

DOROTA JASIŃSKA ¹
ANETTA KUCZYŃSKA ²
KRZYSZTOF MIKOŁAJCZAK ²
PIOTR OGRODOWICZ ²
HANNA ĆWIEK-KUPCZYŃSKA ²
MAGDALENA ANIOŁA ¹
KRZYSZTOF RUBRYCKI ¹
RÓŻA MAZUR ¹
MICHAŁ KEMPA ²
MARIA SURMA ²
TADEUSZ ADAMSKI ²
HALINA WIŚNIEWSKA ²

¹ Poznańska Hodowla Roślin Sp. z o.o.

² Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, Poznań

Zróznicowanie reakcji linii SSD jęczmienia jarego na infekcję grzybami z rodzaju *Fusarium*

Variation of spring barley SSD lines in reaction to infection by fungi of the genus *Fusarium*

Fuzarioza kłosów jest jednym z głównych zagrożeń biotycznych dla zbóż, w tym także dla jęczmienia. Infekcja kłosów następuje podczas kwitnienia i tuż po kwitnieniu powodując obniżenie plonów nie tylko pod względem ilościowym, ale także jakościowym. Zakumulowane w porażonym ziarnie mykotoksyny są szkodliwe zarówno dla człowieka, jak i dla zwierząt. Celem pracy była ocena zróżnicowanej reakcji linii SSD jęczmienia jarego na infekcję grzybami z rodzaju *Fusarium* mierzona indeksem porażenia kłosa, odsetkiem ziarniaków z objawami infekcji oraz zawartością DON w ziarnie. Ocenę podatności badanych linii na fuzariozę kłosów przeprowadzono w dwóch wariantach: w warunkach naturalnego porażenia grzybami z rodzaju *Fusarium* oraz sztucznej inokulacji. Po wystąpieniu objawów choroby przeprowadzono ocenę nasilenia fuzariozy kłosów na podstawie proporcji porażonych kłosów w kłosie oraz proporcji kłosów porażonych na poletku, a po wymłóceniu kłosów określono procent uszkodzonych ziarniaków. Oznaczenie zawartości deoksyniwalenolu (DON) w ziarnie wykonano za pomocą ilościowego testu immunoenzymatycznego. Stwierdzono, że nie zawsze wzrost stopnia porażenia ziarna w kłosie skutkowało zwiększoną zawartością DON w ziarnie. Ponadto zidentyfikowano linie, dla których nie stwierdzono porażenia kłosów na poletku natomiast ich ziarno wykazało obecność DON.

Słowa kluczowe: deoksyniwalenol, *Fusarium* sp., indeks fuzariozy kłosów, uszkodzenie ziarniaków

Fusarium head blight (FHB), caused by the fungal plant pathogen *Fusarium* is one of the main biotic stresses in cereals, including barley. Spike infection occurs during and just after flowering, and may result in yield loss, both quantitative and qualitative. Moreover, the accumulation of the mycotoxins in the infected grain is harmful to humans and animals. The aim of the study was to examine the variation in the resistance to FHB of SSD lines of spring barley. The evaluation of susceptibility of the investigated lines to FHB was carried out in two variants: under natural conditions and after inoculation with *Fusarium*. The proportions of infected spikelets in the spike and infected spikes on the plot were observed, and kernels of the harvested samples were visually scored to determine *Fusarium*-damaged kernel proportion. The deoxynivalenol content (DON) in grains was assessed by a quantitative immunoenzymatic assay. It was found that an increase of grain infection did not always result in the increased DON accumulation. In addition, the study has allowed identifying barley lines without any visual symptoms of FHB on spikes, which grain showed DON content.

Key words: deoxynivalenol, *Fusarium* sp., *Fusarium* head blight index, *Fusarium*-damaged kernels

WSTĘP

Grzyby z rodzaju *Fusarium* są zaliczane do najważniejszych, a jednocześnie do najbardziej patogenicznych i toksynotwórczych gatunków grzybów chorobotwórczych zbóż, w tym jęczmienia. Porażenie zachodzi w różnych stadiach wzrostu i rozwoju roślin wywołując szereg chorób, jak na przykład: zgorzel siewek, fuzaryjną zgorzel podstawy źdźbła i korzeni, fuzariozę liści i kłosów. Najgroźniejsza dla zbóż pod względem ekonomicznym jest fuzarioza kłosów, powodowana przez różne gatunki *Fusarium*, m.in. przez *F. culmorum*, *F. avenaceum*, *F. graminearum* i *F. poae* rozwijając się w różnych warunkach klimatycznych (Doohan i in., 2003; Ūsele, 2013). Infekcja kłosów następuje przede wszystkim w fazie kwitnienia i w początkowej fazie nalewania ziarna powodując brunatno brązowy kolor, zmniejszenie liczby i niedorozwój ziarniaków. Gdy jest wilgotno, w miejscu z chorym ziarnakiem pojawia się grzybnia i następuje zarodnikowanie w sporodochiach. Kłos pokrywa biała lub różowa grzybnia, zaś na ziarniakach widoczne są pomarańczowe struktury (sporodochia) oraz wytwarzają się zarodniki (McMullen i in., 2012; Sawinska i in., 2016). Ziarno z zainfekowanych kłosów jest zniekształcone i odznacza się obniżoną masą tysiąca ziaren, co skutkuje znaczącym obniżeniem plonu.

Nasilenie fuzariozy kłosów oraz stopień porażenia ziarna zależy od warunków pogodowych, w szczególności od sumy opadów, wilgotności powietrza i temperatury. Porażeniu i namnażaniu grzybów sprzyjają temperatury powyżej 15°C (optymalna temperatura to 20–25°C) oraz wilgotność powietrza w granicach 85–90% przez co najmniej 24 godziny w okresie od kwitnienia do wczesnej fazy dojrzałości mleczonej (Doohan i in., 2003; Champeil i in., 2004). Objawy chorobowe w dużym stopniu zależą również od zabiegów agrotechnicznych, między innymi przygotowania pola, zmianowania roślin, nawożenia i stosowania fungicydów oraz uwarunkowanej genetycznie odporności roślin (Warzecha i in., 2011).

Fuzarioza kłosów jest jednym z głównych zagrożeń biotycznych, ponieważ oprócz ilościowych i jakościowych strat w plonie, grzyby mogą wytwarzać w zainfekowanym ziarnie wtórne, toksyczne metabolity — mykotoksyny, stanowiące poważne zagrożenie

dla zwierząt hodowlanych. Spożycie paszy jęczmiennej zanieczyszczonej mykotoksynami może niekorzystnie wpływać na zdrowie zwierząt i w konsekwencji prowadzić do spadku ich masy ciała, a także powodować uszkodzenie organów rozrodczych (Chełkowski, 2012). Mykotoksyny stanowią również utrudnienie w procesach technologicznych w przemyśle spożywczym. Wpływają negatywnie na aktywność enzymów i powodują spowalnianie wzrostu drożdży w procesie warzenia piwa (Placinta i in., 1999). Ponadto mykotoksyny wykazują wysoką stabilność termiczną i w efekcie obecne są w końcowych produktach wytwarzanych na bazie zbóż, jak mąka czy piwo, stanowiąc zagrożenie dla zdrowia człowieka. Mykotoksyny produkowane przez grzyby z rodzaju *Fusarium* można podzielić na kilka grup, między innymi na: trichoteceny (deoksyniwalenol (DON) i pochodne, niwalenol (NIV), toksyna T-2, toksyna HT-2), fumonizyny oraz zearalenon (ZEN) i jego pochodne (Arseniuk i Góral, 2005; Kolenda i Mroczkowski, 2013). Zdolność wytwarzania toksyn oraz aktywność produkowanych toksyn różni się nie tylko między gatunkami *Fusarium*, ale także między różnymi szczepami tego samego gatunku. Rozporządzenie Komisji Europejskiej (WE) nr 1881/2006 reguluje zawartość tych toksyn w produktach spożywczych oraz paszowych, określając maksymalną dopuszczalną zawartość DON w nieprzetworzonych ziarnach na poziomie $1250 \mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Niektóre badania wykazały wysoką, pozytywną korelację pomiędzy nasileniem objawów chorobowych a stężeniem DON w ziarnie (Zhu i in., 1999; Buerstmayr i in., 2004), jednak zależność między zawartością DON a stopniem porażenia kłosów i ziarna nie zawsze jest istotna (Mesterhazy i in., 1999, Ūsele i in., 2013).

Celem pracy było określenie podatności na infekcję grzybami z rodzaju *Fusarium* mierzoną indeksem porażenia kłosa, odsetkiem ziarniaków z objawami infekcji oraz zawartością DON w ziarnie linii SSD jęczmienia jarego uzyskanych z mieszańców o zróżnicowanej podatności na fuzariozę kłosów tj. europejskiej odmiany Maresi oraz syryjskiej formy Cam/B1/CI08887//CI05761 (CamB).

MATERIAŁ I METODY

Materiałem badawczym było 50 linii SSD jęczmienia jarego pokolenia F_{10} , populacji Maresi \times CamB. Formy rodzicielskie oraz badane linie zostały szczegółowo opisane przez Mikołajczaka i współpracowników (Mikołajczak i in., 2016, 2017).

Ocenę podatności badanych linii na fuzariozę kłosów przeprowadzono w sezonie 2016 na polach doświadczalnych zlokalizowanych w NAGRADOWICACH. Linie wraz z formami rodzicielskimi i trzema odmianami wzorcowymi, zostały wysiane w układzie losowych bloków w dwóch wariantach: w warunkach kontrolnych oraz sztucznej inokulacji zarodnikami grzybów z rodzaju *Fusarium*. Nasiona wysiano na poletkach o powierzchni 1 m^2 . Rozłosoowanie doświadczenia wykonano w programie EKSPLAN.

Do produkcji inokulum wykorzystano izolat grzybów *Fusarium culmorum* (KF846) wytwarzający deoksyniwalenol. Szczep *F. culmorum* inkubowano przez 5 tygodni w kolbach Erlenmeyera o pojemności 300 ml na sterylnych ziarniakach pszenicy, przy odpowiedniej wilgotności ziarna. Zastosowano 50 g ziarna, do którego dodawano 15 ml

destylowanej wody i następnie autoklawowano dwukrotnie przez 30 minut w odstępach 24 h. Ziarno zostało zaszczerpięte krążkami pożywki PDA przerośniętej grzybnią *F. culmorum*. Kolby wstrząsano codziennie, aby nie dopuścić do zbrylenia ziarna. Po 5–6 tygodniach na ziarniakach powstawały liczne sporodochia wypełnione zarodnikami. Tak wytworzone zarodniki były odpowiednim materiałem do wykorzystania do inokulacji.

Inokulację przeprowadzono w fazie kwitnienia (ok. 50% kłosów na poletku) poprzez opryskiwanie roślin zawiesiną zawierającą zarodniki *F. culmorum* o stężeniu 10^5 na 1 mililitr z dodatkiem preparatu powierzchniowo czynnego Tween 20 (Sigma-Aldrich). Pierwszą inokulację przeprowadzono 4 czerwca 2016 roku, a następnie oprysk powtarzano dwukrotnie w odstępach trzydniowych. Po inokulacji, przez kolejne trzy dni, stosowano zraszanie poletek w celu utrzymania wysokiej wilgotności, sprzyjającej rozwojowi choroby. Po wystąpieniu objawów choroby przeprowadzono ocenę nasilenia fuzariozy kłosów na podstawie proporcji porażonych kłosków w kłosie oraz proporcji kłosów porażonych na poletku. Z tych wartości wyliczono indeks fuzariozy kłosów (IFK):

$$\text{IFK} = (\% \text{ porażenia kłosa} \times \% \text{ kłosów porażonych na poletku})/100.$$

W fazie pełnej dojrzałości ziarna zebrano kłosa i po ich wymłóceniu podzielono próby ziarniaków na ziarniaki zdrowe (HLK 0 — ang. healthy looking kernels) i ziarniaki z objawami porażenia (FDK — ang. *Fusarium* damaged kernels), a następnie określono procent uszkodzonych ziarniaków. Kontrolę stanowiło doświadczenie, w którym nie przeprowadzono sztucznej inokulacji.

Oznaczenie zawartości deoksyniwalenolu (DON) w ziarnie wykonano za pomocą ilościowego testu immunoenzymatycznego — RIDASCREEN® DON (R-Biopharm AG) zgodnie z instrukcją producenta.

Przed rozpoczęciem analiz sporządzono bufor do przemywań rozpuszczając dostarczoną w zestawie sól w 1 l wody destylowanej. Odczynniki przed wykonaniem analiz umieszczono w temperaturze pokojowej (20–22°C) na 3 h przed rozpoczęciem prac. Dekontaminację szkła laboratoryjnego wykonano poprzez przemywanie w 10% v/v roztworze podchlorynu sodu — przetrzymując szkło w tym roztworze przez noc (pH doprowadzone do 7,0 przy użyciu HCl).

Do odczytu gęstości optycznej próbek użyto czytnik mikroplótkowy (ChroMate Microplate Reader) firmy Awareness Technology Inc (przy długości fali 450 nm). Na podstawie krzywej standardowej obliczano właściwe stężenie badanej mykotoksyny. Do ewaluacji wyników zastosowano oprogramowanie RIDA®SOFT Win.

Uzyskane wyniki opracowano statystycznie i zwizualizowano w środowisku do obliczeń statystycznych R. Przeanalizowano rozkład obserwacji dla poszczególnych cech fenotypowych osobno w serii kontrolnej i sztucznie zakażanej, oraz porównano obserwacje w kontroli i serii sztucznie zakażanej dla poszczególnych genotypów. Dla par obserwowanych cech wyznaczono współczynniki korelacji rangowej Spearmana i ich istotność statystyczną. Ze względu na duży rozrzut obserwacji zawartości DON, wartości tej cechy zostały przedstawione w formie zlogarytmowanej.

WYNIKI I DYSKUSJA

Opady i wysoka temperatura w czerwcu w czasie kłoszenia jęczmienia sprzyjały infekcji grzybami *Fusarium* i rozwojowi fuzariozy kłosów. W czerwcu i lipcu odnotowano aż 29 dni z opadami deszczu, łącznie suma opadów wyniosła 283 mm (tab. 1). W takich warunkach, w doświadczeniu kontrolnym zaobserwowano typowe objawy fuzariozy kłosów (tab. 2). Warunki te sprzyjały rozwojowi fuzariozy kłosów. Podobnie Agarwal i in. (1997) zwrócili uwagę, że wysoka temperatura w maju i chłodniejsza na przełomie maja i czerwca z podwyższoną wilgotnością, w wysokim stopniu sprzyja porażeniu ziarna. Ponieważ rok 2016 charakteryzował się bardzo dużą ilością opadów (687,1 mm w skali roku), zwłaszcza w okresach istotnych dla infekcji, zasiewy zbóż były narażone na infekcję przez stosunkowo długi okres czasu.

Tabela 1

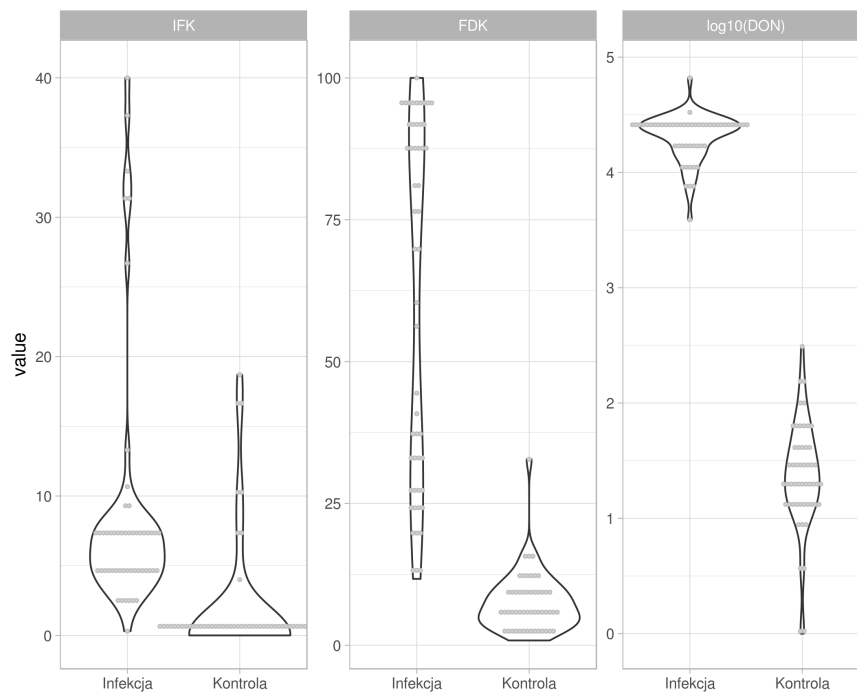
Rozkład opadów i temperatury powietrza w Nagradowicach w sezonie 2016
Temperature of air and rainfalls in Nagradowice in season 2016

Miesiąc Month	Dekada Decade	2016			Średnia z lat Mean (2006–2015)
		temp. średnia temp. mean (°C)	opady deszczu rainfall (mm)	liczba dni z opadami number of rainfall days	opady deszczu rainfall (mm)
Kwiecień April	I	10,3	13,2	4	7,5
	II	9,5	24,0	6	9,2
	III	6,9	3,2	2	9,7
	I-III	8,9	40,4	12	26,3
Maj May	I	14,2	3,6	1	16,0
	II	13,3	17,8	5	16,7
	III	19,4	13,0	5	34,3
	I-III	15,6	34,4	11	67,0
Czerwiec June	I	18,1	16,2	4	12,0
	II	16,9	64,0	5	21,5
	III	20,9	8,0	3	25,8
	I-III	18,6	88,2	12	59,3
Lipiec July	I	18,1	21,8	5	24,8
	II	18,1	132,2	7	23,1
	III	20,7	40,8	5	38,8
	I-III	19,0	194,8	17	86,7
Sierpień August	I	17,9	21,0	6	20,3
	II	16,9	0,4	1	14,4
	III	20,2	18,0	2	19,6
	I-III	18,3	39,5	9	54,5
Rok —Year (I-XII)		9,6	687,1	171	505,3

W oparciu o uzyskane dane stwierdzono znacznie większą podatność formy rodzicielskiej CamB na fuzariozę od odmiany Maresi (tab. 2). W warunkach naturalnego porażenia grzybami z rodzaju *Fusarium* nie stwierdzono porażenia odmiany Maresi na podstawie indeksu IFK, natomiast dla formy CamB indeks IFK wynosił 8%. Podobnie

stopień porażenia ziaren w kłosie (% FDK) oraz zawartość DON były wyższe u CamB niż u odmiany Maresi. W doświadczeniu ze sztuczną inokulacją forma CamB odznaczała się 6,5 razy większym indeksem IFK oraz ponad dwukrotnie wyższą zawartością DON w ziarnie, pomimo że procent porażonych ziaren w kłosie dla obu form rodzicielskich był zbliżony. Znacznie mniejsza odporność formy CamB może wynikać z jej pochodzenia — wyhodowana została w klimacie suchym (Syria), w którym rozwój chorób grzybowych, któremu sprzyja wysoka wilgotność środowiska, jest ograniczony. Forma CamB nie wykształciła prawdopodobnie mechanizmów przystosowania do tego rodzaju biotycznych czynników stresowych.

W obrębie populacji zidentyfikowano 39 linii nie wykazujących porażenia kłosa (indeks IFK) w doświadczeniu kontrolnym, natomiast największy indeks IFK (18,7%) stwierdzono u linii MCam68. Procent porażonych ziaren w kłosie (FDK) wahał się od 0,9 do 32,8%, lecz u większości linii nie przekraczał wartości 20%. Zawartość DON była w granicach od 0 do 309 $\mu\text{g}/\text{kg}$. W doświadczeniu z inokulacją indeks IFK dla populacji był znacznie wyższy niż w doświadczeniu kontrolnym i wahał się od 0,3 do 40%, natomiast FDK wahał się w zakresie 12–100% i jego wartości wykazywały dość równomierny rozkład. Najmniejszą zawartość DON (3881 $\mu\text{g}/\text{kg}$) stwierdzono dla linii MCam4, a największą, tj. 66200 $\mu\text{g}/\text{kg}$, dla linii MCam101. Rozkład obserwacji badanych cech przedstawia rys. 1.



Rys. 1. Badane cechy w liniach SSD jęczmienia jarego
Fig. 1. Investigated traits in SSD lines of spring barley

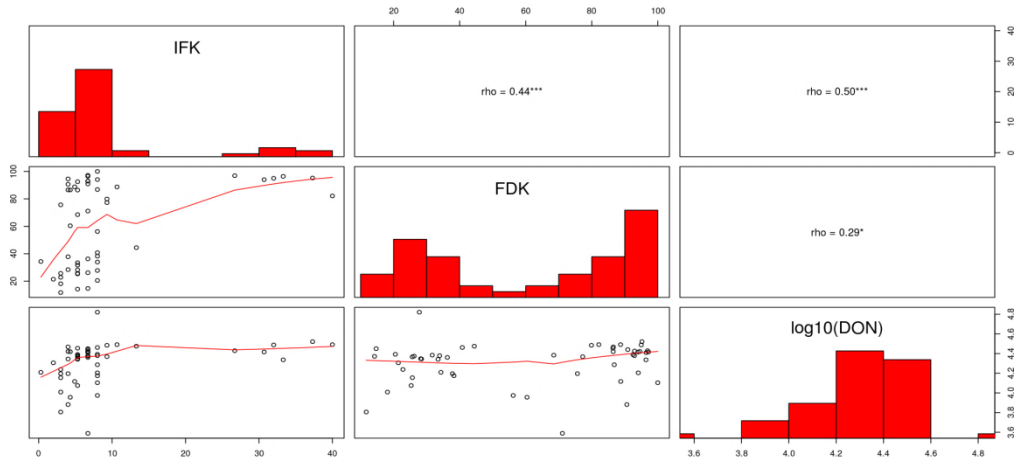
Tabela 2

Charakterystyka linii SSD oraz form rodzicielskich Maresi i CamB pod względem badanych cech
Characteristics of SSD lines and parental forms (Maresi and CamB) with regard to the investigated traits

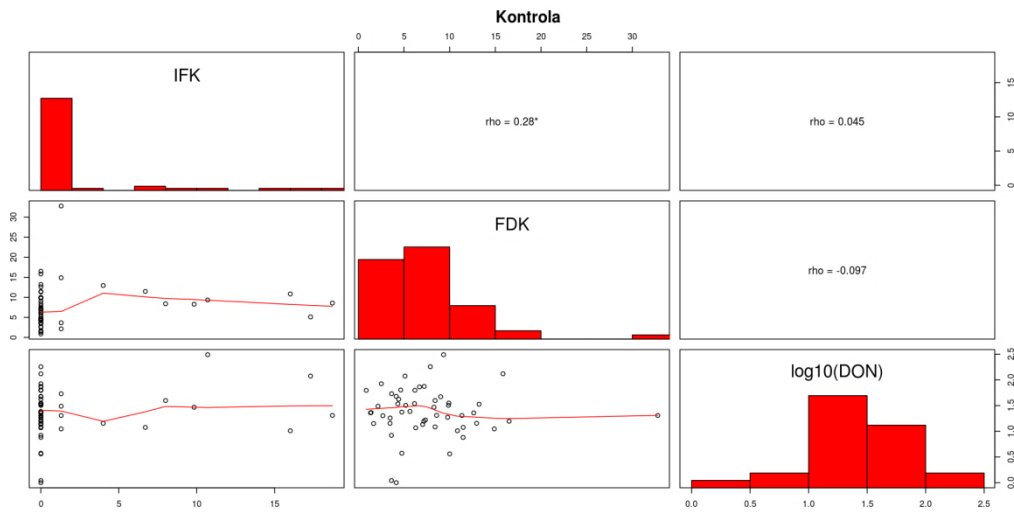
L.p. No.	Genotyp Genotype	IFK (%)		FDK (%)		Zawartość DON Content of DON ($\mu\text{g}/\text{kg}$)	
		K	I	K	I	K	I
1.	Maresi	0,0	4,9	1,4	88,8	22	13 077
2.	CamB	8,0	32,0	8,4	95,0	39	30 756
3.	MCam4	0,0	6,7	4,8	71,1	23	3 881
4.	MCam5	0,0	5,3	9,0	33,5	46	21 965
5.	MCam7	0,0	3,0	5,2	18,1	31	10 199
6.	MCam8	0,0	4,0	6,7	90,6	72	7 612
7.	MCam9	0,0	5,3	6,2	31,7	34	24 217
8.	MCam14	0,0	5,3	7,2	68,5	15	24 197
9.	MCam17	0,0	0,3	1,3	34,3	22	16 182
10.	MCam19	0,0	5,3	5,7	14,2	23	23 526
11.	MCam27	0,0	8,0	7,0	56,2	13	9 417
12.	MCam29	0,0	6,7	8,4	36,3	11	22 954
13.	MCam39	0,0	4,0	3,6	37,8	0,1	15 702
14.	MCam41	0,0	6,7	11,3	96,5	19	25 692
15.	MCam48	6,7	6,7	11,5	90,9	11	27 587
16.	MCam49	0,0	3,0	7,9	22,8	180	17 322
17.	MCam57	0,0	5,3	4,2	92,5	0	24 548
18.	MCam59	0,0	3,0	0,9	11,7	62	6 392
19.	MCam60	0,0	5,3	4,2	25,3	47	11 883
20.	MCam61	1,3	4,0	2,2	94,6	30	26 383
21.	MCam63	0,0	8,0	9,9	33,9	31	23 917
22.	MCam65	0,0	3,0	2,5	25,7	83	14 281
23.	MCam67	10,7	26,7	9,3	96,9	309	26 859
24.	MCam68	18,7	40,0	8,6	82,1	19	30 978
25.	MCam70	9,8	37,3	8,3	95,2	28	33 195
26.	MCam76	0,0	5,3	4,3	28,2	33	22 292
27.	MCam78	0,0	6,7	3,6	14,7	7	28 158
28.	MCam86	1,3	5,3	14,9	86,4	10	28 489
29.	MCam87	4,0	6,7	13,0	97,2	13	26 083
30.	MCam88	16,0	30,7	10,9	94,0	9	26 067
31.	MCam89	17,3	33,3	5,1	96,4	118	21 695
32.	MCam90	0,0	6,7	7,3	26,2	16	23 646
33.	MCam91	0,0	10,7	9,8	88,7	18	30 986
34.	MCam92	0,0	4,3	6,3	60,4	11	9 025
35.	MCam94	0,0	5,3	1,7	25,7	13	23 252
36.	MCam96	0,0	4,0	7,2	28,4	74	22 142
37.	MCam97	0,0	9,3	3,5	79,9	13	30 475
38.	MCam100	0,0	8,0	9,9	20,5	34	24 699
39.	MCam101	0,0	8,0	4,6	27,8	63	66 200
40.	MCam102	0,0	3,0	10,0	75,7	3	15 704
41.	MCam104	0,0	4,3	3,5	86,5	17	26 263
42.	MCam105	0,0	6,7	13,2	92,9	33	23 917
43.	MCam108	0,0	4,0	4,8	86,5	3	29 362
44.	MCam111	1,3	8,0	3,6	100,0	53	12 696
45.	MCam112	0,0	6,7	6,2	93,0	62	26 684
46.	MCam113	0,0	8,0	15,8	40,8	131	28 977
47.	MCam116	0,0	13,3	12,6	44,4	22	29 843
48.	MCam120	0,0	2,0	4,4	21,4	41	20 237
49.	MCam124	0,0	8,0	16,5	86,8	15	19 344
50.	MCam125	1,3	8,0	32,8	38,3	19	14 952
51.	MCam126	0,0	9,3	2,7	77,3	19	23 375
52.	MCam128	0,0	8,0	11,5	94,1	7	16 005

Na podstawie otrzymanych wyników zauważono, że nie zawsze wzrost stopnia porażenia ziarna w kłosie skutkował zwiększoną zawartością DON w ziarnie. Ponadto zidentyfikowano linie, dla których nie stwierdzono porażenia kłosów na poletku, natomiast ich ziarno wykazało obecność mikotoksyny. Podobne wyniki uzyskali Lacey i in. (1999), którzy badali wpływ wilgotności oraz terminu inokulacji na stopień porażenia pszenicy grzybami z rodzaju *Fusarium*. Autorzy dowiedli, że pomimo braku symptomów porażenia kłosów ziarno pszenicy zawierało mykotoksynę DON.

A.



B.

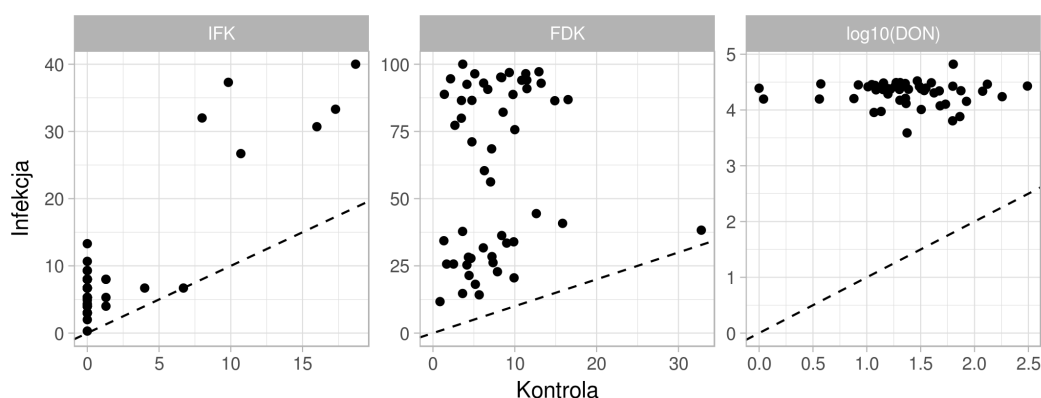


Rys. 2. Zależności badanych cech fenotypowych w doświadczeniu z inokulacją zarodnikami grzybów z rodzaju *Fusarium* (A) oraz w doświadczeniu kontrolnym (B)

Fig. 2. Relationships between observed traits under inoculated (A) and control (B) conditions

W analizie wzajemnych zależności badanych cech związanych ze stopniem porażenia linii SSD szczególnie widoczna jest istotna korelacja tych cech w doświadczeniu z inokulacją zarodnikami grzybów z rodzaju *Fusarium*, w doświadczeniu kontrolnym korelacje te prawie nie występują (rys. 2). Zestawienie reakcji badanych linii w kontroli i po sztucznej inokulacji na podstawie indeksu fuzariozy kłosów (IFK) pozwoliło na wyodrębnienie grupy genotypów bardziej porażonych zarówno w doświadczeniu ze sztuczną inokulacją jak i w warunkach kontrolnych, podczas gdy analiza dla cechy FDK ujawniła obiekty o podobnej reakcji w kontroli, natomiast zróżnicowanym stopniu porażenia po inokulacji (rys. 3).

Na głównej przekątnej przedstawiono histogramy obserwacji badanych cech; poniżej przekątnej przedstawiono obserwacje odpowiednich par cech w badanych liniach oraz zaznaczono oszacowanie wzajemnej zależności cech w postaci linii trendu (ważona regresja lokalnie wielomianowa); ponad przekątną dla odpowiednich par cech podano współczynniki korelacji rangowej Spearmana wraz z oznaczeniem ich istotności statystycznej na poziomie: $*\alpha = 0,05$, $**\alpha = 0,01$, $***\alpha = 0,001$.



Rys. 3. Obserwacje badanych cech w doświadczeniu z inokulacją zarodnikami grzybów z rodzaju *Fusarium* w porównaniu do doświadczenia kontrolnego. Przerywaną linią zaznaczono zależność $y = x$, odpowiadającą jednakowym reakcjom poszczególnych linii w doświadczeniu kontrolnym i z inokulacją
Fig. 3. Observations of investigated traits in experiment with *Fusarium* spores inoculation in comparison to control. Dotted line refers to $y = x$ relationship with the same reactions of particular lines in both variants

Obliczenie współczynników rangowych Spearmana wykazało istotne zależności pomiędzy FDK a zawartością DON, a także korelacje pomiędzy IFK i FDK oraz IFK i DON. Wykazano, że współczynnik IFK lepiej odzwierciedla zawartość DON w ziarnie niż wartość FDK. W warunkach sztucznej inokulacji współczynnik IFK jest znacznie mocniej skorelowany z zawartością DON niż FDK z zawartością DON w badanym ziarnie. Podobna zależność występuje w warunkach naturalnego porażenia grzybami z rodzaju *Fusarium*.

Badane linie były porażane przez grzyby z rodzaju *Fusarium* w różnym nasileniu. Duża zmienność cech związanych z fuzariozą kłosów w obrębie populacji stanowi dobrą podstawę do dalszych badań. Integracja uzyskanych danych fenotypowych z danymi genotypowymi umożliwi identyfikację *loci* cech związanych z porażeniem kłosów i ziarna przez grzyby z rodzaju *Fusarium*.

WNIOSKI

1. Badane linie SSD jęczmienia jarego okazały się istotnie zróżnicowane pod względem reakcji na infekcję grzybami z rodzaju *Fusarium* ocenianej za pomocą indeksu fuzariozy kłosów, odsetek ziaren z objawami uszkodzenia oraz zawartości DON.
2. Wzrost stopnia porażenia kłosów i porażenia ziarna nie zawsze skutkowało zwiększoną zawartością DON w ziarnie.
3. Zróżnicowanie fenotypowe linii jęczmienia daje podstawę do dalszych badań, które wraz z danymi genotypowymi umożliwią identyfikację *loci* cech ilościowych związanych z porażeniem kłosów i ziarna przez grzyby z rodzaju *Fusarium*.

LITERATURA

- Agarwal V. K., Sinclair J. B. 1997. Principles of seed pathology. Second edition CRC Press Inc., Lewis.
- Arseniuk E., Góral T. 2005. Mikotoksyny fuzaryjne w ziarnie zbóż i kukurydzy. *Hodowla Roślin i Nasiennictwo* 3/2005: 27 — 33.
- Buerstmayr H., Legzdina L., Steiner B., Lemmens M. 2004. Variation for resistance to *Fusarium* head blight in spring barley. *Euphytica* 137: 279 — 290.
- Champeil A., Doré T., Fourbet J.F. 2004. *Fusarium* head blight: Epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grain. *Plant Sci.* 166: 1389 — 1415.
- Chelkowski J., Gromadzka K., Stępień Ł., Lenc L., Kostecki M., Berthiller F. 2012. *Fusarium* species, zearalenone and deoxynivalenol content in preharvest wheat heads from Poland. *WMJ*, 5: 133 — 141.
- Doohan F.M., Brennan J., Cooke B.M. 2003. Influence of climatic factors on *Fusarium* species pathogenic to cereals. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 755 — 768.
- Kolenda M., Mroczkowski S. 2013. *Fusarium* mycotoxins and methods of assessing the mycotoxicity: a review. *Journal of Central European Agriculture.* 14: 169 — 180.
- Lacey J., Bateman G.L., Mirocha C.J. 1999. Effects of infection time and moisture on development of ear blight and deoxynivalenol production by *Fusarium* spp. in wheat. *Ann. Appl. Biol.* 134: 277 — 283.
- McMullen M., Bergstrom G.C., DeWolf E., Dill-Macky R., Hershman D., Shaner G., Van Sanford D. 2012. A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. *Plant Dis.* 96(12): 1712 — 1728.
- Mesterhazy A., Bartók T., Mirocha C. G., Komoróczy R. 1999. Nature of wheat resistance to *Fusarium* head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breed.* 118 (2): 97 — 110.
- Mikołajczak K., Kuczyńska A., Krajewski P., Sawikowska A., Surma M., Ogrodowicz P., Adamski T., Krystkowiak K., Górny A., Kempa M., Szarejko I., Guzy-Wróbelska J., Gudyś K. 2017. Quantitative trait loci for plant height in Maresi × CamB barley population and their associations with yield-related traits under different water regimes. *J. Appl. Genet.* 58(1): 23 — 35.
- Mikołajczak K., Ogrodowicz P., Gudyś K., Krystkowiak K., Sawikowska A., Frohberg W., Górny A., Kędziora A., Jankowiak J., Józefczyk D., Karg G., Andrusiak J., Krajewski P., Szarejko I., Surma M., Adamski T., Guzy-Wróbelska J., Kuczyńska A. 2016. Quantitative trait loci for yield and yield-related traits in spring barley populations derived from crosses between European and Syrian cultivars. *PlosOne* 11 (5): e0155938. DOI: 10.1371/journal.pone.0155938.

- Placinta C. M., Mello J. P. F .D., Macdonald A. M. C. 1999. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Anim. Feed Sci. Tech.* 78: 21 — 37.
- Sawinska Z., Blecharczyk A., Małecka-Jankowiak I., Strzelińska J., Grześ S. 2016. Porażenie jęczmienia jarego przez choroby w zależności od następstwa roślin i nawożenia w doświadczeniu wieloletnim. *Fragm. Agron.* 33(4): 123 — 133.
- Ūsele G., Beinaroviča I., Mežaka I., Legzdiņa L. 2013. Comparison of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) screening methods for *Fusarium* head blight resistance breeding. *Zemdirbyste — Agriculture* 100 (3): 317 — 324.
- Warzecha T., Adamski T., Kaczmarek Z., Surma M., Chełkowski J., Wiśniewska H., Krystkowiak K., Kuczyńska A. 2011. Genotype-by-environment interaction of barley DH lines infected with lines infected with *Fusarium culmorum* (W.G.Sm.) Sacc. *Field Crops Res.* 120: 21 — 30.
- Zhu H., Gilchrist L., Hayes P., Kleinhofs A., Kudrna D., Liu Z., Prom L., Steffenson B. Toojinda T., Vivar H. 1999. Does function follow form? Principal QTLs for *Fusarium* head blight (FHB) resistance are coincident with QTLs for inflorescence traits and plant height in a doubled-haploid population of barley. *Theor. Appl. Genet.* 99: 1221 — 1232.

PODZIĘKOWANIA

Badania prowadzono w ramach projektu nr HOR hn-501-19/15 Zadanie 88 „Efekty plejotropowe genów Ppd-H1 i Ppd-H2 a podatność roślin jęczmienia jarego na fuzariozę kłosów i akumulację mykotoksyn” finansowanego przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.