

LESZEK SIECZKO ¹
AGNIESZKA MASNY ²
WIESŁAW MAŁY ¹
EDWARD ŻURAWICZ²

¹ Katedra Doświadczalnictwa i Bioinformatyki, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

² Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach

Analiza podobieństwa rodzin mieszańcowych truskawki powtarzającej owocowanie pod względem wielkości i jakości plonu owoców

Analysis of the similarities between hybrid families of everbearing strawberry in relation to fruit yield and quality

W pracy podjęto próbę wyznaczenia związków pomiędzy plonem owoców truskawki powtarzającej owocowanie i cechami jakości owoców. Użyte do analizy statystycznej dane (wyniki) oceny polowej 1280 siewek, należących do 32 rodzin mieszańcowych pochodziły z Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarnictwa w Skierniewicach. Zmienność obiektów badano z użyciem analizy składowych głównych, a następnie zastosowano hierarchiczną analizę skupień metodą Warda do wydzielenia 3 grup jednorodnych.

Słowa kluczowe: hierarchiczna analiza skupień, analiza składowych głównych, cechy jakości owoców, plon owoców, truskawka powtarzająca owocowanie

The paper describes the attempt made to determine the relationships between fruit yield and quality of everbearing strawberry. The results of field evaluation of 1280 strawberry seedlings belonging to 32 hybrid families came from the Institute of Pomology and Floriculture in Skierniewice. Variability of the experimental objects was evaluated using the principal components analysis. Afterwards, Ward's hierarchical clustering method was applied to distinguish homogeneous groups of objects.

Key words: hierarchical cluster analysis, principal components analysis, characteristics of fruit quality, fruit yield, everbearing strawberry

WSTĘP

Liczne prace mające na celu tworzenie nowych odmian truskawki skupiają się między innymi na wyodrębnieniu form rodzicielskich, w dużym stopniu zróżnicowanych genetycznie. Otrzymane w wyniku krzyżowania diallelicznego potomstwo stanowi bogaty i bardzo zróżnicowany materiał genetyczny. Materiał ten poddawany jest kilkuletniej, w warunkach polowych, ocenie cech o dużym znaczeniu gospodarczym (plon owoców i jego

jakość, a także podatność na choroby liści). Część z tych cech oceniana jest za pomocą dokładnych pomiarów (plon i średnia masa owoców), cechy opisujące jakość owoców oraz podatność na choroby, z uwagi na dużą czaso- i pracochłonność oraz wysokie koszty dokładnych badań analitycznych, z reguły określane są tylko bonitacyjnie. Analiza potomstwa przy użyciu różnych metod statystycznych pozwala na określenie m.in. wartości hodowlanej użytych do krzyżowań form rodzicielskich, zmienności i odziedziczalności badanych cech użytkowych, a także określenia związków pomiędzy tymi cechami. Znajomość tych parametrów statystycznych pozwala na zwiększenie efektywności prowadzonych prac hodowlanych. Problemem, który pojawia się na etapie analizy danych, jest dobór technik i metod statystycznych, które pozwolą na kompleksowe, a zarazem jak najbardziej szczegółowe przedstawienie związków pomiędzy badanymi cechami. Pomocnymi tu są metody statystyki wielowymiarowej, są one wykorzystywane coraz częściej i nie stanowią już problemu obliczeniowego, dlatego też chętnie są stosowane do analizy danych fenotypowych z badań roślin rolniczych (Teklu i in., 2007; Mguis i in., 2008) i sadowniczych (Gurrieri i in., 2001; Wu i in., 2003). Metody wielowymiarowe są także stosowane do analiz zmienności roślin na podstawie markerów biochemicznych i molekularnych DNA (Bulińska-Radomska, 2000; Fuentes i in., 2008).

Celem badań było zastosowanie analizy korelacji prostych oraz analizy składowych głównych do charakterystyki związków pomiędzy plonem owoców oraz cechami jego jakości w zbiorze segregujących rodzin pełnego rodzeństwa, stanowiących rodziny mieszańcowe truskawki powtarzającej owocowanie. Wydzielono także i opisano grupy rodzin mieszańcowych wielocechowo jednorodnych, (o dużym podobieństwie wielocechowym) za pomocą hierarchicznej analizy skupień.

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym były siewki truskawki powtarzającej owocowanie w pokoleniu F_1 , należące do 32 rodzin mieszańcowych, uzyskanych z krzyżowań ośmiu form rodzicielskich, w niekompletnym układzie diallelicznym według II metody Griffinga (1956). W tym układzie krzyżowań wykonano krzyżowania wprost (26 kombinacji krzyżowań) i wsobne (6 kombinacji krzyżowań) — (tab. 1). Doświadczenie polowe założone zostało w układzie losowanych bloków w 4 powtórzeniach (poletkach) z 10 roślinami na każdym poletku, na polu doświadczalnym Sadu Pomologicznego Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach. Rośliny były uprawiane zgodnie z zaleceniami, powszechnie stosowanymi w nowoczesnej technologii uprawy odmian powtarzających owocowanie. Zabezpieczono rośliny przed mrozem poprzez okrywanie włókniną P-17 oraz usuwano rozwijające się wiosną kwiatostany tzw. pierwszego owocowania, a pozostawiono je dla uzyskania owocowania letnio-jesiennego kwiatostanów wyrastających po 1 czerwca. Takie zabiegi nie są stosowane w tradycyjnej uprawie polowej.

Tabela 1

Układ krzyżowań ośmiu form rodzicielskich truskawki powtarzającej owocowanie
The crossing design of eight parental forms of everbearing strawberry

Odmiana Variety	Ostara	Selva	Geneva	Mara des Bois	Capitola	Yolo	Calypso	Red-gauntlet
Ostara	—	1*	2	3	4	5	6	7
Selva		8	9	—	10	11	12	13
Geneva			14	15	16	17	18	19
Mara des Bois				20	21	22	23	24
Capitola					25	—	26	27
Yolo						28	29	30
Calypso							31	32
Red-gauntlet								—

*Numery obiektów — rodzin mieszańców; Number of objects — hybrid families

Obserwacje roślin (siewek) badanych potomstw wykonano w drugim i trzecim roku po posadzeniu (lata 1999–2000). Wykonano pomiary plonu handlowego owoców na roślinie (g) oraz średniej masy owocu (g), a także ocenę bonitacyjną pięciu cech określających jakość owoców: barwę skórki, barwę miąższu, połysk, jędrność oraz łatwość oddzielania kielicha od owocu, zwanej potocznie odszypułkowaniem (skala 0–5, gdzie 0 oznacza bardzo niską wartość badanej cechy, zaś 5 określa bardzo wysoką wartość tej cechy). Ocenę indywidualną przeprowadzono dla 1280 siewek.

W celu określenia związków pomiędzy cechami w zbiorze obiektów (rodzin pełnego rodzeństwa) oraz do klasyfikacji tych obiektów na grupy jednorodne, użyte zostały wielowymiarowe metody statystyczne. Analizy wykonano na średnich z 40 roślin (4 poletka \times 10 roślin) dla badanych cech, uzyskanych dla każdej rodziny pełnego rodzeństwa w drugim roku obserwacji (1999). Zastosowano analizę składowych głównych (ang. Principal Component Analysis, PCA) oraz analizę skupień według metody Warda. Te metody pozwalają na komplementarne opisanie związków wielocechowych i przejrzystą hierarchiczną klasyfikację badanych obiektów. Wielowymiarowe metody są oprogramowane w większości programów statystycznych. W niniejszej pracy do analiz wykorzystano pakiet statystyczny SPSS, który jest uniwersalnym narzędziem stosowanym w wielu różnych dziedzinach nauki (Gatnar, 1995; Anonim, 1999). Analiza składowych głównych służy do redukcji wymiarów przestrzeni opisującej obiekty oraz do określenia związków pomiędzy badanymi cechami. Metoda ta pozwala na redukcję liczby obserwowanych p zmiennych $X = [x_1, \dots, x_p]$, poprzez wyrażenie ich zmienności za pomocą składowych głównych z_j , $\sum_{i=1}^p \text{var} x_i = \sum_{i=1}^p \text{var} z_i = \lambda_1 + \dots + \lambda_p$.

Jeżeli dla pewnego $k < p$ wskaźnik $\delta_k = \frac{\lambda_1 + \dots + \lambda_k}{\lambda_1 + \dots + \lambda_p}$ jest dostatecznie bliski jedności, to można zastąpić zmienne x_1, \dots, x_p składowymi głównymi z_1, \dots, z_k , które wyjaśniają $\delta_k \times 100\%$ całkowitej zmienności danych (Morrison, 1990; Siczko i in., 2004).

Grupowanie obiektów w jednorodne grupy rozłączne wykonano za pomocą hierarchicznej analizy skupień z użyciem metody Warda. Odległość d między skupieniami **A** oraz **B** traktowana jest jako kwadrat odległości między środkami ciężkości skupień a obiektami poszczególnych skupień. Wyznaczenie odległości pomiędzy obiektami odbyło

się przy użyciu kwadratu odległości euklidesowej, gdzie odległość między obiektami x i y , opisana jako suma kwadratów różnic pomiędzy i -tymi cechami $d(x, y) = \sum_i (x_i - y_i)^2$ (Ward, 1963).

WYNIKI I DYSKUSJA

Wykonano analizę danych dla plonu handlowego z rośliny, średniej masy jednego owocu oraz zestawu cech określających jakość owoców, ocenionych w skali bonitacyjnej. Aby określić siłę związków pomiędzy badanymi zmiennymi wykonano analizę korelacji. Tabela 2 przedstawia macierz współczynników korelacji pomiędzy badanymi cechami. Plon handlowy jako jedyna cecha nie był skorelowany istotnie z żadną pozostałą badaną zmienną. Najsilniejszy związek wystąpił pomiędzy barwą skórki i miąższu. Odszypułkowanie, czyli łatwość oddzielania kielicha od owocu miała związek ujemny z większością cech.

Tabela 2
Macierz współczynników korelacji R pomiędzy cechami badanych obiektów truskawki powtarzającej owocowanie

Matrix of correlation coefficients R between traits of everbearing strawberry

	Intensywność połysku Intensity of glossiness	Średnia masa 1 owocu Average weight of 1 fruit (g)	Plon handlowy Marketable yield (g/plant)	Odszypułkowanie Adherence of calyx	Jędrność owoców Fruit firmness	Barwa skórki Skin colour
Średnia masa 1 owocu Average weight of 1 fruit (g)	0,477*					
Plon handlowy Marketable yield (g/plant)	0,520*	0,522*				
Odszypułkowanie Adherence of calyx	-0,234	-0,441*	0,087			
Jędrność owoców Fruit firmness	0,382*	0,538*	0,202	-0,694*		
Barwa skórki Skin colour	-0,125	0,372*	0,044	-0,411*	0,517*	
Barwa miąższu Flesh colour	0,187	0,705*	0,258	-0,476*	0,661*	0,781*

*Istotność korelacji przy $\alpha = 0,05$

*Significance of correlation at $\alpha = 0.05$

Analiza składowych głównych pozwoliła na wydzielenie dwóch pierwszych składowych, które w sumie wyjaśniały 72,7% ogólnej zmienności badanych cech (składowa 1 — 43,7%; składowa 2 — 29%) — (tab. 3). Redukcja siedmiu wymiarów do dwóch pozwala na wstępną analizę związków badanych cech obiektów w przestrzeni dwóch pierwszych składowych. Pierwsze składowe główne często są nazywane „super cechami” z powodu określenia dużej części zmienności i reprezentowania kilku cech. Na rysunku 1 za pomocą „+” zaznaczone jest położenie badanych cech w przestrzeni dwóch pierwszych składowych. Silny związek z pierwszą składową, która wyjaśnia 43,7% ogólnej zmienności mają takie cechy, jak: jędrność, barwa miąższu, barwa skórki, średnia masa 1

owocu (wykazujące związek dodatni) i odszypułkowanie, które wykazuje związek ujemny. Z rysunku 1 można odczytać, iż wraz ze wzrostem oceny jędrności, oraz intensywności barwy maleje łatwość odszypułkowania. Silne dodatnie korelacje (fenotypową i genotypową) pomiędzy jędrnością owoców a trudnością oddzielania od nich kielicha stwierdził w swoich badaniach Hortyński (1987). Biorąc pod uwagę, że analizowaną w tej pracy cechą była łatwość (a nie trudność) oddzielania kielicha od owocu, opisywane ujemne korelacje tych dwóch cech są zgodne z wynikami cytowanego autora. Ujemna korelacja intensywności barwy owoców i łatwości oddzielania kielicha od owocu była wcześniej obserwowana także w innych badaniach jednego z autorów (Masny, dane niepublikowane). Znajomość związków między cechami jest bardzo istotna w prowadzeniu prac hodowlanych, które starają się sprostać wymaganiom klientów dotyczących truskawek deserowych, dostępnych poza sezonem ich tradycyjnego dojrzewania w gruncie. Z drugą składową, która wyjaśnia 29% ogólnej zmienności, związek ma połysk owoców, plon handlowy i średnia masa 1 owocu. Hansche i wsp. (1968) również stwierdzili dość silną korelację genotypową pomiędzy plonem owoców a ich wielkością (współczynnik korelacji r wynosił 0,65–0,7), wskazującą, że pojedynki odznaczające się silną skłonnością do wytwarzania dużych jagód posiadają także genetyczną zdolność do obfitego plonowania.

Tabela 3

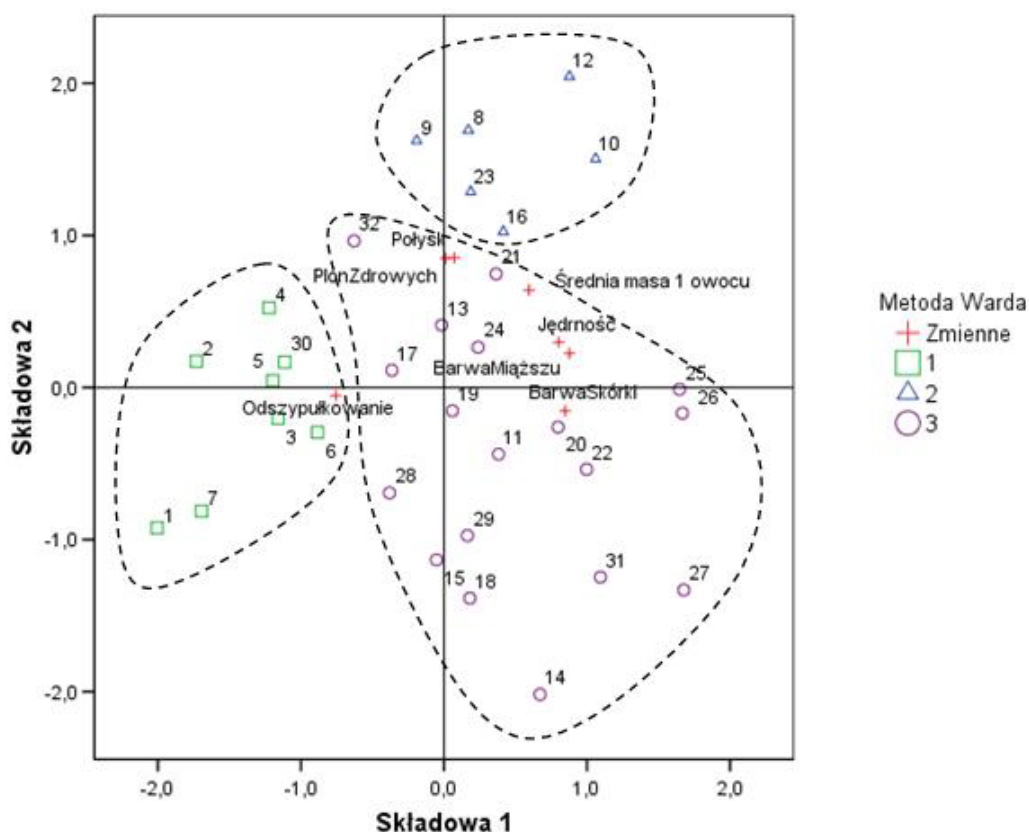
Wartości własne $\hat{\lambda}_i$ dla dwóch pierwszych składowych głównych oraz współczynniki korelacji $r_{\hat{z}_i, x_j}^2$

The eigenvalues $\hat{\lambda}_i$ for the first two principal components and correlation coefficients $r_{\hat{z}_i, x_j}^2$

Cechy Traits	\hat{z}_1	\hat{z}_2
	$r_{\hat{z}_1, x_j}^2$	$r_{\hat{z}_2, x_j}^2$
Intensywność połysku Intensity of glossiness	0,072	0,853
Średnia masa 1 owocu Average weight of 1 fruit (g)	0,595	0,641
Plon handlowy Marketable yield (g/plant)	0,013	0,850
Odszypułkowanie Adherence of calyx	-0,756	-0,053
Jędrność owoców Fruit firmness	0,802	0,298
Barwa skórki Skin colour	0,847	-0,153
Barwa miąższu Flesh colour	0,877	0,225
Wartości własne $\hat{\lambda}_i$ Eigenvalues	$\hat{\lambda}_1=3,06$	$\hat{\lambda}_2=2,03$
Procent wyjaśnionej wieloczechowej zmienności obiektów The percentage of variation explained multivariate objects	43,7	29

Wraz z obserwacją cech plonu i jakości owoców badano także wiele innych cech, które w tej pracy nie były analizowane. Cechą, która wpływa na połysk jest plon handlowy, więc

jak można odczytać z wykresu stanowi on jeden zestaw w drugiej składowej. Wcześniejsze badania autorów pracy wskazują również na istotny związek połysku owoców i chorób grzybowych (białej i czerwonej plamistości oraz mączniaka prawdziwego). Podczas interpretacji związków cech ze składowymi należy pamiętać o części wyrażanej przez nich zmienności. W badanym przypadku pierwsza składowa wyjaśnia ponad dwukrotnie większą ogólną zmienność niż druga składowa, więc i wpływ związanych z nią cech jest większy.

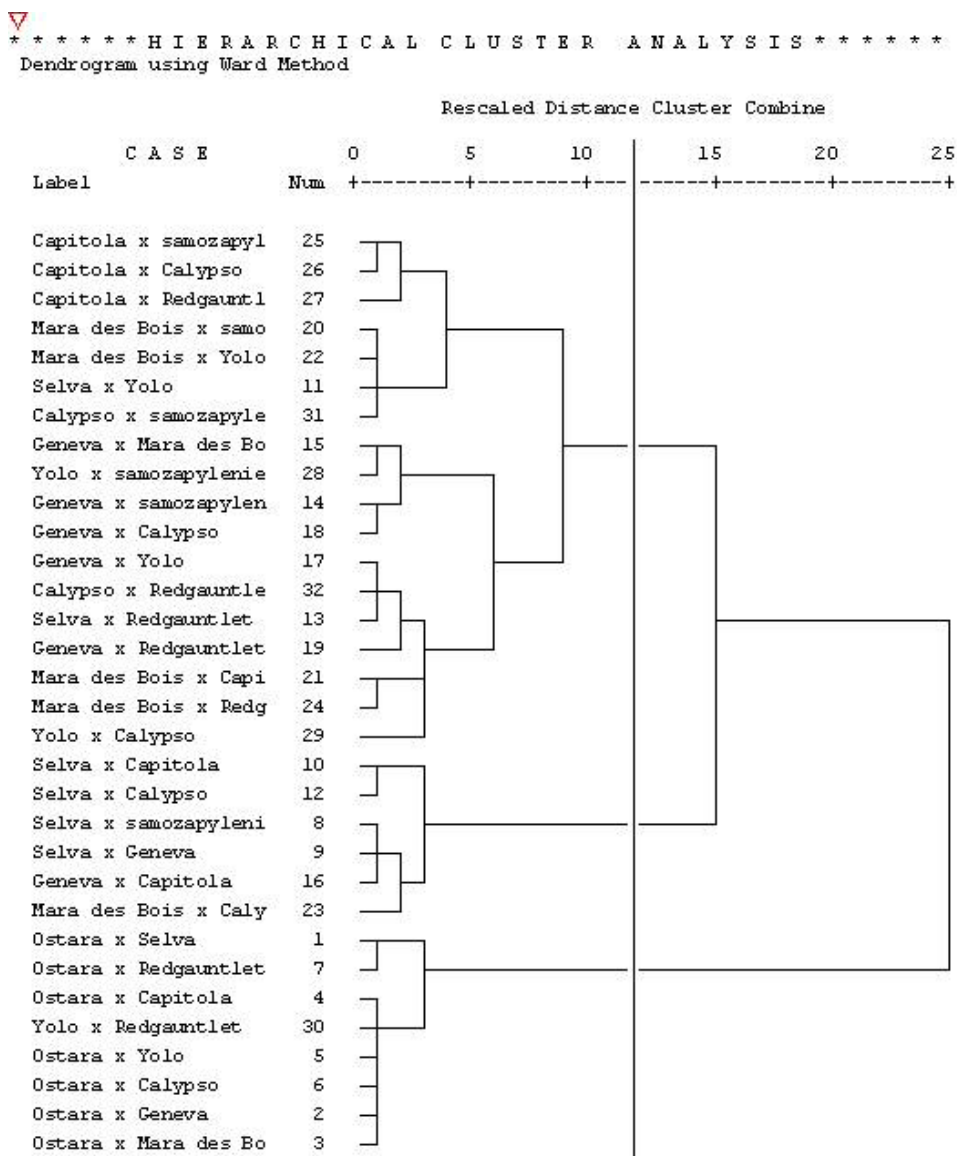


Rys. 1. Wykres pierwszych dwóch składowych głównych dla badanych cech wraz z obiektami z podziałem na 3 grupy przy użyciu metody Warda

Fig. 1. The first two principal components for traits along with objects with distribution in 3 groups according to Ward's method

W dalszym etapie badań przeprowadzono hierarchiczną analizę skupień metodą Warda w celu podziału 32 obiektów na grupy jednorodne. Uzyskano dendrogram (rys. 2), który przecięto w miejscu znacznego zwiększenia się wartości wiązania co pozwoliło na podzielenie obiektów na 3 grupy jednorodne. Podział uzyskany nie jest podziałem opartym na testowaniu statystycznym i należy go traktować jako wstępny. Z podziału można

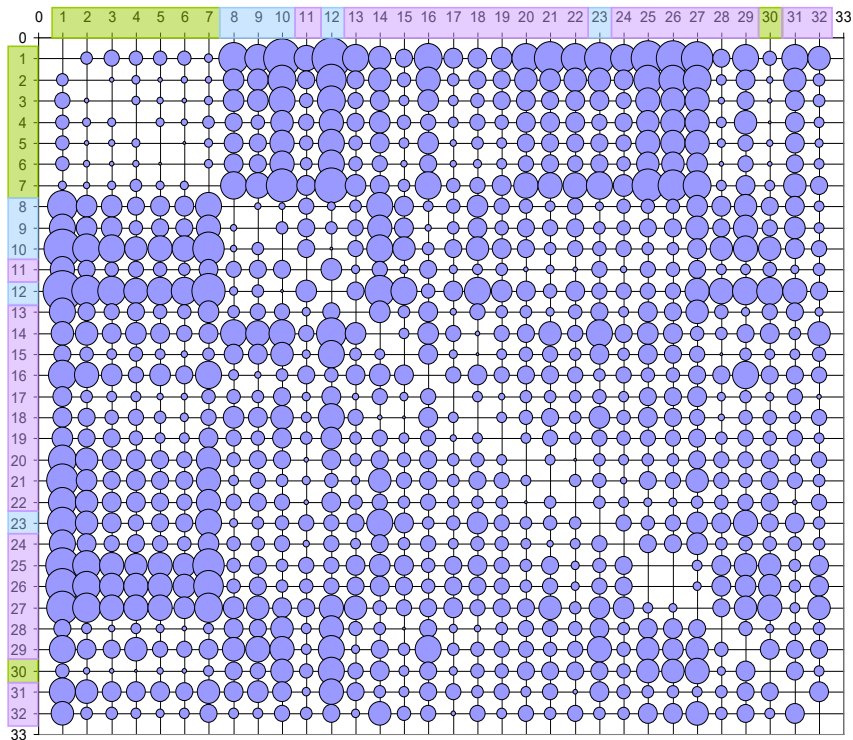
zauważyć, iż rodziny mieszańców uzyskane po skrzyżowaniu z rodzicem (odmiana) Ostara tworzą grupę jednorodną na bardzo niskim poziomie wiązania, który wiąże się z odległościami pomiędzy daną grupą obiektów. W takiej grupie jednorodnej znajdują się obiekty podobne do siebie pod względem wszystkich badanych cech i mających niską wartość odległości pomiędzy sobą.



Rys. 2. Dendrogram podziału obiektów z użyciem metody Warda
 Fig. 2. Dendrogram using Ward's Method

Na rysunku 3 przedstawiono w formie wykresu bąbelkowego przeskalowane odległości kwadratu euklidesowego. Na przecięciu linii pomiędzy obiektami występuje koło („bąbelek”), którego średnica jest tym większa im większa jest wartość odległości pomiędzy obiektami. Na przekątnej, gdzie występuje porównanie obiektu z samym sobą brak jest znacznika, odległość więc wynosi 0. Kwadrat odległości euklidesowej jest miarą niepodobieństwa (odległości), gdzie wraz ze wzrostem odległości wielocechowej wartość miary rośnie. Odwrotna sytuacja miałaby miejsce przy interpretacji z użyciem miar podobieństwa (bliskości), gdzie wraz z oddalaniem się obiektów w przestrzeni wielocechowej wartość miary by malała.

Kwadrat odległości Euklidesowej



Rys. 3. Wartości kwadratu odległości Euklidesowej pomiędzy 32 obiektami
 Fig. 3. Values of squares of Euclides distances between the 32 objects

Na przedstawionym rysunku 3 można zauważyć grupę jednorodną (1), złożoną z rodzin półrodzeństw uzyskanych w większości po skrzyżowaniu z odmianą Ostara. Obiekty w tej grupie, oznaczone numerami 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 30, wyróżniają się niskimi odległościami, czyli dużym podobieństwem pod względem wielu cech jednocześnie. W praktyce oznacza to bliskie pokrewieństwo (podobieństwo fenotypowe) pomiędzy potomstwem należącym do tych rodzin mieszańcowych. Jeśli porównamy wyżej wymienione obiekty z obiektami

należącymi do 2 grupy (8, 9, 10, 12, 23), to zauważymy pomiędzy tymi grupami duże wartości odległości, oznaczające znaczne różnice fenotypowe pod względem badanych cech (brak lub bardzo niewielkie podobieństwo fenotypowe obiektów, należących do odrębnych grup). W grupie 3 znalazły się pozostałe obiekty, bardziej zróżnicowane pod względem fenotypowym, w porównaniu do obiektów zaliczonych do grupy 1 i 2.

W tabeli 4 możemy odczytać średnie wartości badanych cech dla uzyskanych grup jednorodnych. Sytuacja przedstawiona na rysunku 1 ma tu potwierdzenie słuszności podziału wyrażonej za pomocą wartości średnich dla uzyskanych grup. Grupa 1, która leży po lewej stronie osi Y (rys. 1), charakteryzuje się niskimi wartościami barwy skórki, miąższu, jędrności, a zarazem wysokimi wartościami dla łatwości odszypułkowania. Wartości plonu dla grupy pierwszej są zbliżone do wartości średnich. Grupa druga, która leży powyżej osi X (rys. 1), czyli w obszarze korelacji plonu z drugą składową, charakteryzuje się najwyższymi plonami owoców handlowych oraz najwyższą masą pojedynczego owocu.

Tabela 4

Wartości średnie badanych cech rodzin pełnego rodzeństwa truskawki dla uzyskanych grup jednorodnych
Values of average variables for similar groups

Grupa Group	1	2	3	Średnia Mean
Barwa miąższu Flesh colour	3,59	4,28	4,08	3,99
Barwa skórki Skin colour	3,89	4,09	4,09	4,04
Połysk owocu Glossiness	4,23	4,58	4,28	4,33
Średnia masa 1 owocu Average weight of 1 fruit (g)	2,62	5,11	3,59	3,63
Plon zdrowych owoców Yield of health fruit	343,99	511,82	281,95	340,56
Jędrność owocu Fruit firmness	3,70	4,42	4,34	4,20
Odszypułkowanie Adherence of calyx	4,15	3,62	3,53	3,70

WNIOSKI

1. Zastosowana analiza składowych głównych była skuteczna przy wyodrębnianiu cech związanych znacząco z dwiema pierwszymi składowymi głównymi, wyjaśniającymi ponad 70% zmienności fenotypowej dla 7 badanych cech użytkowych rodzin pełnego rodzeństwa truskawki powtarzającej owocowanie; te cechy mają duży udział w wielocechowym zróżnicowaniu badanych obiektów.
2. Największą siłą dyskryminacyjną charakteryzowały się cechy związane z pierwszą składową główną, która wyjaśniała 43,7% ogólnej zmienności. Były to: barwa skórki, barwa miąższu, jędrność owoców i odszypułkowanie. Oznacza to, że wymienione

- cechy są istotnie skorelowane ze składową. Z drugą składową związane były natomiast plon handlowy i połysk owoców, stanowiące cechy o mniejszej sile dyskryminacyjnej.
3. Rodziny mieszańców o dodatnich (ujemnych) wartościach pierwszej składowej głównej odznaczały się dużą łatwością oddzielania kielicha od owocu, natomiast plonowały średnio obficie, a ich owoce były dość drobne i jasnoczerwone. Rodziny mieszańców, które miały silny związek z drugą składową, charakteryzowały się wyższym plonem lecz słabszą oceną jakości owoców.
 4. W hodowli praktycznej znajomość silnych związków pomiędzy badanymi cechami ma duży wpływ na efektywność prowadzonych prac hodowlanych. Hodowla ukierunkowana na poprawienie jednej cechy jednocześnie wpływa na poprawienie lub pogorszenie innych cech w przypadku ich silnego skorelowania (np. poprawienie jędrności owoców, zwiększa trudność oddzielania kielicha od owocu).
 5. Zastosowana metoda podziału 32 rodzin mieszańców, przy użyciu hierarchicznej analizy skupień metodą Warda i kwadratem odległości euklidesowej, pozwoliła na wydzielenie 3 grup jednorodnych. Niektóre z tych grup charakteryzowały się małymi odległościami wielocechowymi pomiędzy obiektami należącymi do niej.
 6. Komplementarność analizy składowych głównych wraz z hierarchiczną analizą skupień daje bardzo czytelny obraz związków przedstawionych obiektów ze składowymi w przestrzeni zredukowanej do dwóch wymiarów.
 7. Wynikająca z powyższych analiz znajomość oddalenia fenotypowego genotypów używanych do prac hodowlanych pozwala na trafny wybór form rodzicielskich do krzyżowań, w celu otrzymania dużej zmienności wśród potomstwa pod względem pożądanych cech i uniknięcia efektów depresji wsobnej.

LITERATURA

- Anonim. 1999. SPSS 10.0 Syntax Reference Guide. Prentice Hall.
- Bulińska-Radomska Z. 2000. Enzyme polymorphism and adaptation in strawberry clover (*Trifolium fragiferum* L.). Genetic Resources and Crop Evolution, Vol. 47, 2: 197 — 205.
- Fuentes F. F., Martinez E. A., Hinrichsen P. V., Jellen E. N., Maughan P. J. 2008. Assessment of genetic diversity patterns in Chilean quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) germplasm using multiplex fluorescent microsatellite markers. Conservation Genetics, Vol. 10, 2: 369 — 377.
- Gatnar E. 1995. Klasyfikacja danych za pomocą pakietu statystycznego SPSS for Windows. Akademicka Oficyna Wydawnicza PLJ, Warszawa.
- Griffing B. 1956. Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crosses systems. Austr. J. Biol. Sci. 9: 463 — 493.
- Gurrieri F., Audergon J. M., Albagnac G., Reich M. 2001. Soluble sugars and carboxylic acids in ripe apricot fruit as parameters for distinguishing different cultivars. Euphytica 117: 183 — 189.
- Hansche P. E., Bringhurst R. S., Voth V. 1968. Estimates of genetic and environmental parameters in the strawberry. Proc. Amer. Soc. Hort. Sci. 92: 338 — 345.
- Hortyński J. A. 1987. Dziedziczenie niektórych cech ilościowych truskawki (*Fragaria x ananassa* Duch.). Metody i problemy oszacowań. Wydawnictwo AR Lublin.
- Mguis K, Brahim N. B., Albouchi A., Yakkoubi-Tej M., Mahjoub A., Ouerghi Z. 2008. Phenotypic responses of the wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth and wheat (*Triticum durum* Desf.) to experimentally imposed salt stress. Genetic Resources and Crop Evolution, 55: 665 — 674.
- Morrison D. F. 1990. Wielowymiarowa analiza statystyczna. PWN, Warszawa.

- Sieczko L., Mądry W., Zieliński A., Paderewski J., Urbaś-Szwed K. 2004. Zastosowanie analizy składowych głównych w badaniach nad wielo cechową charakterystyką zmienności genetycznej w kolekcji zasobów genowych pszenicy twardej (*Triticum durum* L.). Colloquium Biometryczne T. 34: 223 — 239.
- Teklu Y., Hammer K., Roder M. S. 2007. Simple sequence repeats marker polymorphism in emmer wheat (*Triticum dicoccon* Schrank): Analysis of genetic diversity and differentiation. Genetic Resources and Crop Evolution, 54: 543 — 554.
- Ward J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. J. Am. Statist. Assoc. 58: 236 — 244.
- Wu B., Quilot B., Kervella J., Genard M., Li S. 2003. Analysis of genotypic variation of sugar and acid contents in peaches and nectarines through the Principle Component Analysis. Euphytica 132: 375 — 384.