

TADEUSZ DRZAZGA**PAWEŁ KRAJEWSKI¹**

Hodowla Roślin Rolniczych — Nasiona Kobierzyc

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

Analiza zależności plonu od wybranych cech użytkowych na podstawie doświadczeń hodowlanych z pszenicą ozimą

Dependence of yield on some agronomic traits in wheat breeding experiments

W pracy przedstawione są wyniki analizy współzależności pomiędzy plonem ziarna pszenicy ozimej a cechami użytkowymi takimi jak zimotrwałość, wczesność, wysokość roślin, masa 1000 ziaren oraz odporność na: wyleganie, mączniaka prawdziwego, rdzę brunatną, septoriozę plew i septoriozę liści. Do badań wykorzystano wyniki oceny rodów pszenicy ozimej w seriach doświadczeń wstępnych przeprowadzonych w latach 1991–2004. Najsilniejszą korelację z plonem, rosnącą w badanych latach i duży wpływ bezpośredni stwierdzono dla zimotrwałości. Istotny wpływ przezimowania na plonowanie badanych rodów w danym środowisku był połączony z wysokim udziałem środowiska w interakcji genotypowo-środowiskowej. Istotny wpływ na plonowanie miały też odporność na wyleganie i na septoriozę liści. Pozostałe choroby liści, tj. mączniak prawdziwy i rdza brunatna, nie miały bezpośredniego wpływu na plonowanie rodów pszenicy ozimej. Ujemne korelacje z plonem stwierdzono jedynie dla liczby dni do kłoszenia. Przedstawione wyniki mogą służyć jako wskazówki dotyczące wyboru właściwych metod selekcji ukierunkowanej na uzyskanie genotypów o coraz lepszej wartości gospodarczej.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, plon, pszenica ozima, współzależności cech

The paper describes results of analysis of correlations between grain yield of winter wheat and the following traits: winterhardiness, earliness, plant height, lodging, 1000 grain weight and resistance to main pathogens, obtained from the series of pre-registration trials conducted in the years 1991–2004. The most significant correlation with yield, which has increased over the years, was discovered for winterhardiness. It was noted that significant correlation of yield and winterhardiness is often linked with high contribution of the locality to the total genotype by environment interaction. The effect of lodging and resistance to leaf septoria on yield was also substantial, while that of the other pathogens was insignificant. Negative correlations with yield were observed only for the number of days to heading. The conclusions given in the paper are relevant for choosing selection strategies directed to breeding genotypes with better agricultural value.

Key words: genotype by environment interaction, correlations of traits, winter wheat, yield

WSTĘP

Cechy determinujące plon ziarna pszenicy stanowią zasadniczy cel zainteresowania hodowców. Poznanie współzależności pomiędzy plonem a tymi cechami prowadzi do wyboru właściwych metod selekcji ukierunkowanej na uzyskanie genotypów o coraz lepszej wartości gospodarczej. Stosowane w tym celu metody to analiza korelacji prostej i regresji wielokrotnej, a także analiza współczynników ścieżek, która umożliwia dokonanie oceny bezpośredniego wpływu każdej z cech przyczynowych, jak również wpływu pośredniego przez pozostałe zmienne przyczynowe (Mądry i Pietrzykowski, 1995; Drzazga, 2000; Pochaba i Węgrzyn, 2000).

Celem pracy jest analiza zmian zależności między ważnymi cechami użytkowymi (zimotrwałość, data kłoszenia, wysokość roślin, odporność na wyleganie i choroby grzybowe) a plonem ziarna w okresie 1991–2004 oraz wzajemnych związków przyczynowo-skutkowych między tymi cechami. Tło analizy stanowią informacje o strukturze interakcji genotypowo-środowiskowej. Poczynione zestawienia pozwalają wyjaśnić niektóre przyczyny znacznie odbiegającego plonowania rodów w pewnych stacjach od średniego plonowania w serii doświadczeń w danym roku.

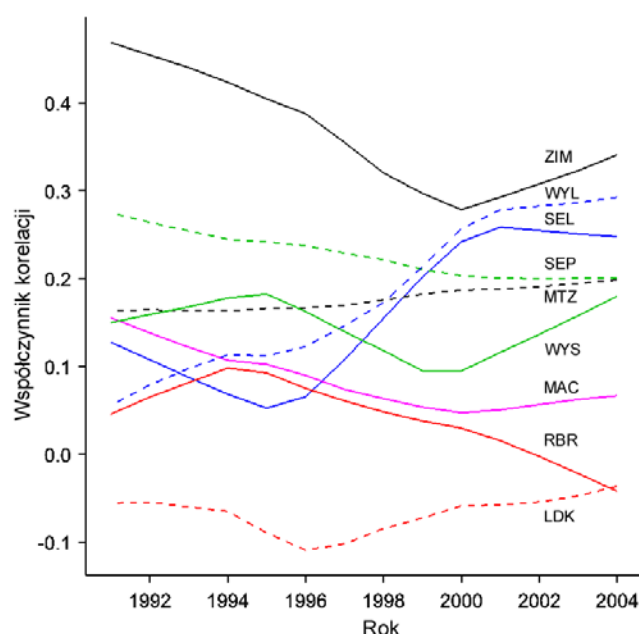
MATERIAŁ I METODY

W pracy wykorzystano wyniki oceny rodów pszenicy ozimej z serii doświadczeń wstępnych przeprowadzonych w latach 1991–2004. Liczba badanych rodów w latach była różna, od 47 do 86, natomiast liczba miejscowości w latach zmieniała się od 7 do 14. Dane z roku 2004 pochodzą z dwu serii doświadczeń oznaczanych jako S1 i S2. Do analiz wykorzystano ocenę rodów pod względem 10 cech: plonu ziarna (PLON), zimotrwałości (ZIM), wczesności mierzonej liczbą dni od 1 maja do daty kłoszenia (LDK), wysokości roślin (WYS), odporności na: wyleganie (WYL), mączniaka prawdziwego (MAC), rdzę brunatną (RBR), septoriozę plew (SEP), septoriozę liści (SEL) oraz masy 1000 ziaren (MTZ).

Do wyboru cech istotnych dla objaśnienia zmienności genotypowej plonu zastosowano regresję wielokrotną z selekcją krokową w przód. Współczynniki korelacji cech wyliczono na podstawie obserwacji w poszczególnych doświadczeniach i następnie uśredniono w ramach roku. Do zobrazowania trendu zmian korelacji w czasie zastosowano wygładzanie obserwowanych korelacji za pomocą metody nieparametrycznej opisanej przez Clevelanda (1979) zwanej lokalną ważoną regresją liniową. W metodzie tej ocena trendu w każdym roku wyznaczana jest na podstawie regresji współczynników korelacji względem lat liczonej na podstawie tylko lat sąsiednich, przy wagach malejących wraz z odległością w czasie. Obliczenia wykonano za pomocą programu Genstat 5 rel. 7 (Payne, 2000). Na podstawie obliczonych współczynników korelacji fenotypowej między plonem i wybranymi cechami, określono bezpośrednie i pośrednie wpływy cech na plon, stosując analizę ścieżek Wrighta (Dewey i Lu, 1959). Badanie struktury interakcji genotypowo-środowiskowej (GE) ze względu na środowiska dokonano metodą opisaną przez Calińskiego i wsp. (1998).

WYNIKI I DYSKUSJA

Analizując współczynniki korelacji między plonem a cechami użytkowymi rodów pszenicy ozimej w okresie od 1991 do 2004 (rys. 1), najsilniejszy związek otrzymano dla plonu z zimotrwałością. Istotny wpływ wymarzania na plonowanie pszenicy ozimej stwierdzono w latach: 1991, 1994, 1996, 1997 i 2003 (tab. 1). Biorąc pod uwagę strukturę interakcji GE w poszczególnych latach, występuje częste połączenie wysokiego udziału danej stacji w interakcji GE z istotnym wpływem przezimowania na plonowanie badanych rodów w warunkach tej stacji (tab. 1 i 2). W latach największego wymarzania, tj. 1997 i 2003, współczynniki determinacji plonu przez tę cechę były bardzo wysokie ($R^2 = 0,72$; $0,56$). W roku 2003 bardzo silne uszkodzenia mrozowe wystąpiły w stacji POB (Polanowice k. Krakowa). Udział tego środowiska w sumie kwadratów dla interakcji GE wyniósł ponad 50%. Świadczy to o wyjątkowo odbiegającym układzie plonów poszczególnych rodów od układu plonów średnich ze wszystkich punktów doświadczalnych. Duży bezpośredni wpływ zimotrwałości na plon świadczy o ważności gospodarczej tej cechy przy uprawie pszenicy ozimej w warunkach Polski.



Rys. 1. Przebieg zmian korelacji pomiędzy plonem rodów a innymi cechami obserwowanymi w doświadczeniach w kolejnych latach (współczynniki korelacji uśredniono w ramach lat; do zobrazowania trendu zmian zastosowano lokalną ważoną regresję liniową)

Fig. 1. Profiles of correlations between yield of breeding lines and other traits observed in the experiments in consecutive years (the correlation coefficients were averaged over localities within each year; the smooth trends were obtained using the locally weighted linear regression)

Tabela 1

Wyniki zastosowania wielokrotnej regresji liniowej do szukania cech objaśniających w sposób istotny zmienność plonu w poszczególnych stacjach w latach 1991–2004

Results of using multiple linear regression to explain variability of the yield in individual experiments, in the years 1991–2004

Stacja Locality	Rok — Year													
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
BOA Borów	2	5	8, 4	4, 2			2, 4	○	○	○	○	○	○	○
DAD Dańków		6	3	3	3, 5	2	2	5	8	○		○	○	○
DED Dębina			4, 6	4, 6	3, 8	3, 6, 9			10	6	7, 9			4
KOC Kobierzyce			8	3	5	4, 8	2				3, 8	3, 5, 9	2, 5	
KOH Kończewice	7, 9	3, 9	4	7	3	7	2, 8	5, 9	○	○	○	○	○	○
LAD Laski	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		2, 4	○
MIB Mikulice	4, 5	8	8	2	8	9	10	10	10	○	○	○	○	○
NAD Nagrodowice			5		5	3	2, 6	9			3	6, 7		
OLH Oleśnica M.	2, 10				5	4	2, 6	5	3, 6	○	○	○	○	○
OZH Ożańsk			8	2, 6	3	2	2		4, 5	○	○	○	○	○
POB Polanowice						4	2, 5	5	6	4, 5, 8		5	2, 6	4, 5, 6
SMH Smolice	6			8	5, 9	4		10	4, 5, 10	4			2	7
SOD Sobótka	3				5				5, 10	○	○	○	○	○
STH Strzelce	2, 6					4, 9	2, 3	2, 3	○		8	3	2	3
ULC Ulhówek	9		9	2, 4	○	2, 9	2	7	○	○	○	○	○	○
SZD Szelejewo	○	○	○	○	○	○	○		10		3, 5	4	2	5

W tabeli podano numery cech, które zostały uznane za istotne^a; pusta klatka oznacza, że nie wybrano żadnej cechy istotnej; „○”, oznacza, że w danej stacji i roku nie wykonano obserwacji wystarczających do wykonania analizy regresji

The cells contain numbers of traits which were declared as significant^a; empty cell means that none of the explanatory traits was chosen; “○” means that in the experiment there was no data for regression analysis.

^a Numeracja cech: 2 — zimotrwałość (ZIM), 3 — liczba dni do kłoszenia (LDK), 4 — wysokość roślin (WYS), 5 — wyłęganie (WYL), 6 — mączniak (MAC), 7 — masa 1000 ziaren (MTZ), 8 — rdza brunatna (RBR), 9 — septorioza plew (SEP), 10 — septorioza liści (SEL)

^a Numbering of traits: 2 — winterhardiness (ZIM), 3 — days to heading (LDK), 4 — plant height (WYS), 5 — lodging (WYL), 6 — powdery mildew (MAC), 7 — 1000 grain weight (MTZ), 8 — brown rust (RBR), 9 — chaffs septoria (SEP), 10 — leaf septoria (SEL)

Drugą cechą o największej liczbie istotnych współczynników regresji była odporność na wyłęganie. W doświadczeniach, w których dokonano bonitacji tej cechy, w 20% doświadczeń stwierdzono istotny wpływ sztywności źdźbła badanych rodów na ich plon. Uzyskanie wysokiego efektu bezpośredniego (tab. 3) oraz rosnącego trendu związku tej

cechy z plonem (rys. 1), wskazuje na coraz większą zależność plonu od odporności na wyleganie badanych rodów.

Tabela 2

Udział procentowy środowisk w całkowitej sumie kwadratów dla interakcji genotypowo-środowiskowej w seriach doświadczeń wstępnych z pszenicą ozimą w latach 1991–2004
Contribution of localities to the total sum of squares for genotype by environment interaction in pre-registration trials with winter wheat conducted in the years 1991–2004

Stacja Locality	Rok — Year														
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003.	2004, S1	2004, S2
BOA	13,2	1,9	9,6	2,6	3,1	3,5	3,3								
DAD	4,7	4	10,2	6	4,8	4,9	6,3	9,1	6,9		14,6				
DED	8,6	6,4	6,6	5,7	5,8	8,1	5,7	5,7	4,6	13,6	8,8	14,8	11,8	8,9	10,6
KOC	6,8	5,4	5,2	7	4,6	6,7	7,6	4,9	11,1	10,1	19,5	20,1	8,8	10	9,9
KOH	6,9	11,6	4,2	10,6	6,2	5,5	5,8	11							
LAD												8	3,7		
MIB	9	18,3	5,6	6,8	3,5	11,7	8,4	6,1	2,3						
NAD	3,1	6,2	21,7	7,1	17,1	5,8	3,8	9,9	9,9	23,5	13	13,7	9	11,3	12,2
OLH	11,1	9,2	4,4	4,5	6,8	7,1	3,9	6,8	8						
OZH	1,6	6	5,8	15,9	4,1	4	4,9	5,8	19,5						
POB	3,9	5,6	6,7	4,5	6,7	8,5	8,2	12,3	13,5	22,1	8,8	12,3	53,8	28,3	12,5
SMH	3,8	4,6	4,1	5,3	9,2	4,6	7,5	2,5	13,6	12,3	8,7	8,2	5,7	9,3	8,1
SOD	7,2	5,4	3,1	7,1	18,8	6,7	6,1	7,3	6,9						
STH	11,4	3,8	5,3	6	3,7	8,7	2,7	7,1		11,9	12	13	4	15,1	26,6
SZD								4,4	3,6	6,6	14,5	10	3,2	17,1	20
ULC	5,5	11,7	7,6	10,9	5,5	14,3	25,8	7,2							

Tabela 3

Bezpośrednie i pośrednie wpływy cech na plon ziarna rodów pszenicy ozimej
Direct and indirect effects of the traits on grain yield of winter wheat

Cecha Trait	Wpływ bezpośredni Direct effect	Wpływy pośrednie Indirect effects									Współczynnik korelacji cech z plonem Correlation coefficient with yield
		ZIM	LDK	WYS	WYL	MAC	MTZ	RBR	SEP	SEL	
ZIM	0,387		0,011	0,013	-0,022	-0,005	-0,005	0,000	0,009	-0,038	0,350**
LDK	-0,138	-0,031		0,010	0,020	0,000	-0,020	0,001	0,012	0,075	-0,070
WYS	0,095	0,054	-0,015		-0,067	-0,001	0,015	0,000	0,022	0,047	0,150
WYL	0,224	-0,039	-0,012	-0,029		0,003	0,006	0,000	0,007	0,019	0,180
MAC	0,070	-0,027	0,000	-0,002	0,009		0,003	0,001	0,012	0,024	0,090
MTZ	0,151	-0,012	0,018	0,010	0,009	0,001		0,000	0,007	-0,004	0,180
RBR	0,009	0,000	-0,017	0,002	0,002	0,007	-0,002		0,004	0,034	0,040
SEP	0,123	0,027	-0,014	0,017	0,013	0,007	0,009	0,000		0,047	0,230*
SEL	0,214	-0,070	-0,048	0,021	0,020	0,008	-0,003	0,001	0,027		0,170

*, ** Istotność przy P = 0,05 i P = 0,01; Significant at P = 0.05 and P = 0.01

Zmienność resztkowa = 0,118; Random factor = 0,118

Cechy: zimotrwałość (ZIM), liczba dni do kłoszenia (LDK), wysokość roślin (WYS), wyleganie (WYL), mączniak (MAC), masa 1000 ziaren (MTZ), rdza brunatna (RBR), septorioza plew (SEP), septorioza liści (SEL)

Traits: winterhardiness (ZIM), days to heading (LDK), plant height (WYS), lodging (WYL), powdery mildew (MAC), 1000 grain weight (MTZ), brown rust (RBR), chaffs septoria (SEP), leaf septoria (SEL)

Podobne wyniki uzyskano dla odporności na septoriozę liści, przy czym bezpośredni wpływ na plon był tutaj pomniejszony poprzez ujemne działanie pośrednie zimotrwałości i liczby dni do kłoszenia (wczesności) badanych rodów (tab. 3). Dodatnia korelacja odporności na septoriozę liści z współczynnikami korelacji w poszczególnych latach od 0,18 do 0,66 i wysokością roślin (0,12–0,40), świadczy o lepszej odporności na porażenie tym patogenem rodów późniejszych i wyższych. Wzrastające znaczenie septoriozy liści powinno być przesłanką do wzmożenia wysiłków hodowców w kierunku poprawy odporności selekcyjonowanych rodów na tą chorobę.

W przypadku pozostałych chorób liści, tj. mączniaka prawdziwego i rdzy brunatnej, widoczne są malejące trendy zależności z plonem (rys. 1). Porażenie tymi patogenami nie miało bezpośredniego wpływu na plonowanie badanych rodów pszenicy ozimej.

Dodatnie współczynniki korelacji z plonem, przy małej ich zmienności w latach, stwierdzono dla wysokości roślin, masy 1000 ziaren i odporności na septoriozę plew (rys. 1). Dla wysokości roślin wykonano największą liczbę obserwacji, lecz istotna zależność plonu ziarna od tej cechy dotyczyła niewielkiego procentu analizowanych doświadczeń (12%). Bezpośredni wpływ wysokości roślin na plon był dodatni, jednak pomniejszony poprzez pośredni ujemny wpływ odporności na wyleganie (tab. 3). Rosnący trend dodatniego związku wysokości z plonem widoczny jest w ostatnich latach. Ten trend może się utrzymać ze względu na coraz częstsze występowanie suszy w wielu rejonach kraju. Wysokość roślin jest dodatnio skorelowana z wielkością systemu korzeniowego, co decyduje o lepszej odporności i wyższym plonowaniu form wyższych w porównaniu do niższych w warunkach występowania niedoboru wilgoci.

Dodatni efekt bezpośredni odporności na septoriozę plew (tab. 3) świadczy o gospodarczej ważności tej cechy. W analizowanym okresie nastąpiło osłabienie dodatniej zależności tej odporności z zimotrwałością (spadek korelacji z 0,10–0,27 w latach 1991–1996 do ok. 0,02 w latach 1998–2004) i wysokością roślin (spadek z 0,14–0,40 w latach 1991–1996 do 0,08–0,19 w latach 1998–2004). Może być to spowodowane wprowadzeniem do doświadczeń rodów niższych i o mniejszej zimotrwałości, posiadających kłosa o większej zbitości. Tego typu budowa kłosa sprzyja większej podatności badanych rodów na patogena powodującego tą chorobę — *Septoria nodorum*.

Ujemne korelacje z plonem stwierdzono jedynie dla liczby dni do kłoszenia. Bezpośredni ujemny wpływ wczesności na plon ziarna był niwelowany poprzez pośrednie działanie septoriozy liści. Tendencja wyższego plonowania form wcześniejszych jest wyraźna w warunkach Kobierzyc (KOC). Jest to bardzo istotny czynnik decydujący o specyfice tego środowiska i presji selekcyjnej w początkowych etapach hodowli. Znajduje to potwierdzenia w postaci bardzo wysokiego udziału tej stacji w interakcji GE (lata 2001, 2002). Jest to uwarunkowane występowaniem gleb na podłożu przepuszczalnym w tej stacji, co jest przyczyną częstych niedoborów wilgoci. W tych warunkach lepiej plonują formy wcześniejsze i to przyczynia się ich wysokiego udziału w badanych rodach z tego ośrodka hodowli. Odwrotna sytuacja wystąpiła w stacji Strzelce (STH), gdzie w niektórych latach formy późniejsze lepiej plonowały od wcześniejszych.

WNIOSKI

1. Na plonowanie badanych rodów pszenicy ozimej największy bezpośredni wpływ miała ich zimotrwałość.
2. Wysoki efekt bezpośredni oraz rosnący trend związku odporności na wyleganie i septoriozę liści z plonem, wskazuje na coraz większą zależność plonowania rodów pszenicy ozimej od tych cech.
3. Dodatnie współczynniki korelacji z plonem, przy małej ich zmienności w latach, stwierdzono dla wysokości roślin, masy 1000 ziaren i odporności na septoriozę plew.
4. Ujemne korelacje z plonem stwierdzono jedynie dla liczby dni do kłoszenia. Bezpośredni ujemny wpływ liczby dni do kłoszenia na plon ziarna był niwelowany poprzez pośrednie dodatnie działanie odporności na septoriozę liści.

LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Kaczmarek Z., Krajewski P., Siatkowski I. 1998. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 3. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań.
- Cleveland W. S. 1979. Robust locally weighted regression and smoothing scatter plots. J. Amer. Statist. Assoc. 74: 829 — 836.
- Dewey R. D., Lu H. K. 1959. A correlation and path-coefficient analysis of components of crested wheatgrass seed production. Agron. J. 51: 515 — 517.
- Drzazga T. 2000. Zastosowanie analizy współczynników ścieżek dla oceny wpływu komponentów plonu na plon ziarna pszenicy jarej. Biul. IHAR 216: 319 — 22.
- Mądry W., Pietrzykowski R. 1995. Analiza współczynników dla cech rozwijających się w trakcie ontogenezy oraz plonu ziarna pszenżyta ozimego. Roczniki Nauk Rolniczych. Seria A. 3: 9 — 21.
- Payne R. W. (ed.). 2000. The guide to GenStat. Lawes Agricultural Trust.
- Pochaba L., Węgrzyn S. 2000. Zmienność i współzależność kilku cech pszenicy ozimej. Biul. IHAR 216: 261 — 266.