wartością zmiennej Z_{2GCA} , dla której stwierdzono antagonistyczne istotne efekty GCA dla cech przeciwnie skorelowanych z tą zmienną kanoniczną. Mała (ujemna) wartość zmiennej Z_1 i największa (dodatnia) wartość zmiennej Z_2 dla odmiany 3CO wskazują na efekty GCA, determinujące małą produktywność rolniczą i duże porażenie mączniakiem amerykańskim, małe zaś porażenie rdzą wejmutkowo-porzeczkową oraz małe owoce i względnie późny termin kwitnienia.

Przedstawiona charakterystyka wielocechowa efektów GCA badanych odmian (charakterystyka ich wartości hodowlanej) jest podobna do tej, którą sugerują wyniki ocen efektów GCA w tabeli 2. Stanowi to przekonującą ilustrację i potwierdzenie efektywności wielocechowej oceny efektów GCA form rodzicielskich w układzie współrzędnych tylko dwóch zmiennych kanonicznych), jeśli te zmienne wyjaśniają (identyfikują) dominującą część zmienności odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 . Taka ocena wielocechowej wartości hodowlanej odmian za pomocą analizy zmiennych kanonicznych jest zarówno przejrzysta, przystępna dla badacza i czytelnika, jak i wystarczająco wiarygodna.

Związek odległości Mahalanobisa dla efektów GCA odmian i ich wartości hodowlanej z produktywnością populacji potomstwa

Nie stwierdzono silnego związku liniowego między odległością Mahalanobisa dla efektów GCA odmian rodzicielskich oraz efektami SCA kombinacji potomstwa dla wszystkich badanych cech (tab. 5).

Tabela 5. Współczynniki korelacji rangowej Spearmana (r_s) między odległością Mahalanobisa D_{GCA}^2 i efektami SCA kombinacji potomstwa dla każdej badanej cechy

Table 5. Spearman's rank correlation coefficients (r_s) between Mahalanobis distance D_{GCA}^2 and single-trait SCA effects of progenies

Cechy Traits	Współczynniki korelacji prostej z Efektami SCA Correlation coefficients with SCA effects
X_1	-0,02
X_2	-0,07
X_3	0,02
X_4	0,47*
X_5	0,35*
X_6	0,06
X_7	-0,22
X_8	0,13

* istotnie różny od zera przy $\alpha = 0,05$

* significantly different from zero at the level $\alpha = 0.05$

Wielocechowa odległość efektów GCA odmian była istotnie dodatnio skorelowana (choć stosunkowo słabo) z efektem SCA populacji potomstwa dla terminu kwitnienia – X_4 i stopnia uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne – X_5 (odpowiednio $r_s = 0,47$ i $r_s = 0,35$). Korelacja oddalenia genetycznego odmian z efektem SCA populacji potomstwa dla plonu była bardzo słaba i nieistotna ($r_s = -0,02$). Uzyskane wyniki wskazują, że zróżnicowanie genetyczne rodziców porzeczeki czarnej, mierzone za po-

mocą odległości wielowymiarowych efektów GCA dla cech produktywności roślin, nie jest skutecznym kryterium identyfikacji form rodzicielskich, obiecujących w programie hodowlanym, czyli takich, które dadzą potomstwo z pożądanymi wartościami średnich cech produktywności rolniczej.

Aby zobrazować znaczenie i efektywność drugiego kryterium doboru form rodzicielskich porzeczki czarnej, którym jest wielocechowa ocena ich efektów GCA, przeanalizowano porównawczo zestawienie z jednej strony, ocen produktywności rolniczej populacji potomstwa z krzyżowań, mierzonej za pomocą średniej plonu owoców na roślinie, wielkości owoców i wielkości krzewu, a z drugiej strony ocen odległości Mahalanobisa dla par form rodzicielskich i ich wielocechowej wartości hodowlanej (tab. 6).

Tabela 6. Średnie plonu owoców na roślinie, wielkości owoców i wielkości krzewu populacji potomstwa porzeczki czarnej, odległości Mahalanobisa D_{GCA}^2 między ich rodzicami oraz wielocechowa ocena ich wartości hodowlanej

Table 6. Multi-trait breeding value of blackcurrant progenies, their means for fruit yield, fruit size and bush size, and Mahalanobis distance D_{GCA}^2 between their parents

Populacje potomstwa Progenies	D_{GCA}^2	Relatywna ocena wartości D_{GCA}^2 Relative evaluation of D_{GCA}^2	Relatywna ocena wielocechowej wartości hodowlanej Relative evaluation of multi-trait breeding value		Relatywna ocena średniej populacji potomstwa dla cech Relative evaluation of the progeny means for a trait		
			P ₁	P ₂	plon owoców fruit yield	wielkość owocu fruit size	wielkość krzewu shrub size
12	0,105	dD	db	ddb	3,12 (W)	9,12 (W)	3,94 (dN)
13	0,147	D	db	z	1,42 (N)	8,10 (dN)	3,01 (N)
14	0,127	D	db	db	3,29 (W)	8,99 (W)	4,38 (dW)
15	0,141	D	db	bdb	3,31 (W)	10,28 (W)	4,40 (W)
23	0,037	M	ddb	z	1,96 (N)	7,49 (N)	3,63 (N)
24	0,034	M	ddb	db	2,74 (dW)	8,25 (dW)	4,78 (W)
25	0,069	M	ddb	bdb	3,61 (W)	8,69 (W)	5,59 (W)
34	0,120	D	z	db	2,35 (dN)	7,49 (N)	4,32 (dW)
35	0,168	D	z	bdb	2,64 (dW)	7,96 (dN)	4,36 (dW)
45	0,044	M	db	bdb	2,68 (dW)	8,25 (dW)	3,95 (dN)
Średnio Mean	0,099				2,71	8,46	4,24

D_{GCA}^2 dość duża – dD, duża – D, mała – M

wielocechowa wartość hodowlana bardzo dobra – bdb, dość dobra – ddb, dobra – db, zła – z
relatywna ocena średniej potomstwa dla danej cechy wysoka – W, dość wysoka – dW, dość niska – dN, niska – N

D_{GCA}^2 was rather large – dD, large – D, small – M

multi-trait breeding value was very good – bdb, rather good – ddb, good – db, poor – z
relative evaluation of the progeny mean for a trait was high – W, rather high – dW, rather low – dN, low – N

Na podstawie populacji 12, 14, 15, 24, 25 i 45 stwierdzono, że odmiany zarówno odległe (1 i 2, 1 i 4 oraz 1 i 5), jak i bliższe genetycznie (2 i 4, 2 i 5 oraz 4 i 5), posiadające dużą wielocechową wartość hodowlaną, dają potomstwo o dużej produktywności rolniczej. Natomiast na podstawie populacji 13 i 23 stwierdzono, że odmiany zarówno odległe (1 i 3), jak i bliższe genetycznie (2 i 3), z których co najmniej jedna posiada złą wielocechową wartość hodowlaną, dają potomstwo o małej produktywności rolniczej. Podobna zbieżność odnosi się także do populacji 34 i 35. W tych przypadkach nie nastąpiła znacząca kompensacja złej wielocechowej oceny hodowlanej jednego z rodziców (odmiany 3CO) przez ich duże oddalenie genetyczne. Obydwie populacje miały dość małą produktywność rolniczą.

Wyniki w tabeli 6 potwierdzają i ilustrują decydującą rolę wielocechowej wartości hodowlanej odmian porzeczki czarnej pod względem atrybutów plonotwórczych roślin w kształtowaniu produktywności rolniczej populacji potomstwa.

DYSKUSJA

Chociaż odległości genetyczne form rodzicielskich nie są jedynym, może nawet nie najważniejszym, czynnikiem warunkującym wartość cech użytkowych potomstwa z krzyżowań roślin uprawnych, to wciąż są one proponowanym i stosowanym kryterium prognozy rezultatów krzyżowania, nierzadko nawet preferowanym ponad inne uznane kryteria, takie jak ocena zdolności kombinacyjnej [Bos i Sparnaaij 1993, Sekhon i Gupta 1995, Abreu i in. 1999, Lui i in. 1999, Betrán i in. 2003, Riday i in. 2003].

Zgodnie z wynikami dotychczasowych badań eksperymentalnych, zwłaszcza tych najnowszych, wiadomo, że prosty fakt odpowiednio dużej odległości genetycznej między rodzicami może nie być wystarczający do osiągnięcia korzystnych atrybutów mieszańców heterozyjnych lub populacji potomstwa pod względem cech użytkowych [Bhatt 1970, Dias i Kageyama. 1997, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes 2000, Karsai i in. 2001, Bourion i in. 2002, Corbellini i in. 2002, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Łuczkiwicz i Kaczmarek 2004]. Zatem zróżnicowanie genetyczne rodziców, mierzone w możliwie wiarygodny sposób, nie może być jedynym kryterium ich doboru do krzyżowań w praktyce hodowlanej. Drugim ważnym kryterium powinna być ocena ich wielocechowej ogólnej zdolności kombinacyjnej lub co najmniej wartości genotypowej pod względem ważnych cech morfologicznych, fenologicznych i rolniczych [Dias i Kageyama. 1997, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes. 2000, Bourion i in. 2002, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003].

Krzyżując formy rodzicielskie odległe genetycznie, ale posiadające korzystne własności genetyczne (wartość hodowlaną) dla ważnych cech produktywności, można zwiększyć znacząco efektywność otrzymywania wartościowych mieszańców F_1 lub populacji potomstwa. Dobra perspektywa tej zasady doboru form rodzicielskich porzeczki czarnej do krzyżowań została potwierdzona w prezentowanych badaniach. Jej skuteczność potwierdzili także Gopal i Minocha [1997] dla ziemniaka, Abreu i in. [1999] dla fasoli, Dias i Kageyama [1997], Dias i in. [2003] dla kakao, szczególnie zaś przekonywająco Ray i in. [2003] dla lucerny. Spośród dwóch najważniejszych kryteriów pomyślnego wyboru rodziców do tworzenia produktywnych populacji potomstwa,

w rozpatrywanych badaniach nad porzeczką czarną stwierdzono nadrzędne znaczenie wartości hodowlanej odmian rodzicielskich nad ich oddaleniem genetycznym.

Do wiarygodnej oceny zróżnicowania genetycznego form rodzicielskich stosuje się obecnie odległości oparte na obserwacji cech biochemicznych [Tsegaye i in. 1996, Sekhon i Gupta 1995], molekularnych, w tym także informacji o genach QTL, warunkujących ważne cechy selekcyjne [Dillmann i in. 1997, Lui i in. 1999, Corbellini i in. 2002, Betrán i in. 2003, Dias i in. 2003, Ray i in. 2003, Riday i in. 2003] oraz odległości wielowymiarowe (głównie Mahalanobisa), oparte na danych fenotypowych dla rozpatrywanych cech [Camussi i in. 1985, Dias i Kageyama 1997, Gopal i Minocha 1997, Abreu i in. 1999, Daoyu i Lawes 2000, Dias i in. 2003, Lee i Kaltsikes 1973, Camussi i in. 1985, Shamsuddin 1985, Górczyński i Mądry 1988, Mądry 1993, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes 2000].

Dopóki techniki identyfikacji genów cech ilościowych QTL, z którymi wiąże się duże nadzieje w ocenie odległości genetycznych [Hammer i in. 2003], nie znajdą zastosowania praktycznego, dopóty sposób oceny zróżnicowania genetycznego roślin oparty na informacji fenotypowej i ocenie w ten sposób efektów genetycznych (głównie GCA) potencjalnych rodziców będzie miał uzasadnienie, a nawet preferencje, w hodowli krzyżówkowej i heterozyjnej [Shamsuddin 1985, Damerval i in. 1987, Dias i Kageyama 1997, Albuquerque i in. 1998, Cilas i in. 1998, Daoyu i Lawes 2000, Dias i in. 2003].

WNIOSKI

Na podstawie przedstawionych wyników, ich analizy i interpretacji metodyczno-statystycznej oraz merytorycznej, a także dyskusji wyprowadzamy następujące wnioski.

1. Efekty GCA dla plonu owoców na roślinie – X_1 , wielkości krzewu – X_3 , uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne – X_5 , porażenia rdzą wejmutkowo-porzeczkową – X_6 oraz porażenia mączniakiem amerykańskim – X_8 były najsilniej skorelowane z pierwszą zmienną kanoniczną Z_1 , co wskazuje, że miały one największy udział w wielocechowym zróżnicowaniu efektów GCA analizowanych odmian (miały one relatywnie największą moc dyskryminacyjną wśród badanych jednocechowych efektów GCA).

2. Decydującym kryterium efektywnego wyboru odmian rodzicielskich w programie hodowlanym porzeczki czarnej, dla uzyskania populacji potomstwa o dużej produktywności rolniczej jest wielocechowa wartość hodowlana tych odmian pod względem atrybutów plonotwórczych roślin, nie zaś ich odległość genetyczna mierzona na podstawie wielocechowych efektów GCA.

3. Dobierając generalnie odległe genetycznie odmiany rodzicielskie porzeczki czarnej, ale także wnoszące takie geny, które warunkują addytywnie jednocześnie pożądany poziom kilku ważnych cech produktywności roślin, można zwiększyć efektywność tworzenia wartościowych populacji hodowlanych.

4. Zastosowane wielowymiarowe metody statystyczne: wielowymiarowa analiza wariacji (MANOVA) i analiza zmiennych kanonicznych okazały się skutecznym narzędziem do oceny zróżnicowania genetycznego odmian porzeczki czarnej i ich kompleksowej wartości hodowlanej, opartej na efektach GCA ocenianych w układzie diallelicznym.

PIŚMIENNICTWO

- Abreu A. F. B., Ramalho M. A. P., Ferreira D. F., 1999. Selection potential for seed yield from intra- and inter-racial populations in common bean. *Euphytica* 108, 121–127.
- Albuquerque A. S., Bruckner C. H., Cruz C. D., Salomão L. C. C., 1998. Multivariate analysis of genetic diversity of peach and nectarine cultivars. *Acta Hort. (ISHS)* 465, 285–292.
- Ali M., Copeland L. O., Elias S. G., Kelly J. D., 1995. Relationship between genetic distance and heterosis for yield and morphological traits in winter canola (*Brassica napus* L.). *Theor. Appl. Genet.* 91, 118–121.
- Bernardo R., 1992. Relationship between single cross performance and molecular marker heterozygosity. *Theor Appl Genet* 83, 628–634.
- Betrán F. J., Ribaut J. M., Beck D., Gonzalez de León D., 2003. Genetic diversity, specific combining ability, and heterosis in tropical maize under stress and nonstress environments. *Crop Sci.* 43, 797–806.
- Bhatt G. M., 1970. Multivariate analysis approach to selection of parents for hybridization aiming at yield improvement. *Aust. J. Agric. Res.* 21, 1–7.
- Bos I., Sparnaaij L. D., 1993. Component analysis of complex characters in plant breeding. II. The pursuit of heterosis. *Euphytica* 70, 237–245.
- Bourion V., Fouilloux G., Le Signor C. Lejeune-Hénaut I., 2002. Genetic studies of selection criteria for productive and stable peas. *Euphytica* 127, 261–273.
- Brown J., Caligari P.D.S. 1988. The use of multivariate cross prediction methods in the breeding of a clonally reproduced crop (*Solanum tuberosum*). *Heredity*, 60, 147–153
- Camussi A., Ottaviano E., Caliński T., Kaczmarek Z. 1985. Genetic distances based on quantitative traits. *Genetics* 111, 945–962
- Cheres M.T., Miller J.F., Crane J.M., Knapp S.J. 2000. Genetic distance as a predictor of heterosis and hybrid performance within and between groups of sunflower. *Theor. Appl. Genet.* 100, 889–894
- Cilas C., Bouharmont P., Boccara M., Eskes A.B., Baradat Ph. 1998. Prediction of genetic value for coffee production in *Coffea arabica* from a half-diallel with lines and hybrids. *Euphytica* 104, 49–59
- Corbellini M., Perenzin M., Accerbi M., Vaccino P., Borghi B. 2002. Genetic diversity in bread wheat, as revealed by coefficient of parentage and molecular markers, and its relationship to hybrid performance. *Euphytica* 123, 273–285
- Damerval C., Hebert Y., and De Vienne D. 1987. Is the polymorphism of protein amounts related to phenotypic variability? A comparison of two-dimensional electrophoresis data with morphological traits in maize. *Theor. Appl. Genet.* 74, 194–202
- Daoyu Z., Lawes G.S. 2000. Manova and discriminant analysis of phenotypic data as a guide for parent selection in kiwifruit (*Actinidia deliciosa*) breeding. *Euphytica* 114, 151–157
- Dias L.A.S., Kageyama P.Y. 1997. Multivariate genetic divergence and hybrid performance of cacao (*Theobroma cacao* L.). *Braz. J. Genet.* 20, 63–70
- Dias L.A.S., Marita J., Cruz, Cruz C.D., Barros E.G., Salomao T.M.F. 2003. Genetic distance and its association with heterosis in cacao. *Braz. Arch. Biol. Technol.* 46, 339–348
- Dillmann C., Bar-Hen A., Gurin D., Charcosset A., Murigneux A. 1997. Comparison of RFLP and morphological distances between maize *Zea mays* L. inbred lines. Consequences for germplasm protection purposes. *Theor. Appl. Genet.* 95, 92–102
- Drzewiecki J., Warzecha R. 2000. Elektroforegramy zein i podobieństwo genetyczne komponentów rodzicielskich mieszańców kukurydzy a efekt heterozji. *Biuletyn IHAR* 216, 365–370
- Falconer D.S. 1991. Introduction to quantitative genetics. Oliver and Boyd, Edinburgh
- Fehr W.R. 1987. Principles of line development. MacMillan, New York

- GenStat Release 4.21. 2001. Lawes Agricultural Trust, Rothamsted Experimental Station
- Gopal J., Minocha J.L. 1997. Genetic divergence for cross prediction in potato. *Euphytica* 97, 269-275
- Górczyński J., Mądry W. 1988. A study of genetic divergence of plants by multivariate methods. *Genetica Polonica* 29, 341-352
- Griffing. B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosses systems. *Austr. J. Biol. Sci.* 9, 463-493
- Kaczmarek Z., Krajewski P. 1992. Wielocechowa analiza zdolności kombinacyjnej linii rodzicielskich na podstawie krzyżowania diallelicznego. XXII Coll. Metodol. z Agrobiom. 238-249
- Kaczmarek Z., Łuczkiwicz T., 2001. Multivariate analysis of quantitative traits inbred lines and hybrids of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Agriculture* 2, 69-76.
- Karsai I., Mészáros K., Láng L., Hayes P. M., Bedö Z., 2001. Multivariate analysis of traits determining adaptation in cultivated barley. *Plant Breeding* 120, 217-222.
- Lee J. Kaltsikes P. J., 1973. The application of Mahalanobis generalized distance to measure genetic divergence in durum wheat. *Euphytica* 22, 124-131.
- Lui Z. Q., Pei Y., Pu Z. J., 1999. Relationship between hybrid performance and genetic diversity based on RAPD markers in wheat, *Triticum aestivum* L. *Plant Breed.* 118, 119-123.
- Łuczkiwicz T., Kaczmarek Z., 2004. The influence of morphological differences between sunflower inbred lines on their SCA effects for yield components. *J. Appl. Genet.* 45, 175-182.
- Mądry W., 1993. Studia statystyczne nad wielowymiarową oceną zróżnicowania cech ilościowych w kolekcjach zasobów genowych zbóż. Wyd. SGGW, Rozpr. Nauk. i Monogr., Warszawa.
- Mądry W., Krajewski P., Sieczko L., 2004. Zastosowanie analizy zmiennych kanonicznych do wielocechowej charakterystyki zdolności kombinacyjnej odmian porzeczki czarnej (*Ribes nigrum* L.) Coll. Biom. (w druku).
- Meinel A., Richter C., Bätz G., 1997. Breeding aspects of clustering winter wheat cultivars for yield response. *Plant Breeding* 116, 437-441.
- Moser H., Lee M., 1994. RFLP variation and genealogical distance, multivariate distance, heterosis, and genetic variance in oats. *Theor. Appl. Genet.* 87, 947-956.
- Pluta S., 1994. Analiza dialleliczna wybranych form rodzicielskich porzeczki czarnej (*Ribes nigrum* L.) pod względem najważniejszych cech użytkowych. Praca doktorska, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, Skierniewice.
- Ray I. M., Segovia-Lerma A., Murray L. W., Townsend M. S., 2003. Heterosis and AFLP marker diversity among nine alfalfa germplasms. *Genome* 46, 51-58.
- Riday H., Brummer E. H., Campbell T. A., Luth D., Cazarro P. M., 2003. Comparisons of genetic and morphological distance with heterosis between *Medicago sativa* subsp. *sativa* and subsp. *falcata*. *Euphytica* 131, 37-45.
- Seber G. A. F., 1984. *Multivariate observations*. Wiley, New York.
- Sekhon M. S., Gupta V. P., 1995. Genetic distance and heterosis in Indian mustard: developmental isozymes as indicators of genetic relationships. *Theor. Appl. Genet.* 91, 1148-1152.
- Shamsuddin A. K. M., 1985. Genetic diversity in relation to heterosis and combining ability in spring wheat. *Theor. Appl. Genet.* 70, 306-308.
- Stuber C. W., Lincoln S. E., Wolff D. W., Helentjaris T., Landr E. S., 1992. Identification of genetic factors contributing to heterosis in a hybrid from two elite maize inbred lines using molecular markers. *Genetics* 132, 823-839.
- Tsegaye S., Tesemma T., Belay G., 1996. Relationships among tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.) landrace populations revealed by isozyme markers and agronomic traits. *Theor. Appl. Genet.* 93, 600-605.

- Virmani S. S., 1994. Heterosis and Hybrid Rice Breeding. Monographs on Theoretical and Applied Genetics 22, Springer-Verlag, Berlin.
- Żurawicz E., Mądry W., Pluta S., 1996. Variation and heritability of economically important traits in black currant (*Ribes nigrum* L.) evaluated in a diallel cross design. Euphytica 91, 219–224.

MULTIVARIATE ANALYSIS OF BREEDING VALUE AND GENETIC DIVERGENCE IN BLACKCURRANT (*Ribes nigrum* L.) VARIETIES DETECTED BY GENERAL COMBINING ABILITY EFFECTS

Abstract. Multivariate characterization of breeding value and evaluation of genetic divergence in five blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) varieties are presented. In the study general combining ability effects (GCA) estimated over two years in a full-diallel cross design (Griffing's method 1) for fruit yield per plant, yield-contributing traits and resistance traits have been elaborated. The multivariate analysis of variance (MANOVA) according to the fixed Griffing's model and canonical variate analysis for GCA effects have been used. The suggested statistical approach delivers information for two known and commonly accepted criteria of successful selecting parents for crosses in breeding programs, both multivariate estimates of GCA effects of parents and their genetic distances, here based on multivariate GCA effects. GCA effects for fruit yield per plant, bush vigour, spring frost damage to flowers, infestation by white pine blister rust and powdery mildew had the largest discrimination power in multivariate GCA divergence of the parents. It was proved that the breeding value of potential parents regarding productivity attributes could be the predominant criterion of proper parents selecting for crosses in blackcurrant breeding. Genetic distance evaluated on the basis of multivariate GCA effects has not been a powerful predictor of progenies productivity. The paper is thought mainly as experimental, methodological study on effective using and usefulness of the suggested statistical procedure in researches for plant breeding purposes. The showed results could be also meaningful for blackcurrant breeding.

Key words: blackcurrant, diallel cross design, combining ability, MANOVA, canonical variate analysis (CVA)

Zaakceptowano do druku – Accepted for print: 1.09.2004