

WIESŁAW MĄDRY ¹
DARIUSZ GOZDOWSKI ¹
JAN ROZBICKI ²
MIROŚLAW POJMAJ ³
STANISŁAW SAMBORSKI ²

¹ Katedra Biometrii, SGGW, Warszawa

² Katedra Agronomii, SGGW, Warszawa

³ Hodowla Roślin Danko Sp. z o.o., z/s w Chorzynie, Oddział Laski

Formowanie się plonu ziarna przez jego składowe u rodów hodowlanych pszenżyta ozimego w różnych warunkach środowiskowych

Grain yield formation strategies in advanced lines of winter triticale grown in different environments

W pracy przedstawiono ocenę 40 rodów hodowlanych pszenżyta ozimego pod względem plonu ziarna i trzech jego składowych (liczby kłosów na jednostce powierzchni, liczby ziaren w kłosie oraz średniej masy ziarniaka, MTZ) na podstawie serii doświadczeń przedrejestrowych w trzech miejscowościach: Dębinie Laskach i Sobiejuchach w jednym sezonie wegetacyjnym. Badania były ukierunkowane na wielocechową charakterystykę różnych rodzajów architektury składowych plonu u rodów, określających ich strategię formowania się plonu ziarna. W środowisku każdej miejscowości wydzielono grupy (skupienia) rodów o podobnych wartościach składowych plonu. Układy wartości tych składowych u rodów w każdej grupie w danym środowisku opisują ilościowe strategię formowania się plonu ziarna przez rozpatrywane składowe. Różnorodność strategii formowania się plonu przedstawiono za pomocą analizy składowych głównych, jako metody do wielocechowej oceny podobieństwa i niepodobieństwa badanych obiektów. W każdym środowisku rody różniły się znacząco pod względem składowych plonu, natomiast ich zmienność plonu ziarna była relatywnie niewielka, z powodu kompensacji liczby kłosów na m² i liczby ziaren w kłosie. Ilościowe strategię formowania się plonu ziarna pszenżyta ozimego przez składowe plonu podlegają interakcji GE, która może utrudniać wybór kryteriów selekcji, uwzględniających jednocześnie trzy składowe plonu. Najwyższe plony ziarna rodów były zwykle uwarunkowane przez relatywnie wysokie wartości jednocześnie dwóch składowych plonu, przy niezbyt dużej redukcji trzeciej składowej, nie zaś przez zrównoważony układ poziomów wszystkich trzech składowych.

Słowa kluczowe: analiza składowych głównych, analiza skupień, plon ziarna, pszenżyto ozime, rody hodowlane, składowe plonu, stacje doświadczalne, wielocechowa różnorodność

The studies were focused on the evaluation of 40 advanced lines of winter triticale for grain yield (per m²) and its three components (spikes per m², grains per spike and TGW), using the data from pre-

registration yield trials performed at three locations: Dębina, Laski and Sobiejuchy. The investigations were aimed at multivariate assessment of distinct yield component architectures in the lines, describing their quantitative yield formation strategies. At each location, clusters of lines with similar values of the yield components were distinguished. Similar combinations of the all yield component levels in each lines group under an environment describe a distinct quantitative strategy of grain yield formation among the lines, as expressed by the levels of the considered yield-contributing traits under the environment. Diversity of the yield formation strategies among the lines was studied using PCA as an ordination method. In each environment the lines were substantially variable for the yield components, while their variation for grain yield was relatively lesser due to the compensation between spikes per m² and grains per spike. The strategies of grain yield formation in terms of the yield components in the winter triticales genotypes are affected by the genotype × environment interaction. This fact can make rather difficult to determine selection criterions as based on three yield components. The highest grain yields were determined by relatively high values of the two yield components, at not substantially reduced the third yield component, rather than by the balanced system of all the three component levels.

Key words: cluster analysis, grain yield, multivariate diversity, principal component analysis, quantitative yield formation strategy, yield component architecture, test locations, winter triticales

WSTĘP

Plon ziarna zbóż z jednostki powierzchni może być analizowany jako iloczyn trzech podstawowych jego składowych, tj. liczby kłosów na jednostce powierzchni, liczby ziaren w kłosie oraz średniej masy ziarniaka (MTZ). Składowe plonu rozwijają się sekwencyjnie, kształtujące się później składowe są determinowane przez te, które formują się wcześniej (Garcia del Moral i in., 1991, 2003; Dofing i Knight, 1992; Simane i in., 1993; Rozbicki, 1997; Royo i in., 1999; Moragues i in., 2006). Warunki środowiskowe znacząco wpływają na składowe plonu, zmieniając charakter kompensacji między nimi oraz genotypowe zależności plonu ziarna od jego składowych (Yan i Wallace, 1995; Giunta i in., 1999; Garcia del Moral i in., 2005; Allaru i in., 2004; Mądry i in., 2007; Vargas i in., 2007). Bardzo ważna dla kształtowania się składowych plonu zbóż jest dostępność wody dla roślin w glebie. Przy niedoborze wody, stres suszy może powodować znaczną redukcję wszystkich składowych plonu, w proporcjach zależnych od genotypów (Giunta i in., 1993; van Oosterom i in., 1993, 2003; van Ginkel i in., 1998; Abayomi i Wright, 1999; Chmielewski i Koln, 2000; Duggan i in., 2000; Gonzalez i in., 2007).

Wpływ warunków środowiskowych na kształtowanie się plonu różnych genotypów (odmian, rodów hodowlanych itp) jest zwykle zróżnicowany, co objawia się w postaci interakcji genotypowo-środowiskowej (interakcji GE), czyli zróżnicowania kształtu reakcji plonowania genotypów na zmienne warunki środowiskowe (Annicchiarico, 2002; de la Vega i in., 2002; Mądry, 2004). W celu wzbogacenia podstaw efektywniejszego wykorzystania interakcji GE w pracach hodowlanych i uprawie roślin, prowadzi się badania nad uwarunkowaniem tej interakcji przez fizjologiczne cechy plonotwórcze (zwłaszcza składowych plonu) genotypów w obrębie danej puli genowej i rejonie uprawy (van Oosterom i in., 2003; van Ginkel i in., 1998; Khanna-Chopra i Viswanathan, 1999; Yan i Wallace 1995, Epinat-Le Signor i in. 2001, Motzo i in., 2001; de la Vega i in., 2002; Dhungana i in., 2007; Vargas i in., 2007). Jednym z podejść do takich badań jest poznanie genotypowej różnorodności rodzajów architektury składowych plonu u rodów,

określających ilościowe strategie formowania się plonu przez jego składowe w zmiennych warunkach środowiskowych (Grunta, 1993; Yan i Wallace, 1995; Giunta i in., 1999; Yan i Hunt, 2001; de la Vega i in., 2002; Lafitte i Courtois, 2002; van Oosterom i in., 2003, 2006; Allaru i in., 2004; Moragues i in., 2006). Ilościową strategię formowania się plonu przez jego składowe u danego genotypu w jednym środowisku określamy jako układ poziomów trzech podstawowych składowych plonu (kombinację poziomów tych składowych), ukształtowany przez dany genotyp w trakcie ontogenezy (Yan i Wallace, 1995; van Oosterom i in., 2003, 2006).

Analiza porównawcza i grupowanie podobnych ilościowych strategii formowania się plonu genotypów w różnych środowiskach ułatwia szukanie związku między modelem plonowania genotypów, a ich stabilnością plonowania i zdolnością adaptacyjną do zmiennych środowisk. Na tej podstawie można wskazać ideotypy genotypów o szerokiej adaptacji, jak i o wąskiej adaptacji (Bidinger i in., 1987; Giunta i in., 1993; van Oosterom i in., 1993, 2003, 2006; Yan i Wallace, 1995; Van Ginkel i in., 1998; Duggan i in., 2000; Yan i Hunt, 2001; de la Vega i in., 2002; Lafitte i Courtois, 2002; Vargas i in., 2007). Wdrożenie tej wiedzy może poprawić skuteczność hodowli i rejonizacji odmian o szerokiej lub wąskiej adaptacji w rejonie uprawy (van Ginkel i in., 1998; Yan i Wallace, 1995; Duggan i in., 2000; Epinat-Le Signor i in., 2001; Yoshihira i in., 2002, 2004; de la Vega i in., 2002; Dhungana i in., 2007; Vargas i in., 2007).

Grupowanie genotypów o podobnych ilościowych strategiach formowania się plonu w poszczególnych środowiskach oraz charakterystyka różnorodności tych grup mogą być efektywnie przeprowadzone za pomocą wielocechowych metod statystycznych (Motzo i in., 2001; de la Vega i in., 2002; Lafitte i Courtois, 2002; Santiveri i in., 2002; Leilah i Al-Khateeb, 2005; Moragues i in., 2006; van Oosterom i in., 2006; Royo i in., 2007). Cel pracy, stanowiącej kontynuację badań przedstawionych w pracy Mądrego i wsp. (2007), obejmował:

- ocenę 40 rodów hodowlanych pszenżyta ozimego pod względem plonu i trzech jego składowych na podstawie serii doświadczeń przedrejestranych w trzech miejscowościach, ukierunkowaną na wielocechową charakterystykę różnych rodzajów architektury składowych plonu u rodów, określających ich strategie formowania się plonu ziarna,
- wydzielenie, w każdym środowisku, grup rodów o podobnych ilościowych strategiach formowania się plonu przez jego składowe i określenie różnorodności tych strategii, zwłaszcza dla rodów najwyżej plonujących w każdym środowisku.

MATERIAŁ I METODY

Badania obejmowały 40 rodów hodowlanych pszenżyta ozimego (15 krótkosłomych i 25 długosłomych) pochodzących z Hodowli Danko (tab. 1). Doświadczenia z rodami przeprowadzono w sezonie 2004/2005 w trzech miejscowościach: Laskach (Mazowsze, powiat grójecki), Dębinie (Żuławy, powiat malborski), Sobiejuchach (Kujawy, powiat żniński). Szczegółowe informacje o warunkach glebowych i pogodowych w poszczegól-

nych miejscowościach oraz o planowaniu doświadczeń znajdują się w pracy Mądrego i wsp. (2007).

W każdej miejscowości wykonano po dwa doświadczenia w rozkładalnym układzie bloków niekompletnych z trzema powtórzeniami (Oettler i in., 2005). W jednym doświadczeniu badano rody krótkosłome, w drugim zaś, rody długosłome. Na wszystkich poletkach w każdym doświadczeniu pojedynczym wybrano powierzchnie próbne o wielkości 1m², na których określano plon ziarna i jego składowe, tj. liczbę kłosów na m², średnią liczbę ziaren w kłosie i masę tysiąca ziaren (MTZ). Plon ziarna wyrażono w gm⁻² przy wilgotności 15%. Liczbę kłosów na m² określano bezpośrednio po zbiorze, masę tysiąca ziaren (MTZ) oceniono wg Polskiej Normy PN-68/R-74017. Natomiast, średnią liczbę ziaren w kłosie obliczono pośrednio, dzieląc obserwacje plonu ziarna przez obserwacje dwóch pozostałych składowych plonu oraz mnożąc przez 1000,.

Analiza statystyczna danych

Analizy wariancji dla obserwacji plonu ziarna na m² i jego składowych z doświadczeń pojedynczych wykonano za pomocą programu Eksplan (Krajewski i in., 2006). Szczegółowa metodyka opracowania danych z obu doświadczeń jednocześnie, oddzielnie w każdej miejscowości, jest podana w pracy Mądrego i wsp. (2007). Jest ona wzorowana na podejściu Oettlera i wsp. (2005), którzy opracowywali dane z obserwacji plonu ziarna i jego składowych oraz innych cech agronomicznych dla genotypów pszenżyta ozimego z oddzielnych doświadczeń (na tym samym polu) za pomocą jednej, łącznej, analizy porównawczej.

Na średnich poprawionych trzech składowych plonu dla wszystkich 40 rodów zastosowano dwie metody wielocехowe, tj. analizę skupień Warda (Ward, 1963; Mohammadi i Prasanna, 2003) z kwadratem odległości euklidesowej na zmiennych standaryzowanych (standaryzacja Z), w celu wydzielenia grup rodów podobnych pod względem trzech składowych plonu oraz analizę składowych głównych zmiennych standaryzowanych dla przedstawienia graficznej oceny zróżnicowania rodów pod względem składowych plonu wraz z określeniem tych o największej sile dyskryminacyjnej (Mohammadi i Prasanna 2003, Moragues i in., 2006). Analizy wielocехowe wykonano odrębnie dla każdej miejscowości, posługując się procedurami CLUSTER i PRINCOMP w pakiecie SAS (SAS Institute, 2001) oraz arkuszem kalkulacyjnym Excel.

WYNIKI BADAŃ I DYSKUSJA

Na podstawie wyników analizy skupień, zdecydowano się wyodrębnić 5 grup rodów o podobnych wartościach składowych plonu w miejscowościach Dębina i Laski, zaś 6 takich grup w miejscowości Sobiejuchy. Numery rodów (tab. 1) w tych grupach są pokazane na rysunkach 1, 2 i 3. Z racji na podobieństwo wartości trzech składowych plonu rodów w każdej wydzielonej grupie jednorodnej, rody w grupach są także relatywnie podobne pod względem plonu ziarna. Średnie wartości składowych plonu i plonu ziarna rodów w wydzielonych grupach dla poszczególnych miejscowości przedstawiono w tabeli 2. Obrazują one duże zróżnicowanie pomiędzy średnimi grupowymi dla poszczególnych składowych plonu w każdej miejscowości, a jednocześnie mniejsze zróżnicowanie

średnich grupowych dla plonu ziarna. Różnorodność kombinacji poziomów składowych plonu w grupach rodów ilustruje wyraźnie kompensację składowych plonu w każdej miejscowości, która została stwierdzona w badaniach na tych samych danych z użyciem analizy ścieżek (Mądry i in., 2007).

Tabela 1

Nazwy badanych rodów krótkosłomych (K) i długosłomych (D) pszenżyta ozimego
Names of short- straw (K) and long- straw (D) advanced lines of winter triticale studied in the trials

Rody Advanced lines	Forma Form	Nr Number	Rody Advanced lines	Forma Form	Nr Number
LAD267/01	K	1	LAD504/02	D	21
LAD389/01	K	2	LAD505/02	D	22
LAD597/01	K	3	LAD872/02	D	23
LAD662/01	K	4	LAD913/02	D	24
DAD282/00-179/01	K	5	DAD118/02	D	25
CHD224/00-25	K	6	DAD135/02	D	26
DED130/01	K	7	DAD161/02	D	27
DED396/01	K	8	DAD230/02	D	28
DED650/01	K	9	DAD323/02	D	29
DED1115/01	K	10	DAD262/02	D	30
DED4188/01	K	11	DAD310/02	D	31
DED5372/01	K	12	CHD7/02	D	32
DED5685/01	K	13	CHD15/02	D	33
DED6127/01	K	14	CHD16/02	D	34
DED6128/01	K	15	CHD38/02	D	35
DED6232/01	K	16	CHD83/02	D	36
DED2175/00	K	17	CHD88/02	D	37
LAD10/02	D	18	CHD112/02	D	38
LAD297/02	D	19	CHD157/02	D	39
LAD471/02	D	20	DAD151/02	D	40

Relatywnie niskie plony ziarna rodów w poszczególnych środowiskach oraz średnio poprzez środowiska były rezultatem niezrównoważonych poziomów składowych plonu, tzn. ukształtowania się jednej składowej plonu (głównie obsady kłosów) lub dwóch różnych składowych na stosunkowo niskim poziomie i braku wystarczającej ich kompensacji przez wysokie wartości pozostałych składowych. Natomiast, plonowanie rodów powyżej średniej ogólnej następowało według różnej ilościowej strategii tworzenia plonu ziarna. Zwykle wyższe plony były ukształtowane przez relatywnie wyższe wartości jednocześnie dwóch różnych składowych, przy czym trzecia składowa była na relatywnie niskim poziomie. Wysokie plonowanie rodów ukształtowane przez relatywnie wysokie wartości jednocześnie dwóch różnych składowych, obrazuje dobrze konsekwencje podobnego stopnia bezpośredniego wpływu wszystkich trzech składowych na plon ziarna, stwierdzone za pomocą analizy ścieżek (Mądry i in., 2007).

Średnie wartości plonu ziarna i trzech jego składowych dla jednorodnych grup rodów pszenżyta ozimego w poszczególnych miejscowościach
Means for grain yield and its three components in homogenous groups of winter triticale advanced lines in particular locations

Grupy jednorodne Homogenous groups	Liczebność grup Size of group	Plon ziarna Grain yield (g/m ²)	Liczba kłosów na m ² Spikes per m ²	Średnia liczba ziaren w kłosie Grains per spike	MTZ TGW (g)
Dębina					
III	6	1149	690	38,7	43,1
II	13	1208	636	39,0	48,8
I	8	1237⁺	619	44,0	45,6
IV	7	1241	723	34,3	49,9
V	6	1305	819	36,4	44,0
średnie++ means++		1225	683	38,7	46,8
Laski					
V	11	878	840	28,9	36,4
I	14	942	686	37,0	37,2
III	8	953	783	32,5	37,7
II	5	1005	718	33,9	41,6
IV	2	1061	898	36,7	32,4
średnie++ means++		940	762	33,5	37,4
Sobiejuchy					
V	11	934	661	35,1	40,3
VI	5	946	725	36,9	35,4
III	8	946	786	28,3	42,3
I	8	951	864	28,0	38,9
II	6	1021	729	29,5	47,5
IV	2	1127	912	36,3	33,9
średnie++ means++		964	758	31,8	40,6

+ liczby pogrubione oznaczają średnie grupowe powyżej średniej ogólnej dla danej zmiennej

+ numbers in bolded characters denote group means exceeding general mean for a trait

++ średnie ogólne ++ general means

Niektóre rody plonowały wysoko w wyniku jednocześnie umiarkowanie wysokiego poziomu wszystkich trzech składowych, co jest zgodne z teorią Yana i Wallace'a (1995). Teoria ta wskazuje, że warunkiem wysokiego plonowania genotypów zbóż jest zrównoważone (na umiarkowanym poziomie) ukształtowanie się trzech składowych plonu, rozważanych w niniejszej pracy.

Różne ilościowe strategie tworzenia podobnego plonu ziarna przez rody w zmiennych środowiskach ilustruje szczegółowa analiza układów trzech podstawowych składowych plonu (kombinacji poziomów tych składowych) u rodów o podobnie wysokim plonie (tab. 2).

W Dębiniu najwyższe plony ziarna osiągnęły rody, należące do trzech grup, tj. I, IV i V. Średnie rodów w tych grupach były powyżej średniej ogólnej dla całego zbioru rodów. Grupa I zawiera większość rodów o długich pędach, zaś grupy IV i V zawierają genotypy przeważnie o krótkich pędach. Układ składowych plonu rodów w każdej z tych grup był

inny. Rody w grupie I plonowały wysoko dzięki relatywnie bardzo dużej średniej liczbie ziaren w kłosie i MTZ bliskiej średniej ogólnej, przy relatywnie niskiej obsadzie kłosów. Rody w grupie IV, plonujące podobnie wysoko, jak te z grupy I, wytworzyły taki plon, kształtując jednocześnie relatywnie dużą obsadę kłosów i MTZ, jednak znacznie redukując średnią liczbę ziaren w kłosie. Jeszcze inną strategię tworzenia najwyższego plonu ziarna w rozpatrywanym środowisku, okazały rody w grupie V, które osiągnęły ten plon poprzez dominację poziomu obsady kłosów i tylko umiarkowanej redukcji dwóch pozostałych składowych plonu.

W Laskach relatywnie wysoko plonowały rody w grupach II i IV, były one przeważnie o długich pędach. Układ składowych plonu rodów w każdej z tych grup nie był jednakowy. Rody w grupie II ukształtowały wysoki plon ziarna przez wytworzenie jednocześnie relatywnie dużej średniej liczby ziaren w kłosie i MTZ oraz relatywnie zredukowanej obsady kłosów. Rody w grupie IV plonowały wysoko dzięki dużym poziomom dwóch innych składowych plonu, tj. obsady kłosów i średniej liczby ziaren w kłosie, co współistniało ze stosunkowo znaczną redukcją MTZ, jako trzeciej składowej plonu.

W Sobiejuchach, podobnie jak w Laskach, także rody tylko z dwóch grup (II i IV) plonowały powyżej średniej ogólnej. Do grupy IV zaliczono te same rody DAD230/02 (nr 28) i DAD323/02 (nr 29) o długich pędach, co w grupie IV, wydzielonej w Laskach (tab. 1 oraz rys. 2 i 3). Strategie wytworzenia wysokich plonów przez rody z każdej grupy były odmienne. Układ składowych plonu u rodów, zarówno o krótkich, jak i długich pędach w grupie II obejmował znaczną dominację wartości MTZ, przy jednocześnie umiarkowanie zredukowanych poziomach dwóch pozostałych składowych plonu. Natomiast, strategia tworzenia wysokiego plonu przez rody DAD230/02 i DAD323/02 w grupie IV w Sobiejuchach była taka sama, jak w Laskach, a więc wyrażająca się dużym poziomem obsady kłosów i średniej liczby ziaren w kłosie, przy jednoczesnej znacznej redukcji MTZ.

W rezultacie stwierdzonej interakcji genotypowo-środowiskowej dla plonu (Mądry i in., 2007), w każdej z trzech miejscowości inne rody plonowały najwyżej, czyli były relatywnie najlepiej zaadaptowane do tych środowisk (tab. 2). Podana różnorodność kombinacji poziomów składowych plonów u najwyżej plonujących rodów pszenżyta ozimego w każdej miejscowości (tab. 2), wskazuje, że więcej, niż jeden układ składowych plonu u rodów, zapewniał im najlepszą adaptację do warunków środowiskowych danej miejscowości. Podobne wyniki otrzymali Ceccarelli i wsp. (1991) dla jęczmienia, Annicchiarico i Pecetti (1995) dla pszenicy twardej, van Ginkel i wsp. (1998) i Duggan i wsp. (2000) dla pszenicy chlebowej oraz Allaru i wsp. (2004) dla pszenżyta ozimego. Jednakże, te rody pszenżyta ozimego, które warunkowały genetycznie efektywny (dla relatywnie wysokiego plonowania) układ składowych plonu w jednym środowisku, nie były w stanie wytworzyć równie wysoko produktywnej kombinacji poziomów składowych plonu w innych środowiskach, zapewniającej im tamże również relatywnie wysoki plon ziarna. Wyjątek stanowiły dwa rody, DAD230/02 i DAD323/02, które plonowały najwyżej w Laskach i Sobiejuchach, w rezultacie relatywnie dużej obsady kłosów i średniej liczby ziaren w kłosie, przy jednoczesnej znacznej redukcji MTZ w każdej z tych miejscowości.

Wysokie plonowanie rodów w poszczególnych miejscowościach zapewniały im relatywnie wysokie wartości jednej lub dwóch składowych plonu, przy jednoczesnej redukcji lub umiarkowanym poziomie pozostałych składowych plonu. Żaden z tych układów składowych plonu, o dużej zdolności adaptacyjnej w danym środowisku, nie obejmował wartości jednocześnie wszystkich składowych powyżej ich średnich w środowisku. Stwierdzono jednak takie kombinacje poziomów składowych plonu u niektórych rodów, gdzie wartości dwóch składowych były znacznie powyżej ich średniej. W takich przypadkach pary tych dominujących składowych były różne w obrębie badanych rodów i zawsze trzecia składowa miała wartości znacząco zredukowane, co było oznaką kompensacji składowych plonu.

Przedstawiane wyniki wskazują, że w ocenianym materiale hodowlanym pszenżyta ozimego udało się hodowcom przełamać ujemne korelacje genetyczne dla dwóch spośród trzech składowych plonu i ograniczyć zjawisko ujemnej kompensacji pomiędzy składowymi tylko do jednej z nich. W ten sposób uzyskano wysoko produktywne genotypy w określonych środowiskach, dzięki wysokim wartościom tych dwóch składowych plonu, mimo redukcji trzeciej z nich. Te wyniki są także ilustracją praktycznych konsekwencji zależności między plonem ziarna, a dodatnimi genotypowymi efektami bezpośrednimi i ujemnymi pośrednimi jego trzech składowych, stwierdzonej za pomocą analizy ścieżek (Mądry i in., 2007). Podobne, w każdym środowisku, genotypowe efekty bezpośrednie wszystkich składowych na plon ziarna, są źródłem takich faktów, że wysokie poziomy różnych par składowych plonu u niektórych rodów okazywały się najefektywniejsze dla ich plonowania w danym środowisku. Obrazuje to znane zjawisko, polegające na tym, że każdy rodzaj reakcji plonu ziarna genotypu roślin uprawnych na zmienne warunki środowiskowe, jest kształtowany w trakcie ontogenezy przez genetycznie kontrolowany mechanizm formowania się plonu ziarna (Annicchiarico i Pecetti, 1995; Yan i Wallace, 1995; Dhungana i in., 2007; Vargas i in., 2007). Mechanizm ten sprawia, że dany genotyp w każdym środowisku kształtuje pewien układ trzech składowych plonu, który może okazać się najbardziej produktywny w tym środowisku (van Ginkel i in., 1998). Przedstawiane wyniki badań dla polskiej puli genowej pszenżyta ozimego, dokumentują znane fakty, że rzadko zdarza się genotyp rośliny uprawnej o szerokiej adaptacji, czyli kształtujący takie układy składowych plonu w różnych środowiskach, które byłyby relatywnie najefektywniejsze (wśród badanych genotypów) dla jego plonowania w większości środowisk (Anderson, 1986; Bidinger i in., 1987; Giunta i in., 1993; Yan i Wallace, 1995; Khanna-Chopra i Viswanathan, 1999; Motzo i in., 2001; de la Vega i in., 2002).

W analizie składowych głównych stwierdzono, że ponad 90% wariancji całkowitej trzech składowych plonu w obrębie badanych rodów w każdej miejscowości zostało wyjaśnione przez 2 pierwsze składowe główne (tab. 3).

Zatem wartości dwóch pierwszych składowych głównych dla badanych rodów na wykresach dwuwymiarowych (rys. 1–3) dobrze (wiernie w stosunku do wyjściowych informacji, wynikających z pierwotnych parametrów statystycznych, tj. średnich poprawionych badanych cech dla rodów) odzwierciedlają zróżnicowanie (relacje) tych genotypów pod względem jednocześnie trzech składowych plonu. Pierwsza składowa

główna wyjaśniała od 51,45% (Dębina) do 56,5% (Laski), natomiast druga nieco mniej, od 34,55% (Laski) do 39,53% (Dębina). Podobne wyniki uzyskano również w analizie składowych głównych przeprowadzonej na średnich dla rodów z trzech miejscowości (wyniki nie prezentowane).

Tabela 3

Wartości współczynników korelacji składowych plonu rodów pszenżyta ozimego z trzema składowymi głównymi (PC1, PC2, PC3)
Correlation coefficients between yield components in winter triticale advanced lines and the three first principal components (PC1, PC2, PC3)

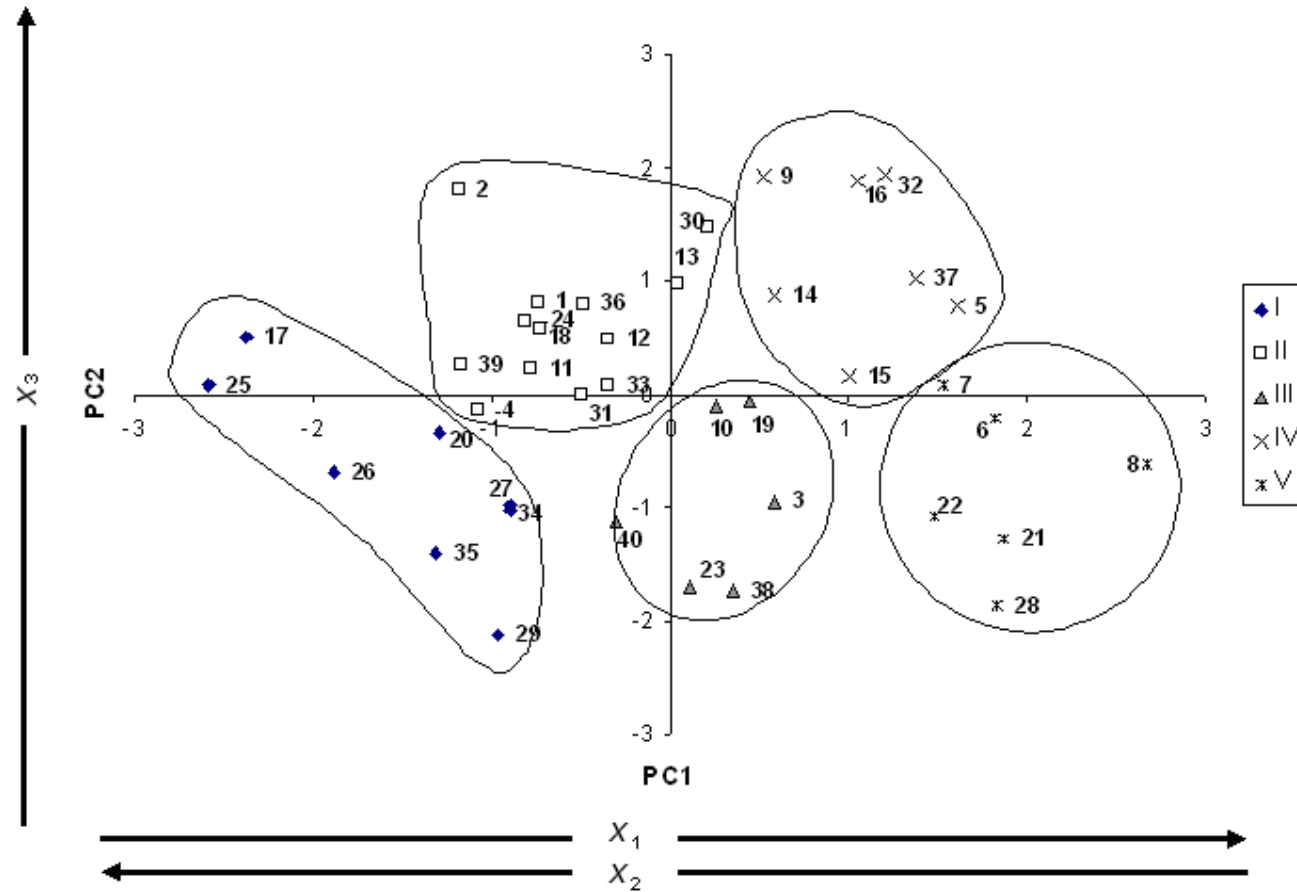
Składowe plonu Yield components	PC1	PC2	PC3
	Dębina		
Liczba kłosów na m ² Spikes per m ² (X ₁)	0,91	-0,23	0,34
Średnia liczba ziaren w kłosie Grains per spike (X ₂)	-0,82	-0,47	0,32
MTZ TGW (X ₃)	-0,19	0,95	0,24
% wyjaśnionej wariancji całkowitej % explained overall variability	51,45	39,53	9,02
Laski			
Liczba kłosów na m ² Spikes per m ² (X ₁)	0,93	-0,02	0,36
Średnia liczba ziaren w kłosie Grains per spike (X ₂)	-0,73	-0,62	0,29
MTZ TGW (X ₃)	-0,54	0,81	0,23
% wyjaśnionej wariancji całkowitej % explained overall variability	56,50	34,55	8,95
Sobiejuchy			
Liczba kłosów na m ² Spikes per m ² (X ₁)	0,60	-0,76	0,24
Średnia liczba ziaren w kłosie Grains per spike (X ₂)	-0,95	0,000	0,31
MTZ TGW (X ₃)	0,60	0,76	0,24
% wyjaśnionej wariancji całkowitej % explained overall variability	54,10	38,79	7,11

Struktura udziału składowych plonu w dwóch pierwszych (najważniejszych) składowych głównych była bardzo podobna w Dębinie i Laskach, odmienna zaś w Sobiejuchach. Wartości współczynników korelacji w tabeli 3 wskazują, że w miejscowości Dębina i Laski z pierwszą składową główną (PC1) najsilniej były skorelowane dwie składowe plonu, tj. liczba kłosów na m² oraz średnia liczba ziaren w kłosie, przy czym pierwsza składowa plonu była skorelowana dodatnio a druga składowa plonu ujemnie. Zgodnie z interpretacją znaczenia składowych głównych, można uznać, że te dwie składowe plonu miały największy udział w łącznej zmienności genotypowej wszystkich trzech składowych plonu, czyli relatywnie największą moc dyskryminacyjną dla rodów w miejscowościach Dębina i Laski. Z drugą składową główną (PC2) silnie dodatnio była skorelowana MTZ, wykazując przez to relatywnie mniejszą moc dyskryminacyjną. W miejscowości Sobiejuchy z pierwszą składową główną (PC1)

najsilniej była skorelowana średnia liczba ziaren w kłosie (o relatywnie największej mocy dyskryminacyjnej dla rodów), a z drugą składową (PC2) silnie skorelowane były liczba kłosów na m² (ujemnie) i MTZ (dodatnio). Jest faktem godnym wyraźnego podkreślenia, że właśnie składowe plonu o relatywnie największej mocy dyskryminacyjnej (liczba kłosów na m² oraz średnia liczba ziaren w kłosie, w Dębinie i Laskach oraz tylko średnia liczba ziaren w kłosie, w Sobiejuchach) były określone za pomocą analizy ścieżek, jako wywierające największe dodatnie efekty bezpośrednie i ujemne efekty pośrednie (kompensacyjne) na genotypową zmienność plonu ziarna, czyli mające największe relatywne znaczenie w uwarunkowaniu zmienności plonu w populacji rodów (Mądry i in., 2007).

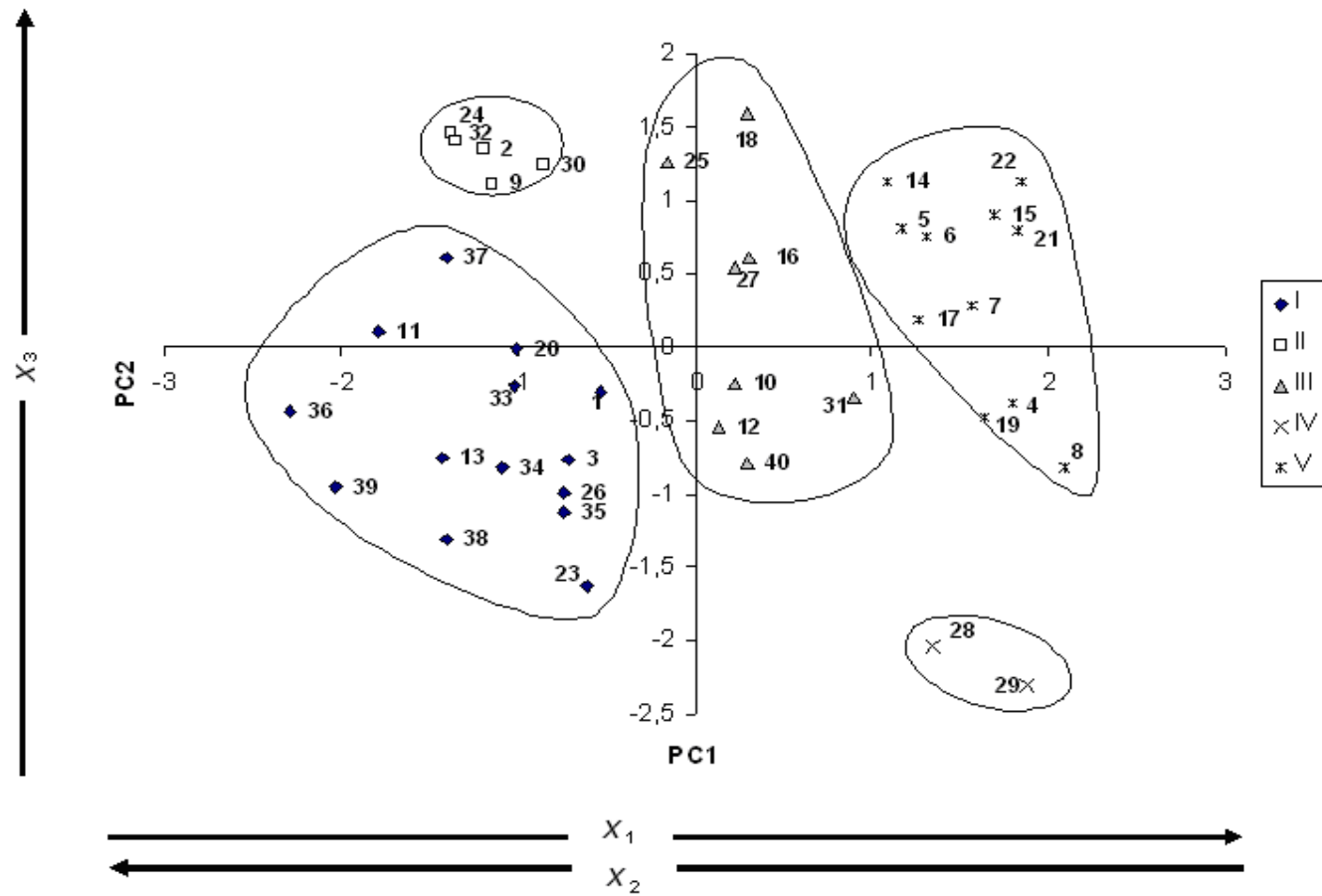
Na rysunkach 1–3 przedstawiono wartości dwóch pierwszych składowych głównych dla badanych rodów (oznaczonych numerami z tabeli 1) oraz zaznaczono ich przynależność do poszczególnych grup w każdej miejscowości. Wartości obu składowych głównych u rodów wskazują na relatywnie małe, umiarkowane lub wysokie wartości każdej ze składowych plonu, zgodnie z kierunkami ich silnego skorelowania z daną składową główną. Kierunki strzałek, pokazanych na rysunkach uwidaczniają rosnące wartości każdej składowej plonu. Ułatwiają one identyfikację relatywnego poziomu tych składowych u każdego rodu. Z powodu korelacji ujemnych (kompensacji) między składowymi plonu (Mądry i in., 2007), rody z relatywnie wyższymi wartościami jednych składowych plonu, odznaczają się jednocześnie relatywnie niższymi wartościami innych składowych (jest to ewidentne dla liczby kłosów na m² oraz średniej liczby ziaren w kłosie, w Dębinie i Laskach oraz dla liczby kłosów na m² i MTZ, w Sobiejuchach).

Informacje przedstawione na rysunkach 1–3 są zgodne z tymi, które podano w postaci średnich grupowych dla składowych plonu. Jednakże, te rysunki zawierają kompletne informacje w formie graficznej, dotyczące różnorodności rodów pod względem składowych plonu (nie tylko średnich grupowych, ale też relatywnego zróżnicowania rodów w obrębie grup jednorodnych) w każdej miejscowości, podobieństwa poszczególnych grup rodów oraz rozkładów częstości różnych kombinacji poziomów składowych plonu rodów, obrazujących mnogość ilościowych strategii formowania się plonu ziarna przez jego składowe u rodów hodowlanych w polskiej puli genowej pszenżyta ozimego, stanowiącej dorobek hodowli twórczej. Relatywnie niewielkie zróżnicowanie rozmieszczenia punktów dla rodów w każdej grupie obrazuje skuteczność analizy skupień w wydzieleniu grup rodów bardzo podobnych pod względem jednocześnie trzech składowych plonu. Skład jednorodnych grup rodów i ich odmienne relacje (relatywne podobieństwo pod względem trzech składowych plonu) w miejscowościach, przejrzysto obrazują charakter interakcji GE dla składowych plonu w obrębie badanych rodów, czyli odmienne zróżnicowania genotypów dla tych cech w różnych środowiskach. Przejawy interakcji GE, czyli nie jednakowe uporządkowanie plonu rodów w środowiskach można skojarzyć z nie jednakowym uporządkowaniem rodów w środowiskach pod względem składowych plonu.



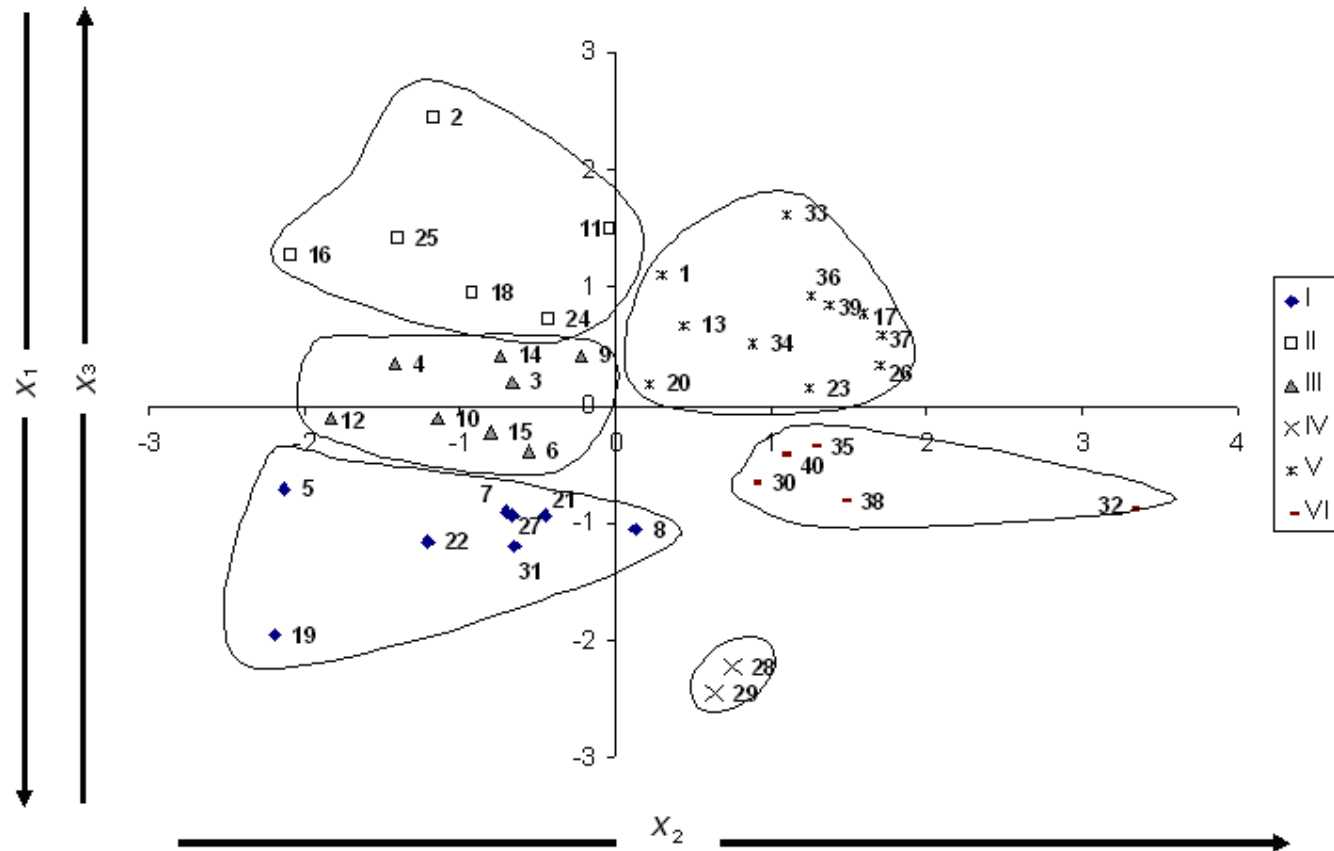
Rys. 1. Wartości dwóch pierwszych składowych głównych (PC1, PC2) dla rodów pszenżyta ozimego z podziałem na grupy wyodrębnione w analizie skupień w miejscowości Dębina

Fig. 1. Scores of the two first principal components (PC1, PC2) regarding winter triticale advanced lines assessed at Dębina, and clusters of similar lines for yield components



Rys. 2. Wartości dwóch pierwszych składowych głównych (PC1, PC2) dla rodów pszenżyta ozimego z podziałem na grupy wyodrębnione w analizie skupień w miejscowości Laski

Fig. 2. Scores of the two first principal components (PC1, PC2) regarding winter triticale advanced lines assessed at Laski, and clusters of similar lines for yield components



Rys. 3. Wartości dwóch pierwszych składowych głównych (PC1, PC2) dla rodów pszenżyta ozimego z podziałem na grupy wyodrębnione w analizie skupień w miejscowości Sobiejuchy
 Fig. 3. Scores of the two first principal components (PC1, PC2) regarding winter triticale advanced lines assessed at Sobiejuchy, and clusters of similar lines for yield components

To może sprzyjać lepszemu wyjaśnieniu uwarunkowania interakcji GE dla plonu ziarna pszenżyta ozimego przez ilościową strategię jego formowania się oraz wykorzystaniu tej interakcji w hodowli i uprawie tego zboża (Bidinger i in., 1987; Giunta i in., 1993; van Oosterom i in., 1993, 2003, 2006; Yan i Wallace, 1995; van Ginkel i in., 1998, Duggan i in. 2000, Epinat-Le Signor i in., 2001; Yan i Hunt, 2001; de la Vega i in., 2002; Lafitte i Courtois, 2002; Moragues i in., 2006; Dhungana i in., 2007; Dhungana i in., 2007; Gonzalez i in., 2007; Vargas i in., 2007).

PODSUMOWANIE

Uzyskane wyniki badań wskazują na dużą „plastyczność” trzech podstawowych składowych plonu pszenżyta ozimego, która przejawia się w postaci ujemnych współzależności między składowymi, jako rezultat ich kompensacji w trakcie ontogenezy i ilościowych strategii tworzenia plonu ziarna przez jego składowe. Ta plastyczność i tym samym strategię plonowania pszenżyta, są uwarunkowane zarówno genetycznie, jak i środowiskowo, podlegając równocześnie zjawisku interakcji GE. Może to utrudniać określenie ideotypu (ilościowej strategii formowania się plonu ziarna przez jego składowe) wysokoplonującego stabilnie genotypu pszenżyta ozimego (i innych zbóż), a tym samym przyjęcie jednoznacznych kryteriów selekcji, zwłaszcza w początkowych etapach hodowli, kiedy niemożliwa jest ocena plonu z jednostki powierzchni.

Badane rody pszenżyta ozimego wykazały względnie niewielką zmienność plonu ziarna, natomiast większe zróżnicowanie składowych plonu. Szczegółowa analiza ilościowych strategii plonowania, zwłaszcza rodów o najwyższym plonie, jest ważnym elementem ustalenia kryteriów selekcji dla badanego gatunku roślin. Z powodu kompensacji składowych plonu (Mądry i in., 2007) właściwa ocena zróżnicowania poziomu tych składowych w materiałach hodowlanych powinna być wielowymiarowa.

Stwierdzona w różnych środowiskach, duża różnorodność ilościowej strategii formowania się plonu ziarna pszenżyta ozimego przez jego składowe w obrębie badanych rodów hodowlanych oraz relatywnie wyższe wartości jednocześnie dwóch składowych, ukształtowanych przez wiele wysokoplonujących rodów, przy relatywnie niskim poziomie trzeciej składowej, stanowią empiryczne potwierdzenie hipotezy, że możliwe jest wytworzenie i trafny wybór w obrębie polskiej puli genowej pszenżyta ozimego takich genotypów, które plonują wysoko i stabilnie, nie tylko przez zrównoważony układ poziomów wszystkich trzech jego składowych, zgodnie z poglądami Yana i Wallace'a (1995), ale też przez dominowanie wartości jednocześnie dwóch, spośród trzech składowych. Rzadziej duży plon ziarna rodu był skutkiem wysokiego poziomu tylko jednej ze składowych plonu, przy relatywnie niskim poziomie innych dwóch składowych. Jednakże, takie przypadki były obserwowane w przeprowadzonych badaniach. Na uwagę zasługuje grupa rodów II w miejscowości Sobiejuchy o plonie ziarna znacznie powyżej średniej wszystkich badanych rodów. Rody w tej grupie wysoko plonowały dzięki bardzo wysokiej MTZ, przy jednocześnie relatywnie małej liczbie kłosów na jednostce powierzchni i średniej liczbie ziaren w kłosie, czyli składowych uważanych za kluczowe

dla osiągnięcia wysokiego plonu ziarna pszenżyta ozimego (Rozbicki, 1997; Giunta i in., 1999; Allaru i in., 2004; Mądry i in., 2007).

WNIOSKI

1. W każdym środowisku badane rody różnią się znacząco pod względem wartości składowych plonu, natomiast ich zmienność plonu ziarna jest relatywnie niewielka, z powodu kompensacji (ujemnej korelacji) głównie dwóch najważniejszych składowych plonu, tj. liczby kłosów na m² i średniej liczby ziaren w kłosie.
2. Ilościowe strategie formowania się plonu ziarna pszenżyta ozimego przez składowe plonu są uwarunkowane zarówno genetycznie, jak i środowiskowo, podlegając także interakcji GE, która może utrudniać wybór genotypu o szerokiej adaptacji we wcześniejszych pokoleniach na podstawie jednocześnie trzech składowych plonu.
3. Najwyższe plony ziarna rodów są najczęściej uwarunkowane przez relatywnie wysokie wartości jednocześnie dwóch składowych plonu, przy niezbyt dużej redukcji trzeciej składowej, nie zaś przez zrównoważony układ poziomów wszystkich trzech jego składowych, jak uważają Yan i Wallace (1995).
4. Dalsze badania nad agronomicznym znaczeniem różnorodności ilościowej strategii formowania się plonu ziarna u rodów hodowlanych pszenżyta ozimego i innych zbóż przez składowe plonu powinny być skupione na wykrywaniu związków między rodzajami reakcji plonowania rodów na warunki środowiskowe, a reakcją układu poziomów trzech głównych składowych plonu (ilościowej strategii formowania się plonu) i innych cech plonotwórczych na zmienne środowiska.

LITERATURA

- Abayomi, Y., Wright, D. 1999. Effects of water stress on growth and yield of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. *Trop. Agric.* 76: 120 — 125.
- Allaru M., Moller B., Hansen A. 2004. Triticale yield formation and quality influenced by different N fertilization regimes. *Agronomy Research* 2: 3 — 12.
- Anderson W. 1986. Some relationships between plant population, yield components and grain yield of wheat in a Mediterranean environment. *Aust. J. Agric. Res.* 37: 219 — 233.
- Annicchiarico P. 2002. Genotype × environment interactions: Challenges and opportunities for plant breeding and cultivar recommendations. *FAO Plant Production Protection Paper* 174. FAO, Rome.
- Annicchiarico P., Pecetti P. 1995. Morpho-physiological traits to complement grain yield selection under semi-arid Mediterranean conditions in each of the durum wheat types Mediterranean typical and syriacum. *Euphytica* 86: 191 — 198.
- Bidinger F. R., Mahalakshmi V., Rao G. D. P. 1987. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. I. Factors affecting yields under stress. *Aust. J. Agric. Res.* 38: 37 — 48.
- Ceccarelli S., Acevedo E., Grando S. 1991. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. *Euphytica* 56: 169 — 185.
- Chmielewski F., Kohn W. 2000. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. *Agric. Forest Meteorol.* 102: 253 — 261.
- Dhungana P., Eskridge K. M., Baenziger P. S., Campbell B. T., Gill K. S., Dweikat I. 2007. Analysis of genotype-by-environment interaction in wheat using a structural equation model and chromosome substitution lines. *Crop Sci.* 47: 477 — 484.

- de la Vega A. J., Hall A. J., Kroonenberg P. M. 2002. Investigating the physiological bases of predictable and unpredictable genotype by environment interactions using three-mode pattern analysis. *Field Crops Research* 78: 165 — 183.
- Dofing S. M., Knight C. W. 1992. Alternative model for path analysis of small-grain yield. *Crop Sci.* 32, 487 — 489.
- Duggan B. L., Domitruk D. R., Fowler D. B. 2000. Yield component variation in winter wheat grown under drought stress. *Can. J. Plant Sci.* 80: 739 — 745.
- Epinat-Le Signor C., Dousse S., Lorgeou J., Denis J. B., Bonhomme R., Carolo P., Charcosset A. 2001. Interpretation of genotype \times environment interactions for early maize hybrids over 12 years. *Crop Sci.* 41: 663 — 669.
- García del Moral L. F., Rharrabti Y., Elhani S., Martos V., Royo C. 2005. Yield formation in Mediterranean durum wheats under two contrasting water regimes based on path-coefficient analysis. *Euphytica* 146: 203 — 212.
- García del Moral, L. F., Ramos, J.M., García del Moral, B., Jimenez-Tejada, M.P., 1991. Ontogenic approach to grain production in spring barley based on path-coefficient analysis. *Crop Sci.* 31: 1179 — 1185.
- García del Moral, L. F., Rharrabti, Y., Villegas, D., Royo, C., 2003. Evaluation of grain yield and its components in durum wheat under Mediterranean conditions: an ontogenic approach. *Agron. J.* 95: 266 — 274.
- Giunta F., Motzo R., Deidda M. 1999. Grain yield analysis of a triticale (*x Triticosecale* Wittmack) collection grown in a Mediterranean environment. *Field Crops Research* 63: 199 — 210.
- Giunta, F., Motzo, R., Deidda, M. 1993. Effect of drought on yield and yield components of durum wheat and triticale in a Mediterranean environment. *Field Crops Res.* 33: 399 — 409.
- Gonzalez A., Martin I., Ayerbe L. 2007. Response of barley genotypes to terminal soil moisture stress: phenology, growth, and yield. *Aust. J. Agric. Res.* 58: 29 — 37.
- Khanna-Chopra R., Viswanathan C. 1999. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. *Euphytica* 106: 169 — 180.
- Krajewski P., Kaczmarek Z., Czajka S. 2006. EKSPLAN wersja 2. Planowanie i analiza statystyczna doświadczeń hodowlanych. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań.
- Lafitte H.R., Courtois B. 2002. Interpreting cultivar \times environment interactions for yield in upland rice: assigning value to drought-adaptive traits. *Crop Sci.* 42: 1409 — 1420.
- Leilah A. A., Al-Khateeb S. A. 2005. Statistical analysis of wheat yield under drought conditions. *J. Arid Environ.* 61: 483 — 496.
- Mądry W. 2004. Modele i metody statystyczne analizy interakcji genotypowo-środowiskowej, stabilności i adaptacji genotypów. *Post. Nauk Roln.* 2/ 308: 29 — 43.
- Mądry W., Gozdowski D., Rozbicki J., Pojmaj M., Samborski S. 2007. Związki między plonem ziarna a jego składowymi w populacji rodów hodowlanych pszenżyta ozimego w trzech stacjach doświadczalnych. *Biul. IHAR* (w druku).
- Mohammadi S.A., Prasanna.M. 2003. Analysis of genetic diversity in crop plants -salient statistical tools and considerations. *Crop Sci.* 43: 1235 — 1248.
- Moragues M., García del Moral L. F., Moralejo M., Royo C. 2006. Yield formation strategies of durum wheat landraces with distinct pattern of dispersal within the Mediterranean basin. I. Yield components. *Field Crops Res.* 95: 194 — 205.
- Motzo R., Giunta F., Deidda M. 2001. Factors affecting the genotype \times environment interaction in spring triticale grown in a Mediterranean condition. *Euphytica* 121: 317 — 324.
- Oettler G., Tams S. H., Utz H. F., Bauer E., Melchinger A. E. 2005. Prospects for hybrid breeding in winter triticale: I. Heterosis and combining ability for agronomic traits in European elite germplasm. *Crop Sci.* 45:1476–1482.
- Royo C., Voltas, J., Romagosa I. 1999. Remobilization of preanthesis assimilates to the grain for grain only and dual purpose (forage and grain) triticale. *Agron. J.* 91:312–316.
- Royo C., Álvaro F., Martos V., Ramdani A., Isidro J., Villegas D., García del Moral L. F. 2007. Genetic changes in durum wheat yield components and associated traits in Italian and Spanish varieties during the 20th century. *Euphytica* 155: 259 — 270.

- Rozbicki J. 1997. Agrotechniczne uwarunkowania wzrostu, rozwoju i plonowania pszenżyta ozimego. Fundacja "Rozwój SGGW".
- Santiveri F., Royo C., Romagosa I. 2002. Patterns of grain filling of spring and winter hexaploid triticales. *Eur. J. Agron.* 16: 219 — 230.
- SAS Institute. 2001. SAS system for Windows. v. 8.2. SAS Inst., Cary, NC.
- Simane, B., Struik, P. C., Nachit, M., Peacock, J. M., 1993. Ontogenic analysis of yield components and yield stability of durum wheat in water-limited environments. *Euphytica* 71: 211 — 219.
- van Ginkel M., Calhoun D. S., Gebeyehu G., Miranda A., Tian-you C., Pargas Lara R., Trethowan R. M., Sayre K., Crossa J., Rajaram S. 1998. Plant traits related to yield of wheat in early, late, or continuous drought conditions. *Euphytica* 100: 109–121.
- van Oosterom E. J., Bidinger F. R., Weltzien E. R. 2003. A yield architecture framework to explain adaptation of pearl millet to environmental stress. *Field Crops Research* 80: 33 — 56.
- van Oosterom E.J., Kleijn D., Ceccarelli S., Nachit M. M. 1993. Genotype-by-environment interactions of barley in the Mediterranean region. *Crop Sci.* 33: 669 — 674.
- van Oosterom E.J., Weltzien E., Yadav O. P., Bidinger F. R. 2006. Grain yield components of pearl millet under optimum conditions can be used to identify germplasm with adaptation to arid zones. *Field Crops Research* 96: 407 — 421.
- Vargas M., Crossa J., Reynolds M. P., Dhungana P., Eskridge K. M. 2007. Structural equation modelling for studying genotype \times environment interactions of physiological traits affecting yield in wheat. *J. Agric. Sci.* 145:151 — 161.
- Ward J. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 301, 236 — 244.
- Yan W., Hunt. L. A. 2001. Interpretation of genotype \times environment interaction for winter wheat yield in Ontario. *Crop Sci.* 41: 19–25.
- Yan W., Wallace D. H. 1995. Breeding for negatively associated traits. *Plant Breeding Reviews* 13: 141 — 177.
- Yoshihira T., Araki K., Nakatsukasa K. 2004. Growth characteristics of winter triticales in Hokkaido collected from various countries: I. Comparison of yields and related characteristics of promising varieties and low-yielding varieties. *Journal of Rakuno Gakuen University. Natural Science.* 28:233 — 244.
- Yoshihira T., Karasawa T, Nakatsuka K. 2002. Comparison of growth characteristics and yield components between high-yielding and low-yielding varieties of winter triticales in Hokkaido, Japan. *Journal of Rakuno Gakuen University. Natural Science,* 26: 327 — 337.

PODZIĘKOWANIE

Serdecznie dziękujemy byłym studentom V roku kierunku rolnictwo Wydziału Rolnictwa i Biologii SGGW w Warszawie i absolwentom Wydziału, Dariuszowi Nowastowskiemu, Krzysztofowi Królowi oraz Przemysławowi Piotrowskiemu za zebranie wyników badań w stacjach doświadczalnych i pomoc w ich opracowaniu.