

HALINA WIŚNIEWSKA <sup>1</sup>  
TOMASZ GÓRAL <sup>#2</sup>  
PIOTR OCHODZKI <sup>2</sup>  
DOROTA WALENTYN-GÓRAL <sup>2</sup>  
MICHAŁ KWIATEK <sup>1</sup>  
MACIEJ MAJKA <sup>1</sup>  
JOLANTA BELTER <sup>1</sup>  
ZOFIA BANASZAK <sup>3</sup>  
MIROSLAW POJMAJ <sup>3</sup>  
DANUTA KURLETO <sup>3</sup>  
MARCIN KONIECZNY <sup>3</sup>  
GRZEGORZ BUDZIANOWSKI <sup>4</sup>  
ALICJA CICHA <sup>4</sup>  
KAZIMIERZ PAIZERT <sup>4</sup>  
PRZEMYSŁAW MATYSIK <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Instytut Genetyki Roślin PAN, ul. Strzeszyńska 34, 60–479 Poznań

<sup>2</sup> Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05–870 Błonie

<sup>3</sup> Danko Hodowla Roślin Sp. z o.o., Choryń 27, 64–000 Kościan

<sup>4</sup> Hodowla Roślin Strzelce Sp. z o.o. Grupa IHAR, ul. Główna 20, 99–307 Strzelce

## Badanie typów odporności na fuzariozę kłosów u pszenżyta ozimego za pomocą markerów fenotypowych i metabolicznych\*

### Evaluation of *Fusarium* head blight resistance types in winter triticale using phenotypic and metabolic markers

Kolekcja 106 genotypów pszenżyta ozimego (*X Triticosecale* Wittmack) stanowiła materiał badawczy przeznaczony do oceny odporności na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* oraz akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Doświadczenia inokulacyjne przeprowadzono w dwóch lokalizacjach. Określano indeks fuzariozy kłosów (IFK) będący miarą odporności typu I i II oraz procent ziarniaków z objawami fuzariozy (FDK; typ III odporności). Ziarniaki z wybranych genotypów analizowano pod względem zawartości toksyn fuzaryjnych (typ V

\* Badania finansowano ze środków projektu MRiRW: Badania Podstawowe na rzecz Postępu Biologicznego w Produkcji Roślinnej; decyzja HORh-801- PB- 9/16 lp.14

<sup>#</sup> autor do korespondencji

odporności). Określano zawartość trichotecenów z grupy B: deoksynivalenol (DON) i pochodne oraz niwalenol (NIV) oraz akumulację zearalenonu (ZEN). Badano również zawartość ergosterolu, będącego miernikiem zawartości grzybni w ziarnie. Porażenie kłosów pszenżyta ozimego (IFK) w obu lokalizacjach było zbliżone i kształtowało się średnio dla dwóch lokalizacji na poziomie 18,2%. Procent ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* (FDK) był bardzo zróżnicowany dla badanych genotypów pszenżyta. Średnio wynosił 29,5% (FDK z masy) i 37,6% (FDK z liczby). Wykazano istotny współczynnik korelacji pomiędzy lokalizacjami biorąc pod uwagę uszkodzenie ziarniaków poszczególnych genotypów. Odnotowano brak korelacji porażenia kłosów z uszkodzeniem ziarniaków w lokalizacji Poznań i słabą, ale istotną statystycznie korelację w Radzikowie. Stwierdzono wysokie stężenie toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Zawartość DON wynosiła średnio dla dwóch lokalizacji 8,649 mg/kg, a stężenie NIV — średnio 5,839 mg/kg. Zawartość ZEN wynosiła średnio dla dwóch lokalizacji 1,382 mg/kg. Wysoki współczynnik korelacji odnotowano pomiędzy zawartością DON a FDK z masy i z liczby ziarniaków. Istotne były współczynniki korelacji ergosterolu z uszkodzeniem ziarniaków oraz zawartością trichotecenów B w ziarnie. Analiza wielocechowa pozwoliła na zidentyfikowanie sześciu genotypów łączących różne typy odporności na fuzariozę kłosów.

**Słowa kluczowe:** deoksynivalenol, ergosterol, *Fusarium culmorum*, *X Triticosecale*, zearalenon

A collection of 106 genotypes of winter triticale (*X Triticosecale* Wittmack) was evaluated for resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* and for toxin accumulation in grain. The inoculation tests were carried out in two locations. *Fusarium* head blight indexes (FHBi) describing combined type I and type II of resistance, the percentage of kernels with visible symptoms of *Fusarium* damage (FDK; type III of resistance) and the level of *Fusarium* toxins (type V of resistance) were evaluated. The content of the type B trichothecenes: deoxynivalenol (DON) and derivatives, nivalenol (NIV) and zearalenone (ZEN) in grain was analyzed. Moreover, the amount of ergosterol was evaluated to measure the level of *Fusarium* mycelium in grain. The FHB indexes were similar in both locations and on average amounted to 18.2%. The percentage of FDK varied for individual triticale genotypes. The average FDK was 29.5% (FDK weight) and 37.6% (FDK number). Regarding the FDK of respective genotypes, a significant level of correlation between locations was found. There was a lack of correlation between FHBi and FDK in Poznań, and in Radzików, a very weak, but significant correlation between FHBi and FDK was observed. The content of *Fusarium* toxins in the grain was very high. The average of DON content for both locations was 8.649 mg/kg. The average content of NIV was also high and amounted to 5.839 mg/kg. The average content of zearalenone was 1.382 mg/kg. High correlation coefficient for DON and FDK was found. Correlation coefficients between ergosterol and FDK, as well as, among ergosterol and sum of type B trichothecenes in grain were significant. The principal component analysis revealed six triticale genotypes combining a high level of resistance of different types.

**Key words:** deoxynivalenol, ergosterol, *Fusarium culmorum*, *X Triticosecale*, zearalenone

## WSTĘP

Pszenżyto uprawne heksaploidalne (*X Triticosecale* Wittmack,  $2n=6x=42$ , AABBRR) jest sztucznie otrzymanym zbożem, powstałym w wyniku skrzyżowania pszenicy (*Triticum aestivum* L.,  $2n=6x=42$ , AABBDD) lub pszenicy twardej (*T. durum* L.,  $2n=4x=28$ , AABB) z żytem (*Secale cereale* L.,  $2n=2x=14$ , RR); zawierającym genomy A i B z rodzaju *Triticum* oraz R z *S. cereale*. W Polsce zainteresowanie tym zbożem jest bardzo duże z powodu dużego udziału gleb lekkich i zakwaszonych w ogólnej puli gruntów ornych. Atrybutami pszenżyta są: duża plenność oraz dobra jakość ziarna przeznaczonego na paszę, charakteryzująca się wysoką zawartością białka o korzystnym

składzie aminokwasowym i wysokim współczynnikiem strawności (Arseniuk i Oleksiak, 2002). Pszenżyto jako rodzaj całkowicie syntetyczny posiada wąski zakres zmienności genetycznej z racji braku przejścia ewolucji. Ponadto selekcja dawców subgenomów pszenżyta (pszenica, żyto), prowadzona przez hodowców, przyczynia się do redukcji genetycznej zmienności odmian w tym także ogranicza różnorodność cech odpowiadających na reakcję na czynniki biotyczne i abiotyczne. Wzorcowe warunki uprawy roślin stosowane w stacjach hodowlanych oraz selekcja ukierunkowana przede wszystkim na podwyższanie plonu powodują, że współczesne odmiany nie są dobrze przystosowane do stresów biotycznych i abiotycznych (Arseniuk, 2015; Arseniuk i Góral, 2015).

Fuzarioza kłosów jest chorobą zbóż powodowaną przez grzyby patogeniczne z rodzaju *Fusarium* (Parry i in., 1995; Siou i in., 2014). Patogeneza fuzariozy kłosów jest złożona i wyróżnia się kilka typów odporności: typ I — na infekcję pierwotną, typ II — na rozprzestrzenianie się patogena wzdłuż osadki kłosowej, typ III — odporność na uszkodzenie ziarniaków, typ IV — tolerancja, czyli odporność na obniżkę plonu, typ V — odporność na akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarniakach poprzez ich detoksyfikację lub hamowanie syntezy (Mesterhazy, 1995; Foroud i Eudes, 2009). Odporność na fuzariozę kłosa ma charakter złożony i jest cechą wielogenową (Faris i in., 1999; Keller i in., 2000; Fueillet i Keller, 2004; Kalih i in., 2015).

Fuzarioza kłosów może prowadzić do obniżenia plonu ziarna. Jednakże poważniejszym problemem związanym z fuzariozą kłosów jest skażenie ziarna mykotoksynami takimi jak deoksynivalenol (DON), niwalenol (NIV), zearalenon (ZEN), które są związkami stabilnymi, nie ulegają metabolizowaniu i są szkodliwe dla człowieka i zwierząt (Kalih i in., 2015).

Największe szkody fuzarioza powoduje w uprawach pszenicy zwyczajnej i pszenicy twardej. Mniejszą podatnością na porażenie kłosa/wiech charakteryzują się pszenżyto, żyto, jęczmień i owies (Miedaner i in., 2001, 2003; Langevin i in., 2004; Góral, 2007). Pszenżyto zaliczane było do zbóż w mniejszym stopniu zagrożonych mykotoksynami niż pszenica (Góral i in., 2002; Comeau i in., 2008). Jednak nowe odmiany pszenżyta okazują się podatne na fuzariozę kłosów a także na kumulacje toksyn fuzaryjnych w ziarnie na podobnym poziomie jak pszenica (Góral i Ochodzki, 2006; Wiśniewska i in., 2015; Góral i in., 2016). Brak dotychczas dokładnego wyjaśnienia tego zjawiska. Badacze kanadyjscy sugerują, że 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). Przyczyny 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.

Jednym ze sposobów uniknięcia strat spowodowanych fuzariozą kłosów pszenżyta i innych zbóż jest uprawa odmian odpornych i takich form, które charakteryzują się niską akumulacją mykotoksyn w ziarnie (Mesterhazy i in., 1999; Bai i in., 2001). Głównym źródłem odporności jest *locus* cech ilościowych (QTL) *Fhb1* zlokalizowany w krótkim ramieniu chromosomu 3B. Jest to główny QTL odpowiadający za bardzo wysoką

odporność na fuzariozę, który obecny jest w odmianie pszenicy Sumai 3, stanowiącej wzorzec odporności na tę chorobę. Ponadto, dobrze scharakteryzowany jest inny QTL - *Fhb2*, znajdujący się na krótkim ramieniu chromosomu 6B. Ma on jednak znacznie mniejszy wpływ na całkowitą odporność na fuzariozę kłosów (Buerstmayr i in., 2009). Poza tym u pszenicy zidentyfikowano ponad 100 QTLi związanych z odpornością na fuzariozę kłosów na wszystkich chromosomach z wyjątkiem 7D. W przypadku pszenżyta opublikowano jedynie trzy prace dotyczące QTLi odporności na fuzariozę kłosów (Kalih i in., 2014, 2015; Dhariwal i in., 2018). Autorzy dwóch pierwszych (Kalih i in., 2014, 2015) zlokalizowali 17 QTLi, w tym sześć na chromosomach pochodzących od żyta. Najwyższy efekt (34%) miał QTL na chromosomie 4R. Podobne wyniki uzyskali Dhariwal i in. (2018). Stosując genotypowanie SNP (polimorfizmów pojedynczych nukleotydów) zidentyfikowali 17 QTLi wyjaśniających powyżej 10% zmienności odporności na fuzariozę kłosów. Siedem z nich znajdowało się na chromosomach pochodzących z żyta (4R, 5R). Najwyższy efekt miały cztery QTLi na chromosomach 1A, 2B, 4R i 5R.

Dodatkowo pszenżyto, jako forma sztuczna, zagrożone jest zawężeniem bazy genetycznej odmian, jeżeli nie prowadzi się krzyżowań z gatunkami macierzystymi. Może to prowadzić do spadku odporności tego gatunku na patogeny, w tym *Fusarium* spp. Podejmowane są próby poszerzenia zmienności pszenżyta przez wprowadzanie genów z gatunków oddalonych: *Triticum monococcum* oraz gatunków z rodzaju *Aegilops* i z pszenicy Sumai 3 (Halina Wiśniewska — wyniki niepublikowane).

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

## MATERIAŁ I METODY

### **Materiał roślinny**

Odporność na fuzariozę kłosów 106 genotypów pszenżyta ozimego (o zróżnicowanym podłożu genetycznym) testowana była metodą inokulacji w warunkach polowych w IHAR — PIB Radzików oraz w IGR PAN w Poznaniu. Wysiano genotypy nowo uzyskane (75) oraz te, które na podstawie wyników badań w poprzednich latach wytypowano jako formy o podwyższonej odporności, a także trzy odmiany kontrolne o wysokim plonie ziarna (Trefl, Meloman, Fredro). Przy wyborze genotypów do krzyżowań uwzględniano również zadawalające cechy rolnicze (plon i jakość).

### **Doświadczenia polowe**

Doświadczenia polowe infekcyjne i kontrolne z genotypami pszenżyta ozimego zostały założone jesienią 2015 roku w układzie losowych bloków w dwóch lokalizacjach położonych w różnych rejonach Polski: w Instytucie Genetyki Roślin PAN w Poznaniu (pole doświadczalne 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. Rody pszenżyta ozimego

wysiano na poletkach o powierzchni 1 m<sup>2</sup> w 3 powtórzeniach. Gęstość siewu wynosiła około 300 ziarniaków na m<sup>2</sup>.

W Radzikowie przedplon stanowił rzepak ozimy. Jesienią zastosowano nawożenie Polifoską 6 w ilości 3 dt/ha (N — 18 kg/ha, P — 45 kg/ha, K — 72 kg/ha). Bezpośrednio po siewie wykonano zabieg zwalczania chwastów za pomocą herbicydu Maraton 375SC w dawce 4 L/ha. Wiosną, po ruszeniu vegetacji zastosowano nawożenie saletrą amonową w ilości 68 kg N/ha. Zabieg zwalczania chwastów wykonano za pomocą herbicydu Attribut 70GS w dawce 60 g/ha.

W Poznaniu przedplon stanowiła facelia. Jesienią zastosowano nawożenie Polifoską Plus w ilości 4 dt/ha (N — 20 kg/ha, P — 40 kg/ha, K — 80 kg/ha). Bezpośrednio posiewie wykonano zabieg zwalczania chwastów za pomocą herbicydu Legato Plus w dawce 1,5 kg/ha. Wiosną, po ruszeniu vegetacji zastosowano nawożenie saletrą amonową w ilości 80 kg N/ha.

#### **Sporządzenie inokulum *F. culmorum***

Do przygotowania inokulum zastosowano 3 izolaty *Fusarium culmorum* (KF846, ZFR112, KF350) wytwarzające deoksynivalenol (DON) niwalenol (NIV) oraz zearalenon (ZEN). Izolaty te zostały przetestowane pod względem agresywności wobec pszenicy i pszenżyta i były używane do oceny odporności w warunkach polowych.

Izolaty należące do chemotypu DON (KF846, ZFR112) pochodziły z Radzikowa i zostały wyizolowane z kłosów pszenicy (Wiśniewska i Kowalczyk, 2005; Ochodzki i Góral, 2006). Izolat należący do chemotypu NIV (KF350 = IPO348) pochodził z Holandii i był wyizolowany z kłosa pszenicy (Snijders i Perkowski, 1990). Tożsamość gatunkowa i chemotyp izolatów zostały potwierdzone przy pomocy markerów molekularnych specyficznych dla gatunku *F. culmorum* oraz markerów dla genów *TRI5*, *TRI13* i *PKS13* związanych z wytwarzaniem trichotecenów i zearalenonu (Łukasz Stępień, IGR PAN — wyniki niepublikowane).

Izolaty grzyba inkubowano na autoklawowanym ziarnie pszenicy w szklanych kolbach przez około 4 tygodnie a następnie naświetlano ciągłym światłem UV przez 4 do 7 dni w temperaturze 18°C. Ziarno skolonizowane przez *F. culmorum* suszono i przechowywano w lodówce w temperaturze 4°C (Wiśniewska i in., 2014). W dniu wykonywania inokulacji ziarno z zarodnikami *F. culmorum* płukano i następnie filtrowano w celu uzyskania zawiesiny zarodników. Zawiesiny ze wszystkich izolatów mieszano i ustalano stężenie zarodników za pomocą hematokrytu na około 10<sup>5</sup> zarodników/ml zar./ml (IGR Poznań) lub 5 × 10<sup>5</sup> zar./ml (IHAR Radzików). Do inokulacji stosowano mieszaninę zawiesin trzech izolatów w równych proporcjach.

#### **Wykonanie inokulacji**

Zastosowano technikę inokulacji przez opryskiwanie. Technika ta pozwala na określenie połączonych typów odporności I (odporność na infekcję) i II (odporność na rozprzestrzenianie się patogena w tkankach) (Imathiu i in., 2014), a w pewnym stopniu symuluje naturalne warunki infekcji kłosa przez *Fusarium* (Buerstmayr i in., 2003; Miedaner i in., 2003).

Kłosa pszenżyta w fazie kwitnienia poszczególnych genotypów opryskiwano zawiesiną zarodników w ilości około 100 ml zawiesiny na 1 m<sup>2</sup>. Inokulacja była

przebieg prowadzona oddzielnie na każdym poletku na początku kwitnienia i powtarzana około 3 dni później w fazie pełni kwitnienia. W fazie tej pszenżyto jest najbardziej wrażliwe na infekcję kłosa przez *Fusarium* (Bushnell, 2001; Siou i in., 2014). Po inokulacji rośliny w lokalizacji Poznań były zamgławiane przez 72 h w celu skutecznego zainfekowania kłosów. Natomiast w Radzikowie inokulacje prowadzone były w godzinach wieczornych, kiedy wzrasta względna wilgotność powietrza.

#### **Ocena porażenia**

Ocenę porażenia przeprowadzono około 10 dni po ostatniej inokulacji. Przeprowadzono dwie oceny w odstępach 7-dniowych. Nasilenie fuzariozy kłosów określano na podstawie proporcji porażonych kłosów w kłosie (tylko w kłosach z objawami choroby) oraz proporcji kłosów prażonych na poletku. Z tych wartości wyliczono indeks fuzariozy kłosów według wzoru:

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

#### **Ocena odporności na uszkodzenie ziarna oraz tolerancji genotypów pszenżyta**

W czasie żniw (koniec lipca i początek sierpnia) zbierano ręcznie z polowych doświadczeń inokulacyjnych po 20 kłosów dla każdego genotypu z 3 poletek inokulowanych i z poletka kontrolnego. Kłosa młócono 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) oraz i ziarniaki z objawami porażenia przez *Fusarium* (FDK).

Określano redukcję komponentów plonu ziarna (masa ziarna z kłosa, liczba ziarniaków w kłosie, masa tysiąca ziarniaków) w odniesieniu do prób kontrolnych (typ odporności IV).

#### **Analizy toksyn fuzaryjnych**

Stężenie toksyn fuzaryjnych (DON, NIV i ZEN) 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 wychwyty elektronów (GC-ECD). Mykotoksyny 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.×min<sup>-1</sup>, 5 min.), a uzyskany w ten sposób ekstrakt oczyszczono na kolumnie Trich 227+ (RomerLabs). Do 4 ml oczyszczonego ekstraktu dodano 1 µg wzorca wewnętrznego (chloraloza) i odparowano do sucha w strumieniu powietrza. Mykotoksyny przeprowadzono w pochodne (etry trimetylosilylowe) za pomocą mieszaniny silylującej Sylon BTZ (BSA+TMCS+TMSI, 3:2:3, Supelco). Upochodnione mykotoksyny 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·min<sup>-1</sup>. Detekcję mykotoksyn prowadzono za pomocą detektora wychwytu elektronów (ECD). Identyfikacji poszczególnych związków dokonano przez porównanie czasów wymywania z kolumny czystych wzorców mykotoksyn: DON, 3AcDON, 15AcDON, NIV (Sigma-Aldrich). Stężenie mykotoksyn określono na podstawie krzywej kalibracji z zastosowaniem chloralozy jako wzorca wewnętrznego.

Zawartość zearalenonu (ZEN) 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).

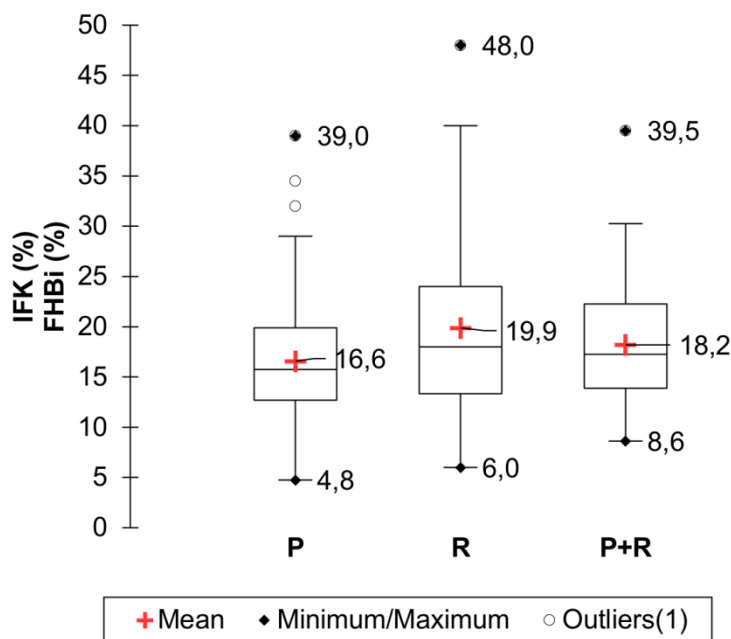
#### **Obliczenia statystyczne**

Analiza statystyczna została wykonana za pomocą pakietu Microsoft® Excel 2010/XLSTAT©-Pro (Version 2017.02, 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 mykotoksyn (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

Pierwszy komponent odporności mierzony indeksem fuzariozy kłosów (IFK%) w obu lokalizacjach był zróżnicowany i wynosił średnio dla dwóch lokalizacji IFK = 18,2%. Wartość IFK kształtowała się w zakresie od 8,6 (BOH 730) do 39,5% (MAH 33070) (rys. 1).

W Radzikowie odnotowano wyższy indeks fuzariozy (19,8%) niż w Poznaniu (16,6%) (rys. 1). Na poziom infekcji w obu lokalizacjach istotny wpływ miały warunki pogodowe szczególnie pod względem opadów po inokulacji (tab. 1). W Poznaniu ilość opadów w czerwcu wynosiła 49,4 mm i była niższa niż w Radzikowie (54,6 mm).



Rys. 1. Indeksy fuzariozy kłosa (IFK) dla genotypów pszenżyta ozimego inokulowanego *F. culmorum* w dwóch lokalizacjach Poznań (P) i Radzików (R) oraz wartość średnia (P+R). Prostokąty pokazują pierwszy kwartył, medianę i trzeci kwartył. Wąsy pokazują dolny i górny limit, poza którym wartości są odstające

Fig. 1. Fusarium head blight indexes (FHBI) for winter triticale lines inoculated with *F. culmorum* in two locations Poznań (P) and Radzików as well as average value (P+R). Boxes show first quartile, median and third quartile. Whiskers show lower and upper limits beyond which values are considered anomalous

Tabela 1

Temperatura i opady w maju, czerwcu, lipcu i sierpniu 2016 w dwóch lokalizacjach doświadczalnych (IGR PAN Poznań i IHAR PIB Radzików)  
Temperature and precipitation in May, June, July and August of 2016 in two experimental locations (IGR PAN Poznań and IHAR-PIB Radzików)

Miesiąc Month	Poznań		Radzików	
	opady (mm) precipitation (mm)	temp. °C	opady (mm) precipitation (mm)	temp. °C
Maj — May	32,2	21,0	31,6	16,0
Czerwiec — June	49,4	24,0	54,6	19,5
Lipiec — July	130,0	23,5	89,8	19,8
Sierpień — August	14,1	23,0	46,0	18,9

Natomiast w lipcu w Poznaniu odnotowano znaczne opady — 130 mm. W Radzikowie opady były również wysokie, ale niższe niż w Poznaniu (89,8 mm). Temperatura w okresie inokulacji w lipcu w Poznaniu była o około 4°C wyższa niż w



Radzikowie. Dużo opadów odnotowano w Radzikowie w sierpniu (46,0 mm). Były one znacznie wyższe niż w lokalizacji Poznań (14,1 mm).

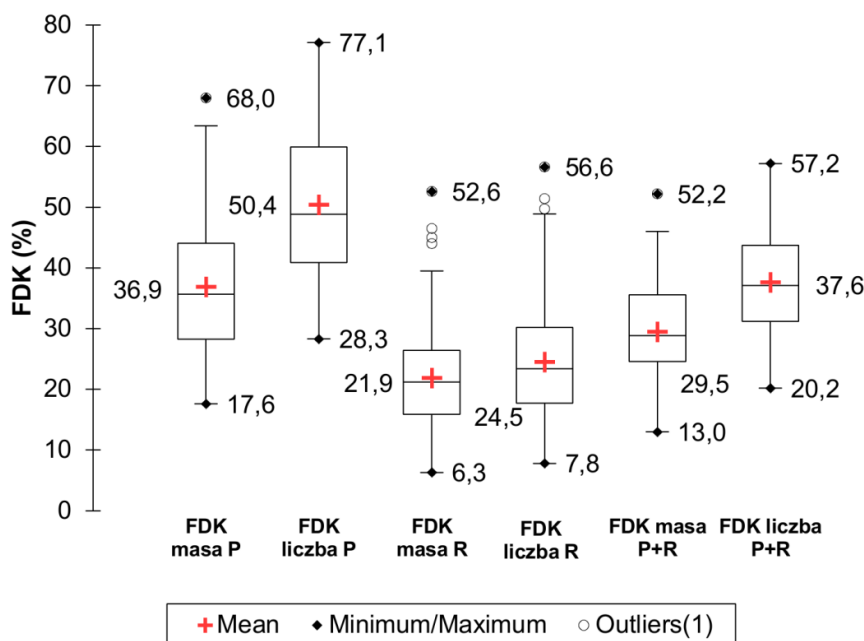
Biorąc pod uwagę średnie porażenie z dwóch lokalizacji, najniższe porażenie kłosa (IFK = 8,6%) odnotowano u genotypu BOHT 730. Niewielkie porażenie poniżej 10% odnotowano jeszcze dla 4 genotypów (DS.9, MAH 33881-1/3, DANKO 15/15, MAH 35066-2). Genotyp DS.9 wykazywał stabilnie niskie porażenie. Badany był on również w 2014 i 2015 r. i w tych latach odnotowywano u tego genotypu również małe porażenie. Największe porażenie kłosa (IFK = 39,5%) odnotowano u genotypu MAH 33070-3/1. Porażenie powyżej 28% odnotowano jeszcze u 6 genotypów. Dwa z tych genotypów MAH 34858 oraz DANKO 12/15 w obu lokalizacjach wykazywały podobne wysokie porażenie.

Współczynnik korelacji porażenia kłosów dla genotypów w Poznaniu i Radzikowie wynosił  $r = 0,217$  ( $p < 0,05$ ). Na niską wartość współczynnika korelacji mogły mieć wpływ uszkodzenia mrozowe roślin pszenżyta w Radzikowie. Nie spowodowały one całkowitego wypadnięcia genotypów (z wyjątkiem DANKO 3/15) ale spowodowały zniekształcenia roślin i zróżnicowanie terminu kwitnienia genotypów w poszczególnych powtórzeniach. Dodatkowo na uzyskane wyniki mógł mieć wpływ fakty, że wiarygodna ocena porażenia kłosów jest znacznie trudniejsza u pszenżyta w porównaniu z pszenicą szczególnie ze względu na budowę kłosa (Miedaner i in., 2004).

Stopień porażenia ziarniaków był zróżnicowany w lokalizacjach prowadzenia doświadczeń inokulacyjnych. Procent ziarniaków w wyraźnych objawami fuzariozy (FDK% masa) w lokalizacji Poznań wynosił średnio FDK = 36,9%, wahał się od 17,6 (genotyp BOHD 1025) do 68,0% (DANKO 1 2014 S) (rys. 2).

U genotypu DANKO 14/14 odnotowano najniższy procent z liczby porażonego ziarna (FDK liczba = 28,3%), a najwyższy dla genotypu DANKO 1 (2014) (S), gdzie FDK z liczby wynosił 77,1%. Niski procent FDK z liczby odnotowano również u genotypu BOHD 1025 (30,5%). Średnio dla wszystkich genotypów testowanych w lokalizacji Poznań FDK z liczby wynosił = 50,4%.

W lokalizacji Radzików procent ziarniaków w wyraźnych objawami fuzariozy (FDK masa) wahał się od 6,3 (genotyp DANKO 13/1) do 52,6% (genotyp DANKO 8/15). Średnio dla genotypów testowanych w Radzikowie FDK z masy wynosił 21,9% (rys. 2). Natomiast % liczby porażonego ziarna (FDK liczba) wahał się od 7,8 (genotyp DS.9) do 56,6% (genotyp DANKO 8/15). Średnio dla wszystkich genotypów testowanych w lokalizacji Radzików wynosił 24,5%. Niskie porażenie ziarna poniżej 10% odnotowano również u genotypów DANKO 13/4 i BOHD 1025-2. Największy procent ziarna z wyraźnymi objawami fuzariozy odnotowano u genotypu DANKO 8/15 odpowiednio FDK m = 52,6% i FDK l = 56,6%. W 2016 r. w obu lokalizacjach genotyp DS.9 wykazywał niskie porażenie ziarna podobnie jak w 2015 roku (rys. 2).



Rys. 2. Uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium* (FDK z liczby i FDK z masy) u badanych genotypów pszenżyta w lokalizacji Poznań (P) i Radzików (R) oraz wartość średnia (P+R). Prostokąty pokazują pierwszy kwartył, medianę i trzeci kwartył. Wąsy pokazują dolny i górny limit, poza którym wartości są odstające

Fig. 2. Percentage of *Fusarium* damaged kernels (FDK liczba = from number of FDK, FDK masa = from weight of FDK) for winter triticale lines in two locations Poznań (P) and Radzików as well as average value (P+R). Boxes show first quartile, median and third quartile. Whiskers show lower and upper limits beyond which values are considered anomalous

Średnio w obu lokalizacjach najniższe uszkodzenie ziarniaków wykazały genotypy: BOHD 1025-2, DS. 9, DANKO 13/14 i BOHT 730 Natomiast najwyższe uszkodzenie ziarniaków odnotowano u genotypów: DANKO 1/15, DANKO 5/15, DANKO 18 (2014), DANKO 3/15 oraz DANKO 1 (2014) (S).

Odnotowano brak korelacji porażenia kłosów i uszkodzenia ziarniaków w lokalizacji Poznań i słabą korelację (istotną statystycznie) w Radzikowie (tab. 2).

Średni IFK korelował jedynie z FDK z liczby. Współczynnik korelacji miał niską wartość. Uszkodzenie ziarniaków w lokalizacji Poznań korelowało istotnie z uszkodzeniem ziarniaków w Radzikowie, jednakże współczynniki miały niskie wartości.

Odnotowano obniżkę trzech parametrów struktury plonów u wszystkich genotypów pszenżyta ozimego inokulowanego szczepami *F. culmorum* w odniesieniu do kontroli (genotypy bez inokulacji): masy ziarna z kłosa (MZL), masy 1000 ziarniaków (MTZ), liczby ziarniaków w kłosie (LZK). Obniżkę plonu ziarna u pszenżyta po inokulacji obserwowali również Oetler i Wahle (2001) oraz Wiśniewska i in. (2015).

Tabela 2

**Współczynnik korelacji dla porażenia kłosa (IFK) i uszkodzenia ziarniaków (FDK) w lokalizacji  
Poznań (P) i Radzików (R)**  
**Correlation coefficients for head infection (FHBi) and *Fusarium* damaged kernels (FDK) in Poznań (P)  
and Radzików (R)**

Zmienne	IFK P FHBi P	FDK masa P weight P	FDK liczba P number P	IFK R	FDK masa R weight R	FDK liczba R number R	IFK śr FHBi avg	FDK masa śr weight avg
FDK masa P weight P	0,082							
FDK liczba P number P	0,133	<b>0,880</b>						
IFK R FHBi R	<b>0,217</b>	0,069	0,128					
FDK masa R weight R	-0,058	<b>0,257</b>	<b>0,221</b>	<b>0,338</b>				
FDK liczba R number R	-0,027	<b>0,230</b>	<b>0,198</b>	<b>0,350</b>	<b>0,991</b>			
IFK śr. FHBi avg.	<b>0,699</b>	0,090	0,162	<b>0,850</b>	<b>0,217</b>	<b>0,242</b>		
FDK masa śr. weight avg	0,018	<b>0,841</b>	<b>0,736</b>	<b>0,236</b>	<b>0,734</b>	<b>0,710</b>	0,168	
FDK liczba śr. number avg.	0,068	<b>0,753</b>	<b>0,814</b>	<b>0,293</b>	<b>0,730</b>	<b>0,718</b>	<b>0,232</b>	<b>0,938</b>

Zaznaczone współczynniki (wytluszczone) istotne na poziomie  $p < 0,05$   
Coefficients in bold significant at  $p < 0.05$

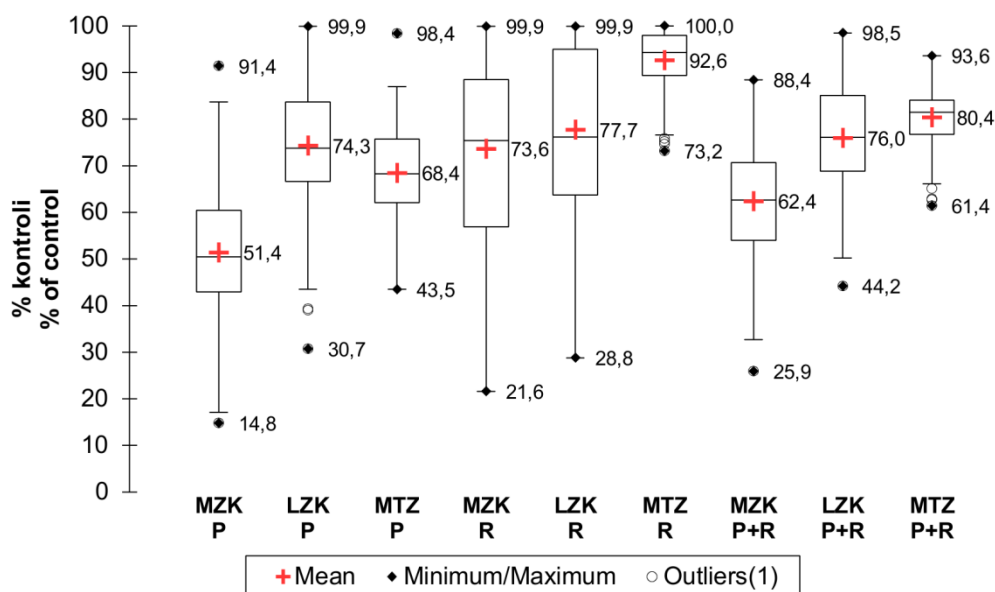
Tabela 3

**Współczynniki korelacji uszkodzenia ziarniaków z względnymi parametrami struktury plonu w  
odniesieniu do kontroli**  
**Coefficients of correlation between *Fusarium* damaged kernels and relative to control components  
of yield**

Zmienne Variables	IFK śr. FHBi avg.	FDK masa śr. FDK weight avg.	FDK liczba śr. FDK number avg.	MZK śr. Yield/head avg.	LZK śr. Kernel #/head avg.
FDK masa śr. FDK weight avg.	<b>0,211</b>				
FDK liczba śr. FDK number avg.	<b>0,248</b>	<b>0,944</b>			
MZK śr. Yield/head avg.	<b>-0,228</b>	-0,139	-0,188		
LZK śr. Kernel #/head avg.	-0,160	-0,079	-0,124	<b>0,916</b>	
MTZ śr. TKW avg.	<b>-0,224</b>	<b>-0,282</b>	<b>-0,304</b>	<b>0,661</b>	<b>0,350</b>

Zaznaczone współczynniki (wytluszczone) istotne na poziomie  $p < 0,05$   
Coefficients in bold significant at  $p < 0.05$

U genotypów inokulowanych odnotowano średnio MZK na poziomie 62,4% kontroli. Dla LZK było to 76,0% kontroli, a dla MTZ 80,4% kontroli. Najmniejszą obniżkę parametrów struktury plonu (MZK, LZK, MTZ) odnotowano u 8 genotypów: DANKO 14/15, BOHD 1025-2, MAH 33881-1/3, MAH 34359-1, BOHD 1049-1, DANKO 16 (2014), DANKO 22/15 i MAHD 33404-1 (rys. 3).



Rys. 3. Parametry struktury plonu dla genotypów pszenżyta inokulowanego szczepami *F. culmorum* w lokalizacji Poznań (P) i Radzików (R) oraz wartości średnie (P+R). Prostokąty pokazują pierwszy kwartył, medianę i trzeci kwartył. Wąsy pokazują dolny i górny limit poza którym wartości są odstające

Fig. 3. Relative to control components of yield (MZK = yield per head, LZK = kernel number per head, MTZ = 1000 kernels weight) for winter triticale lines inoculated with *F. culmorum* in two locations Poznań (P) and Radzików as well as average value (P+R). Boxes show first quartile, median and third quartile. Whiskers show lower and upper limits beyond which values are considered anomalous

Uszkodzenie ziarniaków słabo korelowało z redukcją parametrów struktury plonu (tab. 3). Najwyższy był współczynnik korelacji FDK z liczby i MTZ % kontroli. W przypadku IFK najwyższy był współczynnik korelacji z MZK % kontroli.

Ziarno z form o najwyższej odporności i niewielkiej obniżce parametrów plonotwórczych analizowano pod względem zawartości toksyn fuzaryjnych — deoksyniwale-nolu, niwale-nolu, zearalenonu (typ V odporności). Na podstawie indeksu fuzariozy kłosów w Radzikowie, w Poznaniu wybrano najlepsze genotypy (około 30), których ziarno analizowano na zawartość mykotoksyn wytwarzanych przez *F. culmorum*. Zmieszano ziarno z poszczególnych powtórzeń z danego doświadczenia (Radzików, Poznań). Badano akumulację toksyn fuzaryjnych: deoksyniwale-nol (DON) i pochodne acetylowe, niwale-nol (NIV) oraz zearalenon (ZEN).

Zawartość DON była wysoka i wynosiła średnio dla dwóch lokalizacji 8,649 mg/kg. Wahala się ona od 2,670 mg/kg (genotyp BOHD 1025-2) do 19,870 mg/kg (genotyp DANKO 8/15) (tab. 4). Najmniej DON stwierdzono w ziarnie genotypów: BOHD 1025-

2, DS.9, BOH 537-2, BOHD 898-1, MAH 33544-4, BOH 534-4; najwięcej w ziarnie genotypów: BOH 2271-4 i DANKO 8/15. Podobnie jak w roku ubiegłym dwa genotypy: BOHD 1025-2, DS.9 wykazały niewielką zawartość DON i pochodnych w ziarnie.

Tabela 4

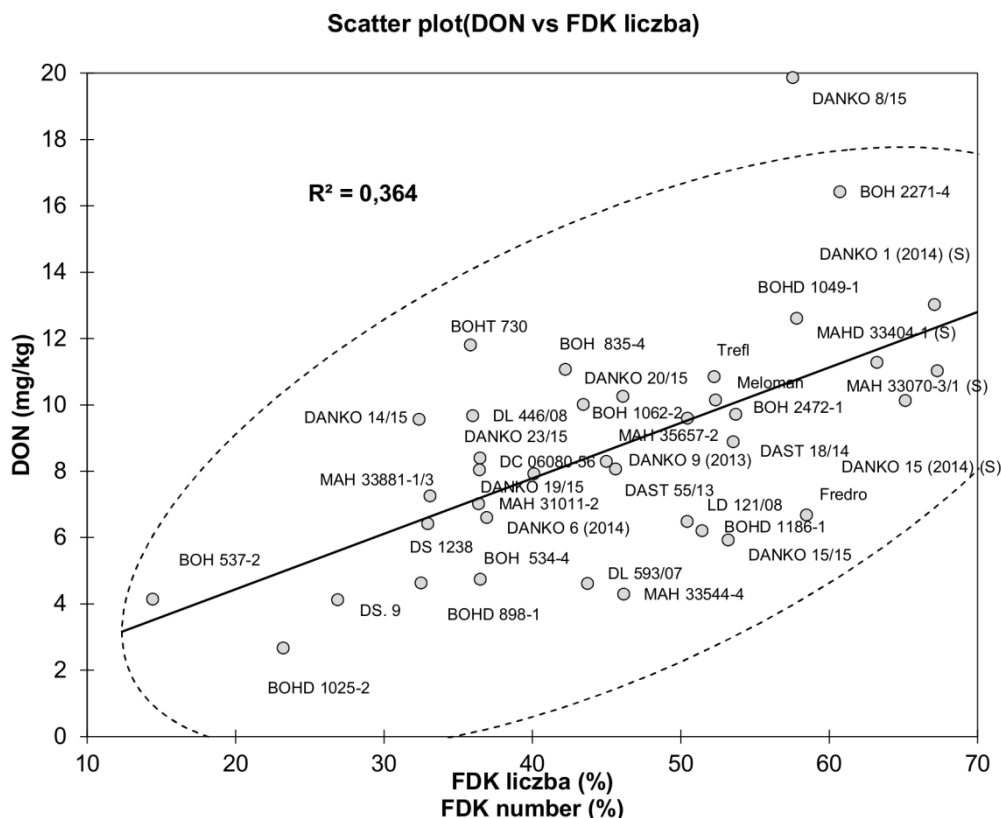
**Indeks fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzenie ziarniaków (FDK) (udział w masie i liczbie), zawartość deoksynivalenolu (DON) i pochodnych, nivalenolu (NIV), zearalenonu (ZEN) oraz ergosterolu (ERG) w ziarnie 38 genotypów pszenżyta ozimego. Średnie wartości z doświadczeń w Poznaniu i Radzikowie**  
**Fusarium head blight index (FHBi), Fusarium kernel damage (FDK) (weight and number), content of deoxynivalenol (DON) and derivatives, nivalenol (NIV), zearalenon (ZEN) and ergosterol (ERG) in grain of 38 lines of winter triticale. Averages from experiments in Poznań and Radzików**

Lp. No	Genotyp Line	IFK FHBi (%)	FDK masa weight (%)	FDK liczba number (%)	DON (mg/kg)	3Ac DON (mg/kg)	15AcDON (mg/kg)	NIV (mg/kg)	TCT B (mg/kg)	ZEN (mg/kg)	ERG (mg/kg)
1	BOHD 1025-2	13,6	13,7	23,2	2,670	0,130	0	2,010	4,810	0,664	1,45
2	DS. 9	9,6	16,0	26,9	4,130	0,160	0	2,190	6,480	0,618	2,30
3	BOH 537-2	13,2	8,7	14,4	4,150	0,080	0	2,690	6,920	0,798	1,45
4	BOHD 898-1	14,1	24,9	32,5	4,640	0,180	0	2,700	7,520	0,764	2,90
5	MAH 33544-4	12,3	29,3	46,2	4,300	0,210	0	3,140	7,690	0,672	3,05
6	BOH 534-4	11,6	26,5	36,5	4,750	0,230	0	2,730	7,710	0,846	1,85
7	DANKO 15/15	13,8	39,6	53,2	5,930	0,300	0	2,800	9,030	2,709	2,95
8	DL 593/07	20,5	30,1	43,7	4,620	0,270	0,120	4,140	9,160	0,688	2,75
9	Fredro	16,5	48,3	58,5	6,690	0,180	0,050	3,080	10,000	0,683	3,25
10	DS 1238	12,3	24,7	32,9	6,420	0,080	0	3,660	10,170	2,133	2,80
11	BOHD 1186-1	18,0	37,4	51,4	6,210	0,290	0,070	4,010	10,590	0,834	2,40
12	DANKO 6 (2014)	16,7	26,9	36,9	6,610	0,240	0,020	3,720	10,600	0,642	2,05
13	LD 121/08	13,1	38,8	50,4	6,490	0,240	0,100	4,120	10,950	0,722	3,45
14	MAH 31011-2	18,8	24,1	36,4	7,030	0,390	0,090	4,610	12,120	0,716	3,20
15	DANKO 14/15	13,6	22,0	32,4	9,570	0,280	0	3,850	13,700	0,494	3,75
16	MAH 33881-1/3	9,7	24,4	33,1	7,260	0,290	0	6,360	13,900	0,910	2,90
17	DANKO 19/15	11,7	20,9	36,4	8,040	0,200	0	5,790	14,040	1,343	2,75
18	BOH 1062-2	17,9	34,3	43,4	10,020	0,350	0	3,910	14,280	2,745	2,05
19	DANKO 23/15	13,9	25,6	36,5	8,400	0,230	0	5,890	14,520	0,429	3,10
20	MAH 35657-2	14,6	36,5	50,4	9,610	0,420	0,080	4,660	14,770	0,749	3,50
21	DANKO15 (2014) (S)	21,5	55,6	65,1	10,140	0,710	0	4,670	15,520	2,428	4,80
22	DAST 55/13	19,7	32,4	45,6	8,070	0,160	0	7,400	15,630	0,771	3,15
23	DAST 18/14	23,5	38,6	53,5	8,900	0,210	0	6,700	15,800	0,740	4,50
24	DC 06080-56	13,3	20,0	40,1	7,920	0,380	0	7,540	15,840	4,106	4,60
25	Trefl	12,3	33,2	52,2	10,860	0,410	0	4,900	16,170	0,784	3,25
26	DL 446/08	12,7	24,4	36,0	9,680	0,430	0	8,140	18,250	0,887	5,90
27	DANKO1 (2014) (S)	20,5	57,9	67,1	13,030	0,510	0,100	4,660	18,300	1,990	3,55
28	DANKO 20/15	17,7	32,6	46,1	10,260	0,280	0	7,860	18,400	2,964	2,35
29	BOH 2472-1	17,0	40,2	53,7	9,720	0,380	0,100	8,230	18,430	0,821	3,30
30	BOH 835-4	14,4	30,3	42,2	11,070	0,460	0,040	6,920	18,500	3,080	3,45
31	MAH 33070-3/1 (S)	39,5	53,6	67,3	11,030	0,570	0,050	8,030	19,680	3,117	4,10
32	DANKO 9 (2013)	10,0	35,2	45,0	8,300	0,350	0	11,220	19,870	1,221	7,65
33	Meloman	20,8	39,9	52,3	10,150	0,330	0,060	9,480	20,030	0,833	4,80
34	BOHT 730	8,6	26,4	35,8	11,810	0,310	0,110	7,880	20,100	0,466	4,00
35	MAHD 33404-1 (S)	26,1	50,7	63,2	11,290	1,030	0	8,330	20,650	0,895	4,25
36	BOHD 1049-1	13,0	47,9	57,8	12,610	0,390	0,050	10,230	23,280	2,853	4,85
37	BOH 2271-4	12,0	52,2	60,7	16,430	0,580	0,040	13,020	30,070	2,836	9,45
38	DANKO 8/15	14,4	41,7	57,5	19,870	0,700	0	10,610	31,190	1,576	5,65
Średnie — Means		15,9	33,3	45,2	8,649	0,341	0,029	5,839	14,860	1,382	3,62

TCT B — suma trichotecenów B. posortowane wg. zawartości TCT B

TCT B — sum of trichothecenes B. Lines ranked according to TCT B concentration

Zawartość ZEN wynosiła średnio dla dwóch lokalizacji 1,382 mg/kg i wahała się od 0,429 (DANKO 23/15) do 4,106 mg/kg (DC 06080-56). Najmniej ZEN stwierdzono w ziarnie genotypów: DANKO 23/15 oraz niewielkie ilości oznaczono dla genotypu DANKO 14/15 (0,494 mg/kg) oraz BOHT 730 (0,466 mg/kg); największą ilość ZEN w ziarnie (4,106 mg/kg) odnotowano u genotypu DC 06080-56 mimo niezbyt silnego porażenia kłosa IFK = 13,3% i porażenia ziarna FDK = 20,0%. Dużą zawartość toksyny ZEN odnotowano jeszcze u dwóch genotypów BOH 835/74 (3,080 mg/kg) i MAH 33070-3/1 (3,117 mg/kg). Drugi genotyp w roku 2016 wykazywał najwyższe porażenie kłosa IFK = 39,5% i porażenie ziarna FDK = 53,6%.



**Rys. 4. Liniowa zależność pomiędzy uszkodzeniem ziarniaków (FDK liczba) a zawartością DON w ziarnie genotypów pszenżyta ozimego**

**Fig. 4. Linear relationship between kernel damage (FDK number) and accumulation of DON in grain of winter triticale lines**

Średnia zawartość toksyny NIV wyniosła 5,839 mg/kg i wahała się od 2,011 mg/kg u genotypu BOHD 1025-2 do 13,020 mg/kg u genotypu BOHD 2271-4.

Najniższą sumaryczną zawartość trichotecenów z grupy B obserwowano u genotypu BOHD 1025-2 (4,810 mg/kg) oraz podobnie niskie zawartości toksyn stwierdzono u genotypu DS.9. Oba te genotypy miały małe porażenie kłosa i ziarna (tab. 4).

Określono także współczynniki korelacji pomiędzy porażeniem ziarna (FDK) a zawartością, zearalenonu (ZEN) i deoksyniwalenolu (DON) i pochodnych oraz niwalenolu (NIV) w ziarnie badanych prób. Wysokie współczynniki korelacji stwierdzono pomiędzy zawartością deoksyniwalenolu (DON) a FDK z liczby (rys. 4).

Badano również zawartość ergosterolu — miernika ilości grzybni w tkance roślinnej (Seitz i in., 1979). Zawartość ergosterolu w ziarnie nie korelowała z indeksem fuzariozy kłosów (tab. 5). Istotne były współczynniki korelacji z uszkodzeniem ziarniaków oraz zawartością trichotecenów B w ziarnie. Wskazuje to, że nie było bezpośredniego związku pomiędzy obserwowanymi na kłosach objawami fuzariozy, a późniejszym zasiedleniem ziarniaków przez grzybnię *Fusarium*.

Tabela 5

**Współczynniki korelacji pomiędzy uszkodzeniem ziarniaków (FDK) a zawartością deoksyniwalenolu (DON) i pochodnych, niwalenolu (NIV), zearalenonu (ZEN) i ergosterolu (ERG) w ziarnie pszenżyta**  
**Coefficients of correlation between *Fusarium* damaged kernels (FDK) and accumulation of deoxynivalenol (DON) and derivatives, nivalenol (NIV), zearalenone (ZEN) and ergosterol in triticale grain**

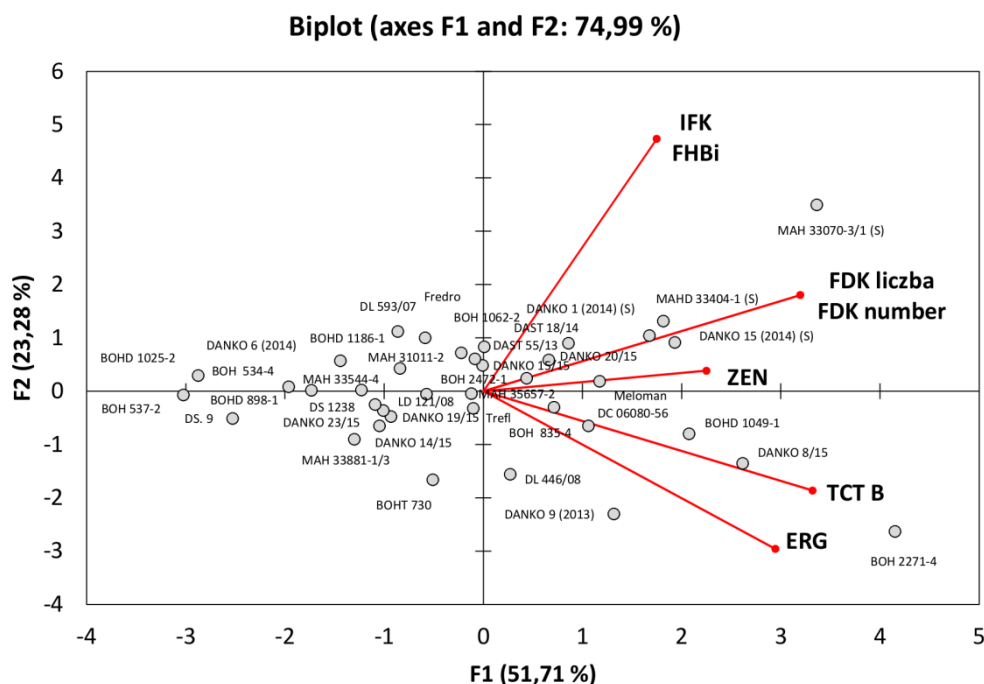
Zmienne Variables	IFK FHBi	FDK masa weight	FDK liczba number	DON	3AcDON	15AcDON	NIV	TCT B	ERG
FDK masa weight	<b>0,540</b>								
FDK liczba number	<b>0,555</b>	<b>0,969</b>							
DON	0,170	<b>0,595</b>	<b>0,602</b>						
3AcDON	<b>0,425</b>	<b>0,656</b>	<b>0,669</b>	<b>0,695</b>					
15AcDON	0,178	<b>0,321</b>	0,312	0,095	0,072				
NIV	0,113	<b>0,424</b>	<b>0,442</b>	<b>0,758</b>	<b>0,518</b>	0,062			
TCT B	0,165	<b>0,564</b>	<b>0,577</b>	<b>0,953</b>	<b>0,674</b>	0,093	<b>0,919</b>		
ZEN	0,202	<b>0,334</b>	<b>0,353</b>	<b>0,382</b>	0,319	-0,141	<b>0,336</b>	<b>0,386</b>	
ERG	-0,001	<b>0,483</b>	<b>0,471</b>	<b>0,649</b>	<b>0,519</b>	0,028	<b>0,811</b>	<b>0,768</b>	<b>0,274</b>

Zaznaczone współczynniki (wytluszczone) istotne na poziomie  $p < 0,05$   
 Coefficients in bold significant at  $p < 0.05$

Hodowla odmian o zwiększonej odporności na fuzariozę kłosów jest podstawowym sposobem pozwalającym kontrolować nasilenie fuzariozy oraz zapobiegać skażeniu ziarna mykotoksynami (typ V odporności) (Edwards, 2004; Pirgozliev i in., 2003; Yuen i Schoneweis, 2007; Mesterházy i in., 2015). Korelacja między stopniem porażenia kłosów a stopniem porażenia ziarna i zawartością mykotoksyn w ziarnie nie zawsze jest wysoka (Buerstmayr i in., 2009; Mesterházy i in., 2015), co oznacza, że stopień porażenia kłosa nie jest wiarygodnym wyznacznikiem zawartości mykotoksyn w ziarnie. Szczególnie dotyczy to pszenżyta, u którego obserwuje się słabą korelację objawów fenotypowych na kłosie i zawartości toksyn w ziarnie (Miedaner i in., 2016).

Ze względu na złożoność odporności na fuzariozę kłosów oraz różne jednostki miar poszczególnych cech uzyskane wyniki poddano statystycznej analizie składowych

głównych. Genotypy pszenżyta zostały pogrupowane na podstawie odporności na porażenie kłosa i porażenie ziarniaków w Poznaniu i w Radzikowie oraz zawartości ergosterolu i toksyn fuzaryjnych w ziarnie (tab. 4). Analiza wielocechowa pozwoliła na zidentyfikowanie genotypów łączący różne typy odporności na fuzariozę kłosów. Były to między innymi DS.9, BOH 537-2, BOHD 1025-2, BOH 534-4, BOHD 898-1, DANKO 23/15 (rys. 5).



**Rys. 5. Układ współrzędnych dwóch pierwszych składowych głównych dla 38 genotypów pszenżyta ozimego. Składowe wyjaśniają 74,99% zmienności indeksu fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzenia ziarniaków (FDK liczba), zawartości trichotecenów B (TCT B), zearalenonu (ZEN) i ergosterolu (ERG) w ziarnie. Wektory wskazują kierunek wzrostu wartości zmiennych**

**Fig. 5. Biplot of the principal component analysis for 38 winter triticale lines. Two first components explain 74.99% of variability of FHB index (FHBi), proportion of *Fusarium* damaged kernels (FDK number) and accumulation of trichothecenes B (TCT B), zearalenone (ZEN) and ergosterol (ERG) in grain. Vectors indicate direction of growth of the value of the variables.**

#### WNIOSKI

1. Wykazano istotne zróżnicowanie badanych genotypów pszenżyta pod względem odporności na porażenie kłosa, uszkodzenie ziarniaków oraz akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Zidentyfikowano genotypy łączące różne typy odporności na fuzariozę kłosów, które mogą być wykorzystane w programach hodowlanych.



2. Wykazano słaby związek pomiędzy stopniem porażenia kłosa przez grzyby *Fusarium* a zawartością toksyn fuzaryjnych w ziarnie, co wskazuje na konieczność prowadzenia selekcji materiałów hodowlanych w kierunku odporności na akumulację toksyn.

## LITERATURA

- Arseniuk E. 2015. Triticale Abiotic Stresses — An Overview. In: Eudes F., editor. Triticale. Springer International Publishing Switzerland 2015: 69 — 81 pp.
- Arseniuk E., Góral T. 2015. Triticale Biotic Stresses — Known and Novel Foes. In: Eudes F., editor. Triticale. Springer International Publishing Switzerland 2015: 83 — 108 pp.
- Arseniuk E., Oleksiak T. 2002. Production and breeding of cereals in Poland. Proc. 5<sup>th</sup> Int. Triticale Symp., IHAR Radzików, Poland 30 June — 5 July. I: 7 — 13.
- Bai G. H., Plattner R., Desjardines A., Kolb F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. Plant Breed. 120: 1 — 6.
- 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.
- Bushnell W. R. 2001. What is known about infection pathways in *Fusarium* head blight? In: S. Canty et al. (ed.) Proceedings of the 2001 National *Fusarium* Head Blight Forum. Kinko's, Okemos, MI: 105.
- 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., 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 — 327.
- 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.
- Dhariwal R., Fedak G., Dion Y., Pozniak C., Laroche A., Eudes F., Randhawa H. 2018. High density single nucleotide polymorphism (SNP) mapping and quantitative trait loci (QTL) analysis in a biparental spring triticale population localized major and minor effect *Fusarium* head blight resistance and associated traits QTL. Genes 9: 19.
- Edwards S. G. 2004. Influence of agricultural practices on *Fusarium* infection of cereals and subsequent contamination of grain by trichothecene mycotoxins. Toxicol Lett 153: 29 — 35
- 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 and 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 16<sup>th</sup> International Triticale Symposium, September 3–7 2006, Stellenbosch, South Africa: 140 — 143.
- Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D. 2016. Higher *Fusarium* toxin accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared with wheat. Toxins 8: 301.
- Imathiu S., Edwards S., Ray R., Back M. 2014. Review article: Artificial inoculum and inoculation techniques commonly used in the investigation of *Fusarium* head blight in cereals. Acta Phytopathol. Entomol. Hungarica 49: 129 — 139.

- Kalih R., Maurer H. P., Miedaner T. 2015. Genetic architecture of Fusarium head blight resistance in four winter triticale populations. *Phytopathology* 105: 334 — 341.
- Kalih R., Maurer H. P., Hackauf B., Miedaner T. 2014. Effect of a rye dwarfing gene on plant height, heading stage, and Fusarium head blight in triticale ( $\times$ *Triticosecale* Wittmack). *Theor. Appl. Genet.* 127: 1527 — 36.
- 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.
- 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.
- Mesterházy A., Lehoczki-Krsjak S., Varga M., Szabó-Hevér Á., Tóth B., Lemmens M. 2015. Breeding for FHB Resistance via *Fusarium* damaged kernels and deoxynivalenol accumulation as well as inoculation methods in winter wheat. *Agricultural Sciences* 6: 970 — 1002.
- Mesterházy A., Bartok T., Mirocha C. G., Komoroczy R. 1999. Nature of wheat resistance to Fusarium head blight and the role of deoxynivalenol for breeding. *Plant Breed.* 118: 97 — 110.
- Mesterházy Á. 1995. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. *Plant Breed.* 114: 377 — 386.
- Miedaner T. 1997. Breeding wheat and rye for resistance to *Fusarium* diseases. *Plant Breeding* 116: 201 — 220.
- 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.
- Miedaner T., Kalih, R., Großmann M. S., Maurer H. P. 2016. Correlation between Fusarium head blight severity and DON content in triticale as revealed by phenotypic and molecular data. *Plant Breed.* 135: 31 — 37.
- Miedaner T., Moldovan M., Ittu M. 2003. Comparison of spray and point inoculation to assess resistance to Fusarium head blight in multi-environment wheat trial. *Phytopathology* 93: 1068 — 1072.
- Miedaner T., Reinbrecht C., Lauber U., Schollenberger M., Geiger H. H. 2001. Effects of genotype and genotype  $\times$  environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to Fusarium head blight in rye, triticale, and wheat. *Plant Breed.* 120: 97 — 105.
- Ochodzki P., Góral T. 2006. Production of mycotoxins by selected *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* isolates cultured on rice and wheat. In: *Conference Papers of 28. Mykotoxin-Workshop; Bydgoszcz, Polska, 29-31 maja, 2006*: 73.
- 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.
- Perkowski J., Buško, 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.
- Pirgozliev S. R., Edwards, S. G., Hare M. C., Jenkinson P. 2003. Strategies for the control of Fusarium head blight in cereals. *Eur. J. Plant Pathol.* 109: 731 — 742
- 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 8<sup>th</sup> International Triticale Symposium, June 10<sup>th</sup> -14<sup>th</sup> 2013, Ghent, Belgium*: 29.
- Siou D., Gélisse 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. D. 2004. Resistance in wheat to Fusarium infection and trichothecene formation. *Toxicology Letters*, 153: 37 — 46.
- 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: 566 — 570.

- Veitch R. S., Caldwell C. D., Martin R. A., Lada R., Salmon D., Anderson, D. M., MacDonald D. 2008. Susceptibility of winter and spring triticale's to Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. *Can. J. Plant Sci.* 88: 783 — 788.
- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Grzeszczak I., Bełtr J., Banaszak Z., Pojmaj 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.
- Wiśniewska H., Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M., Majka M., Belter J., Banaszak Z., Pojmaj M., Kurlito D., Konieczny M., Budzianowski G., Cicha A., Paizert K., Woś H. 2015. Odporność rodów hodowlanych pszenżyta ozimego na infekcję kłosa grzybem *Fusarium culmorum*. *Biul. IHAR* 276: 39 — 56.
- Wiśniewska H., Kowalczyk K. 2005. Resistance of cultivars and breeding lines of spring wheat to *Fusarium culmorum* and powdery mildew. *J. Appl. Genet.* 46: 35 — 40.
- Yuen G. Y., Schoneweis D.S. 2007. Strategies for managing Fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Int. J. Food Microbiol.* 119: 126 — 130.