

TADEUSZ DRZAZGA¹
PAWEŁ KRAJEWSKI²
TADEUSZ ŚMIAŁOWSKI³
EWA ŚMIAŁEK⁴

¹ Małopolska Hodowla Roślin HBP, Oddział Nasiona Kobierzyc

² Instytut Genetyki Roślin PAN w Poznaniu

³ Zakład Roślin Zbożowych IHAR Kraków

⁴ COBORU — Stacja Oceny Odmian Zybizsów

Ocena odmian pszenicy ozimej pod względem tolerancji na suszę*

Drought resistance assessment of winter wheat cultivars

Prognozy dla obszaru Polski przewidują pogłębianie się deficytu wody. Wpływ suszy na plon jako najważniejszego czynnika stresu środowiskowego będzie wzrastał i ograniczał plonowanie uprawianych gatunków. Wyniki analiz w oparciu o dane plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach porejestrowych — PDO wykazały brak odmian o podwyższonej tolerancji i odpornych na suszę w Rejestrze Odmian. Stąd potrzeba większego nacisku w pracach hodowlanych na selekcję odmian dostosowanych do warunków z często występującymi niedoborami wilgoci. Przedstawione wyniki pokazują, że w układzie doświadczeń przedrejestrowych wstępnych i porejestrowych — PDO występują środowiska o wysokiej intensywności stresu suszy, co pozwala hodowcom prowadzić bardziej skuteczną selekcję w kierunku odmian o podwyższonej odporności na suszę.

Słowa kluczowe: intensywność stresu, pszenica ozima, odporność na suszę

As the water deficit in the area of Poland is predicted to be increasing, the role of drought as the main stress factor will grow and will limit yields. Analyses done on the basis of the recommendation trials showed a lack of registered varieties tolerant to drought stress. Therefore, there is a need for more emphasis on selection of breeding material suited for conditions with frequent water deficits. The presented results show that in the system of pre- and post-registration trials there are locations characterized by a relative high stress index and therefore suitable for efficient selection of new varieties.

Key words: stress intensity, winter wheat, resistance to drought

* Badania współfinansowane przez Europejski Fundusz Rozwoju Regionalnego w ramach Programu Innowacyjna Gospodarka 2007–2013, projekt POLAPGEN-BD WND-POIG.01.03.01-00-101/08

WSTĘP

Susza jest najważniejszym stresem środowiskowym w rolnictwie na całym świecie. Stąd, poprawa potencjału i stabilności plonowania w warunkach deficytu wody jest jednym z głównych celów hodowli roślin (Cattivelli i in., 2008). Złożoność uwarunkowania odporności i tolerancji genotypów na suszę oraz interakcja genotypowo-środowiskowa (GE) utrudnia selekcję odmian odpornych na suszę. W szczególności, wyższa wartość wariancji interakcji GE od wariancji genotypowej dla plonu świadczy o dużych różnicach w reakcji badanych genotypów na warunki środowiska, co ogranicza skuteczność selekcji i postęp genetyczny (Cooper i in., 1999; Verulkar i in., 2010). W takiej sytuacji program hodowli musi ujmować selekcję odmian o wąskiej adaptacji, przy czym podział rejonu produkcji na homogeniczne podstrefy o takiej samej rekomendacji odmian może odbyć się na podstawie znajomości rozkładu głównych czynników stresu (Bänziger i Cooper, 2001; Padi, 2004). W przypadku gdy wariancja GE jest mniejsza niż wariancja genotypowa, znaczenie hodowli odmian o wąskiej adaptacji zmniejsza się.

Efektywność hodowli zależy od posiadania skutecznej i zintegrowanej sieci miejscowości do szybkiej oceny linii hodowlanych w różnych warunkach środowiskowych. Zdefiniowanie zestawu środowisk, ich przestrzennej i czasowej zmienności, poznanie interakcji odmian ze środowiskiem pozwala na dostosowanie programu hodowlanego do produktywności danego obszaru (Heinemann i in., 2008).

Celem pracy było poznanie intensywności stresu występującego w warunkach stacji prowadzących doświadczenia przed i porejestrowe z pszenicą ozimą oraz ocena podatności badanych odmian na stres.

MATERIAŁ I METODY

W przedstawionych badaniach wzięto pod uwagę serie doświadczeń przedrejestrowych — wstępnych z rodami pszenicy ozimej pochodzącymi z różnych ośrodków hodowlanych w Polsce oraz serie porejestrowych doświadczeń odmianowych (PDO). Doświadczenia wstępne przeprowadzono w latach 2001–2010. Liczba rodów badanych w poszczególnych latach była różna, od 56 do 86; liczba miejscowości w latach wynosiła 7 lub 8. Doświadczenia były zakładane w układzie bloków niekompletnych w 3 lub 4 powtórzeniach. Z serii doświadczeń PDO wykorzystano wyniki plonowania odmian pszenicy ozimej badanych w latach 2005–2009. Doświadczenia należały do tzw. serii L (z szerokim doбором odmian ustalonym przez specjalistów COBORU) i były przeprowadzone na dwóch poziomach agrotechnicznych: A1 i A2. Poziom A1 (przeciętny) nie obejmuje zabiegów ochronnych, prowadzi się w nim standardowe nawożenie stosowane w warunkach danej stacji-punktu doświadczalnego. Na poziomie A2 (intensywnym) stosuje się zwiększone nawożenie azotowe o 40 kg/ha w porównaniu do poziomu A1 oraz ochronę przed chorobami i wyleganiem. Pozostałe zabiegi uprawowe i pielęgnacyjne są takie same dla obu poziomów agrotechnicznych. Liczba badanych odmian w latach była różna, od 36 do 41, natomiast liczba miejscowości w kolejnych latach wynosiła 21 lub 22. Doświadczenia zakładano w układzie split-block o blokach niekompletnych.

W ramach każdej jednorocznej serii doświadczeń, obserwacje z każdego doświadczenia analizowano oddzielnie za pomocą analizy wariancji w modelu uwzględniającym losowe efekty genotypów i bloków niekompletnych, oceniając wartości średnie dla odmian. Intensywność stresu D dla każdego ze środowisk wchodzących w skład serii była obliczona 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 (Padi, 2004; Sinebo i in., 2002). Założono więc, że środowisko o najwyższym średnim plonie traktowane może być jako względnie „bezsstresowe”. Do oceny podatności odmian na stres w każdym ze środowisk wykorzystano indeks zaproponowany przez Fischera i Maurera (1978) postaci:

$$S = \frac{1 - \frac{Y}{Y_p}}{D}$$

gdzie: Y oznacza średni plon odmiany w danym środowisku, zaś Y_p średni plon odmiany w warunkach „bezsstresowych”; odmiany scharakteryzowano poprzez wartości średnie indeksu S dla wszystkich środowisk w serii jednorocznej doświadczeń. Na podstawie otrzymanych wartości S badane rody i odmiany pszenicy ozimej sklasyfikowano według następujących kryteriów:

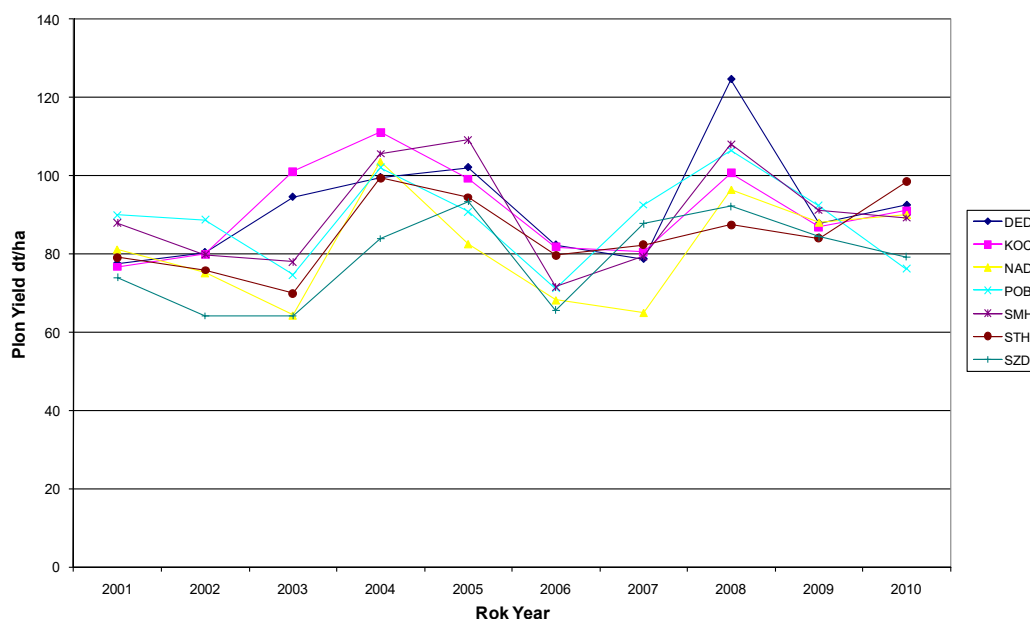
- $S < 0,50$ — wysoka tolerancja,
- $S > 0,50$ — 1,00 umiarkowana tolerancja,
- $S > 1,00$ — mała tolerancja.

WYNIKI I DYSKUSJA

Średnie plonowanie badanych rodów pszenicy w seriach doświadczeń wstępnych było zmienne w latach i wahało się od 74 q/ha w roku 2006 do 102 q/ha w roku 2008 (rys. 1). Najwyższe średnie ogólne plonu z doświadczeń otrzymano dla stacji DED (92 q/ha), KOC (91 q/ha), SMH (90 q/ha), a najniższe w warunkach stacji SZD (79 q/ha) i NAD (81 q/ha). Rekordowe plony świadczące o potencjale plonowania pszenicy ozimej w warunkach Polski uzyskano w sezonie 2007/2008 w stacji DED — Dębina. Średnia ogólna z tego doświadczenia wyniosła 125 q/ha, najlepsze rody uzyskały plon na poziomie 147 q/ha i 143 q/ha.

W warunkach Polski rozkład opadów w ciągu roku jest nierównomierny i można je podzielić na dwa okresy (tab. 1, rys. 2). Pierwszy okres od września do kwietnia charakteryzuje się nieco obniżonymi opadami, okres od maja do sierpnia — podwyższonymi opadami. Wielkości opadów występujące w miesiącach listopad, luty, marzec, kwiecień i maj w warunkach tych stacji były zbliżone, w pozostałych miesiącach poziom opadów był bardziej zróżnicowany. Opady występujące w okresie listopad — marzec stanowią rezerwuwar wilgoci dla rozwoju roślin w okresie wiosennym i ich wielkość w dużej mierze decyduje o poziomie plonowania zbóż ozimych. W warunkach miejscowości zakładających doświadczenia wstępne z pszenicą ozimą, najwyższe zapasy wody z

zimowego okresu występują w stacji KOC — Kobierzyce (196 mm), STH — Strzelce (191 mm), najniższe w POB — Polanowice (138 mm), DED — Dębina (145 mm) oraz SZD — Szelejewo (149 mm). Wykorzystanie tej wody przez rośliny zależy w dużej mierze od właściwości fizyko-chemicznych gleby. Bardzo duże zróżnicowanie opadów występuje w czerwcu. Miejscowości leżące w Pasie Wielkich Dolin, tj. NAD, SMH, STH i SZD, charakteryzują się najniższymi opadami. W warunkach Szelejewa problem niedoboru wody dotyczy również następnego miesiąca lipca.



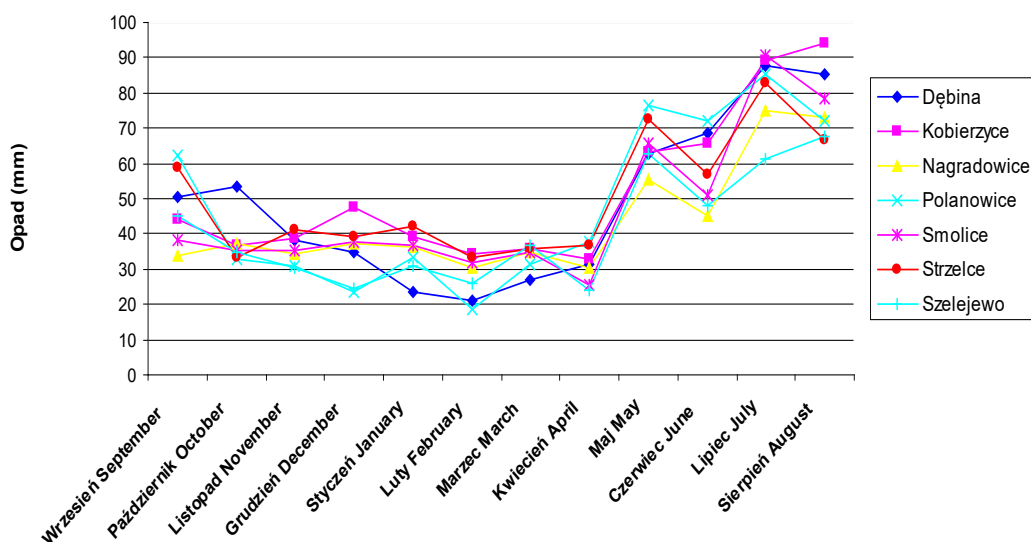
Rys. 1. Plonowanie rodów pszenicy ozimej w siedmiu lokalizacjach w seriach doświadczeń wstępnych w latach 2001–2010

Fig. 1. Yield of winter wheat in seven locations in the series of pre-registration trials in the years 2001–2010

Tabela 1

Roczna suma opadów za okres 2001–2010 w warunkach stacji prowadzących doświadczenia wstępne z pszenicą ozimą
Total yearly precipitation in 2001–2010 at locations included in series of winter wheat pre-registration trials

Miesiąc Month	Stacja — Station						
	DED	KOC	NAD	POB	SMH	STH	SZD
Suma opadów (XI–III) (mm) Sum of rainfall	145	196	173	138	176	191	149
Roczna suma opadów (mm) Annual rainfall	585	622	523	576	562	560	492



Rys. 2. Średnia miesięczna opadów dla stacji biorących udział w seriach doświadczeń wstępnych z pszenica ozimą, lata 2001–2010

Fig. 2. Monthly precipitation at locations included in series of winter wheat pre-registration trials in the years 2001–2010

Największe zróżnicowanie średniej ogólnej plonu z doświadczeń dotyczy sezonu 2002/2003. Dla tego sezonu uzyskano też najwyższe wartości indeksu stresu D (tab. 2).

Tabela 2
Wartości indeksu intensywności stresu *D* dla środowisk, w których prowadzono doświadczenia wstępne z pszenicą ozimą w latach 2001–2010
Stress index *D* values for locations included in series of winter wheat pre-registration trials in the years 2001–2010

Środowisko Environment	Rok Year	Intensywność stresu <i>D</i> Stress intensity <i>D</i>									
		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
DED		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
KOC		0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,1
NAD		0,1	0,2	0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2	0,0	0,1
POB		0,0	0,0	0,3	0,1	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,2
SMH		0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1
STH		0,1	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,0
SZD		0,2	0,3	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1	0,3	0,1	0,2

Do miejscowości o średnio najwyższym indeksie stresu należy zaliczyć stacje SZD — Szelejewo oraz NAD — Nagradowice. Ogólnie jednak należy stwierdzić, że wartości indeksu stresu dla środowisk, w których zakłada się doświadczenia wstępne, są niskie. Wynika to z małej zmienności średnich plonów z doświadczeń i skutkuje to mniejszą presją selekcyjną tych środowisk. Z uwagi na to, że metodyka tych doświadczeń dotyczy

testowania wyłącznie na poziomie A₁, ocena stresu ujmuje wpływ efektów współdziałania czynników biotycznych (porażenie grzybami i szkodnikami) i abiotycznych (deficyt wody, wysoka temperatura, odczyn gleby). W analizowanym okresie w warunkach miejscowości Szelejewo i NAGRADOWICE, z uwagi na dużą częstotliwość występowania niedoborów wody, wystąpiła najwyższa presja selekcyjna w kierunku form odpornych na suszę. Ścisła ocena stopnia podatności na suszę wymagałaby jednak włączenia do serii dodatkowych doświadczeń z nawadnianiem (Reynolds i in., 2007, Verulkar. i in., 2010).

Tabela 3

Wartości indeksu stresu D dla środowisk, w których prowadzono doświadczenia PDO z pszenicą ozimą w latach 2005–2009 (wyniki na podstawie plonów uzyskanych na poziomie agrotechniki A₂)
Stress index D values for locations included in series of winter wheat post-registration trials (years 2005–2009, on the basis of data concerning protection level A₂)

Środowisko Environment	Rok Year	Intensywność stresu D ^{a)} Stress intensity D ^{a)}				
		2005	2006	2007	2008	2009
Cieibór		0,3	0,5	0,2	0,0	0,2
Czesławice		0,1	0,2	0,2	0,0	0,2
Głębokie		0,3	0,4	0,4	0,3	0,1
Głubczyce		0,1	<u>0,0</u>	0,0	0,1	0,1
Kościelna Wieś		0,1	0,2	0,2	0,2	0,2
Krościna Mała		0,1	0,0	0,1	0,1	
Marianowo		0,2	0,4	0,4	0,2	0,3
Masłowice		0,3	0,3	0,3	0,4	0,3
Nowa Wieś Ujska		0,3	0,3	0,4	0,4	0,2
Pawłowice		0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
Radostowo		<u>0,0</u>	0,2	0,3	<u>0,0</u>	0,0
Rarwino			0,4	0,3	0,3	0,3
Rychliki		0,1	0,1	0,2	0,0	0,2
Seroczyn		0,1	0,1	0,2	0,2	0,1
Słupia		0,2	0,2	0,2	0,0	0,0
Świebodzin			0,2	0,3	0,1	<u>0,0</u>
Tarnów		0,4	0,2	0,3	0,3	0,3
Tomaszów Bol.		0,4	0,5	0,5	0,4	
Węgrzce		0,1	0,1	0,2	0,0	0,1
Wyczechy		0,2	0,2	0,5	0,3	0,2
Zadąbrowie		0,3	0,1	0,2	0,1	0,1
Zybiszów		0,2	0,3	<u>0,0</u>	0,0	0,2

^{a)} Czcionka pogrubiona — stacje wybrane do oceny podatności odmian na stres abiotyczny w ramach danego roku; czcionka pogrubiona podkreślona — stacja o najwyższej średniej ogólnej plonu w ramach serii

^{a)} Bold — locations chosen for assessment of susceptibility of varieties within given year; bold underlined — location with the highest mean yield in the series

Chcąc wyeliminować wpływ czynników biotycznych na stres, wykorzystano dane plonowania odmian pszenicy ozimej w doświadczeniach PDO na poziomie A₂ (tab. 4). Zastosowanie ochrony na tym poziomie agrotechnicznym pozwala na ograniczenie wpływu czynników biotycznych i w efekcie można założyć, że przeprowadzona ocena intensywności stresu dotyczyła efektów oddziaływania czynników abiotycznych (niedobór wilgoci, wysoka temperatura, odczyn gleby).

Tabela 4

Wartości indeksu podatności na stres abiotyczny *S* dla odmian testowanych w doświadczeniach PDO z pszenicą ozimą w latach 2005–2009 (wyniki na podstawie plonów uzyskanych na poziomie agrotechniki A2)
Susceptibility to abiotic stress index *S* values for varieties tested in post-registration trials (years 2005–2009, on the basis of data concerning protection level A2)

Odmiana Variety	Indeks podatności na stres (S) — Stress susceptibility index (S)					
	Rok Year	2005	2006	2007	2008	2009
1	2	3	4	5	6	7
Akteur				1,1	1,1	1,1
Alcazar			1,0	1,2	1,1	1,1
Anthus			1,1	1,2	1,1	1,2
Aristos	0,9		1,0			0,9
Batuta			1,0	1,2	1,0	1,1
Bogatka	0,9	1,0	0,9	1,2	1,1	1,0
Boomer			0,9	1,2	1,0	1,1
Dorota	1,2	1,1	1,2	1,2	0,6	1,0
Figura				1,2	1,0	1,1
Finezja	1,0	1,1	0,9	1,1	1,0	1,0
Flair	1,0	1,0	1,0	1,2	0,9	1,0
Fregata	0,9	1,0	0,7	1,3		1,0
Garantus				1,1	1,1	1,1
Jenga	1,0	1,1				1,1
Izyda					0,7	0,7
Kaja	0,9	1,0	0,9			0,9
Kobiera	1,2	1,0	1,0	1,3	0,9	1,1
Kobra Plus	1,2	1,1	1,0			1,1
Kohelia					1,1	1,1
Korweta	1,0	1,0				1,0
Kris	1,1	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0
Legenda		1,1	0,9	1,2	0,9	1,0
Ludwig			1,0	1,0	1,2	1,1
Markiza				1,2	1,1	1,1
Meteor				1,1	0,8	1,0
Mewa	0,9	1,1	0,9	1,2	1,0	1,0
Mikula	0,8	1,2				1,0
Mulan					1,1	1,1
Muszelka	0,9	1,0	0,9	1,2		1,0
Muza					1,1	1,1
Nadobna	1,0	1,1	1,1	1,2	0,9	1,1
Naridana			1,0	1,2	1,0	1,1
Nateja				1,0	0,8	0,9
Nutka	0,9	1,2	1,1	1,2	0,9	1,1
Olivin	1,1	1,1	0,9			1,0
Ostka_Strzelecka			1,1	1,3		1,2
Ostroga					0,9	0,9
Pegassos	1,0	1,1	1,0			1,0
Rapsodia	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1
Rubens	0,9	1,1	0,9			1,0
Rywalka	1,2	1,0	1,1	1,3	0,9	1,1
Sakwa	1,0	1,2	0,9	1,2		1,1
Satyna	0,9	1,0	0,9	1,1	0,9	1,0
Slade	1,0	1,1				1,0
Sława	1,1	1,0	1,1			1,1

1	2	3	4	5	6	7
Smuga	0,8	1,1	0,9	1,0	0,9	1,0
Soraja	0,9	1,2	0,9			1,0
Sukces	0,9	0,9	0,7	1,1	0,9	0,9
Symfonia	1,1	1,0	1,1			1,1
Tonacja	0,9	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0
Trend	1,0	1,0	0,9	1,1	1,1	1,0
Turkis			1,2	1,2	1,2	1,2
Turnia	1,1	0,9	1,0	1,2	0,9	1,0
Wydma		1,2	1,0	1,2	1,1	1,1
Zorza	0,9	1,0	1,0	1,2		1,0
Zawisza	1,0					1,0
Zyta	0,8	0,9	0,8	1,2	0,8	0,9

Do miejscowości o średnio najwyższym indeksie stresu należy zaliczyć stacje Cicibór, Głębokie, Masłowice, Nowa Wieś Ujska, Tomaszów Bol. i Wyczechy. Uzyskane wyższe wartości indeksu stresu w tych doświadczeniach w porównaniu do doświadczeń wstępnych to wynik większej zmienności średnich plonów z doświadczeń PDO spowodowany występowaniem bardziej zróżnicowanych warunków klimatyczno-glebowych w stacjach zakładających te doświadczenia. Doświadczenia te są prowadzone na kompleksach od pszennego bardzo dobrego do żytniego dobrego. Warunki glebowe doświadczeń wstępnych ograniczają się praktycznie do kompleksów: pszennego bardzo dobrego i dobrego, czyli o korzystnych warunkach wilgotnościowych dla rozwoju roślin.

Wyniki plonowania ze stacji o najwyższej wartości indeksu stresu w poszczególnych latach wykorzystano do oszacowania podatności badanych odmian na stres abiotyczny. Otrzymane wyniki świadczą o małej zmienności odmian pszenicy ozimej zarejestrowanych w Polsce pod względem odporności na ten stres. Odmiany wykazały się umiarkowaną tolerancją lub podatnością. Brak jest odmian odpornych. Biorąc pod uwagę powtarzalność tej oceny w latach, do grupy genotypów tolerujących suszę należy zaliczyć odmiany: Bogatka, Flair, Kaja, Kris, Muza, Rubens, Sukces, Trend, Zawisza i Zyta. Przy kurczących się zasobach wody i zmianach klimatycznych związanych z ociepleniem klimatu, prognozowanym pogłębieniem się deficytu wody dla obszarów Polski jest potrzeba ujęcia dodatkowych zadań w programie hodowlanym:

- poszukiwanie źródeł odporności na suszę oraz ich wstępna ocena przydatności dla podwyższenia plonu,
- równoczesne włączanie poprzez krzyżowanie innych cech, które są potencjalnie komplementarne,
- przyjęcie strategii krzyżowań pozwalające na kumulację korzystnych genów w oparciu o ocenę odziedziczalności tych cech oraz o korelację z plonem.

WNIOSKI

Z odmian zrejonizowanych w Polsce: Bogatka, Flair, Kaja, Kris, Muza, Rubens, Sukces, Trend, Zawisza i Zyta charakteryzują się niską tolerancją na stres suszy. W doborze odmian brak jest odmian o wysokiej tolerancji i odpornych na suszę.

LITERATURA

- Bänziger M., Cooper M. 2001. Breeding for low input conditions and consequences for participatory plant breeding: Examples from tropical maize and wheat. *Euphytica* 122: 503 — 519.
- Cattivelli L., Rizza F., Badeck F. W., Mazzucotelli E., Mastrangelo A. M., Francia E., Mare C. 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research* 105: 1 — 14.
- 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.
- Fischer R. A., Maurer R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. Part 1: Grain yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 29: 897 — 912.
- Heinemann A. B., Dingkuhn M., Luquet D., Combres J. C., Scott Chapman S. 2008. Characterization of drought stress environments for upland rice and maize in central Brazil. *Euphytica*. 162: 395 — 410.
- Padi F. K. 2004. Relationship between stress tolerance and grain yield stability in cowpea. *Journal of Agricultural Science* 142: 431 — 443.
- Reynolds M. P., Pierre C. S., Saad A. S. I., Vergas M., Condon A. G. 2007. Evaluating potential genetic gains in wheat associated with stress-adaptive trait expression in elite genetic resources under drought and heat stress. *Crop Sci.* 47 (S3): 172 — 189.
- Sinebo W., Gretzmacher R., Edelbauer A. 2002. Environment of selection for grain yield in low fertilizer input barley. *Field Crops Res.* 74: 151 — 162.
- 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.