

**JANUSZ KOZDÓJ**<sup>1</sup>**DARIUSZ MAŃKOWSKI**<sup>2</sup>**HENRYK J. CZEMBOR**<sup>3</sup><sup>1</sup> Zakład Biotechnologii i Cytogenetyki Roślin IHAR Radzików<sup>2</sup> Zakład Nasiennictwa i Nasionoznawstwa IHAR Radzików<sup>3</sup> Zakład Genetyki i Hodowli Roślin IHAR Radzików

## Analiza plonu jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) porażonego mączniakiem prawdziwym (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) Komunikat

### The analysis of grain yield of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) infected by powdery mildew (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) Short communication

Przedstawiono wyniki badań dotyczących analizy struktury morfologicznej rośliny i kłosa oraz elementów struktury plonu ziarniaków z rośliny dwu form jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) podatnej (odm. Pallas) i odpornej (izogeniczna linia P13) na chorobę grzybową wywołaną mączniakiem prawdziwym (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). W fazie dojrzałości pełnej struktura morfologiczna rośliny wyrażona długością pędu, ogólną liczbą pędów w roślinie w tym liczbą pędów produktywnych, niedogonów i pędów suchych były podobne u obu form jęczmienia jarego. Struktura morfologiczna kłosa wyrażona długością kłosa, ogólną liczbą kłosek były także podobne u obu form jęczmienia jarego. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny u obu form jęczmienia jarego była determinowana liczbą pędów produktywnych w roślinie ( $r = 0,82$ ). Plon ziarniaków z rośliny odmiany Pallas (podatnej na mączniak prawdziwy) w porównaniu z izogeniczną linią P13 (odporną) był istotnie niższy o 36,8%. Było to spowodowane niższą (o 34%) liczbą ziarniaków z rośliny i niższą (o 4,1%) masą pojedynczego ziarniaka.

**Słowa kluczowe:** jęczmień jary, mączniak prawdziwy, plon ziarna, czynniki plonotwórcze, zmienność

Results of analysis are presented for plant and ear morphological structure and components of grain yield per plant in two forms of spring barley: susceptible (Pallas cv.) and resistant (isogenic line P13) to powdery mildew. Analyses of some morphological traits of plant as stem length, total number of stems per plant, number of productive tillers per plant, number of unmaturing tillers per plant, number of dry tillers per plant investigated at the ripening stage, showed no differences between these two forms of spring barley. Morphological structure parameters of ears as ear length, total number of spikelets per ear were also similar. Grain yield per plant of the spring barley forms was determined by productive tiller number per plant ( $r = 0.82$ ). The grain yield per plant of Pallas (susceptible to powdery

mildew) in comparison with isogenic line P13 (resistant) was significantly lower, by 36.8 per cent, and was caused by lower of grain number per plant, by 34 per cent and significantly lower, by 4.1 per cent single grain weight.

**Key words:** grain yield, powdery mildew, spring barley, variability, yield components

#### WSTĘP

Wielkość plonu ziarna zbóż, w tym jęczmienia jarego, jest uwarunkowana reakcją genotypu na biotyczne i abiotyczne czynniki środowiska oddziaływujące na roślinę w okresie jej wegetacji, od wysiewu ziarniaków poprzez kolejne fazy wzrostu i rozwoju roślin do uzyskania fizjologicznej dojrzałości roślin umożliwiającej zbiór ziarna stanowiącego plon. Jednym z czynników biotycznych jest choroba grzybowa, której sprawcą jest mączniak prawdziwy (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*) powodujący straty w plonie ziarna jęczmienia (*Hordeum vulgare* L.) przeciętnie na poziomie 10% jak również i pogorszenie jakości ziarna przeznaczonego na cele browarne (cyt. Czembor, Czembor, 2004; Czembor, 2005; Jarvis i in., 2002; Kolster i in., 1986; Kjær i in., 1990). Spośród wielu czynników ograniczających straty w plonie ziarna ważnym jest uprawa odmian jęczmienia posiadających w swoim genomie geny specyficznej odporności między innymi z serii alleli *Mla* na poszczególne rasy mączniaka prawdziwego (Czembor, 2005). Nowsze odmiany jęczmienia zawierają recesywny gen odporności *mlo* (Czembor, 2005). Stopień nasilenia zmian chorobowych rośliny zależy, głównie od poziomu odporności genotypu na mączniak, jak również od przebiegu warunków pogodowych podczas wegetacji roślin z uwzględnieniem kolejnych fenofaz jęczmienia. Zagadnienia dotyczące mechanizmów genetycznej odporności jęczmienia na poszczególne rasy fizjologiczne mączniaka, charakterystyki genów odporności, a także charakterystyki poszczególnych odmian pod względem poziomu odporności na mączniak są przedstawione w wielu monografiach i publikacjach (Jørgensen, 1982; Belanger i in., 2002; Czembor, 2003; Czembor, 2004; Czembor i Czembor, 2003 a; Czembor i Czembor, 2003 b; Czembor i Czembor, 2003 c; Czembor i Czembor, 2005).

W aspekcie fizjologii plonowania jęczmienia, czynnikami plonotwórczymi determinującymi wielkość plonu ziarna z jednostki powierzchni są: liczba roślin na jednostce powierzchni, liczba pędów w roślinie z uwzględnieniem liczby pędów kłosonośnych (produktywnych), liczba kłosek w kłosie, liczba ziarniaków w kłosie i w roślinie oraz masa tysiąca ziarniaków (Kjær i in., 1990; Górny, 2004; Kozdój i Oleszczuk, 2006; Gozdowski i in., 2008). Wymienione czynniki plonotwórcze rośliny i kłosa kształtują się w okresie wegetacji w określonych fazach wzrostu i rozwoju rośliny (Górny, 2004).

Celem podjętych badań była próba wyjaśnienia obserwowanego obniżenia plonu ziarna z kłosa i rośliny u dwóch form jęczmienia jarego różniących się wrażliwością na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*): wrażliwej — odmianie Pallas i odpornej — izogenicznej linii P13.

## MATERIAŁ I METODY

Obiektem badań był dwurzędowy jęczmień jary (*Hordeum vulgare* L.) odmiana Pallas i jej linia izogeniczna P13 z genem *mlo* warunkującym odporność na mączniaka prawdziwego zbóż (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*). Wysiewu ziarniaków odmiany Pallas i linii P13 wykonano 8 kwietnia 2007 roku, po 200 szt. na poletko o powierzchni 2 m<sup>2</sup>, w czterech powtórzeniach. 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<sup>-1</sup>. Zastosowano chemiczne odchwaszczanie preparatem Mustang w fazie krzewienia.

Rośliny obu form jęczmienia jarego rosły w warunkach naturalnych, a ich porażenie grzybem (mączniakiem prawdziwym) nastąpiło samoistnie. W okresie wegetacji roślin, od stadium początku strzelania w źdźbło do stadium dojrzałości pełnej, na podstawie wizualnej oceny, notowano objawy porażenia roślin przez mączniaka prawdziwego w skali przedstawionej w pracy Czembora (2004).

W fazie dojrzałości pełnej, z każdego poletka pobierano po 40 roślin — łącznie 320 roślin. Przeprowadzono pomiary długości pędu, określano całkowitą liczbę pędów w roślinie z uwzględnieniem pędów produktywnych (in. kłosonośnych), niedogonów (niedojrzałe) oraz suchych (ontogenetycznie najmłodsze pędy w roślinie, niedorozwinięte i silnie zaschnięte podczas zbioru roślin). Na grupie piętnastu, losowo pobranych roślinach, spośród czterdziestu roślin z każdego powtórzenia, przeprowadzono pomiary długości kłosów, policzono ogólną liczbę kłosków w kłosie, liczbę ziarniaków w kłosie, zważono ziarniaki z wszystkich kłosów z jednej rośliny. Z pozostałej grupy 35 roślin wymłócono ziarniaki z każdej rośliny, które następnie zważono. Średnią masę ziarniaków z rośliny, średnią masę ziarniaków z kłosa, jednostkową masę ziarniaka wyliczono na podstawie danych uzyskanych z 40 roślin z czterech powtórzeń zarówno dla odmiany, jak i linii.

Przeprowadzono analizy statystyczne: jednoczynnikową analizę wariancji (istotność różnic sprawdzono za pomocą procedury porównań wielokrotnych Tukeya), analizę współczynników korelacji liniowej Pearsona oraz analizę funkcji regresji wielokrotnej z wyznaczeniem standaryzowanych cząstkowych współczynników regresji. Obliczenia przeprowadzono w Systemie SAS<sup>®</sup> wersji 9.1. (SAS Institute Inc., 2004).

## WYNIKI

W przeprowadzonym doświadczeniu rośliny odmiany Pallas (podatnej na mączniaka prawdziwego) w okresie ich wegetacji były bardzo silnie porażone wymienionym grzybem. Pierwsze symptomy chorobowe zaobserwowano w fazie początku strzelania w źdźbło. Nasilenie infekcji tym patogenem obserwowano od fazy zaawansowanego strzelania w źdźbło do fazy początku dojrzewania mlecznego. Rośliny w fazie zaawansowanego strzelania w źdźbło odznaczały się silnym porażeniem dolnych międzywęzli, pochew liściowych i blaszek liściowych. Przejawem w początkowej fazie infekcji było pokrycie powierzchni wyżej wymienionych organów rośliny białym nalotem, która w miarę nasilenia infekcji stawała się zagęszczoną, mączystą, watowatą powłoką. W

kolejnych, bardziej zaawansowanych stadiach rozwojowych roślin, od fazy kłoszenia do fazy mlecznego dojrzewania, obserwowano objawy infekcji również na górnych międzywęzłach (dokłosiach), kłosach, a ściślej na jego elementach strukturalnych takich jak: osadkach kłosowych, plewach, plewkach kłosków. Porażone liście roślin odmiany Pallas ulegały przedwczesnemu starzeniu się, które przejawiało się żółknięciem i następnie obumieraniu i zasychaniu. Także wykształcone ziarniaki w fazie dojrzałości pełnej, po zbiorze roślin, odznaczały się obecnością szarobrazowego nalotu na powierzchni okrywy owocowo-nasiennej. Dojrzałe ziarniaki charakteryzowały się brunatnym zabarwieniem okrywy owocowo-nasiennej, były pomarszczone. Opisywane powyżej objawy choroby na organach nadziemnych roślin i ziarniakach spowodowanej przez mączniaka prawdziwego potwierdzają cechę wrażliwości odmiany Pallas na mączniak prawdziwy. W klasyfikacji oceny porażenia roślin, odmianę Pallas zaliczono do klasy 4 — silnie podatnej na mączniak prawdziwy (za Czembor, 2004).

Odmienne zachowywały się rośliny izogenicznej linii P13 (odpornej na mączniaka prawdziwego) analizowane porównawczo w tych samych stadiach rozwojowych podczas ich wegetacji co rośliny odmiany Pallas. Analizowane organy roślin izogenicznej linii P13 nie wykazywały żadnych zmian w strukturze morfologicznej oraz objawów infekcji tym patogenem. Wszystkie międzywęzła pędów, pochwy liściowe, blaszki liściowe, a następnie kłosy i ziarniaki, analizowane w odpowiednich fazach rozwojowych roślin, od stadium początku strzelania w źdźbło do stadium dojrzałości pełnej, były wolne od jakichkolwiek oznak infekcji mączniakiem prawdziwym. Zatem izogeniczna linia P13 jest całkowicie odporna na mączniaka prawdziwego. W klasyfikacji oceny porażenia roślin, izogeniczną linię P13 zaliczono do klasy 1 — odpornej (za Czembor, 2004).

Tabela 1

**Wyniki jednoczynnikowej analizy wariancji cech ilościowych jęczmienia jarego**  
**One-way ANOVA results for the spring barley quantitative variables**

Cecha Trait	Średnia kwadratów Mean square	Wartość F F value	Pr>F
Długość pędu — Length of stem	144,4531	3,46	ns
Długość kłosa — Length of spike	0,1727	0,28	ns
Liczba kłosków/kłos — Spikelet no. per spike	0,0248	0,01	ns
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike	1759,8074	217,99	**
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant	217067,3110	50,90	**
Masa ziarniaków/roślina — Grain weight per plant	413,0525	58,95	**
Masa ziarniaków/kłos — Grain weight per spike	3,3348	167,82	**
Masa 1 ziarniaka — Weight of single grain	221,3705	8,46	**
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant	58,6531	0,99	ns
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant	37,7781	1,77	ns
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant	2,4500	0,25	ns
Liczba pędów suchych/roślina — No. of dry tillers per plant	0,0125	0,00	ns

ns — Nieistotne — Not significant

Na podstawie przeprowadzonej analizy wariancji (tab. 1) stwierdzono istotne różnicowanie pod względem cech plonotwórczych kłosa (liczby ziarniaków z kłosa, jednostkowej masy ziarniaka, masy ziarniaków z kłosa) i rośliny (liczby ziarniaków z

rośliny, masy ziarniaków z rośliny) między izogeniczną linią P13 (odporną) i odmianą Pallas (wrażliwą). W przypadku pozostałych cech plonotwórczych kłosa (długość kłosa i liczba kłosek w kłosie) i rośliny (ogólna liczba pędów w roślinie, liczba pędów z kłosami, liczba niedogonów, liczba pędów suchych oraz długości pędu) istotnych różnic pomiędzy linią P13 a odmianą Pallas nie stwierdzono.

Struktura morfologiczna rośliny wyrażona wysokością rośliny, ogólną liczbą pędów w roślinie, w tym liczbą pędów produktywnych, niedogonów i pędów suchych była podobna zarówno u odm. Pallas, jak i u izogenicznej linii P13 (tab. 2). U odpornej linii P13 zaobserwowano tendencję wytwarzania większej liczby pędów produktywnych niż u wrażliwej odm. Pallas. Liczba pędów produktywnych w roślinie stanowiła ok. 51–52% ogólnej liczby wytworzonych pędów w roślinie, która wynosiła 18–19 (tab. 2). Pozostałe, 48–49% pędów w roślinie stanowiły niedogony i niedorozwinięte suche pędy. Wskazuje to na znaczne, o ok. 50% obniżenie potencjału plonotwórczego rośliny jęczmienia jarego.

Tabela 2

**Wyniki procedury porównań wielokrotnych Tukeya (HSD)  
Tukeys HSD analysis for the Pallas cv. and the P13 line**

Cecha Trait	Odm.Pallas Pallas cv.	Linia P13 P13 line	NIR LSD
Długość pędu — Length of stem (cm)	61,4	62,7	1,42ns
Długość kłosa — Length of spike (cm)	7,10	7,00	0,23ns
Liczba kłosek/kłos — Spikelet no. per spike	25,60	25,57	0,55ns
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike	10,90	15,60	0,63**
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant	100,19	152,28	14,37**
Masa ziarniaków/roślina — Grain weight per plant (g)	3,91	6,18	0,58**
Masa ziarniaków/kłos — Grain weight per spike (g)	0,43	0,63	0,03**
Masa 1 ziarniaka — Weight of single grain (mg)	38,66	40,32	1,13**
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant	17,96	18,82	1,69ns
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant	9,08	9,74	0,99ns
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant	3,40	3,57	0,69ns
Liczba pędów suchych/roślina — No. of dry tillers per plant	5,49	5,50	0,74ns

Istotności różnic testowano przy poziomie  $\alpha = 0,05$

Significance of the differences were tested at  $\alpha = 0.05$

Kłosa odmiany Pallas i linii P13 były podobnej długości (7 cm) i zawierały po 25–26 kłosek w kłosie (tab. 2). Średnia liczba ziarniaków z kłosa odmiany Pallas wynosiła 10,9 i była istotnie niższa (o 30%) w stosunku do liczby ziarniaków z kłosa linii P13, która wynosiła 15,6 (tab. 2). Liczba wytworzonych ziarniaków w kłosie stanowiła 43% (Pallas) i 61% (linia P13) ogólnej liczby kłosek w kłosie. Z danych przedstawionych w tabeli 2 wynika, że potencjał plonotwórczy kłosa wyrażony ogólną liczbą kłosek nie został wykorzystany. W linii P13 stwierdzono, że średnio 39% kłosek w kłosie nie zawiązało ziarniaków. W kłosie odmiany Pallas, wrażliwej na patogen, liczba kłosek sterylnych w wyniku infekcji grzybem była większa o 18% niż u linii P13. Zatem w kłosie odmiany Pallas łącznie 57% kłosek nie wytworzyło ziarniaków.

Jednostkowa masa ziarniaka odmiany Pallas była istotnie niższa (o 4,1%) w stosunku do masy ziarniaka linii P13 (tab. 2). Zatem masa ziarniaków (plon ziarna) z kłosa odmiany

Pallas wynosiła 0,43 g i była istotnie niższa (o 32,3%) niż masa ziarniaków z kłosa linii P13, która wynosiła 0,63 g (tab. 2).

W roślinie odmiany Pallas zostało wytworzonych 100,2 ziarniaków, co stanowiło 66% liczby ziarniaków wytworzonych w roślinie linii P13 (obniżenie liczby ziarniaków o 34% — tab. 2). Plon ziarna z rośliny odmiany Pallas był istotnie niższy (o 36,8%) w porównaniu z plonem ziarna linii P13 (tab. 2).

O wielkości plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego decydowały w następującej kolejności takie cechy jak: liczba ziarniaków z rośliny, liczba pędów produktywnych w roślinie, liczba ziarniaków w kłosie i masa ziarniaków z kłosa (tab. 3).

Tabela 3

**Analiza funkcji regresji wielokrotnej — standaryzowane cząstkowe współczynniki regresji**  
**Multiple regression analysis — standardized partial regression coefficients**

Zmienna — Variable	Ocena standaryzowana — Standardized evaluation
Stała — Constans	0
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant	1,21496
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike	-0,46642
Masa ziarniaków/kłos — Grain weight per spike	0,43595
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant	0,27993
Długość pędu — Length of stem	0,00276
Długość kłosa — Length of spike	-0,0058
Liczba kłosek/kłos — Spikelet no. Per spike	-0,00153
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant	-0,00455
Masa 1 ziarniaka — Weight of single grain	0,03849
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant	0,00414
Liczba pędów suchych/roślina — No. of dry tillers per plant	0

Z danych przedstawionych w tabeli 4 wynika, że wartości współczynników zmienności takich cech jak ogólna liczba pędów w roślinie, liczba pędów suchych w roślinie, długość kłosa były niższe u odmiany Pallas niż u linii P13.

Tabela 4

**Analiza wartości współczynników zmienności (CV %)**  
**Coefficient of variance analysis (CV %)**

Cecha Trait	Odm. Pallas Pallas cv.	Linia P13 P13 line
Długość pędu — Length of stem	10,94	9,86
Długość kłosa — Length of spike	10,19	11,87
Liczba kłosek/kłos — Spikelet no. per spike	7,68	7,10
Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike	26,39	17,87
Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant	56,40	47,73
Masa ziarniaków/roślina — Grain weight per plant	55,21	49,26
Masa ziarniaków/kłos — Grain weight per spike	31,22	23,22
Masa 1 ziarniaka — Weight of single grain	15,34	10,17
Ogólna liczba pędów/roślina — Total no. of stems per plant	39,96	43,28
Liczba pędów produktywnych/roślina — No. of productive tillers per plant	51,12	44,22
Liczba pędów-niedogonów/roślina — No. of unmatured tillers per plant	90,67	87,49
Liczba pędów suchych/roślina — No. of dry tillers per plant	52,74	68,39

Wyższe wartości współczynników zmienności w odmianie Pallas w porównaniu z linią P13 stwierdzono dla następujących cech: długość pędu, liczba pędów produktywnych w roślinie, liczba niedogonów w roślinie, liczba ziarniaków z kłosa, masa pojedynczego ziarniaka, masa ziarniaków z kłosa, liczba ziarniaków z rośliny, masa ziarniaków z rośliny oraz liczba kłosek w kłosie. Stwierdzone wyższe wartości współczynników zmienności dla wyżej wymienionych cech świadczą o mniejszej stabilności tych cech u odmiany Pallas w kształtowaniu plonu ziarna i jednocześnie potwierdzają silną podatność tej odmiany na mączniak prawdziwy.

Wartości współczynników korelacji (przedstawione łącznie dla odmiany i linii) zamieszczono w tabeli 5. Najważniejsze i najsilniejsze korelacje stwierdzono między masą ziarniaków z kłosa a liczbą ziarniaków z kłosa ( $r = 0,95$ ) oraz z jednostkową masą ziarniaka ( $r = 0,62$ ) — między masą ziarniaków z rośliny a liczbą ziarniaków z rośliny ( $r = 0,98$ ) — między długością kłosa a liczbą kłosek w kłosie ( $r = 0,86$ ), między ogólną liczbą pędów w roślinie a liczbą pędów produktywnych w roślinie ( $r = 0,73$ ), między liczbą pędów produktywnych w roślinie a liczbą ziarniaków wytworzonych przez roślinę ( $r = 0,87$ ) i z ich masą ( $r = 0,82$ ).

Tabela 5

**Współczynniki korelacji liniowej Pearsona pomiędzy cechami badanymi łącznie dla odmiany Pallas i linii P13**  
**Pearson's linear correlation coefficients between the tested traits, jointly for the Pallas cv. and the P13 line**

Nr cechy Trait no.	Cecha Trait	Nr cechy — Trait no.														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Długość pędu — Length of stem	1,00														
2	Długość kłosa — Length of spike	0,09	1,00													
3	Liczba kłosek/kłos — Spikelet no. per spike	0,04	0,86	1,00												
4	Liczba ziarniaków/kłos — Grain no. per spike	0,19	0,01	0,03	1,00											
5	Liczba ziarniaków/roślina — Grain no. per plant	0,40	0,08	0,01	0,51	1,00										
6	Masa ziarniaków/roślina — Grain weight per plant	0,44	0,10	0,03	0,55	0,98	1,00									
7	Masa ziarniaków/kłos — Grain weight per spike	0,28	0,06	0,07	0,95	0,47	0,56	1,00								
8	Masa 1 ziarniaka — Weight of single grain	0,34	0,11	0,16	0,40	0,17	0,30	0,62	1,00							
9	Ogólna liczba pędów/roślina Total no. of stems per plant	0,38	0,24	0,11	-0,05	0,62	0,60	-0,02	0,03	1,00						
10	Liczba pędów produktywnych/roślina No. of productive tillers per plant	0,41	0,05	-0,03	0,10	0,87	0,82	0,07	0,04	0,73	1,00					
11	Liczba pędów-niedogonów/roślina No. of unmaturred tillers per plant	0,18	0,24	0,13	-0,12	0,12	0,16	-0,03	0,04	0,65	0,14	1,00				
12	Liczba pędów suchych/roślina No. of dry tillers per plant	0,17	0,27	0,17	-0,14	0,14	0,14	-0,10	-0,03	0,71	0,21	0,39	1,00			

NIR/ LSD -0,109 przy  $\alpha = 0,05$ , dla  $n = 320$

NIR/ LSD -0,109 at the level of  $\alpha = 0,05$ , for  $n = 320$

## DYSKUSJA

W przeprowadzonym doświadczeniu jednorocznym rośliny jęczmienia jarego odmiany Pallas, silnie podatnej na porażenie mączniakiem prawdziwym, wytworzyły plon ziarna

niższy o 37% w stosunku do odpornej linii P13. Z danych literaturowych wynika, że straty w plonie ziarna dochodzą do 25%, a średnie roczne straty wynoszą ok. 10% (Czembor, 2005). Tak znaczny spadek plonu z rośliny odmiany Pallas uzyskany w przeprowadzonym doświadczeniu był wynikiem niższej liczby ziarniaków w kłosie (o 30%) i w roślinie (o 34%) oraz niższej masy pojedynczego ziarniaka (o 4%) w porównaniu z linią P13. Wyniki badań prezentowane w literaturze jednoznacznie wskazują, że w kłosach jęczmienia porażonego mączniakiem zostaje wytworzonych mniej ziarniaków o niższej jego masie (Carver i Griffiths, 1982; Kjær i in., 1990). Stopień redukcji liczby ziarniaków w kłosach roślin porażonych tym patogenem zależy od wielu czynników, między innymi nasilenia choroby, podatnością odmian na infekcję, przebiegiem pogody podczas wegetacji roślin (Tratwal, 2005).

W przeprowadzonym doświadczeniu, rośliny odmiany Pallas (zaliczonej do klasy 4 pod względem reakcji), były silnie porażone mączniakiem w przeciwieństwie do roślin izogenicznej linii P13 (zaliczonej do klasy 1 pod względem reakcji). Biorąc pod uwagę podobieństwo struktury morfologicznej kłosa (długość kłosa, ogólna liczba kłosek w kłosie) i rośliny (ogólna liczba pędów, liczba niedogonów i liczba niedorozwiniętych pędów suchych) u obu badanych form jęczmienia jarego oraz istotne różnice w plonie ziarna z rośliny można przypuszczać, że redukcja liczby ziarniaków w kłosach była wynikiem niezdolności 30–34% kwiatów w kłosie do zawiązywania ziarniaków. Prawdopodobnie duży stopień redukcji płodności kwiatów (u jęczmienia kłosek jest jednokwiatowy) był następstwem zaburzeń procesów embriologicznych podczas rozwoju zalążków w słupkach kwiatów, czy też zaburzeń w rozwoju zarodka i nasienia w początkowych etapach wzrostu i rozwoju owoców (ziarniaków) wywołanych infekcją grzybem. Osiągnięta masa pojedynczego ziarniaka w odmianie Pallas była nieznacznie (o 4%) ale istotnie niższa niż w izogenicznej linii P13, co może wskazywać na niedostateczny dopływ asymilatów do rozwijających się ziarniaków, z uszkodzonych przez patogen liści. Dane literaturowe wskazują na ścisły związek między zmniejszoną powierzchnią asymilacyjną liści w wyniku przedwczesnego starzenia (Carver i Griffiths, 1982) rośliny a stopniem porażenia rośliny przez mączniaka (nasilenia infekcji), co w efekcie przyczynia się do obniżenia plonu ziarna (Carver i Griffiths, 1982; Lim i Grunt, 1986; Jørgensen, 1992). W przeprowadzonym doświadczeniu uzyskany plon ziarna z rośliny był w największym stopniu determinowany liczbą pędów produktywnych w roślinie, niezależnie od formy jęczmienia — podatnej lub odpornej na mączniak. Liczba pędów produktywnych (kłosonośnych) w roślinie u odmiany Pallas, silnie porażonej mączniakiem, była nieznacznie niższa (różnice nieistotne) niż u linii P13, odpornej na ten grzyb. Niezależnie od stopnia porażenia (odmiana Pallas) lub jego braku (linia P13), badany czynnik plonotwórczy miał istotne znaczenie dla wytworzenia plonu przez rośliny obu form jęczmienia. Dane literaturowe podkreślają wagę tego czynnika plonotwórczego w kształtowaniu plonu (Lisowska, 2006; Kozdój i Oleszczuk, 2006). W doświadczeniu i w praktyce rolniczej uwzględnia się liczbę pędów produktywnych z jednostki powierzchni — czynnik plonotwórczy w największym stopniu determinujący wielkość plonu ziarna jęczmienia (Gozdowski i in., 2008). W ogólnej liczbie pędów wytworzonych przez roślinę obu form jęczmienia jarego, 51–52% stanowiły pędy produktywne, 29–31%



— pędy silnie zaschnięte (w roślinie ontogenetycznie najmłodsze) i 19% — niedogony (pędy kłosonośne pozbawione ziarniaków w kłosach i/lub z kłosami we wczesnych stadiach rozwojowych). Wskazuje to, między innymi, na nie wykorzystany potencjał plonotwórczy przez rośliny jęczmienia, który odznaczał się zdolnością do silnego krzewienia. Ponadto, w następstwie infekcji roślin patogenem u odmiany Pallas (forma podatna) nie stwierdzono zwiększenia liczby niedogonów w porównaniu z formą odporną. Wysoki odsetek liczby niedogonów i pędów suchych wskazuje pośrednio na silną dominację wierzchołkową pędów głównych i kilku bocznych pędów wytworzonych w okresie wczesnego krzewienia (głównie krzewienia jesiennego) w stosunku do pędów tworzących się w późniejszej fazie wiosennego krzewienia. Zaobserwowana w doświadczeniu tendencja do mniejszej liczby pędów produktywnych w roślinie odmiany Pallas sugeruje, że w wyniku infekcji grzybem nastąpiło przedwczesne starzenie liści i tym samym pędów ograniczając plon ziarna.

Kłos jest podstawową jednostką plonotwórczą u zbóż. U badanych form jęczmienia jarego masa ziarniaków z kłosa była istotnie skorelowana w większym stopniu z liczbą ziarniaków niż z jego jednostkową masą. Podobne zależności przedstawili Lisowska (2006), Kozdój i Oleszczuk (2006). Odmienne wyniki przedstawili Gozdowski i wsp. (2008) — zależności między liczbą ziarniaków w kłosie a masą tysiąca ziarniaków były ujemne i istotne. Długość kłosa obu form jęczmienia jarego jako cecha odmianowa była podobna i była istotnie skorelowana z liczbą kłosek. Nie wykazano istotnej zależności między liczbą ziarniaków w kłosie a liczbą kłosek w kłosie.

#### WNIOSKI

1. Wielkość plonu ziarniaków z rośliny jęczmienia jarego obu form była determinowana liczbą pędów produktywnych w roślinie.
2. Plon ziarniaków z kłosa jęczmienia jarego obu form był w większym stopniu determinowany liczbą ziarniaków w kłosie niż jego masą jednostkową.
3. Silne porażenie roślin odmiany Pallas, podatnej na porażenie mączniakiem prawdziwym, wpłynęło na płodność kłosek (co wyraziło się dużą redukcją liczby ziarniaków w kłosach) oraz na niższą masę ziarniaków, w porównaniu z odporną linią izogeniczną P13.

#### LITERATURA

- Belanger R. R., Bushnell W. R., Dik A. J., Carver L. W. 2002. The powdery mildews. A comprehensive treatise. APS Press, St. Paul, Minnesota.
- Carver T. L., Griffiths E. 1982. Effects of barley mildew on green leaf area and grain yield in field and greenhouse experiments. *Am. Appl. Biol.* 101: 561 — 572.
- Czembor H. J. 2003. Odporność krajowych odmian jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). *Biul. IHAR* 230: 327 — 334.
- Czembor H. J. 2004. Odporność odmian jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) włączonych do badań rejestrowych w Polsce w 2002 roku. *Biul. IHAR* 233: 117 — 125.
- Czembor H. J. 2005. Odporność odmian jęczmienia włączonych do badań rejestrowych w Polsce w 2003 roku na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f.sp. *hordei*). *Komunikat. Biul. IHAR* 235: 181 — 189.

- Czembor J. H., Czembor E. 2003 a. Odporność *Mlo* jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). Część I. Genetyka, fenotyp, mechanizm i badania molekularne. Biul. IHAR 230: 335 — 354.
- Czembor J. H., Czembor E. 2003 b. Odporność *Mlo* jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). Część II. Źródła odporności i ich wykorzystanie w hodowli jęczmienia. Biul. IHAR 230: 355 — 374.
- Czembor J. H., Czembor E. 2003 c. Odporność *Mlo* jęczmienia na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). Część III. Trwałość odporności. Biul. IHAR 230: 375 — 386.
- Czembor H. J., Czembor J. H. 2004. Chorobotwórczość mączniaka prawdziwego jęczmienia (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) w Polsce w roku 1999. Biul. IHAR 231: 377 — 386.
- Czembor H. J., Czembor J. H. 2005. Chorobotwórczość mączniaka prawdziwego jęczmienia (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*) w Polsce w roku 2001. Biul. IHAR 236: 183 — 192.
- 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 — 180.
- Jarvis W. R., Dubler W. D., Grave G. G. 2002. Epidemiology of powdery mildews in agricultural pathosystems. In: The powdery mildews. A comprehensive treatise. Ed. by: Belanger R. R., Bushnell W. R., Dik A. J., Carver L.W. APS Press, St. Paul, Minnesota: 169 — 199.
- Jørgensen J. H. 1992. Discovery, characterization and exploitation of *Mlo* powdery mildew resistance in barley. Euphytica 63: 141 — 152.
- Kjær B., Jansen H. P., Jansen J., Jørgensen J. H. 1990. Association between three *ml-o* powdery mildew resistance genes and agronomic traits in barley. Euphytica 46: 185 — 193.
- Kolster P., Munk L., Stolen O., Rohde J. 1986. Near-isogenic barley lines with genes for resistance to powdery mildew. Crop Sci. 26: 903 — 907.
- Kozdój J., Oleszczuk S. 2006. Analiza zmienności cech plonotwórczych kłosa i rośliny linii podwojonych haploidów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.). W: Haploidy i linie podwojonych haploidów w genetyce i hodowli roślin. Red. Adamski T. i Surma M. 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.
- Lim L. G., Grunt R. E. 1986. The effect of powdery mildew (*Erysiphe graminis* f.sp. *hordei*) and leaf rust (*Puccinia hordei*) on spring barley in New Zealand. I. Epidemic development, green leaf area and yield. Plant Pathology 35: 44 — 53.
- SAS Institute Inc. 2004. SAS/STAT 9.1 user's guide. Cary, NC, USA: SAS Publishing, SAS Institute Inc.
- Tratwal A. 2005. Wpływ uprawy mieszanek odmian jęczmienia ozimego na ograniczenie występowania mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis* f. sp. *hordei*). Biul. IHAR 235: 163 — 170.