

TADEUSZ DRZAZGA¹**PAWEŁ KRAJEWSKI**²**EWA ŚMIAŁEK**³² Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu¹ Małopolska Hodowla Roślin HBP — Oddział Nasiona Kobierzyc³ COBORU — Stacja Oceny Odmian Zybiszów

Wykorzystanie różnych poziomów intensywności agrotechniki w hodowli pszenicy ozimej

Usefulness of different input level environments in selection of winter wheat

Przy wprowadzaniu różnych poziomów agrotechnicznych do metodyki doświadczeń hodowlanych należy wybrać strategię selekcji odnoszącą się do różnych systemów produkcyjnych. Wybór bezpośredniej lub pośredniej selekcji w ramach dwóch systemów uprawy zależy od genetycznej korelacji cechy między systemami oraz od jej odziedziczalności. Do oceny efektywności selekcji wykorzystano wyniki plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO w latach 2005–2009, przeprowadzonych na dwóch poziomach agrotechnicznych: standardowym i intensywnym (z pełną ochroną i dodatkowym nawożeniem N). Oceniono osobno dla obu poziomów wariancje fenotypowe, współczynniki powtarzalności, współczynniki zmienności genotypowej i fenotypowej oraz stopień stresu. Wyznaczone współczynniki korelacji genetycznej pomiędzy plonem z poziomu standardowego i intensywnego były dość zróżnicowane (od 0,60 do 0,97). Ocena efektywności selekcji pośredniej dla środowisk uczestniczących w doświadczeniach PDO wskazuje na różne możliwości prowadzenia skutecznej selekcji w ramach dwóch poziomów intensywności zabiegów agrotechnicznych.

Słowa kluczowe: selekcja pośrednia, komponenty wariancyjne, odziedziczalność w szerokim sensie, stopień stresu, hodowla odmian

Introduction of varying agronomic treatments into breeding experiments calls for the choice of a selection strategy which takes into account the production systems. Decisions concerning direct or indirect selection depend on the genetic correlation and on the heritability of the traits. To assess the selection efficiency, we used yield data from 2005–2009 PDO experiments performed at two agronomic levels: standard and intensive (with full protection and additional N fertilization). For both levels, we estimated phenotypic variances, repeatability coefficients, phenotypic and genotypic variation coefficients and stress degree coefficients. The computed genetic correlation coefficients were

relatively variable (from 0.60 to 0.97). The obtained results concerning selection efficiency indicated some possibilities of the effective selection at two levels of agronomic treatments.

Key words: indirect selection, variance components, broad-sense heritability, stress intensity, variety breeding

WSTĘP

Hodowcy roślin rozważają problem optymalnego środowiska, w którym prowadzi się selekcję na plon w kontekście maksymalizacji skuteczności i efektywności programu hodowlanego w dłuższym okresie czasu (Hill i in., 1998). Efekty selekcji w tym środowisku dla innego środowiska są duże wtedy, kiedy z każdy z czterech czynników: genetyczna wariancja, intensywność selekcji, odziedziczalność w środowisku selekcji i genetyczna korelacja między tymi środowiskami są wysokie (Falconer, 1989). Wymagania dotyczące efektywności selekcji dla danej cechy są określone w teorii selekcji (Atlin i in., 2001; van Eeuwijk i in., 2001).

Wpływ interakcji genotypowo-środowiskowej (GE) na uszeregowanie genotypów pod względem plonu powoduje, że wnioskowanie dotyczące efektywności środowiska selekcji opiera się na oszacowaniu odziedziczalności lub współczynnika korelacji genetycznej między środowiskami (Ceccareli i in., 1994; Banziger i in., 1997). Odziedziczalność dla plonu jest zwykle wyższa w warunkach intensywnego poziomu agrotechniki, dlatego pośrednia selekcja w środowiskach o wysokiej produktywności przyczynia się do szybkiego postępu w poprawianiu plonowania w środowiskach o niskiej produktywności. Podwyższenie odziedziczalności w warunkach wysokiego plonowania jest powiązane z wzrostem wariancji genotypowej względem wariancji błędu. Przy wyborze rodzaju selekcji pomocne są analizy komponentów wariancji, ocena korelacji genetycznej i współczynnika odziedziczalności (Annicchiarico i in., 2005).

Informacje o interakcji GE są istotne dla programów hodowlanych i mogą być wykorzystane dla opracowania strategii selekcji genotypów (Gauch i Zobel, 1997; Cooper i in., 1999; Padi, 2004). Strategia ta również obejmuje problem selekcji bezpośredniej lub pośredniej. Na przykład można selekcjonować genotypy w warunkach wysoko produktywnych dla nisko produktywnych lub prowadzić wybór odmian dla produkcji intensywnej w warunkach stosowania agrotechniki o niższym poziomie intensywności.

Przykładem wyboru metody selekcji jest strategia programu hodowlanego dla rolnictwa ekologicznego: czy stosować selekcję bezpośrednią czy pośrednią w ramach hodowli konwencjonalnej. Większość badań przedstawia wysoką korelację genetyczną dla plonu między tymi systemami uprawy i wysoką odziedziczalność tej cechy w obu systemach. Linie wysokoplonujące w warunkach systemu konwencjonalnego wykazały się również wysoką plennością w warunkach uprawy organicznej. Większa efektywność selekcji pośredniej może wynikać z wyższego współczynnika powtarzalności (odziedziczalności w szerokim sensie) i niższej wariancji błędu (Murphy i in., 2007; Lorenzana i Bernardo, 2008; Burger i in., 2008; Przystalski i in., 2008).

Z podobnymi aspektami mamy do czynienia w ramach hodowli odmian tolerancyjnych np. na suszę. Hodowcy często selekcjonują dla warunków stresowych w warunkach nie

stresowych, kierując się korzystnymi związkami między tymi środowiskami. Wystąpienie stosunkowo niskiej korelacji genetycznej między środowiskiem selekcji bezstresowym a stresowym wskazuje, że otrzymane różnice w tolerancji na suszę nie są ściśle związane z różnicami potencjału plonowania. Genotypy z wysokim potencjałem w warunkach bezstresowych nie wykazują tych możliwości w warunkach stresowych i odwrotnie (Verulkar i in., 2010). Selekcja dla plonu w warunkach sprzyjających plonowaniu prowadzi do strat pod kątem specyficznej adaptacji do środowisk stresowych, podczas gdy selekcja dla wysokiego plonu w warunkach stresowych niekoniecznie prowadzi do strat w potencjale plonowania (Ceccarelli i in., 1998). Selekcja w stresowych środowiskach jest korzystna dla cech adaptacyjnych, podczas gdy wybór w sprzyjających warunkach preferuje selekcję pod względem cech sprzężonych z potencjałem plonowania.

Bardzo ważną przesłanką do modyfikacji strategii hodowli powinny być wyniki analizy postępu genetycznego dla plonu przedstawione w pracy Brancourt-Hulmel i in. (2005). Postęp genetyczny oceniony na podstawie doświadczeń z zastosowaniem wysokiego nawożenia N w połączeniu z fungicydami był wyższy w porównaniu do oceny w oparciu o eksperymenty z nawożeniem wysokim lub niskim lecz bez stosowania fungicydów. W tej sytuacji istnieje konieczność prowadzenia selekcji w warunkach środowisk wysoko i nisko produktywnych włączając podwyższone nawożenie N i zastosowanie ochrony (fungicydy i retardant). Znaczenie interakcji genotyp \times agrotechnika w modulowaniu środowiska selekcji zostało uwzględnione w badaniach nad ryżem (Fukai i in., 1999), owsem (Atlin i Frey, 1989) i jęczmieniem (Ceccarelli, 1994, 1996).

W krajowej hodowli zbóż jeszcze do początkowych lat tego wieku podstawą wnioskowania przy selekcji genotypów były wyniki doświadczeń zakładanych przy zastosowaniu tzw. standardowej agrotechnice stosowanej w miejscowym gospodarstwie bez wykorzystania fungicydów i retardantów. W związku ze stopniowym wprowadzaniem do metodyki doświadczeń z dwoma poziomami intensywności, istnieje potrzeba przeanalizowania wpływu wprowadzenia tego dodatkowego czynnika na decyzje dotyczące wyboru środowiska selekcji. Ze względu na brak danych pochodzących z doświadczeń hodowlanych prowadzonych przy wykorzystaniu różnych poziomów agrotechniki, do wnioskowania wykorzystano wyniki plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO przeprowadzonych na dwóch poziomach agrotechniki: standardowym — A1 i intensywnym — A2. Celem pracy było przedstawienie wyników dotyczących parametrów o istotnym znaczeniu dla wyboru środowiska selekcji, a więc wariacji fenotypowej i genotypowej oraz współczynników korelacji genotypowej.

MATERIAŁ I METODY

Do analiz wykorzystano wyniki plonowania odmian pszenicy ozimej z serii doświadczeń PDO (seria L) przeprowadzonych w latach 2005–2009. Liczba badanych odmian w kolejnych latach wynosiła od 36 do 41, natomiast liczba analizowanych doświadczeń wynosiła 18. Doświadczenia zakładano w układzie split-blok o blokach niekompletnych. Stosowano dwa poziomy agrotechniczne:

- poziom A1 — standardowy — agrotechnika uprawy i nawożenia podobna do przyjętej w produkcji w warunkach danej stacji-punktu doświadczalnego,
- poziom A2 — intensywny — nawożenie azotowe zwiększone o 40 kg/ha w porównaniu do poziomu A1, ochrona przed chorobami i wyleganiem.

Dane z każdego doświadczenia poddano analizie wariancji w modelu mieszanym zawierającym stały efekt agrotechniki oraz losowe efekty obiektów, interakcji obiektów \times agrotechnika oraz bloków. W strukturze kowariancji modelu uwzględniono dwa komponenty wariancyjne określające wariancje genetyczne dla dwu poziomów agrotechniki oraz parametr określający kowariancję genetyczną pomiędzy poziomem A1 i A2; oceny tych parametrów dokonane metodą REML posłużyły do oceny korelacji genotypowej pomiędzy dwoma poziomami agrotechniki. Ponieważ założono, że wariancje genetyczne dla obu poziomów agrotechniki mogą być różne, oceniono także osobno dla obu poziomów wariancje fenotypowe, współczynniki powtarzalności oraz współczynniki zmienności genotypowej i fenotypowej. Obliczenia wykonano programem Genstat 13 (VSN International Ltd).

Dla każdego ze środowisk (doświadczeń) obliczono stopień stresu według formuły

$$D = 1 - \frac{X}{X_p}$$

gdzie X oznacza średni plon z doświadczenia, zaś X_p najwyższy średni plon z doświadczenia w ramach serii.

Do przewidywania reakcji genotypu w środowisku docelowym w wyniku selekcji prowadzonej w środowisku wyboru wykorzystano wskaźnik CR_Y (plon w warunkach środowiska wyboru)/ DR_Y (plon w warunkach środowiska docelowego) (Falconer, 1989; Kumar i in., 2008). Wskaźnik ten świadczy o możliwości prowadzenia selekcji pośredniej w ramach tych środowisk. W pracy wskaźnik wykorzystano do oceny skuteczności selekcji pośredniej w ramach dwóch systemów uprawowych (A1 i A2) korzystając z formuły:

$$\frac{CR_Y}{DR_Y} = r_G \sqrt{\left(\frac{H_C}{H_S}\right)}$$

gdzie r_G jest współczynnikiem korelacji genetycznej, H_C jest współczynnikiem powtarzalności (odziedziczalności w szerokim sensie) dla plonu w warunkach środowiska wyboru, zaś H_S jest współczynnikiem powtarzalności (odziedziczalności w szerokim sensie) dla plonu w warunkach środowiska docelowego. Użyte wcześniej pojęcie środowiska docelowego należy rozumieć jako te środowisko, dla którego jest prowadzony wybór w środowisku selekcji. Pojęcie te może obejmować określony obszar geograficzny lub zastosowanie określonych poziomów agrotechniki.

OMÓWIENIE WYNIKÓW I DYSKUSJA

Porównanie strategii hodowli, np. takich jak selekcja bezpośrednia w warunkach uprawy organicznej czy selekcja pośrednia dla tego systemu przy zastosowaniu uprawy konwencjonalnej, wymaga nie tylko oszacowania korelacji genetycznej danej cechy pomiędzy systemami, ale również jej odziedziczalności w tych dwóch systemach (Annicchiarico i in., 2010). Dla przykładu, selekcja dla systemu organicznego może być

bardziej skuteczna w warunkach uprawy konwencjonalnej, jeżeli współczynnik korelacji genetycznej r_G jest duży, a współczynnik odziedziczalności H dla pierwszego systemu jest większy niż dla drugiego systemu. Poczynienie określonych stwierdzeń dotyczących strategii selekcji wymaga ponadto przedstawienia rzeczywistego lub przewidywanego postępu genetycznego tej cechy w każdym systemie uprawy.

Podstawy teoretyczne selekcji na podstawie przypuszczalnej oceny w środowisku docelowym (innym systemie uprawy, na innym poziomie agrotechniki lub w innej metodzie hodowli) w wyniku selekcji przeprowadzonej w środowisku wyboru zostały przedstawione w pracach Falconera (1989) i Falconera i Mackay (1996). Według tych autorów, kiedy interakcja genotyp \times poziom uprawy przeważa, sukces pośredniego wyboru w warunkach wysokiego nawożenia dla środowiska o niższym nawożeniu jest funkcją korelacji genetycznej. Gdy współczynniki odziedziczalności są podobne, maksymalna wartość CR_Y/DR_Y jest równa 1 przy współczynniku korelacji równym 1. Ponadto, aby wybór był bardziej efektywny w środowisku selekcji, współczynnik H dla tego środowiska powinien być wyższy niż dla środowiska docelowego. Wykorzystanie współczynnika powtarzalności (odziedziczalności w szerokim sensie) nie zawsze jest skuteczne do określenia optymalnej strategii selekcji, w szczególności przy niższych wartościach r_G (Cecarelli i in., 1994).

W badaniach własnych, otrzymane wartości współczynnika korelacji genetycznej pomiędzy plonem z obu poziomów agrotechnicznych dla stacji uczestniczących w doświadczeniach porejestrowych były zróżnicowane (tab. 1). Najniższe uśrednione wartości współczynnika korelacji za lata 2005-09 otrzymano dla stacji: Nowa Wieś Ujska ($r_G = 0,60$) i Krościna Mała ($r_G = 0,69$), a najwyższe dla stacji: Marianowo ($r_G = 0,94$), Zybiszów ($r_G = 0,95$) i Tarnów ($r_G = 0,97$). Dla większości środowisk obserwowano bardzo dużą zmienność tego współczynnika w latach. Dla przykładu, w warunkach miejscowości Krościna Mała minimalna wartość tego współczynnika była bardzo niska ($r_G = 0,40$), natomiast maksymalna wartość tego związku była na poziomie 1. Relatywnie niska korelacja genetyczna pomiędzy plonem z poziomu A1 i A2 wskazuje, że otrzymane różnice w plonowaniu badanych odmian nie są ściśle związane z potencjałem plonowania, co świadczy o znacznym wpływie innych niż genetycznych, głównie środowiskowych czynników na wysokość plonowania odmian (Ukalski i in., 2008). Przykładowo, współczynnik $r_G = 0,95$ między plonem z poziomów A1 i A2 dla stacji Zybiszów wskazuje, że duża część wariancji genetycznej była wyjaśniana przez wspólne czynniki z obu poziomów.

Tabela 1

**Współczynniki korelacji genetycznej pomiędzy poziomem A1 i A2 w miejscowościach testowych
uzyskane w latach 2005–2009**

**Genetic correlation coefficients between A1 and A2 in test stations, obtained during the years
2005–2009**

Doświadczenie Trial (test station)	Współczynnik korelacji genetycznej Genetic correlation coefficients		
	średni w latach 2005–2009 average in years 2005–2009	min.	max.
Nowa Wieś Ujska	0,60	0,44	0,72
Krościna Mała	0,69	0,40	1,00
Masłowice	0,76	0,62	0,90
Głębzyce	0,79	0,59	1,00
Zadąbrowie	0,80	0,73	0,87
Seroczyn	0,82	0,73	0,95
Czesławice	0,83	0,62	0,94
Radostowo	0,83	0,74	0,88
Cicibór	0,84	0,45	0,98
Wyczechy	0,87	0,77	0,95
Słupia	0,88	0,67	0,99
Głębokie	0,89	0,73	1,00
Pawłowice	0,91	0,77	1,00
Wegrzce	0,93	0,82	1,00
Rychliki	0,93	0,83	1,00
Marianowo	0,94	0,78	1,00
Zybiszów	0,95	0,83	1,00
Tarnów	0,97	0,90	1,00

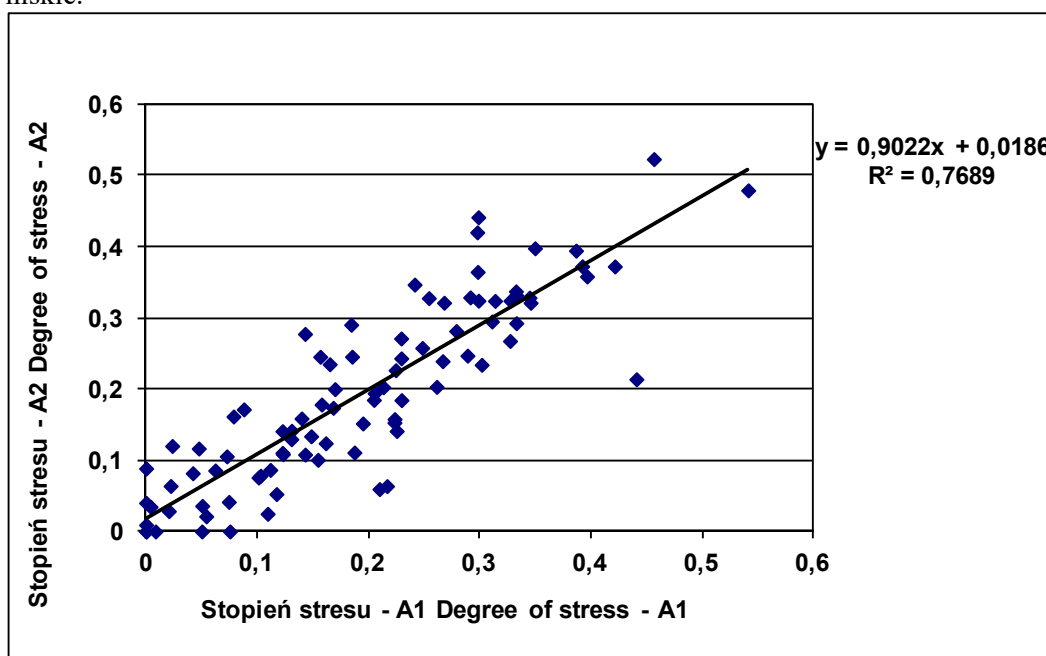
Skuteczność pośredniej selekcji została porównywana ze skutecznością selekcji bezpośredniej w ramach zastosowanych poziomów A 1 i A 2 dla każdego środowiska (tab. 2).

Tabela 2

**Efektywność selekcji pośredniej na podstawie poziomu A1 dla A2 oraz na podstawie poziomu A2 dla A1
Efficiency of indirect selection under A1 for A2, and under A2 for A1**

Stacja Station	CR_{A2}/DR_{A1} A1→A2	CR_{A1}/DR_{A2} A2→A1
Nowa Wieś Ujska	0,60	0,60
Krościna Mała	0,69	0,70
Masłowice	0,76	0,76
Głębzyce	0,79	0,80
Zadąbrowie	0,79	0,80
Seroczyn	0,83	0,82
Radostowo	0,83	0,83
Czesławice	0,83	0,82
Cicibór	0,83	0,84
Wyczechy	0,87	0,87
Słupia	0,87	0,89
Głębokie	0,88	0,89
Wegrzce	0,89	0,97
Rychliki	0,90	0,97
Pawłowice	0,92	0,90
Tarnów	0,96	0,98
Zybiszów	0,96	0,95
Marianowo	0,97	0,91

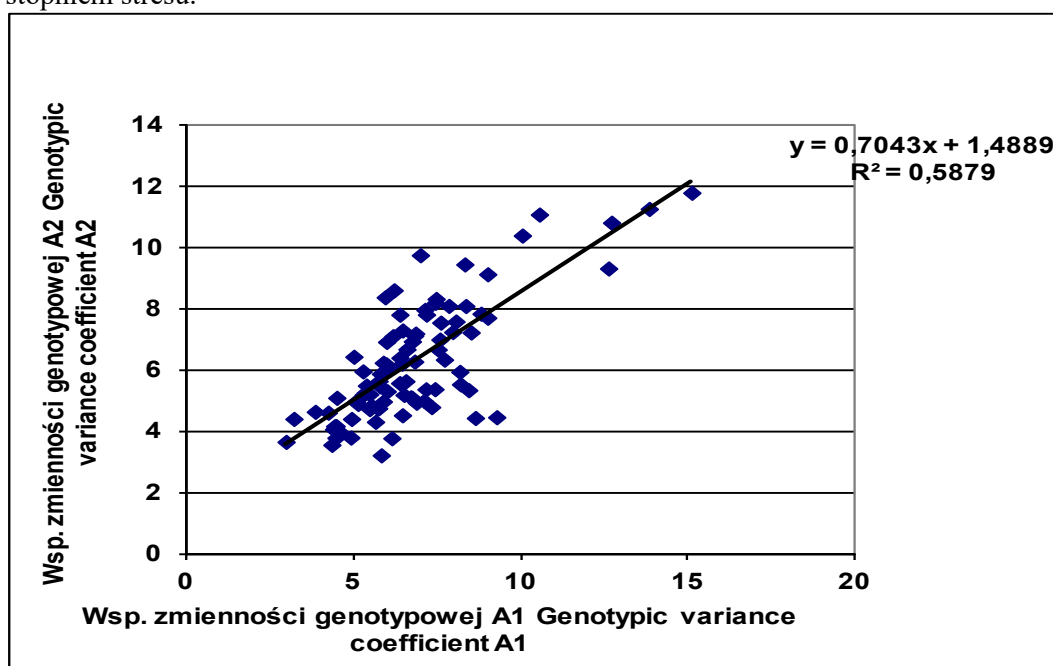
Wysokie oceny efektywności selekcji dla tej miejscowości (CR_Y/DR_Y : $A1 \rightarrow A2 = 0,96$; $A2 \rightarrow A1 = 0,95$), upoważnia do stwierdzenia, że pośrednia selekcja na poziomie A2 jest prawie tak samo efektywna jak bezpośrednia na A1. Dla większości stacji oceny efektywności selekcji pośredniej w ramach tych poziomów są zbliżone. Nieco większe rozbieżności w ocenie tej efektywności otrzymano dla środowisk: Węgrzce i Rychliki. Z praktycznego punktu widzenia, niższa efektywność pośredniej selekcji oznacza również, że intensywność selekcji musi być mniejsza (Brancourt-Hulmel i in., 2005). W takim układzie, odsetek linii zachowanych musi być odpowiednio wysoki, aby je później sprawdzić powtórnie w innych środowiskach. Spośród analizowanych środowisk, uśrednioną niską efektywność pośredniej selekcji w latach 2005–2009 otrzymano dla stacji Nowa Wieś Ujska i Krościna Mała. Z uwagi na to, że współczynniki odziedziczalności oszacowane na obu poziomach agrotechniki były wysokie (od 0,85 do 0,95), niska efektywność selekcji pośredniej wynikała z obniżonej wartości współczynnika korelacji genetycznej pomiędzy plonem z poziomu A1 i A2. Dlatego bazowanie wyłącznie na oszacowaniu współczynników odziedziczalności nie zawsze jest skuteczne do określenia optymalnej strategii selekcji, w szczególności gdy współczynniki korelacji genetycznej są niskie.



Rys. 1. Zależność między stopniem stresu na poziomie A1 i A2, lata 2005–2009
 Fig. 1. Relationship between the degrees of stress under agronomic treatments A1 and A2, years 2005–2009

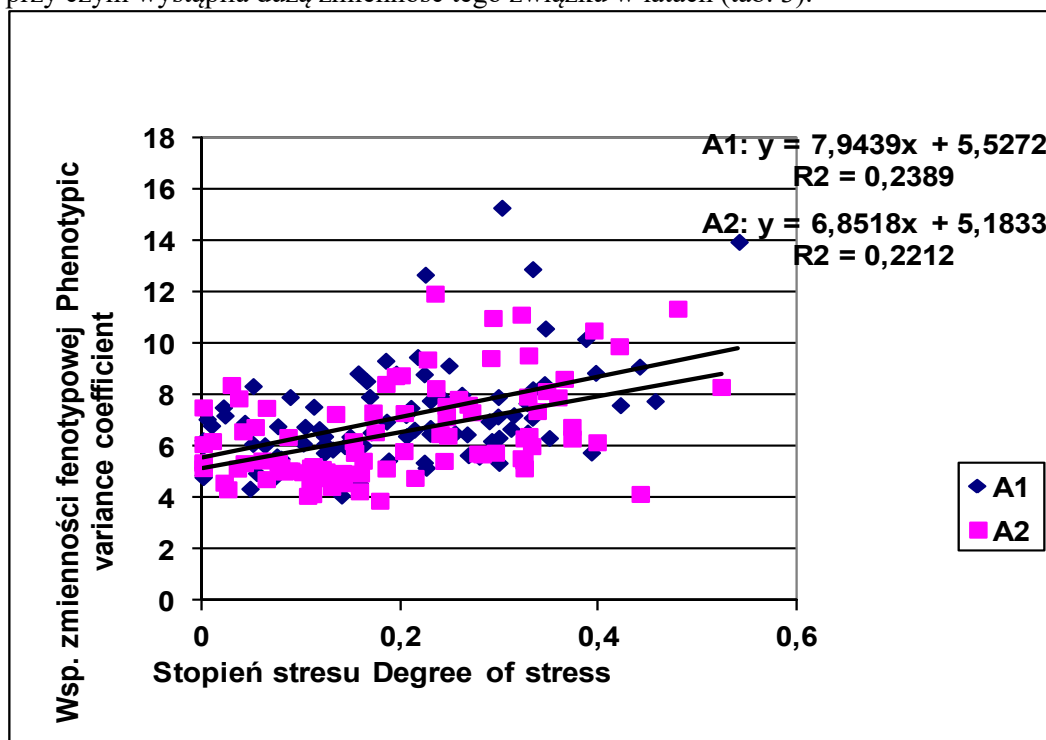
Genetyczna wariancja i odziedziczalność dla plonu ziarna zwykle obniża się przy przejściu z warunków wysokiego do niższego plonowania (Atlin i Frey, 1990; Banziger

i in., 1997). Niższa wariancja genetyczna w warunkach niskiego plonowania przyczynia się do tego, że postęp hodowlany jest potencjalnie niższy niż w warunkach wysokiego plonowania. W celu poznania trendów zmian wyżej wymienionych parametrów w zależności od wysokości plonowania w ramach zastosowanych poziomów agrotechniki, średnie plonu z analizowanych doświadczeń w ramach serii wykorzystano do obliczenia stopnia stresu, zdefiniowanego jako względna redukcja plonu w poszczególnych miejscowościach w porównaniu do środowiska o najwyższym plonie. Wartość tego współczynnika świadczy o intensywności występowania czynników stresowych biotycznych i abiotycznych w sezonie wegetacyjnym ograniczających plonowanie badanych odmian w danym środowisku. Oceniony w badaniach stopień stresu nie zależał od poziomu agrotechniki, o czym świadczy liniowy przebieg zależności pomiędzy wartościami tego parametru z poziomów A1 i A2 oszacowanymi dla każdego środowiska (rys. 1). Pomimo różnorodności warunków glebowo-klimatycznych, stwierdzono brak zależności współczynnika odziedziczalności H dla plonu od stopnia stresu. Nieistotny związek między tym parametrami dotyczył standardowego, jak i intensywnego poziomu uprawy. W analizowanych seriach PDO z pszenicą ozimą nie stwierdzono obniżenia wartości współczynnika H z warunków korzystnych do mniej sprzyjających plonowaniu. To się przyczyniło do braku istotnych zależności między wariancją genotypową i fenotypową a stopniem stresu.



Rys. 2. Zależność pomiędzy współczynnikiem zmienności genotypowej na poziomie A1 i A2, lata 2005–2009
 Fig. 2. Relationship between the genotypic variance coefficients under agronomic treatments A1 and A2, years 2005–2009

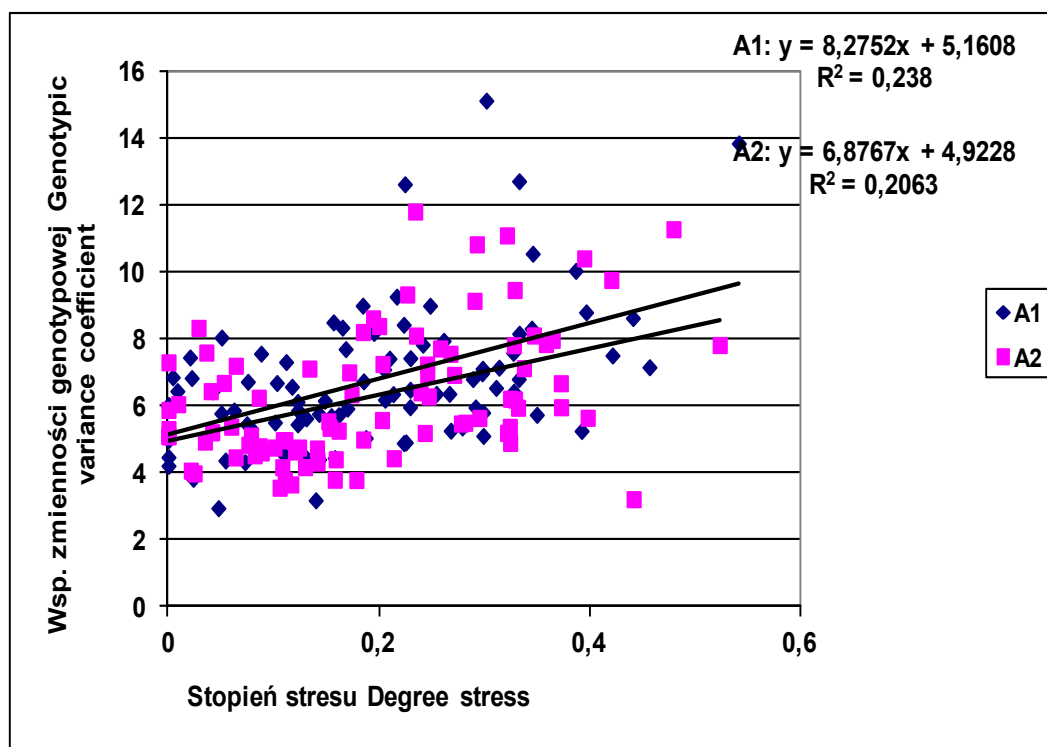
W przedstawionych analizach wystąpiła dość ścisła zależność liniowa między współczynnikami zmienności genotypowej dla plonu oszacowanymi w różnych warunkach (rys. 2). Świadczy to o tym, że oszacowane komponenty zmienności genotypowej nie zależały od wprowadzonego do metodyki doświadczeń dodatkowego czynnika, czyli poziomów agrotechniki. Na obu poziomach nie stwierdzono silnego związku pomiędzy współczynnikami zmienności fenotypowej i genotypowej a stopniem stresu (rys. 3 i 4), przy czym wystąpiła duża zmienność tego związku w latach (tab. 3).



Rys. 3. Zależność między stopniem stresu a współczynnikiem zmienności fenotypowej dla poziomu A1 i A2, lata 2005–2009

Fig. 3. Relationship between the degree of stress and the phenotypic variance coefficient under agronomic treatments A1 and A2, years 2005–2009

Dla porównania, w badaniach Sinebo i in. (2002) komponenty wariancji genetycznej i współczynniki odziedziczalności w szerokim sensie były wysoce istotne i ujemnie skorelowane z stopniem stresu. Wraz ze wzrostem stresu następowało podwyższenie współczynników zmienności genotypowej i fenotypowej, jak również obniżenie stosunku wariancji genotypowej do błędu, co obniżało precyzję oceny plonu badanych genotypów (Padi, 2002). Przy niskich poziomach stresu zmienność genotypowa zbliżała się do zmienności fenotypowej.



Rys. 4. Zależność między stopniem stresu a współczynnikiem zmienności genotypowej na poziomie A1 i A2 - lata 2005–2009

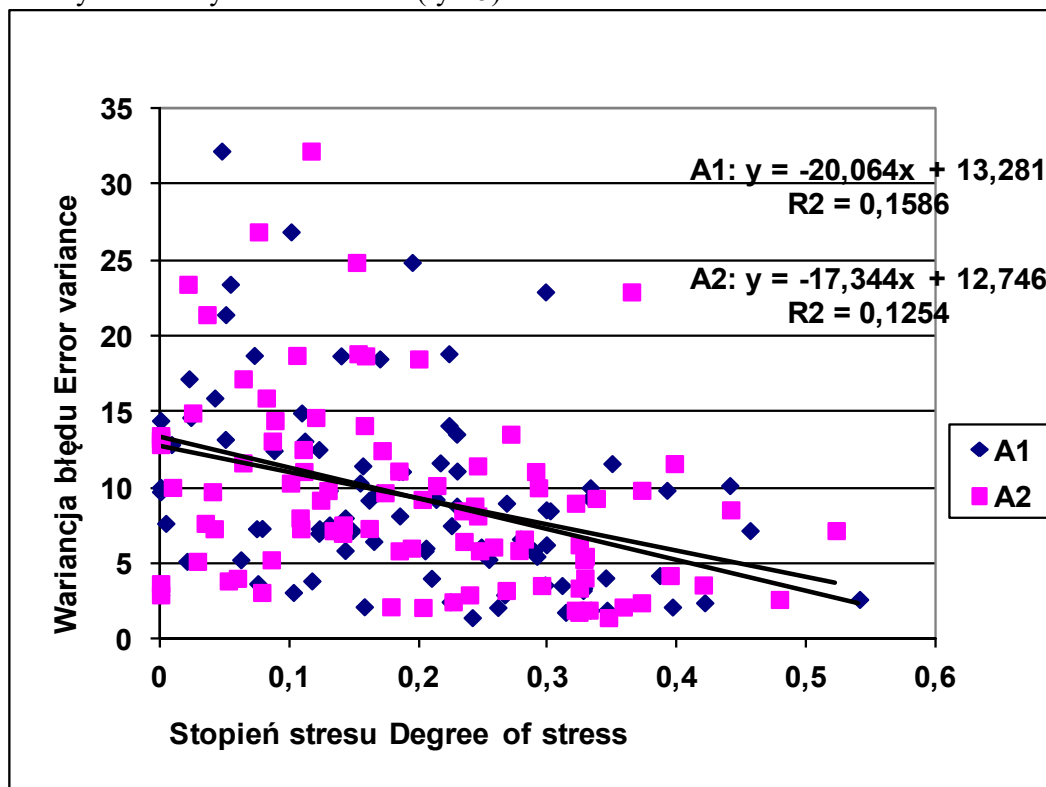
Fig. 4. Relationship between the degree of stress and the genotypic variance coefficient under agronomic treatments A1 and A2, years 2005–2009

Tabela 3

Zależność między stopniem stresu w miejscowościach a współczynnikiem zmienności genotypowej przy intensywności agrotechniki A1 i A2 w poszczególnych sezonach
Relationship between degree of stress and genotypic variance coefficient under A1 and A2 in consecutive seasons

Sezon Season		Regresja Regression	Współczynnik determinacji R ² Determination coefficient R ²	Wartość P P-value
2004/2005	A1	y= 4,53x + 5,21	0,14	ns
	A2	y=9,65x + 3,72	0,51	0,001
2005/2006	A1	y=5,94x + 5,95	0,12	ns
	A2	y=4,93x + 5,37	0,12	ns
2006/2007	A1	y=12,1x + 4,04	0,51	0,001
	A2	y=8,47x + 4,40	0,35	0,01
2007/2008	A1	y=9,07x + 5,38	0,28	0,03
	A2	y=8,28x + 4,99	0,24	0,05
2008/2009	A1	y =14,5x + 4,25	0,27	0,01
	A2	y=7,03x + 5,38	0,17	0,05

Obniżenie precyzji oceny badanych genotypów nie zawsze musi być połączone ze wzrostem stopnia stresu. Potwierdzeniem tego wniosku jest uzyskany w badaniach własnych brak związku pomiędzy wariancją błędu wspólną dla obu poziomów intensywności a tym wskaźnikiem (rys. 5).



Rys. 5. Zależność między stopniem stresu a wariancją błędu (wspólna dla A1 i A2), lata 2005–2009
 Fig. 5. Relationship between the degree of stress and the error variance (common for A1 and A2), years 2005–2009

Przy braku zależności komponentów wariancji od stopnia stresu, trudno ocenić problem optymalnego środowiska, w którym prowadzi się selekcję bez określenia wartości CR_Y/DR_Y . Dla przykładu wykonana ocena efektywności selekcji pośredniej dla środowisk uczestniczących w doświadczeniach PDO, wskazuje na bardzo duże zróżnicowanie możliwości prowadzenia skutecznej selekcji w ramach tych dwóch poziomów. W praktyce testowanie linii hodowlanych w początkowych etapach hodowli często odbywa się na poziomie A1 z pominięciem poziomu A2. Doświadczenia rejestrowe COBORU są prowadzone na obu poziomach agrotechniki. Jeżeli w skład serii doświadczeń hodowlanych wchodzi miejscowości o niskiej efektywności selekcji pośredniej na podstawie A1 dla A2, to możemy się spodziewać obniżonej skuteczności pracy hodowlanej ukierunkowanej na tworzenie odmian dostosowanych do warunków intensywnej

technologii uprawy. Prowadzenie wyboru w warunkach intensywnej agrotechniki preferuje selekcję pod względem cech sprzężonych z potencjałem plonowania. Hodowcy powinni prowadzić też selekcję genotypów przystosowanych do warunków o niższej agrotechnice co prowadzi do maksymalizacji postępu selekcyjnego. Ujęcie takiego podejścia w strategii selekcji oczywiście musi być sprzężone z możliwością rejestracji takich odmian oraz z korzystnymi efektami ekonomicznymi wynikającymi z ich reprodukcji dla hodowcy.

W tej sytuacji strategia programu hodowlanego powinna uwzględniać szeroki wybór systemów, poziomów intensywności uprawy i metod hodowli, ich zmienność, możliwość wprowadzenia pośredniej selekcji i jej spodziewany postęp selekcyjny. Takie podejście pozwala również na uzyskanie wiarygodnych prognoz koniecznych do wyjaśnienia genetycznej kontroli cech adaptacyjnych, ich udziału w tworzeniu plonu i stabilności plonowania, a w dalszym etapie ich wdrażanie do praktyki hodowlanej.

WNIOSKI

1. Otrzymane wysokie dodatnie wartości współczynników korelacji genetycznej pomiędzy plonem z różnych poziomów intensywności agrotechniki i odziedziczalności tej cechy pozwalają wnioskować o możliwości prowadzenia efektywnej selekcji pośredniej w warunkach poziomu A1 dla A2, i odwrotnie przy A2 dla A1 w niektórych miejscowościach uczestniczących w serii PDO z pszenicą ozimą.
2. Stwierdzono wysokie podobieństwo oszacowanych współczynników zmienności genetycznej i stopnia stresu w ramach analizowanych poziomów agrotechniki A1 i A2, lecz ich zbyt duża zmienność nie pozwala na wnioskowanie o istotności zależności regresyjnej między nimi.
3. Przy zróżnicowanych warunkach glebowo-klimatycznych środowisk testowania, nie stwierdzono istotnego związku pomiędzy współczynnikiem odziedziczalności w szerokim sensie dla plonu a stopniem stresu w warunkach zastosowania standardowego, jak i intensywnego poziomu agrotechniki.

LITERATURA

- Atlin G. N., Frey K. J. 1989. Predicting the relative effectiveness of direct versus indirect selection for oat yield in three types of stress environments. *Euphytica* 44: 137 — 142.
- Atlin G. N., Frey K. J. 1990. Selecting oat lines for yield in low productivity environments. *Crop Sci.* 30: 556 — 561.
- Atlin, G. N., Cooper M., Bjørnstad F. A. 2001. A comparison of formal and participatory breeding approaches using selection theory. *Euphytica* 122: 463 — 475.
- Annicchiarico, P., Bellah, F., Chiari, T. 2005. Defining subregions and estimating benefits for a specific-adaptation strategy by breeding programs: a case study. *Crop Sci.* 45: 1741 — 1749.
- Annicchiarico, P., Chiapparino, E., Perenzin M. 2010. Response of common wheat varieties to organic and conventional production systems across Italian locations, and implications for selection. *Field Crops Research* 116: 230 — 238.
- Brancourt-Hulmel M., Heumez E., Pluchard P., Beghin D., Depatureaux C., Giraud A., Le Gouis J. 2005. Indirect versus direct selection of winter wheat for low-input or high-input levels. *Crop Science.* 45: 1427 — 1431.

- Banziger, M., Betran F. J., Lafitte H. R. 1997. Efficiency of high-nitrogen selection environments for improving maize for low-nitrogen target environments. *Crop Sci.* 37: 1103 — 1109.
- Burger H., Schloen M., Schmidt W., Geiger H. H. 2008. Quantitative genetic studies on breeding maize for adaptation to organic farming. *Euphytica* 163: 501 — 510.
- Ceccarelli S. 1994. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77: 205 — 219.
- Ceccarelli S. 1996. Adaptation to low/high input conditions. *Euphytica* 92: 203 — 214.
- Ceccarelli S., Grando S., Impiglia A. 1998. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. *Euphytica* 103: 307 — 318.
- Cooper M., Rajatasereekul S., Somrith B., Sriwisut S., Immark S., Boonwite C., Suwanwongse A., Ruangsook S., Hanviriyapant P., Romyen P., Porn-uraisanit P., Skulkhu E., Fukai S., Basnayake J., Podlich D. W. 1999. Rainfed lowland rice breeding strategies for Northeast Thailand II. Comparison of intrastation and interstation selection. *Field Crop Res.* 64: 153 — 176.
- Fukai S., Inthapanya P., Blamey F. B. C., Khuntasuvon S. 1999. Genotypic variation in rice grown in low fertile soils and drought-prone, rainfed lowland environments. *Field Crops Res.* 64: 121 — 130.
- Falconer, D. S. 1989. *Introduction to Quantitative Genetics*, third ed. Longman, London.
- Falconer, D.S., Mackay T. F. C. 1996. *Introduction to Quantitative Genetics*, 4th ed. Longman, Harlow, London.
- Gauch H. G., Zobel R.W. 1997. Identifying mega-environments and targeting genotypes *Crop Sci.* 37: 311 — 326.
- Hill J., Becker H. C., Tigerstedt P. M. A. 1998. *Quantitative and ecological aspects of plant breeding*. Chapman & Hall, London, UK.
- Kumar A., Bernier, J., Verulkar S. B., Lafitte H. R., Atlin G. N. 2008. Breeding for drought tolerance: direct selection for yield, response to selection and use of drought-tolerant donors in upland and lowland-adapted populations. *Field Crops Res.* 107: 221 — 231.
- Lorenzana E. R., Bernardo R. 2008. Genetic correlation between corn performance in organic and conventional production systems *Crop Sci.* 48: 903 — 910.
- Murphy K. M., Campbell K. G., Lyon S. R., Jones S. S. 2007. Evidence of varietal adaptation to organic farming systems. *Field Crops Res.* 102: 172 — 177.
- Padi F. K. 2004. Relationship between stress tolerance and grain yield stability in cowpea. *Journal of Agricultural Science.* 142: 431 — 443.
- Przystalski M., Osman A., Thiemt E. M., Rolland B., Ericson L., Ostergard H., Levy L., Wolfe M., Buchse A., Piepho H. P., Krajewski P. 2008. Comparing the performance of cereal varieties in organic and non-organic cropping systems in different European countries. *Euphytica* 163: 417 — 433.
- Sinebo W., Gretzmacher R., Edelbauer A. 2002. Environment of selection for grain yield in low fertilizer input barley. *Field Crops Res.* 74: 151 — 162.
- van Eeuwijk F. A., Cooper M., DeLacy I. H., Ceccarelli S., Grando S. 2001. A vocabulary and grammar for comparing PPB and FPB trials. *Euphytica* 122: 470 — 490.
- Verulkar S. B., Mandal N. P., Dwivedi J. L., Singh B. N., Sinha P. K., Mahato R. N., Dongre P., Singh O. N., Bose L. K., Swain P., Robin S., Chandrababu R., Senthil S., Jain A., Shashidhar H. E., Hittalmani S., Vera Cruz C., Paris T., Raman A., Haefele S., Serraj R., Atlin G., Kumar A. 2010. Breeding resilient and productive genotypes adapted to drought-prone rainfed ecosystem of India. *Field Crops Research* 117: 197 — 208.
- Ud-Din N., Carver B. F., Clutter A. C. 1992. Genetic analysis and selection for wheat yield in drought-stressed and irrigated environments. *Euphytica* 62: 89 — 96.
- Ukalski K., Ukalska J., Śmiałowski T., Mądry W. 2008. Badanie zmienności i współzależności cech użytkowych w kolekcji roboczej pszenicy ozimej (*Triticum aestivum* L.) za pomocą metod wielowymiarowych. Część I. Korelacje fenotypowe i genotypowe. *Biul. IHAR* 249: 35 — 43.