

Instytut Genetyki, Hodowli i Biotechnologii Roślin, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie  
ul. Akademicka 15, 20-950 Lublin  
e-mail: edyta.paczos@up.lublin.pl

EDYTA PACZOS-GRZĘDA, MICHAŁ NOWAK

### **Analiza elementów plonu mieszańców międzyodmianowych owsa o zredukowanej długości źdźbła**

---

Analysis of some quantitative traits of inter-cultivar hybrids of oat with reduced  
straw length

**Streszczenie.** Zjawisko wylegania uniemożliwia efektywną vegetację roślin, utrudnia zbiory, niekorzystnie wpływa na jakość ziarna czy użyteczność słomy i jest przyczyną strat w plonach. Najskuteczniejszą metodą ochrony przed wyleganiem jest stosowanie odmian z genami karłowatości. Dotychczas zidentyfikowane w owsie geny redukujące długość słomy nie są powszechnie wykorzystywane w programach hodowlanych ze względu na ich niekorzystne efekty plejotropowe w odniesieniu do plonu. Z uwagi na zalety wykorzystania u wielu gatunków zbóż genów karłowatości dąży się do identyfikacji podobnych mutantów w owsie i szczegółowo charakteryzuje potencjalne źródła zredukowanej długości słomy. Krzyżowanie odmian Bingo i Kanota z półkarłowatą odmianą Heyne Dwarf zostało przeprowadzone w celu określenia podłoża genetycznego zredukowanej długości źdźbła odmiany Heyne Dwarf. Analiza wysokości segregantów obu populacji wykazała, że zredukowana wysokość roślin odmiany Heyne Dwarf uwarunkowana jest poligenicznie, co ogranicza możliwość wykorzystania tej odmiany jako źródła półkarłowatości. Jednocześnie wykazano korzystny wpływ krzyżowania na pozostałe komponenty plonu roślin mieszańcowych pokolenia F<sub>2</sub> i możliwość selekcji materiałów wyjściowych do hodowli owsa.

**Słowa kluczowe:** *Avena sativa*, *Avena byzantina*, karłowatość, mieszańce międzyodmianowe

#### WSTĘP

Podstawowym celem hodowli zbóż, w tym również owsa, jest uzyskanie odmian wysokiej jakości, charakteryzujących się lepszą plennością oraz odpornością na stres biotyczny i abiotyczny, co skutkuje pozyskiwaniem zwiększonego plonu ziarna z jednostki powierzchni, niezależnie od zmiennych warunków środowiskowych. Problem stanowi zjawisko wylegania, które uniemożliwia efektywną vegetację roślin, utrudnia zbiory, ma niekorzystny wpływ na jakość ziarna, obniża użyteczność słomy i jest przyczyną strat ponoszonych w corocznych plonach [Marshall 1992, Sułek i in. 2005, Leszczyńska i in.

2007]. Zapobieganie wyleganiu polega na zastosowaniu retardantów, działających głównie poprzez blokowanie szlaku biosyntezy giberelin lub na uprawie odmian krótkosłomnych, odpornych na nadłamywanie i przewracanie [Rajala 2004]. W Polsce, ze względu na niedostateczną ilość badań i niejednorodną reakcję poszczególnych odmian owsa, wykorzystywanie retardantów w uprawie owsa nie jest zalecane [Rajala i Peltonen-Sainio, 2002, Maciorowski i in. 2006b]. Najskuteczniejszą metodą kontrolowania i ograniczania skutków wylegania jest wprowadzenie do uprawy odmian z genetycznie zredukowaną długością źdźbła [Nita 1999, Milach i Federizzi, 2001, Nita 2003]. Ponadto efektywna kontrola wylegania pozwala na zastosowanie wysokiego nawożenia azotem, co istotnie wpływa na plon ziarna [Maciorowski i in. 2006a]. Skrócenie źdźbła poprzez zastosowanie genów karłowatości u podstawowych gatunków zbóż, takich jak pszenica czy ryż uważa się za główny składnik postępu hodowlanego w drugiej połowie XX w. [Milach i Federizzi 2001].

U owsa zidentyfikowano nieliczne potencjalne źródła karłowatości. Mutacje te miały charakter recesywny lub dominujący. Gen *dw1* o charakterze recesywnym został rozpoznany u odmiany Victory jako odpowiadający za tzw. karłowatość trawiastą [Simons i in. 1978]. Dominujący *Dw2* zidentyfikowano u osobników potomnych mieszańców Winter Turf × Sixty Day [Simons i in. 1978]. Gen *dw3*, odpowiadający za karłowaty pokrój mieszańców Mindo × Landhafer oraz Aurora × Pringle Progress, wykazywał charakter recesywny [Górny 2005]. Gen *Dw4*, warunkujący półkarłowatość, zidentyfikowano w odmianach Trelle Dwarf oraz Scotland Club i opisano jako nie w pełni dominujący w przypadku pierwszej odmiany, recesywny zaś w przypadku drugiej [Patterson i in. 1963]. Gen *dw5* pojawił się w potomstwie mieszańców *A. barbata* × *A. strigosa* [Börner i in. 1996]. Dominujący gen *Dw6* uzyskano w efekcie indukowanej promieniowaniem mutacji [Brown i in. 1980]. *Dw6* umożliwia otrzymanie osobników o zredukowanej o 30–40% wysokości oraz zwiększonej odporności na wyleganie przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiego plonowania [Milach i Federizzi 2001, Reynolds i Borlaug 2006]. Częściowo dominujący gen *Dw7* redukuje wysokość roślin o około 50%, powodując skrócenie i eliminację międzywęźli [Milach i in. 2002]. Dominujący gen *Dw8* skraca międzywęźla, ograniczając długość słomy również o około 50% [Górny 2005]. W programach hodowlanych wykorzystywane są jedynie dwa geny: *Dw6* i *Dw7* [Milach i in. 2002], ale w odmianach występuje tylko gen *Dw6* wywodzący się z linii OT207. Umożliwia on otrzymanie osobników wykazujących dwie najbardziej pożądane w uprawie zbóż cechy: zwiększoną odporność na wyleganie wynikającą z ograniczenia wysokości oraz duże plonowanie. Niestety wysokość plonu w przypadku linii i odmian z genem *Dw6* zależy od warunków pogodowych, które mogą niekorzystnie wpłynąć na wysuwanie się wiechy z pochwy liściowej. Niepełne wysunięcie wiechy osłabia kwitnienie i dojrzewanie kłosek w obrębie dolnej części wiechy w pochwie liściowej, co skutkuje obniżeniem plonu [Milach i Federizzi 2001].

Poszukiwania kolejnych źródeł karłowatego wzrostu u owsa trwają nieprzerwanie od wielu lat, ale u roślin o zredukowanej wysokości identyfikuje się zazwyczaj podłoże poligeniczne, bardzo trudne do wykorzystania w pracach hodowlanych. Z uwagi na korzyści płynące z wykorzystania genów karłowatości w pszenicy i w pozostałych gatunkach zbóż dąży się do identyfikacji podobnych mutantów i szczegółowo charakteryzuje wszystkie potencjalne źródła zredukowanej długości słomy. Celem niniejszej pracy była analiza cech ilościowych dwóch kombinacji mieszańcowych będących efektem krzyżo-

wania wysokich odmian *A. sativa* Bingo oraz *A. byzantina* Kanota z odmianą Heyne Dwarf o zredukowanej długości źdźbła o nieznanym podłożu genetycznym.

#### MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań prowadzonych w roku 2015 były mieszańce międzyodmianowe pokoleń  $F_1$  i  $F_2$  owsa zwyczajnego uzyskane w wyniku krzyżowania wysokich odmian Bingo i Kanota oraz półkarłowej odmiany Hayne Dwarf.

Mieszańce  $F_1$ ,  $F_2$  oraz formy rodzicielskie wysiano na poletkach Gospodarstwa Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, w Czesławicach koło Nałęczowa na glebie brunatnej wytworzonej z lessu należącej do II klasy bonitacyjnej. Przedplonem były ziemniaki. Późną jesienią wykonano orkę głęboką. Wiosną zastosowano nawożenie mineralne w ilości 60 N kg·ha<sup>-1</sup>, 80 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> kg·ha<sup>-1</sup>, 100 K<sub>2</sub>O kg·ha<sup>-1</sup>. Siew punktowy wykonano ręcznie na przełomie marca i kwietnia. W rzędach długości 1 m wysiewano po 10 ziarniaków. Rozstawa rzędów wynosiła 20 cm. Z obu kombinacji mieszańcowych  $F_1$  (Bingo × Heyne Dwarf; B×HD) oraz (Kanota × Heyne Dwarf; K × HD) wysiano po 7 ziarniaków, a z  $F_2$  odpowiednio 110 oraz 200 ziarniaków uzyskanych z pojedynczych roślin  $F_1$ , a z form rodzicielskich po 40 ziarniaków. W początkowym okresie wegetacji przeprowadzono oprysk pielęgnacyjny Chwastoxem Trio, natomiast później chwasty usuwano ręcznie. W fazie strzelania w źdźbło przeprowadzono oprysk preparatem Karate-ZEON w celu zwalczania mszyc, skrzyplonek i wciornastków. Fenotypowanie przeprowadzono, poddając ocenie podstawowe walory rolnicze roślin w warunkach laboratoryjnych. Oceniono: wysokość, liczbę pędów produkcyjnych i niedogonów, długość wiechy, liczbę kłosek, liczbę i masę ziarniaków z wiechy. Obliczono MTZ i płodność kłosa.

Wyniki badań uzyskane dla cech plonotwórczych poddano analizie statystycznej. Do określenia istotności różnic pomiędzy średnimi grupowymi w układzie analizy wariancji zastosowano test Tukeya przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Oceniono również dopasowanie rozkładu każdej z cech w populacjach pokolenia  $F_2$  do rozkładu normalnego, wykorzystując test zgodności  $\chi^2$  przy poziomie istotności  $\alpha = 0,05$ . Przeprowadzono również analizę korelacji cech ( $\alpha = 0,05$ ), za istotne uznając wyniki dla  $p = <0,0001$ . Wszystkie analizy statystyczne wykonano, stosując oprogramowanie SAS 9.2 [SAS Institute Inc.].

#### WYNIKI

Ocenie fenotypowej poddano 10 roślin każdej z odmian rodzicielskich badanych kombinacji mieszańcowych: Kanota, Bingo i Heyne Dwarf, po 5 mieszańców  $F_1$ , a także odpowiednio 186 oraz 98 roślin  $F_2$  z populacji K × HD i B × HD. Odmiany mateczne Kanota i Bingo były istotnie wyższe od półkarłowej odmiany ojcowskiej Heyne Dwarf (tab. 1, 2). Analizowane mieszańce pokolenia  $F_1$  nie różniły się istotnie pod względem wysokości roślin odmian matecznych, ale mieszańce  $F_1$  K × HD były istotnie wyższe od formy ojcowskiej (tab. 1). W pokoleniu  $F_2$  obie analizowane kombinacje były istotnie wyższe od odmiany ojcowskiej Heyne Dwarf, przy czym mieszańce K × HD były również istotnie wyższe od odmiany matecznej Kanota. Wysokość roślin pokolenia  $F_2$  wahała się od 75 do 150 cm w populacji B × HD oraz od 91 do 155 cm w populacji K × HD

(tab. 1, 2). Odchylenie standardowe oszacowane dla wyników uzyskanych dla obu populacji na poziomie odpowiednio 14,2 oraz 12,4 wykazało dużą zmienność cechy. Oceniono również dopasowanie rozkładu cechy w populacjach pokolenia  $F_2$  do rozkładu normalnego, wykorzystując test zgodności  $\chi^2$  (tab. 3). W przypadku wysokości roślin wyniki przeprowadzonego testu potwierdziły normalny rozkład cechy.

Analizując liczbę pędów produkcyjnych i niedogonów, zaobserwowano istotne zmniejszenie liczby pędów produkcyjnych u mieszańców  $F_1$  kombinacji  $B \times HD$  w stosunku do formy matecznej (tab. 2). Zróżnicowanie tych cech u mieszańców  $F_2$  było bardzo duże i niekiedy liczba pędów produkcyjnych lub niedogonów wynosiła odpowiednio 20 lub nawet 25 w przypadku kombinacji  $K \times HD$  (tab. 1, 2). Obie cechy nie miały rozkładu normalnego (tab. 3).

Tabela 1. Analiza statystyczna cech ilościowych mieszańców pokolenia  $F_1$ ,  $F_2$  i form rodzicielskich kombinacji mieszańcowej Kanota  $\times$  Heyne Dwarf  
Table 1. Statistical analysis of quantitative traits of  $F_1$ ,  $F_2$  hybrids and parental forms of Kanota  $\times$  Heyne Dwarf crossing combination

Cecha Trait	Kanota	Heyne Dwarf	Kanota $\times$ Heyne Dwarf $F_1$	Kanota $\times$ Heyne Dwarf $F_2$			
				min	max	średnia mean	odchylenie standardowe standard deviation
Wysokość roślin Plants height (cm)	115,7	82,2	128,0 <b>b</b>	91,0	155,0	128,8 <b>b</b>	12,4
Liczba pędów produkcyjnych Productive tillering	5,1	4,0	6,0	1,0	15,0	5,2	2,5
Liczba niedogonów Unproductive tillering	3,3	2,4	3,0	1,0	25,0	6,0	3,2
Długość wiechy Panicle length (cm)	22,0	15,0	20,0 <b>b</b>	10,0	31,0	21,6 <b>b</b>	3,3
Liczba kłosek Number of spikelets	27,4	15,4	30,0	9,0	58,0	31,2	9,0
Liczba ziarniaków Number of kernels	48,0	19,0	71,0 <b>b</b>	13,0	142,0	72,8 <b>b</b>	24,6
Masa ziarniaków Weight of kernels (g)	1,51	0,48	2,5 <b>b</b>	0,4	3,9	2,2 <b>b</b>	0,8
MTZ 1000 kernels weight (g)	31,8	25,2	35,2 <b>b</b>	18,5	42,4	30,4 <b>b</b>	7,3
Płodność kłoska Fertility of spikelet	1,7	1,2	2,4 <b>b</b>	0,7	4,3	2,3 <b>b</b>	0,5

a – istotne różnice przy  $p = 0,05$  pomiędzy analizowanym mieszańcem a odmianą mateczną/ significant differences at  $p = 0.05$  between hybrids and maternal cultivars

b – istotne różnice przy  $p = 0,05$  pomiędzy analizowanym mieszańcem a odmianą ojcowską/ significant differences at  $p = 0.05$  between hybrids and paternal cultivars

Tabela 2. Analiza statystyczna cech ilościowych mieszańców pokolenia F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> i form rodzicielskich kombinacji mieszańcowej Bingo × Heyne Dwarf  
 Table 2. Statistical analysis of quantitative traits of F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> hybrids and parental forms of Bingo × Heyne Dwarf crossing combination

Cecha Trait	Bingo	Heyne Dwarf	Bingo × Heyne Dwarf F <sub>1</sub>	Bingo × Heyne Dwarf F <sub>2</sub>			
				min	max	średnia mean	odchylenie standardowe standard deviation
Wysokość roślin Plants height (cm)	105,5	82,2	98,0	75,0	150,0	124,5 <sup>ab</sup>	14,2
Liczba pędów produkcyjnych Productive tillering	8,1	4,0	2,0 <sup>a</sup>	1,0	20,0	5,1	2,8
Liczba niedogonów Unproductive tillering	3,4	2,4	2,0	0,0	19,0	4,2	3,3
Długość wiechy Panicle length (cm)	19,2	15,0	16,0 <sup>a</sup>	9,0	30,0	20,5 <sup>b</sup>	3,8
Liczba kłosek Number of spikelets	24,6	15,4	29,0	11,0	104,0	46,7 <sup>b</sup>	17,1
Liczba ziarniaków Number of kernels	67,0	19,0	60,0 <sup>b</sup>	17,0	269,0	100,9 <sup>b</sup>	46,8
Masa ziarniaków Weight of kernels (g)	2,69	0,48	2,3 <sup>b</sup>	0,1	8,9	3,7 <sup>b</sup>	1,7
MTZ 1000 kernels weight (g)	41,4	25,2	38,3 <sup>b</sup>	20,6	47,3	36,2 <sup>b</sup>	4,3
Płodność kłosa Fertility of spikelet	2,8	1,2	2,1 <sup>ab</sup>	0,4	3,0	2,1 <sup>ab</sup>	0,5

a – istotne różnice przy p = 0,05 pomiędzy analizowanym mieszańcem a odmianą mateczną/ significant differences at p = 0.05 between hybrids and maternal cultivars

b – istotne różnice przy p = 0,05 pomiędzy analizowanym mieszańcem a odmianą ojcowską/ significant differences at p = 0.05 between hybrids and paternal cultivars

W pokoleniu F<sub>1</sub> kombinacja K × HD charakteryzowała się istotnie dłuższą wiechą aniżeli odmiana ojcowska, a B × HD istotnie krótszą niż odmiana mateczna (tab. 1, 2). W pokoleniu F<sub>2</sub> zróżnicowanie tej cechy w obu kombinacjach mieszańcowych było bardzo duże. W kombinacji B × HD najkrótsza wiecha miała długość 9 cm, najdłuższa zaś 30 cm. W populacji K × HD długość wiechy wynosiła od 10 do 31 cm. Średnie wartości dla obu populacji nie różniły się istotnie od odmian matecznych, ale wiechy mieszańców F<sub>2</sub> były istotnie dłuższe aniżeli wiechy odmiany Heyne Dwarf. Efekt transgresji był widoczny również w przypadku tej cechy. Nie stwierdzono normalnego rozkładu cechy (tab. 3).

Wszystkie mieszańce charakteryzowały się większą liczbą kłosek w wieszce głównej w porównaniu z odmianami rodzicielskimi, ale tylko w przypadku kombinacji B × HD pokolenia F<sub>1</sub> różnica ta była istotna w porównaniu z odmianą Heyne Dwarf (tab. 1, 2). Cecha ta była bardzo zróżnicowana w pokoleniu F<sub>2</sub>, miała rozkład normalny

oraz wysokie odchylenie standardowe (tab. 4). W pokoleniu  $F_2$  kombinacji  $B \times HD$  liczba kłosek wynosiła od 11 do 104, przyjmując średnio wartość 46,7. Z kolei u mieszańców  $K \times HD$  na pojedynczą wiechę przypadało średnio 31 kłosek, od 9 do 58. W obu kombinacjach obserwowano formy transgresywne (tab. 1, 2).

Tabela 3. Dopasowanie rozkładu cech w populacjach pokolenia  $F_2$  do rozkładu normalnego z wykorzystaniem testu  $\chi^2$

Table 3. Fitting of traits distribution in  $F_2$  populations to a normal distribution using the  $\chi^2$  test

Populacja/Cecha Population/Trait	Wysokość roślin Plants height	Liczba pędów produkcyj- nych Productive tillering	Liczba niedogonów Unproductive tillering	Długość wiechy Panicle length	Liczba kłosek Number of spike- lets	Liczba ziarniaków Number of kernels	Masa ziarniaków Weight of kernels	MTZ 1000 kernels weight	Płodność kłosek Fertility of spikelet
Bingo $\times$ Heyne Dwarf	+	-	-	-	+	+	+	-	-
Kanota $\times$ Heyne Dwarf	+	-	-	-	+	+	+	-	-

+ -  $\alpha = 0,05$ ,  $p > 0,05$  – dopasowanie do rozkładu normalnego/ fit to a normal distribution

--  $\alpha = 0,05$ ,  $p < 0,0001$  – brak dopasowania do rozkładu normalnego/ mismatch to a normal distribution

Konsekwencją zróżnicowania liczby kłosek było zróżnicowanie liczby ziarniaków oraz masy ziarniaków w wieszce (tab. 1, 2). Rozkład obu cech w oparciu o wynik testu  $\chi^2$  odpowiadał rozkładowi normalnemu (tab. 3). Liczba ziarniaków była istotnie wyższa u wszystkich mieszańców w porównaniu z Heyne Dwarf. Cecha ta charakteryzowała się największym odchyleniem standardowym i silną transgresją.

Spośród form rodzicielskich wykorzystanych do krzyżowań największą masą ziarniaków charakteryzowała się odmiana Bingo, najmniejszą zaś Heyne Dwarf (tab. 1, 2). Masa ziarniaków zebranych z wiechy głównej u mieszańców  $F_1$  i  $F_2$  była istotnie większa aniżeli u odmiany Heyne Dwarf. U mieszańców średnia wartość tej cechy wyniosła 3,7 g w kombinacji  $B \times HD$  oraz 2,2 g u  $K \times HD$ , podczas gdy u segregantów wahała się w pierwszym przypadku od 0,1 do 8,9 g, a w drugim od 0,4 do 3,9 g. Cecha ta miała rozkład normalny (tab. 3).

Płodność kłosa mieszańców  $F_1$  i  $F_2$  różniła się istotnie od obu form rodzicielskich w przypadku kombinacji  $B \times HD$ , mieszańce  $K \times HD$  zaś miały istotnie wyższą płodność kłosa w porównaniu z formą ojcowską (tab. 1, 2). Cecha ta nie miała rozkładu normalnego, ale podobnie jak w przypadku pozostałych cech obserwowano formy transgresywne (tab. 3).

W prezentowanych badaniach zarówno mieszańce pokolenia  $F_1$ , jak i  $F_2$  charakteryzowały się istotnie większą masą tysiąca ziarniaków w porównaniu z odmianą ojcowską (tab. 1, 2). Masa tysiąca ziarniaków u mieszańców  $F_1$  była większa niż form matecznych, ale nie były to różnice statystycznie istotne. Cecha ta nie miała rozkładu normalnego, a większe zróżnicowanie obserwowano w przypadku kombinacji  $K \times HD$  (tab. 3).

Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że w obu badanych populacjach  $F_2$  wysokość roślin była pozytywnie skorelowana z długością wiechy ( $K \times HD - 0,529$ ,  $B \times HD - 0,777$ ), liczbą ( $K \times HD - 0,574$ ,  $B \times HD - 0,656$ ) oraz masą ziarniaków z wiechy ( $K \times HD - 0,564$ ,  $B \times HD - 0,691$ ). W przypadku kombinacji  $B \times HD$  stwierdzono również pozytywną korelację długości słomy z liczbą kłosek z wiechy (0,597) oraz płodnością kłosa (0,560).

#### DYSKUSJA

Z uwagi na brak w owsie dobrych źródeł karłowatości poszukiwane są nowe geny, które redukowałyby długość źdźbła, nie wpływając negatywnie na parametry plonu. Heyne Dwarf jest odmianą wyhodowaną w Kansas przed 1940 r. [Nielsen 1977]. Została wyselekcjonowana z potomstwa mieszańców Fulghum  $\times$  Bond. Fulghum to efekt selekcji z odmiany Red Rustproof, a Bond pochodzi z krzyżowania Gold Rain  $\times$  *A. sterilis*. Początkowo opisywana jako przynależąca do gatunku *A. sativa*, obecnie uważana jest za *A. byzantina*. Bingo jest polską odmianą *A. sativa* wyhodowaną w HR Strzelce i wprowadzoną do rejestru w roku 2009, z kolei Kanota to odmiana *A. byzantina*, wyhodowana również w Kansas, w roku 1919, która została wyselekcjonowana z Fulghum, powinna więc charakteryzować się dużym podobieństwem do Heyne Dwarf i zawierać podobne allele genów.

Polskie odmiany owsa w zależności od roku badań osiągają w doświadczeniach prowadzonych przez COBORU od 90 do 117 cm [Cyfert i in. 2005, Najewski i in. 2015]. W badaniach Paczos-Grzędę [2003] obejmujących analizę cech ilościowych u mieszańców międzygatunkowych *A. sativa*  $\times$  *A. sterilis* wysokość odmian *A. sativa* wynosiła od 93,5 cm do 109 cm. Z kolei w badaniach Paczos-Grzędę i in. [2005] dotyczących mieszańców *A. sativa*  $\times$  *A. byzantina* odmiany owsa zwyczajnego miały wysokość od 93,5 do 97,7 cm, zaś analizowany genotyp *A. byzantina* – 98,8 cm. Charakteryzując mieszańce międzyodmianowe, Okoń [2011] obserwowała wysokość odmian owsa w przedziale od 93,3 cm do 112,7 cm. W badaniach własnych wysokość odmian wyniosła odpowiednio 105 cm i 115 cm w przypadku Bingo oraz Kanota (tab. 1, 2). Reprezentująca gatunek *A. byzantina* odmiana Kanota w badaniach Milacha i in. [1997] osiągała wysokość od 90 do 110 cm. Odmiana ta występuje w banku genów PGRC w Kanadzie w czterech pozycjach, a jej charakterystyki wskazują na zróżnicowaną wysokość, od 110 do 135 cm w zależności od genotypu i lokalizacji doświadczenia ([http://pgrc3.agr.gc.ca/cgi-bin/npgs/html/acc\\_query.pl](http://pgrc3.agr.gc.ca/cgi-bin/npgs/html/acc_query.pl)). Półkarłowa odmiana Heyne Dwarf osiągnęła w badaniach własnych wysokość 82,2 cm. Odmiana ta w rekordach banku genów PGRC w Kanadzie figuruje w dwóch pozycjach i w dostępnych charakterystykach jej wysokość wynosi od 50 cm (CN 54455) (<http://pgrc3.agr.ca/cgi-bin/npgs/html/obs.pl?61577>) do 80 cm (CN 2895) (<http://pgrc3.agr.ca/cgi-bin/npgs/html/obs.pl?3371>). Do krzyżowań z odmianami Bingo i Kanota wykorzystano genotyp CN 2895.

Maciorowski i in. [2006a] z uwagi na brak danych literaturowych jednoznacznie klasyfikujących tradycyjne, półkarłowe i karłowe formy owsa zaproponowali własny podział, który przy przeciętnych warunkach pogodowych wg autorów powinien być następujący: formy tradycyjne – 90–120 cm, formy półkarłowe 70–90 cm i karłowe poniżej 70 cm. Według hodowców najbardziej pożądane są odmiany półkarłowe [Nita 2003].

Wysokość odmiany Heyne Dwarf klasyfikowałaby tę odmianę do form półkarłowych, pod względem wysokości najbardziej zbliżonych do ideotypu odmiany owsa.

Prowadzone przez kilka lat pomiary wysokości odmiany Heyne Dwarf na tle wielu polskich odmian owsa skłoniły do przeprowadzenia krzyżowań mających na celu identyfikację genetycznego podłoża zredukowanej długości słomy w tej odmianie. Mieszańce  $F_1$  uzyskane w wyniku krzyżowania wysokich odmian Bingo i Kanota z półkarłową odmianą Heyne Dwarf nie charakteryzowały się zredukowanym wzrostem, co pozwalało przypuszczać, że obniżona wysokość tej odmiany wynika z obecności recesywnego genu karłowatości. O ile jednak ocena wysokości mieszańców  $F_1$  mogła wskazywać na recesywny charakter dziedziczenia i nie wykluczała uwarunkowania monogenicznego, o tyle rozkład normalny cechy w pokoleniu  $F_2$  jednoznacznie wykluczył uwarunkowanie monogeniczne. Rozkład normalny cechy wskazuje, że wysokość warunkowana jest w odmianie Heyne Dwarf przez szereg genów o niewielkich sumujących się efektach, a w pokoleniu  $F_1$  kombinacji Kanota  $\times$  Heyne Dwarf dodatkowo ujawnił się efekt heterozygii. Z kolei wśród osobników pokolenia  $F_2$  obu kombinacji pojawiły się formy transgresywne, u których wartość cechy przekroczyła zakres zmienności form rodzicielskich. Dodatkowo potwierdza to fakt, że cecha ma charakter ilościowy i warunkowana jest przez geny kumulatywne.

Krzewienie produkcyjne mieszańców  $F_1$  kombinacji B  $\times$  HD uległo istotnemu zmniejszeniu w porównaniu z odmianą mateczną, a w przypadku K  $\times$  HD nie uległo zmianie, w przeciwieństwie do krzewienia nieprodukcyjnego, które zwiększyło się w obu kombinacjach, niemniej jednak były to zmiany nieistotne. Paczos-Grzęda i in. [2005] obserwowali wśród analizowanych mieszańców *A. sativa*  $\times$  *A. byzantina* istotnie zwiększone krzewienie produkcyjne jedynie w przypadku jednej z trzech analizowanych kombinacji mieszańcowych, w pozostałych kombinacjach krzewienie produkcyjne uległo zwiększeniu lub zmniejszeniu w odniesieniu do obu form rodzicielskich, ale nie były to różnice istotne. Maciorowski i in. [2006a] wykazali, że skrócenie słomy powoduje zwiększone krzewienie produkcyjne tylko przy zapewnieniu optymalnej agrotechniki. Brak optymalnych warunków stymuluje krzewienie nieprodukcyjne obniżające plonowanie roślin [Berry i in. 2003, Mäkela i in. 2004, Maciorowski i in. 2006a].

Skróceniu słomy bardzo często towarzyszy również skrócenie wiechy, szczególnie przy zastosowaniu genów *Dw6* czy *Dw7* [Milach i in. 2002]. W badaniach własnych długość wiechy głównej odmian matecznych wynosiła od 19,2 do 22 cm, a odmiany ojcowskiej zaledwie 15 cm. Średnia długość wiechy mieszańców osiągnęła odpowiednio 20,5 cm u B  $\times$  HD oraz 21,6 cm u K  $\times$  HD [tab. 1, 2]. W badaniach innych autorów długości wiech były zbliżone. U Okoń [2011] wartość tej cechy zawierała się w granicach od 18 cm do 22 cm, Chrzastek i in. [2006] od 17,8 do 21,5 cm, a Paczos-Grzęda i in. [2005] od 17,7 do 18,5 cm. Z kolei Maciorowski i in. [2006a] w liniach z genem karłowatości *Dw6* oszacował długość wiech na 12,5–16,1 cm. Niemniej jednak w cytowanych badaniach wiechy wysokiej odmiany kontrolnej Chwat były również stosunkowo krótkie – średnio 14,2 cm. W badaniach własnych wśród analizowanych roślin formy transgresywne obserwowano nie tylko w przypadku wysokości czy liczby pędów, ale również w odniesieniu do wszystkich analizowanych cech, także długości wiechy. W obu populacjach identyfikowano rośliny zarówno o bardzo krótkich (9–10 cm), jak i bardzo długich (30–31 cm) wiechach (tab. 1, 2).



Transgresja występuje najczęściej w populacjach mieszańców uzyskanych w wyniku krzyżowania linii wsobnych lub w mieszańcach międzygatunkowych. Transgresja jest zazwyczaj efektem działania genów komplementarnych. Rieseberg i in. [1999], analizując segregacje fenotypów w 171 różnych eksperymentach, stwierdzili wystąpienie zjawiska transgresji w 151 z nich. Z uwagi na większe podobieństwo genetyczne odmian Kanota i Heyne Dwarf aniżeli Bingo i Heyne Dwarf, wynikające ze wspólnego przodka, jakim była odmiana Fulghum, w rodowodzie obu analizowanych form *A. byzantina* silniejszą transgresję wielu cech obserwowano w przypadku międzygatunkowej kombinacji *A. sativa* Bingo × *A. byzantina* Heyne Dwarf. Szczególnie silne efekty widoczne były w odniesieniu do liczby kłosek i ziarniaków, a także masy ziarniaków i MTZ. Według Rieseberg i in. [1999] transgresywne segreganty o korzystnych kombinacjach alleli mogą być doskonałym materiałem hodowlanym.

Przeprowadzona analiza korelacji wykazała, że w obu badanych populacjach wysokość roślin była pozytywnie skorelowana z długością wiechy oraz liczbą i masą ziarniaków z wiechy, w przypadku zaś kombinacji B × HD również z liczbą kłosek w wieszce oraz płodnością kłoska. Uzyskane wyniki wskazują, że podstawowe elementy warunkujące plonowanie owsa ulegają niekorzystnym zmianom wraz z redukcją wysokości. Niemniej jednak wartości współczynników korelacji zawierające się w przedziale 0,529–0,777 pozwalają wnioskować o możliwości rekombinacji i przełamania niekorzystnych sprzężeń genów wpływających na kształtowanie cech morfologicznych rośliny bezpośrednio oddziałujących na wielkość plonu.

Zadawalające efekty zastosowania genów karłowatości w programach hodowlanych zbóż skłaniają do intensywnych poszukiwań nowych źródeł karłowatości również w owsie [Milach i Federizzi 2001]. Brak alternatywnych źródeł sprawia, że pomimo wielu ograniczeń genu *Dw6* zarówno w polskich, jak i zagranicznych programach hodowlanych jest on wykorzystywany najczęściej [Milach i Federizzi 2001]. Formy karłowate charakteryzuje wzrost ograniczony nawet do 60% w stosunku do form wysokich. Niekorzystne aspekty zastosowania genu *Dw6* to m.in. zredukowanie systemu korzeniowego, zwiększone zapotrzebowanie na wodę i składniki odżywcze [Brown i in. 1980]. Wprowadzenie do genomu genu *Dw6* zapobiega wyleganiu, ale w niekorzystnych warunkach środowiska może prowadzić do niepełnego wysunięcia wiechy z pochwy liścia flagowego w wyniku skrócenia dokłosa, a w konsekwencji do obniżonego plonowania i gorszej jakości ziarna. W związku z tym uzasadnione wydaje się być ciągłe poszukiwanie nowych źródeł karłowatości, a także szczegółowe charakteryzowanie dotychczas zidentyfikowanych form o zredukowanej długości źdźbła.

#### WNIOSKI

1. Zredukowana wysokość odmiany Heyne Dwarf uwarunkowana jest poligenicznie.
2. Poligeniczny charakter dziedziczenia ogranicza możliwości wykorzystania odmiany Heyne Dwarf jako źródła półkarłowatości.
3. Analiza komponentów plonu roślin  $F_2$  wskazuje na możliwość selekcji w segregującym potomstwie mieszańców materiałów wyjściowych do hodowli owsa.
4. Z uwagi na pozytywną korelację wysokości roślin z ważnymi cechami plonotwórczymi, m.in. liczbą i masą ziarniaków z wiechy, wykorzystanie uzyskanych mieszańców będzie wymagało identyfikacji rekombinantów o korzystnym układzie alleli genów.

## PIŚMIENNICTWO

- Berry P.M., Spink J.H., Foulkes M.J., Wade A., 2003. Quantifying the contributions and losses of dry matter from non-surviving shoots in four cultivars of winter wheat. *Field Crops Res.* 80, 111–121.
- Börner A., Plaschke J., Korzun V., Worland A.J., 1996. The relationships between the dwarfing genes of wheat and rye. *Euphytica* 89, 69–75.
- Brown P. D., McKenzie R.I.H., Mikaelson K., 1980. Agronomic, genetic and cytologic evaluation of vigorous new semi dwarf oat. *Crop Sci.* 20, 303–306.
- Chrząstek M., Paczos-Grzęda E., Kruk K., 2006. Ocena zróżnicowania genetycznego polskich odmian owsa (*Avena sativa* L.). *Acta Agrophys.* 8(2), 319–326.
- Cyfert R., Michalak A., Najewski A., Zych J., 2005. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych. Zboża jare. 2004 (pszenica, jęczmień, owies, pszenżyto). COBORU, Słupia Wielka, Numer 32.
- Górny A.G., 2005. Zarys genetyki owsa (rodzaj *Avena* L.). Zarys genetyki zbóż. T. 2. Pszenżyto, kukurydza i owies. Instytut Genetyki Roślin PAN, Poznań, 312–330.  
<http://pgrc3.agr.ca/cgi-bin/npgs/html/obs.pl?3371>  
<http://pgrc3.agr.ca/cgi-bin/npgs/html/obs.pl?61577>  
[http://pgrc3.agr.gc.ca/cgi-bin/npgs/html/acc\\_query.pl](http://pgrc3.agr.gc.ca/cgi-bin/npgs/html/acc_query.pl)
- Leszczyńska D., Noworolnik K., Grabiński J., Jaśkiewicz B., 2007. Ilość wysiewu nasion jako czynnik kształtujący plon ziarna zbóż. *Studia i raporty IUNG – PIB*, 17(9), 17–27.
- Maciorowski R., Nita Z., Werwińska K., Stankowski S., 2006a. Plonowanie nowych krótkosłomych form owsa nagoziarnistego. *Biul. IHAR* 239, 123–135.
- Maciorowski R., Werwińska K., Nita Z., Stankowski S., 2006b. Reakcja owsa nagoziarnistego i oplewionego na działanie regulatorów wzrostu w warunkach zróżnicowanego nawożenia azotem. *Biul. IHAR* 239, 137–146.
- Mäkela P., Muurinen S., Peltonen-Sainio P., 2004. Alterations in growth and canopy architecture among dwarf, semidwarf and tall oat lines grown under northern conditions. *Agric. Food Sci.* 13 (1–2), 170–185.
- Marshall H.G., 1992. Breeding oat for resistance to environmental stress. In: *Oat science and technology*, ed. H.G. Marshall, M.E. Sorrells, American Society of Agronomy, Madison, WI, 699–749.
- Milach S.C.K., Rines H.W., Phillips R.L., 1997. Molecular genetic mapping of dwarfing genes in oat. *Theor. Appl. Genet.* 95, 783–790.
- Milach S.C.K., Federizzi L.C., 2001. Dwarfing genes in plant improvement. *Adv. Agron.* 73, 35–65.
- Milach S. C. K., Rines H. W., Phillips R. L., 2002. Plant height components and gibberellic acid response of oat dwarf lines. *Crop Sci.* 42, 1147–1154.
- Najewski A., Skrzypek A., Stroiwas A., Szarzyńska J., 2015. Wyniki porejestrowych doświadczeń odmianowych. Zboża jare 2014 (jęczmień, owies, pszenica, pszenżyto). COBORU, Słupia Wielka. Numer 111.
- Nielsen J., 1977. A collection of cultivars of oats immune or highly resistant to smut. *Can. J. Plant Sci.* 57, 199–212.
- Nita Z., 1999. Stan aktualny i nowe kierunki hodowli owsa w Polsce. *Żywność Supl.* 1(18), 186–192.
- Nita Z., 2003. Współczesne osiągnięcia i perspektywy hodowli owsa w Polsce. *Biul. IHAR* 229, 13–20.
- Okoń S., 2011. Analiza elementów plonu mieszańców międzyodmianowych owsa zwyczajnego (*Avena sativa* L.) zawierających różne geny odporności na mączniaka prawdziwego. *Fragm. Agron.* 28(4), 45–51.

- Paczos-Grzęda, E., Chrzastek M., Miazga D., 2005. Badania genetyczno-hodowlane mieszańców heksaploidalnego owsa *Avena sativa* L. × *Avena byzantina* Koch. Biul. IHAR 236, 193–207.
- Paczos-Grzęda E., 2003. Charakterystyka niektórych cech ilościowych mieszańców międzygatunkowych heksaploidalnego owsa *Avena sativa* L. × *Avena sterilis* L. oraz form wyjściowych. Biul. IHAR 229, 33–41.
- Patterson F.L., Schafer J.F., Caldwell R.M., Compton L.E., 1963. Inheritance of Panicle Type, Height, and Straw Strength of Derivatives of Scotland Club Oats. *Crop Sci.* 3, 555–558.
- Rajala A., 2004. Plant growth regulators to manipulate oat stands. *Agric. Food Sci.* 13, 186–197.
- Rajala A., Peltonen-Sainio P., 2002. Timing applications of growth regulators to alter spring cereal development at high latitudes. *Agric. Food Sci. Finl.* 11, 233–244.
- Reynolds M.P., Borlaug N.E., 2006. Impact of breeding on international collaborative wheat improvement. *J. Agric. Sci.* 144, 3–17.
- Rieseberg L.H., Archer M.A. Wayne R.K., 1999. Transgressive segregation, adaptation and speciation. *Heredity* 83, 363–372.
- Simons, M.D., Martens, J. W., McKenzie, R.I.H., Nishiyama, I., Sadanaga, K., Sebesta, J., Thomas H., 1978. Oats: a Standardized System of Nomenclature for Genes and Chromosomes and Catalog of Genes Governing Characters. USDA Agricultural Handbook No 509, USDA, Washington.
- Sulek A., Leszczyńska D., Cyfert R., 2005. Charakterystyka i technologia uprawy odmian owsa. IUNG–PIB Puławy, COBORU Słupia Wielka.

Praca zrealizowana w ramach badań podstawowych na rzecz postępu biologicznego w produkcji roślinnej finansowanych przez MRiRW 2014–2020 „Mapowanie sprzężeniowe i asocjacyjne owsa”.

**Summary.** Lodging affects effective plant growth and the quality as well as the volume of grain and straw, with significant yield losses resulting from difficulties at harvest. The most effective method to prevent lodging is to breed dwarf varieties. Nowadays, genes responsible for reducing the length of oat straw are not widely used in breeding programs because of unfavourable pleiotropic effects on yield. Given the known benefits of dwarfing gene usage in many other cereals, there is an urgent need to identify similar mutants in oats and to describe in details any potential sources of reduced straw length. Crosses of cultivars Bingo and Kanota with the semidwarf cultivar Heyne Dwarf were made to determine the genetic basis of the reduced length of Heyne Dwarf straw. The analysis of segregant height in both populations showed that the reduced length of straw in Heyne Dwarf is polygenically inherited, which complicates the possibility of using this variety as a source of semidwarfness. Simultaneously, the beneficial effects of crossing on the remaining components of the F<sub>2</sub> hybrid plants and the selection opportunity of starting materials for oat breeding were demonstrated.

**Key words:** *Avena sativa*, *Avena byzantina*, dwarfing, inter-cultivar hybrids

Otrzymano/ Received: 10.01.2017  
Zaakceptowano/ Accepted: 29.09.2017