

JANUSZ KOZDÓJ¹**DARIUSZ R. MAŃKOWSKI**²**SYLWIA OLESZCZUK**¹¹Zakład Biotechnologii i Cytogenetyki Roślin²Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

Analiza potencjału plonotwórczego linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) otrzymanych na drodze androgenezy

Analysis of the potential for yield formation in doubled haploids of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) obtained via androgenesis

W pracy przedstawiono wyniki trzyletnich badań dotyczących określenia wielkości potencjału plonotwórczego rośliny i kłosa linii podwojonych haploidów (DH) jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) oraz stopnia jego wykorzystania wyrażonego wielkością plonu ziarniaków z kłosa i rośliny. Obiektem porównawczym była odmiana Scarlett (przyjęta za wzorzec), z której otrzymano androgeniczne linie DH. Potencjał plonotwórczy rośliny determinowała struktura morfologiczna rośliny — ogólna liczba pędów w roślinie. Potencjał plonotwórczy kłosa determinowała struktura morfologiczna kłosa — ogólna liczba kłosek w kłosie zarówno w liniach DH, jak i w odmianie Scarlett. Z analiz przeprowadzonych w fazie dojrzałości pełnej wynika, że struktura morfologiczna rośliny wyrażona ogólną liczbą pędów w tym liczbą pędów produktywnych, liczbą niedogonów w roślinie, w danym roku badań, była podobna u linii DH jak i u odmiany Scarlett. Strukturalny potencjał plonotwórczy rośliny linii DH jak i odmiany wzorcowej, w zależności od roku badań, został wykorzystany w 60% (pierwszy rok badań) i w 81%–83% (drugi i trzeci rok badań). Cechy struktury morfologicznej kłosa (długość, ogólna liczba kłosek, w tym liczba kłosek płodnych oraz liczba ziarniaków) analizowane w fazie dojrzałości pełnej były korzystniejsze dla plonu w liniach DH niż w odmianie Scarlett. Kłosa linii DH były istotnie dłuższe, zawierały więcej o 8% wykształconych kłosek, w tym kłosek płodnych o 10% oraz ziarniaków o 10% w porównaniu z kłosami wzorcowej odmiany Scarlett. Strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa, w zależności od roku badań, w linii DH został wykorzystany w 76% (drugi rok badań), w 87–88% (pierwszy i trzeci rok badań), zaś w odmianie Scarlett — w 55% (drugi rok badań), w 85,5% (trzeci rok badań) i w 94,5% (pierwszy rok badań). Plon ziarna z kłosa linii DH wyniósł 1,16 g i był istotnie wyższy o 27,5% w wyniku istotnie większej o 11% liczby wytworzonych ziarniaków w kłosie i istotnie większej o 14,7% masy pojedynczego ziarniaka w porównaniu z wzorcową odmianą Scarlett. Plon ziarna z rośliny linii DH wyniósł 9,65 g i był istotnie wyższy o 47,6% niż u odmiany Scarlett w wyniku istotnie wyższego plonu

ziarna z kłosa. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego (zarówno u linii DH jak i u odmiany Scarlett) była istotnie skorelowana z liczbą pędów produktywnych w roślinie ($r = 0,93$).

Słowa kluczowe: jęczmień jary, podwojone haploidy, plon, czynniki plonotwórcze, korelacje, zmienność

Results of the three-year analysis done to characterize the potential for yield formation within the plant and the spike of androgenetic doubled haploid spring barley (*Hordeum vulgare* L.) lines (DH lines) are presented. A rate of utilization of the yield-forming potential expressed as grain yield per spike and per plant was also estimated. The DH lines were derived from spring barley cv. Scarlett, which was used as a control object in the investigations. The yield-forming potential of plant was determined by the total number of tillers per plant, and that of spike was determined by the total number of spikelets per spike. Analyses of the following morphological plant traits: number of stems per plant, number of productive tillers per plant and number of unmaturing tillers per plant investigated at the ripening stage showed no significant differences between the DH lines and cv. Scarlett. The yield-forming plant potential in DH lines and in the control cultivar was utilized in 60 per cent in 2004 and in 81 to 83 per cent in the years 2007 and 2008. Morphological features of spike, such as its length, total number of spikelets, number of fertile spikelets and number of grains at the ripening phase were more favourable for creating the yield in the DH lines than in cv. Scarlett. Spikes of the DH plants, compared to those in the control cultivar, were significantly longer, contained greater by 8 per cent number of spikelets and greater by 10 per cent number of fertile spikelets, as well as greater by 10 per cent number of grains. The yield-forming potential of the spike in DH lines was utilized in 76 per cent in 2007 and in 87 to 88 per cent in the years 2004 and 2008, and in cv. Scarlett in 94.5 per cent in 2004, 55 per cent in 2007 and 85.5 per cent in 2008. The grain yield per spike in the DH plants amounted 1.16 g and was higher by 27.5 per cent (significant difference) than that in cv. Scarlett. The difference resulted from the greater by 11 per cent number of grains per spike and from the greater by 14.7 per cent average weight of one grain. The grain yield per DH plant reached 9.65 g and was higher by 47.6 per cent (significant difference) than that in cv. Scarlett, mainly due to the higher grain yield per spike. The yield of grain per plant was found to be positively correlated with the number of productive tillers per plant ($r = 0.93$), both in DH plants and in cv. Scarlett.

Key words: correlation doubled haploids, grain yield, spring barley, variability, yield components, yield-forming potential

WSTĘP

Homozygotyczne linie podwojonych haploidów (DH) są ważnym obiektem badań wykorzystywanym w hodowli roślin prowadzącej do uzyskania nowych odmian o poprawionych cechach użytkowych. Linie DH są wykorzystywane w krzyżowaniach z innymi odmianami w obrębie gatunku, co prowadzi do poszerzenia genetycznej zmienności cech, ważnych z punktu widzenia hodowcy, głównie wielkości i jakości plonu. Analizy porównawcze roślin DH i materiału (roślin) wyjściowych przeprowadzone w dłuższym, wieloletnim okresie badań w warunkach polowych pozwalają na ocenę roślin DH pod względem różnych cech użytkowych oraz wielkości i jakości plonu. Tak dokonana ocena roślin (linii) DH umożliwia hodowcy na wybór najlepszych pojedynków w dalszych badaniach selekcyjno-hodowlanych. Jednym ze stosowanych sposobów oceny linii DH jest analiza wielkości współczynników zmienności najważniejszych cech jakościowych i ilościowych. Ostatecznym kryterium decydującym o przydatności linii DH jest wielkość plonu i jego stabilność w latach. Są one uzależnione od struktury morfologicznej rośliny i jej cech plonotwórczych. Struktura morfologiczna rośliny zbożowej, w tym i jęczmienia

jarego, jej poszczególne cechy plonotwórcze (np. liczba pędów) oraz struktura morfologiczna kłosa (np. długość kłosa, liczba kłosek, liczba ziarniaków i ich masa) kształtują się w określonych fazach rozwojowych (Klepper i in., 1998, Górny, 2004), które zachodzą w zmiennych warunkach środowiska (Łubkowski, 1968; Listowski, 1979; Kozdój, 1992, 1994).

W aspekcie fizjologii plonowania zbóż, strukturalnymi czynnikami plonotwórczymi determinującymi plon ziarniaków z rośliny są liczba pędów wytworzonych przez roślinę (krzewistość ogólna) w tym liczba pędów kłosonośnych (krzewistość produkcyjna). Ogólna liczba wytworzonych kłosek w kłosie, w tym liczba kłosek płodnych, liczba ziarniaków w kłosie, średnia jednostkowa masa ziarniaka oraz długość kłosa są uznawane za strukturalne czynniki plonotwórcze determinującymi plon ziarniaków z kłosa (Listowski, 1979; Kozdój, 1992; Klepper i in., 1998). Interakcja genotypu z biotycznymi i abiotycznymi czynnikami środowiska w trakcie trwania okresu wegetacji roślin uprawnych decyduje o wielkości plonu.

Efektywne uzyskiwanie w krótkim czasie (w jednym cyklu hodowlanym) dużej liczby podwojonych haploidów na drodze androgenezy u wielu gatunków roślin ważnych gospodarczo (w tym zbóż) jest obecnie możliwe dzięki wykorzystaniu współczesnych technik i metod kultur tkankowych *in vitro* (Pickering i Devaux, 1992; Forster i in., 2007; Oleszczuk i in., 2006).

Celem przeprowadzonych badań w trzyletnim doświadczeniu polowym była analiza porównawcza pomiędzy roślinami/liniami DH a odmianą wzorcową Scarlett pod względem:

- strukturalnego potencjału plonotwórczego roślin,
- wielkości strukturalnych czynników plonotwórczych determinujących wielkość plonu ziarna z kłosa i z rośliny,
- zmienności strukturalnych cech plonotwórczych kłosa i rośliny.

MATERIAŁ I METODY

Przedmiotem badań były rośliny linii podwojonych haploidów (DH) jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) oraz rośliny odmiany Scarlett traktowanej jako odmiana wzorcową. Badane linie DH uzyskano na drodze androgenezy w kulturze *in vitro* z izolowanych mikrospor odmiany Scarlett.

Doświadczenie założono na glebie zbielicowanej, czarnej ziemi, klasy bonitacyjnej IIIb/IVa, kompleksu glebowego żytniego bardzo dobrego. Wysiano ziarniaki linii DH kolejnej generacji i odmiany Scarlett, po 100 sztuk na poletko o powierzchni 1m² w dniach 14-04-2004 (10 linii DH), 29-03-2007 (4 linie DH) i 2-04-2008 (3 linie DH). Rośliny DH uprawiane w danym roku badań pochodziły z ziarniaków z pojedynków wybranych spośród 15. roślin rosnących na poletku w poprzednim sezonie wegetacyjnym. Przedsięwzięcie wykonano nawożenie mineralne wieloskładnikowym nawozem mineralnym Polifoska 6 w ilości 300 kg/ha, pogłównie — nawożenie azotowe w postaci saletry amonowej (34% N) w ilości 100 kg/ha. Zastosowano chemiczne odchwaszczanie preparatem Mustang w fazie krzewienia.

W okresie wegetacji roślin wykonano opisy stadiów rozwojowych roślin wg dziesiętnej skali Zadoksa (Zadoks i in., 1974). Fazy rozwojowe rośliny wyodrębniono na podstawie kryteriów, którymi była struktura morfologiczna rośliny wyrażona jej pokrojem, czyli liczbą liści w siewce, liczbą pędów w roślinie, liczbą węzłów na pędzie głównym, pojawieniem się kłosa ponad liściem flagowym, pyleniem. Fazy dojrzewania ziarniaków wyodrębniono na podstawie jego konsystencji, barwy i stopnia twardości.

W fazie dojrzałości pełnej, z każdego poletka pobierano losowo po 15 roślin. Łącznie przeanalizowano 315 roślin, w tym 165 (2004 r.), 60 (2007 r.) i 90 roślin (2008 r.). Zmierzono długości najdłuższego pędu w roślinie, określano całkowitą liczbę pędów w roślinie z uwzględnieniem pędów produktywnych (in. kłosonośnych), niedogonów (niedojrzałe) w tym suchych (ontogenetycznie najmłodsze pędy w roślinie, niedorozwinięte i silnie zaschnięte podczas zbioru roślin). Przeprowadzono pomiary długości kłosów, policzono ogólną liczbę kłosków w kłosie z uwzględnieniem liczby kłosków sterylnych i płodnych, liczbę ziarniaków w kłosie, zważono ziarniaki ze wszystkich kłosów z jednej rośliny. Średnią masę ziarniaków z kłosa stanowił iloraz masy ziarniaków z rośliny i liczby kłosów z rośliny. Jednostkową masę ziarniaka stanowił iloraz masy ziarniaków z rośliny i liczby ziarniaków z rośliny. Średnią masę ziarniaków z kłosa i jednostkową masę ziarniaka wyliczono na podstawie danych uzyskanych z 15 roślin z trzech powtórzeń zarówno dla linii DH, jak i odmiany wzorcowej.

Wyznaczono wartości średnie (średnie obiektowe), odchylenia standardowe i współczynniki zmienności (CV%) dla analizowanych cech linii DH i odmiany wzorcowej Scarlett. Przeprowadzono również następujące analizy statystyczne: 1/ ocenę istotności różnic pomiędzy badanymi obiektami, 2/ ocenę współzależności pomiędzy analizowanymi cechami, 3/ opis zależności występujących pomiędzy analizowanymi cechami oraz charakterystykę struktury tych zależności. Do oceny istotności różnic pomiędzy badanymi obiektami zastosowano: jednokierunkową analizę wariancji według modelu stałego, grupy jednorodnie średnich obiektowych — wyznaczono z zastosowaniem procedury porównań wielokrotnych Tukeya (Wójcik i Laudański, 1989; Cochran i Cox, 1992; Box i in., 2005; Muller i Fetterman, 2003). Do oceny współzależności pomiędzy analizowanymi cechami zastosowano analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona (Wójcik i Laudański, 1989). Do ustalenia hierarchii analizowanych cech i ich wpływu na kształtowanie się plonu ziarna z rośliny wykorzystano analizę funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (Wójcik i Laudański, 1989; Rawlings i in., 2001; Muller i Fetterman, 2003). Ze względu na znaczną współliniowość niektórych spośród badanych cech, oceny ich efektów (cząstkowych współczynników regresji) były obciążone. Współliniowość cech nie jest jednak uważana za wadę modelu regresji wielokrotnej (Rawlings i in., 2001). Uzyskane w tej analizie standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji mogły więc posłużyć do obiektywnej oceny wagi poszczególnych cech w ich wpływie na kształtowanie się plonu ziarna jęczmienia jarego. Obliczenia przeprowadzono w Systemie SAS® wersji 9.2 (SAS Institute Inc., 2009 a, 2009 b).

Przebieg pogody w latach badań opisano w oparciu o wartości średniej dobowej temperatury powietrza, sumy temperatury powietrza i sumy opadów atmosferycznych dla

każdego miesiąca w sezonie wegetacji roślin, od kwietnia do lipca (tab. 1), oraz dla każdej fenofazy, od siewu do zbioru, i całego okresu wegetacji (tab. 2). Dane meteorologiczne z okresu 1.04.–31.07. 2004 r. opracowane dla Błonia (ok. 7 km od Radzikowa) otrzymano z Instytutu Meteorologii i Gospodarki Wodnej. Dane meteorologiczne z okresu 1.04.–31.07. 2007 i 1.04.–31.07. 2008 r. otrzymano ze stacji meteorologicznej IHAR w Radzikowie. Do oceny warunków opadowo-termicznych zastosowano wskaźnik hydrotermiczny Sielianinova wyliczonego według wzoru Molga (1958) cytowany przez Kalbarczyka (2003) oraz przez Skowerę i Pułę (2004). Wartość wskaźnika Sielianinova wyliczono według wzoru:

$$K = \frac{P}{\sum(T_p \cdot 0,1)}$$

gdzie: P — suma opadów w mm, dla danej fenofazy i miesiąca,

$\sum T_p$ — suma temperatur powietrza w stopniach Celsjusza, dla danej fenofazy i miesiąca.

Do wydzielenia klasy warunków pogodowych wykorzystano klasyfikację przedziałów wartości współczynnika K przedstawionych przez Skowerę i Pułę (2004). Były to następujące przedziały wartości:

— skrajnie suchy (ss)	$k \leq 0,4$
— bardzo suchy (bs)	$0,4 < k \leq 0,7$
— suchy (s)	$0,7 < k \leq 1,0$
— dość suchy (ds.)	$1,0 < k \leq 1,3$
— optymalny (o)	$1,3 < k \leq 1,6$
— dość wilgotny (dw)	$1,6 < k \leq 2,0$
— wilgotny (w)	$2,0 < k \leq 2,5$
— bardzo wilgotny (bw)	$2,5 < k \leq 3,0$
— skrajnie wilgotny (sw)	$k > 3,0$.

WYNIKI

Przebieg faz wzrostu i rozwoju roślin na tle warunków pogodowych

Warunki pogodowe w okresie wegetacji roślin, od kwietnia do lipca, w poszczególnych latach badań (2004, 2007 i 2008), na tle wieloletnich danych meteorologicznych opracowanych dla Radzikowa (1979–2008), były zróżnicowane (tab. 1). W 2004 roku, miesiące maj — lipiec charakteryzowały się niższą średnią temperaturą powietrza i nadmiernym poziomem opadów (od kwietnia do lipca z wyjątkiem czerwca) w porównaniu z danymi z wielolecia. W latach 2007 i 2008, średnie temperatury powietrza były z reguły wyższe, zaś sumy opadów, w zależności od miesiąca i roku, były przekroczone (maj w obu latach, czerwiec i lipiec w 2007 r.) lub w niedostatecznej ilości (kwiecień w 2007 r., czerwiec i lipiec w 2008 r.) w porównaniu z danymi z wielolecia. Wartości wskaźnika hydrotermicznego Sielianinova w poszczególnych miesiącach były zróżnicowane, pozwoliły jednak ocenić warunki opadowo-termiczne jako: optymalne (czerwiec 2004 r., lipiec 2007 r.); skrajnie suche (czerwiec 2008 r.); bardzo suche (kwiecień 2007 r.); dość

suche (maj 2007 i 2008 r., czerwiec 2007 r., kwiecień 2008 r.); suche (lipiec 2008 r.); dość wilgotne (maj 2004 r. i lipiec 2004 r.); bardzo wilgotne (kwiecień 2004 r.).

Tabela 1

Średnia temperatura i suma opadów w czasie wegetacji jęczmienia jarego w latach badań w Radzikowie na tle danych z wielolecia
Mean temperature and sum of precipitation in the vegetation period of spring barley in the years of study as compared to the long-term averages at Radzików

Miesiąc Month	Średnia dobowa temperatura (°C) Mean daily temperatures (°C)				Suma opadów (mm) Precipitation sums (mm)			
	lata badań — years of study			wielolecie long-term	lata badań — years of study			wielolecie long-term
	2004	2007	2008	1979–2008	2004	2007	2008	1979–2008
Kwiecień — April	8,7	9,7	9,4	8,7	66,6	20,0	30,2	31,0
Maj — May	12,0	15,7	14,0	14,7	67,0	63,2	56,6	45,3
Czerwiec — June	15,8	19,1	19,0	17,4	56,4	72,2	15,0	59,8
Lipiec — July	17,9	19,1	19,5	19,2	102,5	94,8	62,5	71,3
Średnie miesięczne wartości wskaźnika hydrotermicznego w Radzikowie oraz klasyfikacja Mean monthly values of hydrothermal coefficient in Radzików and classes								
	wartości wskaźnika — coefficient value				klasyfikacja — classification			
	2004	2007	2008	1979–2008	2004	2007	2008	1979–2008
Kwiecień — April	2,6	0,7	1,1	1,2	bw	bs	ds.	ds.
Maj — May	1,8	1,3	1,3	1	dw	ds.	ds.	s
Czerwiec — June	1,2	1,3	0,3	1,1	ds.	ds.	ss	ds.
Lipiec — July	1,8	1,6	1	1,2	dw	o	s	ds.
Kwiecień — Lipiec April — July	1,8	1,3	0,9	1,1	dw	ds.	s	ds.

Objaśnienia — Explanations:

ss — skrajnie suchy — extra dry; bs — bardzo suchy — very dry; s — suchy — dry; ds. — dość suchy — rather dry; o — optymalny — favourable; dw — dość wilgotny — rather wet; w — wilgotny — wet; bw — bardzo wilgotny — very wet; sw — skrajnie wilgotny — extra wet

W trzech latach badań, czas trwania kolejnych stadiów wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia jarego, od siewu do dojrzałości pełnej, był charakterystyczny dla określonej fazy rozwojowej, zróżnicowany w latach i uzależniony od przebiegu zmiennych warunków termicznych i opadowych (tab. 2). Czas trwania stadium kiełkowania ziarniaków, od ich wysiewu (DC 0) do wschodów (DC 1) wynosił od 10 (2004 r.) do 17 dni (2007 r.). Kiełkowanie ziarniaków przebiegało w warunkach optymalnych (2004 r.), suchych (2007 r.) i dość suchych (2008 r.). Stadium siewki, od wschodów (DC 11) do początku krzewienia (DC 21), trwało 9–10 dni. Wzrost i rozwój siewki przebiegał w dość suchych (2004 r.), bardzo suchych (2007 r.) i w optymalnych warunkach pogodowych (2008 r.). Stadium krzewienia roślin (DC 2) trwało od 14 dni (2008 r.) do 26 dni (2004 r.). Krzewienie roślin przebiegało w optymalnych (2004 i 2008) i dość suchych (2007 r.) warunkach pogodowych. Faza strzelania w źdźbło obejmująca dwa stadia rozwojowe — wydłużanie się pędu (DC 3) oraz rozwój kłosa w pochwie liścia flagowego (butonizację, DC 4) trwała 14 (2007 r.), 15 (2004 r.) i 23 dni (2008 r.). Omawiana faza rozwoju roślin przebiegała w warunkach bardzo suchej (2004 r.) dość suchej (2007 r.) i suchej (2008 r.) pogody.

Czas trwania faz rozwoju roślin jęczmienia jarego w okresie wegetacji na tle przebiegu warunków pogodowych

The duration of plant growth phases of spring barley in the vegetation season

Faza Phase	Lata Years	Okres Period	Dni Daily	Średnia dobową temperatura Days mean temperature	Suma temperatur Sum of temperatures	Suma opadów (mm) Sum of rainfall	Współczynnik Sielianinova Sielianinov coefficient	Klasa Class
Siew - wschody	2004	14.04.–24.04.	10	10,6	117,0	17,0	1,5	o
Sowing - emergence (DC 0 -1)	2007	29.03.–15.04.	17	8,8	144,8	13,2	0,9	s
	2008	2.04.–17.04.	15	8,5	136,5	16,2	1,2	ds.
Faza siewki	2004	25.04.–4.05.	10	12,0	119,7	15,0	1,3	ds.
Seedling stage (DC 11 -19)	2007	16.04.–24.04.	9	9,5	85,6	5,4	0,6	bs
	2008	18.04.–27.04.	10	9,8	98,4	13,4	1,4	o
Krzewienie	2004	5.05.–30.05.	26	11,4	295,5	43,2	1,5	o
Tillering stage (DC 21-29)	2007	25.04.–14.05.	20	12,6	251,1	33,4	1,3	ds.
	2008	28.04.–11.05.	14	13,2	184,9	29,4	1,6	o
Strzelanie w źdźbło	2004	31.05.–14.06.	15	16,1	241,3	17,2	0,7	bs
Shooting phase (DC 30 -49)	2007	15.05.–28.05.	14	18,4	257,9	30,2	1,2	ds.
	2008	12.05.–3.06.	23	15,1	348,3	27,8	0,8	s
Kłoszenie i pylenie	2004	15.06.–24.06.	10	15,6	156,3	22,6	1,4	o
Ear emergence and anthesis stages (DC 51 - 69)	2007	29.05.–7.06.	10	18,7	186,9	19,6	1,0	s
	2008	4.06.–9.06.	6	19,6	117,5	0,0	0,0	ss
Dojrzewanie młeczne	2004	25.06.–4.07.	10	15,7	157,3	16,6	1,1	ds.
Milk development stage (DC 71 - 79)	2007	8.06.–28.06.	21	19,3	405,3	53,6	1,3	ds.
	2008	10.06.–2.07.	23	18,6	428,5	15,0	0,4	ss
Dojrzewanie woskowe	2004	5.07.–20.07.	16	17,4	278,9	49,8	1,8	dw
Dough development stage (DC 83 - 89)	2007	29.06.–3.07.	5	18,3	91,6	14,6	1,6	o
	2008	3.07.–10.07.	8	18,9	151,5	12,6	0,8	s
Dojrzałość pełna	2004	21.07.–27.07.	7	19,9	139,4	19,6	1,4	o
Maturing stage (DC 91- 92)	2007	4.07.–9.07.	6	16,1	96,5	26,0	2,7	bw
	2008	11.07.–17.07.	7	19,4	136,0	31,5	2,3	w
Czas wegetacji (dni)	2004	14.04.–27.07.	104	14,5	1505,4	201,0	1,3	ds.
Total vegetation season (days)	2007	29.03.–9.07.	102	14,9	1519,6	196,0	1,3	ds.
	2008	2.04.–17.07.	106	15,1	1601,6	145,9	0,9	s

Objaśnienia — Explanations:

ss — skrajnie suchy — extra dry; bs — bardzo suchy — very dry; s — suchy — dry; ds. — dość suchy — rather dry; o — optymalny — favourable; dw — dość wilgotny — rather wet; w — wilgotny — wet; bw — bardzo wilgotny — very wet; sw — skrajnie wilgotny — extra wet

Czas trwania fazy kłoszenia (DC 5) i pylenia (DC 6) trwał łącznie 10 dni (2004 i 2007) i był tym samym dłuższy o 4 dni w porównaniu z rokiem 2008. W 2004 roku obie fazy przebiegały w optymalnych warunkach pogodowych z dużą ilością opadów (22,6 mm) i niską średnią dobową temperaturą (15,6°C), zaś w 2007 roku — w suchych warunkach pogodowych z mniejszą ilością opadów (19,6 mm) i wyższą o 3,1°C średnią dobową temperaturą powietrza w porównaniu z rokiem 2004. Natomiast w roku 2008 kłoszenie i pylenie roślin przebiegały w skrajnie suchych warunkach pogodowych, z wysoką średnią dobową temperaturą powietrza i brakiem opadów. Faza dojrzałości młecznej ziarniaka (DC

7) trwała 10 (2004 r.), 21 (2007 r.) oraz 23 dni (2008 r.) i przebiegała w warunkach dość suchej (2004 i 2007 r.), skrajnie suchej (2008 r.) pogody. Podczas tej fazy, w 2004 r. zanotowano dość niską średnią temperaturę powietrza ($15,7^{\circ}\text{C}$) i niskie ilości opadów (16,6 mm), a w 2007 r. — wyższą o $3,6^{\circ}\text{C}$ średnią dobową temperaturę i większe o 37 mm opady w porównaniu z 2004 rokiem. Natomiast w 2008 r. omawiana faza przebiegała przy optymalnej temperaturze ($18,6^{\circ}\text{C}$) z jednoczesnym niedoborem opadów (15 mm). Faza dojrzałości woskowej (DC 8) trwała 5 (2007 r.), 8 (2008 r.) oraz 16 dni (2004 r.) i przebiegała w dość wilgotnych (2004 r., z nadmiernymi opadami), optymalnych (2007 r.) i suchych warunkach pogodowych (2008 r.). W omawianej fazie średnia dobowa temperatura powietrza była podobna w latach od $17,4^{\circ}\text{C}$ do $18,9^{\circ}\text{C}$, zaś ilość opadów była zróżnicowana — 49,8 mm (2004 r.), 14,6 mm (2007 r.) i 12,6 mm (2008 r.). Faza dojrzałości pełnej ziarniaków (DC 91–92) trwała 6 dni w roku 2007 oraz 7 dni w latach 2004 i 2008 i przebiegała w niesprzyjających warunkach pogody: bardzo wilgotnych (2007 r.) i wilgotnych (2008 r.); gdy w roku 2004 — w optymalnych. Podczas tej fazy, w latach 2007 i 2008, zanotowano wyższe ilości opadów, a średnia dobowa temperatura powietrza w roku 2007 była niższa o $3,8^{\circ}\text{C}$ i o $3,3^{\circ}\text{C}$ niż w 2004 i w 2008 roku, odpowiednio. Fazę dojrzałości pełnej ziarniaka (DC 92) zanotowano w 102 dniu (2007 r.), 104 dniu (2004 r.) i 106 dniu (2008 r.) od wysiewu ziarniaków. Zatem długość okresu wegetacji jęczmienia jarego, od siewu do dojrzałości pełnej, wynosiła 102 dni (2007 r.), 104 dni (2004 r.) i 106 dni (2008 r.) zarówno dla roślin podwojonych haploidów jak i odmiany wzorcowej Scarlett. Uwzględniając wartości współczynnika hydrotermicznego Sielianinova dla całego okresu wegetacji jęczmienia jarego można stwierdzić, że wzrost i rozwój roślin przebiegał w dość suchych (2004 i 2007 r.) i suchych (2008 r.) warunkach opadowo-termicznych.

Statystyczna analiza wyników

Wyniki analiz danych pochodzących z trzyletnich doświadczeń polowych, pozwoliły na stwierdzenie, iż struktura morfologiczna badanych linii DH jak i odmiany Scarlett była podobna (tab. 3). Nie stwierdzono bowiem istotnych różnic w ogólnej liczbie pędów w roślinie, w liczbie pędów produktywnych jak również w liczbie niedogonów (tab. 3 i 4). Natomiast istotne różnice pomiędzy liniami DH a odmianą Scarlett stwierdzono w długości pędu (tab. 3). Kłosa linii DH były istotnie dłuższe oraz zawierały więcej wykształconych kłosek, w tym kłosek płodnych oraz ziarniaków w kłosie, które odznaczały się większą jednostkową masą w porównaniu z kłosami odmiany Scarlett (tab. 3 i 4). Pomędzy liniami DH i odmianą Scarlett nie stwierdzono istotnych różnic w liczbie kłosek sterylnych w kłosie oraz w liczbie ziarniaków z rośliny. Udział kłosek płodnych w ogólnej liczbie wytworzonych kłosek w kłosie linii DH wynosił 85,3%, gdy w kłosie odmiany Scarlett — 83,5% (tab. 4). Zatem strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa jęczmienia, wyrażony liczbą kłosek płodnych równy liczbie wytworzonych ziarniaków, nie został wykorzystany. Stwierdzony stopień niewykorzystania potencjału plonotwórczego kłosa wynosił 14,7% (linie DH) i 16,5% (odmiana Scarlett). Natomiast plony ziarna z kłosa oraz plony ziarna z rośliny linii DH były istotnie wyższe o 27,5% i o 47,6% odpowiednio, niż u odmiany Scarlett (tab. 3 i 4).

Tabela 3

Wyniki jednokierunkowej analizy wariancji cech ilościowych jęczmienia jarego linii podwojonych haploidów (DH) i odmiany Scarlett (wzorzec) z lat 2004, 2007, 2008
One-way ANOVA results for quantitative variables in double haploid strains (DH) and cv. Scarlett (control) of spring barley in the years 2004, 2007, 2008

Cecha Trait	DH	Wzorzec Control	Statystyka F F-value
Liczba obiektów Number of objects	240	75	
Długość pędu (cm) Length of stem (cm)	70,4 a	61,5 b	67,70**
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	10,2 a	8,4 a	0,30 ^{ns}
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers/plant	8,0 a	6,7 a	0,09 ^{ns}
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers/plant	2,2 a	1,7 a	0,27 ^{ns}
Długość kłosa (cm) Length of spike (cm)	8,5 a	7,3 b	60,66**
Liczba kłosek/kłos Spikelet no. per spike	25,8 a	23,7 b	52,18**
Liczba kłosek sterylnych Sterile spikelet no. per spike	3,8 a	3,9 a	0,03 ^{ns}
Liczba kłosek płodnych Fertile spikelet no. per spike	22,0 a	19,8 b	31,13**
Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	22,0 a	19,8 b	31,14**
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	179,8 a	138,4 a	2,26 ^{ns}
Masa ziarniaków/roślina (g) Grain weight per plant (g)	9,65 a	6,54 b	3,79*
Masa ziarniaków/kłos (g) Grain weight per spike (g)	1,16 a	0,91 b	24,67**
Masa 1 ziarniaka (mg) Weight of single grain (mg)	52,50 a	45,77 b	9,09**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodnie średnich obiektowych; średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$; Homogenous groups are marked with letters a and b; values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

Analizując dane pochodzące z poszczególnych lat doświadczenia stwierdzono, że struktura morfologiczna roślin, zarówno linii DH jak i odmiany Scarlett, wyrażona ogólną liczbą pędów w roślinie, liczbą pędów produktywnych i liczbą niedogonów nie różniła się istotnie w danym roku (tab. 5). Większość cech dotyczących struktury morfologicznej kłosa (długość, liczba kłosek z uwzględnieniem liczby sterylnych i płodnych kłosek oraz liczby ziarniaków w kłosie) badanych w kolejnych latach były istotnie zróżnicowane pomiędzy liniami DH a odmianą Scarlett, głównie w 2007 r. i w 2008 r. (tab. 5). Masy ziarniaków z rośliny z linii DH (w przeliczeniu na jedną roślinę) i wzorcowej odmiany Scarlett były podobne zarówno w 2004 roku jak i w 2007 (nieistotne różnice w roku badań; tab. 5). Natomiast w 2008 roku stwierdzono istotnie większy plon ziarniaków z rośliny DH

o 32,5% w porównaniu z odmianą Scarlett (tab. 5). Z danych przedstawionych w tabeli 5 wynika, że masa ziarniaków z kłosa linii DH była istotnie większa w latach 2007 (o 41%) i 2008 (o 24%) w porównaniu z odmianą Scarlett.

W zależności od roku badań stwierdzono zróżnicowanie w cechach pomiędzy roślinami DH a roślinami odmiany wyjściowej (tab. 5).

Tabela 4

Wartości średnie, odchylenia standardowe (SD), współczynniki zmienności (CV%) cech jęczmienia jarego analizowanych łącznie z trzech lat badań 2004, 2007 i 2008
Mean values, standard deviations (SD) and coefficients of variance (CV%) for spring barley traits analysed in three years of study: 2004, 2007, 2008

Cecha Trait	Linie DH DH strains			Odm. Scarlett — wzorzec Scarlett cv. — control			NIR LSD
	średnia average	SD	CV (%)	średnia average	SD	CV (%)	
Długość pędu (cm) Length of stem (cm)	70,4 a	13,13	18,64	61,5 b	10,21	16,61	67,70**
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	10,2 a	4,83	47,38	8,4 a	2,92	34,74	0,30 ^{ns}
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	8,0 a	3,75	46,77	6,7 a	2,62	39,33	0,09 ^{ns}
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers per plant	2,2 a	2,77	126,52	1,7 a	1,61	92,26	0,27 ^{ns}
Długość kłosa (cm) Length of spike (cm)	8,5 a	1,05	12,42	7,3 b	1,10	15,02	60,66**
Liczba kłosek/kłos Spikelet no. per spike	25,8 a	2,17	8,43	23,7 b	2,18	9,18	52,18**
Liczba kłosek sterylnych Sterile spikelet no. per spike	3,8 a	1,98	52,03	3,9 a	2,37	59,87	0,03 ^{ns}
Liczba kłosek płodnych Fertile spikelet no. per spike	22,0 a	3,17	14,42	19,8 b	3,97	20,04	31,13**
Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	22,0 a	3,16	14,42	19,8 b	3,97	20,04	31,14**
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	179,8 a	91,19	50,71	138,4 a	70,72	51,08	2,26 ^{ns}
Masa ziarniaków/roślina (g) Grain weight per plant (g)	9,65 a	5,10	52,86	6,54 b	4,04	61,73	3,79*
Masa ziarniaków/kłos (g) Grain weight per spike (g)	1,16 a	0,27	23,00	0,91 b	0,27	30,01	24,67**
Masa 1 ziarniaka (mg) Weight of single grain (mg)	52,50 a	7,09	13,50	45,77 b	6,94	15,17	9,09**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodnie średnich obiektowych; średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$;

Homogenous groups are marked with letters a and b; values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

Wartości średnie, odchylenia standardowe (SD), współczynniki zmienności (CV %) cech jęczmienia jarego analizowanych w latach badań 2004, 2007 i 2008

Mean values, standard deviations (SD) and coefficients of variance (CV %) for spring barley traits analysed in three years of study 2004, 2007, 2008

Rok badań Year of study	Linie DH DH strains			Odm. Scarlett — wzorzec Scarlett cv.— control			NIR LSD
	średnia mean	SD	CV (%)	średnia mean	SD	CV (%)	
1	2	3	4	5	6	7	8
Długość pędu (cm) — Length of stem (cm)							
2004	72,6 a	10,93	15,07	68,4 a	4,27	6,25	5,63ns
2007	53,4 a	6,70	12,55	43,3 b	2,87	6,62	3,58**
2008	80,4 a	8,49	10,56	65,2 b	4,80	7,35	2,89**
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant							
2004	12,0 a	4,84	40,35	11,7 a	3,58	30,47	2,54ns
2007	5,5 a	1,52	27,41	6,2 a	1,01	16,36	0,84ns
2008	8,8 a	3,13	35,42	8,0 a	2,10	26,10	1,12ns
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant							
2004	9,7 a	3,16	32,46	9,8 a	2,76	28,13	1,67ns
2007	3,2 a	1,11	35,08	3,7 a	1,05	28,54	0,65ns
2008	7,1 a	2,53	35,37	6,6 a	1,54	23,28	0,88ns
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant							
2004	2,3 a	3,36	147,28	1,9 a	2,34	121,25	1,76ns
2007	2,4 a	1,13	47,69	2,5 a	0,83	32,91	0,64ns
2008	1,7 a	1,35	79,66	1,4 a	1,44	101,11	0,58ns
Długość kłosa (cm) — Length of spike (cm)							
2004	8,7 a	0,85	9,71	8,7 a	0,49	5,64	0,44ns
2007	7,4 a	0,98	13,27	6,2 b	0,60	9,81	0,54**
2008	8,8 a	1,08	12,29	7,2 b	0,84	11,66	0,41**
Liczba kłosków/kłos — Spikelet no. per spike							
2004	26,0 a	1,74	6,70	25,5 a	1,42	5,58	0,92ns
2007	24,1 a	2,70	11,23	21,1 b	1,30	6,19	1,46**
2008	26,6 a	2,07	7,78	24,1 b	1,79	7,46	0,81**
Liczba kłosków sterylnych — Sterile spikelet no. per spike							
2004	3,4 a	1,82	53,81	1,4 b	0,77	53,93	0,94**
2007	5,8 b	1,80	30,72	7,8 a	1,32	16,84	1,01**
2008	3,2 a	1,31	40,59	3,5 a	1,10	31,41	0,51ns
Liczba kłosków płodnych — Fertile spikelet no. per spike							
2004	22,6 b	2,51	11,08	24,1 a	1,71	7,09	1,31**
2007	18,3 a	3,09	16,89	13,2 b	1,42	10,69	1,66**
2008	23,4 a	2,48	10,60	20,6 b	1,86	9,07	0,92**
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike							
2004	22,6 b	2,51	11,08	24,1 a	1,71	7,09	1,31**
2007	18,3 a	3,09	16,89	13,2 b	1,42	10,69	1,66**
2008	23,4 a	2,48	10,60	20,6 b	1,86	9,07	0,92**
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant							
2004	219,7 a	74,65	33,98	233,6 a	55,28	23,66	39,14ns
2007	57,9 a	23,41	40,43	47,9 a	10,23	21,38	12,53ns
2008	169,0 a	70,82	41,92	136,9 b	38,99	28,48	23,95**
Masa ziarniaków/roślina (g) — Grain weight per plant (g)							
2004	12,27 a	3,96	32,30	12,67 a	2,92	23,06	2,08ns
2007	2,73 a	1,27	46,53	2,21 a	0,52	23,42	0,68ns
2008	7,87 a	3,35	42,61	5,94 b	2,25	37,92	1,20**

Masa ziarniaków/kłos (g) — Grain weight per spike (g)							
1	2	3	4	5	6	7	8
2004	1,27 a	0,20	15,58	1,30 a	0,14	11,02	0,1ns
2007	0,86 a	0,20	23,57	0,61 b	0,11	17,44	0,11**
2008	1,09 a	0,27	24,30	0,88 b	0,18	20,62	0,10**
Masa 1 ziarniaka (mg) — Weight of single grain (mg)							
2004	56,09 a	4,05	7,22	54,30 a	2,97	5,47	2,12ns
2007	46,54 a	5,49	11,80	46,24 a	4,91	10,61	3,2ns
2008	46,50 a	8,37	18,01	42,77 b	6,04	14,13	3,06**

Literami a i b oznaczono grupy jednorodne średnich obiektowych; Homogenous groups are marked with letters a and b
Średnie z tą samą literą nie różnią się istotnie przy $\alpha = 0,05$; Values marked with the same letter do not differ significantly according to Tukey test at $\alpha = 0.05$

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

W 2004 roku (pierwszy rok badań), pomiędzy DH a odmianą Scarlett stwierdzono istotne różnice tylko w liczbie kłosek płodnych (o 1,5 kłosek mniej) i w liczbie kłosek sterylnych w kłosie (o 2 kłoski więcej). Pozostałe cechy morfologiczne rośliny i kłosa, oraz cechy plonotwórcze jak również wielkości plonu ziarniaków z kłosa i z rośliny były podobne u linii DH i odmiany wyjściowej (różnice nieistotne statystycznie). W 2007 i 2008 roku (drugi i trzeci rok badań, odpowiednio) rośliny DH w porównaniu z odmianą Scarlett miały istotnie dłuższe pędy (o 10.1 i o 15.2 cm), dłuższe kłosa (o 1,2 cm, i o 1,6 cm), które zawierały więcej wykształconych kłosek (o 2–3 kłoski), więcej kłosek płodnych (o 5,1 i o 2,9 kłosek), więcej ziarniaków w kłosie (o 5,1 i o 2,9 ziarniaków) oraz wyższą masę ziarniaków z kłosa (o 0,25 g i o 0,21 g), odpowiednio w drugim i trzecim roku. Kłosa roślin DH, w drugim roku badań, zawierały istotnie mniej kłosek sterylnych (o 2 kłoski). Masa pojedynczego ziarniaka oraz plon ziarniaków z rośliny linii DH, w trzecim roku badań, były wyższe odpowiednio o 3,73 mg, oraz o 1,93 g (tab. 5).

Na podstawie przeprowadzonych analiz struktury morfologicznej rośliny (długość pędu, liczba pędów produktywnych) i kłosa (długość, liczba kłosek w tym płodnych i sterylnych) oraz wielkości strukturalnych czynników plonotwórczych determinujących plon ziarna z rośliny i z kłosa (liczba ziarniaków i masa jednego ziarniaka) zaobserwowano zmienność w cechach pomiędzy roślinami DH i odmianą wyjściową (tab. 4). Niskie wartości współczynników zmienności otrzymano dla następujących cech (uszeregowanie cech według wzrastających wartości, odpowiednio dla DH i odmiany Scarlett): ogólnej liczby kłosek w kłosie (8,4 i 9,2%), długości kłosa (12,4 i 15%), masy pojedynczego ziarniaka (13,5 i 15,2%), liczby kłosek płodnych równej liczbie ziarniaków z kłosa (14,4 i 20%), długości pędu (18,4 i 16,6%); wyższe — dla cech: masy ziarniaków z kłosa (23 i 30%), liczby pędów produktywnych w roślinie (46,8 i 39,3%), ogólnej liczby pędów w roślinie (47,4 i 34,7%), liczby ziarniaków z rośliny (50,7 i 51,1%), liczby kłosek sterylnych w kłosie (52 i 60%), masy ziarniaków z rośliny (53 i 62%), a najwyższe — w przypadku liczby pędów niedogonów w roślinie (127 i 92%).

Wartości współczynników zmienności dla większości cech u linii DH były zdecydowanie niższe od wartości analogicznych cech u odmiany Scarlett.

Tabela 6

Wartości i istotności współczynników korelacji Pearsona w obrębie zbioru badanych cech łącznie dla linii DH i odmiany Scarlett w trzech latach badań
Values and significances of Pearson's correlation coefficients between tested traits altogether for DH strains and cv. Scarlett in three years of study

Cecha / Trait	Cecha / Trait												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1 Długość pędu Length of stem	1,00												
2 Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	0,25**	1,00											
3 Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmetetered tillers per plant	-0,01ns	0,62**	1,00										
4 Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	0,32**	0,83**	0,07ns	1,00									
5 Długość kłosa Length of spike	0,62**	0,51**	0,26**	0,47**	1,00								
6 Liczba kłosek/kłos Spikelet no. per spike	0,58**	0,38**	0,18**	0,35*	0,87**	1,00							
7 Liczba kłosek sterylnych Sterile spikelet no. per spike	-0,54**	-0,24**	-0,002ns	-0,30**	-0,31**	-0,25**	1,00						
8 Liczba kłosek płodnych Fertile spikelet no. per spike	0,71**	0,39**	0,12*	0,41**	0,77**	0,82**	-0,76**	1,00					
9 Liczba ziarniaków/kłos Grain no. per spike	0,71**	0,39**	0,12*	0,41**	0,77**	0,82**	-0,76**	0,99**	1,00				
10 Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	0,43**	0,83**	0,12*	0,97**	0,59**	0,50**	-0,44**	0,59**	0,59**	1,00			
11 Masa ziarniaków/roślina Grain weight per plant	0,46**	0,83**	0,17*	0,93**	0,65**	0,54**	-0,43**	0,61**	0,62**	0,97**	1,00		
12 Masa ziarniaków/kłos Grain weight per spike (g)	0,66**	0,44**	0,20**	0,41**	0,79**	0,76**	-0,58**	0,86**	0,86**	0,56**	0,69**	1,00	
13 Masa 1 ziarniaka Weight of single grain (mg)	0,40**	0,38**	0,21**	0,33**	0,59**	0,49**	-0,22**	0,46**	0,46**	0,39**	0,58**	0,84**	1,00

ns — nie istotne, not significant; * istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0,05$; **istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0,01$

U badanych łącznie linii DH i odmiany Scarlett stwierdzono istotne współzależności pomiędzy badanymi cechami (tab. 6). Istotne współzależności stwierdzono między masą ziarniaków z rośliny a: liczbą pędów produktywnych w roślinie ($r = 0,93$), ogólną liczbą pędów w roślinie ($r = 0,83$), długością pędu ($r = 0,46$), długością kłosa ($r = 0,65$), ogólną liczbą kłosek w kłosie ($r = 0,54$), liczbą kłosek płodnych w kłosie ($r = 0,61$), liczbą ziarniaków z rośliny ($r = 0,97$), liczbą ziarniaków z kłosa ($r = 0,62$) masą pojedynczego ziarniaka ($r = 0,39$). Stwierdzono także istotne współzależności między masą ziarniaków z kłosa a: długością pędu ($r = 0,66$), długością kłosa ($r = 0,79$), ogólną liczbą kłosek w kłosie ($r = 0,76$), liczbą kłosek płodnych równą liczbie ziarniaków z kłosa ($r = 0,86$), masą pojedynczego ziarniaka ($r = 0,84$). Liczba ziarniaków z kłosa równa liczbie kłosek płodnych w kłosie jęczmienia jarego była istotnie skorelowana z: długością kłosa ($r = 0,77$), ogólną liczbą kłosek w kłosie ($r = 0,82$), długością pędu ($r = 0,71$).

Tabela 7

Wyniki analizy funkcji regresji wielokrotnej dla zależności masy ziarna z rośliny od badanych cech jęczmienia jarego
Results of multiple regression analysis for the dependence of grain weight per plant on the examined traits in spring barley

Parametr Parameter	Stopnie swobody Degrees of freedom	Ocena cząstkowych współczynników regresji Estimate of partial regression coefficients	Statystyka-t T-statistic	Ocena standaryzowana cząstkowych współczynników regresji Standardized estimation of partial regression coefficients
Stała — Intercept	1	8,6662	7,19**	0
Masa ziarniaków/kłós Grain weight per spike (g)	1	15,8790	13,77**	0,9090
Liczba ziarniaków/roślina Grain no. per plant	1	0,0419	16,04**	0,7345
Liczba kłosek płodnych Fertile spikelet no. per spike	1	-0,4324	-0,2ns	-0,2994
Masa 1 ziarniaka Weight of single grain (mg)	1	-0,1829	-7,13**	-0,2758
Liczba ziarniaków/kłós Grain no. per spike	1	-0,3112	-0,15ns	-0,2155
Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	B	0,2094	3,61**	0,1875
Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmatured tillers per plant	B	-0,1966	-3,45**	-0,0992
Długość pędu — Length of stem	1	-0,0121	-4,13**	-0,0314
Liczba kłosek sterylnych Sterile spikelet no. per spike	1	-0,0118	-0,12ns	-0,0049
Długość kłosa — Length of spike	1	0,0137	0,26ns	0,0032
Liczba kłosek/kłós Spikelet no. per spike	1	-0,0005	-0,00ns	-0,0002
Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	B			

B — oceny obciążone ze względu na zależności między cechami (współlinowość)

B — biased estimation because of the relationship between variables (collinearity)

ns — nie istotne, not significant

* istotne przy $\alpha = 0,05$; significant at $\alpha = 0.05$

** istotne przy $\alpha = 0,01$; significant at $\alpha = 0.01$

W celu określenia znaczenia poszczególnych cech w kształtowaniu się plonu przeprowadzono analizę liniowej funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 7). W analizie tej, zmienną zależną była masa ziarniaków z rośliny, a zmiennymi przyczynowymi były pozostałe analizowane cechy. Ze względu na występujące współliniowości w ramach zmiennych przyczynowych, wartości cząstkowych współczynników regresji dla ogólnej liczby pędów z rośliny, liczby pędów niedogonów z rośliny oraz liczby pędów produktywnych były obciążone. Ocena standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji (tab. 7) pozwoliła na określenie wagi poszczególnych cech w kształtowaniu się plonu ziarna z rośliny jęczmienia jarego odmiany Scarlett oraz linii DH. Najważniejszą składową plonu okazała się masa ziarniaków z kłosa ($\beta = 0,909$), następnie w kolejności ważności były: liczba ziarniaków z rośliny ($\beta = 0,735$), liczba kłosek płodnych w kłosie ($\beta = -0,299$), masa 1 ziarniaka ($\beta = -0,276$), liczba ziarniaków z kłosa ($\beta = -0,216$), ogólna liczba pędów z rośliny ($\beta = 0,188$). Pozostałe cechy charakteryzowały się mniejszym udziałem w kształtowaniu się plonu ziarna z rośliny jęczmienia jarego odmiany Scarlett i linii DH potraktowanych łącznie (tab. 7).

DYSKUSJA

Na podstawie wyników z przeprowadzonych trzyletnich badań stwierdzono, że rośliny linii DH jęczmienia jarego, otrzymane na drodze androgenyzy w kulturze *in vitro* z izolowanych mikrospor jęczmienia jarego odmiany Scarlett, w kolejnych pokoleniach wykazywały tendencję wyższego plonowania niż rośliny wzorcowej odmiany Scarlett. O wielkości plonu ziarna z rośliny decydowały — struktura morfologiczna rośliny wyrażona liczbą wytworzonych pędów w roślinie (ogólna krzewistość), w tym liczba pędów produktywnych (krzewistość produkcyjna) oraz struktura morfologiczna kłosa wyrażona długością kłosa, liczbą kłosek w tym liczbą kłosek płodnych w kłosie i liczbą wytworzonych ziarniaków w kłosie. Elementy strukturalne rośliny i kłosa zbóż określane w literaturze jako czynniki plonotwórcze, lub składowe plonu kształtują się podczas kolejnych faz rozwojowych rośliny (Łubkowski, 1968; Listowski, 1979; Kozdój, 1992; Kozdój, 1994; Klepper i in., 1998; Górny, 2004). Czynniki meteorologiczne, zwłaszcza średnia dobowa temperatura powietrza i suma temperatur powietrza oraz suma opadów w poszczególnych fazach wzrostu i rozwoju roślin może istotnie modyfikować czas trwania określonej fenofazy (Galant i Andruszczak, 2004), jak również warunkować kształtowanie się strukturalnych czynników plonotwórczych w aspekcie ilościowym, które w konsekwencji determinują finalną wielkość plonu ziarna z rośliny.

Z danych przedstawionych w niniejszej pracy wynika, że niższe średnie dobowe temperatury powietrza w połączeniu z większymi opadami wpłynęły, u badanych linii DH i odmiany Scarlett, na dłuższy czas trwania faz: krzewienia (2004 r.), strzelania w źdźbło (2008 r.) i dojrzałości woskowej (2004 r.). Natomiast niższe temperatury powietrza w połączeniu z mniejszym poziomem opadów wpłynęły na wyraźne skrócenie czasu trwania fazy dojrzałości mlecznej (2004 r.) w porównaniu z wpływem wyższej temperatury i

większego poziomu (2007 r.) lub mniejszego poziomu opadów, co miało miejsce w 2008 roku. Zatem zmienne warunki pogodowe w poszczególnych fenofazach obserwowane w latach badań wpłynęły modyfikująco na krzewistość ogólną i produkcyjną rośliny (ogólną liczbę pędów, liczbę pędów produktywnych), długość pędu oraz na liczbę wytworzonych ziarniaków w kłosie jęczmienia jarego zarówno linii DH, jak i wzorcowej odmiany Scarlett.

W literaturze mocno akcentowane jest znaczenie wpływu czynników pogodowych, określane jako rok badań, na przebieg wzrostu i rozwoju roślin jak i kształtowanie się czynników plonotwórczych i wielkość plonu ziarna jęczmienia (Filipiak i in., 1990; Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Zbroszczyk i Nowak, 2009; Nurminiemi i in., 2002; Gozdowski i in., 2007 a; Łubkowski 1968). Jęczmień jary należy do roślin o szerokim zasięgu klimatycznym i ma duże możliwości adaptacyjne do warunków pogodowych (Nowicka, 1993). Nowicka (1993) podaje, że średnie dobowe temperatury ($^{\circ}\text{C}/\text{dekada}$) optymalne dla jęczmienia jarego uprawianego na kompleksie glebowym żytym w rejonie Centralnej Polski w określonych fenofazach wynoszą: 7,5 (jedna dekada przed siewem), 8,5 (siew — wschody), 4,4 (wschody — krzewienie), 11,6 (krzewienie — kłoszenie) 18,0 (kłoszenie — dojrzałość woskowa). Zdaniem autorki, niższe średnie dobowe temperatury w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej są korzystnymi dla plonu ziarna jęczmienia jarego (Nowicka, 1993). Na plonowanie jęczmienia jarego najsilniej oddziaływały zmiany temperatur w okresie od kłoszenia do dojrzałości woskowej (największa wrażliwość na maksymalne temperatury) i od krzewienia do kłoszenia (największa wrażliwość na minimalne temperatury) (Nowicka, 1993). Drugim czynnikiem pogodowym, który miał największy wpływ na plonowanie jęczmienia jarego w Centralnej Polsce na glebach żytnich były opady w okresie przed siewem i od wschodów do kłoszenia (Panek, 1993). Dla rejonu Centralnej Polski wykazano dodatnie współdziałanie opadów w okresie od siewu do wschodów, od wschodów do krzewienia, od krzewienia do kłoszenia i od kłoszenia do dojrzałości woskowej na plonowanie jęczmienia jarego (Panek, 1993). Z badań Zbroszczyka i Nowaka (2009) wynika, że podczas chłodnego roku z nadmiernym poziomem opadów uzyskano wyższe wartości: liczby kłosów produktywnych na jednostce powierzchni, współczynnika krzewienia produkcyjnego, zaś niższe wartości: liczby ziaren w kłosie, masy tysiąca ziaren, masy ziarna z kłosa trzech odmian jęczmienia jarego pastewnego.

Uzyskane wyniki wskazują, że wielkość plonu ziarniaków z kłosa, jak również plon ziarniaków z rośliny, były istotnie wyższe u linii DH niż u odmiany wzorcowej Scarlett. Czynnikiem najsilniej skorelowanym z plonem ziarna była liczba pędów produktywnych w roślinie. W literaturze cytuje się różne nazewnictwo takie jak np. liczba kłosów produktywnych na jednostce powierzchni (Zbroszczyk i Nowak, 2009), liczba kłosów na 1 m^2 (Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008), liczba pędów dojrzałych w roślinie (Kozdój i Oleszczuk, 2006) lub jako rozkrzewienie produkcyjne (Lisowska, 2006) i jest ona uważana za ważny strukturalny czynnik plonotwórczy decydujący o wielkości łącznego plonu ziarna (Kozdój i Oleszczuk, 2006; Lisowska, 2006; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008). Z danych prezentowanych w niniejszej pracy wynika, że liczba pędów produktywnych stanowiła 79%, zaś liczba niedogonów — 21% ogólnej liczby pędów wytworzonych przez roślinę

(średnia z trzech lat). W zależności od roku badań udział pędów produktywnych w ogólnej liczbie pędów w roślinie DH i odmiany Scarlett, wahał się od 60% (2004 r.) do 81%–83% (w dwóch kolejnych latach). Przytoczone dane wskazują na nie wykorzystany strukturalny potencjał plonotwórczy przez rośliny jęczmienia wyrażony procentowym udziałem liczby pędów produktywnych oraz liczby niedogonów w ogólnej liczbie wytworzonych pędów przez roślinę. Wysoki odsetek liczby niedogonów i pędów suchych pośrednio świadczy o silnej dominacji wierzchołkowej pędów głównego i kilku bocznych pędów wytworzonych w okresie wczesnej fazy krzewienia w stosunku do pędów tworzących się w późniejszej fazie krzewienia. Z wcześniejszych badań wynika, że w obrębie dziesięciu linii DH jęczmienia jarego występowały istotne różnice pod względem liczby dojrzałych pędów kłosonośnych (Kozdój i Oleszczuk, 2006). Zaobserwowana zmienność w liczbie pędów poszczególnych kategorii pomiędzy latami (jak i pomiędzy liniami w danym roku badań — nie przedstawiono) wynikała z oddziaływania czynników środowiska, w tym średniej dobowej temperatury powietrza i poziomu opadów, na przebieg wzrostu i rozwoju roślin jęczmienia jarego podczas fazy krzewienia. Dane literaturowe wskazują na występowanie zmienności liczby kłosów jęczmienia jarego na m² w latach (Garcia del Moral i Garcia del Moral, 1995; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2008).

Z przeprowadzonych badań własnych wynika, że liczba ziarniaków z kłosa i z rośliny oraz jednostkowa masa ziarniaka determinowały wielkość uzyskanego plonu ziarna z kłosa i z rośliny zarówno u linii DH, jak i u odmiany Scarlett. Podobne wyniki przedstawiają inni autorzy (Lisowska, 2006; Gozdowski i in., 2007 a; Gozdowski i in., 2007 b; Gozdowski i in., 2008; Kozdój i Oleszczuk, 2006).

Masa ziarniaków z kłosa jęczmienia jarego linii DH i odmiany Scarlett charakteryzowała się istotnym i dodatnim współczynnikiem korelacji (współzależność wprost proporcjonalna) z liczbą ziarniaków oraz z jego jednostkową masą, lecz w tym przypadku siła współzależności była mniejsza. Podobne zależności przedstawili Lisowska (2006), Kozdój i Oleszczuk (2006). Odmienne wyniki uzyskali Gozdowski i wsp. (2008). W cytowanej pracy zależności między liczbą ziarniaków w kłosie a masą tysiąca ziarniaków były ujemne i istotne.

Długość kłosa u linii DH i odmiany Scarlett była podobna i cechowała się istotną korelacją z liczbą kłosków. Nie wykazano istotnej zależności między ogólną liczbą kłosków w kłosie a liczbą ziarniaków w kłosie.

Uzyskane wyniki wskazują, że homozygotyczne linie DH jęczmienia jarego, otrzymane na drodze androgenezy z izolowanych mikrospor, analizowane w kolejnych pokoleniach (latach) mogą się istotnie różnić pod względem struktury morfologicznej rośliny (wysokość pędu, liczba pędów w roślinie) i kłosa (długość kłosa i liczba kłosków) oraz plonem ziarna z kłosa i rośliny w porównaniu do odmiany wzorcowej. Także linie DH badane w trzech kolejnych latach cechowały się zróżnicowanym zakresem wartości współczynników zmienności dla poszczególnych cech morfologicznych oraz plonotwórczych (determinujących wielkość plonu ziarna z kłosa i rośliny). Brak jest w dostępnym piśmiennictwie danych dotyczących struktury morfologicznej rośliny i plonowania różnych, homozygotycznych linii DH jęczmienia jarego otrzymanych na drodze androgenezy z izolowanych mikrospor, a ocenianych na wczesnych etapach selekcji

pojedynków w obrębie poszczególnych linii. Wyniki badań uzyskane przez Rogalską i wsp. (1997) wskazują jednoznacznie, że poszczególne linie DH pszenżyta ozimego otrzymane na drodze androgenezy oraz kultury *in vitro* niedojrzałych zarodków w wyniku krzyżowania pszenżyta z kukurydzą były zróżnicowane pod względem plonu i długości źdźbła w porównaniu z wyjściową odmianą Bogo. Linie DH pszenicy jarej wyprowadzone na drodze oddalonego krzyżowania roślin F_1 (z krzyżówek: Eta \times Darkhan 15 oraz Eta \times Sigma) z kukurydzą nie różniły się pod względem cech struktury plonu: liczby źdźbeł kłosonośnych, liczby ziaren z rośliny, masy ziaren z rośliny i masy tysiąca ziaren od linii SSD otrzymanych metodą pojedynczego nasiona (SSD — single seed descent) (Guzy-Wróbelska i in., 2001). Wcześniejsze jednoroczne badania (Kozdój i Oleszczuk, 2006) prowadzone na dziesięciu liniach DH jęczmienia jarego wyprowadzonych z wyjściowej odmiany Scarlett wykazały, że zmienność strukturalnych cech plonotwórczych determinujących uzyskany plon ziarna z kłosa i rośliny wynikał ze zróżnicowanej reakcji homozygotycznych roślin linii DH na współdziałanie czynników genetycznych z czynnikami środowiskowymi (efekt epigenetyczny).

Przedstawione w pracy wyniki dotyczące zróżnicowanej, w trzech latach badań, zmienności cech struktury morfologicznej rośliny (wysokość pędu, liczba pędów w roślinie) i kłosa (długość kłosa i liczba kłosek) oraz wielkości uzyskanego plonu ziarna z kłosa i z rośliny jęczmienia jarego, pomiędzy homozygotycznymi liniami DH i odmiany wyjściowej Scarlett, wynikają ze współdziałania czynników genetycznych z czynnikami środowiskowymi (efekt epigenetyczny).

WNIOSKI

1. Strukturalny potencjał plonotwórczy rośliny jęczmienia jarego wyrażony liczbą pędów wytworzonych w roślinie był podobny u linii DH, jak i u odmiany wzorcowej Scarlett.
2. Strukturalny potencjał plonotwórczy kłosa jęczmienia jarego wyrażony liczbą kłosek płodnych równy liczbie wytworzonych ziarniaków był wyższy u linii DH w porównaniu z odmianą wzorcową Scarlett.
3. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego była determinowana liczbą pędów produktywnych w roślinie zarówno u linii DH, jak i u odmiany wzorcowej Scarlett.
4. Plon ziarniaków z kłosa jęczmienia jarego, zarówno u linii DH jak i u odmiany wzorcowej Scarlett był w większym stopniu determinowany liczbą ziarniaków w kłosie niż jego masą jednostkową.
5. Linie DH wytworzyły większy o 47,6% plon ziarniaków z rośliny w wyniku większej o 11% liczby wytworzonych ziarniaków w kłosie i większej o 14,7% jednostkowej masy pojedynczego ziarniaka w porównaniu z odmianą wzorcową Scarlett.

LITERATURA

- Box G. E. P., Hunter J. S., Hunter W. G. 2005. Statistics for Experimenters — Design, Innovation, and Discovery. 2nd Edition. New Jersey, USA: Wiley and Sons Inc.
- Cochran W. G., Cox G. M. 1992. Experimental design. Hoboken, USA: John Wiley & Sons Inc.

- Filipiak K., Król M., Pecio A. 1990. Interpretacja wyników doświadczeń typu 2n-m z jęczmieniem jarym o zwiększonej zawartości białka. Pam. Puł. 96: 7 — 20.
- Forster B. P., Heberle-Bors E., Kasha K. J., Touraev A. 2007. The resurgence of haploids in higher plants. Trends in Plant Science, 12,5: 368 — 375.
- Galant H., Andruszczak S. 2004. Wpływ warunków meteorologicznych na długość międzyfaz żyta ozimego. Annales UMCS, Sec. E, 59, 2: 833 — 838.
- García del Moral M. B., García del Moral L. F. 1995. Tiller production and survival in relation to grain yield in winter and spring barley. Field Crops Res. 44: 85 — 93.
- Gozdowski D., Wyszyński Z., Kalinowska-Zdun M. 2007 a. Plon i składowe plonu jęczmienia jarego oplewionego i nagoziarnistego. Fragm. Agronom. (XXIV) nr 2 (94): 110 — 118.
- Gozdowski D., Kozak M., Kang M. S., Wyszyński Z. 2007 b. Dependence of grain weight of spring barley genotypes on traits of individual stems. J. Crop Improv. 20, 1–2: 223 — 233.
- Gozdowski D., Mądry W., Wyszyński Z. 2008. Analiza korelacji i współczynników ścieżek w ocenie współzależności plonu ziarna i jego składowych u dwóch odmian jęczmienia jarego. Biul. IHAR 248: 23 — 31.
- Górny A. G. 2004. Zarys genetyki jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.). W: Zarys genetyki zbóż. Praca zbiorowa pod red. A. G. Górnego. T. 1: 15 — 80.
- Guzy-Wróbelska J., Szarejko I., Nawrot M., Madajewska M. 2001. Analiza agrobotaniczna podwojonych haploidów pszenicy uzyskanych w krzyżowaniu oddalonym z kukurydzą. Biotechnologia, 2, (53): 72 — 79.
- Kalbarczyk R. 2003. Warunki termiczno-opadowe a plonowanie ziemniaka w Polsce. Annales UMCS, Sec. E, 58: 35 — 44.
- Klepper B., Rickman R. W., Waldman S., Chevalier P. 1998. The physiological life cycle of wheat: Its use in breeding and crop management. Euphytica 100: 341 — 347.
- Kozdój J. 1992. Wpływ wybranych czynników środowiska na morfogenezę kłosa i potencjał plonotwórczy zbóż. Biul. IHAR 183: 59 — 71.
- Kozdój J. 1994. Wzrost i rozwój rośliny zbożowej – badania botaniczne a praktyka rolnicza. Biul. IHAR., 192: 3 — 21.
- Kozdój J., Oleszczuk S. 2006. Analiza zmienności cech plonotwórczych kłosa i rośliny linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). W: Adamski T., Surma M. (red). Haploidy i linie podwojonych haploidów w genetyce i hodowli roślin. IGR PAN Poznań.: 109 — 117.
- Lisowska M. 2006. Współzależności pomiędzy cechami plonotwórczymi wybranych form jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). Biul. IHAR 240/241: 91 — 97.
- Listowski A. 1979. Agrofizjologiczne podstawy produktywności roślin. PWN. Warszawa.
- Łubkowski Z. 1968. Jęczmień. Wydanie II. PWRiL, Warszawa.
- Muller K. E., Fetterman B. A. 2003. Regression and ANOVA, an Integrated Approach Using SAS Software. New York, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc., John Wiley & Sons Inc.
- Nowicka A. 1993. Temperatura. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Pod red. J. Dzieżyca: 99 — 148.
- Nurminiemi M., Madsen S., Rongli O.A., Bjornstad A. Ortiz R. 2002. Analysis of the genotype-by-environment interaction of spring barley tested in the Nordic Region of Europe: Relationships among stability statistics for grain yield. Euphytica 127: 123 — 132.
- Oleszczuk S., Sowa S., Zimny J. 2006. Androgenic response to preculture stress in microspore cultures of barley. Protoplasma 228: 95 — 100.
- Panek K. 1993. Opady. W: Czynniki plonotwórcze – plonowanie roślin. Pod red. J. Dzieżyca: 149 — 193.
- Pickering R. A., Devaux P. 1992. Haploid production: Approaches and use in plant Breeding. In: Shewry P.R. editors, Barley: Genetics, biochemistry, molecular biology and biotechnology. CAB International, Oxford: 519 — 547.
- Rawlings J. O., Pantula S. G., Dickey D. A. 2001. Applied Regression Analysis — a Research Tool. 2nd Edition. New York, USA: Springer Verlag Inc.

- Rogalska S., Mikulski W., Dopierała P., Dopierała A. 1997. Charakterystyka plonowania linii DH pszenżyta ozimego ($2n=6x=42$) (*X Triticosecale* Wittmack) (Doniesienie). Zesz. Nauk. AR Szczecin, 175, Rolnictwo 65: 355 — 358.
- SAS Institute Inc. 2009 a. Base SAS 9.2 Procedures Guide: Statistical Procedures, 2nd Edition. Cary, NC, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- SAS Institute Inc. 2009 b. SAS/STAT 9.2 User's Guide, 2nd Edition. Cary, NC, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- Skowera B., Puła J. 2004. Skrajne warunki pluwiometryczne w okresie wiosennym na obszarze Polski w latach 1971-2000. Acta Agrophysica 3 (1): 171 – 177.
- Wójcik A. R., Ludański Z. 1989. Planowanie i wnioskowanie statystyczne w doświadczeniach. Warszawa: PWN.
- Zadoks J. C., Chang T. T., Konzak C. F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. EUCARPIA Bulletin. Vol. 7: 42 — 52.
- Zbroszczyk T., Nowak W. 2009. Wpływ poziomu ochrony i nawożenia azotem na plonowanie i skład chemiczny ziarna kilku odmian jęczmienia jarego pastewnego. Część I. Plonowanie. Biul. IHAR 251: 137 — 144.