

ZYGMUNT KACZMAREK¹**WOJCIECH MIKULSKI**²**TADEUSZ ADAMSKI**¹**MARIA SURMA**¹¹ Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu² Hodowli Roślin Szelejewo, Spółka z o.o.

Plonowanie wybranych rodów pszenżyta ozimego na różnych etapach selekcji w perspektywie ich sukcesu hodowlanego

Yielding of winter triticale lines in different phases of selection process as a measure of their breeding success

Analizowano proces selekcji pszenżyta ozimego prowadzony w Hodowli Roślin Szelejewo Sp. z o.o. pod względem plonu ziarna z poletka. Brano pod uwagę dane uzyskane z serii doświadczeń międzystacyjnych, przedwstępnych i wstępnych, zakładanych kolejno w latach 1998–2002. Uzyskane wyniki analizowano statystycznie za pomocą programu komputerowego SERGEN. Porównano rody z odmianami wzorcowymi, określono efekty główne rodów oraz przeprowadzono badania ich interakcji ze środowiskiem. Na podstawie wyników analizy poszczególnych serii doświadczeń wyróżniono rody, które winny znaleźć się w następnych etapach hodowli i porównano je z rodami faktycznie wybranymi przez hodowców. Stwierdzono, że wiele rodów, które na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej powinny być wybrane do dalszej hodowli, zostało wyeliminowanych przez hodowców. Sugerowane jest zmniejszenie intensywności selekcji, aby nie utracić wartościowych genotypów.

Słowa kluczowe: interakcja genotypowo-środowiskowa, pszenżyto, serie doświadczeń, program SERGEN

The aim of the studies was to give a thorough analysis of the breeding procedure that had resulted in releasing a new cultivar of winter triticale at the Szelejewo Plant Breeding Company. The data obtained for grain yields in the series of experiments carried out in 1998–2002 were processed using SERGEN software. The following analyses were done: genotype $\times$ environment interaction, estimation and testing of the main effects of genotypes, and estimation of differences between breeding lines and standard cultivars. The most promising lines were selected based on the results of statistical analyses, and the outcome of a “virtual” selection was compared with the effects of selection made by breeders. It was revealed that many of the genotypes that had been eliminated by breeders should have been chosen to the next step of the breeding programme if based on the results of statistical analyses. Thus, it cannot be excluded that among the eliminated lines there were also the ones that might have been considered as new cultivars of winter triticale.

Key words: genotype-environment interaction, triticales breeding, series of experiments, SERGEN software

WSTĘP

Najważniejszymi etapami decydującymi o sukcesie hodowli jest dobór odpowiednich form rodzicielskich do krzyżowań oraz właściwa selekcja w kolejnych pokoleniach. Wyboru form do kolejnych etapów hodowli dokonuje się na podstawie wielkości plonu oraz innych cech ważnych z agronomicznego punktu widzenia, takich jak odporność na choroby i wyleganie, wczesność, pokrój rośliny itp. Plonowanie rodów w poszczególnych doświadczeniach lub seriach doświadczeń hodowlanych analizowane jest statystycznie, a wyniki tych analiz są pomocne przy podejmowaniu decyzji. W procesie selekcji często nie uwzględnia się problemu reakcji analizowanych genotypów na warunki środowiska, a więc faktu, czy wybierane do dalszej hodowli rody są stabilne, intensywne czy ekstensywne. W hodowli pszenżyta, prowadzonej w Hodowli Roślin Szelejewo selekcję rodów wykonuje się w doświadczeniach stacyjnych, międzystacyjnych, przedwstępnych i wstępnych. Doświadczenia stacyjne obejmują na ogół około 600 rodów. Zakłada się je w jednym powtórzeniu (w jednym środowisku), a wyboru genotypów do dalszej hodowli dokonuje się na podstawie porównania badanych form ze wzorcem. Zgodnie z przyjętymi w stacji zasadami, do doświadczeń międzystacyjnych przeznacza się około 25% rodów badanych w doświadczeniu stacyjnym. Z kolei do doświadczeń przedwstępnych kieruje się około 30 rodów, spośród których tylko kilka najlepszych badanych jest dalej w doświadczeniach wstępnych. Ograniczenia w liczbie kwalifikowanych do kolejnych etapów hodowli rodów wynikają z konieczności obniżenia kosztów związanych z doświadczalnictwem polowym. Pozostaje zatem pytanie, czy w trakcie selekcji nie eliminuje się rodów, które mogłyby kandydować do rangi odmian.

Celem pracy było prześledzenie przebiegu procesu selekcji pszenżyta pod względem plonowania na podstawie wyników serii doświadczeń oraz próba oceny dokonanego w Stacji Hodowli Roślin Szelejewo wyboru rodów do kolejnych etapów hodowli z punktu widzenia interakcji selekcionowanych genotypów z warunkami środowiska.

MATERIAŁ I METODY

Badania przeprowadzono dla danych z doświadczeń hodowlanych z rodami pszenżyta ozimego uzyskanymi w Hodowli Roślin Szelejewo. Analizowano wyniki z doświadczeń stanowiących jeden cykl hodowlany: stacyjnych (1998/1999), międzystacyjnych (1999/2000), przedwstępnych (2000/2001) i wstępnych (2001/2002).

Zgodnie z przyjętą w tej Stacji procedurą, pierwsze z wyżej wymienionych doświadczeń (1998/1999) obejmowało 580 rodów oraz odmianę wzorcową Lambreto. Założone zostało na poletkach o powierzchni 10 m² ze wzorcem powtarzanym co piąte poletko w jednym powtórzeniu i w jednym środowisku.

Doświadczenie międzystacyjne z 138 rodami (wybranymi na podstawie wyników doświadczenia stacyjnego) przeprowadzono w 6 niezależnych grupach po 23 rody każda. Dodanie do poszczególnych grup dwóch wzorców: Lamberto i Tornado sprawiło, że każde

z sześciu doświadczeń obejmowało 25 genotypów. Doświadczenia z obiektami tej samej grupy zakładane były w trzech stacjach (nie zawsze tych samych) na poletkach o powierzchni 10 m² w układzie bloków losowanych w czterech powtórzeniach. Tak więc materiał roślinny obejmujący 138 rodów porównany był na etapie doświadczeń międzystacyjnych w sześciu następujących seriach:

- Seria A — rody 1-23, stacje S1, S2, S3,
- Seria B — rody 24-46, stacje S1, S2, S3,
- Seria C — rody 47-69, stacje S1, S3, S4,
- Seria D — rody 70-92, stacje S1, S3, S4,
- Seria E — rody 93-115, stacje S1, S3, S5,
- Seria F — rody 116-138, stacje S1, S3, S6.

Zgodnie z życzeniem hodowców, nazwy poszczególnych stacji, w których zakładano doświadczenia ukryto pod symbolami od S1 do S6.

Doświadczenia przedwstępne obejmowały serie eksperymentów polowych z 30 obiektami (28 rodów oraz 2 wzorce: Bogo, Lamberto) przeprowadzonych w 5 miejscowościach, w każdej w 4 replikacjach na poletkach o powierzchni 10 m². Oprócz wybranych w doświadczeniu międzystacyjnym 22 rodów i 2 wzorców dołączono 6 nowych rodów. Na podstawie tych doświadczeń do dalszej hodowli (doświadczeń wstępnych) wybrano 5 rodów (SZD131, SZD154/1, SZD620, SZD622, SZD623).

Serię doświadczeń wstępnych z 40 rodami pochodzącymi z różnych stacji hodowlanych i 2 wzorcami założono w 6 środowiskach w układzie bloków losowanych kompletnych z 3 powtórzeniami. Poletka miały powierzchnię 10 m².

W niniejszej pracy przeprowadzono analizy statystyczne wyników serii doświadczeń międzystacyjnych, przedwstępnych i wstępnych. Zastosowano metody zaproponowane przez Kaczmarską (1997), wykorzystując program komputerowy SERGEN (Caliński i in., 2000).

WYNIKI

Doświadczenia stacyjne

Wybór 138 rodów doświadczeń stacyjnych został przeprowadzony na podstawie porównań poszczególnych rodów z wzorcami. Wyboru dokonano kierując się nie tylko wielkością plonu, lecz również wieloma ważnymi z hodowlanego punktu widzenia cechami. Z tego też względu nie zajmowano się szczegółową analizą wyników uzyskanych z tych doświadczeń. Wyselekcjonowane rody stanowiły około 24% wszystkich rodów z doświadczenia.

Doświadczenie międzystacyjne

Przeprowadzone analizy wariancji dla każdej z sześciu serii doświadczeń przedwstępnych, prowadzonych w różnych (trzech) środowiskach wykazały w większości (przeszło 60%) istotne zróżnicowanie obiektów (23 rodów i 2 wzorców) pod względem wysokości plonu. Dla czterech serii (A, B, D, E) istotna była interakcja rodów z miejscowościami. Jedynie w serii F we wszystkich doświadczeniach badane rody

i wzorce plonowały na podobnym poziomie. Dla tej serii nieistotną okazała się także interakcja rody $\times$ środowiska (tab. 1).

W tabeli 2 podano średnie plony testowanych genotypów w poszczególnych seriach doświadczeń oraz średnie plony odmian wzorcowych Lamberto i Tornado.

Tabela 1

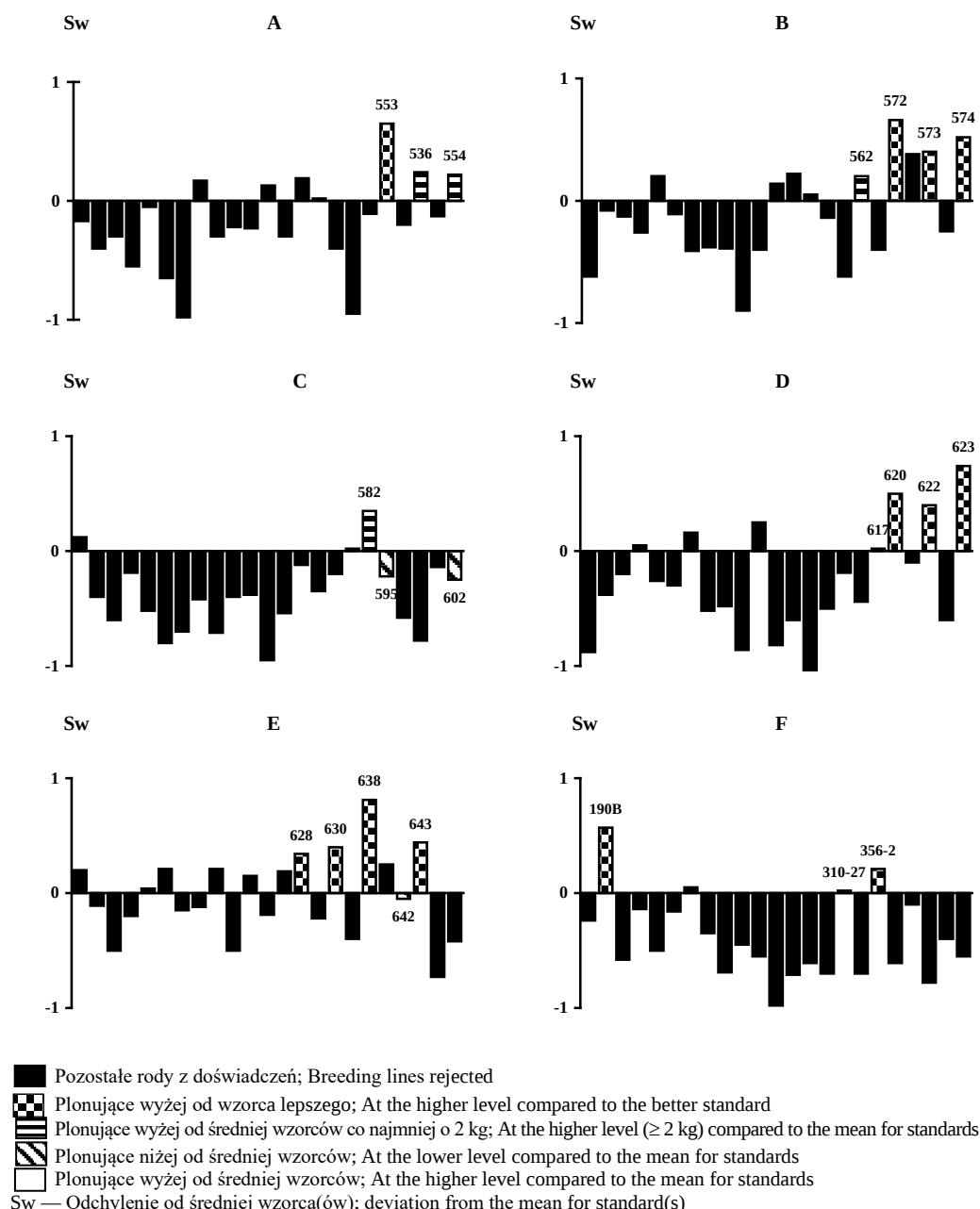
Wyniki testowania hipotez w analizie wariancji plonu ziarna pszenżyta z serii doświadczeń międzystacyjnych (1999–2000)
Results of testing hypotheses in the analysis of variance for grain yield of triticale in a series of pre-registration experiments conducted in 1999–2000

Seria doświadczeń Series of experiments	Wartość statystyki F dla efektów głównych F-statistic value for main effects			Interakcja rody $\times$ środowiska Genotype $\times$ environment interaction F_{GE}
	S1	S2	S3	
A	3,10	5,32	4,77	2,62
B	2,09	3,48	8,20	3,01
C	0,93	2,00	2,89	0,91
D	2,30	1,26	7,27	1,72
E	1,59	1,56	6,36	1,42
F	1,30	0,79	1,41	1,12
F krytyczna $\alpha = 0,05$		1,66		1,41
F critical $\alpha = 0,01$		2,05		1,63

Tabela 2

Średnie wzorców oraz średnie ogólne w poszczególnych seriach doświadczeń międzystacyjnych (w 3 stacjach) 1999/2000
Mean values for standard cultivars and general means in particular series of pre-registration experiments conducted in 1999/2000 (3 breeding stations)

Seria doświadczeń Series of experiments	Średnia rodów i odmian wzorcowych Mean for lines and standard cultivars	Stacja hodowli roślin Plant breeding station			Średnia Mean
		S1	S2	S3	
A	$\bar{x}$	9,66	10,85	7,97	9,50
	wzorców — standards	9,88	10,70	8,50	9,69
B	$\bar{x}$	10,24	11,39	8,58	10,07
	Wzorców — standards	10,72	11,08	8,68	10,16
C	$\bar{x}$	9,65	7,89	8,22	8,59
	Wzorców — standards	9,66	8,25	8,86	8,92
D	$\bar{x}$	9,99	7,81	8,24	8,68
	Wzorców — standards	10,34	7,85	7,98	8,93
E	$\bar{x}$	10,24	8,25	8,28	8,92
	Wzorców — standards	10,24	8,25	8,36	8,95
F	$\bar{x}$	9,25	8,01	7,92	8,39
	Wzorców — standards	9,64	8,26	8,40	8,77
Współczynnik korelacji między średnią genotypów testowanych w różnych seriach doświadczeń i średnią wzorców w poszczególnych stacjach hodowli					
Correlation coefficient between general means and means for standards in particular breeding stations					
		0,882	0,996	0,200	
Współczynnik korelacji między średnią ogólną i średnią wzorców łącznie dla 3 stacji					
Correlation coefficient between general means and means of standards for 3 breeding stations in total					
		0,971			



Rys. 1. Grupy rodów zakwalifikowanych na podstawie doświadczeń międzystacyjnych (A–F) do doświadczeń przedwstępnych

Fig. 1. Group of triticale breeding lines selected for further evaluating in the breeding programme on the basis of pre-registration experiments

Odmiany wzorcowe w zdecydowanej większości przewyższały plonem średnią ogólną (w skrajnym przypadku nawet o około 8%). Wystąpiła także silna korelacja między średnim plonem dla rodów a średnim plonem dla odmian wzorcowych z różnych serii doświadczeń w poszczególnych stacjach. Dlatego też w wyborze najlepszych linii jako podstawowe kryterium przyjęto wynik porównania średniej plonu danego rodu ze średnią plonu wzorców. Nie uwzględniono roli wysokości interakcji rodów z miejscowościami, z uwagi na to, iż w każdej z 6 serii doświadczeń brały udział inne (z wyjątkiem odmian wzorcowych) rody hodowlane. Z tego samego względu nie stosowano jako kryterium selekcji średniej dla badanych rodów.

Do doświadczeń przedwstępnych hodowcy wybrali 22 rody. W niniejszym opracowaniu podzielono je według czterech najczęściej stosowanych kryteriów: plonujące istotnie wyżej od odmian wzorcowych, plonujące wyżej od średniej dla wzorców o 2 kg z poletka, plonujących na poziomie średnich dla wzorców i plonujące niżej od średniej wzorców (rys. 1). Na rysunku 1 pokazano także porównanie rodów wybranych przez hodowców na tle pozostałych rodów biorących udział w doświadczeniach. Jak można zauważyć, nie zawsze wysokość plonu była najistotniejszym kryterium w kwalifikowaniu rodów do dalszej hodowli. Szczególnie widoczne było to w doświadczeniach serii B i E, gdzie pominięto szereg rodów o plonie istotnie wyższym zarówno od odmian wzorcowych, jak i średniej dla rodów. Uwagę natomiast zwraca zakwalifikowanie do dalszych prac form plonujących poniżej zarówno średniej dla odmian, jak i dla wzorców, co miało miejsce w przypadku serii C i E. Fakt ten można tłumaczyć odznaczaniem się tych form szczególnie korzystnymi (poza plonem) cechami rolniczymi.

Seria doświadczeń przedwstępnych

W tabeli 3 zamieszczono wyniki testowania badanych rodów pszenżyta i ich interakcji ze środowiskiem w doświadczeniach przedwstępnych. Do badań zostało włączonych dodatkowo 6 rodów pszenżyta niebiorących udziału w założonym w 2000 roku doświadczeniu międzystacyjnym.

W przeprowadzanej w tej pracy klasyfikacji rodów do dalszej hodowli kierowano się wyłącznie wartościami efektu głównego (porównania plonu danego rodu z średnim plonem dla wszystkich badanych genotypów). Uzasadnieniem tego podejścia jest fakt, iż z odmian wzorcowych tylko Bogo nieznacznie przewyższała plonem średnią dla wszystkich badanych genotypów. Stąd też selekcja rodów do dalszej hodowli na podstawie ich efektów głównych stanowiła bardziej radykalne kryterium, aniżeli na podstawie porównania ze średnią dla odmian wzorcowych.

Istotnymi, dodatnimi wartościami efektu głównego cechowało się 8 rodów (573, 620, 622, 623, 628, 190B, 131, 154/1). Spośród nich do doświadczeń wstępnych zakwalifikowano rody 620, 622, 623, 131, 154/1 (tab. 4). Pozostałe (573, 628 190B) zostały wyeliminowane przez hodowców. Być może formy te (o ile spełniały inne wymagane przez hodowlę kryteria), mogłyby kandydować do rangi nowych odmian.

Seria doświadczeń wstępnych

Ocenę rodów pod względem plonowania przeprowadzano — podobnie jak w serii doświadczeń przedwstępnych — na podstawie ich efektów głównych. Za obraniem tego

kryterium selekcji przemawiał fakt, iż w doświadczeniach wstępnych znajdowały się w większości genotypy plonujące wyżej niż odmiany wzorcowe.

Tabela 3

Wyniki testowania poszczególnych rodów pszenżyta i ich interakcji ze środowiskiem dla plonu w serii doświadczeń przedwstępnych, założonych w roku 2000
Results of testing of triticale breeding lines and their genotype-environment interaction in a series of experiments conducted in 2000

Seria doświadczeń międzystacyjnych Series of pre-registration experiments	Ród Genotype	Ocena efektu głównego Estimate for main effect	Statystyka <i>F</i> dla: <i>F</i> statistic for:	
			efektu głównego main effect	interakcji interaction
A	536	-4,56	4,82	1,63
	553	1,43	0,27	2,83
	554	-10,53	57,21	0,73
B	562	-7,92	15,38	1,54
	572	-1,08	0,03	14,15
	573	8,01	7,85	3,17
	574	-0,34	0,02	2,74
C	582	-9,31	29,71	1,10
	595	-5,62	7,19	1,66
	602	1,67	0,46	2,30
D	617	1,76	0,53	2,20
	620*	0,18	0,04	0,30
	622*	10,14	21,49	1,81
	623*	11,90	32,41	1,65
E	628	5,48	11,12	1,02
	630	-23,97	11,50	18,85
	638	2,65	1,58	1,68
	642	-12,88	21,52	2,91
	643	2,83	0,49	6,21
F	190B	7,04	6,96	2,97
	310-27	-9,76	6,66	5,39
	356-2	4,97	5,40	1,73
Rody zakwalifikowane na podstawie wcześniejszych eksperymentów Lines included based on the results of earlier experiments	131*	9,99	19,41	1,94
	154/1*	14,79	68,20	1,21
	354	-1,86	0,48	2,69
	506	1,85	0,47	2,79
	11500	4,20	2,28	2,92
	P6S108/00	-5,08	3,98	2,45
Wzorce Standards	Bogo	-1,37	1,00	0,71
	Lamberto	5,00	6,12	1,54
<i>F</i> krytyczne <i>F</i> critical	$\alpha = 0,10$		4,54	1,96
	$\alpha = 0,05$		7,71	2,39
	$\alpha = 0,01$		21,20	3,36

* Rody wybrane do dalszych doświadczeń; Lines selected for further experiments

Rody niedocenione w doświadczeniu międzystacyjnym są wyróżnione; Czcionka pogrubiona

Breeding lines underestimated in the interstation experiments; Bold

Rody pszenżyta otrzymane w Hodowli Roślin Szelejewo plonowały na poziomie średniej dla wszystkich badanych genotypów (nieistotne wartości efektów głównych) (tab. 4). Uwagę zwraca brak istotnej interakcji tych rodów z warunkami środowiska, co oznacza,

że były one stabilne w plonowaniu. Najwyższym plonem cechował się ród SZD 622. Został też jako jedyny spośród rodów z Szelejewa zakwalifikowany do doświadczeń rejestracyjnych COBORU.

Tabela 4

Efekty główne rodów SZD pszenżyta i ich interakcja ze środowiskiem w badaniach wstępnych w odniesieniu do średniej ze wszystkich badanych rodów
Main effects of breeding triticale lines and their genotype-environment interaction in relation to the mean for all analysed genotypes in inter-station experiments

Ród Genotype	Ocena efektu głównego Estimate for main effect	Statystyka <i>F</i> dla efektu głównego <i>F</i> statistic for main effect	Statystyka <i>F</i> dla interakcji <i>F</i> statistic for interaction
622*	3,16	2,04	1,24
623	-0,34	0,02	1,65
620	-3,32	4,03	0,69
154/1	2,03	0,58	1,78
131	1,57	1,23	0,51
<i>F</i> krytyczne $\alpha = 0,10$		4,06	6,61
<i>F</i> critical $\alpha = 0,05$		1,86	2,23

* Ród wybrany do badań COBORU; Breeding line selected for evaluating in registration experiments

Można mieć wątpliwości, czy pod względem plonu dokonano właściwego doboru form do badań rejestracyjnych. Do COBORU przekazano tylko ród SZD 622, podczas gdyrody 623 i 154/1, mimo iż w doświadczeniach przedwstępnych i wstępnych plonowały wyżej lub nie odbiegały plonem od wyróżnionego rodu, nie znalazły uznania w oczach hodowców.

Z uwagi na występowanie interakcji genotypowo-środowiskowej wydaje się konieczne zmniejszenie intensywności selekcji, to jest zwiększenie liczby rodów wybieranych do następnych etapów hodowli.

Mimo znacznego zaawansowania prac dotyczących interakcji genotypów z warunkami środowiska, nie wszystkie zagadnienia zostały rozwiązane. Dotyczy to głównie genetycznych aspektów tego zjawiska (Macher, 1975; Powell i in., 1986; Surma, 1996). Powell i wsp. (1986) stwierdzili, że w wyniku selekcji można uzyskać linie rekombinacyjne o mniejszej lub większej w porównaniu z rodzicami wrażliwości na środowisko. Stąd też wydaje się konieczne, aby na poszczególnych etapach hodowli, gdy jest to możliwe, oceniać nie tylko średnie wartości plonu dla poszczególnych genotypów, ale także ich interakcję ze środowiskiem. Być może wzięcie pod uwagę interakcji $G \times E$ jako jednego z kryteriów selekcji zwiększy efektywność hodowli.

PODSUMOWANIE

Przeprowadzona *post factum* analiza statystyczna wyników doświadczeń hodowlanych pozwoliła na wyróżnienie rodów, które winny znaleźć się w kolejnych etapach hodowli. Wśród nich były zarówno zakwalifikowane przez hodowców do kolejnych doświadczeń, jak i wyeliminowane. Nie można wykluczyć, iż w grupie rodów odrzuconych znajdowały się formy mogące predysponować do rangi nowych odmian. Z uwagi na występowanie

interakcji genotypowo-środowiskowej wydaje się konieczne zwiększenie liczby rodów wybieranych do następnych etapów hodowli.

LITERATURA

- Caliński T., Czajka S., Karczmarek Z., Krajewski P. 2003. Podręcznik użytkownika programu SERGEN 4. IGR PAN, Poznań.
- Karczmarek Z. 1986. Analiza doświadczeń wielokrotnych zakładanych w blokach niekompletnych. AR, Poznań.
- Mather K. 1975. Genotype $\times$ environment interaction. II. Some genetical considerations. *Heredity* 35: 31 — 53.
- Powell W., Caligari P. D. S., Phillips M. S., Jinks J. L. 1986. The measurements and interpretation of genotype by environment interaction in spring barley (*Hordeum vulgare* L.). *Heredity* 56: 255 — 262.
- Surma M. 1996. Biometryczno-genetyczna analiza cech ilościowych mieszańców i linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego. Rozprawy i Monografie IGR PAN, Poznań, Nr 3: 110 s.