

TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI

STANISŁAW WĘGRZYN

Zakład Oceny Jakości i Metod Hodowli Zbóż

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Kraków

Zastosowanie analizy współczynników ścieżek do badań genotypowych zależności i współzależności wybranych cech plonotwórczych żyta ozimego (*Secale cereale*)

Adaptation of the path-coefficient analysis to assess genotypic relationships and interrelationships of the yield parameters in winter rye (*Secale cereale*)

Celem pracy była ocena bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech na plon rodów i mieszańców żyta ozimego badanych w doświadczeniach odmianowych (wstępnych-zespołowych) w 1999 i 2000 roku. Badanymi cechami były: wysokość roślin, wyrównanie, termin kłoszenia, zdolność pylenia, odporność na wyłeganie i rdzę brunatną. Ocenie poddano łącznie 112 obiektów (po 56 w każdym roku) w 7 miejscowościach. Analizę ścieżkową przeprowadzono w oparciu o współczynniki korelacji genotypowych pomiędzy badanymi 7 cechami. Analiza ścieżkowa wykazała wysokiej wartości ujemne efekty bezpośrednie $P_{27(1999)} = -1,701$ i $P_{27(2000)} = -0,988$ pomiędzy plonem a pyleniem kwiatostanów. Efekty te w istotny sposób wzmacniały współczynniki korelacji genotypowych pomiędzy plonem a pyleniem żyta w czasie kwitnienia w dwóch latach $r_{G(1999)} = -0,43^*$ i $r_{G(2000)} = -0,71^{**}$. Natomiast dodatnie korelacje genotypowe pomiędzy wyrównaniem a plonem; $r_{G(1999)} = 0,23$, $r_{G(2000)} = 0,47^{**}$ były osłabione przez silnie ujemne efekty bezpośrednie $P_{47(1999)} = -0,885$ i $P_{47(2000)} = -0,454$. Stwierdzono również wysokie wartości współczynników determinacji liniowej $R^2_{(1999)} = 90,8\%$ i $R^2_{(2000)} = 63,1\%$.

Słowa kluczowe: analiza ścieżek, plon ziarna, korelacje genotypowe, żyto ozime

The aim of the study was to estimate direct and indirect effects of six traits on grain yield per plot in strains and cultivars of winter rye, investigated in field trials in 1999 and 2000. The study was carried out on 112 forms (56 in each year) in 7 localities. The path-coefficient analysis carried the make the genotypic correlations between of investigated the traits. Grain yield was found to be influenced by the plant height, uniformity, date of heading, pollinating ability, resistance to lodging and brown rust. Path-coefficient analysis showed a very strong direct effect of pollination ability on grain yield, at $P_{27(1999)} = -1,701$ and $P_{27(2000)} = -0,988$. The above effects significantly affected genotypic correlation between grain yield and pollination ability in both years of study ($r_{G(1999)} = -0,43^*$ and $r_{G(2000)} = -0,71^{**}$). A positive genotypic correlation was also found between plant uniformity and grain yield ($r_{G(1999)} = 0.23$ and $r_{G(2000)} = 0.47^*$), although direct effects on yield were

negative in both years of the study ($P_{47(1999)} = -0.885$, and $P_{47(2000)} = -0.454$). Multiple determination coefficients $R^2_{(1999)} = 90.8\%$ and $R^2_{(2000)} = 63.1\%$ were high.

Key words: genotypic, correlation, path-analysis, grain yield, winter rye

WSTĘP

Podniesienie poziomu plenności nowych rodów żyta ozimego pozostaje nadal głównym zadaniem prowadzonych zabiegów hodowlanych. Badania Grochowskiego (1993), Węgrzyn i wsp. (1996) wskazują na występowanie silnych zależności pomiędzy plonem a wieloma cechami użytkowymi u żyta ozimego. Skuteczność prac selekcyjnych w celu podniesienia plenności nowych rodów zbóż w tym i żyta może być efektywniejsza, jeśli zostaną wyjaśnione zależności przyczynowo-skutkowe, czyli przeprowadzona tzw. analiza ścieżkowa między plonem a najważniejszymi elementami struktury plonu (Węgrzyn, 1985). Autorzy polskich badań (Binek, 1983; Kadłubiec i in., 1983; Jedyński 2001; Gołaszewski i in., 1993, 1996; Węgrzyn i in., 1996,) przeprowadzali analizę skutkowo-przyczynową wykorzystując współczynniki korelacji fenotypowych. W literaturze zagranicznej (Dewey i in., 1959; Sidwell i in., 1976; Johnson i in., 1983) zaleca się wykonywać analizę ścieżkową na podstawie genotypowych współczynników korelacji. Informacje dotyczące współzależności cech żyta ozimego powstałe w oparciu o analizy ścieżkowe są nieliczne. Wykonane badania (Gołaszewski i in., 1993) na 80 rodach wyselekcjonowanych z populacji żyta ozimego Kortowskie wskazują, że wysoki plon ziarna z kłosa zależał w sposób bezpośredni od masy 1000 ziaren i liczby ziaren z kłosa a długość kłosa od wysokości rośliny. W innej pracy (Węgrzyn i in., 1996) badania objęły 154 rody i populacje żyta z kolekcji. Analiza ścieżkowa wykazała, że na wysokość plonu u żyta z poletka wysoki bezpośredni wpływ miało przezimowanie (co jest zaskoczeniem, biorąc pod uwagę na ogół wysoką mrozoodporność żyta), natomiast bezpośrednie wpływy pozostałych cech; wysokości, rdzy brunatnej, masy 1000 ziaren okazały się osłabiane przez pośrednie wpływy innych cech.

Celem niniejszej pracy jest poznanie zależności i współzależności plonotwórczych pomiędzy 7 cechami. Badania oparto o genotypowe współczynniki korelacji, które w dużym stopniu odzwierciedlają dziedziczne sprzężenia pomiędzy badanymi cechami. Mogą takie sprzężenia być korzystne, zatem pożądane przez hodowcę lub niekorzystne wówczas bardzo trudne do przełamania na drodze bezpośredniej selekcji. W takim przypadku polepszanie wybranej cechy może być wykonane poprzez selekcję pośrednią prowadzoną za pomocą innej cechy bezpośrednio niezwiązanej z tą pierwszą.

W tym celu jednak niezbędna jest znajomość kierunku oraz siły wzajemnych powiązań korelacyjnych oraz współzależności pomiędzy cechami. Wiedzę taką uzyskujemy przeprowadzając analizę ścieżkową pomiędzy badanymi cechami.

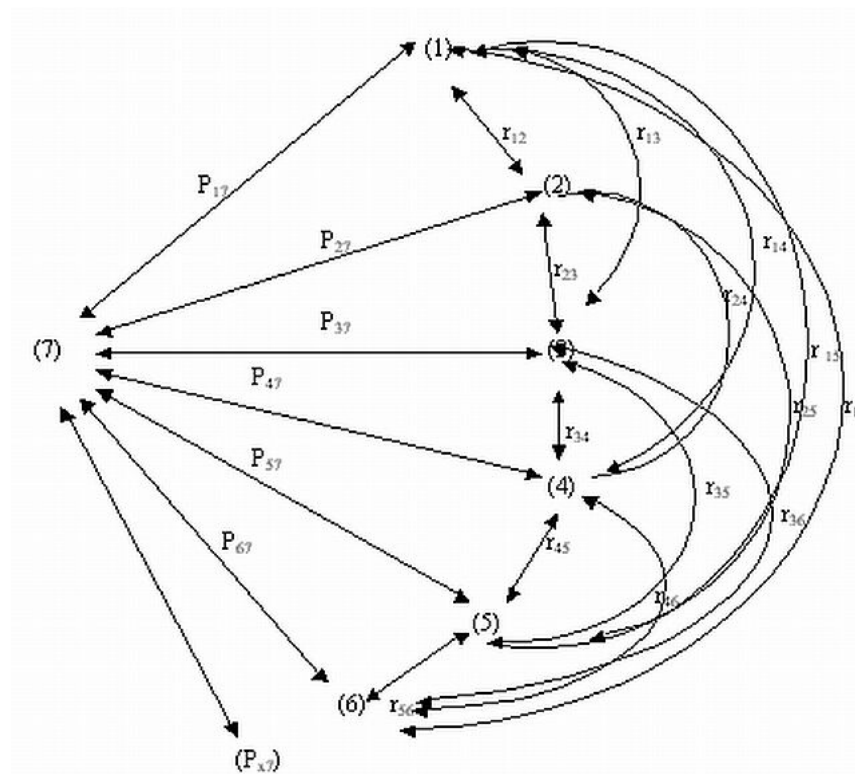
Do przeprowadzenia analizy ścieżkowej wybrano 6 cech tzw. plonotwórczych roślin i łanu, tj.; termin kłoszenia, wysokość roślin, odporność na rdzę brunatną i wyleganie, obfitość pylenia kwiatostanów i wyrównanie (jako cechy objaśniające) i plon ziarna z poletka (jako cechy objaśnianej). W doborze cech kierowano się 2 kryteriami. Pierwszym kryterium był dobór takich cech, których obserwacja i pomiar przez hodowców jest

wykonywany bezpośrednio na poletkach, szybko bez dużych nakładów. Drugim kryterium było znaczenie wybranych cech w kształtowaniu plonu ziarna znane z praktyki hodowlanej i doświadczalnej a także literatury. Każda z wybranych cech charakteryzuje odmienny element składowy plonu mający bezpośredni i pośredni wpływ na plonowanie ziarna. W przeprowadzonej analizie statystycznej ważnym celem było również porównanie różnic pomiędzy wpływami bezpośrednimi i pośrednimi w dwuletnich badaniach. Umożliwiło to sprawdzenie tezy, że na obserwowane zależności mógł mieć wpływ odmienny zestaw badanych obiektów oraz środowisko. Natomiast obliczenie współczynników determinacji wielokrotnej liniowej miało na celu określenie, w jakim stopniu łącznie rozpatrywane cechy plonotwórcze warunkują plon żyta w obrębie badanej grupy obiektów hodowlanych.

MATERIAŁ I METODY

Do badań wykorzystane zostały wyniki 2 serii doświadczeń hodowlanych (wstępnych), w których poddano ocenie 112 obiektów (populacji, odmian i mieszańców (56 obiektów w każdym roku), w których elementem łączącym były populacje wzorcowe Amilo i Motto oraz mieszańce Klawo F_1 i Esprit F_1 . Doświadczenia zakładano w 7 miejscowościach: Choryni, Dańkowie, Laskach, Sobiejuchach, Wierzenicy, Radzikowie i Smolicach na poletkach o pow. 10 m^2 w 4 powtórzeniach. W trakcie doświadczeń wykonano pomiary wysokości roślin, odnotowano datę kłoszenia, wykonano obserwacje odporności na wyleganie, choroby, oceniono obfitość pylenia. Zebrany plon z poletka w kg przeliczono na dt/ha i w tej postaci użyto do dalszych obliczeń. Po zbiorze wykonano oceny i analizy cech żyta między innymi: masę 1000 ziaren, ciężar hektolitra oraz analizę zawartości białka i określono liczbę opadania (łącznie 12 cech). Do analizy ścieżkowej wybrano 7 cech: plon żyta i 6 cech plonotwórczych (termin kłoszenia, wysokość roślin, odporność na rdzę brunatną i wyleganie, obfitość pylenia kwiatostanów i wyrównanie) (tab. 1). Pomiedzy tymi cechami obliczono współczynniki korelacji genotypowej i fenotypowej. Korelacje fenotypowe pomiędzy cechami obliczono dla każdej serii doświadczeń osobno na średnich ogólnych z 7 miejscowości, natomiast genotypowe korelacje obliczono po oszacowaniu komponentów genetycznych w analizie wariancji dla każdej cechy oddzielnie.

Tak oszacowane komponenty wykorzystano do obliczeń korelacji genotypowych w oparciu o ogólnie znane wzory opublikowane m.in. w pracach; (Ubysz Borucka i in., 1985; Kearsey i in., 1996). Współczynniki korelacji genotypowych stanowiły podstawę do przeprowadzenia analizy przyczynowo-skutkowej pomiędzy; plonem żyta jako cechą wynikową (zmienna objaśniana) a 6 wybranymi cechami wpływającymi na plon (zmiennymi wyjaśniającymi), tj. termin kłoszenia, wysokość roślin, odporność na wyleganie i rdzę, pylenie kwiatostanów i wyrównanie. Analizę ścieżkową wykonano wg metody opisanej przez Deweya i Lu (1959) (rys. 1). Obliczenia wykonano programem komputerowym FEGEKOR 3 (TP) opracowanym w IHAR Kraków przez prof. St. Węgrzyną.



Współczynniki ścieżek obliczono z następującego układu równań (Dewey i Lu, 1959)

The path coefficient were obtained by using the following equations

$$r_{17} = P_{17} + r_{12}P_{27} + r_{13}P_{37} + r_{14}P_{47} + r_{15}P_{57} + r_{16}P_{67}$$

$$r_{27} = P_{27} + r_{12}P_{17} + r_{23}P_{37} + r_{24}P_{47} + r_{25}P_{57} + r_{26}P_{67}$$

$$r_{37} = P_{37} + r_{13}P_{17} + r_{23}P_{27} + r_{34}P_{47} + r_{35}P_{57} + r_{36}P_{67}$$

$$r_{47} = P_{47} + r_{14}P_{17} + r_{24}P_{27} + r_{34}P_{37} + r_{45}P_{57} + r_{46}P_{67}$$

$$r_{57} = P_{57} + r_{15}P_{17} + r_{25}P_{27} + r_{35}P_{37} + r_{45}P_{47} + r_{56}P_{67}$$

$$r_{67} = P_{67} + r_{16}P_{17} + r_{26}P_{27} + r_{36}P_{37} + r_{46}P_{47} + r_{56}P_{57}$$

$$1 = P_{x7} - P_{17}^2 + P_{27}^2 + P_{37}^2 + P_{47}^2 + P_{57}^2 + P_{67}^2$$

$$+ 2P_{17}r_{12}P_{27} + 2P_{17}r_{13}P_{37} + 2P_{17}r_{14}P_{47} + 2P_{17}r_{15}P_{57} + 2P_{17}r_{16}P_{67} + 2P_{27}r_{23}P_{37} + 2P_{27}r_{24}P_{47} + 2P_{27}r_{25}P_{57} + 2P_{27}r_{26}P_{67} + 2P_{37}r_{34}P_{47}$$

$$+ 2P_{37}r_{35}P_{57} + 2P_{37}r_{36}P_{67}$$

$$+ 2P_{47}r_{45}P_{57} + 2P_{47}r_{46}P_{67} + 2P_{57}r_{56}P_{67}$$

P_{x7} — efekt resztowy

P_{x7} — residual factor

Rys. 1. Diagram zależności i współzależności pomiędzy plonem a 6 cechami plonotwórczymi żyta ozimego (7)

Fig. 1. Path diagram for the 6 independent characters and grain yield, the dependent character (7)

WYNIKI I DYSKUSJA

W tabeli 1 przedstawiono wartości cech, zakresy wartości, współczynniki zmienności oraz współczynniki korelacji fenotypowych i genotypowych. Porównanie uzyskanych wyników wskazuje, że większości badanych cech w obu latach była zbliżona zarówno pod

względem wartości średnich, jak i zakresów zmienności (tab. 1). Nieznaczne różnice stwierdzono w terminie kłoszenia oraz odporności na rdzę brunatną. Różnice te znalazły odbicie w większej zmienności terminu kłoszenia w 2000 roku i analogicznie w odporności na rdzę brunatną w 1999 roku (tab. 1).

Tabela 1

Średnie ogólne wartości badanych cech, zakresy średnich, współczynniki zmienności oraz korelacji fenotypowej i genotypowej pomiędzy plonem a 6 cechami plonotwórczymi w 1999 i 2000 roku
The total mean values for the investigated traits, range, coefficient of variability, coefficients of phenotypic and genotypic correlation between yield and the traits creating yield in 1999 and 2000

Cechy Traits	1999					2000				
	$\bar{X}$ mean	zakres range	współczyn- nik zmienności cv(%)	współczynniki korelacji correlation coefficient		$\bar{X}$ mean	zakres range	współczyn- nik zmienności CV (%)	współczynniki korelacji correlation coefficient	
				fenoty- powa phenotypic	genoty- powa genotypic				fenoty- powa phenotypic	genoty- powa genotypic
Kłoszenie Heading (liczba dni od 1.V-kl.)	12,4	11–14	15,2	-0,51 ^{xx}	-0,55 ^x	5,9	4,2-7,4	30,9	-0,08	-0,08
Pylenie Pollination (scale 1–9)	6,9	4,5–9,0	41,2	-0,37 ^{xx}	-0,43 ^{xx}	7,1	5,2-9,0	41,4	-0,60 ^{xx}	-0,71 ^{xx}
Wysokość Plant height (cm)	155	140-165	9,3	0,27 ^x	0,28 ^x	135,5	122-142	8,2	-0,11	-0,15
Wyrównanie Uniformity (scale 1–9)	6,5	5,5-7,0	15,1	0,19	0,23	6,7	4,9-8,0	17,0	0,39 ^{xx}	0,47 ^{xx}
Wyleganie Lodging (scale 1–9)	7,0	4,8-7,7	29,8	-0,44 ^{xx}	-0,48 ^{xx}	7,1	4,6-8,2	22,1	0,11	0,12
Rdza brunatna Brown rust (skale 1–9)	5,7	4,7-7,1	17,8	-0,31 ^x	-0,41 ^{xx}	5,6	4,1-6,8	6,0	-0,17	-0,22
Plon ziarna Grain yield (dt/ha)	72,2	65-81	15,4	—	—	75,7	67-82	10,9	—	—

*,** — Istotne odpowiednio dla $P = 0,05$, $P = 0,01$

korelacje. U form żyta badanych w doświadczeniach wstępnych zespołowych jest to zjawisko logiczne. Wynika ono z przewagi w doświadczeniach odmian mieszańcowych, plenniejszych, ale charakteryzujących się słabszym od populacji pyleniem kwiatostanów. Zatem analiza ta potwierdziła, że polepszenie właściwości restorujących, czyli powiększenie obfitości pylenia form ojcowskich u mieszańców ma decydujące znaczenie w poprawieniu plenności.

Tabela 2

Efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu cech na plon u żyta w 1999 roku
The direct and indirect effects of the traits on yield of winter rye in 1999 years

Cechy Traits	Efekty bezpośrednie cech na plon Direct effects of the traits on grain yield	Efekty pośrednie Indirect effects the traits on yield per plot						Współczynniki korelacji genotypowej pomiędzy cechami plonotwórczymi a plonem Genotypic correlation between the traits and grain yield
		kłoszenie heading	pylenie pollination	wysokość roślin plant height	wyrównanie uniformity	wyleganie lodging	rdza brunatna brown rust	
Kłoszenie Heading	-0,365*	—	0,204	0,120	-0,044	-0,577	0,113	-0,55 ^{xx}
Pylenie Pollen	-1,701**	0,0438	—	-0,265	0,717	0,492	0,284	-0,43 ^{xx}
Wysokość Plant height	-0,389*	0,1095	-1,157	—	0,7611	0,919	0,033	0,28*
Wyrównanie Plant uniformity	-0,885**	-0,018	1,378	0,335	—	-0,417	-0,163	0,23
Wyleganie Lodging	-1,068**	-0,197	0,782	0,335	-0,345	—	0,014	-0,48 ^{xx}
Rdza brunatna Brown rust	0,465**	-0,876	-1,038	-0,027	0,309	-0,032	—	-0,41 ^x
Współczynnik determinacji wielokrotnej liniowej R ² = 90,8% Multiple determination coefficient R ² = 90.8%								

*, ** — Istotne odpowiednio dla P = 0,05, P = 0,01

*, ** — Significant at P = 0.05 and P = 0.01, respectively

Efekt resztowy (P_{x7}) = 0,0024

Residual factor (P_{x7}) = 0.0024

Uzyskane wyniki wskazują również, że nie ma dużej możliwości poprawy zdolności pylenia przez selekcję pośrednią innych cech. Polepszenie tej cechy musi się dokonać poprzez doskonalenie i wytworzenie materiału hodowlanego.

Dla innej zależności pomiędzy wyr

charakteryzują się mieszańce żyta ozimego. Analiza pozostałych korelacji genetycznych (np. w 1999 roku) wskazuje, że pomiędzy plonem a kłoszeniem zachodził silny związek, a wysoka wartość współczynnika korelacji $rG_{(1999)} = -0,55^{**}$ wynikała głównie z oddziaływania efektu bezpośredniego $P_{17(1999)} = -0,365$ (tab. 2). Inna niekorzystna zależność plonu od odporności na wyleganie $rG_{(1999)} = -0,48^{**}$ charakteryzowała się również wysokim efektem bezpośrednim wynoszącym $P_{57(1999)} = -1,068$. Odnotowane wyniki potwierdziły istnienie silnej korelacji pomiędzy plonem a odpornością na wyleganie. Przełamanie tej niekorzystnej zależności powinno być głównym zadaniem hodowli. Interesującym przypadkiem jest analiza przyczynowo-skutkowa korelacji pomiędzy plonem a odpornością na rdzę brunatną. Współczynnik korelacji genetycznej $rG_{(1999)} = -0,41^{**}$ (tab. 2) wskazuje na nielogiczną zależność, sugerującą, że wyższą plennością charakteryzują się formy żyta mniej odporne na rdzę brunatną. Przeprowadzona analiza ścieżkowa wyjaśnia tę zależność. Otóż obliczony efekt bezpośredni $P_{67(1999)} = 0,465$ wskazuje, że to rody odporniejsze na rdzę brunatną są plenniejsze, ale cecha ta jest maskowana przez efekty pośrednie pozostałych cech (tab. 2). Opisany przypadek wskazuje jak interesujące powinno być również prześledzenie skali efektów pośrednich pomiędzy plonem a innymi badanymi cechami (tab. 2, 3).

Tabela 3

Efekty bezpośredniego i pośredniego wpływu 6 cech plonotwórczych na plon u żyta w 2000 roku
The direct and indirect effects of the traits creating yield on yield of winter rye in 2000

Cechy Traits	Efekty bezpośrednie cech na plon Directs effects the traits on yield grain	Efekty pośrednie Indirect effects the traits on yield per plot						Współczynniki korelacji genotypowych pomiędzy cechami a plonem Genotypic correlation between the traits and grain yield
		kłoszenie heading	pylenie pollen	wysokość roślin plant height	wyrówna- nie uniformity	wyleganie lodging	rdza brunatna brown rust	
Kłoszenie Heading	0,153	—	-0,059	0,037	-0,213	0,0289	-0,027	-0,08
Pylenie Pollination	-0,988**	0,009	—	-0,087	0,304	0,036	0,015	-0,71 ^{xx}
Wysokość Plant height	-0,249	-0,023	-0,346	—	0,409	0,108	-0,488	-0,15
Wyrównanie Uniformity	-0,454**	0,072	0,662	0,224	—	-0,079	0,045	0,47 ^{xx}
Wyleganie Lodging	-0,263*	-0,017	0,138	0,102	-0,136	—	0,056	-0,12
Rdza brunatna Brown rust	0,122	-0,034	-0,119	0,099	-0,168	-0,121	—	-0,22
Współczynnik determinacji wielokrotnej liniowej $R^2 = 63,1\%$ Multiple determination coefficient								

Okazało się, że w dwuletnich badaniach pośrednie efekty maskując efekty bezpośrednie pomiędzy plonem a innymi cechami wpływały na odpowiadające tym zależnościom współczynniki korelacji. Zjawisko to obserwowano dla korelacji plonu z wysokością roślin, plonu z odpornością na rdzę brunatną i plonu z wyleganiem (tab. 2, 3). Porównanie uzyskanych wyników z obu lat badań u żyta wskazuje również, że kierunek i wartość korelacji genetycznych pomiędzy niektórymi cechami a plonem silnie zależała od materiału badawczego (odmiennego w każdym roku badań) a także wpływu środowiska. Wskazują na to wyniki wcześniejszych badań (Śmiałowski i in., 2000).

Zależności te są wynikiem właściwości botanicznych i morfologicznych cech charakterystycznych dla mieszańców, uwarunkowań genetycznych badanych cech, jak również modyfikującego efekty genetyczne wpływy środowiska (Śmiałowski i in., 2001). Uzyskane wyniki wskazują, że analiza ścieżkowa potwierdza swoją przydatność do oceny współzależności pomiędzy cechami żyta. Również stosunkowo wysokie wartości współczynników determinacji liniowej $R^2_{(1999)} = 90,7\%$ oraz $R^2_{(2000)} = 63,1\%$ sugerują, że zmienność plonu ziarna z poletka kształtowana przez składowe elementy plonotwórcze została w znacznym stopniu wyjaśniona (tab. 2 i 3). W innych pracach (Gołaszewski i in., 1993; Węgrzyn i in., 1996;) dotyczących żyta, a także owsa (Johnson i in., 1983) oraz pszenicy (Kadłubiec i in., 1989; Jedyński i in., 1993; Sidwell i in., 1976) i np. grochopeluski (Gołaszewski i in., 1996) również wskazano na dużą przydatność analizy przyczynowo-skutkowej do oceny wzajemnych powiązań pomiędzy ważnymi cechami użytkowymi.

WNIOSKI

1. Przeprowadzona analiza przyczynowo-skutkowa plonu i cech plonotwórczych wykazała, że wysoce istotna ujemna korelacja genetyczna pomiędzy plonem a pyleniem u żyta ozimego była wzmocniona przez wysoce istotne bezpośrednie efekty współdziałania obu cech. Tak silne potwierdzenie zależności plonu od pylenia wskazuje, że rozwój hodowli heterozyjnej żyta zależeć będzie między innymi od poprawienia właściwości restorujących nowych mieszańców.
2. Odnotowano również niewielkie wpływy pośrednie innych cech na efekty bezpośrednie plonu, tj. kłoszenia, wyrównania, wysokości roślin i odporności na rdzę brunatną. Oznacza to, że inne cechy również mogą odgrywać rolę w sposób pośredni w kształtowaniu wysokości plonu i zjawisko to należy uwzględniać w selekcji materiałów hodowlanych żyta ozimego.
3. Wysokie wartości współczynników determinacji wielokrotnej liniowej R^2 wskazują, że zmienność w plonowaniu żyta została w dużym stopniu wyjaśniona przez badane cechy plonotwórcze.
4. Analiza ścieżkowa okazała się przydatna do poznania zależności i współzależności cech użytkowych i plonu ziarna z jednostki powierzchni u form hodowlanych żyta ozimego.

LITERATURA

- Binek A. 1983. Korelacja i analiza współczynników ścieżek pomiędzy cechami warunkującymi strukturę plonu nasion esparcety siewnej. PNR Zesz. Probl. 290: 112 — 124.
- Dewey D.R., Lu K. H. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. Agron. J.: 515 — 517.
- Grochowski L. 1993. Zmienność i współzależność kilku cech ilościowych w kolekcji roboczej żyta. Zesz. Nauk. AR we Wrocławiu nr 223: 101 — 113.
- Gołaszewski J., Koczowska I., Korona A., Idźkowska M. 1993. Metoda współczynników ścieżek w ocenie współzależności wybranych cech żyta ozimego i pszenżyta jarego. Zesz. Nauk. AR Wrocław. Nr 223: 157 — 163.
- Gołaszewski J., Puzio-Idźkowska M. 1996. Analiza ścieżkowa w ocenie współzależności niektórych komponentów plonu nasion grochopeluszki. Biul. IHAR 200: 314 — 317.
- Johnson S. K., Helsel. D. B. Frey. K. J. 1983. Direct and indirect selection for grain yield in oat (*Avena sativa* L.). Euphytica 32 vol. 3: 407 — 413.
- Jedyński S. 2001. Odziedziczalność i analiza ścieżkowa komponentów plonu pszenicy jarej. Biul. IHAR 218/219: 203 — 210.
- Kadłubiec W., Jedyński S., Lonc W., Strugała J. 1989. Analiza ścieżek Wrighta komponentów plonu linii i mieszańców F₁ pszenicy ozimej. Zesz. Probl. PNR. 382: 127 — 132.
- Kearsey M., J. Pooni H. S. 1996. The genetically analysis of quantitative traits. Chapman Hall.
- Sidwell. R. J., Smith E. L., McNew R. W. 1976. Inheritance and Interrelationships of grain yield and selected yield-related traits in a hard red winter wheat cross. Crop Sci. 16: 50 — 654.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2000. Zmienność i zależność oraz genetyczne uwarunkowania wybranych cech u odmian i rodów żyta ozimego. Biul. IHAR 216 (1): 61 — 68.
- Śmiałowski T., Węgrzyn S. 2001. Zmienność i współzależność niektórych cech struktury plonu żyta ozimego. Biul. IHAR 216 (1): 401 — 408.
- Węgrzyn S. 1983. Znaczenie korelacji w hodowli roślin. Zesz. Probl. PNR 290: 15 — 21.
- Węgrzyn S., Śmiałowski T., Grochowski L. 1996. Zmienność i współzależność cech oraz ocena zjawisk genetycznych w kolekcji roboczej żyta ozimego 1977–1992. Biul. IHAR 200: 69 — 84.
- Ubysz Borucka L., Mądry W., Małuszyński S. 1985. Podstawy statystyczne genetyki cech ilościowych w hodowli roślin. Wydawnictwo SGGW-AR, Warszawa.