

WIESŁAW MĄDRY ¹
MARCIN KOZAK ¹
STANISŁAW PLUTA ²
EDWARD ŻURAWICZ ²

¹ Katedra Statystyki Matematycznej i Doświadczalnictwa SGGW, Warszawa

² Zakład Hodowli Roślin Sadowniczych, Instytut Sadownictwa i Kwiaciarnictwa, Skierniewice

Zastosowanie sekwencyjnej analizy plonu w badaniach nad uwarunkowaniem zmienności plonu owoców porzeczki czarnej (*Ribes nigrum* L.) na roślinie przez cechy plonotwórcze

The use of sequential yield component analysis (SYCA) in studies on determination of fruit yield variability in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.)

Celem pracy jest przedstawienie zastosowania i walorów sekwencyjnej analizy plonu na przykładzie oceny uwarunkowania zmienności plonu owoców porzeczki czarnej na roślinie przez jego cechy plonotwórcze takie, jak (w kolejności ich kształtowania się w ontogenezie) średnia liczba pędów 1-rocznych, średnia długość przyrostów 1-rocznych, termin kwitnienia, uszkodzenie kwiatów przez przymrozki wiosenne oraz średnia masa 100 owoców. Stwierdzono, że sekwencyjna analiza plonu jest wartą polecenia, lepszą metodą, niż analiza liniowej regresji wielokrotnej oraz analiza ścieżek, w badaniach uwarunkowania zmienności plonu owoców przez kolejno kształtujące się w trakcie ontogenezy cechy plonotwórcze roślin, co może odnosić się także do innych roślin uprawnych. Wnioskowanie o uwarunkowaniu plonu owoców na roślinie porzeczki czarnej za pomocą rozpatrywanej metody ma zarówno znaczenie poznawcze z zakresu fizjologii plonowania tego gatunku, traktuje bowiem ilościowo o względnej roli kolejno kształtujących się w ontogenezie cech plonotwórczych roślin w kształtowaniu się wysokości plonu owoców na roślinie, jak i znaczenie praktyczne w hodowli roślin, stanowi bowiem podstawy kryteriów selekcyjnych na plon.

Słowa kluczowe: cechy plonotwórcze roślin, porzeczka czarna (*Ribes nigrum* L.), sekwencyjna analiza plonu (SYCA), układ krzyżowań diallelicznych, współczynniki korelacji, zmienność plonu owoców

The aim of the paper was to present an application and usefulness of sequential yield component analysis (SYCA) using an example on determination of fruit yield variability among blackcurrant plants. The following plant determinants of yield were considered (in the ontogenetic order): average number of one-year-old shoots, average length of one-year-old shoots, flowering time, spring frost damage of flowers and average weight of 100 berries. It was proved that sequential yield component analysis is a useful method in studies of relationships between fruit yield per plant of blackcurrant and

its determinants which develop in an ontogenetic order. This method could be more suitable in such cases than the linear multiple regression analysis and path analysis. Similar conclusions could be given for other crops, both agricultural and horticultural ones. Description of blackcurrant plant fruit yield variability by its determinants using the proposed method could be important for crop physiology and for breeding directed towards fruit yield.

Key words: blackcurrant (*Ribes nigrum* L.), correlation coefficients, diallel crosses, fruit yield variability, determinants of yield, sequential yield component analysis (SYCA)

WSTĘP

Plon rolniczy na roślinie jest cechą ilościową, określającą najważniejszy ze względów praktycznych, końcowy rezultat skomplikowanego procesu ontogenezy roślin. Proces ten jest warunkowany przez wielką liczbę różnorodnych przyczyn. Zależnie od kierunku i celu badań można rozpatrywać jego uwarunkowanie przez różne rodzaje czynników, np. czynniki środowiskowe (siedliskowe i uprawowe), genetyczne (geny i genotypy), fizjologiczne i inne. Wszystkie te czynniki wpływają zarówno na plon, jak i na plonotwórcze cechy roślin i łanu, czyli takie cechy ilościowe, które mają określone znaczenie w kształtowaniu plonu roślin w trakcie ontogenezy. Zatem ocena uwarunkowania plonu przez cechy plonotwórcze roślin i łanu dostarcza wiedzy o mechanizmach biologicznych plonowania roślin, która może mieć także duże znaczenie praktyczne w hodowli i uprawie roślin (Fraser i Eaton, 1983; Rozbicki, 1997).

Cechy plonotwórcze roślin i łanu kształtują się w różnych fazach ich rozwoju. W wyniku działania wspólnych czynników na procesy rozwojowe roślin w następujących po sobie fazach i wzajemnej kompensacji cech roślin w łanie, cechy plonotwórcze są zazwyczaj w różnym stopniu i kierunku skorelowane, zależnie od przyczyn genetycznych i środowiskowych warunkujących rozpatrywaną zmienność cech roślin (Fraser i Eaton, 1983; Gołaszewski, 1996; Mądry i in., 2000).

Przy empirycznym opisie i interpretacji zależności między cechami plonotwórczymi roślin i łanu a plonem, stosuje się różne metody statystyczne (Fraser i Eaton, 1983; Mądry i Kozak, 2000; Kozak, 2002). Najczęściej stosowaną jest analiza liniowej regresji wielokrotnej, a zwłaszcza jej modyfikacja — analiza ścieżek. Ma ona pewne mankamenty w zastosowaniu do cech plonotwórczych rozwijających się sekwencyjnie w ontogenezie (Yadav i in., 1994; Kozak, 2002). Lepszą metodą, bardziej przystającą do rzeczywistości w takich przypadkach, może być metoda sekwencyjnej analizy plonu (Eaton i Kyte, 1978; Eaton i MacPherson, 1978; Gołaszewski, 1996). Jest to metoda statystyczna oparta na specyficznym zastosowaniu regresji krokowej „w przód”, z zachowaniem kolejności wprowadzania cech plonotwórczych do modelu, zgodnej z kolejnością ich kształtowania się w ontogenezie. Pomysł sekwencyjnej analizy plonu pochodzi od kanadyjskich badaczy roślin sadowniczych G. W. Eatona i jego współpracowników (Eaton i Kyte, 1978; Eaton i MacPherson, 1978). Mimo jej, jak się wydaje, walorów jest ona wciąż metodą rzadziej stosowaną.

Celem tej pracy jest przedstawienie zastosowania i walorów sekwencyjnej analizy plonu na przykładzie oceny uwarunkowania zmienności plonu owoców porzeczki czarnej na roślinie przez jego cechy plonotwórcze takie, jak średnia liczba pędów jednorocznych,

średnia długość przyrostów jednorocznych, termin kwitnienia, uszkodzenie kwiatów przez przymrozki wiosenne oraz średnia masa 100 owoców.

MATERIAŁ I METODY

Materiał doświadczalny

Przedmiotem badań były plonujące, w czwartym i piątym roku od posadzenia siewek, rośliny porzeczki czarnej pokolenia F_1 , pochodzące z kombinacji krzyżowań między pięcioma formami rodzicielskimi w kompletnym układzie diallelicznym (Pluta, 1995). Badanymi formami rodzicielskimi były znane odmiany porzeczki czarnej, tj. Ben Nevis, Biełoruskaja Słodkaja, Consort, Ojebyn i Titania.

Doświadczenie polowe z 25 rodzinami mieszańców otrzymanych z krzyżowań diallelicznych 5 odmian przeprowadzono w układzie losowanych bloków w czterech powtórzeniach (15 roślin na poletku) w Sadowniczym Zakładzie Doświadczalnym w Dąbrowicach koło Skierniewic, należącym do Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa w Skierniewicach. Obserwacje wymienionych cech na 1500 roślinach rodzin mieszańców wykonano w latach 1991 oraz 1992. Obserwowano na pojedynczych roślinach następujące cechy (w kolejności pojawiania się w ontogenezie): średnią liczbę pędów jednorocznych, średnią długość przyrostów 1-rocznych, termin kwitnienia, uszkodzenie kwiatów przez przymrozki wiosenne, średnią masę 100 owoców oraz plon owoców na roślinie. Wyznaczono średnie poletkowe z obserwacji tych cech, dokonanych na 15 roślinach. Do analizy statystycznej za pomocą sekwencyjnej analizy plonu wykorzystano po 100 średnich poletkowych dla wszystkich badanych cech w każdym roku obserwacji. Zmienność średnich poletkowych dla badanych cech jest uwarunkowana zarówno genetycznie, jak i środowiskowo i charakteryzuje generalną zmienność średnich (z 15 roślin) dla rodzin pełnego rodzeństwa w populacji takich rodzin, powstałych z wszystkich możliwych krzyżowań w obrębie rozpatrywanej puli genowej porzeczki czarnej. Podana interpretacja przyczyn obserwowanej zmienności cech jest oparta na założeniu, że krzyżowane formy rodzicielskie są próbą reprezentatywną z rozpatrywanej puli genowej badanego gatunku (Muszyński i in., 2000). Pluta (1995) zamieścił oceny współczynników zmienności dla tych danych, z których wynika, że wszystkie badane cechy podlegały znaczącej zmienności w wykorzystywanym materiale doświadczalnym.

Metoda statystyczna i jej zastosowanie

Sekwencyjna analiza plonu została zaproponowana przez Gołaszewskiego (1996), opisana przez Mądrego i Kozaka (2000) i zastosowana dla pszenżyta ozimego przez Mądrego i wsp. (2000). W tej metodzie zakłada się, że plon (Y) i cechy plonotwórcze ($X_1, X_2, \dots, X_k$) są opisane przez wektor wzajemnie skorelowanych zmiennych losowych ($Y, X_1, X_2, \dots, X_k$). Kolejne cechy plonotwórcze są zapisywane zgodnie z kolejnością ich wykształcania się w trakcie ontogenezy roślin. Przyjmujemy, że wektor zmiennych losowych ($Y, X_1, X_2, \dots, X_k$) realizuje się w pewnej populacji jednostek doświadczalnych lub obserwacyjnych (pojedynczych roślin w łanie, poletek, łąnów produkcyjnych itp.), generowanej przez określone zjawisko masowe wegetacji roślin w różnorodnych warunkach, spowodowanych przez przyczyny genetyczne lub środowiskowe (siedliskowe

w określonej skali czasowo-przestrzennej lub uprawowej), albo też przez wszystkie te przyczyny jednocześnie. Zakładamy także, że wartości obserwowane badanych cech pochodzą z rozkładu normalnego lub zbliżonego do niego. Założenie to pozwala wykluczyć sytuacje, w których mamy do czynienia z ekstremalnymi (odstającymi) obserwacjami badanego wektora zmiennych. Takie obserwacje odstające mogą pojawić się zwłaszcza w badaniach uprawowych, z powodu niekorzystnych warunków siedliskowych i/lub agrotechnicznych (np. skrajnego zagęszczenia roślin w łanie). Ze względu na powyższe założenia o normalności rozkładu rozpatrywanych zmiennych, możemy w badaniach zależności plonu od cech plonotwórczych, stosować model liniowy regresji wielokrotnej.

W celu oceny względnego wpływu cech plonotwórczych na plon, niezależnego od poprzedzających ją w ontogenezie cech plonotwórczych, w sekwencyjnej analizie plonu stosujemy ortogonalizację Grama-Schmidta (Winer, 1971; Bock, 1975; Bonney i Kissling, 1986; Kozak, 2002), uzyskując $(k+1)$ -wymiarowy wektor plonu oraz ortogonalnych cech plonotwórczych ($Y, Z_1, Z_2, \dots, Z_k$). Dla tego wektora zmiennych po ich standaryzacji stosujemy analizę liniowej regresji wielokrotnej. Estymujemy więc cząstkowe współczynniki regresji (współczynniki ścieżek) p_i oraz testujemy hipotezę ogólną o braku liniowej zależności między plonem a wszystkimi ortogonalnymi plonotwórczymi cechami roślin oraz hipotezy szczegółowe o braku liniowego wpływu każdej i -tej ($i = 1, 2, \dots, k$) ortogonalnej cechy plonotwórczej na plon (Neter i in., 1990). Współczynniki ścieżek p_i dla każdej i -tej ortogonalnej plonotwórczej cechy roślin są porównywalną miarą kierunku (dodatniego lub ujemnego) i wielkości liniowego względnego wpływu i -tej cechy plonotwórczej na plon, czyli po uwzględnieniu wpływu na plon poprzedzających ją ($i-1$) cech plonotwórczych. Kwadrat współczynnika ścieżki p_i stanowi współczynnik determinacji plonu przez i -tą cechę plonotwórczą po uprzednim wyłączeniu wpływu na plon poprzedzających ją ($i-1$) cech plonotwórczych. Ten współczynnik determinacji nazywamy udziałem i -tej cechy plonotwórczej w plonie.

W prezentowanych badaniach, wśród pięciu rozpatrywanych cech plonotwórczych jedna z nich, tj. średnia masa 100 owoców jest multiplikatywną składową plonu (Kozak 2002), która wykształca się od fazy zawiązania owoców do zbioru. Pozostałe cztery cechy plonotwórcze są niektórymi determinantami liczby owoców na roślinie, która jest także multiplikatywną składową plonu, kształtującą się wcześniej, tj. przed rozpoczęciem kształtowania się wielkości owoców, mierzonej za pomocą średniej masy 100 owoców. Te spostrzeżenia i założenia biologiczne będą miały zasadnicze znaczenie przy stosowaniu sekwencyjnej analizy plonu oraz interpretacji uzyskanych wyników badań statystycznych nad uwarunkowaniem plonu przez obserwowane cechy plonotwórcze. Zgodnie z podaną kolejnością ontogenetycznego kształtowania się składowych plonu, uzupełnioną o kolejność kształtowania się czterech cech plonotwórczych wpływających na liczbę owoców na roślinie, przyjmujemy następujący porządek cech plonotwórczych w sekwencyjnej analizie plonu: średnia liczba pędów jednorocznych (X_1), średnia długość przyrostów jednorocznych (X_2), termin kwitnienia (X_3), uszkodzenie kwiatów przez przymrozki wiosenne (X_4) oraz średnia masa 100 owoców (X_5).

WYNIKI

Wyniki dla 1991 roku

Plon owoców na roślinie był najsilniej skorelowany ze średnią masą 100 owoców, przy czym była to korelacja ujemna, $r = -0,84^{**}$ (tab. 1).

Tabela 1

Macierz współczynników korelacji plonu owoców na roślinie oraz plonotwórczych cech roślin porzeczki czarnej w roku 1991

Correlation matrix for plant fruit yield and its determinants of blackcurrant plant in the year 1991

	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Średnia liczba pędów 1-rocznych X ₁ Average number of one-year-old shoots X ₁	1,00					
Średnia długość przyrostów 1-rocznych X ₂ Average length of one-year-old shoots X ₂	0,58**	1,00				
Termin kwitnienia X ₃ Blooming time X ₃	0,09	0,04	1,00			
Uszkodzenie kwiatów przez przymrozki X ₄ Spring frost damage of flowers X ₄	-0,02	-0,34**	-0,22*	1,00		
Średnia masa 100 owoców X ₅ Average weight of 100 berries X ₅	0,18	0,00	0,12	0,29**	1,00	
Plon owoców X ₆ Fruit yield X ₆	0,16	0,33**	-0,19	-0,39**	-0,84**	1,00

* (**) Oznacza istotny współczynnik korelacji przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

* (**) Denotes significant correlation coefficient at the level $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

Wykazano także istotną, ale słabą, $r = -0,39^{**}$, korelację ujemną plonu ze stopniem uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne oraz dodatnią korelację, $r = 0,33^{**}$, ze średnią długością przyrostów jednorocznych. Nie stwierdzono istotnej korelacji plonu z pozostałymi cechami plonotwórczymi, czyli średnią liczbą pędów jednorocznych oraz terminem kwitnienia. Niektóre cechy plonotwórcze roślin były skorelowane istotnie. Stwierdzono umiarkowaną korelację dodatnią między średnią liczbą pędów jednorocznych ze średnią długością przyrostów jednorocznych, $r = 0,58^{**}$. Oznacza to, że większa liczba pędów jednorocznych na roślinie współlistnieje dość często z większą długością tych pędów. Świadczy to więc o dużej sile wzrostu krzewów wielu spośród rozpatrywanych genotypów porzeczki czarnej. Średnia długość przyrostów jednorocznych była istotnie, ale słabo skorelowana ujemnie, $r = -0,34^{**}$, ze stopniem uszkodzeń kwiatów przez przymrozki. Oznacza to, że u niektórych krzewów o silnym przyroście wegetatywnym uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne są mniejsze.

Sekwencyjna analiza plonu porzeczki czarnej (tab. 2) wykazała, że pomimo niewielkiego względnego wpływu na plon większości cech plonotwórczych, ich wpływ był istotny przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$. Stwierdzono dodatni wpływ średniej liczby pędów jednorocznych (X₁) oraz średniej długości przyrostów jednorocznych (X₂). Obie te cechy roślin warunkowały około 10% zmienności plonu, przy czym druga z nich była ważniejszym determinantem plonu. Względny wpływ terminu kwitnienia (X₃) na plon owoców na roślinie okazał się ujemny, jednak warunkował on tylko około 4% zmienności plonu. Oznacza to, że krzewy (genotypy) kwitnące później czasami plonują słabiej, niż

krzewy wcześniej kwitnące, mimo, że krzewy kwitnące później są w mniejszym stopniu uszkodzane przez przymrozki wiosenne, niż krzewy wcześniejsze. Ważniejszym od trzech pierwszych w ontogenezie cech plonotwórczych dla tworzenia się plonu był stopień uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne (X_4). Wpływ tego determinanta na plon był ujemny i wyjaśniał on około 13% zmienności plonu.

Tabela 2

**Macierz współczynników korelacji plonu owoców na roślinie oraz plonotwórczych cech roślin
porzeczki czarnej w roku 1992**
Correlation matrix for plant fruit yield and its determinants of blackcurrant plant in the year 1992

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6
średnia liczba pędów 1-rocznych X_1 average number of one-year-old shoots X_1	1,00					
średnia długość przyrostów 1-rocznych X_2 average length of one-year-old shoots X_2	0,30**	1,00				
termin kwitnienia X_3 blooming time X_3	0,17	0,19	1,00			
uszkodzenie kwiatów przez przymrozki X_4 spring frost damage of flowers X_4	-0,15	0,12	0,33**	1,00		
średnia masa 100 owoców X_5 average weight of 100 berries X_5	0,21*	0,12	-0,30**	-0,44**	1,00	
plon owoców X_6 fruit yield X_6	0,32**	0,39**	-0,04	-0,47**	0,58**	1,00

* (**) Oznacza istotny współczynnik korelacji przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

* (**) Denotes significant correlation coefficient at the level $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

Największy względny wpływ na plon, determinujący około 58% zmienności plonu, miała średnia masa 100 owoców. Ta cecha plonotwórcza (multiplikatywna składowa plonu), po wyłączeniu wpływu czterech wcześniejszych cech plonotwórczych, wpływała ujemnie na plon. Spróbujemy wyjaśnić hipotetycznie ten dość zaskakujący fakt. Otóż, jak wspomniano w rozdziale „Materiał i metody”, cztery badane cechy plonotwórcze (X_1 , X_2 , X_3 , X_4) mogą mieć związek z liczbą owoców na roślinie. Jednak nie wiadomo w jakim stopniu warunkują one tę składową plonu owoców na roślinie. Jeśli uwarunkowanie to byłoby stosunkowo słabe, to oceniany w sekwencyjnej analizie plonu efekt średniej masy 100 owoców, jako drugiej w kolejności kształtowania się składowej plonu, mógłby zawierać także uwikłany efekt liczby owoców na roślinie, jako pierwszej składowej plonu, w przypadku skorelowania obu tych składowych plonu. Taka jest bowiem konsekwencja wprowadzania kolejnych skorelowanych zmiennych przyczynowych do modelu regresji wielokrotnej (Neter i in., 1990; Zieliński, 1998; Niemiro, 1999; Krzyśko, 2000). Gdyby zatem wpływ bezpośredni liczby owoców na roślinie był duży i składowa ta byłaby odpowiednio silnie skorelowana ujemnie z wielkością owoców, to zwiększenie średniej masy 100 owoców współlistniało by dość ściśle z, nie wyjaśnioną przez wcześniej wykształcone cechy plonotwórcze, małą liczbą owoców na roślinie, co mogłoby powodować znaczące zmniejszenie plonu owoców na roślinie. I taki właśnie stwierdzono ujemny duży (dominujący) efekt względnego, po wyłączeniu efektów wcześniej rozwijających się cech plonotwórczych, wpływu średniej masy 100 owoców na plon owoców na roślinie.

Determinacja plonu owoców na roślinie przez badane cechy plonotwórcze w 1991 roku wynosiła około 85%, była więc ona stosunkowo duża. Znaczącą większość tego stopnia uwarunkowania zmienności plonu przypisujemy średniej masie 100 owoców.

Wyniki dla 1992 roku

Macierz współczynników korelacji plonu owoców na roślinie oraz plonotwórczych cech roślin obserwowanych w roku 1992 była wyraźnie odmienna, niż cech obserwowanych u tych samych roślin w roku 1991. Plon wciąż był najsilniej skorelowany ze średnią masą 100 owoców, $r = 0,58^{**}$, ale tym razem była to korelacja dodatnia i znacznie słabsza, niż w poprzednim roku obserwacji (tab. 3).

Tabela 3

Sekwencyjna analiza plonu owoców na roślinie porzeczki czarnej względem plonotwórczych cech roślin w 1991 roku

Sequential analysis for plant fruit yield in blackcurrant in relation to plant determinants of the yield in the year 1991

	Średnia liczba pędów 1-roczych X_1 Average number of one-year-old shoots X_1	Średnia długość przyrostów 1-roczych X_2 Average length of one-year-old shoots X_2	Termin kwitnienia X_3 Blooming time X_3	Uszkodzenie kwiatów przez przymrozki X_4 Spring frost damage of flowers X_4	Średnia masa 100 owoców X_5 Average weight of 100 berries X_5	R^2
p_i	0,16**	0,28**	-0,20**	-0,35**	-0,76**	
Udział w plonie% Contribution in the yield (%)	2,69	8,09	3,90	12,59	58,26	85,54%

P_i — Oznacza współczynnik ścieżki dla i -tej ortogonalnej cechy plonotwórczej

P_i — Denotes a path coefficient for the i -th orthogonal cause variable

** Istotny względny wpływ ortogonalnej cechy plonotwórczej na plon przy poziomie istotności $\alpha = 0,01$,

** Denotes significant relative effect of the i -th orthogonal cause variable on yield at the level $\alpha = 0.01$

R^2 — Oznacza współczynnik determinacji wielokrotnej

R^2 — Denotes multiple determination coefficient

Stwierdzono trochę silniejszą, niż w roku 1991, ujemną korelację, $r = -0,47^{**}$, między plonem a uszkodzeniami kwiatów przez przymrozki oraz dodatnie korelacje plonu z dwiema pierwszymi cechami plonotwórczymi, tj. średnią liczbą pędów 1-roczych oraz średnią długością przyrostów 1-roczych, odpowiednio $r = 0,32^{**}$ oraz $r = 0,39^{**}$. Nie stwierdzono istotnej korelacji plonu z terminem kwitnienia, co stanowi powtórzenie takiego samego wniosku w roku 1991.

Korelacje między cechami plonotwórczymi były dość słabe, podobnie jak w roku 1991. Najsilniejsza z nich, ujemna, $r = -0,44^{**}$, dotyczyła uszkodzeń kwiatów przez przymrozki i średniej masy 100 owoców. Oznacza to, że zwiększenie uszkodzeń kwiatów przez przymrozki współistniało ze zmniejszeniem średniej masy 100 owoców. Jest to logiczne, bo najwcześniej marzną kwiaty rozwijające się u nasady kwiatostanu, są to kwiaty dające największe owoce. W roku 1991 korelacja ta była jednak dodatnia i słabsza, $r = 0,29^{**}$. Z tego można sądzić, że mechanizm przyczynowy korelacji tych cech (ich czynniki

wspólne) tkwi między innymi w przebiegu występowania przymrozków wiosennych w danym roku i przebiegu warunków pogodowych w trakcie dalszej wegetacji.

Sekwencyjna analiza plonu porzeczki czarnej (tab. 4) wykazała, że, podobnie jak w roku 1991, względny wpływ wszystkich cech plonotwórczych na plon był istotny przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ lub $0,01$. Stwierdzono dodatni wpływ średniej liczby pędów 1-letnich (X_1) oraz średniej długości przyrostów 1-letnich (X_2). Obie te cechy roślin warunkowały po około 10% zmienności plonu, prawie 2 razy więcej, niż w poprzednim roku wegetacji. Względny wpływ terminu kwitnienia (X_3) na plon owoców na roślinie okazał się ujemny (przy $\alpha = 0,05$), warunkował on tylko około 2% zmienności plonu, podobnie mało, jak w poprzednim roku.

Tabela 4

Sekwencyjna analiza plonu owoców na roślinie porzeczki czarnej względem plonotwórczych cech roślin w 1992 roku

Sequential analysis of plant fruit yield in blackcurrant in relation to plant determinants of the yield in the year 1992

	Średnia liczba pędów 1-letnich X_1 Average number of one-year-old shoots X_1	Średnia długość przyrostów 1-letnich X_2 Average length of one-year-old shoots X_2	Termin kwitnienia X_3 Blooming (flowering) time X_3	Uszkodzenie kwiatów przez przymrozki X_4 Spring frost damage of flowers X_4	Średnia masa 100 owoców X_5 Average weight of 100 berries X_5	R^2
p_i	0,32**	0,31**	-0,14*	-0,47**	0,35**	
Udział w plonie % Contribution in the yield (%)	10,26	9,41	2,02	22,18	12,09	55,96%

p_i — Oznacza współczynnik ścieżki dla i -tej ortogonalnej cechy plonotwórczej

p_i — Denotes a path coefficient for the i -th orthogonal cause variable

** Istotny względny wpływ ortogonalnej cechy plonotwórczej na plon przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

** Denotes significant relative effect of the i -th orthogonal cause variable on yield at the level $\alpha = 0,05$ ($\alpha = 0,01$)

R^2 — Oznacza współczynnik determinacji wielokrotnej

R^2 — Denotes multiple determination coefficient

W tym roku wegetacji największy, ujemny, wpływ na plon miał stopień uszkodzenia kwiatów przez przymrozki wiosenne. Ta cecha plonotwórcza miała decydujące znaczenie w kształtowaniu plonu owoców na roślinie, determinując około 22% zmienności plonu. Podobnie, choć w mniejszym stopniu plon był zależny od tej cechy plonotwórczej w roku poprzednim. Zupełnie inaczej plon był warunkowany przez ostatnią kształtującą się w ontogenezie średnią masę 100 owoców. Jej względny wpływ na plon był dodatni, choć znacznie mniejszy, warunkujący około 12% zmienności plonu, niż ujemny względny wpływ w poprzednim roku wegetacji, który warunkował około 58% zmienności plonu.

Determinacja całkowita plonu przez wszystkie badane cechy plonotwórcze była mniejsza w roku 1992, niż w roku poprzednim i wyniosła 56%. Stało się to na skutek dużego zmniejszenia wielkości względnego wpływu średniej masy 100 owoców na plon. Jest faktem niezwykle interesującym tak różne znaczenie wielkości owoców w tworzeniu plonu owoców na roślinie porzeczki czarnej, w kolejnych latach wegetacji tych samych

roślin. Wydaje się, że zjawisko to wynika z dużego wpływu warunków pogodowych w trakcie okresu wegetacji, w którym tworzy się plon oraz w poprzednich okresach wegetacji. Świadczy ono o zróżnicowanej strategii roślin w procesie tworzenia plonu w trakcie ontogenezy, polegającej na różnych mechanizmach dostosowawczych roślin do warunków pogodowych w celu możliwie najlepszego ich wykorzystania w celu wytworzenia plonu. Uzyskane wyniki mogą być inspiracją do dalszych pogłębionych badań nad fizjologią plonowania porzeczki czarnej.

WNIOSKI

Ze względu na metodyczny i statystyczny charakter niniejszej pracy, wysuwamy wyłącznie wnioski na temat przydatności stosowanej metody do badań nad uwarunkowaniem plonu owoców porzeczki czarnej na roślinie przez cechy plonotwórcze roślin.

1. Sekwencyjna analiza plonu jest wartą polecenia lepszą metodą, niż analiza liniowej regresji wielokrotnej oraz analiza ścieżek, w badaniach uwarunkowania zmienności plonu owoców porzeczki czarnej na roślinie przez kolejno kształtujące się w trakcie ontogenezy cechy plonotwórcze roślin, co może odnosić się także do innych roślin uprawnych,
2. Wnioskowanie o uwarunkowaniu plonu owoców na roślinie porzeczki czarnej za pomocą rozpatrywanej metody ma zarówno znaczenie poznawcze z zakresu fizjologii plonowania tego gatunku, traktuje bowiem ilościowo o względnej roli kolejno kształtujących się w ontogenezie cech plonotwórczych roślin w kształtowaniu się wysokości plonu owoców na roślinie, jak i znaczenie praktyczne w hodowli roślin, stanowi bowiem podstawy kryteriów selekcyjnych na plon.

LITERATURA

- Bock R. D. 1975. Multivariate statistical methods in behavioral research. McGraw-Hill, Toronto.
- Bonney G. E., Kissling G. E. 1986. Gram-Schmidt Orthogonalization of Multinormal Variates: Applications in Genetics. *Biom. J.* 28: 417 — 425.
- Eaton G. W., Kyte T. R. 1978. Yield component analysis in strawberry. *J. Am. Soc. Hort. Sci.*, 103: 578 — 583.
- Eaton G. W., MacPherson E. A. 1978. Morphological components of yield in cranberry, *Hort. Res.*, 17: 73 — 82.
- Fraser J., Eaton G. W. 1983. Applications of Yield Component Analysis to Crop Research. *Field Crop Abstracts* 36: 787 — 796.
- Gołaszewski J. 1996. A method of yield component analysis. *Listy Biometryczne* 33: 79 — 88.
- Kozak M. 2002. Statystyczna analiza uwarunkowania zmienności plonu roślin przez jego składowe. Praca doktorska, SGGW, Warszawa.
- Krzyśko M. 2000. Wielowymiarowa analiza statystyczna. UAM, Poznań.
- Mądry W., Kozak M. 2000. Analiza ścieżek i sekwencyjna analiza plonu w badaniach zależności plonu od cech łanu. *Cz. I. Opis metod. Rocz. N. Rol., Seria A*, 115: 143 — 157.
- Mądry W., Kozak M., Rozbicki J. 2000. Analiza ścieżek i sekwencyjna analiza plonu w badaniach zależności plonu od cech łanu. *Cz. II. Zastosowanie metod i porównanie wyników dla pszenżyta ozimego. Rocz. N. Rol., Seria A*, 115: 159 — 172.
- Muszyński S., Mądry W., Tomaszewski M., Sowa A., Zimny J. 2000. Genetyka dla rolników. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.

- Neter J., Wasserman W., Kutner M. H. 1990. Applied linear statistical models. Regression, analysis of variance, and experimental designs. IRWIN, New York.
- Niemiro W. 1999. Rachunek prawdopodobieństwa i statystyka matematyczna. Szkoła Nauk Ścisłych, Warszawa.
- Pluta S. 1995. Analiza dialleliczna cech użytkowych porzeczki czarnej. Praca doktorska, ISK, Skierniewice.
- Rozbicki J. 1997. Agrotechniczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenżyta ozimego. Rozprawa habilitacyjna, Fundacja Rozwój SGGW, Warszawa.
- Winer B. J. 1971. Statistical principles in experimental design. 2nd Ed. McGraw-Hill, New York.
- Yadav O. P., Manga V. K., Saxena M. B. L. 1994. Ontogenetic approach to grain production in pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.) based on path-coefficient analysis. Indian J. Agric. Sci. 64, s. 233 — 236.
- Zieliński W. 1998. Analiza regresji. Fundacja „Rozwój SGGW”, Warszawa.