

HALINA WIŚNIEWSKA ¹
TOMASZ GÓRAL ^{#2}
PIOTR OCHODZKI ²
DOROTA WALENTYN-GÓRAL ²
MICHAŁ KWIATEK ¹
MACIEJ MAJKA ¹
JOLANTA BELTER ¹
ZOFIA BANASZAK ³
MIROSLAW POJMAJ ³
DANUTA KURLETO ³
MARCIN KONIECZNY ³
GRZEGORZ BUDZIANOWSKI ⁴
ALICJA CICHA ⁴
KAZIMIERZ PAIZERT ⁴
HENRYK WOŚ ⁴

¹ Instytut Genetyki Roślin PAN, ul. Strzeszyńska 34, 60-479 Poznań

² Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików, 05-870 Błonie

³ Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Choryń 27,64-000 Kościan

⁴ Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, ul. Główna 20, 99-307 Strzelce

Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na infekcję kłosa grzybem *Fusarium culmorum* *

Resistance of winter triticale breeding lines to infection of spike with *Fusarium culmorum*

Badano 35 rodów pszenżyta ozimego o zróżnicowanym podłożu genetycznym oraz trzy odmiany pod względem odporności na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* oraz akumulacji toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Genotypy wysiano w dwóch lokalizacjach: Cerekwica k. Poznania i Radzików k. Warszawy. W okresie pełni kwitnienia kłosa badanych genotypów inokulowano zawiesiną zarodników trzech szczepów *F. culmorum*. Określano indeks fuzariozy kłosów,

Autor do korespondencji

* Badania finansowano ze środków projektu MRiRW: Badania Podstawowe na rzecz Postępu Biologicznego w Produkcji Roślinnej; decyzja HORhn-801-12/14; lp.14

Praca przedstawiona na konferencji IHAR — PIB, Zakopane, 3 lutego 2015 roku

Redaktor prowadzący: Danuta Boros

procent ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* oraz poziom toksyn fuzaryjnych w ziarniakach. Indeks fuzariozy kłosów w Cerekwicy (19,2%) był wyższy niż w Radzikowie (11,0%). Współczynnik korelacji porażenia kłosów w obu lokalizacjach wynosił $r = 0,429$. Porażenie ziarniaków było zróżnicowane w obu lokalizacjach. W Cerekwicy porażenie ziarna było wyższe (średnio 38,7%) niż w Radzikowie (średnio 23,3%). Zawartość trichotecenów z grupy B w ziarnie była bardzo wysoka i średnio dla obu lokalizacji wynosiła 23,541mg/kg. Podobnie stwierdzono bardzo duże ilości zearalenonu — średnio 1179 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Zawartość ergosterolu (średnio 41,0 mg/kg) istotnie korelowała z porażeniem ziarna i zawartością toksyn fuzaryjnych. Badane genotypy pszenżyta ozimego zostały pogrupowane na podstawie odporności na porażenie kłosa i porażenie ziarniaków oraz zawartości ergosterolu i toksyn fuzaryjnych w ziarnie. W wyniku statystycznej analizy składowych głównych wytypowano 5 najlepszych genotypów pszenżyta łączących wysoki poziom odporności różnych typów.

Słowa kluczowe: deoksyniwalenol, ergosterol, *Fusarium culmorum*, *xTriticosecale*, zearalenon

Thirty five lines of winter triticale with different genetic background and three cultivars were studied for resistance to the *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* and for the accumulation of toxins in the grain. Genotypes were sown in two locations: Cerekwica near Poznań and Radzików near Warsaw. At the time of full anthesis triticale heads were inoculated with the spore suspension of three strains of *F. culmorum*. *Fusarium* head blight index (FHBi), the percentage of kernels with visible symptoms of *Fusarium* damage and the levels of *Fusarium* toxins were evaluated. FHBi in Cerekwica (19.2 %) was higher than that in Radzików (11.0%). The correlation coefficient of head infection in both locations was $r = 0.429$. *Fusarium* kernel damage varied in both locations. In Cerekwica it was higher (38.7%) than in Radzików (23.3%). The content of the trichothecenes of group B in the grain was very high and average for both locations was 23.541mg/kg. Similarly, a very large amount of zearalenone was found and on average amounted to 1179 $\mu\text{g}/\text{kg}$. The contents of ergosterol (on average 41.0 mg/kg) significantly correlated with kernel damage and *Fusarium* toxins concentrations. The tested genotypes of winter triticale were grouped on the basis of resistance to head and kernel infection and ergosterol and toxins concentrations in the grain. As a result of the principal component analysis, five triticale genotypes combining high levels of resistance of different types were identified.

Key words: deoxynivalenol, ergosterol, *Fusarium culmorum*, *xTriticosecale*, zearalenone

WSTĘP

Fuzarioza kłosów jest chorobą zbóż powodowaną przez grzyby patogeniczne z rodzaju *Fusarium*. Patogeny mogą rozwijać się na kłosie w korzystnych warunkach w każdym okresie rozwoju, jednak najbardziej podatne na atak *Fusarium* są zboża w fazie kwitnienia (Parry i in., 1995; Siou i in., 2014). Grzyby rozwijają się w zainfekowanym kwiatku i następnie przerastają do kolejnych kwiatków w kłosie i przez osadkę kłosową rozprzestrzeniają się wzdłuż kłosa. Grzyby kolonizują plewy i ziarniaki w kłosie, uszkadzając je z różnym nasileniem. Powoduje to zarówno obniżkę plonu ziarna oraz jakości ziarna poprzez skażenie ziarna toksynami fuzaryjnymi, takimi jak deoksyniwalenol (DON), niwalenol (NIV) oraz zearalenon (ZEA), które są związkami niezwykle stabilnymi, nie ulegają metabolizowaniu i są szkodliwe dla człowieka oraz zwierząt (Kalih i in., 2015). Skażenie ziarna mikotoksynami stwierdza się nawet wtedy, kiedy nie obserwuje się obniżki plonu (Cowger i Arrellano, 2010). W porażonych ziarniakach dochodzi do zniszczenia ziaren skrobi, a także białek zapasowych (Kang i Buchenauer, 2000), co wpływa, na jakość wypiekową mąki.

Patogeneza fuzariozy kłosów jest złożona i wyróżnia się kilka typów odporności: typ 1 — na infekcję pierwotną, typ 2 — na rozprzestrzenianie się patogena wzdłuż osadki kłosowej, typ 3 — odporność na uszkodzenie ziarniaków, typ 4 — odporność na kumulację i degradację toksyn fuzaryjnych w ziarniakach, typ 5 — tolerancja, czyli odporność na obniżkę plonu (Mesterhazy, 1995; Foroud i Eudes, 2009).

Odporność na fuzariozę kłosa ma charakter złożony i jest cechą wielogenową. Występuje ilościowy charakter dziedziczenia tej cechy. Kilka lub kilkanaście QTLs (*loci* cech ilościowych) zapewnia roślinom zadawalającą odporność polową (Faris i in., 1999; Keller i in., 2000; Feuillet i Keller, 2004; Kalih i in., 2015). Każdy z genów determinuje stosunkowo mały tzw. efekt ilościowy, a efekty poszczególnych genów sumują się. W związku z tym ekspresja cech warunkowana takimi genami podlega dużemu wpływowi środowiska. Nasilenie fuzariozy zależy od warunków pogodowych panujących w okresie kwitnienia pszenicy, kiedy następuje infekcja. Czynnikiem sprzyjającym są wysoka wilgotność powietrza, wiatr i opady deszczu.

Według wielu autorów odporność na fuzariozę kłosa charakteryzuje się dużą odziedziczalnością, wystarczającą do prowadzenia skutecznej selekcji (Buerstmayer i in., 2003, Paillard i in., 2003). Największe szkody fuzarioza powoduje u pszenicy twardej (*Triticum durum*) — jest ona najbardziej podatna na tę chorobę. Wielu badaczy w ubiegłych latach stwierdzało, że mniejszą podatnością na porażenie kłosa (wiech) charakteryzują się kolejno pszenżyto, żyto, jęczmień i owies (Langevin i in., 2004; Góral, 2007; Miedaner i in., 2001, 2004). W związku z tym pszenżyto było uważane za zboże w mniejszym stopniu zagrożone skażeniem mikotoksynami niż pszenica. Jednakże liczne nowe odmiany pszenżyta okazują się w ostatnich latach podatne na fuzariozę kłosów na poziomie zbliżonym do pszenicy (Góral i Ochodzki, 2006). Ostatnie lata badań pokazują, że pszenżyto podobnie jak pszenica jest również w znacznym stopniu zagrożone tą chorobą i obserwuje się znaczną kumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie podobną jak u pszenicy, a nawet wyższą mimo stwierdzanego mniejszego nasilenia objawów fuzariozy na kłosach i ziarniakach (Comeau i in., 2008). Do tej pory zjawisko to jest niewyjaśnione. Badacze kanadyjscy sugerują, że być może znaczna kumulacja toksyn fuzaryjnych w ziarnie pszenżyta może być spowodowana większą podatnością okrywy owocowo- nasiennej na uszkodzenie przez grzyby z rodzaju *Fusarium* (Comeau i in., 2008; Veitch i in., 2008; Randhawa i in., 2013). Przyczyną dużej podatności pszenżyta na fuzariozę kłosów upatruje się również w tym, że niektóre pierwotne pszenżyta uzyskano z krzyżowań żyta z pszenicą twardą *Triticum durum*, która wykazuje dużą podatność na fuzariozę kłosów.

Celem badań było wstępne zidentyfikowanie genotypów pszenżyta ozimego o zwiększonej odporności na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyby rodzaju *Fusarium* spp. i niskiej akumulacji mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie, które można wykorzystać do badań nad typami odporności na fuzariozę kłosów u pszenżyta oraz jako źródła odporności w programach hodowlanych pszenżyta.

MATERIAŁ I METODY

Materiał roślinny

Badania obejmowały rody pszenżyta ozimego o zróżnicowanym podłożu genetycznym, pochodzące z programów hodowlanych pszenżyta ozimego realizowanych w dwóch firmach hodowlanych: Hodowla Roślin Strzelce oraz Danko Hodowla Roślin. Przebadano odporność na fuzariozę kłosów i kumulację toksyn fuzaryjnych 35 rodów pszenżyta ozimego i 3 odmiany kontrolne: Fredro, Borwo i Tomko z wykorzystaniem markerów fenotypowych i metabolicznych.

Doświadczenia polowe

Doświadczenia polowe infekcyjne i kontrolne z genotypami pszenżyta ozimego zostały założone jesienią 2013 roku w układzie losowych bloków w dwóch lokalizacjach położonych w różnych rejonach Polski: w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu (pole w Cerekwicy) oraz w IHAR PIB w Radzikowie, co pozwoliło na większe zróżnicowanie warunków glebowych i klimatycznych (rozkład temperatury i opadów) wpływających w istotny sposób na fuzariozę kłosów. Pozwoliło to na wytypowanie form o podwyższonej odporności na fuzariozę kłosów. Rody pszenżyta ozimego wysiano na poletkach o powierzchni 1 m² w 3 powtórzeniach. Gęstość siewu wynosiła około 300 ziarniaków na m².

Przygotowanie inokulum

Do wytworzenia inokulum wybrano trzy izolaty *Fusarium culmorum* tworzące deoksyniwalenol (KF846 — chemotyp DON), niwalenol (KF350 — chemotyp NIV) i zearalenon (ZFR 16 — chemotyp DON). Izolaty należące do chemotypu DON pochodziły z Radzikowa i zostały wyizolowane z kłosów pszenicy (Wiśniewska i Kowalczyk, 2005; Ochodźki i Góral, 2006). Izolat o chemotypie NIV pochodził z Holandii (oznaczony, jako IPO348) i został wyizolowany z kłosa pszenicy (Snijders i Perkowski, 1990). Izolaty były przechowywane długoterminowo w postaci zliofilizowanej grzybni w temperaturze -78°C. Krótkoterminowo izolaty przechowywano na ubogiej pożywce SNA w temperaturze 4°C (Nirenberg, 1976).

Zarodniki *Fusarium* wytworzono na sterylnych ziarnach pszenicy zaszczipionych krążkami pożywki PDA przerośniętej grzybnią *F. culmorum* (Wiśniewska i in., 2014). Po 5–6 tygodniach powstawały liczne sporodochia wypełnione zarodnikami. Tak wytworzone zarodniki były odpowiednim materiałem do wykorzystania do inokulacji. Zawiesiny uzyskane ze wszystkich izolatów miały stężenie około 100 000 zarodników w 1 mililitrze. Do inokulacji stosowano mieszaninę zawiesin trzech izolatów w równych proporcjach (Wiśniewska i in., 2014).

Inokulacja oraz ocena porażenia kłosów i ziarniaków

W obu lokalizacjach inokulację wykonano metodą opryskiwania zawiesiną zarodników z dodatkiem preparatu powierzchniowo czynnego Tween 20 (Sigma-Aldrich). Metoda ta wykazuje podobieństwo do naturalnych warunków infekcji kłosa przez *Fusarium* spp. i umożliwia określenie łącznie odporności na infekcję (Typ I) i odporności na rozprzestrzenianie się patogena wzdłuż osadki kłosowej (Typ II) (Buerstmayer i in., 2003). Stosowano około 100 ml zawiesiny na 1 m². Każdy genotyp był inokulowany oddzielnie

w pełni kwitnienia. Na polu doświadczalnym IGR PAN w Cerekwicy w celu uzyskania wysokiej wilgotności powietrza sprzyjającej infekcji kłosów, zastosowano mikrozaszaczki przez kolejne trzy dni po inokulacji. W drugiej lokalizacji w Radzikowie doświadczenie prowadzono bez mikrozaszaczki, jednak pole doświadczalne umiejscowione jest w pobliżu rzeki i obszar ten charakteryzuje się dużą wilgotnością względną powietrza. Obserwacje porażenia kłosa przeprowadzono 3-krotnie: po 12, 14 i 16 dniach od inokulacji. Nasilenie fuzariozy kłosów (typ odporności I + II) zostało określone na podstawie proporcji porażonych kłosków w kłosie (tylko w kłosach z objawami choroby) oraz proporcji kłosów prażonych na poletku. Z uzyskanych danych obliczono indeks fuzariozy kłosów według wzoru:

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

W czasie żniw zbierano ręcznie po 20 kłosów dla każdego z 35 genotypów i 3 form wzorcowych (Fredro, Borwo i Tomko) wysianych w trzech powtórzeniach z połowych doświadczeń inokulacyjnych w Cerekwicy i Radzikowie oraz z poletek kontrolnych nieinokulowanych. Kłosa młócone były ręcznie lub laboratoryjną młocarnią o słabym nawiewie dla zapobieżenia utracie lekkich porażonych ziarniaków. Proporcja ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* (typ odporności III) była określana wizualnie poprzez podział próby ziarniaków na ziarniaki zdrowe (HLK — healthy looking kernels) i ziarniaki z objawami uszkodzenia przez *Fusarium* (FDK — *Fusarium* damaged kernels) (Argyris i in., 2003). Określana była redukcja masy ziarna z kłosa (RMZK) w odniesieniu do prób kontrolnych.

Analizy toksyn fuzaryjnych

Stężenie toksyn fuzaryjnych (DON, NIV i ZEA) oznaczono dla każdego genotypu w zmieszanych frakcjach ziarna (FDK+HLK).

Zawartość trichotecenów z grupy B (DON, pochodne acetylowe DON - 3-AcDON, 15-AcDON, NIV) w ziarnie analizowano przy wykorzystaniu techniki chromatografii gazowej z detekcją wychwytu elektronów (GC-ECD). Mikotoksyny ekstrahowano z 5 g zmielonego ziarna za pomocą 25 ml wodnego roztworu acetonitrylu (acetonitryl:woda 84:16 v/v) wytrząsając na wytrząsarce przez 2 h. Próbę odwirowano (3000 obr \times min⁻¹, 5 min.), a uzyskany w ten sposób ekstrakt oczyszczono na kolumnie Trich 227+ (RomerLabs). Do 4 ml oczyszczonego ekstraktu dodano 1 μ g wzorca wewnętrznego (chloraloza) i odparowano do sucha w strumieniu powietrza. Mikotoksyny przeprowadzono w pochodne (etry trimetylosilylowe) za pomocą mieszaniny silylującej Sylon BTZ (BSA+TMCS+TMSI, 3:2:3, Supelco). Upochodnione mikotoksyny rozpuszczono w izooktanie, a nadmiar czynnika silylującego rozłożono i usunięto za pomocą wody. Warstwę organiczną przeniesiono do fiolki autosamplera i poddano analizie chromatograficznej przy użyciu chromatografu SRI 8610C, wyposażonego w kapilarną kolumnę BGB-5MS, o długości 30 m i średnicy wewnętrznej 0,25 mm. Gazem nośnym był wodór. Chromatogram rozwijano w gradiencie temperatury od 170°C do 310°C, szybkość wzrostu temperatury 5°C \times min⁻¹. Detekcję mikotoksyn prowadzono za pomocą detektora wychwytu elektronów (ECD). Identyfikacji poszczególnych związków dokonano przez porównanie czasów wymywania z kolumny czystych wzorców mikotoksyn: DON, 3AcDON,

15AcDON, NIV (Sigma-Aldrich). Stężenie mikotoksyn określono na podstawie krzywej kalibracji, z zastosowaniem chloralozy, jako wzorca wewnętrznego.

Zawartość zearalenonu (ZEA) oznaczano za pomocą ilościowego testu immunoenzymatycznego AgraQuant® zearalenone zgodnie z procedurą podaną przez producenta (Wiśniewska i in., 2014).

Zawartość ergosterolu określono metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (Perkowski i in., 2007, 2008). Ergosterol został wyekstrahowany roztworem metanolu w środowisku alkalicznym przy jednoczesnym zmydłaniu z użyciem promieniowania mikrofalowego. Po neutralizacji roztworu, ergosterol został wyekstrahowany do fazy organicznej za pomocą pentanu. Po wysuszeniu w strumieniu azotu ergosterol był rozpuszczany w metanolu i rozdzielany chromatograficznie techniką HPLC na kolumnie krzemionkowej za pomocą metanolu. Detekcja prowadzona była na detektorze UV przy długości fali $\lambda=282$ nm. Identyfikacji ergosterolu dokonano na podstawie czasu retencji. Ilość ergosterolu została określona na podstawie krzywej kalibracyjnej czystego wzorca (metoda wzorca zewnętrznego).

Obliczenia statystyczne

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą pakietu Microsoft® Excel 2010/XLSTAT®-Pro (Version 2013.4.07, Addinsoft, Inc., Brooklyn, NY, USA). Przeprowadzono analizę wariancji IFK oraz FDK oraz porównanie średnich testem Tukeya (XLSTAT: ANOVA). Obliczono współczynniki korelacji IFK, FDK, redukcji komponentów plonu oraz zawartości poszczególnych mikotoksyn (XLSTAT: Correlation tests). W celu zgrupowania rodów na podstawie różnych typów odporności w dwóch lokalizacjach zastosowano metodę analizy składowych głównych (XLSTAT: PCA).

WYNIKI I DYSKUSJA

Badania obejmowały 35 genotypów pszenżyta ozimego o zróżnicowanym podłożu genetycznym, pochodzące z różnych kombinacji krzyżowań odmian i genotypów o poznanej podwyższonej odporności oraz 3 formy kontrolne Tomko, Borwo i Fredro. Pierwszy komponent odporności — porażenie kłosa wyrażone indeksem fuzariozy (% FK) — wynosiło w Cerekwicy średnio IFK = 19,2% i kształtowało się w zakresie od 7,8 do 55,8%. i było wyższe niż w drugiej lokalizacji — Radzikowie, gdzie średnio odnotowano IFK = 11,0% (zakres od 4,3 do 21,3%) (tab. 1). Niskie porażenie kłosa w obu lokalizacjach (około 10%) odnotowano dla genotypów MAH 34359-1, DS.9, BOHD 1352-2, DANKO 2, DANKO 17 i BOH 537-2. Średnie porażenie kłosów pszenżyta z obu lokalizacji wyniosło 15,1% (zakres od 7,6 do 30,7%) (tab. 1).

Współczynnik korelacji porażenia kłosa (%IFK) w lokalizacjach Cerekwica i Radzików dla badanych genotypów wynosił $r = 0,429$. Warunki pogodowe w obu lokalizacjach były zróżnicowane, co wpłynęło na duże różnice w porażeniu kłosa. Odnotowano podobną temperaturę w Cerekwicy i Radzikowie w ostatniej dekadzie maja, w czasie kwitnienia genotypów pszenżyta (około 18°C), natomiast stwierdzono znacznie wyższe w tym czasie opady w Cerekwicy, 62 mm w porównaniu z opadami w Radzikowie, gdzie odnotowano tylko 42 mm (tab. 2).

Tabela 1

Indeks fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium* (FDK) oraz redukcja masy ziarna z kłosa (MZK) u genotypów pszenżyta ozimego inokulowanych *F. culmorum* w Cerekwicy (C) i Radzikowie (R)

Fusarium head blight index (FHBi), *Fusarium* damaged kernels (FDK) and reduction of grain yield per spike (Yield reduction) for winter triticale lines inoculated with *F. culmorum* in Cerekwica (C) and Radzikow (R)

Lp. No	Genotyp ^{&} Genotype ^{&}	IFK (%)	IFK (%)	IFK (%)	FDK (%)	FDK (%)	FDK (%)	Redukcja	Redukcja	Redukcja
		C FHBi (%) C	R FHBi (%) R	śr. [#] FHBi (%) avg. [#]	C FDK (%) C	R FDK (%) R	śr. [#] FDK (%) avg. [#]	C Yield reduction (%) C	R Yield reduction (%) R	śr. [#] Yield reduction (%) avg. [#]
1	MAH 34359-1	9,3	5,9	7,6	30,6	34,2	32,4	57,8	15,9	36,8
2	DS 9	7,9	8,1	8,0	16,1	5,0	10,5	42,7	16,4	29,6
3	BOHD 1352-2	5,5	12,8	9,2	32,9	23,7	28,3	64,1	19,3	41,7
4	DANKO 2	9,5	10,3	9,9	31,6	30,0	30,8	65,5	47,8	56,6
5	DANKO 17	12,4	7,8	10,1	29,1	5,3	29,3	43,9	22,3	52,1
6	BOH 537-2	9,5	10,7	10,1	20,3	38,2	17,2	70,8	33,3	33,1
7	DS 1238	9,3	11,8	10,5	28,2	9,3	18,8	70,0	46,8	58,4
8	MAH 33544-4	12,8	8,6	10,7	33,6	29,9	31,7	61,8	57,9	59,9
9	BOHD 1049-1	11,8	10,1	10,9	33,8	17,6	25,7	79,5	24,5	52,0
10	MAH 32247-1	13,0	8,9	11,0	40,4	26,1	33,2	81,6	37,8	59,7
11	DL 446/08	12,5	9,8	11,2	33,0	3,2	18,1	78,7	38,0	58,3
12	DANKO 4	10,8	11,8	11,3	38,9	35,0	37,0	88,0	13,3	50,6
13	DANKO 9 (Tox)	16,7	6,2	11,4	53,6	8,4	31,0	43,6	14,1	28,8
14	BOH 1062-2	14,3	9,0	11,6	29,3	17,1	23,2	56,1	8,0	32,0
15	DANKO 13	15,8	8,3	12,0	54,2	45,3	49,8	80,9	26,6	53,8
16	BOH 835-4 (Tox)	14,8	9,6	12,2	65,3	23,9	44,6	73,7	22,8	48,3
17	DC 06080-56	17,0	7,4	12,2	45,8	5,0	25,4	65,7	24,9	45,3
18	DANKO 6	12,4	12,2	12,3	29,1	29,8	29,5	63,9	34,2	49,0
19	BOHD 898-1	13,5	11,9	12,7	35,5	48,4	41,9	56,4	19,6	38,0
20	MAH 33544-3/1	18,0	7,5	12,8	45,5	20,5	27,5	85,1	38,5	35,4
21	BOHD 1186-1	13,5	12,0	12,8	82,3	49,6	33,0	81,8	33,8	61,8
22	DANKO 1 (S)	13,8	11,9	12,8	28,3	26,7	66,0	54,8	16,0	57,8
23	BOH 534-4	13,1	12,6	12,9	33,8	33,5	33,7	70,6	43,0	56,8
24	LD 121/08	21,8	4,3	13,0	45,1	32,2	38,7	68,1	12,9	40,5
25	BOHD 1025-2	18,5	8,3	13,4	44,1	19,7	31,9	73,4	33,0	53,2
26	DC 03326/06/2	13,8	14,4	14,1	31,4	28,8	30,1	78,6	15,5	47,0
27	DL 593/07	20,8	7,4	14,1	44,0	30,4	37,2	64,6	33,3	49,0
28	DANKO 8	24,0	6,6	15,3	47,4	4,4	25,9	67,1	1,2	34,1
29	MAH 31011-2	21,8	9,8	15,8	54,2	23,5	38,8	63,8	25,3	44,6
30	MAH 32726-1/1	16,3	15,8	16,0	34,8	27,4	31,1	46,0	20,1	33,1
31	MAH 33881-7	20,0	12,9	16,5	32,5	11,9	22,2	49,4	28,3	38,9
32	DAST 15/11 (Tox)	33,3	19,5	26,4	28,6	16,9	22,7	60,3	44,1	52,2
33	MAH 34068-5 (Tox)	31,9	21,3	26,6	35,7	8,4	22,0	59,7	12,3	36,0
34	Fredro	42,4	12,5	27,4	19,3	15,4	17,3	68,2	57,0	62,6
35	MAH 33116-7/1 (S)	39,3	16,8	28,0	64,4	35,1	49,7	89,2	56,6	72,9
36	Borwo	48,6	11,6	30,1	38,4	18,8	28,6	69,3	25,1	47,2
37	Tomko	48,6	11,8	30,2	37,5	14,8	26,1	54,6	42,8	48,7
38	BOH 1273-1 (S)	41,5	19,8	30,7	42,1	29,6	35,8	86,9	10,6	48,7
Średnie — Means		19,2	11,0	15,1	38,7	23,2	31,0	66,7	28,2	47,5

[&] — genotypy uszeregowane wg średniego IFK; [#] — średnie dla Cerekwicy i Radzikowa; S — linie podatne na infekcję kłosa w roku 2013; Tox — linie o wysokiej akumulacji toksyn w ziarnie w roku 2013

[&] — genotypes ordered according to the average FHBi; [#] — average values for Cerekwica and Radzikow; S- lines susceptible in 2013; Tox — lines accumulating high amounts of toxins in 2013

Wysoka wilgotność podczas kwitnienia pszenżyta i po kwitnieniu wpłynęła na skuteczniejszą infekcję i znaczne porażenie kłosa w doświadczeniu inokulacyjnym w Cerekwicy.

Tabela 2

Temperatura i opady w dwóch lokalizacjach Poznań-Cerekwica i Radzików
Air temperature and precipitation in two experimental locations Poznań-Cerekwica and Radzików

Miesiąc Month	Średnia temperatura (°C) Average temperature (°C)		Suma opadów (mm) Precipitation (mm)	
	Cerekwica	Radzików	Cerekwica	Radzików
20–31 V	18,1	18,2	62,0	46,0
VI	16,9	16,3	28,2	61,0
VII	22,2	21,6	61,4	78,4
VIII	18,0	18,1	58,6	87,4

Ocena porażenia kłosa w sezonie 2014 była bardzo skomplikowana, ponieważ obserwowano duże nasilenie rdzy żółtej na terenie całej Polski. Grzyb *Puccinia striiformis* porażał nie tylko liście, ale również kłosa pszenżyta (do 100% kłosów porażonych dla niektórych genotypów). Utrudniało to w znacznym stopniu prawidłową ocenę porażenia przez *Fusarium culmorum*. Mogło to być powodem uzyskania niskiej korelacji wyników porażenia kłosów z dwóch lokalizacji. Wiarygodna ocena porażenia kłosów pszenżyta przez *Fusarium* jest uważana za trudniejszą niż u pszenicy ze względu na morfologię kłosa pszenżyta (Miedaner i in., 2004).

Uszkodzenie ziarniaków (typ III odporności) wynosiło w lokalizacji Cerekwica średnio %FDK = 38,7% i wahało się od 16,0% (genotyp DS.9) do 82,3% (genotyp DANKO 1) (tab. 1). U 3 genotypów pszenżyta ozimego (DS.9, DANKO 17, Fredro) stwierdzono niewielki procent ziarna z wyraźnymi objawami fuzariozy (do 20% FDK). Natomiast znaczne uszkodzenie ziarna powyżej 40% FDK odnotowano u 6 genotypów (DANKO 9, MAH 31011-2, DANKO 13, MAH 33116-7/1, BOH 835-4, DANKO 1), z których u trzech genotypów stwierdzono duże uszkodzenie ziarna, ale niewielkie porażenie kłosa do 16% IFK, co bardzo często obserwowane jest u pszenżyta. W Radzikowie uszkodzenie ziarniaków było niższe i wyniosło 23,3%. Zakres zmienności mieścił się w granicach od 3,2% (DL 446/08) do 49,6% (DANKO 1). Niewielkie uszkodzenie (poniżej 6%) stwierdzono u 5 genotypów (DL 446/08, DANKO 8, DS. 9, DC 06080-56, BOH 537-2). Silne uszkodzenie (powyżej 40%) wystąpiło u 3 genotypów (DANKO 13, BOHD 898-1, DANKO 1). Średnie uszkodzenie ziarniaków pszenżyta z obu lokalizacji wyniosło 31,0% (zakres od 10,5 do 66,0%) (tab. 1).

Współczynnik korelacji uszkodzenia ziarniaków w obu lokalizacjach wyniósł $r = 0,318$ i nie był istotny statystycznie. Brak było korelacji pomiędzy indeksem fuzariozy kłosów a uszkodzeniem ziarniaków, zarówno w Cerekwicy jak i w Radzikowie.

Średnia masa ziarna z kłosa po inokulacji genotypów pszenżyta ozimego była niższa w porównaniu z kontrolą. Dla genotypów wysianych w doświadczeniu w Cerekwicy redukcja masy ziarna z kłosa (RMZK) wyniosła średnio 66,7% i wahała się od 42,7% u genotypu DS.9 do 89,2% u genotypu MAH 33116-7/1 (tab. 1). W drugiej lokalizacji Radzików średnia RMZK wyniosła 28,2% i wahała się od 1,2% (DANKO 8) do 57,9% u genotypu

MAH 33544-4. Średnia redukcja masy ziarna z kłosa pszenżyta z obu lokalizacji wyniosła 47,5% (zakres od 28,8 do 72,9%) (tab. 1).

Genotyp DS.9 mimo niskiego porażenia kłosa w dwóch lokalizacjach—średnio IFK = 8,0% i niewielkiego procentu ziarna z wyraźnymi objawami fuzariozy FDK = 10,5% reagował znaczną obniżką masy ziarna z kłosa po inokulacji RMZK = 29,6%. Najniższy ubytek masy ziarna po inokulacji w dwóch lokalizacjach stwierdzono u genotypu DANKO 9 Tox (28,8%), wspomnianego DS.9 oraz BOH 1062-2 (32,0%) (tab. 1).

Współczynnik korelacji redukcji MZK w obu lokalizacjach wyniósł $r = 0,228$ i nie był istotny statystycznie. Obniżkę masy ziarna z kłosa u genotypów pszenżyta po inokulacji stwierdzali również Oettler i Wahle (2001). Obserwowali oni również dużą interakcję genotypowo—środowiskową (lata i lokalizacje).

Uzyskanie genotypów pszenżyta z większą odpornością na fuzariozę kłosów w procesie hodowli jest trudne, ponieważ odporność na tę chorobę jest cechą ilościową, modyfikowaną przez czynniki genetyczne i przez warunki środowiskowe, szczególnie temperaturę i opady, od kwitnienia do stadium dojrzałości woskowej miękkiej (Mesterházy, 1995; Mesterházy i in., 2002; Miedaner, 1997; Chełkowski i in., 2000; Snijders, 2004; Cowger i in., 2009). Skutkuje to istnieniem znacznej interakcji genotypowo—środowiskowej (GE) (Miedaner i in., 2001; Buerstmayr i in., 2009; Warzecha i in., 2010). Ze względu na tę interakcję GE potrzebne są co najmniej dwa niezależne doświadczenia do fenotypowego oszacowania poziomu odporności. Selekcja materiału hodowlanego pod kątem odporności na fuzariozę kłosów jest więc czasochłonna i kosztowna (Hollins i in., 2003). W programach hodowlanych i badaniach nad fuzariozą kłosów nasilenie choroby jest określane poprzez wizualną ocenę objawów na kłosie (typ I i II) i wizualną ocenę uszkodzenia ziarniaków (FDK — odporność typu III) w zebranych próbach (Yang i in., 2004; Buerstmayr i in., 2009).

Zawartość trichotecenów z grupy B w badanych próbach ziarna była znaczna i średnio dla dwóch lokalizacji wynosiła 23,541 mg/kg i wahała się od 8,806 u genotypu DS.9 do 91,342 mg/kg u genotypu DANKO 1 (tab. 3). Podobnie stwierdzono bardzo duże ilości zearalenonu (ZEA) od 129 $\mu\text{g}/\text{kg}$ u genotypu DS.9 do 3307 $\mu\text{g}/\text{kg}$ u genotypu MAH 33116-7/1. Genotyp DS.9, u którego stwierdzono najniższą zawartość ZEA wykazywał najniższe porażenie kłosa (Typ II i I odporności) i redukcje masy ziarna po inokulacji (Typ V odporności) (tab. 1).

W doświadczeniu inokulacyjnym w Cerekwicy średnia zawartość trichotecenów B wynosiła 43,183 mg/kg (tab. 3). Zakres zmienności mieścił się w granicach 13,814 mg/kg (MAH 33116-7/1) — 172,567 mg/kg (DANKO 1). Akumulacja trichotecenów B w ziarnie w Radzikowie była ponad 10-krotnie niższa i wyniosła 3,898 mg/kg, w zakresie od 0,620 mg/kg (DS.9) do 10,136 mg/kg (MAH 33116-7/1). Podobne zależności obserwowano dla zearalenonu (tab. 3). Zawartość ZEA wynosiła 2272 $\mu\text{g}/\text{kg}$ i wahała się od 248 $\mu\text{g}/\text{kg}$ u genotypu DS.9 do 6251 $\mu\text{g}/\text{kg}$ u genotypu MAH 33116-7/1. Była ona znacznie wyższa niż w Radzikowie, gdzie średnia zawartość ZEA wynosiła 126 $\mu\text{g}/\text{kg}$, w zakresie od 10 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (DS.9) do 363 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (MAH 33116-7/1). Zawartości trichotecenów B i ZEA w ziarnie w Radzikowie i Cerekwicy korelowały istotnie. Współczynniki wynosiły odpowiednio $r = 0,424$ i $r = 0,356$.

Tabela 3

Akumulacja ergosterolu (ERG), trichotecenów z grupy B (TCT B) (DON i pochodne, NIV) oraz zearalenonu (ZEA) w ziarnie genotypów pszenżyta ozimego inokulowanych *F. culmorum* w Cerekwicy (C) i Radzikowie (R)

Accumulation of ergosterol (ERG), trichothecenes of group B (TCT B) (DON and derivatives, NIV) and zearalenone (ZEA) in grain of winter triticale lines inoculated with *F. culmorum* in Cerekwica (C) and Radzików (R)

Lp. No.	Genotyp [⊗] Genotype [⊗]	ERG (mg/kg) C	ERG (mg/kg) R	ERG (mg/kg) śr. [§] ERG (mg/kg) avg. [§]	TCT B (mg/kg) C	TCT B (mg/kg) R	TCT B (mg/kg) śr. [§] TCT B (mg/kg) avg. [§]	ZEA (μg/kg) C	ZEA (μg/kg) R	ZEA (μg/kg) śr. [§] ZEA (μg/kg) avg. [§]	ERG+TCT +ZEA stnd [#]
1	DS. 9	19,1	7,4	13,2	16,991	0,620	8,806	248	10	129	-1,366
2	DANKO 17	36,6	25,2	30,9	22,704	4,809	13,757	562	96	329	-0,850
3	DS 1238	40,9	12,1	26,5	23,145	3,185	13,165	1048	253	650	-0,770
4	BOHD 1352-2	36,5	8,8	22,6	28,729	1,335	15,032	1457	43	750	-0,734
5	BOH 537-2	44,1	18,1	31,1	26,042	3,015	14,529	1289	103	696	-0,637
6	Fredro	54,5	29,1	41,8	23,000	2,947	12,973	958	87	523	-0,591
7	BOH 534-4	30,5	12,6	21,6	27,115	3,350	15,233	2278	58	1168	-0,529
8	DAST 15/11 (Tox)	57,3	22,6	39,9	30,774	4,937	17,856	794	258	526	-0,499
9	MAH 34359-1	47,4	7,3	27,3	39,277	4,312	21,795	1810	29	919	-0,401
10	MAH 34068-5 (Tox)	61,1	8,6	34,9	35,716	2,981	19,348	1586	50	818	-0,392
11	DC 03326/06/2	53,0	10,7	31,9	25,881	5,263	15,572	2178	71	1125	-0,375
12	BOHD 898-1	52,2	8,9	30,5	44,628	0,713	22,670	1625	48	836	-0,370
13	DANKO 8	57,8	13,3	35,5	37,359	2,731	20,045	1432	244	838	-0,353
14	DANKO 2	50,8	23,2	37,0	48,042	3,714	25,878	892	145	518	-0,350
15	BOH 1062-2	43,7	12,4	28,0	33,772	2,838	18,305	2407	87	1247	-0,306
16	MAH 33544-3/1	59,6	12,7	36,2	32,278	1,754	17,016	2110	43	1076	-0,295
17	Tomko	59,7	14,7	37,2	43,779	4,246	24,013	1436	55	745	-0,275
18	MAH 33881-7	59,3	12,8	36,1	40,566	1,486	21,026	1794	152	973	-0,250
19	BOHD 1025-2	54,2	7,9	31,0	39,301	2,928	21,114	2266	32	1149	-0,238
20	MAH 32726-1/1	56,7	9,5	33,1	37,305	1,141	19,223	2349	46	1198	-0,226
21	BOHD 1049-1	48,7	17,4	33,0	33,554	5,723	19,638	2296	149	1222	-0,204
22	DANKO 6	49,2	30,8	40,0	33,596	6,927	20,262	1813	158	985	-0,198
23	DANKO 4	62,5	11,1	36,8	37,672	3,148	20,410	2382	84	1233	-0,118
24	BOHD 1186-1	63,7	12,6	38,1	55,178	2,508	28,843	1496	150	823	-0,099
25	DL 446/08	65,3	9,5	37,4	46,623	1,734	24,179	2141	39	1090	-0,088
26	MAH 33544-4	59,3	14,3	36,8	39,519	3,653	21,586	2449	72	1260	-0,074
27	DANKO 13	67,0	21,7	44,3	42,831	6,951	24,891	2040	161	1101	0,048
28	BOH 1273-1 (S)	49,6	11,8	30,7	35,694	1,807	18,750	3594	110	1852	0,064
29	LD 121/08	87,3	17,4	52,4	50,255	5,047	27,651	2022	70	1046	0,219
30	DL 593/07	84,7	15,2	50,0	51,766	4,633	28,200	2382	82	1232	0,291
31	DANKO 9 (Tox)	91,3	19,4	55,3	69,099	4,236	36,668	2410	79	1244	0,596
32	Borwo	82,7	10,0	46,4	71,819	6,790	39,304	2650	221	1435	0,615
33	MAH 31011-2	75,4	12,2	43,8	56,144	4,509	30,326	4299	18	2158	0,725
34	MAH 32247-1	69,0	11,0	40,0	43,322	3,422	23,372	5230	124	2677	0,760
35	BOH 835-4 (Tox)	101,6	10,3	56,0	73,297	3,907	38,602	3010	91	1550	0,814
36	DC 06080-56	97,7	12,7	55,2	57,812	4,566	31,189	3783	241	2012	0,857
37	MAH 33116-7/1 (S)	176,8	45,3	111,1	13,814	10,136	11,975	6251	363	3307	1,961
38	DANKO 1 (S)	212,1	33,6	122,9	172,567	10,116	91,342	4349	359	2354	3,638
Średnie — Means		66,3	15,6	41,0	43,183	3,898	23,541	2240	118	1179	-

[⊗] — genotypy uszeregowane wg wartości ERG+TCT+ZEA stnd; [§] — średnie dla Cerekwicy i Radzikowa; [#] — średnia ze standaryzowanych zawartości ERG, TCT B i ZEA; S — linie podatne na infekcję kłosa w roku 2013; Tox — linie o wysokiej akumulacji toksyn w ziarnie w roku 2013; [⊗] — genotypes ordered according to the ERG+TCT+ZEA stnd value; [§] — average values for Cerekwica and Radzików; [#] — mean of standardized values of ERG, TCT B and ZEA; S — lines susceptible in 2013; Tox — lines accumulating high amounts of toxins in 2013

Badano również zawartość ergosterolu — miernika ilości grzybni w tkance (Seitz i in., 1979). Najmniejsze ilości ERG (13,2 mg/kg) stwierdzono u genotypu DS.9 wykazującego najniższe porażenie kłosa (8% IFK), ziarna (10,0% FDK) i najmniejsze wartości toksyn z grupy B i zearalenonu (tab. 1, 3). Wysoką średnią zawartość ergosterolu stwierdzono u genotypu pszenżyta DANKO 1 (122,0 mg/kg) oraz MAH 33116-7/1 (S) (111,1 mg/kg). Zawartość ERG w ziarnie z doświadczenia w Cerekwicy (66,3 mg/kg) była czterokrotnie wyższa niż w Radzikowie (15,6 mg/kg). Współczynnik korelacji ERG w obu lokalizacjach wyniósł $r = 0,569$ i był istotny statystycznie.

Podsumowując, najniższe zawartości metabolitów fuzaryjnych stwierdzono w ziarnie takich genotypów jak: DS. 9, DANKO 17, DS 1238, BOHD 1352-2, BOH 537-2, natomiast najwyższe w ziarnie genotypów BOH 835-4 (Tox), DC 06080-56, MAH 33116-7/1 (S), DANKO 1 (S) (tab. 3; ERG+TCT+ZEA std).

Tabela 4 obrazuje współczynniki korelacji pomiędzy % IFK, % FDK oraz zawartością ergosterolu i toksyn fuzaryjnych. Odnotowano niski współczynnik korelacji stopnia porażenia kłosów (% FK) a uszkodzeniem ziarniaków i zawartością toksyn. Istotny był jedynie współczynnik korelacji z zawartością ergosterolu w ziarnie.

Tabela 4

Współczynniki korelacji pomiędzy indeksem fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzeniem ziarniaków przez *Fusarium* (FDK), redukcją plonu (RMZK) oraz zawartością ergosterolu (ERG), trichotecenów B (TCT B) oraz zearalenonu (ZEA) w ziarnie 38 genotypów pszenżyta. Średnie z doświadczeń w Cerekwicy i Radzikowie

Coefficients of correlation between Fusarium head blight index (FHBi), Fusarium damaged kernels (FDK), grain yield reduction (Yield red.) and accumulation of ergosterol (ERG), trichothecenes B (TCT B) and zearalenone (ZEA) in grain of 38 winter triticale lines. Averages from experiments in Cerekwica and Radzików

Zmienne Variables	IFK FHBi	FDK FDK	RMZK Yield red.	ERG ERG	TCT B TCT B
FDK — FDK	0,067				
RMZK — Yield red.	0,204	0,336			
ERG — ERG	0,334	0,635	0,374		
TCT B — TCT B	0,024	0,594	0,090	0,642	
ZEA — ZEA	0,231	0,675	0,287	0,657	0,520

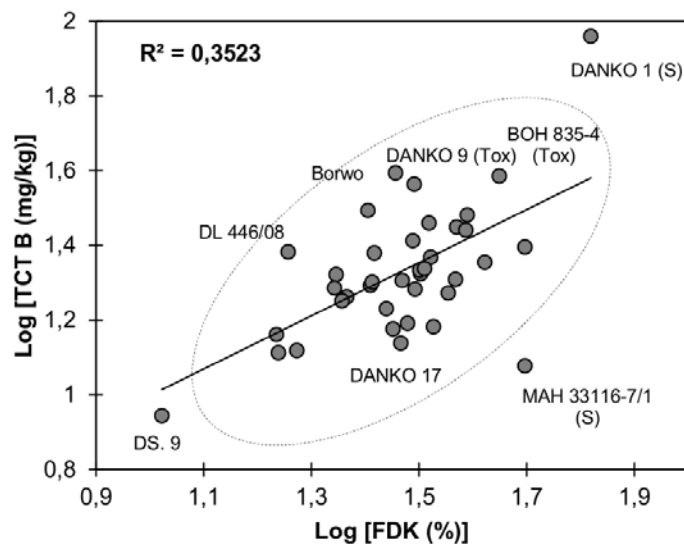
Wyróżnione współczynniki istotne na poziomie $\alpha < 0,05$

Bolded coefficients significant at $P < 0.05$ level

Redukcja masy ziarna z kłosa w istotny sposób korelowała z uszkodzeniem ziarniaków przez *Fusarium* (tab. 4). Podobnie RMZK korelowała z zawartością ergosterolu w ziarnie. Brak było natomiast istotnej korelacji RMZK z zawartością zearalenonu i trichotecenów B w ziarnie, pomimo istnienia wpływu wielkości FDK na zawartość tych toksyn.

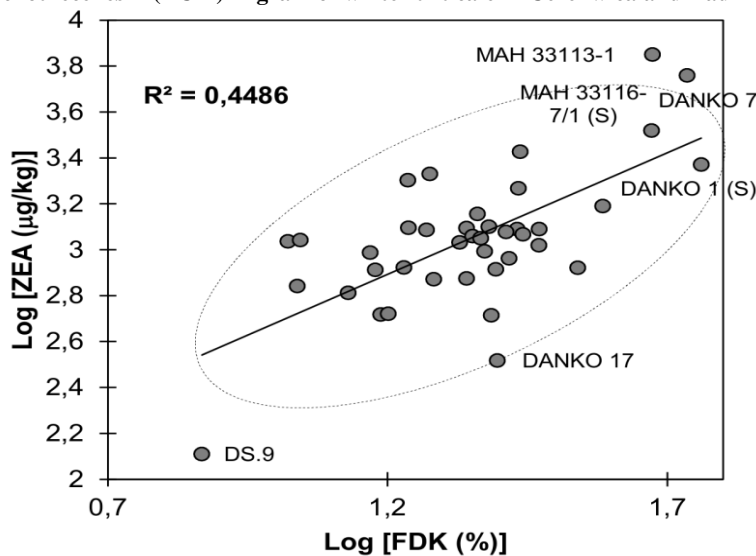
Stwierdzono wysoki współczynnik determinacji pomiędzy średnim uszkodzeniem ziarna (FDK) i średnią zawartością zearalenonu, który wynosił $R^2 = 0,449$ (rys. 2). Niższy współczynnik determinacji wyliczono między średnim uszkodzeniem ziarna (FDK) i średnią zawartością trichotecenów B i wynosił $R^2 = 0,352$ (rys. 1).

Zawartość ergosterolu w ziarnie korelowała istotnie z procentem uszkodzenia ziarniaków ($R^2 = 0,403$) oraz zawartością zearalenonu ($R^2 = 0,432$) i trichotecenów B ($R^2 = 0,412$) (rys. 3–5).



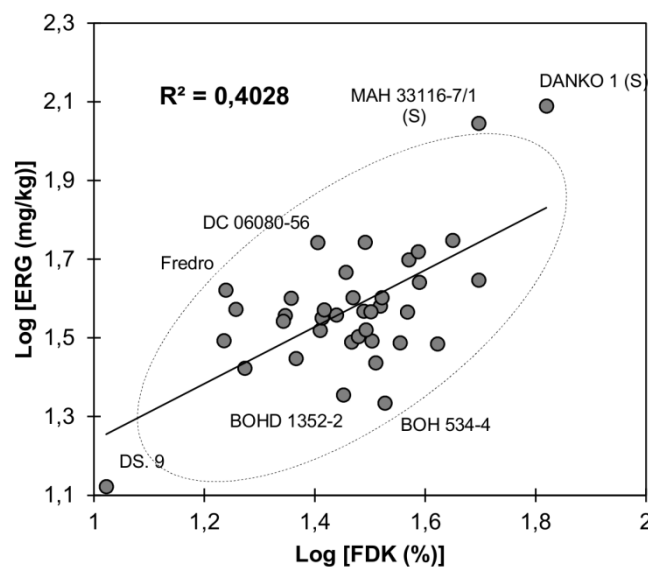
Rys. 1. Zależność pomiędzy średnim uszkodzeniem ziarniaków (FDK) oraz średnią zawartością trichotecenów B (TCT B) w ziarnie pszenżyta ozimego w Cerekwicy i Radzikowie

Fig.1. Relationship between proportion of *Fusarium* damaged kernels (FDK) and concentration of trichothecenes B (TC B) in grain of winter triticale in Cerekwica and Radzików

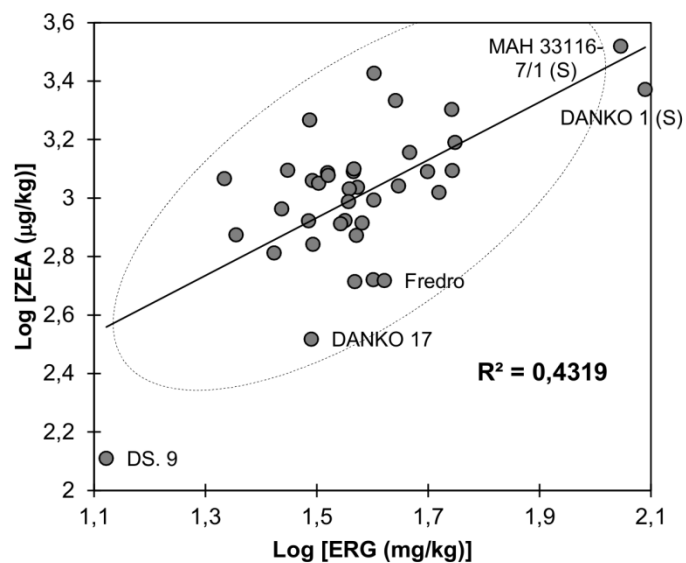


Rys. 2. Zależność pomiędzy średnim uszkodzeniem ziarniaków (FDK) oraz średnią zawartością zearalenonu (ZEA) w ziarnie pszenżyta ozimego w Cerekwicy i Radzikowie

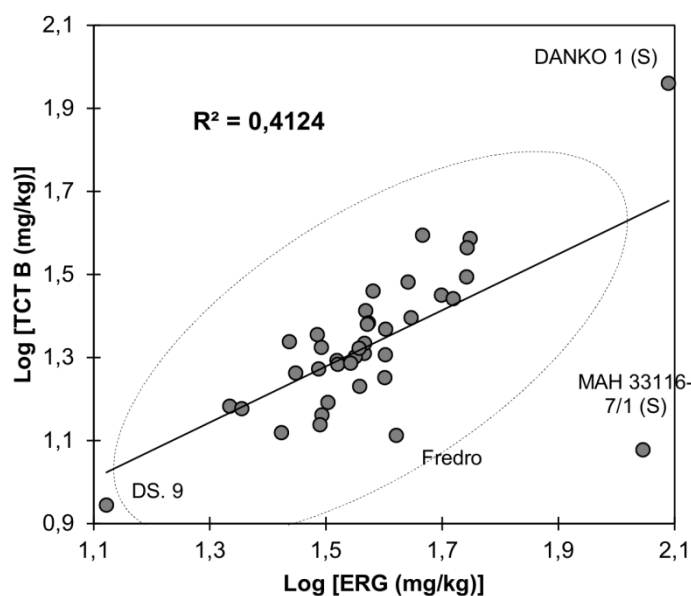
Fig. 2. Relationship between proportions of *Fusarium* damaged kernels (FDK) and concentration of zearalenone (ZEA) in grain of winter triticale in Cerekwica and Radzików



Rys. 3. Zależność pomiędzy średnim uszkodzeniem ziarniaków (FDK) oraz średnią zawartością ergosterolu (ERG) w ziarnie pszenżyta ozimego w Cerekwicy i Radzikowie.
 Fig. 3. Relationship between proportions of *Fusarium* damaged kernels (FDK) and concentration of ergosterol (ERG) in grain of winter triticale in Cerekwica and Radzików



Rys. 4. Zależność między zawartością ergosterolu (ERG) a akumulacją zearalenonu (ZEA) w ziarnie pszenżyta ozimego
 Fig. 4. Relationship between concentration of ergosterol (ERG) and zearalenone (ZEA) in grain of winter triticale

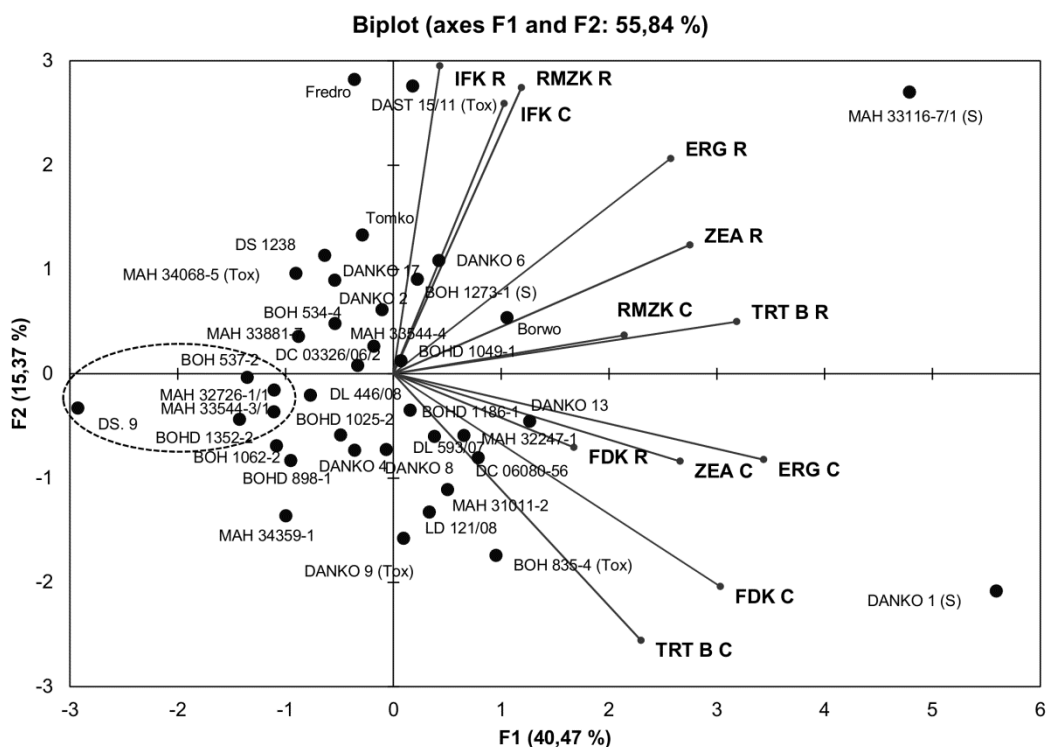


Rys. 5. Zależność między zawartością ergosterolu (ERG) a akumulacją trichotecenów B (TCT B) w ziarnie pszenżyta ozimego

Fig. 4. Relationship between concentration of ergosterol (ERG) and trichothecenes B (TCT B) in grain of winter triticale

Ze względu na złożoność odporności na fuzariozę kłosów oraz różne jednostki miar poszczególnych cech uzyskane wyniki poddano statystycznej analizie składowych głównych. Genotypy pszenżyta (38) zostały pogrupowane na podstawie odporności na porażenie kłosa i uszkodzenia ziarniaków w Cerekwicy i w Radzikowie oraz zawartości ergosterolu i toksyn fuzaryjnych w ziarnie (rys. 6). Genotypy o najwyższej odporności to te, które lokują się po przeciwnej stronie wektorów, czyli mają niskie wartości dla wszystkich zmiennych (DS. 9, MAH 32726-1/1, MAH 33544-4, BOH 537-2, BOHD 1352-2).

Część genotypów badanych w bieżącej pracy znalazła się w doświadczeniach infekcyjnych, których wyniki opublikowano w pracy Wiśniewskiej i in. (2014). Porównanie wyników dla 24 genotypów wykazało wysoką zgodność indeksów fuzariozy kłosów ($r = 0,780$) oraz zawartości trichotecenów B ($r = 0,732$). Współczynniki dla stopnia uszkodzenia ziarniaków oraz zawartości zearalenonu były nieistotne i wynosiły odpowiednio $r = 0,375$ i $r = 0,246$. Najwyższą odpornością wszystkich typów wykazały się genotypy DS.9 i DS. 1328. Niską akumulacją toksyn charakteryzowały się odmiana Fredro i genotyp BOHD 1352-2. Najbardziej podatne były odmiana Borwo i genotyp BOH 835-4 (Tox).



Rys. 6. Układ współrzędnych dwóch składowych głównych dla 38 genotypów pszenżyta ozimego. Składowe wyjaśniają 55,8% zmienności odporności na fuzariozę kłosów mierzona indeksem fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzeniem ziarniaków (FDK), redukcją masy ziarna z kłosa (RMZK) oraz zawartością ergosterolu (ERG), zearalenonu (ZEA) i trichotecenów B w ziarnie w Radzikowie (R) i Cerekwicy (C)

Fig.6. Biplot of the principal component analysis for 38 winter triticale lines. Two first components explained 55.8% of variability of *Fusarium* head blight resistance characterized with FHB index (IFK), *Fusarium* damaged kernels (FDK), grain yield reduction (RMZK) and concentration of ergosterol (ERG), zearalenone (ZEA) and trichothecenes B (TCT B) in grain in Radzików (R) and Cerekwica (C)

WNIOSKI

1. Genotypy pszenżyta ozimego charakteryzowały się zróżnicowaną odpornością na porażenie kłosów i ziarniaków przez *Fusarium culmorum*.
2. Stwierdzono brak korelacji pomiędzy indeksem fuzariozy kłosów a uszkodzeniem ziarna w obu lokalizacjach.
3. Redukcja masy ziarna z kłosa w istotny sposób korelowała z uszkodzeniem ziarniaków przez *Fusarium culmorum*.
4. Uszkodzenie ziarniaków oraz zawartość ergosterolu korelowały istotnie z zawartością trichotecenów B i zearalenonu w ziarnie.

5. Zidentyfikowano 5 genotypów (DS. 9, MAH 32726-1/1, MAH 33544-4, BOH 537-2, BOHD 1352-2) o niskim porażeniu kłosa i uszkodzeniu ziarniaków przez *Fusarium clumorum* oraz niskiej akumulacji toksyn fuzaryjnych w ziarnie.

LITERATURA

- Argyris J., Van Sanford D., TeKrony D. 2003. *Fusarium graminearum* infection during wheat seed development and its effect on seed quality. *Crop Sci* 43: 1782 — 1788.
- Audenaert K., Troch V., Landschoot S., Haesaert G. 2014. Biotic stresses in the anthropogenic hybrid triticale (\times *Triticosecale* Wittmack): current knowledge and breeding challenges. *Eur. J. Plant Pathol.* 140: 615 — 630.
- Buerstmayr H., Steiner B., Hartl L., Griesser M., Angerer N., Lengauer D., Miedaner T., Schneider B., Lemmens M. 2003. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. II. Resistance to fungal penetration and spread. *Theor. Appl. Genet.* 107: 503 — 508.
- Buerstmayr H., Ban T., Anderson J. A. 2009. QTL mapping and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat: A review. *Plant Breed.* 128: 1 — 26.
- Chełkowski J., Kapturek P., Tomkowiak M., Kostecki M., Goliński P., Ponitka A., Jarzina-Slusarkiewicz A., Bocianowski J. 2000. Moniliformin accumulation in kernels of triticale accessions inoculated with *Fusarium avenaceum* in Poland. *J. Phytopathology* 148: 433 — 449.
- Comeau A., Langevin F., Savard M. E., Gilbert J., Dion Y., Rioux S., Martin S.A., Haber S., Voldeng H., Fedak G., Somers D., Eudes F. 2008. Improving *Fusarium* head blight resistance in bread wheat and triticale for Canadian needs. *Cereal Res. Commun.* 36 (6): 91 — 92.
- Cowger C., Arrellano C. 2010. Plump kernels with high deoxynivalenol linked to late *Gibberella zeae* infection and marginal disease conditions in winter wheat. *Phytopathology.* 100: 719 — 28.
- Cowger C., Patton-Ozkurt J., Brown-Guedira G., Perugini L. 2009. Post-anthesis moisture increased *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in North Carolina winter wheat. *Phytopathology* 99: 320 — 7.
- Faris J. D., Li W. L., Liu D. J., Chen P. D., Gill B. S. 1999. Candidate gene analysis of quantitative disease resistance in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 98: 219 — 225.
- Feuillet C., Keller B. 2004. Molecular markers for disease resistance: the example wheat. In: *Biotechnology in Agriculture and Forestry. vol.55, Molecular Marker Systems.* H. Loerz, G. Wenzel (eds.), Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg: 353 — 370.
- Foroud N.A., Eudes F. 2009. Trichothecenes in cereal grains. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 147 — 173.
- Góral T. 2007. Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. *Komunikat. Biul. IHAR* 246: 31 — 44.
- Góral T., Ochodzki P. 2006. Resistance of Polish winter triticale cultivars to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium*-mycotoxins in grain. *Proc. of 16th International Triticale Symposium, September 3–7 2006, Stellenbosch, South Africa:* 140 — 143.
- Hollins T. W., Ruckebauer P., De Jong H. 2003. Progress towards wheat varieties with resistance to *Fusarium* head blight. *Food Control* 14: 239 — 244.
- Kalih R., Maurer H. P., Miedaner T. 2015. Genetic architecture of *Fusarium* head blight resistance in four winter triticale populations. *Phytopathology* 105: 334 — 341.
- Kang Z., Buchenauer H. 2000. Ultrastructural and cytochemical studies on cellulose, xylan and pectin degradation in wheat spikes infected by *Fusarium culmorum*. *J. Phytopath.* 148: 263 — 275.
- Langevin F., Eudes F., Comeau A. 2004. Effect of trichothecenes produced by *Fusarium graminearum* during *Fusarium* head blight development in six cereal species. *Eur. J. Plant Path.* 110: 735 — 746.
- Keller B., Feuillet C., Messmer M. 2000. Genetics of disease resistance. In: *Mechanisms of resistance to plant diseases.* Slusarenko, Fraser, van Loon (eds.), Kluwer Academic Publishers: 101 — 160.
- Mesterházy, Á. 1995. Types and components of resistance to *Fusarium* head blight of wheat. *Plant Breed.* 114: 377 — 386.

- Mesterhazy A., Logrieco A., Bailey J. A., Corazza L., Cooke B. M. 2002. Role of deoxynivalenol in aggressiveness of *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* and in resistance to *Fusarium* head blight. *Eur. J. Plant Pathol.* 108: 675 — 684.
- Miedaner T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant Breeding* 116: 201 — 220.
- Miedaner T., Reinbrecht C., Lauber U., Schollenberger M., Geiger H. H. 2001. Effects of genotype and genotype x environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to *Fusarium* head blight in rye, triticale, and wheat. *Plant Breed.* 120: 97 — 105.
- Miedaner T., Heinrich N., Schneider B., Oettler G., Rohde S., Rabenstein F. 2004. Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat and triticale. *Euphytica* 139: 129 — 132.
- Nirenberg H. I. 1976. Untersuchungen über die morphologische und biologische Differenzierung in der *Fusarium*-Section Liseola. Berlin-Dahlem: Mitt Biol Bundesanst für Land- und Forstwirtschaft. 169: 1 — 117.
- Oettler G., Wahle G. 2001. Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breeding* 123: 297 — 300.
- Paillard S., Schnurbush T., Tiwari R., Winzeler M., Keller B., Schachermayer G. 2003. QTL analysis of resistance to *Fusarium* head blight in Swiss winter wheat. *Proceedings of the Tenth International Wheat Genetics Symposium*, 1–6 September 2003, Pastum Italy VI: 400 — 403.
- Perkowski J., Buśko, M., Stuper K., KostECKI M., Matysiak, A., Szwajkowska-Michałek, L. 2008. Concentration of ergosterol in small-grained naturally contaminated and inoculated cereals. *Biologia* 63 (4): 542 — 547.
- Perkowski J., Wiwart M., Busko M., Laskowska M., Berthiller F., Kandler W., Krska R. 2007. *Fusarium* toxins and total fungal biomass indicators in naturally contaminated wheat samples from north-eastern Poland in 2003. *Food Additives and Contaminants* 24: 1292 — 1298.
- Parry D. W., Jenkinson P., Mc Leod L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in grain cereals—a review. *Plant Path.* 44: 207 — 238.
- Randhawa H., Eudes F., Beres B., Graf R., Fedak G., Comeau A., Langevin F., Dion Y., Pozniak C. 2013. Integrated approaches for triticale breeding. *Abstract Book of the 8th International Triticale Symposium*, June 10th–14th 2013, Ghent, Belgium: 29.
- Seitz L. M., Sauer D. B., Burroughs R., Mohr H. E., Hubbard J. D. 1979. Ergosterol as a measure of fungal growth. *Phytopathology* 69: 1202 — 1203.
- Siou D., Géglise S., Laval V., Repinçay C., Canalès R., Suffert F., Lannou C. 2014. Effect of wheat spike infection timing on *Fusarium* head blight development and mycotoxin accumulation. *Plant Pathol.* 63: 390 — 399.
- Snijders C. H. A., Perkowski J. 1990. Effects of head blight caused by *Fusarium culmorum* on toxin content and weight of wheat kernels. *Phytopathology* 80 (6): 566 — 570.
- Snijders C. H. D. 2004. Resistance in wheat to *Fusarium* infection and trichothecene formation. *Toxicology Letters* 153: 37 — 46.
- Wiśniewska H., Kowalczyk K. 2005. Resistance of cultivars and breeding lines of spring wheat to *Fusarium culmorum* and powdery mildew. *J. Appl. Genet.* 46 (1): 35 — 40.
- Veitch R. S., Caldwell C. D., Martin R. A., Lada R., Salmon D., Anderson, D. M., MacDonald D. 2008. Susceptibility of winter and spring triticales to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation. *Can. J. Plant Sci.* 88: 783 — 788.
- Warzecha T., Adamski T., Kaczmarek Z., Surma M., Goliński P., Perkowski J., Chełkowski J., Wiśniewska H., Krystkowiak K., Kuczyńska A. 2010. Susceptibility of hulled and hullless barley doubled haploids to *Fusarium culmorum* head blight. *Cereal Research. Commun.* 38 (2): 220 — 232.
- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Bełetr J., Banaszak Z., Pojmał M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. 2014. Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów. *Biul. IHAR* 271: 29 — 43.