

TOMASZ GÓRAL¹
PIOTR OCHODZKI¹
ZOFIA BULIŃSKA-RADOMSKA²

¹ Pracownia Chorób Roślin, Zakład Fitopatologii,

² Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych
Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin — PIB, Radzików

Odporność na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* i zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie gatunków zbóż jarych przeznaczonych do upraw ekologicznych*

Resistance to *Fusarium* head blight caused by *Fusarium culmorum* and *Fusarium* mycotoxins content in grain of spring cereal species intended for organic farming

Celem pracy było określenie odporności na fuzariozę kłosów odmian/genotypów zbóż jarych należących do rodzajów *Avena*, *Hordeum* i *Triticum* oraz oznaczenie zawartości mikotoksyn fuzaryjnych (deoksynivalenolu i jego pochodnych) w ziarnie. Porażenie kłosów oraz ziarniaków odmian jęczmienia było niskie i wyniosło 7,3% oraz 8,3%, jednakże akumulacja DON w ziarnie wyniosła średnio 1,23 ppm. W przypadku owsa porażeniu ulegało 26,5% wiech. Uszkodzenie ziarniaków było niskie i wyniosło 6,0%. Owies akumulował niewielkie ilości DON w ziarnie (0,44ppm). Stwierdzono znaczne zróżnicowanie reakcji genotypów z rodzaju *Triticum* pod względem porażenia kłosa (1,0–34,7%), uszkodzenia ziarniaków (0,7–30,1%) oraz akumulacji deoksynivalenolu w ziarnie (0,26–6,61 ppm). Najbardziej podatne były odmiany pszenicy zwyczajnej. Obserwowano również znaczne zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe odporności pszenicy zwyczajnej, orkisz i płaskurki. Zidentyfikowano formy odporne i średnio odporne na fuzariozę kłosów.

Słowa kluczowe: *Fusarium culmorum*, jęczmień, odporność, owies, orkisz, pszenica, pszenica samopsza, płaskurka

The aim of the study was to determine *Fusarium* head blight resistance of spring type genotypes from the genera *Triticum*, *Avena* and *Hordeum*, and to determine the content of *Fusarium* mycotoxins (deoxynivalenol — DON and its derivatives) in grain. Head and kernel infection of barley was low and amounted 7.3% and 8.3%, respectively. However, barley accumulated 1.23 ppm of DON in grain. As for oat varieties, 26.5% of panicles showed FHB symptoms. *Fusarium* kernel damage was low and

* Praca wykonana w ramach projektu finansowanego przez MRiRW „Badania wartości siewnej i użytkowej odmian zbóż i ziemniaków w warunkach plantacji nasiennych gospodarstw ekologicznych”

amounted 6.0%. Oat accumulated low amounts of DON in grain (0.44 ppm). Significant variation was found in genotypes of the genus *Triticum* in head infection (1.0–34.7%), kernel damage (0.7–30.1%) and accumulation of deoxynivalenol in grain (0.26–6.61 ppm). The cultivars of bread wheat were the most susceptible. There was also a significant intraspecific diversity of resistance in wheat, spelt and emmer. *Fusarium* head blight resistant and medium-resistant genotypes were identified.

Key words: barley, einkorn, emmer, *Fusarium culmorum*, oat, resistance, spelt, wheat

WSTĘP

Rośliny zbożowe są miejscem bytowania wielu gatunków grzybów, z których część powoduje choroby oraz produkuje metabolity wtórne szkodliwe dla roślin, zwierząt oraz ludzi, określane wspólnym mianem mikotoksyn. W roku 2005 Unia Europejska wprowadziła normy określające maksymalne zawartości deoksynivalenolu (DON) (Rozporządzeniu Komisji [WE] NR 1126/2007 z dnia 28 września 2007 r.), produkowanego przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Maksymalne dopuszczalne stężenie DON ustalono na poziomie 1250 µg/kg ziarna nieprzetworzonego (=1,25 ppm — parts per milion), z wyjątkiem pszenicy twardej i owsa, dla których limit wynosi 1750 µg/kg (1,75 ppm). Mikotoksyny fuzaryjne wytwarzane są w warunkach polskich głównie przez *F. culmorum* i *F. graminearum*. Grzyby te powodują fuzariozę kłosów, obniżając jakość ziarna, m.in. poprzez produkcję mikotoksyn, które działają negatywnie zarówno na zwierzęta gospodarskie, jak i na człowieka. Najważniejszymi mikotoksynami produkowanymi przez *Fusarium* są DON i zearalenon. Dlatego konieczna jest ocena odmian zbóż wprowadzanych do uprawy pod kątem zarówno podatności na porażenie przez grzyby *Fusarium*, jak też pod kątem zawartości produkowanych przez nie mikotoksyn. Jest to szczególnie istotne, gdy technologia uprawy wyklucza stosowanie środków ochrony roślin, jak to mam miejsce w gospodarstwach ekologicznych. Brak ochrony chemicznej może zwiększyć zagrożenie chorobami fuzaryjnymi w tym fuzariozą kłosów, a w następstwie tego skażaniem ziarna mikotoksynami.

Celem pracy było określenie odporności na fuzariozę kłosów odmian zbóż jarych należących do rodzajów *Avena*, *Hordeum* i *Triticum* oraz oznaczenie zawartości mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie.

MATERIAŁ I METODY

Określenie odporności na fuzariozę kłosów

W doświadczeniach polowych w IHAR Radzików w dwóch kolejnych latach badano następujące genotypy zbóż jarych:

- 11 odmian pszenicy jarej zwyczajnej (*Triticum aestivum* subsp. *aestivum*)
- 4 genotypy pszenicy jarej orkisz (*T. aestivum* subsp. *spelta*)
- 7 genotypów pszenicy jarej płaskurki (*T. turgidum* subsp. *dicoccon*)
- 1 genotyp pszenicy jarej samopszej (*T. monococcum* subsp. *monococcum*)
- 5 odmiany jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* subsp. *vulgare*)
- 4 odmiany owsa jarego (*Avena sativa*)
- 1 odmiana owsa nagoziarnowego (*Avena nuda*)

Ziarno powyższych genotypów uzyskano z banku genów Krajowego Centrum Roślinnych Zasobów Genowych w IHAR — PIB Radzików, z wyjątkiem odmian znajdujących się aktualnie w krajowym rejestrze (Chwat, Cytra, Koksa, Korynta, Nawra, Polar, Rodos, Sławko, Stratus, Szakal, Torka). Genotypy te były badane pod kątem przydatności do uprawy w warunkach ekologicznych w ramach projektu „Badania wartości siewnej i użytkowej odmian zbóż i ziemniaków w warunkach plantacji nasiennych gospodarstw ekologicznych” realizowanego przez Krajowe Centrum Roślinnych Zasobów Genowych IHAR — PIB w latach 2006–2011.

Obiekty wysiane zostały w dwóch powtórzeniach na poletkach o powierzchni 1 m². Materiałem infekcyjnym była mieszanina konidiów 5 izolatów *F. culmorum*. Wszystkie izolaty należały do chemotypów wytwarzających DON (Ochodzki i Góral, 2006).

Izolaty były inkubowane na autoklawowanym ziarnie pszenicy w szklanych kolbach w ciemności w temperaturze 20°C przez około 1 tygodnia a następnie naświetlane światłem UV (350 nm) przez 12 godzin na dobę przez około 3 tygodni w temperaturze 15°C. Ziarno przerośnięte grzybnią z widocznymi oznakami zarodnikowania *F. culmorum* było następnie suszone i przechowywane w temperaturze 4°C.

W dniu, kiedy wykonywana była inokulacja, ziarno z grzybnią i zarodnikami *F. culmorum* namaczano w wodzie przez około 2 godziny, a następnie filtrowano w celu uzyskania zawiesiny zarodników. Stężenie zawiesin zarodników wszystkich izolatów było ustalane na około 5×10^5 zar./ml za pomocą hematokrytu. Zawiesiny mieszano w równych proporcjach.

Genotypy inokulowane były w stadium pełni kwitnienia przez oprysk kłosów zawiesiną zarodników, każdy obiekt oddzielnie w zależności od terminu kwitnienia. Po przekwitnięciu wszystkich obiektów przeprowadzono ponowną inokulację. Stopień porażenia kłosów/wiech oceniany był od momentu ukazania się pierwszych objawów fuzariozy kłosów. Porażenie kłosa jest miernikiem odporności typu I (odporność na infekcję) + II (odporność na rozprzestrzenianie się patogen w kłosie) na fuzariozę kłosów (Foroud i Eudes, 2009). W przypadku pszenic określano procent kłosów porażonych na poletku oraz procentowe porażenie kłosa (brane pod uwagę były tylko kłosa z objawami choroby). Mierniki te posłużyły do wyliczenia indeksu fuzariozy kłosów według formuły: indeks FK (%) = (% kłosów porażonych x% porażenie kłosa)/100. Dla odmian jęczmienia określano średnie porażenie kłosa, biorąc pod uwagę tylko kłosa porażone na poletku. W przypadku owsa oceniano procentowy udział wiech z objawami porażenia na poletku.

W czasie żniw zbierano ręcznie po 50 kłosów z każdego poletka. Kłosa były młócone ręcznie lub za pomocą młocarni laboratoryjnej o słabym nawiewie dla zapobieżenia utracie lekkich porażonych ziarniaków. Proporcja ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* (odporność typu III wg Foroud i Eudes, 2009) określana była wizualnie (Argyris i in., 2003). Ziarniaki rozdzielano na dwie frakcje różniące się stopniem uszkodzenia: bez widocznych objawów porażenia: „zdrowe” i „zdrowe pomarszczone”, oraz z objawami porażenia: „duże białe” (przebarwione, normalnej wielkości) i „białe pomarszczone” (przebarwione, z objawami zarodnikowania *Fusarium*, pomarszczone).

Oznaczenie zawartości deoksyniwalenolu (DON) i jego pochodnych w ziarnie

Materiał do analiza zawartości mikotoksyn w ziarnie (odporność typu V na akumulację mikotoksyn wg Foroud i Eudes, 2009) stanowiły próby zebrane w doświadczeniu infekcyjnym z 2 powtórzeń. Ziarno zmielono na młynku laboratoryjnym (WŻ-1). Naważono 5 g próby do probówki i dodano 20 ml roztworu acetonitryl : woda (84:16). Próbę wytrząsano 30 min., pozostawiono na całą noc, i ponownie wytrząsano 30 min. Przesączono ekstrakt, i 6 ml przesączu naniesiono na kolumnę oczyszczającą Multisep 227 Trich+ (Romerlabs). Pobrano 4 ml oczyszczonego ekstraktu, odparowano do sucha, rozpuszczono w 0,5 ml fazy ruchomej (8% acetonitryl w wodzie), i oznaczono zawartość mikotoksyn metodą HPLC.

Użyto wysokosprawnego chromatografu cieczowego HP 1050, wyposażonego w detektor UV-VIS, ręczny port nastrzykowy i integrator HP 3395 z programem PEAK 96. Związki rozdzielano na kolumnie RP C18 Lichrospher 100, 250 × 4,6 mm., kolumna kolumna wielkości ziarna 5 mikrometrów. Fazę ruchomą stanowił 8% wodny roztwór acetonitrylu, podawany z prędkością 0,8 ml/min. Identyfikacji DON oraz jego acetylowych pochodnych dokonano na podstawie czasu retencji — pojawienia się w detektorze od chwili nastrzyku. Oceny ilościowej dokonano metodą wzorca zewnętrznego, po stworzeniu krzywej kalibracji za pomocą czystych substancji wzorcowych.

Analiza statystyczna

Analiza wariancji indeksu fuzariozy kłosów, uszkodzenia ziarniaków oraz zawartości DON w ziarnie została wykonana przy użyciu procedury GLM SAS 9.2 pakietu (SAS 2008). Relacje między wynikami dla fuzariozy kłosów, FDK i DON zostały określone za pomocą korelacji Pearsona przy użyciu procedury CORR SAS. W celu oszacowania ogólnej odporności zastosowano analizę składowych głównych (PCA) na macierzy korelacji zmiennych (indeks FK, uszkodzenie ziarniaków, DON – oddzielnie z obu lat badań) przy użyciu procedury PRINCOMP pakietu SAS.

WYNIKI

Porażenie kłosów odmian jęczmienia przez *F. culmorum* wyniosło średnio 7,3% (tab. 1). Najsilniej porażane były kłosa jęczmienia orkisz, najslabiej odmiany Lubicki. Stopień uszkodzenia ziarniaków wynosił 8,3%. Zależność pomiędzy porażeniem kłosa i uszkodzeniem ziarniaków była istotna statystycznie (współczynnik korelacji $r = 0,852$, $\alpha < 0,01$). W ziarnie jęczmienia stwierdzono obecność DON. Średnio zawartość wyniosła 1,23 ppm. Najwięcej DON było akumulowane w ziarnie odmiany Atol, najmniej w ziarnie odmiany Rodos.

W przypadku owsa obserwowano bielenie pojedynczych kłosków w wiechach. Średnio objawy fuzariozy wystąpiły na 26,5% wiech na poletku (tab. 1). Najniższe porażenie wiech przez *F. culmorum* wystąpiło u odmiany Szakal, najwyższe u odmiany owsa nagoziarnowego Polar. Ziarniaki owsa uszkodzone były w niewielkim stopniu (6,0%). Najsilniej uszkodzone były ziarniaki odmiany nago ziarnowej Polar. Akumulacja DON w ziarnie była niska i wyniosła 0,44ppm. Najwięcej DON stwierdzono w ziarnie odmiany Chwat (1,15ppm). Podatny owies nago ziarnowy akumulował małe ilości DON w ziarnie (0,26 ppm).

Tabela 1

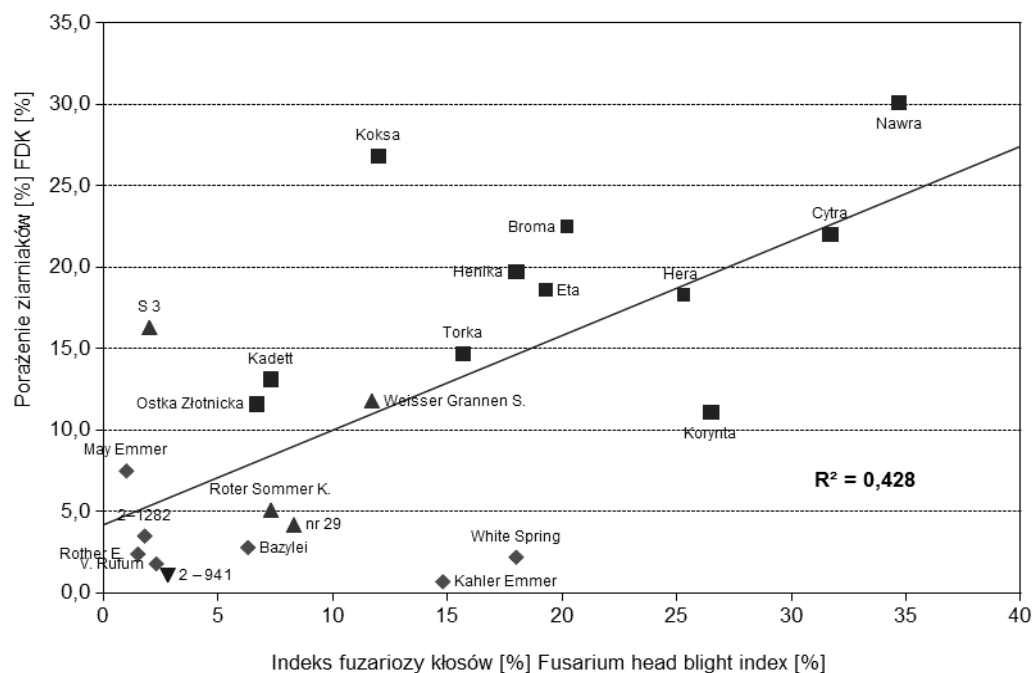
Reakcja odmian jęczmienia jarego i owsa jarego na inokulację kłosów (wiech) grzybem *Fusarium culmorum*
Reaction of cultivars of spring barley and spring oat to inoculation of heads with *Fusarium culmorum*

| Lp. No. | Gatunek Species | Odmiana Cultivar | Fuzarioza kłosów Fusarium head blight[%] ¹ | Uszkodzenie ziarniaków FDK [%] | DON [ppm] |
|--|---------------------------|------------------------------|---|--------------------------------|-----------|
| 1 | <i>H. v. ssp. vulgare</i> | Lubicki ³ | 2,5 | 4,0 | 1,52 |
| 2 | <i>H. v. ssp. vulgare</i> | Rodos | 3,8 | 5,9 | 0,61 |
| 3 | <i>H. v. ssp. vulgare</i> | Stratus | 5,0 | 6,2 | 1,30 |
| 4 | <i>H. v. ssp. vulgare</i> | Atol | 10,0 | 13,8 | 1,67 |
| 5 | <i>H. v. ssp. vulgare</i> | Jęczmień orkisz ³ | 15,0 | 11,5 | 1,07 |
| Średnia dla jęczmienia — Mean for barley | | | 7,3 | 8,3 | 1,23 |
| 6 | <i>A. sativa</i> | Szakal | 13,3 | 4,6 | 0,17 |
| 7 | <i>A. sativa</i> | Chwat | 19,4 | 7,2 | 1,15 |
| 8 | <i>A. sativa</i> | Sławko | 23,8 | 4,9 | 0,11 |
| 9 | <i>A. sativa</i> | Tatrzeński ³ | 33,8 | 5,1 | 0,54 |
| 10 | <i>A. nuda</i> | Polar ² | 42,5 | 8,3 | 0,26 |
| Średnia dla owsa spp — Mean for oat | | | 26,5 | 6,0 | 0,44 |

¹ — jęczmień – nasilenie fuzariozy kłosów na kłosach z objawami choroby, owies – procent wiech z objawami bielienia kłosków; barley – disease severity on infected heads, oat – percentage of panicles showing disease symptoms

² — owies nagoziarnowy; naked oat

³ — stare odmiany jęczmienia i owsa; old cultivars of barley and oat



Rys. 1. Zależność pomiędzy porażeniem kłosa przez *F. culmorum* a stopniem uszkodzenia ziarniaków przez *Fusarium* dla 23 jarych genotypów z rodzaju *Triticum*

Fig. 1. Relationship between Fusarium head blight caused by *F. culmorum* and Fusarium damaged kernels for 23 spring genotypes of the *Triticum* genus

Kłosa genotypów należących do 4 gatunków z rodzaju *Triticum* były porażane w różnym stopniu (tab. 2). Średni indeks fuzariozy kłosów wyniósł 12,8%, zakres zmienności od 1,0 do 34,7%. Najslabiej porażane były kłosa 4 genotypów płaskurki, 1 genotypu orkiszu oraz genotyp pszenicy samopszej. Do najsilniej porażonych należały 4 odmiany pszenicy zwyczajnej (Hera, Korynta, Cytra, Nawra). Średnie uszkodzenie ziarniaków przez *F. culmorum* wyniosło 10,9%, zakres zmienności od 0,7–30,1% (tab. 1). Bardzo niskie uszkodzenie ziarniaków obserwowano u 6 odmian/genotypów płaskurki, 2 odmian/genotypów orkiszu oraz genotypu pszenicy samopszej. Najsilniej porażone ziarniaki znaleziono u odmian pszenicy zwyczajnej Cytra, Broma, Kokska i Nawra. Niskie uszkodzenie ziarniaków wykazała stara odmiana pszenicy zwyczajnej Ostka Złotnicka oraz współczesna Korynta.

Tabela 2

Reakcja 23 jarych genotypów z rodzaju *Triticum* na inokulację kłosów grzybem *Fusarium culmorum*
Reaction of 23 spring genotypes of *Triticum* to inoculation of heads with *Fusarium culmorum*

| Lp. No. | Gatunek Species | Odmiana/genotyp Cultivar/genotype | Indeks fuzariozy kłosów Fusarium head blight index [%] | Uszkodzenie ziarniaków FDK [%] ² | DON [ppm] ² | |
|--|------------------------------|-----------------------------------|--|---|------------------------|------|
| 1 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | May - Emmer | 1,0 | a----- ¹ | 7,5 | 0,41 |
| 2 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | Rother Emmer | 1,5 | a----- | 2,4 | 0,60 |
| 3 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | 2 - 1282 | 1,8 | a----- | 3,5 | 0,40 |
| 4 | <i>T. a. ssp. spelta</i> | S 3 | 2,0 | ab----- | 16,3 | 0,72 |
| 5 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | V. Rufum | 2,3 | ab----- | 1,8 | 0,26 |
| 6 | <i>T. m. ssp. monococcum</i> | 2 - 941 | 2,8 | abc----- | 1,1 | 0,80 |
| 7 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | Bazylei | 6,3 | -bcd----- | 2,8 | 0,51 |
| 8 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Ostka złotnicka ³ | 6,7 | --cd----- | 11,6 | 0,79 |
| 9 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Kadett ³ | 7,3 | --cde----- | 13,1 | 1,60 |
| 10 | <i>T. a. ssp. spelta</i> | Roter Sommer Kolben | 7,3 | --cde----- | 5,1 | 1,39 |
| 11 | <i>T. a. ssp. spelta</i> | nr 29 | 8,3 | ---def----- | 4,2 | 1,26 |
| 12 | <i>T. a. ssp. spelta</i> | Weisser Grannen Spelz | 11,7 | ---efg----- | 11,8 | 1,30 |
| 13 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Kokska | 12,0 | ----fg----- | 26,8 | 3,48 |
| 14 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | Kahler Emmer | 14,8 | ----gh----- | 0,7 | 3,38 |
| 15 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Torka | 15,7 | ----ghi----- | 14,7 | 3,17 |
| 16 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Henika | 18,0 | ----hi----- | 19,7 | 2,76 |
| 17 | <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | White Spring | 18,0 | ----hi----- | 2,2 | 3,77 |
| 18 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Eta | 19,3 | ----hi----- | 18,6 | 6,61 |
| 19 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Broma | 20,2 | -----i----- | 22,5 | 5,36 |
| 20 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Hera | 25,3 | -----j----- | 18,3 | 4,31 |
| 21 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Korynta | 26,5 | -----j----- | 11,1 | 3,55 |
| 22 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Cytra | 31,7 | -----k----- | 22,0 | 3,88 |
| 23 | <i>T. a. ssp. aestivum</i> | Nawra | 34,7 | -----k----- | 30,1 | 4,96 |
| Średnia Mean | | | 12,8 | | 10,9 | 2,44 |
| Średnia dla <i>T. a. ssp. aestivum</i> — Mean for <i>T. a. ssp. aestivum</i> | | | 19,8 | | 19,0 | 3,68 |
| Średnia dla <i>T. t. ssp. dicoccon</i> — Mean for <i>T. t. ssp. dicoccon</i> | | | 6,5 | | 3,0 | 1,33 |
| Średnia dla <i>T. a. ssp. spelta</i> — Mean for <i>T. a. ssp. spelta</i> | | | 7,3 | | 9,4 | 1,17 |

¹ — obiekty oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie statystycznie na podstawie testu Duncana dla $\alpha = 0,05$; means followed by the same letter are not significantly different according to Duncan multiple range test at $P = 0,05$

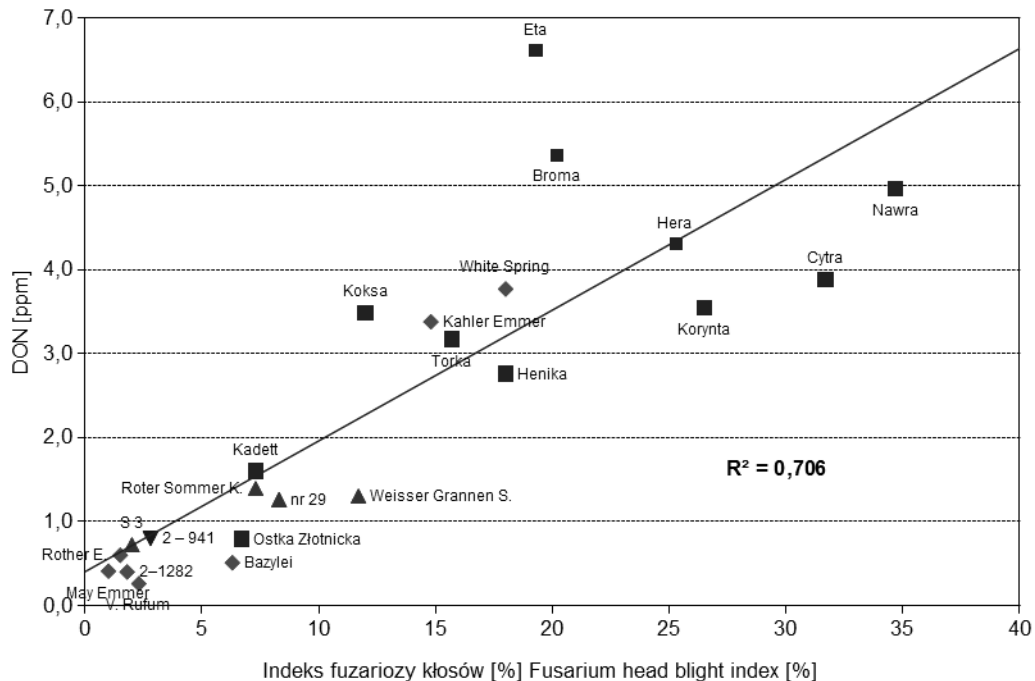
² — obiekty różnią się istotnie statystycznie na podstawie analizy wariancji; means differ statistically significantly according to AOV

³ — stare odmiany pszenicy zwyczajnej; old cultivars of bread wheat

Zależność pomiędzy stopniem porażenia kłosa a uszkodzeniem ziarniaków była wyraźna i istotna statystycznie ($r = 0,654$, $\alpha < 0,01$) (rys. 1). Spośród odmian pszenicy zwyczajnej odporność typu III wykazała odmiana Korynta, natomiast odmiana Koksa miały niski poziom tej odporności. Dwie odmiany płaskurki (White Spring, Kahler Emmer) charakteryzowały się bardzo wysoką odpornością typu III.

W badanych próbach nie stwierdzono obecności acetylowych pochodnych DON. Widoczne było duże zróżnicowanie w produkcji DON zarówno między gatunkami, jak też w obrębie gatunków (tab. 2). Średnio, najmniej DON zawierały ziarniaki orkiszu (1,17 ppm), a najwięcej pszenicy zwyczajnej (3,68 ppm). Spośród wszystkich badanych genotypów, najmniej DON akumulowały płaskurki V. Rufum, 2-1282 oraz May-Emmer, a najwięcej odmiany pszenicy zwyczajnej: Torka, Hera, Nawra, Broma i Eta.

Indeks fuzariozy kłosów istotnie korelował ($r = 0,840$, $\alpha < 0,01$) z zawartością DON (rys. 2). Współczynnik korelacji między stopniem uszkodzenia ziarniaków a zawartością DON był istotny statystycznie, jednakże miał niższą wartość ($r = 0,645$, $\alpha < 0,05$) (rys. 3).

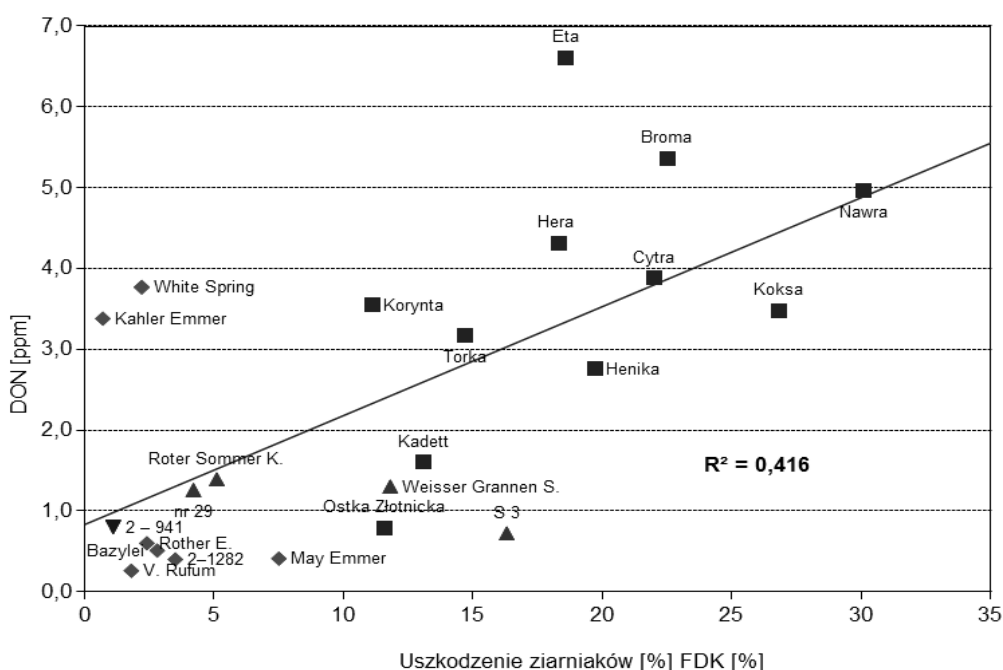


Rys. 2. Zależność między porażeniem kłosa przez *F. culmorum* a zawartością DON w ziarnie 23 genotypów z rodzaju *Triticum*

Fig. 2. Relationship between Fusarium head blight caused by *F. culmorum* and DON accumulation in grain for 23 spring genotypes of the *Triticum* genus

Genotypy pszenicy samopszej i płaskurki wykazały wysoką odporność na fuzariozę kłosów (typ I+II: odporność na porażenie kłosa oraz typ III: odporność na porażenie

ziarniaków) (tab. 2). Szczególnie widoczne było to w przypadku odporności na porażenie ziarniaków odmian White Spring i Kahler Emmer, które było bardzo niskie mimo obserwowanego porażenia kłosa. Orkisz był porażany silniej niż powyższe gatunki i wykazał wyższy stopień porażenia ziarniaków (odmiana Weisser Grannen Spelz i genotyp S3), co wskazuje na niższą odporność typu III u tego gatunku w porównaniu z płaskurką (rys. 1). Orkisz wykazał jednakże wyższą odporność na akumulację DON w ziarnie (typ V odporności). Najbardziej podatne na fuzariozę kłosów były odmiany pszenicy zwyczajnej, jednakże obserwowano znaczne zróżnicowanie odporności tych odmian na fuzariozę kłosów, zarówno typu I-II jak i typu III. Najbardziej porażona były stare odmiany Ostka Żłotnicka, oraz Kadett, najsilniej — odmiana Nawra.

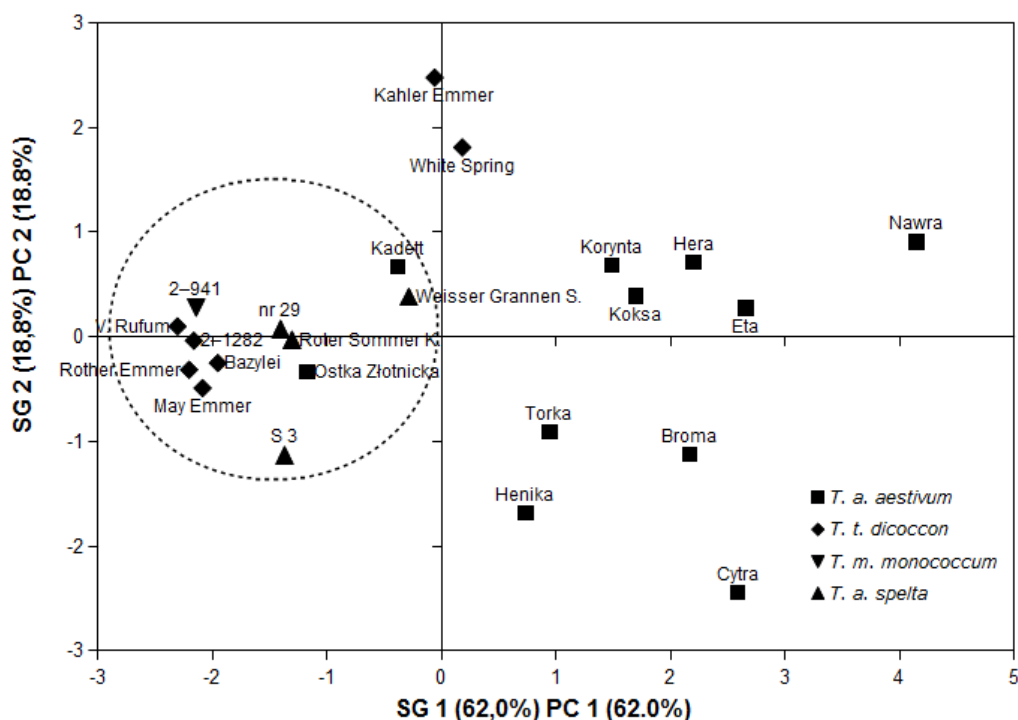


Rys. 3. Zależność między stopniem uszkodzenia ziarniaków a zawartością DON w ziarnie 23 genotypów z rodzaju *Triticum*

Fig. 3. Relationship between Fusarium damaged kernels and DON accumulation in grain for 23 spring genotypes of the *Triticum* genus

Ze względu na złożoność odporności na fuzariozę kłosów uzyskane w obu latach badań wyniki poddano statystycznej analizie składowych głównych (rys. 4). Największe znaczenie miała składowa pierwsza wyjaśniająca 62,0% zmienności genotypów pod względem wszystkich cech. W grupie genotypów podatnych (SG 1 \geq 0) znalazło się większość odmian pszenicy zwyczajnej oraz dwie odmiany płaskurki (ze względu na akumulację DON w ziarnie). Odmiany Kadett i Weisser Granen Spelz miały zbliżoną wartość SG 1 do powyższych odmian płaskurki jednakże akumulowały one mniej DON w

ziarnie. Wynikała stąd niższa wartość SG 2. Pozostałe genotypy/odmiany tworzyły grupę form odpornych na fuzariozę kłosów o zbliżonych wartościach składowych 1 i 2.



Rys. 4. Genotypy z rodzaju *Triticum* przedstawione w układzie 2 składowych głównych wyjaśniających kolejno 62,0 i 18,8% zmienności odporności na fuzariozę kłosów mierzoną zmiennymi: indeks fuzariozy kłosów, uszkodzenie ziarniaków oraz DON w dwóch latach badań

Fig. 4. Genotypes of the genus *Triticum* shown on the principal coordinates map for the first and second components explaining 62.0 and 18.8% of FHB resistance variability estimated for FHB index, FDK and DON in two experimental years

DYSKUSJA

Uzyskane wyniki wskazują, że do upraw ekologicznych konieczny jest dobór odmian o wysokiej odporności na fuzariozę kłosa. Szczególnie dotyczy to pszenicy zwyczajnej. Odmiany podatne, takie jak Nawra lub Cytra, w znacznie większym stopniu są zagrożone skażeniem mikotoksynami niż odmiany odporne, takie jak Kadett lub Ostka Złotnicka.

Limit zawartości DON, ustanowiony w Unii Europejskiej w roku 2005, i obowiązujący od 2006, wynosi 1,25 ppm dla pszenicy zwyczajnej i 1,75 ppm dla pszenicy twardej (*T. turgidum* subsp. *durum*) i owsa. W około połowie badanych prób nie przekroczonego tego progu, mimo intensywnego zakażenia. Można jednak stwierdzić duże zróżnicowanie wewnątrz- i międzygatunkowe. Szczególnie duże było zróżnicowanie reakcji tetraploidalnych genotypów płaskurki. Zidentyfikowano potencjalnie wysoko odporne

genotypy, które mogłyby stanowić źródło odporności dla pszenicy twardej (Cai i in., 2005). Wysoka zmienność odporności na fuzariozę kłosów była obserwowana przez innych autorów. Zależnie od badanej populacji badane genotypy były wysoko podatne (Wan i in., 1997 a,b) lub identyfikowano liczne odporne genotypy (Oliver i in., 2008).

Jedyny badany genotyp pszenicy samopszej wykazał odporność na porażenie kłosa i uszkodzenie ziarniaków, jednakże akumulował dość dużo DON (~1ppm). Pod tym względem przypominał reakcję części genotypów płaskurki. Publikowane badania wskazują, że również w populacji diploidalnej pszenicy samopszej istnieje zmienność odporności na fuzariozę kłosów. Wan i in. (1997a,b) zaklasyfikowali badane genotypy pszenicy samopszej jako podane lub wysoko podatne, natomiast Saur (1991) badając dużo większą liczbę obiektów, zidentyfikował formy o niskiej podatności.

Podobnie jak w przypadku gatunków di- i tetraploidalnych u heksaploidalnego orkisz obserwowano zróżnicowanie reakcji na inokulację *F. culmorum* — odporny genotyp S3, średnio podatny Weisser Grannen Spelz. Suchowilska i in. (2007) stwierdzili wyższą średnią podatność orkisz na porażenie kłosa w porównaniu do pszenicy zwyczajnej. Jednakże o wynikach w znacznym stopniu zdecydował dobór obiektów badań. Odmiana Weisser Grannen Spelz okazała się najbardziej podatna spośród odmian orkisz badanych w niniejszej pracy. W populacji badanej przez Suchowilską i in. (2007) była natomiast odmianą o najwyższej odporności. Wysoką podatność niektórych odmian orkisz obserwowano również w badaniach form ozimych oraz innych genotypów jarych (Góral i in., 2008; Wiwart i in., 2009).

Współczynnik korelacji między oceną stopnia uszkodzenia ziarniaków a zawartością DON był istotny, jednakże miał niską wartość. Wynikało to przede wszystkim z dużej zawartości DON w ziarnie odmian płaskurki: White Spring i Kahler Emmer, które wykazywały niskie uszkodzenia ziarniaków przez *F. culmorum*. Mogło być to spowodowane transportem DON z plewek do ziarniaków (wysoki stopień porażenia kłosów) (Buśko i in., 2008). Jednocześnie te formy mogą charakteryzować się wysoką tolerancją na obecność DON z ziarnie (typ IV wg Foroud i Eudes, 2009), gdyż obserwowano słabe uszkodzenie ziarniaków, pomimo dużego stężenia DON. Jest to cecha niekorzystna ze względów użytkowych i hodowlanych.

Wysoką zawartość DON stwierdzono również w ziarnie odmian Eta i Broma o średnim uszkodzeniu ziarniaków. Natomiast względnie niską zawartość DON w ziarnie przy znacznym porażeniu ziarniaków wykazały odmiany Henika i Kokska oraz orkisz S3. Może to świadczyć o istnieniu specyficznych mechanizmów odporności na fuzariozę u tych odmian. Mechanizm ten określany jest jako typ odporności V (Mesterhazy, 2002; Foroud i Eudes, 2009), czyli odporność na akumulację DON w ziarnie.

Uzyskane wyniki powinny być wstępem do szerszego badania zarówno form jarych, jak też ozimych, które chce się wprowadzić do uprawy w warunkach ograniczonego stosowania środków ochrony roślin. Wydaje się istotne wprowadzanie do badań nowych form, bardziej odpornych na fuzariozę kłosów i jednoczesne eliminowanie odmian najbardziej podatnych. Wśród polskich odmian pszenicy zwyczajnej istnieje znaczne zróżnicowanie odporności na fuzariozę kłosów (Wiśniewska i Buśko, 2005; Góral, 2006; Góral i Ochodzki, 2007). Jeżeli chodzi o inne gatunki *Triticum*, dobór odmian do upraw

ekologicznych również musi być poprzedzony badaniami ze względu na istniejącą zmienność odporności na fuzariozę kłosów (Suchowilska i in., 2010).

WNIOSKI

1. Stwierdzono istotne zróżnicowanie odporności badanych genotypów na fuzariozę kłosów.
2. Najmniej deoksyniwalenolu w ziarnie akumulowały odmiany owsa, najwięcej – odmiany pszenicy zwyczajnej.
3. Wśród gatunków z rodzaju *Triticum* najwyższą odporność na fuzariozę kłosów i uszkodzenie ziarniaków wykazała płaskurka, najmniej deoksyniwalenolu w ziarnie akumulowały genotypy orkisz.
4. Współczesne odmiany pszenicy zwyczajnej wykazały wysoką podatność na fuzariozę kłosów i akumulację deoksyniwalenolu 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.
- Buśko M., Perkowski J., Wiwart M., Góral T., Suchowilska E., Stuper K., Matysiak A., Sz wajkowska-Michałek L. 2008. Distribution of fungal biomass in spike of naturally contaminated and inoculated with *Fusarium culmorum*. *Cereal Res. Commun.* 36, Suppl. B: 477 — 479.
- Cai X., Chen P.-D., Xu S.-S., Oliver R.E., Chen X. 2005. Utilization of alien genes to enhance *Fusarium* head blight resistance in wheat – A review. *Euphytica* 142: 309 — 318.
- Foroud, N. A., Eudes F. 2009. *Trichothecenes* in cereal grains. *Int. J. Mol. Sci.* 10: 147 — 173.
- Góral T. 2006. Odporność odmian pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. *Biul. IHAR* 242: 79 — 88.
- Góral, T., Ochodzki, P. 2007. Wpływ porażenia kłosa i ziarniaków odmian pszenicy ozimej przez *Fusarium culmorum* na akumulację mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie. *Mat. Konferencji naukowej „Nauka dla hodowli roślin uprawnych”*, Zakopane, 29. 01 — 02.02.2007 r.
- Góral T., Ochodzki P., Mazurek A., Bulińska-Radomska Z. 2008. Resistance of species from genus *Triticum* to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium*-metabolites in grain. *Cereal Res. Commun.* 36, Suppl. B: 95 — 97.
- Mesterhazy A. 2002. Theory and practice of the breeding for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *J. Appl. Genet* 43A: 289 — 302.
- Ochodzki, P., Góral, T. 2006. Production of mycotoxins by selected *Fusarium graminearum* and *F. culmorum* isolates cultured on rice and wheat grain. *Abstracts of the 28th Mycotoxin Workshop*, Bydgoszcz, 29 — 31st May, 2006.
- Oliver, R. E., X. Cai, T. L. Friesen, S. Halley, R. W. Stack, and S. S. Xu, 2008. Evaluation of *Fusarium* head blight resistance in tetraploid wheat (*Triticum turgidum* L.). *Crop Sci.* 48: 213 — 221.
- SAS Institute Inc. 2008. The SAS system for Windows. Release 9.2. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Saur L. 1991. Recherche de géniteurs de résistance à la fusariose de l'épi causée par *Fusarium culmorum* chez le blé et les espèces voisines. *Agronomie* 11: 535 — 541.
- Suchowilska E., Wiwart M., Borusiewicz A. 2007. The reaction of the selected *Triticum aestivum*, *Triticum spelta* and *Triticum dicoccum* genotypes to spike infection by *Fusarium culmorum*. *Proc. of the Conference „Organic farming 2007”*, Praha Suchdol, 6–7. 2. 2007: 172 — 174 pp.
- Suchowilska E., Kandler, W., Sulyok, M., Wiwart, M., Krska, R. 2009. Mycotoxin profiles in the grain of *Triticum monococcum*, *Triticum dicoccum* and *Triticum spelta* after head infection with *Fusarium culmorum*. *J. Sci. Food Agric.* 90: 556 — 565

- Wan Y.-F., Yen C., Yang J.-L. 1997a. The diversity of head-scab resistance in *Triticeae* and their relation to ecological conditions. *Euphytica* 97: 277 — 281.
- Wan Y.-F., Yen C., Yang J.-L. 1997b. Sources of resistance to head scab in *Triticum*. *Euphytica* 94: 31 — 36.
- Wiśniewska H., Buśko M. 2005. Evaluation of spring wheat resistance to *Fusarium* seedling blight and head blight. *Biologia* 60: 287 — 293.
- Wiwart M., Kandler W., Perkowski J., Berthiller F., Preinerstorfer B., Suchowilska E., Busko, M., Laskowska, M., Krska, R. 2009. Concentrations of some metabolites produced by fungi of the genus *Fusarium* and selected elements in spring spelt grain. *Cereal Chem* 86: 52 — 60.