

¹Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie,
ul. Akademicka 15, Lublin 20-950,

e-mail: krzysztof.kowalczyk@up.lublin.pl

²John Innes Centre, Norwich Research Park, Colney, Norwich NR4 7UH, UK

KRZYSZTOF KOWALCZYK¹, DANUTA MIAZGA¹,
ANTHONY J. WORLAND², AGNIESZKA JAKUBCZAK¹

**Pleiotropowe efekty genów *Ppd-A1* na plon i jego komponenty
w liniach rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej
(*Triticum aestivum* L.) cv. Mercia w warunkach Polski**

Pleiotropic effects of *Ppd-A1* gene on yield and its components in Mercia
recombinant lines of common wheat (*Triticum aestivum* L.) in Poland

Streszczenie. W pracy badano linie rekombinacyjne odmiany Mercia z genami niewrażliwości na fotoperiod (*Ppd-A1*) oraz formy kontrolne wrażliwe na długość dnia (*ppd-A1*). Doświadczenie przeprowadzono w Gospodarstwie Doświadczalnym w Czesławicach. Analizowano liczbę dni od 1 maja do pełni kłoszenia, wysokość roślin, liczbę kłosek w kłosie, liczbę ziarniaków w kłosie, ciężar ziarniaków z kłosa, masę 1000 ziarniaków, płodność kłoska, plon ziarna z poletka oraz oceniono porażenie przez choroby. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że geny *Ppd-A1* istotnie wpływały na przyspieszenie terminu kłoszenia roślin. W trzyletnich badaniach wykazano, że rośliny linii rekombinacyjnych, zawierających geny *Ppd-A1* były niższe w porównaniu z roślinami linii kontrolnych (*ppd-A1*). Wartości analizowanych cech ilościowych, a także porażenie przez choroby w liniach rekombinacyjnych oraz w formach kontrolnych były zbliżone.

Słowa kluczowe: pszenica zwyczajna, linie rekombinacyjne, geny *Ppd-A1*, komponenty plonu, liczba ziarniaków w kłosie, masa ziarniaków z kłosa, płodność kłoska, masa 1000 ziarniaków

WSTĘP

Wrażliwość na fotoperiod odgrywa istotną rolę w rozwoju pszenicy zwyczajnej (*Triticum aestivum* L.). W warunkach tropikalnych u pszenicy jarej długość okresu wegetacyjnego wynosi około 10 tygodni, a u fotoperiodycznie wrażliwej pszenicy ozimej w chłodnym klimacie europejskim rozszerzony jest prawie do całego roku [Worland i in. 1993].

Genetyczna kontrola niewrażliwości na fotoperiod jest uwarunkowana przez wiele genów znajdujących się na różnych chromosomach. Największy wpływ na ekspresję tej cechy mają geny *Ppd-A1*, *Ppd-B1* i *Ppd-D1* zlokalizowane na chromosomach 2 grupy homeologicznej [Welsh i in. 1973; Scarth i Law 1984; Worland i Law 1986; Worland i in. 1988; Snape i in. 2001]. Na wartość tych cech wpływają również geny zlokalizowane na innych chromosomach z pierwszej i szóstej grupy homeologicznej [Law 1998] oraz na 3D [Miura i Worland 1994] i 4B [Halloran i Boydel 1967].

Butterworth i in. [2001] badali w kontrolowanych warunkach linie rekombinacyjne odmiany Mercia zawierające geny niewrażliwości na fotoperiod *Ppd-A1*, *Ppd-B1* i *Ppd-D1*. Autorzy wykazali, że spośród analizowanych form najwcześniej kłosiły się i kwitły linie zawierające geny *Ppd-D1*. Linie rekombinacyjne zawierające geny *Ppd-A1* kłosiły się i kwitły później, a najpóźniej te fazy rozwoju osiągały linie zawierające geny *Ppd-B1*. Kowalczyk i in. [2006] w trzyletnich badaniach przeprowadzonych w Instytucie Genetyki i Hodowli Roślin AR w Lublinie wykazali, że geny *Ppd-B1* istotnie przyspieszały termin kłoszenia linii rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej cv. Mercia. Przyspieszenie terminu kłoszenia wynosiło od 1 do 2 dni. Miazga i in. [1993, 1995, 2001a, 2001b] stwierdzili, że w warunkach Polski geny *Ppd-D1* istotnie wpływały na przyspieszenie kłoszenia, redukowały wysokość roślin oraz niektóre elementy plonu. Na podstawie badań przeprowadzonych w Anglii [Worland i in. 1988, Butterworth i in. 2001], byłej Jugosławii [Worland i in. 1988, 1990], Niemczech [Börner i in. 1993; Worland i in. 1993] i Polsce [Miazga i in. 1993, 2001] nad liniami rekombinacyjnymi zawierającymi geny niewrażliwości na fotoperiod wynika, że plejotropowe efekty tych genów na termin kłoszenia i kwitnienia oraz inne elementy plonu zależą również od warunków środowiska. Celem pracy było określenie efektów plejotropowych genów niewrażliwości na fotoperiod (*Ppd-A1*) na plon i jego komponenty w liniach rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej cv. Mercia w warunkach Polski.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem pracy były linie rekombinacyjne odmiany Mercia z genami niewrażliwości na fotoperiod (*Ppd-A1*) oraz formy kontrolne wrażliwe na długość dnia (*ppd-A1*). Doświadczenie przeprowadzono w latach (2001/02, 2002/03, 2003/04) w Gospodarstwie Doświadczalnym w Czesławicach. Przedplonem była gorczyca biała. Nawożenie oraz uprawa były typowe dla pszenicy ozimej. We wrześniu każdego roku wysiewano ręcznie 250 ziarniaków na poletka pięciorzędowe o długości 1 m. Rozstawa rzędów wynosiła 20 cm. Doświadczenia zakładano w sześciu powtórzeniach. W okresie wzrostu i rozwoju roślin oceniono porażenie przez choroby oraz określono datę kłoszenia i na jej podstawie wyliczono liczbę dni, jaka upłynęła od 1 maja do pełni tej fazy. Porażenie przez rdzę brunatną oraz septoriozę liści i plew określono w dziewięciostopniowej skali COBORU (w której 9 oznacza brak porażenia, zaś 1 silne porażenie). Do szczegółowej analizy zbierano po 10 roślin z każdego poletka w fazie dojrzałości pełnej. Analizowano wysokość roślin, liczbę kłosek w kłosie, liczbę ziarniaków w kłosie, masę ziarniaków z kłosa, masę 1000 ziarniaków, płodność kłosa (liczba ziarniaków przypadających na jeden kłosek) oraz plon ziarna z poletka. Otrzymane wyniki opracowano statystycznie. Analizę wariancji przeprowadzono dla każdego roku oddzielnie, wykorzystując test F-Snedecora. W celu stwierdzenia istotności różnic pomiędzy obiektami zastosowano przedziały ufności Tukeya.

WYNIKI I DYSKUSJA

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że geny *Ppd-A1* wpływały na przyspieszenie terminu kłoszenia. We wszystkich latach badań stwierdzono istotną różnicę pomiędzy liniami rekombinacyjnymi w liczbie dni od 1 maja do pełni kłoszenia (tab. 1). Linie zawierające geny *Ppd-A1* kłosiły się wcześniej około 3 dni od form kontrolnych (*ppd-A1*). Butterworth i in. [2001] również wykazali, że linie rekombinacyjne odmiany Mercia zawierające geny *Ppd-A1* kłosiły się wcześniej o około 3 dni niż formy kontrolne. Kowalczyk i in. [2006] w trzyletnim doświadczeniu analizowali linie rekombinacyjne zawierające geny niewrażliwości na fotoperiod *Ppd-B1* oraz formy kontrolne (*ppd-B1*). Autorzy wykazali, że linie zawierające geny *Ppd-B1* kłosiły się istotnie wcześniej niż formy kontrolne. Przyspieszenie terminu kłoszenia wynosiło od 1 do 2 dni. Wielu autorów na podstawie doświadczeń przeprowadzonych nad liniami rekombinacyjnymi, substytucyjnymi, monosomicznymi i odmianami wykazało, że formy zawierające geny niewrażliwości na fotoperiod kłoszą się wcześniej niż formy z allelami *ppd* (wrażliwe na długość dnia) [Worland i Law 1986; Petrović i Worland 1988; Börner i in. 1993; Worland i in. 1990; Whitechurch i Slafer 2001].

W trzyletnich badaniach wykazano, że linie rekombinacyjne cv. Mercia zawierające geny *Ppd-A1* były niższe w porównaniu z kontrolą *ppd-A1*. Jednak istotne różnice pomiędzy liniami rekombinacyjnymi stwierdzono tylko w drugim roku badań (tab. 1). Kowalczyk i in. [2006] wykazali, że linie rekombinacyjne cv. Mercia zawierające geny *Ppd-B1* były niższe od form kontrolnych. Redukcja wysokości wynosiła od 1,8 cm w 2002 r. do 2,8 cm w 2003 r. Börner i in. [1993] badali w Niemczech linie Cappelle-Desprez (Mara 2D) i wykazali, że gen *Ppd-D1* także wpływał na redukcję wysokości roślin.

Analizując liczbę kłosek w kłosie, nie stwierdzono istotnych różnic pomiędzy liniami rekombinacyjnymi zawierającymi geny *Ppd-A1* i ich formami kontrolnymi (tab. 2). Kowalczyk i in. [2006] w trzyletnich badaniach nie wykazali istotnych różnic pod względem liczby kłosek w kłosie pomiędzy liniami rekombinacyjnymi 'Mercia' zawierającymi geny *Ppd-B1* oraz formami kontrolnymi (*ppd-B1*). Miazga i in. [1993; 1995] badali linie Cappelle-Desprez zawierające geny *Ppd-D1* i wykazali, że wykształciły one istotnie mniej kłosek w kłosie niż formy kontrolne. Zróżnicowane wartości tej cechy w latach badań w liniach rekombinacyjnych Cappelle-Desprez wykazali Börner i in. [1993] oraz Worland i in. [1993].

W trzyletnich badaniach analizowane linie rekombinacyjne z genami *Ppd-A1* nie różniły się istotnie od form kontrolnych (*ppd-A1*) pod względem liczby i masy ziarniaków z kłosa oraz płodności kłosa i masy 1000 ziarniaków. Pomiedzy latami badań pod względem tych cech obserwowano nieznaczne różnice (tab. 2). Podobne wyniki uzyskali Kowalczyk i in. [2006] dla linii rekombinacyjnych zawierających geny niewrażliwości na fotoperiod *Ppd-B1*. Worland i in. [1998] analizowali efekty plejotropowe genów *Ppd-D1* w liniach rekombinacyjnych Cappelle-Desprez (Mara 2D) i Cappelle-Desprez (Ciano 2D). Autorzy wykazali, że badane linie z genami *Ppd-D1* w Anglii charakteryzowały się wyższą płodnością kłosa. W Niemczech natomiast linie Cappelle-Desprez (Mara 2D) miały wyższą, a Cappelle-Desprez (Ciano 2D) nieznacznie niższą wartość tej cechy niż formy kontrolne. Miazga i in. [2001a, 2001b] badali linie rekombinacyjne różnych odmian zawierające geny niewrażliwości na fotoperiod i wykazali, że masa 1000 ziarniaków zależała głównie od roku badań. Worland i in. [1998] wykazali niekorzystne efekty plejotropowe

Tabela 1. Wartości analizowanych cech ilościowych oraz porażenie przez choroby linii rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej z różnymi allelami *Ppd-A1* (Czesławice 2002–2004)

Table 1. Values of quantitative traits and disease infestation in recombinant lines of common wheat with different *Ppd-A1* alleles (Czesławice 2002–2004)

Linia rekombinacyjna Recombinant line	Liczba dni od 1 maja do kłoszenia 1st May to ear emergence		Wysokość roślin Plant height cm		Plon ziarna z poletka Plot yield kg/m ²		Rdza brunatna Leaf rust g ^o		Septorioza liści Septoria leaf spot g ^o		Septorioza plew Septoria glume blotch g ^o				
	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003	2002	2003			
Mercia Ppd-A1	19,1*	27,2*	84,9	85,2*	0,65	0,67	0,58	7,4	7,2	6,0	4,8	4,5	4,8	5,5	
Mercia ppd-A1	21,8	30,4	33,0	87,4	87,4	90,0	89,3	0,61	0,65	0,62	7,2	6,6	5,5	4,5	5,3

* – istotne różnice pomiędzy analizowanymi liniami rekombinacyjnymi przy p = 0,05

* – significant differences between analysed recombinant lines at p = 0.05

Tabela 2. Wartości średnie analizowanych cech ilościowych linii rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej z różnymi allelami *Ppd-A1* (Czesławice 2002–2004)

Table 2. Values of quantitative traits in recombinant lines of common wheat with different *Ppd-A1* alleles (Czesławice 2002–2004)

Linia rekombinacyjna Recombinant line	Liczba kłosek w kłosie Number of spikelets in spike			Liczba ziarniaków w kłosie Number of kernels in spike			Masa ziarniaków z kłosa Weight of grains in spike g			Płodność kłosa Spikelet fertility			Masa 1000 ziarniaków 1000 grains weight g		
	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004	2002	2003	2004
Mercia Ppd-A1	19,8	17,2	17,4	43,6	44,7	48,3	2,02	2,24	2,33	2,20	2,60	2,77	46,5	50,0	48,2
Mercia ppd-A1	19,6	17,1	17,2	43,8	45,9	48,1	1,96	2,44	2,38	2,20	2,68	2,78	45,6	50,3	49,4

genów *Ppd-D1* pochodzących z odmian Mara i Ciano na wartość tej cechy w Anglii. Natomiast w Niemczech linie Cappelle-Desprez (Mara 2D) z genami *Ppd-D1* miały niższą, a Cappelle-Desprez (Ciano 2D) wyższą wartość tej cechy niż u form kontrolnych.

Plon ziarna z poletka linii rekombinacyjnych był zróżnicowany w zależności od roku badań. W latach 2002 i 2003 plon ziarna z poletka był nieco wyższy w liniach zawierających geny *Ppd-A1*. W trzecim roku badań wyższy plon ziarna z poletka stwierdzono w liniach wrażliwych na fotoperiod. Porównując linie rekombinacyjne zawierające geny *Ppd-A1* oraz ich formy kontrolne, nie stwierdzono istotnych różnic pod względem analizowanej cechy (tab. 1). Kowalczyk i in. [2006] analizowali linie rekombinacyjne zawierające geny *Ppd-B1* oraz formy kontrolne (*ppd-B1*). Autorzy wykazali, że linie niewrażliwe na fotoperiod miały wyższy plon ziarna z poletka. Różnice te były istotne w dwóch ostatnich latach badań. Börner i in. [1993] oraz Miazga i in. [1993; 1995; 2001a; 2001b] analizowali linie rekombinacyjne zawierające geny niewrażliwości na fotoperiod i stwierdzili zróżnicowaną wartość tej cechy w zależności od roku badań.

W przeprowadzonych badaniach nie wykazano zróżnicowania w porażeniu roślin badanych linii przez rdzę brunatną oraz septoriozę liści i plew (tab. 1). Kowalczyk i in. [2006] w trzyletnim doświadczeniu określili porażenie przez rdzę brunatną oraz septoriozę liści i plew w liniach rekombinacyjnych Mercia *Ppd-B1* i Mercia *ppd-B1*. Autorzy nie stwierdzili istotnych różnic pomiędzy liniami w porażeniu przez te choroby.

WNIOSKI

1. W analizowanych liniach rekombinacyjnych cv. Mercia geny *Ppd-A1* istotnie wpływały na przyspieszenie terminu kłoszenia.

2. Na podstawie przeprowadzonych badań wykazano, że linie rekombinacyjne zawierające geny *Ppd-A1* były niższe od form kontrolnych (*ppd-A1*). Jednak istotne różnice stwierdzono tylko w drugim roku badań.

3. Nie wykazano istotnych efektów plejotropowych genów *Ppd-A1* zarówno na wartości pozostałych analizowanych cech ilościowych, jak i na porażenie roślin przez rdzę brunatną oraz septoriozę liści i plew.

PIŚMIENNICTWO

- Börner A., Worland A.J., Plaschke J., Schumann E., Law C.N., 1993. Pleiotropic effects of genes for reduced height (Rht) and day-length insensitivity (Ppd) on yield and its components for wheat grown in Middle Europe. *Plant Breed.* 111, 204–216.
- Butterworth K., Reid A., Sayers L., Worland A.J., 2001. A comparison of the pleiotropic effects of photoperiod insensitive genes *Ppd-A1*, *Ppd-B1* and *Ppd-D1* in a Mercia winter wheat background. *Ann. Wheat Newsl.* 47, 230–231.
- Halloran G.M., Boydell C.W., 1967. Wheat chromosomes with genes for photoperiodic response. *Canad. J. Genet. Cytol.* 9, 394–398.
- Kowalczyk K., Miazga D., Worland A.J., Chrzastek M., Paczos-Grzęda E., Jakubczak A., 2006. Plejotropowe efekty genów *Ppd-B1* na plon i jego komponenty w liniach rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej cv. Mercia w warunkach Polski. *Acta Agroph.* 8 (3), 649–655.
- Law C.N., 1998. Genetic control of flowering in wheat – a personal view. Proc of the 10th EWAC Conference, Viterbo, Italy, EWAC Newsletter, 46–52.

- Miazga D., Worland A.J., Kowalczyk K., 1993. Plejotropowe efekty genów *Ppd1* i *Rht8* na chromosomie 2D pszenicy zwyczajnej. Zeszyty Probl. AR we Wrocławiu, 223, 223–228.
- Miazga D., Worland A.J., Kowalczyk K., 1995. Pleiotropic effects of *Rht* and *Ppd* genes on yield and its components in Poland. EWAC Newsletter. Proc. 9th EWAC Conference 1994, Gaterleben – Werningerode, 161–162.
- Miazga D., Worland A.J., Kowalczyk K., 2001a. Pleiotropic effects of *Ppd1* gene on yield and its components in recombinant lines of wheat in Poland. EWAC Newsletter. Proc. of the 11th EWAC Conf. Novosibirsk, Russia, 68–70.
- Miazga D., Worland A.J., Kowalczyk K., Chrzęstek M., Paczos E., 2001b. Plejotropowe efekty genu *Ppd1* w liniach rekombinacyjnych pszenicy zwyczajnej. Biuletyn IHAR, 218/219, 49–55.
- Miura H., Worland A.J. 1994., Genetic control of vernalisation and day length responses and earliness per se by the homeologous group 3 chromosomes in wheat. Plant Breed. 113, 160–169.
- Petrović S., Worland A.J., 1998. The use of reciprocal monosomic analysis to detect variation between certain chromosomes of the wheat varieties Bersée and Sava. Proc. of the 7th Int. Wheat Genet. Symp. Cambridge, England, 629–633.
- Scarth R., Law C.N., 1984. The Control of the Day-Length Response in Wheat by the Group 2 Chromosomes. Z. Pflanzenzuchtg. 92, 140–150.
- Snape J. W., Butterworth K., Whitechurch E., Worland A.J., 2001. Waiting for fine times: genetics of flowering time in wheat. Euphytica 119, 185–190.
- Welsh J.R., Keim D.L., Pirasteh B., Richarda R.D., 1973. Genetic control of photoperiod response in wheat. Proc. of 4th Int. Wheat Genet. Symp., Missouri, USA, 879–884.
- Whitechurch E.M., Slafer G.A., 2001. Responses to photoperiod before and after jointing in wheat substitution lines. Euphytica, 118, 47–51.
- Worland A.J., Law C.N., 1986. Genetic analysis of chromosome 2D of wheat. Z. Pflanzenzuchtg. 96, 331–345.
- Worland A.J., Börner A., Korzun V., Li W. M., Petrović S., Sayers E.J., 1998. The influence of photoperiodic genes on the adaptability of European winter wheats. Euphytica, 100, 385–394.
- Worland A.J., Law C.N., Börner A., Petrović S., 1993. The utilization of photoperiodic response genes in breeding winter wheat varieties adapted to specific European ecoclimatic conditions. Proc. of the 8th Int. Wheat Genet. Symp., Beijing, China, 1055–1060.
- Worland A.J., Law C.N., Petrović S., 1988. Pleiotropic effects of the chromosome 2D genes *Ppd1*, *Rht8* and *Yr16*. Proc. of the 7th Int. Wheat Genet. Symp. Cambridge, England, 669–674.
- Worland A.J., Law C.N., Petrović S., 1990. Height reducing genes and their importance to Yugoslavian winter varieties. „Savremena Poljoprivreda”, Zbornik, 38, 245–257.

Summary Recombinant lines cv. Mercia with day-length insensitive genes (*Ppd-A1*) and control lines day-length sensitive (*ppd-A1*) were investigated. Experiments were conducted at the Experimental Farm in Czesławice. Number of days from 1st May to full ear emergence, plant height, number of spikelets in spike, number of grains in spike, weight of grains in spike, 1000 grains weight, spikelet fertility, plot yield and disease resistance were investigated. *Ppd-A1* genes had a significant influence on acceleration of ear emergence in recombinant lines. Recombinant lines with *Ppd-A1* genes were shorter than control forms. Values of other quantitative traits in lines with *Ppd-A1* genes and their control form were similar.

Key words: common wheat, recombinant lines, *Ppd-B1* gene, yield components, number of kernels in spike, weight of grains in spike, spikelet fertility, 1000 grains weight