

Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy
Instytut Badawczy

Autoreferat przedstawiający opis dorobku i osiągnięć naukowych

Załącznik 3

Dr Tomasz Góral

2017-09-01

Spis treści

1. Imię i Nazwisko	1
2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej	1
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.	1
4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)	1
4.1. Osiągnięcie naukowe stanowi jednotematyczny cykl 14 publikacji pod wspólnym tytułem:	1
4.2. Autorzy, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania	2
4.3. Omówienie przedmiotu badań, którego dotyczą ww. publikacje.....	4
4.4. Literatura	16
4.5. Krótka charakterystyka publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	29
1) Góral T. 2005. Źródła odporności pszenicy na fuzariozę kłosa powodowaną przez <i>Fusarium culmorum</i> (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 235: 115 – 132.....	29
2) Góral T. 2006. Ocena odporności rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez <i>Fusarium culmorum</i> oraz odporności pszenżyta ozimego na mączniaka prawdziwego (<i>Blumeria graminis</i>) w 2005 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 242: 79–88. 30	
3) Góral T. 2006. Odporność odmian pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów powodowaną przez <i>Fusarium culmorum</i> (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 242: 63-78.	30
4) Góral T. 2007. Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 246: 31-44. 31	
5) Góral T. 2009. Odporność odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb <i>Fusarium culmorum</i>. Biuletyn IHAR 254: 41-50.....	32
6) Góral T., Ochodzki P., Bulińska-Radomska Z. 2012. Odporność na fuzariozę kłosów powodowaną przez <i>Fusarium culmorum</i> i zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie gatunków zbóż jarych przeznaczonych do upraw ekologicznych. Biuletyn IHAR 263: 43-54.....	33
7) Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Nielsen L.K., Justesen A.F., Jørgensen L.N. 2012. Wpływ przedplonu oraz warunków pogodowych na porażenie kłosów pszenicy jarej przez grzyby z rodzaju <i>Fusarium</i> oraz zawartość mikotoksyn w ziarnie. Biuletyn IHAR 265: 11-21. . 34	
8) Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M. 2013. Reaction of winter triticale breeding lines to <i>Fusarium</i> head blight and accumulation of <i>Fusarium</i> metabolites in grain in two environments under drought conditions. Cereal Research Communications 41: 106-115.....	35
9) Góral T., Walentyn-Góral D. 2014. Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb <i>Fusarium culmorum</i>. Biuletyn IHAR 271: 3-16.	37
10) Góral T., Stuper-Szablewska K., Buśko M., Boczowska M., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H., Perkowski J. 2015. Relationships between genetic diversity and <i>Fusarium</i> toxin profiles of winter wheat cultivars. Plant Pathology Journal 31: 226-244.....	38

11)	Góral T., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H. 2015. Odporność typu I i II pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów. Biuletyn IHAR 277: 33-45.	40
12)	Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral, D., Belter J., Majka M., Kwiatek M., Wiśniewska H., Bogacki J., Drzazga T., Ługowska B., Matysik P., Witkowski E., Rubrycki K., Woźna–Pawlak U. 2015. Odporność genotypów pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów i akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie scharakteryzowana za pomocą różnych typów odporności. Biuletyn IHAR 276: 19-37.	40
13)	Góral T., Wiśniewska H., Walentyn-Góral D., Radecka-Janusik M., Czembor P. 2016. Resistance to <i>Fusarium</i> head blight [<i>Fusarium culmorum</i> (W.G. Sm.) Sacc.] of winter wheat lines generated from crosses between winter type cultivars and resistant spring wheat Sumai 3. Progress in Plant Protection 56(3): 285–295.....	42
14)	Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D. 2016. Higher <i>Fusarium</i> toxins accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with <i>Fusarium culmorum</i> as compared with wheat. Toxins 8(10): 301.....	43
4.6.	Wnioski wynikające z publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe	44
5.	Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.	46

1. Imię i Nazwisko

Tomasz Góral

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- Magister inżynier rolnictwa

Stopień uzyskany w: Szkole Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie, Wydział Rolniczy, 1988

Tytuł pracy magisterskiej:

Fuzarioza kłosów pszenicy, żyta i pszenżyta w 1987r.

Promotor: prof. dr hab. Jerzy Chełkowski

- Doktor nauk rolniczych

Stopień uzyskany w: Instytucie Hodowli i Aklimatyzacji Roślin w Radzikowie, 1994

Tytuł rozprawy doktorskiej:

Rola źródeł inokulum pierwotnego w powstawaniu epifitozy septoriozy pszenżyta.

Promotor: prof. dr hab. Edward Arseniuk.

Recenzenci: prof. dr hab. Zbigniew Weber, prof. dr hab. Bogdan Nowicki.

(poświadczony odpis dyplomu w Załączniku 1)

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych.

1988 – 1994: Asystent w Zakładzie Fitopatologii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin, Radzików

1994 – obecnie: Adiunkt w Zakładzie Fitopatologii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

1999 - 2012 Kierownik Pracowni Chorób Roślin w Zakładzie Fitopatologii, Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Radzików

- 4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.)**

4.1. Osiągnięcie naukowe stanowi jednotematyczny cykl 14 publikacji pod wspólnym tytułem:

Odporność pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyby z rodzaju Fusarium oraz identyfikacja genotypów odpornych

4.2. Autorzy, tytuł publikacji, nazwa wydawnictwa, rok wydania

- 1) **Góral T.** 2005. Źródła odporności pszenicy na fuzariozę kłosa powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 235: 115 – 132.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 3¹]
- 2) **Góral T.** 2006. Ocena odporności rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* oraz odporności pszenżyta ozimego na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) w 2005 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 242: 79–88.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 2¹]
- 3) **Góral T.** 2006. Odporność odmian pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 242: 63-78.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 1¹]
- 4) **Góral T.** 2007. Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 246: 31-44.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 4¹]
- 5) **Góral T.** 2009. Odporność odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. Biuletyn IHAR 254: 41-50.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 4¹]
- 6) **Góral T., Ochodzki P., Bulińska-Radomska Z.** 2012. Odporność na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* i zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie gatunków zbóż jarych przeznaczonych do upraw ekologicznych. Biuletyn IHAR 263: 43-54.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 2¹]
- 7) **Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Nielsen L.K., Justesen A.F., Jørgensen L.N.** 2012. Wpływ przedplonu oraz warunków pogodowych na porażenie kłosów pszenicy jarej przez grzyby z rodzaju *Fusarium* oraz zawartość mikotoksyn w ziarnie. Biuletyn IHAR 265: 11-21.
[MNiSW: 6 pkt., l. cytowań: 5¹]
- 8) **Góral T., Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M.** 2013. Reaction of winter triticale breeding lines to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium* metabolites in grain in two environments under drought conditions. Cereal Research Communications 41: 106-115.
doi: 10.1556/CRC.2012.0028
[IF=0,624; MNiSW: 15 pkt., l. cytowań: 8¹ (2²)]
- 9) **Góral T., Walentyn-Góral D.** 2014. Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. Biuletyn IHAR 271: 3-16.
[MNiSW: 4 pkt., l. cytowań: 1¹]

¹ Liczba cytowań na podstawie Harzing's Publish or Perish (<http://www.harzing.com>) korzystającego z bazy Google Scholar.

² Liczba cytowań na podstawie Web of Science

- 10) **Góral T.**, Stuper-Szablewska K., Buśko M., Boczkowska M., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H., Perkowski J. 2015. Relationships between genetic diversity and *Fusarium* toxin profiles of winter wheat cultivars. *Plant Pathology Journal* 31: 226-244. doi: 10.5423/PPJ.OA.03.2015.0038
[IF=0,920; MNiSW: 25 pkt, l. cytowań: 1³ (2⁴)]
- 11) **Góral T.**, Walentyn-Góral D., Wiśniewska H. 2015. Odporność typu I i II pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów. *Biuletyn IHAR* 277: 33-45.
[MNiSW: 4 pkt.]
- 12) **Góral T.**, Ochodzki P., Walentyn-Góral, D., Belter J., Majka M., Kwiatek M., Wiśniewska H., Bogacki J., Drzazga T., Ługowska B., Matysik P., Witkowski E., Rubrycki K., Woźna-Pawlak U. 2015. Odporność genotypów pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów i akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie scharakteryzowana za pomocą różnych typów odporności. *Biuletyn IHAR* 276: 19-37.
[MNiSW: 4 pkt., l. cytowań: 1³]
- 13) **Góral T.**, Wiśniewska H., Walentyn-Góral D., Radecka-Janusik M., Czembor P. 2016. Resistance to *Fusarium* head blight [*Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.] of winter wheat lines generated from crosses between winter type cultivars and resistant spring wheat Sumai 3. *Progress in Plant Protection* 56(3): 285–295. doi: 10.14199/ppp-2016-047
[MNiSW: 12 pkt.]
- 14) **Góral T.**, Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D. 2016. Higher *Fusarium* toxins accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared with wheat. *Toxins* 8(10): 301. doi:10.3390/toxins8100301
[IF=3,571; MNiSW: 35 pkt.]

Sumaryczna punktacja osiągnięcia naukowego w postaci cyklu 14 publikacji wyniosła:

IF = 5,115; punkty MNiSW = 147.

We wszystkich wskazanych pracach habilitant miał wiodący udział na każdym etapie powstawania pracy. Szczegółowe informacje na temat własnego wkładu pracy, oświadczenia współautorów i wskazane publikacje zamieszczono w załącznikach: wykaz opublikowanych prac naukowych (Załącznik 4), publikacje wchodzące w skład osiągnięcia naukowego (Załącznik 7), oświadczenia współautorów (Załącznik 8).

³ Liczba cytowań na podstawie Harzing's Publish or Perish (<http://www.harzing.com>) korzystającego z bazy Google Scholar.

⁴ Liczba cytowań na podstawie Web of Science

4.3. Omówienie przedmiotu badań, którego dotyczą ww. publikacje

Przedstawione osiągnięcie naukowe dotyczy badań nad fuzariozą kłosów – chorobą zbóż powodowaną przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Poniżej przedstawiono charakterystykę choroby, jej znaczenie i szkodliwość oraz zagadnienia związane z odpornością pszenicy na fuzariozę kłosów i hodowlą odpornościową.

Grzyby z rodzaju *Fusarium* powodują różne choroby zbóż takie jak zgorzele korzeni i podstawy źdźbła, fuzariozy liści i kłosa. Spośród tych chorób największe znaczenie ma fuzarioza kłosów. Wynika to z faktu, że choroba ta oddziałuje zarówno na ilość jak i na jakość uzyskiwanego plonu ziarna.

Fuzarioza kłosów występuje na wszystkich zbożach uprawianych w Polsce. Najbardziej podatna na fuzariozę kłosów jest pszenica twarda (*Triticum turgidum* ssp. *durum*), u której jak dotąd nie zidentyfikowano form odpornych. Pszenica zwyczajna (*T. aestivum* ssp. *aestivum*) jest mniej podatna. W populacji tego zboża występuje duże zróżnicowanie odporności od form bardzo podatnych do form wysoce odpornych, bardzo słabo porażanych. Pszenżyto (*xTriticosecale*) wykazuje wyższą odporność w porównaniu do pszenicy. Najbardziej odporne na fuzariozę kłosów jest żyto (*Secale cereale*). Owies (*Avena sativa*, *A. nuda*) i jęczmień (*Hordeum vulgare*) wykazują mniejszą podatność na fuzariozę kłosów (wiech) w porównaniu do pszenicy i pszenżyta. Etiologia choroby jest jednakże inna ze względu na odmienną od pozostałych zbóż budowę kłosa lub wiechy.



Fotografia 1. Objawy fuzariozy kłosów na (od lewej) pszenicy twardej, pszenicy zwyczajnej i pszenżycie (fot. T. Góral).



Fotografia 2. Objawy fuzariozy kłosów (wiech) na (od lewej) życie, jęczmieniu i owsie (fot. T. Góral).

Choroba występuje również na uprawnych gatunkach pokrewnych wobec pszenicy i pszenicy twardej takich jak orkisz (*T. aestivum* ssp. *spelta*), płaskurka (*T. turgidum* ssp. *dicoccon*) i pszenica samopsza (*T. monococcum* ssp. *monococcum*).



Fotografia 2. Objawy fuzariozy kłosów (od lewej) pszenicy orkisz, pszenicy płaskurce i pszenicy samopszy (fot. T. Góral).

Kłosa zbóż (wiechy) infekowane są przede wszystkim w okresie kwitnienia. Jest to stadium, w którym zboża są najbardziej podatne na infekcję zarodnikami grzybów *Fusarium*. Po infekcji

grzyb rozwija się w zakażonym kwiatku przerastając następnie do innych kwiatków w kłosie. Następnie poprzez osadkę kłosową grzyb rozprzestrzenia się na kolejne kłoski. W przypadku silnego porażenia następuje zamieranie kłosa powyżej miejsca infekcji.

Obraz choroby jest inny u jęczmienia, u którego przerastanie grzybnicy do sąsiednich kłosek jest ograniczone i objawy choroby występują na pojedynczych kłoskach. Grzyb przerasta do sąsiednich kłosek nie penetrując osadki kłosowej. U owsa, ze względu na luźną budowę wiechy objawy choroby występują na pojedynczych kłosach.

Grzyb kolonizuje również rozwijający się ziarniak powodując jego uszkodzenia o różnym nasileniu. Może to być uszkodzenie zarodka (ziarniak nie rozwija się), obniżenie masy ziarniaków, pomarszczenie ziarniaków, osłabienie siły kiełkowania oraz zasiedlenie ziarniaków przez *Fusarium* spp. Wytwarzane w procesie patogenezy mikotoksyny (deoksynivalenol i in.) gromadzą się w tkankach kłosa oraz w ziarniakach.



Fotografia 3. Ziarniki pszenicy zwyczajnej silnie uszkodzone przez *Fusarium* (fot. T. Góral).

Głównymi sprawcami fuzariozy kłosa są następujące gatunki *Fusarium*: *F. culmorum*, *F. graminearum* i *F. avenaceum*. Dominacja danego gatunku jest uzależniona od jego wymagań termicznych. *F. culmorum* przeważa głównie w regionach o chłodnym klimacie (Niemcy, Holandia, Skandynawia, Polska), podczas gdy *F. graminearum* dominuje w regionach o cieplejszym klimacie (np. południowa Europa, Stany Zjednoczone). W ostatniej dekadzie obserwuje się wzrost znaczenia gatunku *F. graminearum* jako sprawcy fuzariozy kłosów w środkowej i północnej Europie. Następuje natomiast spadek znaczenia gatunku *F. culmorum*. Zmianę tę publikowane badania wyjaśniają jako skutek ocieplenia klimatu (*F. graminearum* potrzebuje wyższej temperatury do rozwoju) oraz znacznym wzrostem powierzchni uprawy kukurydzy w środkowej i północnej Europie. *F. graminearum* jest jednym z głównych (wraz z *F. verticillioides*) sprawców fuzariozy kolb kukurydzy. Resztki poźniwe kukurydzy – duże

fragmenty nierozdrobnionych łodyg i kolb są doskonałym miejscem dla rozwoju i przetrzymywania grzybów z rodzaju *Fusarium*. Są one głównym źródłem inokulum pierwotnego *F. graminearum* porażającego kłosa pszenicy.

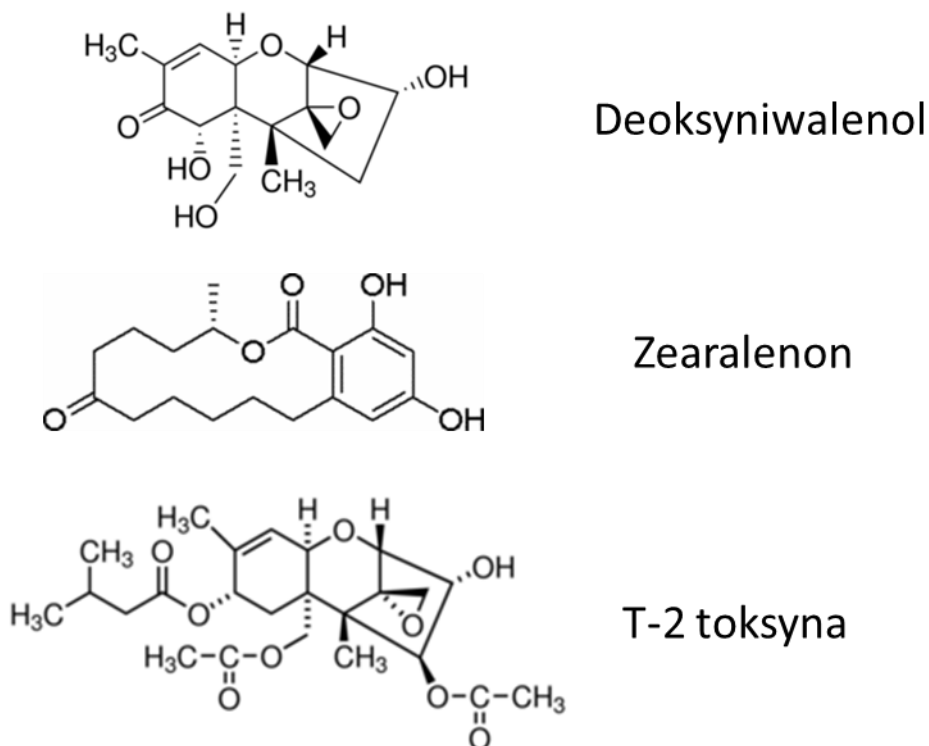
Odporność na fuzariozę kłosów jest określana jako pozioma lub rasowo-niespecyficzna. Stąd odporność na porażenie różnymi izolatami *Fusarium* spp. a także i różnymi gatunkami takim jak *F. culmorum*, *F. graminearum* i *F. avenaceum* ma to samo podłoże genetyczne. Izolaty, chemotypy (izolaty jednego gatunku o różnym profilu wytwarzanych toksyn) oraz gatunki *Fusarium* różnią się natomiast poziomem agresywności. Przykładem mogą być dwa powszechnie występujące na kłosach pszenicy gatunki: *F. graminearum* i *F. poae*. Pierwszy wytwarza głównie trichoteceny z grupy B oraz zearalenon, drugi głównie trichoteceny z grupy A oraz B. *F. graminearum* jest wysoce agresywny i powoduje porażenie kłosa i ziarniaków o dużym nasileniu. *F. poae* jest natomiast mało agresywny i powoduje jedynie słabe porażenie kłosa, różniące się od typowych objawów fuzariozy kłosów.

Porażenie kłosów zbóż przez *Fusarium* spp. prowadzi do ilościowych i jakościowych strat w plonie ziarna. Efektem fuzariozy kłosa może być uszkodzenie zarodka (ziarniak nie rozwija się) lub obniżenie masy ziarniaków, pomarszczenie ziarniaków, osłabienie siły kiełkowania, zasiedlenie ziarniaków przez *Fusarium* spp. oraz zakażenie mikotoksynami fuzaryjnymi. Obserwowano spadki plonu pszenicy powodowane przez *F. culmorum* dochodzące do 35%. *F. graminearum* redukowało plon ziarna pszenicy twardej o 32% a masę 1000 ziarniaków o 34%. W Holandii plony pszenicy były silnie powiązane nasileniem fuzariozy kłosa co wskazuje, że grzyby *Fusarium* spp. były zagrożeniem dla upraw pszenicy. Obserwowano spadek plonu do 60% u podatnych odmian pszenicy zakażanych *F. culmorum* i *F. graminearum*. Jednakże głównym problemem, jaki niesie ze sobą fuzarioza kłosów jest obniżenie jakości ziarna. Zainfekowane ziarniaki, nawet wyglądające na zdrowe, mogą być skażone mikotoksynami, które są fito- i zootoksyczne. Grzyby z rodzaju *Fusarium* porażające zboża posiadają zdolność do wytwarzania trichotecenów z grupy A (np. toksyny T-2 i HT-2) oraz z grupy B (np. deoksyniwalenol=DON, niwalenol), moniliforminy, zearalenonu (ZEN), enniatyn, bewerycyny i innych toksyn (Tab. 1).

Tabela 1. Toksyny wytwarzane przez gatunki *Fusarium* występując na pszenicy.

Gatunek <i>Fusarium</i>	Toksyny tworzone na podłożach stałych
<i>F. graminearum</i> (chemotypy: 3AcDON, 15AcDON, NIV)	DON, 3AcDON, 15AcDON, NIV, 4.7DeDON, ZEN, ZEN-siarczan,
<i>F. culmorum</i> (chem. DON, NIV)	DON, 3AcDON, NIV, ZEN
<i>F. avenaceum</i>	MON, enniatyny A, A1, B, B1, antybiotyk Y
<i>F. cerealis</i> (<i>F. crookwellense</i>)	NIV, FUS, ZEON
<i>F. poae</i>	NIV, FUS, DAS, MAS, BEA, enniatyny A, B, B1
<i>F. sporotrichioides</i>	T-2, HT-2, NEO, DAS, SCIOL, Ac T-2, 8Ac T-2, 3-hydroxy T-2, T-2 triol, 4Ac tetraol, 15Ac tetraol
<i>F. langsethiae</i>	T-2, HT-2
<i>F. tricinctum</i>	MON
<i>F. equiseti</i>	FUS, SCIOL, Fuzarochromanon, ZEN, DAS, NIV, T-2 4-OL

Skróty nazw mikotoksyn: DON – deoksyniwalenol i jego pochodne 3AcDON, 15AcDON; NIV – niwalenol; FUS – fuzarenon; ZEN – zearalenon; FUZ-C – fuzaryna C; BEA – bowerycyna; T-2 – toksyna T-2, jej pochodne: HT-2 toksyna, NEO – neosolaniol; DAS – diacetoksyscispencil; MAS – monoacetoksyscispencil; SCIOL – scirpentriol; T-2 4-OL – T-2 tetraol



Rysunek 1. Najważniejsze toksyny fuzaryjne występujące w ziarnie pszenicy.

Trichoteceny mają silne toksyczne działanie, takie jak podrażnienia skóry, wymioty, biegunka, osłabienie łaknienia, krwotoki, zaburzenia neurologiczne, poronienia a nawet mogą prowadzić do śmierci. Długotrwałe spożywanie DON-u i zbliżonych związków zmniejsza odporność na choroby i osłabia system immunologiczny. Fumonizyny są silnie toksyczne i rakotwórcze. DON jest jedną z głównych mikotoksyn wytwarzanych przez *Fusarium graminearum* i *F. culmorum*. Jest to najczęściej występującą mikotoksyną w ziarnie zbóż, szkodliwa zarówno dla roślin jak i dla zwierząt i ludzi.

W związku ze stwierdzoną szkodliwością toksyn fuzaryjnych, w krajach UE ustalono limity zawartości tych toksyn w żywności i paszach. Limity te reguluje Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1126/2007 z dnia 28 września 2007 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych w odniesieniu do toksyn *Fusarium* w kukurydzy i produktach z kukurydzy. Dopuszczalną zawartość DON w nieprzetworzonej pszenicy twardej, owsie i kukurydzy ustalono na 1,75 mg/kg ziarna, a w innych nieprzetworzonych zbożach na 1,25 mg/kg. W przypadku ZEN limity te wynoszą 0,10 mg/kg ziarna zbóż innego niż kukurydza i 0,20 mg/kg ziarna kukurydzy. Zawartość mikotoksyn w ziarnie zbóż dla celów paszowych podana jest w Zaleceniu Komisji z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie obecności deoksyniwalenolu, zearalenonu, ochratoksyny A, T-2 i HT-2 oraz fumonizyn w produktach przeznaczonych do żywienia zwierząt (2006/576/WE) i nie powinna przekraczać 8,00 mg/kg DON w ziarnie (5,00 mg/kg w całej paszy), oraz 2,00 mg/kg ZEN w ziarnie. Trwają prace nad ustaleniem limitów dla trichotecen z grupy A (T-2 toksyna, HT-2 toksyna). Wstępnie zalecane maksymalne dopuszczalne stężenia sumy T-2 toksyny i toksyny HT-2 dla pszenicy nie powinny przekraczać 0,10 mg/kg ziarna, a w pszenicy przeznaczonej do bezpośredniej konsumpcji lub w produktach z mielonego ziarna – 0,05 mg/kg. Dla makaronów wartość ta wynosi 0,025 mg/kg [Zalecenie

Komisji z dnia 27 marca 2013 r. w sprawie obecności toksyn T-2 i HT-2 w zbożach i produktach zbożowych (2013/165/UE)].

Opublikowano prace wskazujące, że wiele fungicydów jest nieefektywnych w zwalczaniu porażenia kłosów pszenicy przez *Fusarium*. Nowo rejestrowane substancje aktywne mają lepszą skuteczność w zwalczaniu fuzariozy kłosów. Problemem pozostaje jednakże odpowiedni termin zastosowania zabiegu fungicydowego. Zalecany terminem oprysku jest okres od kwitnienia pszenicy do dojrzałości wodnej ziarna. Stosowanie fungicydów w innych terminach znacznie obniża efektywność zwalczania choroby.

Biorąc pod uwagę powyższe oraz wprowadzanie od 2014 roku w Polsce systemu integrowanej ochrony roślin, uprawa genetycznie odpornych odmian jest najbardziej ekonomicznym sposobem zwalczania fuzariozy kłosa. Wielu hodowców zaczyna dostrzegać konieczność włączenia odporności na fuzariozę kłosa do swojego materiału hodowlanego. Zmienność genetyczna odporności na fuzariozę kłosa jest dobrze udokumentowana u pszenicy i gatunków pokrewnych. Nieznane jest są źródła odporności pełnej tzn. jak dotąd u żadnego z badanych geotypów pszenicy nie zaobserwowano immunii, jednakże liczne wysoko odporne genotypy zostały zidentyfikowane i opisane. Są to głównie pszenice jare pochodzące z Chin (Sumai 3, linie Ning, linie Wuhan, Peking 8, linie CJ), Japonii (Nobeokabozu-komugi, Shinchunaga) i Brazylii (Frontana, Encruzilhada). Również wśród genotypów pszenicy ozimej znaczna zmienność odporności została znaleziona i zidentyfikowano genotypy o podwyższonej odporności, takie jak np. Arina, Praag 8, Bence, Ringo Star, linie SVP.



Fotografia 4. Odmiana pszenicy jarej Sumai 3 odporna na fuzariozę kłosów.

Hodowla pszenicy ozimej w kierunku odporności na fuzariozę kłosa jest jednakże z wielu powodów zadanie trudnym. Najodporniejsze genotypy mają egzotyczne pochodzenie i wiele niekorzystnych cech agronomicznych, odporność na fuzariozę jest odpornością typu oligogenicznego lub poligenicznego. Selekcja pod względem odporności podlega silnym wpływom warunków środowiska, jest pracochłonna i kosztowna.

Chińska odmiana pszenicy Sumai 3 i genotypy jej pokrewne charakteryzują się wysoką, stabilną odpornością na fuzariozę kłosa. Niestety odmiana ta ma wiele cech negatywnych pod względem agronomicznym i hodowcy dość niechętnie włączają ją do programów hodowlanych pszenicy. Dlatego też konieczne jest tworzenie materiałów wyjściowych dla

hodowli w celu wprowadzenia odporności na fuzariozę kłosa do bardziej zaawansowanych form pszenicy ozimej. Jednakże proces taki przy zastosowaniu metod konwencjonalnego krzyżowania może być bardzo powolny. Na przyspieszenie procesu wprowadzania genów odporności z egzotycznych źródeł pozawala selekcja wspomagana markerami (MAS). Opublikowane dotychczas wyniki wskazują, że jest to efektywna metoda selekcji w przypadku genu *Fhb1* zlokalizowanego na krótkim ramieniu chromosomu 3B.

Alternatywą może być zastosowanie zidentyfikowanych, rodzimych źródeł odporności. Wyhodowana przez rumuńskich hodowców linia pszenicy ozimej Fundulea 210R jest wysoko odporna na fuzariozę kłosa i nie posiada w rodowodzie chińskich źródeł odporności. Podobnie linie SVP wytworzone w latach 90. w Holandii.

Mimo że, Sumai 3 i genotypy jej pokrewne są z sukcesem używane, jako źródła odporności, konieczne jest znalezienie również innych genów odporności, dla zapobieżenia uzależnieniu od tylko kilku genów z jednego źródła. Co więcej poziom odporności na fuzariozę kłosa nie jest na tyle wysoki, żeby zabezpieczyć przed startami w przypadku dużej presji selekcyjnej patogena. Dlatego identyfikacja nowych źródeł odporności na fuzariozę kłosa niezbędna dla dalszej poprawy odporności pszenicy. Genotypy pszenic o wysokiej odporności na fuzariozę kłosa zostały zidentyfikowane dzięki systematycznie prowadzonej ocenie kolekcji genotypów pszenicy. Jednakże, genetyczne pokrewieństwo pomiędzy odpornymi formami nie zostało w pełni scharakteryzowane. Analiza rodowodów dostarczyłyby informacji o zależnościach pomiędzy odpornymi formami. Rodowody dla wielu odpornych odmian są jednakże niedostępne, co utrudnia pewną identyfikację pochodzenia genów odporności.

Odporność na fuzariozę kłosów ma złożoną etiologię. Zidentyfikowano kilka typów tej odporności. Zostały one opisane, jako: typ I - odporność na infekcję pierwotną; typ II – odporność rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie; typ III - odporność na uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium*; typ IV- tolerancja na fuzariozę kłosów i toksyny; typ V - odporność na akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie poprzez: 1 – chemiczną modyfikację toksyn (glikozylacja toksyn), 2 – blokowanie syntezy toksyn (tworzenie antyoksydantów blokujących szlak metaboliczny toksyn).

Poziom odporności typu I i II wpływa na nasilenie porażenia kłosa w warunkach polowych. Wysoki poziom odporności typu I jest istotny w przypadku silnej presji infekcyjnej *Fusarium*. Z drugiej strony, niski poziom odporności typu II może skutkować silnym porażeniem kłosa mimo niskiej presji infekcyjnej.

Istnienie powyższych typów odporności komplikuje klasyfikację genotypów na podstawie ich fenotypowej reakcji na fuzariozę kłosa. Dlatego też, konieczne jest stosowanie zróżnicowanych techniki inokulacji a także metod oceny dla precyzyjnej charakterystyki reakcji genotypu na fuzariozę kłosów.

Ocena odporności typu I jest trudna ze względu na wpływ innych czynników, które wpływają na jej prawidłowe określenie. Takim czynnikiem jest typ kwitnienia zboża. Dla pszenicy i pszenżyta opisano trzy typy: otwarte (chazmogamiczne), gdy wszystkie trzy pylniki wydostały się na zewnątrz kwiatu, zamknięte (klejstogamiczne), gdy wszystkie pylniki pozostały wewnątrz kwiatu oraz kwitnienie mieszane, gdy wewnątrz kwiatu pozostają jeden lub dwa pylniki. Jak wykazano w opublikowanych badaniach najsłabiej porażane były genotypy klejstogamiczne, natomiast najsilniej genotypy o typie mieszanym kwitnienia. Takie obserwacje można wiązać z wpływem obecności pylników zawierających substancje (cholina, betaina glicynowa) stymulujące wzrost *Fusarium*. Innym czynnikiem, który może utrudnić prawidłową ocenę jest rozprzestrzenianie się *Fusarium* do kolejnych kłosków. Na podstawie badań po około 5-7 dniach po infekcji patogen dociera do osadki kłosowej i rozrasta się w dół lub w górę kłosa. Z powyższego wynika, że do oceny odporności typu I należy zastosować odpowiednią metodykę. Najczęściej stosuje się opryskiwanie kłosów zawiesiną zarodników i obserwację liczby porażonych kłosków około 7 dni po inokulacji. Kłosa powinny być

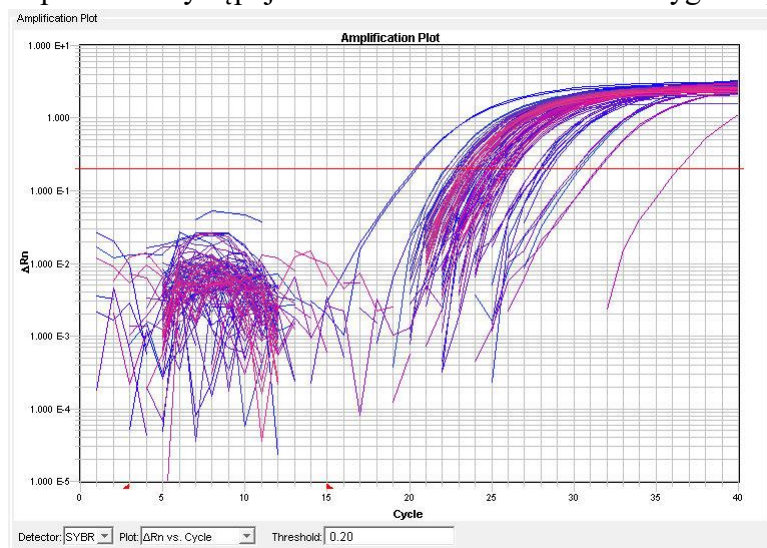


Fotografia 5. Kłosy pszenicy inokulowane punktowo w celu określenia odporności typu II.

opryskiwane w tej samej fazie rozwojowej w pełni kwitnienia. Stosuje się również izolaty niewytwarzające trichotecenów, które mają niską zdolność rozprzestrzeniania się w kłosie.

Precyzyjna ocena odporności na rozprzestrzenianie się *Fusarium* (typ II) jest łatwiejsza. W związku z tym ten typ odporności najczęściej wykorzystywany jest w badaniach genetycznych nad oznaczaniem loci cech ilościowych (QTL). Metoda badania tej odporności jest, jednakże dość pracochłonna, ponieważ polega na punktowej inokulacji pojedynczych kłosów. Wykonuje się to głównie poprzez iniekcję zawiesiny zarodników do kwiatka w środkowym kłosku w kłosie. Rzadziej wykorzystuje się kulki z waty nasączone zawiesiną lub drobne porażone ziarniaki np. prosa. Rozwój choroby ocenia się określając liczbę kwiatków/kłosek z objawami nekrozy lub bielienia. Ocenę przeprowadza się jednorazowo po

około 21 dniach po inokulacji lub kilkakrotnie po inokulacji w celu precyzyjnego określenia tempa rozwoju choroby. Stwierdzono, że najwyższe genetyczne zróżnicowanie pod względem odporności występuje właśnie w terminie około 3 tygodni po inokulacji deoksyniwaleolu. U



Rysunek 2. Krzywe amplifikacji DNA *F. culmorum* dla prób ziarna pszenicy inokulowanej tym grzybem

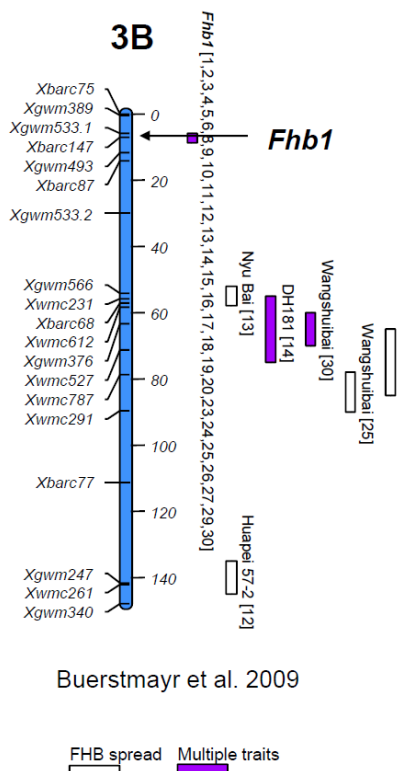
podatnych genotypów może występować zamieranie kłosa powyżej miejsca infekcji, będące reakcją na fitotoksyczne działanie deoksyniwaleolu.

Ocena odporności typu III polega na określeniu udziału ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* w próbie ziarna. Udział ten określa się poprzez podział próby na frakcje: ziarniaki z objawami uszkodzenia przez *Fusarium* (pomarszczenie, przebarwienia – białe, różowe, pomarańczowe,

karminowe) oraz ziarniaki wyglądające zdrowo. Oblicza się procent liczby ziarniaków z objawami uszkodzenia w próbie. Odporność tę można również określać analizując zawartość ergosterolu w ziarnie. Jest to związek wchodzący w skład błon komórkowych grzybów. Jego zawartość wskazuje na ilość grzybni obecnej w ziarniakach, czyli określa stopień zasiedlenia przez grzyby *Fusarium*. Ilość grzybni w ziarniakach można określić również poprzez pomiar zawartości DNA *Fusarium* w ziarnie za pomocą ilościowej reakcji PCR (real-time PCR). Metoda ta jest bardziej precyzyjna, ponieważ pozwala określić zawartość jedynie grzybów *Fusarium* (lub wybranego gatunku *Fusarium*) w ziarnie. Ergosterol określa zawartość całej mykobioty, również grzybów spoza rodzaju *Fusarium*.

Odporność typu IV (tolerancję) określa się poprzez pomiar redukcji plonu ziarna spowodowanej przez porażenia kłosów i ziarniaków przez *Fusarium*, a następnie porównanie z stopniem uszkodzenia ziarniaków i zawartością toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Tolerancja wobec fuzariozy kłosów (dokładnie: tolerancja wobec fuzariozy kłosów lub trichotecenów) występuje wtedy, gdy redukcja plonu jest niska mimo silnego porażenia kłosów/uszkodzenia ziarniaków/akumulacji toksyn w ziarnie. W przypadku fuzariozy kłosów tolerancja nie jest zjawiskiem korzystnym. Może prowadzić do uzyskania niezredukowanego plonu pozornie słabo uszkodzonych ziarniaków, które mogą być skażone toksynami fuzaryjnymi.

Odporność typu V bada się określając zawartość toksyn fuzaryjnych w ziarnie. Stosuje się różne metody takie jak testy immunoenzymatyczne lub bardziej precyzyjne techniki chromatograficzne (chromatografia gazowa, chromatografia cieczowa) w tym także z wykorzystaniem zaawansowanych detektorów, jakim są spektrometry masowe. W badaniu odporności poprzez chemiczną modyfikację toksyn określa się również zawartość tzw. ukrytych mikotoksyn, czyli toksyn poddanych glikozykacji nietoksycznych dla rośliny. Są to



Rysunek 3. Chromosom pszenicy 3B z zaznaczoną pozycją genu *Fhb1*

glukozyd 3-deoksyniwalenolu i glukozyd 4-zearalenonu. W badaniu odporności poprzez blokowanie syntezy toksyn ważne jest określenia zawartości związków o właściwościach antyoksydacyjnych takich jak związki fenolowe, kwasy fenolowe, karotenoidy, peptydy.

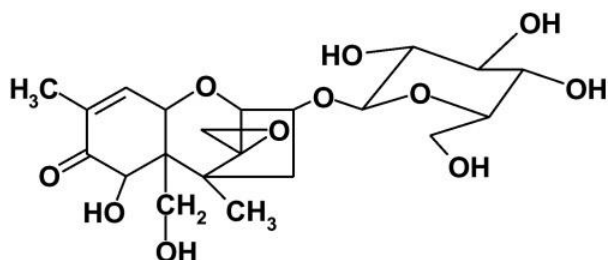
Odporność pszenicy na fuzariozę kłosa jest cechą typu ilościowego i jest determinowana oligogenicznie lub poligenicznie. Stwierdzono obecność, co najmniej trzech genów odporności u brazylijskiej odmiany Frontana, podczas gdy u odmiany Ning 7840, znalezione zostały dwa lub trzy geny odporności. Wyniki badań z ostatnich lat wskazują, że w większości przypadków 2 lub 3 geny o dużym efekcie określają odporność determinując około 50-70% zmienności. Geny odporności były znajdowane na różnych chromosomach pszenicy. Większość prac dotyczy chińskiej odmiany pszenicy Sumai 3, która jest najczęściej używanym źródłem odporności na fuzariozę kłosa. Geny odporności u Sumai 3 znaleziono na chromosomach 2B, 3B, 6B i 7A. Geny z chromosomów 3B i 7A wpływały także na redukcję akumulacji DON-u w ziarniakach.

Przy pomocy markerów molekularnych zidentyfikowano na każdym chromosomie pszenicy (z wyjątkiem 7D) przynajmniej jeden locus cech ilościowych (QTL) związany z odpornością na tę chorobę. QTL-e wyjaśniające stosunkowo dużą zmienność w obrębie opisywanej cechy zlokalizowano na chromosomach 2D, 3A, 5AS, 7A, 1B, 3BS, 4B, 5B, 6BS. Wspomniane loci pochodzą ze źródeł azjatyckich jak np. Sumai 3, Wuhan 1 i Nyubai oraz Brazyli – Frontana. Jednym z najbardziej efektywnych genów odporności na fuzariozę kłosów jest *Fhb1* (dawniej oznaczony, jako *QFhs.ndsu-3BS*) pochodzący z odmiany Sumai 3, który w różnych badaniach był w stanie wyjaśnić od 16% do 60% zmienności odnośnie rozprzestrzeniania się patogena w tkankach (typ odporności II). Znaleziony on został również w odmianach niespokrewnionych z Sumai 3, takich jak Wangshuibai i Nyubai. Inne loci odporności na FHB o dużym efekcie zostały zmapowane i oznaczone jako geny: *Fhb2* pochodzący z Sumai 3 (chromosom 6B), *Fhb3* pochodzący *Leymus racemosus*, *Fhb4* pochodzący z odmian pszenicy jarej Wangshuibai, Wuhan 1 i in. (chromosom 4B), *Fhb5* pochodzący z odmian Wangshuibai, W14 i in. (chromosom 5A), *Fhb6* pochodzący z *Elymus tsukushiensis*; *Fhb7* pochodzący z *Thinopyrum ponticum* oraz *Fhb7AC* pochodzący z Sumai 3 (chromosom 7A). W japońskiej odmianie Nobeokabouzu-komugi zidentyfikowano efektywne loci odporności na fuzariozę kłosów odmienne od tych obecnych w Sumai 3. Pierwszy locus znajduje się na chromosomie 2DS (*QFhs.kibr-2D*) i jest związany z odpornością typu II oraz obniżoną akumulacją DON. Drugi umiejscowiony jest na chromosomie 3BS, jednak jest prawdopodobnie odmienny od obecnego w odmianie Sumai 3. Nowe loci odporności (*QFhs.nau-2DL* i *QFhs.nau-1AS*) o znacznym efekcie zostały zidentyfikowane w linii CJ9306. Są one związane z odpornością na akumulację DON.

Mimo identyfikacji licznych genów (QTL) odporności, dotychczas jedynie *Fhb1* wykazał stabilny wpływ na odporność typu II i V w różnych środowiskach i dla różnych podłoży genetycznych. W związku z tym jest to jedyny gen wykorzystywany w praktycznej hodowli pszenicy. Niestety odmiany/linie będące źródłem genu *Fhb1* posiadają wiele cech niekorzystnych pod względem agronomicznym, a dodatkowo występują trudne do przełamania sprzężenia tego genu z innymi genami warunkującymi te cechy. Trudności związane z wprowadzaniem genów odporności na fuzariozę kłosów powodują, że mimo wieloletnich prac zarejestrowano nieliczne komercyjne odmiany pszenicy z genem *Fhb1*.

Geny odporności na fuzariozę kłosa działają w sposób addytywny. Różne źródła odporności powinny posiadać różne geny odporności, które mogą być wprowadzone do ulepszonych linii. Zaobserwowano, że wśród mieszańców pszenicy niektóre kombinacje wykazywały wyższą odporność niż można by oczekiwać na podstawie odporności form rodzicielskich. Jak stwierdzono heterozja odporności na fuzariozę kłosa wydaje się być zjawiskiem powszechnym. Heterozja była obserwowana u mieszańców pomiędzy podatnymi formami rodzicielskimi, a także u mieszańców pomiędzy średnio odpornymi formami. Autorzy publikacji stwierdzają, że posiadały przynajmniej częściowo różne geny odporności. Takie wykazujące heterozję krzyżówki dają możliwość wyselekcjonowania transgresywnych segregantów zawierających odporności obu form rodzicielskich. Znaczny udział addytywnego sposobu działania genów odporności w układzie pasożytniczym *Fusarium* - pszenica stwarza możliwość zastosowania selekcji cyklicznej w celu poprawy odporności na fuzariozę kłosa. Pozwala to na uniknięcie konieczności stosowania egzotycznych źródeł odporności nieprzystosowanych do lokalnych warunków.

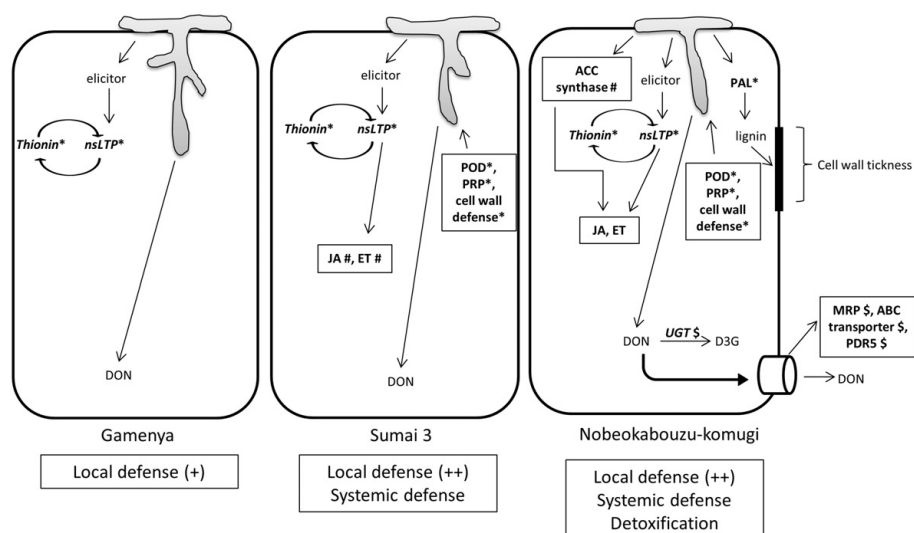
Jak wspomniano powyżej odporność typu V (odporność na akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie) ma dwa różne mechanizmy: modyfikacja toksyn (glikozylacja toksyn) lub blokowanie syntezy toksyn (produkcja antyoksydantów blokujących szlak metaboliczny toksyn).



Rysunek 4. Glukozyd 3-deoksyniwalneolu

W badaniach nad fitotoksycznym działaniem DON stwierdzono, że podstawnym mechanizmem odporności pszenicy na tę toksynę było tworzenie glukozydu 3-deoksyniwalneolu (D3G). Pochodna ta miała bardzo słabe działanie fitotoksyczne w porównaniu do DON-u. Proporcja D3G/DON była silnie skorelowana z odpornością genotypów na iniekcję DON do kłosów. Odporność na DON jest powiązana z najważniejszym locus odporności (QTL) na fuzariozę kłosów *Fhb1* (*Qfhs.ndsu-3BS*) zidentyfikowanym w genomie pszenicy heksaploidalnej. Postawiono hipotezę, że *Fhb1* koduje glukozylotransferazę lub reguluje ekspresję tego enzymu odpowiedzialnego za proces glikozylacji DON. Przy użyciu standardowych technik analizy DON nie są wykrywane jego pochodne glikozydowe. Stąd pochodne te zostały określone, jako ukryte lub zamaskowane mikotoksyny ('masked mycotoxins'). Ukryte mikotoksyny znaleziono u różnych zbóż w tym także w kłosach podatnej na fuzariozę kłosów pszenicy twardej.

Hipoteza powyższa jest ostatnio podważana w publikacjach wykorzystujących najnowsze techniki badań metabolomicznych i proteomicznych. Badając działanie genu *Fhb1* nie stwierdzono różnic w produkcji D3G pomiędzy liniami izogenicznymi z genem i bez genu *Fhb1*. Zwiększona odporność linii z genem *Fhb1* wynikała ze wzmacniania konstrukcji ścian komórkowych poprzez osadzanie amidów kwasu hydroksycynamonowego, flawonoidów i związków fenolowych (Rys. 5).



Rysunek 5. Reakcja na infekcję grzybem *Fusarium* u podatnej odmiany pszenicy Gamemya oraz dwóch odmian odpornych – Sumai 3 i Nobeokabouzu-komugi (Kosaka i in. 2015)

Stwierdzono natomiast, że mechanizm glikozylacji DON występuje u odmiany Nobeokabouzu-komugi i jest prawdopodobnie związany z obecnością locus odporności na chromosomie 2DS (*QFhs.kibr-2D*).

W uzupełnieniu do typów odporności również cechy morfologiczne mają duży wpływ na stopień porażenia pszenicy przez fuzariozę kłosów. Cechy te to: wysokość roślin, długość dokłosa, ościstość lub bezostność kłosa, zagęszczenie kłosów, zwisające lub wyprostowane kłosa. W publikowanych pracach wskazuje się na silne powiązanie wysokości roślin pszenicy z nasileniem fuzariozy kłosów. Wynika to przede wszystkim z różnic w mikroklimacie na poziomie kłosów w niskim i wysokim łanie pszenicy. Dodatkowo stwierdzono jednakże genetyczne powiązanie podatności na fuzariozę kłosów z obecnością genów karłowatości *Rht1* (*Rht-B1*) i *Rht2* (*Rht-D1*). Mechanizm tego zjawiska nie jest do końca wyjaśniony. Tłumaczy się go sprzężeniem genów *Rht* z genami warunkującymi podatność na fuzariozę kłosów lub plejotropowym fizjologicznym efektem działania tych genów zwiększającym podatność.

Nasilenie fuzariozy kłosów zależy przede wszystkim od warunków pogodowych podczas kwitnienia a także innych czynników agrotechnicznych (odporność odmian, sposób uprawy gleby, przedplon itp.). Na zawartość mikotoksyn w ziarnie wpływa mają także warunki pogodowe po kwitnieniu do momentu zbiorów ziarna. Interakcja genotypu ze środowiskiem odgrywa istotną rolę w układzie pasożytniczym *Fusarium* – pszenica. Dlatego też, uszeregowania genotypów pod względem odporności mogą się różnić w znacznym stopniu w różnych latach badań. Stabilność ekspresji odporności w różnych środowiskach zależy od poziomu odporności genotypu. Wysoko odporne genotypy (np. posiadające gen *Fhb1*) generalnie wykazują mniejszą zmienność środowiskową niż genotypy średnio wrażliwe na fuzariozę kłosów.

Przedplon	Uprawa	Podatność odmiany	Poziom ryzyka
Zboża, rzepak, len, groch, fasola, słonecznik	Orka	Mało podatna Średnio podatna Podatna	1
	Bezorkowa	Mało podatna Średnio podatna Podatna	2
Burak cukrowy, ziemniaki, soja, inne	Orka	Mało podatna Średnio podatna Podatna	
	Bezorkowa	Mało podatna Średnio podatna Podatna	
Kukurydza, sorgo	Orka	Mało podatna Średnio podatna Podatna	2
	Bezorkowa	Mało podatna Średnio podatna Podatna	3
			4
			5
			6

Rysunek 6. Wpływ różnych przedplonów, sposobów uprawy i odporności odmian na ryzyko wystąpienia fuzariozy kłosów.

4.4.Literatura

- Alexander, N. J., McCormick, S. P., Waalwijk, C., van der Lee, T., and Proctor, R. H. 2011. The genetic basis for 3-ADON and 15-ADON trichothecene chemotypes in *Fusarium*. *Fungal Genet. Biol.* 48:485–95.
- Anderson J.A., Stack R.W., Liu S., Waldron B.L., Fjeld A. D., Coyne C., Moreno-Sevilla B., Mitchell Fetch J., Song Q.J., Cregan P.B. and Frohberg R.C. 2001. DNA markers for *Fusarium* head blight resistance QTLs in two wheat populations. *Theor. Appl. Genet.* 102: 1164-1168.
- Argyris, J., Sanford, D. Van, TeKrony, D. 2003. *Fusarium graminearum* infection during wheat seed development and its effect on seed quality. *Crop Sci.* 43: 1782–1788.
- Argyris, J., TeKrony, D., Hershman, D., VanSanford, D., Hall, M., Kennedy, B., Rucker, M., Edge, C. 2005. *Fusarium* head blight infection following point inoculation in the greenhouse compared with movement of in seed and floral components. *Crop Sci.* 45: 626–634.
- Arruda, M.P., Lipka, A.E., Brown, P.J., Krill, A.M., Thurber, C., Brown-Guedira, G., Dong, Y., Foresman, B.J., Kolb, F.L. 2016. Comparing genomic selection and marker-assisted selection for *Fusarium* head blight resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Molecular Breeding*, 36: 84.
- Audenaert, K., De Boevre, M; Vanheule, A; Callewaert, J; Bekaert, B; Hofte, M; De Saeger, S; Haesaert, G. 2013. Mycotoxin glucosylation in commercial wheat varieties: Impact on resistance to *Fusarium graminearum* under laboratory and field conditions. *Food Control* 34: 756- 762
- Audenaert, K., Troch, V., Landschoot, S., and 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.
- Bai G.-H., Guo P.-G., Kolb F.L. 2003. Genetic relationships among head blight resistant cultivars of wheat assessed on the basis of molecular markers. *Crop Sci.* 43:498 507.
- Bai G.-H., Kolb F. L., Shaner G. E. and Domier L. L. 1999. Amplified fragment length polymorphism markers linked to a major quantitative trait locus controlling scab resistance in wheat. *Phytopathology* 89: 343-348.
- Bai G.-H., Plattner R. Desjardins A., Kolb F. 2001. Resistance to *Fusarium* head blight and deoxynivalenol accumulation in wheat. *Plant Breeding* 120: 1-6.
- Bai G.-H., Shaner G.E. and Ohm H. 2000. Inheritance of resistance to *Fusarium graminearum* in wheat. *Theor. Appl. Genet.* 100: 1-8.
- Bai. G.-H., Shaner G.E. 1994. Scab of wheat: prospects for control. *Plant Dis.* 78: 760-766.
- Bennett, J. W., and Klich, M. 2003. Mycotoxins. *Clin. Microbiol. Rev.* 16:497.
- Berthiller F, Dall’asta C, Corradini R, Marchelli R, Sulyok M, Krska R, Adam G, Schuhmacher R. 2009. Occurrence of deoxynivalenol and 3- β -D-glucoside in wheat and maize. *Food Addit Contam.* 26(4):507–511.
- Berthiller F., R. Schuhmacher, G. Adam, R. Krska. 2009. Formation, determination and significance of masked and other conjugated mycotoxins. *Anal. Bioanal. Chem.* 395: 1243-1252
- Berthiller, F., Dall’Asta, C., Schuhmacher, R., Lemmens, M., Adam, G. and Krska, R. 2005. Masked mycotoxins: determination of a deoxynivalenol glucoside in artificially and naturally contaminated wheat by liquid chromatography-tandem mass spectrometry. *J Agric. Food. Chem.* 53:3421–5.
- Berthiller, F.; Crews, C.; Dall’Asta, C.; Saeger, S. De; Haesaert, G.; Karlovsky, P.; Oswald, I. P.; Seefelder, W.; Speijers, G.; Stroka, J. Masked mycotoxins: A review. *Mol. Nutr. Food Res.* 2013, 57, 165–186.
- Bollina, V., Kushalappa, AC, Choo, TM, Dion, Y, Rioux, S. 2011. Identification of metabolites related to mechanisms of resistance in barley against *Fusarium graminearum*, based on mass spectrometry. *Plant Molecular Biology* 77: 355-370.

- Bottalico A. 1998. *Fusarium* diseases of cereals: species complex and related mycotoxin profiles, in Europe. *J. Plant Pathol.* 80: 85-103
- Bottalico A., Perrone G. 2002. Toxicogenic *Fusarium* species and mycotoxins associated with head blight in small-grain cereals in Europe. *European Journal of Plant Pathology* 108: 611–624.
- Bottalico, A. and Logrieco, A. 1998. Toxicogenic *Alternaria* species of economic importance. In: Sinha, K. K., Bhatnager, D. (eds) *Mycotoxins in Agriculture and Food Safety*. Marcel Dekker Inc., New York, USA, 1998, pp. 65-108.
- Boutigny, A.L.; Richard, F.F.; Barreau, C. 2008. Natural mechanisms for cereal resistance to the accumulation of *Fusarium* trichothecenes. *Eur. J. Plant Pathol.* 121: 411-423.
- Brinkmeyer, U., Dänicke, S., Valenta, H., and Flachowsky, G. 2005. Progression of deoxynivalenol and zearalenone concentrations in straw of wheat infected artificially with *Fusarium culmorum*. *Mycotoxin Res.* 21:97–99.
- Brown, N. A, Bass, C., Baldwin, T. K., Chen, H., Massot, F., Carion, P. W. C., et al. 2011. Characterisation of the *Fusarium graminearum*-Wheat Floral Interaction. *J. Pathog.* 2011:626345
- Buerstmayr H. 2002. Marker-assisted breeding for the improvement of disease resistance in cereal crops. *Acta Agr. Hun.* 50: 275-281.
- 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.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Fedak G. and Ruckebauer P. 1999. Back-cross reciprocal monosomic analysis of *Fusarium* head blight resistance in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 98: 76-85.
- Buerstmayr H., Lemmens M., Hartl L., Doldi L., Steiner B., Stierschneider M. and Ruckebauer P. 2002. Molecular mapping of QTLs for *Fusarium* head blight resistance in spring wheat. I. Resistance to fungal spread (Type II resistance). *Theor. Appl. Genet.* 104: 84-91.
- 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 Maria, Karin Huber, Johannes Heckmann, Barbara Steiner, James C. Nelson, Hermann Buerstmayr. 2012. Mapping of QTL for *Fusarium* head blight resistance and morphological and developmental traits in three backcross populations derived from *Triticum dicoccum* x *Triticum durum*. *Theor Appl Genet* 125:1751–1765.
- Buerstmayr, H., Lemmens M., Berlakovich S., Ruckebauer P. 1999. Combining ability of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* (W.G. Smith) in the F₁ of a seven parent diallel of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *Euphytica* 110: 199-206.
- Burlakoti, R. R., Ali, S., Secor, G. a, Neate, S. M., McMullen, M. P., and Adhikari, T. B. 2008. Comparative mycotoxin profiles of *Gibberella zeae* populations from barley, wheat, potatoes, and sugar beets. *Appl. Environ. Microbiol.* 74:6513–20.
- Burlakoti, R. R., Mergoum, M., Kianian, S. F. and Adhikarim, T. B. 2009. Combining different resistance components enhances resistance to *Fusarium* head blight in spring wheat. *Euphytica* 172:197–205.
- 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.
- Campbell K.A.G. and Lipps P.E. 1998. Allocation of resources: sources of variation in *Fusarium* head blight screening nurseries. *Phytopathology* 88: 1078-1086.
- Champeil, A., Doré, T. and Fourbet, J. 2004. *Fusarium* head blight: epidemiological origin of the effects of cultural practices on head blight attacks and the production of mycotoxins by *Fusarium* in wheat grains. *Plant Sci.* 166:1389–1415.
- Chełkowski J., Visconti A., Perkowski J., Wakuliński W., Bottalico 1988. Mycotoxins and fungi

- accompanying wheat head fusariosis in Poland. *Mycotoxin Res., Fusarium Seminar*: 57-60.
- Chełkowski J., Wakuliński W., Popęda J. 1987. Fuzarioza kłosów w uprawach pszenicy i żyta w 1985 i 1986 r. *Biul. IHAR* 164: 207-214.
- Chełkowski, J., Gromadzka, K., Stępień, Ł., Lenc, L., Kostecki, M. and Berthiller, F. 2012. *Fusarium* species, zearalenone and deoxynivalenol content in preharvest scabby wheat heads from Poland. *World Mycotoxin J.* **5**:133-41.
- Chełkowski, J., Perkowski, J., Grabarkiewicz-Szczęsna, J., Kostecki, M. and Goliński, P. 2001. Toxigenic fungi and mycotoxins in cereal grains and feeds in Poland. In: Logrieco, A. (ed) Occurrence of Toxigenic Fungi and Mycotoxins in Plants, Food and Feeds in Europe. European Commission, COST Action 835, EUR 19695, 2001, pp. 111-130.
- Chen, J., Griffey, C. A., Saghai Maroof, M. a., Stromberg, E. L., Biyashev, R. M., Zhao, W., et al. 2006. Validation of two major quantitative trait loci for *Fusarium* head blight resistance in Chinese wheat line W14. *Plant Breed.* 125:99–101.
- Cirlini, M., Generotti, S., Dall’Erta, A., Lancioni, P., Ferrazzano, G., Massi, A., Galaverna, G. & Dall’Asta, C. 2013. Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) lines show different abilities to form masked mycotoxins under greenhouse conditions. *Toxins*, 6: 81–95.
- Clark B., Jorgensen L.N., Antichi D., Góral T., Gouache D., Hornok L., Jahn M., Lucas P., Rolland B., Schepers H. 2009. Strategies to control *Fusarium* ear blight and mycotoxin production in wheat. From Science to Field. Wheat Case Study – Guide Number 2. ENDURE [<http://www.edndure-network.eu>]
- Clarke, J. M., Clarke, F. R. and Pozniak, C. J. 2010. Forty-six years of genetic improvement in Canadian durum wheat cultivars. *Can. J. Plant Sci.* 90: 791-801.
- Comeau, A., Langevin, F., Savard, M. E., Gilber, J., Dion, Y., Rioux, S., et al. 2008. Improving *Fusarium* head blight resistance in bread wheat and triticale for Canadian needs. *Cereal Res. Commun.* 36:91–92.
- Cowger, C. and Arellano, C. 2013. *Fusarium graminearum* infection and deoxynivalenol concentrations during development of wheat spikes. *Phytopathology* **103**:460–71.
- Cowger, C., and 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-Özkurt, J., Brown-Guedira, G. and Perugin, L. 2009. Post-anthesis moisture increased *Fusarium* head blight and deoxynivalenol levels in North Carolina winter wheat. *Phytopathology* **99**: 320-327.
- Cuthbert, P. A, Somers, D.J., Brulé-Babel, A. 2007. Mapping of *Fhb2* on chromosome 6BS: a gene controlling *Fusarium* head blight field resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 114: 429–37.
- Cuthbert, P. A, Somers, D.J., Thomas, J., Cloutier, S., Brulé-Babel, A. 2006. Fine mapping *Fhb1*, a major gene controlling *Fusarium* head blight resistance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* 112: 1465–72.
- D’Mello J.P.F., Palcinta C.M., Macdonald A.M.C. 1999. *Fusarium* mycotoxins: a review of global implications for animal health, welfare and productivity. *Anim. Feed Sci. Technol.* 80: 183-205.
- Daamen R.A., Langerak C.J., Stol W. 1991. Surveys of cereal diseases and pests in the Netherlands. 3. *Monographella nivalis* and *Fusarium* spp. in winter wheat fields and seed lots. *Neth. J. Pl. Path.* 97: 105-114.
- Dellafiora, L., Perotti, A., Galaverna, G., Buschini, A. & Dall’Asta, C. 2016. On the masked mycotoxin zearalenone-14-glucoside. Does the mask truly hide? *Toxicon*, 111: 139–142.
- Draeger, R., Gosman, N., Steed, A., Chandler, E., Thomsett, M., Srinivasachary, Schondelmaier, J., Buerstmayr, H., Lemmens, M., Schmolke, M., Mesterhazy, A. and Nicholson, P. 2007.

- Identification of QTLs for resistance to *Fusarium* head blight, DON accumulation and associated traits in the winter wheat variety Arina. *Theor. Appl. Genet.* **115**:617–25.
- Edwards, S. G., Imathiu, S. M., Ray, R. V., Back, M. and Hare, M. C. 2012. Molecular studies to identify the *Fusarium* species responsible for HT-2 and T-2 mycotoxins in UK oats. *Int. J. Food Microbiol.* **156**:168–75.
- Foroud, N.A., Eudes F. 2009. Trichothecenes in cereal grains. *Int. J. Mol. Sci.* 10:147-173.
- Garvin, D. F., Stack, R. W., and Hansen, J. M. 2009. Quantitative trait locus mapping of increased *Fusarium* head blight susceptibility associated with a wild emmer wheat chromosome. *Phytopathology* 99:447-452.
- Gautam, P. and Dill-Macky, R. 2012. Free water can leach mycotoxins from *Fusarium*-infected wheat heads. *J. Phytopathol.* **160**:484–490.
- Gervais L., Dedryver F., Morlais J.-Y., Bodusseau V., Negre S., Bilous M., Groos C. and Trottet M. 2003. Mapping of quantitative trait loci for field resistance to *Fusarium* head blight in an European winter wheat. *Theor. Appl. Genet.* 106: 961-970.
- Ghavami, F., Elias, E.M., Mamidi, S., Ansari, O., Sargolzaei, M., Adhikari, T., et al. 2011. Mixed model association mapping for *Fusarium* head blight resistance in Tunisian-derived durum wheat populations. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, 1: 209 – 218.
- Gilchrist, L., van Ginkel M., Rajaram S., Vivar H., Capettini F. 2001. Germplasm contribution of the CIMMYT wheat program to the U.S. wheat and barley scab initiative. p. 176 - 179. In S. Canty et al. (ed.) Proceedings of the 2001 National *Fusarium* Head Blight Forum. Kinko's, Okemos, MI, USA.
- Goliński, P., Perkowski, J., Kostecki, M., Grabarkiewicz-Szczęśna, J. and Chełkowski, J. 1996. *Fusarium* species and *Fusarium* toxins in wheat in Poland - a comparison with neighbour countries. *Sydowia* **48**:12–22
- Groth J.V., Ozmon E.A. and Busch R.H. 1999. Repeatability and relationship of incidence and severity measures of scab of wheat caused by *Fusarium graminearum* in inoculated nurseries. *Plant Dis.* 83: 1033-1038.
- Gunnaiah, R., Kushalappa, A.C., Duggavathi, R., Fox, S., Somers, D.J. 2012. Integrated metabolo-proteomic approach to decipher the mechanisms by which wheat QTL (*Fhb1*) contributes to resistance against *Fusarium graminearum*. 7(7): e40695. doi:10.1371/journal.pone.0040695.
- Haber S., Gilbert J., Golkari S. 2008. An evolutionary approach identifies and exploits effective FHB resistance in hitherto susceptible wheat germplasm. *Cereal Research Communications* 36 Supplement B: 63-69.
- Handa, H., Namiki, N., Xu, D. and Ban, T. 2008. Dissecting of the FHB resistance QTL on the short arm of wheat chromosome 2D using a comparative genomic approach: from QTL to candidate gene. *Mol. Breed.* **22**:71–84
- Hazel, C. M., and Patel, S. 2004. Influence of processing on trichothecene levels. *Toxicol. Lett.* 153:51–9.
- Holzappel, J., Voss, H.-H., Miedaner, T., Korzun, V., Häberle, J., Schweizer, G., Mohler, V., Zimmermann, G. and Hartl, L. 2008. Inheritance of resistance to *Fusarium* head blight in three European winter wheat populations. *Theor. Appl. Genet.* **117**:1119–1128.
- Horevaj, P., Gale, L., Milus, E. 2011. Resistance in winter wheat lines to initial infection and spread within spikes by deoxynivalenol and nivalenol chemotypes of *Fusarium graminearum*. *Plant Dis.* **95**:31–3
- Imathiu, S., Edwards, S., Ray, R., and 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
- Jackowiak, H., Packa, D., Wiwart, M., and Perkowski, J. 2005. Scanning electron microscopy of

- Fusarium* damaged kernels of spring wheat. *Int. J. Food Microbiol.* 98:113–123.
- Jansen, C., von Wettstein, D., Schäfer, W., Kogel, K.-H., Felk, A. & Maier, F.J. (2005) Infection patterns in barley and wheat spikes inoculated with wild-type and trichodiene synthase gene disrupted *Fusarium graminearum*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 16892–7.
- Jauhar, P. P., Terrance S. Peterson, and Steven S. Xu. 2009. Cytogenetic and molecular characterization of a durum alien disomic addition line with enhanced tolerance to *Fusarium* head blight *Genome* 52: 467–483.
- Jones R.K. 2000. Assessment of *Fusarium* head blight of wheat and barley in response to fungicide treatment. *Plant Dis.* 84: 1021-1030.
- Kalih, R., Maurer, H. P., and Miedaner, T. 2015. Genetic Architecture of *Fusarium* Head Blight Resistance in Four Winter Triticale Populations. *Phytopathology*. 105:334–341
- Kang, Z., Buchenauer, H. 2000. Cytology and ultrastructure of the infection of wheat spikes by *Fusarium culmorum*. *Mycol Res.* 104:1083–1093.
- Kharbikar, L. L., Dickin, E. T., and Edwards, S. G. 2015. Impact of post-anthesis rainfall, fungicide and harvesting time on the concentration of deoxynivalenol and zearalenone in wheat. *Food Addit. Contam. Part A.* 32:2075–2085.
- Kokkonen, M., Jestoi, M. and Laitila, A. 2012. Mycotoxin production of *Fusarium langsethiae* and *Fusarium sporotrichioides* on cereal-based substrates. *Mycotoxin Res.* 28:25–35.
- Kollers, S., Rodemann, B., Ling, J., Korzun, V., Ebmeyer, E., Argillier, O., Hinze, M., Plieske, J., Kulosa, D., Ganal, M. W. and Röder, M. S. 2013. Whole genome association mapping of *Fusarium* head blight resistance in European winter wheat (*Triticum aestivum* L.). *PLoS ONE* 8(2):e57500.
- Kosaka, A., Ban, T. & Manickavelu, A. (2015) Genome-wide transcriptional profiling of wheat infected with *Fusarium graminearum*. *Genomics Data*, 5, 260–262.
- Kosaka, A., Manickavelu, A., Kajihara, D., Nakagawa, H. & Ban, T. (2015) Altered gene expression profiles of wheat genotypes against *Fusarium* head blight. *Toxins*, 7, 604–620.
- Kriss, A. B., Paul, P. A., Xu, X., Nicholson, P., Doohan, F. M., Hornok, L., Rietini, A., Edwards, S. G. and Madden, L. V. 2012. Quantification of the relationship between the environment and *Fusarium* head blight, *Fusarium* pathogen density, and mycotoxins in winter wheat in Europe. *Eur. J. Plant Pathol.* 133:975–993.
- Kubo, K., Fujita, M., Kawada, N., Nakajima, T., Nakamura, K., Maejima, H., Ushiyama, T., Hatta, K., Matsunaka, H. 2013a. Minor differences in anther extrusion affect resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *J. Phytopathol.* 161:308–314.
- Kubo, K., Kawada, N., Fujita, M. 2013b. Evaluation of *Fusarium* head blight resistance in wheat and the development of a new variety by integrating type I and II resistance. *Jircas. Affrc. Go. Jp.* 47: 9–19.
- Kubo, K., Kawada, N., Fujita, M., Hatta, K., Oda, S., Nakajima, T. 2010. Effect of cleistogamy on *Fusarium* head blight resistance in wheat. *Breed. Sci.* 60: 405–411.
- Kumaraswamy, G. K., Bollina, V., Kushalappa, A. C., Choo, T. M., Dion, Y., Rioux, S., Mamer, O. and Faubert, D. 2011. Metabolomics technology to phenotype resistance in barley against *Gibberella zeae*. *Eur. J. Plant Pathol.* 130:29–43.
- Lahlali, R., Kumar, S., Wang, L., Forseille, L., Sylvain, N., Korbas, M., Muir, D., Swerhone, G., Lawrence, J.R., Fobert, P.R., Peng, G. & Karunakaran, C. (2016) Cell wall biomolecular composition plays a potential role in the host type II resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Frontiers in Microbiology*, 7, 1–12.
- 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 Pathol.* 110: 735-746.
- Langevin, F., Eudes, F., Comeau, A., Dion, Y., Rioux, S., Randhawa, H., et al. 2009. Sources of type II

- Fusarium resistance for triticale breeding. In Proceedings of the 6th Canadian Workshop on Fusarium Head Blight - Sixième Colloque Canadien sur la Fusariose. Nov. 1-4, 2009. Ottawa, ON, Canada, eds. Thérèse Ouellet and Don Leger. , p. 66.
- Lemmens M., Buerstmayr H., Ruckebauer P. 1993. Variation in Fusarium head blight susceptibility of international and Austrian wheat breeding material. *Die Bodenkultur* 44: 65-78.
- Lemmens, M., Buerstmayr, H., Krska, R., Schuhmacher, R., Grausgruber, H. and Ruckebauer, P. 2004. The effect of inoculation treatment and long-term application of moisture on Fusarium head blight symptoms and deoxynivalenol contamination in wheat grains. *Eur. J. Plant Pathol.* **110**:299–308.
- Lemmens, M., Koutnik, A., Steiner, B., Buerstmayr, H., Berthiller, F., Schuhmacher, R., Maier, F. and Schäfer, W. 2008. Investigations on the ability of *Fhb1* to protect wheat against nivalenol and deoxynivalenol. *Cereal Res. Commun.* **36**:429–435.
- Lemmens, M.; Scholz, U.; Berthiller, F.; Dall'Asta, C.; Koutnik, A.; Schuhmacher, R.; Adam, G.; Bürstmayr, H.; Mesterházy, Á.; Krska, R.; Ruckebauer, P. 2005. The ability to detoxify the mycotoxin deoxynivalenol colocalizes with a major quantitative trait locus for Fusarium head blight resistance in wheat. *Mol. Plant-Microbe Interact.* 2005, 18, 1318-24.
- Leplat, J., Friberg, H., Abid, M. and Steinberg, C. 2012. Survival of *Fusarium graminearum*, the causal agent of Fusarium head blight. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **33**:97–111.
- Lew H., Chelkowski J., Wakulinski W., Edinger W. 1993. Moniliformin in wheat and triticale grain. *Mycotoxin Res.* 9: 66-71.
- Li, X., Michlmayr, H., Schweiger, W., Malachova, A., Shin, S., Huang, Y., Dong, Y., Wiesenberger, G., McCormick, S., Lemmens, M., Fruhmann, P., Hametner, C., Berthiller, F., Adam, G., Muehlbauer, G.J. 2017. A barley UDP-glucosyltransferase inactivates nivalenol and provides Fusarium head blight resistance in transgenic wheat. *Journal of Experimental Botany* 68: 2187-2197.
- Liu S. and Andreson J.A. 2003. Marker assisted selection of Fusarium head blight resistant wheat germplasm. *Crop Sci.* 43: 760-766.
- Lu, Q., Lillemo, M., Skjones, H., He, X., Shi, J., Ji, F., Dong, Y., Bjørnstad, A. 2013. Anther extrusion and plant height are associated with Type I resistance to Fusarium head blight in bread wheat line „Shanghai-3/Catbird”. *Theor. Appl. Genet.* 126: 317–34.
- Łukanowski, A., Lenc, L. and Sadowski, C. 2008. First report on the occurrence of *Fusarium langsethiae* isolated from wheat kernels in Poland. *Plant Dis.* **92**:488-488.
- Malachova A., Z. Džuman, Z. Vepřiková, M. Vaclavíková, M. Zachariášová, J. Hajslova. 2011. Deoxynivalenol, Deoxynivalenol-3-glucoside and Enniatins: The Major Mycotoxins Found in Cereal-based Products on the Czech Market. *J. Agric. Food Chem.* 59 : 12990-12997.
- Marasas, W. F. O., Wehner, F. C., van Rensburg, S. J., and van Schalkwyk, D. J. 1981. Mycoflora of corn produced in human esophageal cancer areas in Transkei, southern Africa. *Phytopathology* 71: 792-796.
- Matthäus, K., Dänicke, S., Vahjen, W., Simon, O., Wang, J., Valenta, H., et al. 2004. Progression of mycotoxin and nutrient concentrations in wheat after inoculation with *Fusarium culmorum*. *Arch. Anim. Nutr.* 58:19–35
- McMullen. M.P., Jones R. and Gallenberg D. 1997. Scab of wheat and barley: a re-emerging disease of devastating impact. *Plant Dis.* 81: 1340-1348.
- Mesterházy A. 1983. Breeding wheat for resistance to *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum*. *Z. Pflanzenzüchtg.* 91: 295-311.
- Mesterházy A. 1987. Selection of head blight resistant wheats through improved seedling resistance. *Plant Breeding* 98: 25-36.
- Mesterházy A. 1995. Types and components of resistance to Fusarium head blight of wheat. *Plant Breed.* 114: 377-386.

- Mesterhazy A. 2001. Results in breeding for resistance against *Fusarium* head blight (FHB) in wheat. In S. Canty et al. (eds) Proceedings of the 2001 National Fusarium Head Blight Forum. Kinko's, Okemos, MI.
- Mesterhazy A. 2002. Theory and practice of the breeding for *Fusarium* head blight resistance in wheat. *J. Appl. Genet* 43A: 289-302.
- Mesterhazy 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 Breeding* 118: 97-110.
- Mesterhazy A., Bartok T. 1993. Resistance and pathogenicity influencing toxin (DON) contamination of wheat varieties following *Fusarium* infection. *Hod. Rośl. Aklim. Nasien. (Special Edition)* 37(3): 9-16.
- Mesterházy, A., Bartok, T. 1996. Control of *Fusarium* head blight of wheat by fungicides and its effect in the toxin contamination of the grains. *Pflanzenschutz Nachrichten Bayer* 49:187-205.
- Mesterhazy, A., Toth, B. and Kaszonyi, G. 2006. Sources of “environmental interactions” in phenotyping and resistance evaluation ways to neutralize them. In: Ban T, Lewis JM, Phipps EE. (eds) The global *Fusarium* initiative for international collaboration – strategic planning workshop held at CIMMYT. El Batan, Mexico, 14–17 March 2006, pp 84-92.
- Mesterházy, A., Tóth, B., Bartók, T. and Varga, M. 2008. Breeding strategies against FHB in winter wheat and their relation to type I resistance. *Cereal Res. Commun.* **36**:37–43.
- Mesterházy. A. 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., Moldovan M., Ittu M. 2003. Comparison of spray and point inoculation to assess resistance to *Fusarium* head blight in multienvironment wheat trial. *Phytopathology* 93: 1068-1072.
- Miedaner, T. and Perkowski, J. 1996. Correlations among *Fusarium culmorum* head blight resistance, fungal colonization and mycotoxin contents in winter rye. *Plant Breed* **115**: 347-351.
- Miedaner, T. and Reinbrecht, C. 2001. Trichothecene content of rye and wheat genotypes inoculated with a deoxynivalenol-and a nivalenol-producing isolate of *Fusarium culmorum*. *J. Phytopathol.* **251**:245–251.
- Miedaner, T. and Voss, H. H. 2008. Effect of dwarfing *Rht* genes on *Fusarium* head blight resistance in two sets of near-isogenic lines of wheat and check cultivars. *Crop Sci.* **48**:2115–2122.
- Miedaner, T., Heinrich, N., Schneider, B., Oettler, G., Rohde, S., and Rabenstein, F. 2004. Estimation of deoxynivalenol (DON) content by symptom rating and exoantigen content for resistance selection in wheat and triticale. *Euphytica.* 139:123–132.
- Miedaner, T., Reinbrecht, C., Lauber, U., Schollenberger, M., and Geiger, H. H. 2001. Effects of genotype and genotype-environment interaction on deoxynivalenol accumulation and resistance to *Fusarium* head blight in rye, triticale, and wheat. *Plant Breed.* 120:97–105
- Miedaner, T., Wilde, F., Steiner, B., Buerstmayr, H., Korzun, V., and Ebmeyer, E. 2006. Stacking quantitative trait loci (QTL) for *Fusarium* head blight resistance from non-adapted sources in an European elite spring wheat background and assessing their effects on deoxynivalenol (DON) content and disease severity. *Theor. Appl. Genet.* 112:562–569.
- Miedaner, T., Würschum, T., Maurer, H. P., Korzun, V., Ebmeyer, E. and Reif, J. C. 2010. Association mapping for *Fusarium* head blight resistance in European soft winter wheat. *Mol. Breed.* **28**:647–655.
- Miller J.D. 2008. Mycotoxins in small grains and maize: old problems, new challenges. *Food Addit. Contam.* **25**:219–230.

- Miller, J. D. 1994. Epidemiology of *Fusarium* ear diseases of cereals. In: *Mycotoxins in Grain: Compounds Other than Aflatoxins*; Miller, J.D.; Trenholm, H.L., Eds.; Eagan Press, St Paul, MN, USA, 1994; pp. 19-36.
- Miller, J. D. and Arnison, P. G. 1986. Degradation of deoxynivalenol by suspension cultures of the *Fusarium* head blight resistant wheat cultivar Frontana. *Can. J. Plant. Pathol.* **8**:147-150.
- Miller, J.D., Greenhalgh, R., Wang, Y.Z., and Lu, M. 1991. Trichothecene chemotypes of three *Fusarium* species. *Mycologia* **83**: 121-130.
- Milus E.A., Parsons C.E. 1994. Evaluation of foliar fungicides for controlling fusarium head blight of wheat. *Plant Dis.* **78**: 697-699.
- Moradi, M., Oerke, E. C., Steiner, U., Tesfaye, D., Schellander, K., & Dehne, H. W. 2010. Microbiological and SYBR green real-time PCR detection of major *Fusarium* head blight pathogens on wheat ears. *Microbiology*, **79**: 655–663.
- Müller, H.-M., and Schwadorf, K. 1993. A survey of the natural occurrence of *Fusarium* toxins in wheat grown in southwestern area of Germany. *Mycopathologia* **121**: 115-121.
- Nicholson, P., Bayles, R. and Jennings, P. 2008. Understanding the basis of resistance to *Fusarium* head blight in UK winter wheat (REFAM). Project Report No. 432; HGCA Agriculture and Horticulture Development Board, Stoneleigh Park, Kenilworth, Warwickshire, UK.
- Nicolaisen, M., Suproniene, S., Nielsen, L. K., Lazzaro, I., Spliid, N. H., and Justesen, A. F. 2009. Real time PCR for quantification of eleven individual *Fusarium* species in cereals. *J. Microbiol. Methods* **76**:234-240.
- Nielsen, L. K., Jensen, J. D., Nielsen, G. C., Jensen, J. E., Spliid, N. H., Thomsen, I. K., Justesen, A. F., Collinge, D. B., and Jørgensen, L. N. 2011. *Fusarium* head blight of cereals in Denmark: Species complex and related mycotoxins. *Phytopathology* **101**:960-969.
- Nielsen, L. K., Jensen, J. D., Rodríguez, A., Jørgensen, L. N. and Justesen, A. F. 2012. *TRI12* based quantitative real-time PCR assays reveal the distribution of trichothecene genotypes of *F. graminearum* and *F. culmorum* isolates in Danish small grain cereals. *Int. J. Food Microbiol.* **157**: 384–92.
- Oettler, G., and Wahle, G. 2001. Genotypic and environmental variation of resistance to head blight in triticale inoculated with *Fusarium culmorum*. *Plant Breed.* **120**:297–300.
- Oettler, G., Heinrich, N., and Miedaner, T. 2004. Estimates of additive and dominance effects for *Fusarium* head blight resistance of winter triticale. *Plant Breed.* **123**:525–530.
- 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.
- Paack, D., Jackowiak, H., Góral, T., Wiwart, M., and Perkowski, J. 2008. Scanning electron microscopy of *Fusarium*-infected kernels of winter triticale (x *Triticosecale* Wittmack). *Seed Sci. Biotechnol.* **2**: 27–31.
- Palacios, S.A., Erazo, J.G., Ciasca, B., Lattanzio, V.M.T., Reynoso, M.M., Farnochi, M.C., Torres, A.M. 2017. Occurrence of deoxynivalenol and deoxynivalenol-3-glucoside in durum wheat from Argentina. *Food Chemistry*, **230**: 728–734.
- Palcinta C.M., D'Mello J.P.F., Macdonald A.M.C. 1999. A review of worldwide contamination of cereal grains and animal feed with *Fusarium* mycotoxins. *Animal Feed Sci. Technol.* **78**: 21-37.
- Parry D.W., Jenkinson P. and McLeod L. 1995. *Fusarium* ear blight (scab) in small grain cereals -a review. *Plant Pathol.* **44**: 207-238.
- Perkowski J. 1999. Badania zawartości toksyn fuzaryjnych w ziarnie zbóż. *Rocz. Akademii Roln. w Poznaniu, Rozprawy Naukowe, Zeszyt 295*, ss. 136.
- 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., Kiecana, I., Stachowiak, J. and Basiński, T. 2003. Natural occurrence of scirpentriol in cereals in infected by *Fusarium* species. *Food Addit. Contam.* **20**: 572-578.
- Perkowski, J., Plattner, R. D., Goliński, P., Vesonder, R. F., and Chełkowski, J. 1990. Natural occurrence of deoxynivalenol, 3-acetyl-deoxynivalenol, 15-acetyl-deoxynivalenol, nivalenol, 4,7-dideoxynivalenol and zearalenone in Polish wheat. *Mycotoxin Res.* **6**: 7-12.
- Perkowski, J., Stachowiak, J., Kiecana, I., Goliński, P. and Chełkowski, J. 1997. Natural occurrence of *Fusarium* mycotoxins in Polish cereals. *Cereal Res. Commun.* **25**: 379-380.
- Perkowski, J., Wiwart, M., Buśko, M., Laskowska, M., Berthiller, A., Kandler, S., Krska, R., 2007. *Fusarium* toxins and total fungal biomass indicators in naturally contaminated wheat samples from north-eastern Poland in 2003. *Food Additiv Contam.* **24**(11), 1292-1298.
- Pinson-Gadais, L., Barreau, C., Chaurand, M., Gregoire, S., Monmarson, M., Richard-Forget, F. 2007. Distribution of toxigenic *Fusarium* spp. and mycotoxin production in milling fractions of durum wheat, *Food Additives & Contaminants: Part A*, **24**: 53 — 62.
- Proctor, R. H., Hohn, T. M., and McCormick, S. P. 1995. Reduced virulence of *Gibberella zeae* caused by disruption of a trichothecene toxin biosynthetic gene. *Mol. Plant-Microbe Interact.* **8**:593–601.
- Rasmussen, P. H.; Nielsen, K. F.; Ghorbani, F.; Spliid, N. H.; Nielsen, G. C.; Jørgensen, L. N. Occurrence of different trichothecenes and deoxynivalenol-3-β-D-glucoside in naturally and artificially contaminated Danish cereal grains and whole maize plants. *Mycotoxin Res.* **2012**, **28**, 181–90.
- Riley R.T., Norred W.P., Bacon C.W. 1993. Fungal toxins in food. Recent concerns. *Annu. Rev. Nutr.* **13**: 167-189.
- Ruan Yuefeng, André Comeau, François Langevin, Pierre Hucl, John M. Clarke, Anita Brule-Babel, Curtis J. Pozniak. 2012. Identification of novel QTL for resistance to *Fusarium* head blight in a tetraploid wheat population. *Genome* **55**: 853–864.
- Ruckenbauer P., Buerstmayr H., Lemmens M. 2001. Present strategies in resistance breeding against scab (*Fusarium* spp.). *Euphytica* **119**: 121-127.
- Rudd J.C., Horsley R.D., McKendry A.L. and Elias E.M. 2001. Host plant resistance genes for *Fusarium* head blight: I. Sources, mechanisms, and utility in conventional breeding systems. *Crop Sci.* **41**: 620-627.
- Saur, L. 1991. Sources of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* in bread wheat and related species. *Agronomie* **11**:535-541. (in French)
- Schmeitzl, C.; Warth, B.; Fruhmann, P.; Michlmayr, H.; Malachová, A.; Berthiller, F.; Schuhmacher, R.; Krska, R.; Adam, G. The metabolic fate of deoxynivalenol and its acetylated derivatives in a wheat suspension culture: identification and detection of DON-15-O-glucoside, 15-acetyl-DON-3-O-glucoside and 15-acetyl-DON-3-sulfate. *Toxins* **2015**, **7**, 3112–3126.
- Schmolke, M., Zimmermann, G., Schweizer, G., Miedaner, T., Korzun, V., Ebmeyer, E. and Hartl, L. 2008. Molecular mapping of quantitative trait loci for field resistance to *Fusarium* head blight in a European winter wheat population. *Plant Breed.* **127**:459–464
- Schollenberger, M., Drochner, W. and Müller, H.-M. 2007. *Fusarium* toxins of the scirpentriol subgroup: a review. *Mycopathologia* **164**:101–18.
- Schollenberger, M., Mueller, H. M., Ruefle, M., Suchy, S., Plank, S. and Drochner, W. 2006. Natural occurrence of 16 *Fusarium* toxins in grains and feedstuffs of plant origin from Germany. *Mycopathologia* **161**:43-52.
- Schroeder H.W. and Christiansen J.J. 1963. Factors affecting resistance of wheat to scab caused by *Gibberella zeae*. *Phytopathology* **53**: 831-838.
- Schuster, R. and Ellner, F. M. 2008. Level of *Fusarium* infection in wheat spikelets related to location and number of inoculated spores. *Mycotoxin Res.* **24**:80–87.
- Scott D.B., De Jager E.J.H., Van Wyk P.S. 1988. Head blight of irrigated wheat in South Africa.

- Phytophylactica 20: 317-319.
- Shen X., Ittu M. and Ohm H.W. 2003. Quantitative trait loci conditioning resistance to *Fusarium* head blight in winter wheat line F201R. *Crop Sci.* 43: 850-857.
- Shen, X. R., and H. Ohm, 2007: Molecular mapping of *Thinopyrum*-derived *Fusarium* head blight resistance in common wheat. *Mol. Breed.* 20, 131—140.
- Shen, X. R., L. R. Kong, and H. Ohm, 2004: *Fusarium* head blight resistance in hexaploid wheat (*Triticum aestivum*)-*Lophopyrum* genetic lines and tagging of the alien chromatin by PCR markers. *Theor. Appl. Genet.* 108, 808—813.
- Simpson D.R., Weston G.E., Turner J.A., Jennings P., Nicholson P. 2001. Differential control of head blight of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *Eur. J. Plant. Path.* 107: 421-431.
- Singh, A. K., Knox, R. E., Clarke, F. R., Clarke, J. M., Somers, D. J., Fedak, G., Singh, A. and DePauw, R. 2008. *Fusarium* head blight QTL mapping in durum wheat and *Triticum carthlicum* sources of resistance. 11th International Wheat Genetics Symposium. 24-29 August 2008. Brisbane, Queensland, Australia.
- Singh, R.P., H. Ma. & S. Rajaram, 1995. Genetic analysis of resistance to scab in spring wheat cultivar Frontana. *Plant Dis* 79: 238-240.
- Siou, D., Gélisse, S., Laval, V., Elbelt, S., Repinçay, C., Bourdat-Deschamps, M., et al. 2015. Interactions between head blight pathogens: consequences for disease development and toxin production in wheat spikes. *Appl. Environ. Microbiol.* 81:957–65
- Siou, D., Gélisse, S., Laval, V., Repinçay, C., Canalès, R., Suffert, F., et al. 2014. Effect of wheat spike infection timing on *Fusarium* head blight development and mycotoxin accumulation. *Plant Pathol.* 63:390–399.
- Skadhauge, B., Thomsen, K. K. and Wettstein, D. von. The role of the barley testa layer and its flavonoid content in resistance to *Fusarium* infections. *Hereditas* 126: 147-160.
- Skinnes, H., Semagn, K., Tarkegne, Y., Marøy, A. G., Bjørnstad, Å. 2010. The inheritance of anther extrusion in hexaploid wheat and its relationship to *Fusarium* head blight resistance and deoxynivalenol content. *Plant Breed.* 129: 149–155.
- Snijders C.H.A. 1990a. Diallel analysis of resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum* in winter wheat. *Euphytica* 50: 1-9.
- Snijders C.H.A. 1990b. Genetic variation for resistance to *Fusarium* head blight in bread wheat. *Euphytica* 50: 171-179.
- 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.
- Snijders, C. H. A. and Kretching, C. F. 1992. Inhibition of deoxynivalenol translocation and fungal colonization in *Fusarium* head blight resistant wheat. *Can. J. Bot.* 70:1570-1576.
- Snijders, C.H.A. 1990c. Response to selection in F₂ generations of winter wheat for resistance to head blight caused by *Fusarium culmorum*. *Euphytica* 50: 163-169.
- Sobrova, P., Adam, V., Vasatkova, A., Beklova, M., Zeman, L., and Kizek, R. 2010. Deoxynivalenol and its toxicity. *Interdiscip. Toxicol.* 3:94–9.
- Somers D.J., Fedak G., Savard M. 2003. Molecular mapping of novel genes controlling *Fusarium* head blight resistance and deoxynivalenol accumulation in spring wheat. *Genome* 46: 555-564.
- Somers, D. J., Fedak, G., and Savard, M. 2003. Molecular mapping of novel genes controlling *Fusarium* head blight resistance and deoxynivalenol accumulation in spring wheat. *Genome.* 46:555–64
- Somers, D.J., Fedak, G., Clarke, J., and Cao, W.G. 2006. Mapping of FHB resistance QTLs in tetraploid wheat. *Genome*, 49: 1586 – 1593.

- Srinivasachary, Gosman, N., Steed, A., Hollins, T. W., Bayles, R., Jennings, P. and Nicholson, P. 2009. Semi-dwarfing *Rht-B1* and *Rht-D1* loci of wheat differ significantly in their influence on resistance to Fusarium head blight. *Theor. Appl. Genet.* **118**:695–702.
- Stack R.W., Froberg R.C., Casper H. 1997. Reaction of spring wheats incorporating Sumai#3-derived resistance to inoculation with seven *Fusarium* species. *Cereal Res. Comm.* 25: 667-671.
- Steiner, B., Buerstmayr, M., Michel, S., Schweiger, W., Lemmens, M., Buerstmayr, H. 2017. Breeding strategies and advances in line selection for Fusarium head blight resistance in wheat. *Tropical Plant Pathology* 42:165–174.
- Stenglein, S. A. 2009. *Fusarium poae*: a pathogen that needs more attention. *J. Plant Pathol.* **91**:25–36.
- Stępień, Ł., Mohler, V., Bocianowski, J. and Koczyk, G. 2007. Assessing genetic diversity of Polish wheat (*Triticum aestivum*) varieties using microsatellite markers. *Genet. Res. Crop Evol.* **54**:1499-1506
- Stępień, Ł., Popiel, D., Koczyk, G. and Chelkowski, J. 2008. Wheat-infecting *Fusarium* species in Poland—their chemotypes and frequencies revealed by PCR assay. *J. Appl. Genet.* **49**:433–441.
- Strange, R.N., Majer, J.R., Smith, H. 1974. The isolation and identification of choline and betaine as the two major components in anthers and wheat germ that stimulate *Fusarium graminearum* in vitro. *Physiol. Plant Pathol.* 4: 277–290.
- Strange, R.N., Smith, H. 1971. A fungal growth stimulant in anthers which predisposes wheat to attack by *Fusarium graminearum*. *Physiol. Plant Pathol.* 1: 141–150.
- Sydenham, E.W., Marasas, W.F.O., Shephard, G.S., Thiel, P.G., and Hirooka, E.Y. 1992. Fumonisin concentration in Brazilian feeds associated with field outbreaks of confirmed and suspected animal mycotoxicoses. *J. Agric. Food Chem.* 40: 994-997.
- Talas, F., Longin, F., Miedaner, T. 2011. Sources of resistance to Fusarium head blight within Syrian durum wheat landraces. *Plant Breeding* 130: 398-400.
- Tamburic-Ilincic, L., Falk, D. and Schaafsma, A. 2011. *Fusarium* ratings in Ontario Winter Wheat Performance Trial (OWWPT) using an index that combines Fusarium head blight symptoms and deoxynivalenol levels. *Czech. J. Genet. Plant Breed.* **47**:S115—S122.
- Tanaka, T., Hasegawa, A., Yamamoto, S., Lee, U.-S., Sugiura, Y., and Ueno, Y. 1988. Worldwide contamination of cereals by the *Fusarium* mycotoxins nivalenol, deoxynivalenol, and zearalenone. 1. Survey of 19 countries. *J. Agric. Food Chem.* 36: 979-983.
- Thrane, U., Adler, A., Clasen, P.-E., Galvano, F., Langseth, W., Lew, H., Logrieco, A., Nielsen, K. F. and Ritieni, A. 2004. Diversity in metabolite production by *Fusarium langsethiae*, *Fusarium poae*, and *Fusarium sporotrichioides*. *Int. J. Food Microbiol.* **95**:257–66.
- Tóth, B., Kaszonyi, G., Bartok, T., Varga, J. and Mesterhazy, A. 2008. Common resistance of wheat to members of the *Fusarium graminearum* species complex and *F. culmorum*. *Plant Breed.* **127**:1–8.
- Tundo, S., Janni, M., Moschetti, I., Mandalà, G., Savatin, D., Blechl, A., Favaron, F. & D'Ovidio, R. (2016) PvPGIP2 accumulation in specific floral tissues, but not in the endosperm, limits *Fusarium graminearum* infection in wheat. *Molecular Plant-Microbe Interactions* : MPMI, 29, 815–821.
- Van Ginkel M., Gilchrist L. 2002. How to make intelligent crosses to accumulate Fusarium head blight resistance genes based on knowledge of the underlying resistance mechanisms. In Ward R.W. et al. in. (ed.) Proc. of the 2002 National Fusarium Head Blight Forum, Erlanger, KY. 7-9 Dec. 2002. Michigan State University, East Lansing, MI, USA
- Van Ginkel, M., Van der Schaar W., Yang Z.P., Rajaram S. 1996. Inheritance of resistance to scab in two cultivars from Brazil and China. *Plant Dis* 80: 863 867.
- Veitch, R. S., Caldwell, C. D., Martin, R. a., Lada, R., Salmon, D., Anderson, D. M., et al. 2008. Susceptibility of winter and spring triticales to fusarium head blight and deoxynivalenol accumulation. *Can. J. Plant Sci.* 88:783–788.

- Vijayakumar C., Wolf-Hall C., Manthey F. 2005. *Fusarium* infection, DON content and microbial loads in durum wheat from the Northern Plains: 2001-2004. In: Canty, S.M., Lewis, J., Siler, L. and Ward, R.W (Eds.), Proceedings of the National Fusarium Head Blight Forum; 2002 Dec 7-9; Erlanger, KY. East Lansing: Michigan State University, pp. 181.
- Vogelgsang, S., Sulyok, M., Hecker, A., Jenny, E., Krska, R., Schuhmacher, R. and Forrer, H.-R. 2008. Toxigenicity and pathogenicity of *Fusarium poae* and *Fusarium avenaceum* on wheat. *Eur. J. Plant Pathol.* **122**:265–276.
- Voss, H.-H., Holzapfel, J., Hartl, L., Korzun, V., Rabenstein, F., Ebmeyer, E., Coester, H., Kempf, H. and Miedaner, T. 2008. Effect of the *Rht-D1* dwarfing locus on Fusarium head blight rating in three segregating populations of winter wheat. *Plant Breed.* **127**:333–339.
- Wagacha, J. M., and Muthomi, J. W. 2007. *Fusarium culmorum*: Infection process, mechanisms of mycotoxin production and their role in pathogenesis in wheat. *Crop Prot.* **26**:877–885.
- Wakuliński W., Chełkowski J. 1993. *Fusarium* species causing scab of wheat, rye and triticale in Poland. *Hod. Rośl. Aklim. Nasien.* (Special Edition) **37**(4):137-142.
- Waldron B. L., Moreno-Sevilla B., Anderson J. A., Stack R. W. and Froberg R. C. 1999. RFLP mapping of QTL for Fusarium Head Blight resistance in wheat. *Crop Sci.* **39**: 805-811.
- Wang, Y. Z. and Miller, J. D. 1988. Screening techniques and sources of resistance to Fusarium head blight. In: Klatt, A. R. (ed) Wheat production constraints in tropical environments. CIMMYT, Mexico, DF, 1988, pp 239–250.
- Warth, B., Fruhmann, P., Wiesenberger, G., Kluger, B., Sarkanj, B., Lemmens, M., Hametner, C., Fröhlich, J., Adam, G., Krska, R., Schuhmacher, R. 2015. Deoxynivalenol-sulfates: identification and quantification of novel conjugated (masked) mycotoxins in wheat. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, **407**: 1033–1039.
- Waśkiewicz, A., Morkunas, I., Bednarski, W., Mai, V. C., Formela, M., Beszterda, M., et al. 2014. Deoxynivalenol and oxidative stress indicators in winter wheat inoculated with *Fusarium graminearum*. *Toxins* **6**:575–91.
- Winter, M., Koopmann, B., Döll, K., Karlovsky, P., Kropf, U., Schlüter, K., and von Tiedemann, A. 2013. Mechanisms regulating grain contamination with trichothecenes translocated from the stem base of wheat (*Triticum aestivum*) infected with *Fusarium culmorum*. *Phytopathology* **103**:682-689.
- Wiśniewska, H. and Kowalczyk, K. 2005. Resistance of cultivars and breeding lines of spring wheat to *Fusarium culmorum* and powdery mildew. *J. Appl. Genet.* **46**:35–40.
- Wong L.S.L., Tekauz A., Leisle D., Abramson D., McKenzie R.I.H. 1992. Prevalence, distribution and importance of fusarium head blight in wheat in Manitoba. *Can. J. Plant. Path.* **14**: 233-238.
- Xu, X. M., Monger, W., Ritieni, A. and Nicholson, P. 2007. Effect of temperature and duration of wetness during initial infection periods on disease development, fungal biomass and mycotoxin concentrations on wheat inoculated with single, or combinations of, *Fusarium* species. *Plant Pathol.* **56**:943–956.
- Xue, S., Li, G., Jia, H., Xu, F., Lin, F., Tang, M., Wang, Y., An, X., Xu, H., Zhang, L., Kong, Z., Ma, Z. 2010. Fine mapping *Fhb4*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor. Appl. Genet.* **121**: 147–156.
- Xue, S., Xu, F., Tang, M., Zhou, Y., Li, G., An, X., Lin, F., Xu, H., Jia, H., Zhang, L., Kong, Z., Ma, Z. 2011. Precise mapping *Fhb5*, a major QTL conditioning resistance to *Fusarium* infection in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Theor Appl Genet.* **123**: 1055–63.
- Yan, W., Li, H. B., Cai, S. B., Ma, H. X., Rebetzke, G. J. and Liu, C. J. 2011. Effects of plant height on type I and type II resistance to *Fusarium* head blight in wheat. *Plant Pathol.* **60**:506–512.
- Yao J., Ge Y., Wang S., Yao G., Zhou C. and Qian C. 1997. Chromosomal location of genes for scab resistance in wheat cultivar Sumai 3. *Acta Agron. Sinica* **23**: 450-453.
- Yoshida, M., and Nakajima, T. 2010. Deoxynivalenol and nivalenol accumulation in wheat infected

with *Fusarium graminearum* during grain development. *Phytopathology*. 100:763–73.

Zhang, X.L., Shen, X.R., Hao, Y.F., Cai, J.J., Herbert, W., Ohm, H.W., Kong, L.R., 2011. A genetic map of *Lophopyrum ponticum* chromosome 7E, harboring resistance genes to *Fusarium* head blight and leaf rust. *Theor. Appl. Genet.* 122: 263-270.

Zhou W.-C., Kolb F.L., Bai G.-H., Shaner G.E. and Domier L.L. 2002. Genetic analysis of scab resistance QTL in wheat with microsatellite and AFLP markers. *Genome* 45: 719-727.

Zhou W.-C., Kolb F.L., Bai G.-H., Domier L.L., Boze L.K. and Smith N.J. 2003. Validation of a major QTL for scab resistance with SSR markers and use of marker-assisted selection in wheat. *Plant Breeding* 122: 40-46.

Zalecenie Komisji z dnia 17 sierpnia 2006 r. w sprawie zapobiegania występowaniu i ograniczania występowania toksyn *Fusarium* w zbożach i produktach zbożowych (2006/583/WE);. [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:234:0035:0040:PL:PDF>]

Rozporządzenie Komisji (WE) NR 1881/2006 z dnia 19 grudnia 2006 r. ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:364:0005:0024:PL:PDF>]

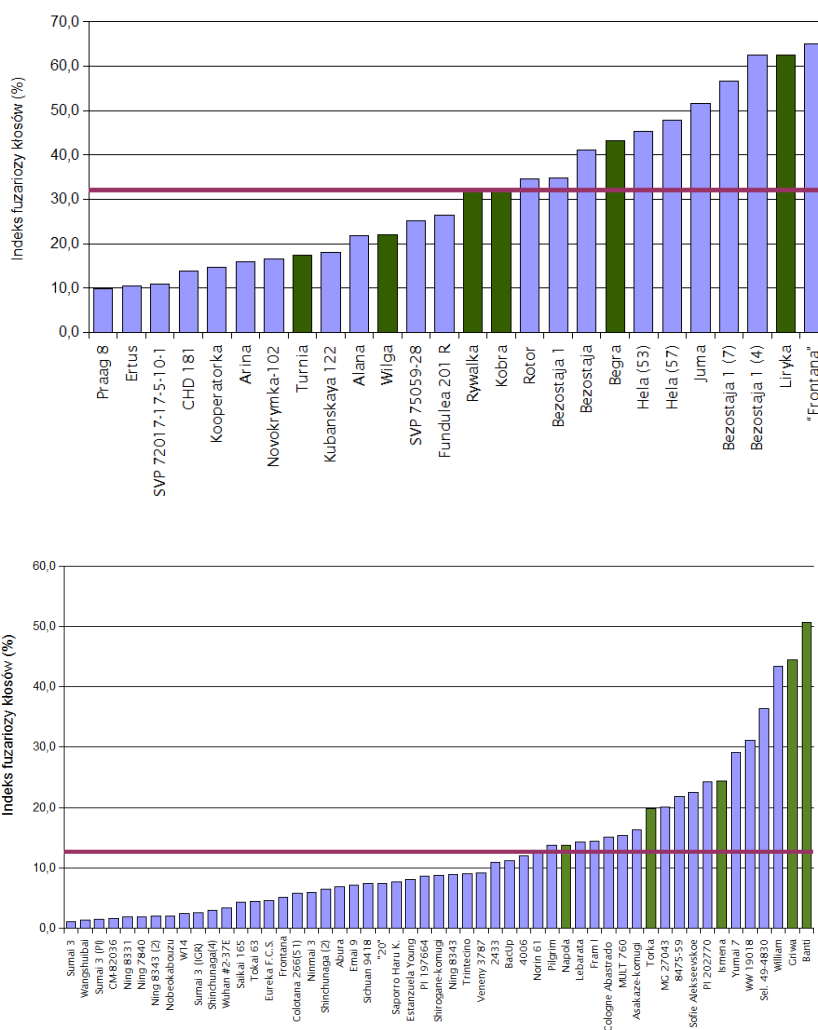
Rozporządzeniem Komisji (WE) NR 1126/2007 z dnia 28 września 2007 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006 ustalające najwyższe dopuszczalne poziomy niektórych zanieczyszczeń w środkach spożywczych w odniesieniu do toksyn *Fusarium* w kukurydzy i produktach z kukurydzy [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:255:0014:0017:PL:PDF>]

Zalecenie Komisji z dnia 27 marca 2013 r. w sprawie obecności toksyn T-2 i HT-2 w zbożach i produktach zbożowych (2013/165/UE) [<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:091:0012:0015:PL:PDF>].

4.5. Krótka charakterystyka publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

- 1) **Góral T.** 2005. Źródła odporności pszenicy na fuzariozę kłosa powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 235: 115 – 132.

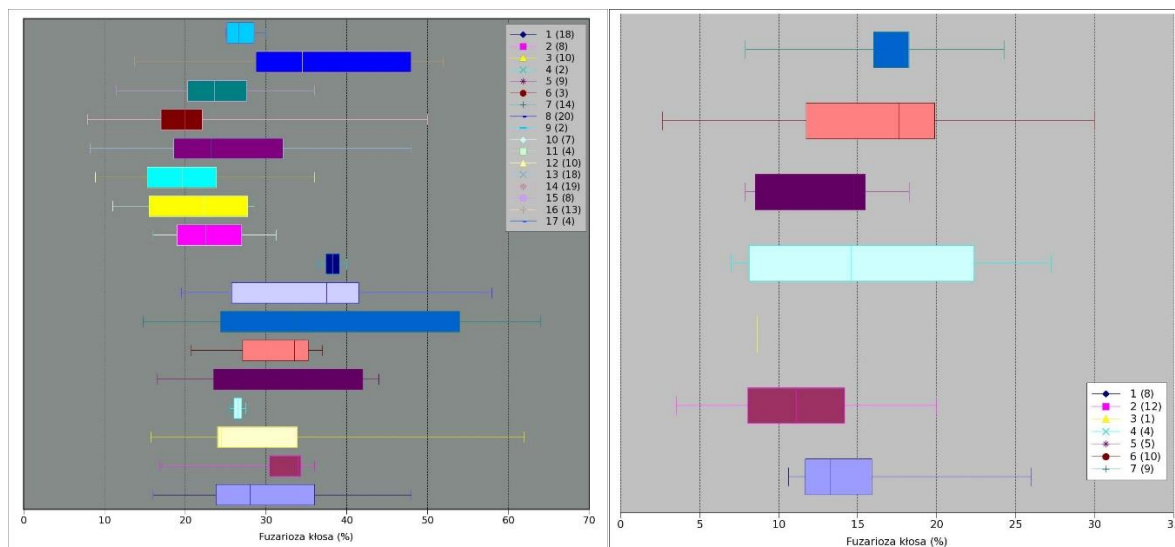
Badano odporność genotypów pszenicy ozimej i jarej na fuzariozę kłosów. Materiałem do badań były genotypy opisane w literaturze, jako źródła odporności na fuzariozę kłosów oraz genotypy, które mogą stanowić potencjalne, alternatywne źródła odporności. Kłosa pszenicy inokulowano zarodnikami *Fusarium culmorum* i oceniano nasilenie choroby oraz redukcję komponentów plonu. Uzyskane wyniki pozwoliły na zidentyfikowanie genotypów pszenicy ozimej i jarej o wysokiej odporności na fuzariozę kłosów oraz zweryfikowanie publikowanych danych w polskich warunkach. W grupie najodporniejszych genotypów znalazły się głównie genotypy pszenicy jarej pochodzące z Chin i Japonii, takie jak Sumai 3, Ning 8343, Ning 8331, Shinchunaga, Wangshuibai i W14. W grupie pszenic ozimych najwyższą odporność wykazały genotypy Praag 8, Novokrymka-102, SVP 72017-17-5-10-1. Zidentyfikowane najodporniejsze genotypy o najlepszych cechach agronomicznych, zostaną wykorzystane do ulepszania odporności polskich odmian pszenicy.



Odporność genotypów pszenicy ozimej (powyżej) i jarej (poniżej) na fuzariozę kłosów.

- 2) **Góral T.** 2006. Ocena odporności rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* oraz odporności pszenżyta ozimego na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*) w 2005 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 242: 79–88.

Badano odporność na fuzariozę kłosów rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego zakwalifikowanych do doświadczeń wstępnych na sezon 2004/2005. Kłosa pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego inokulowano izolatami *Fusarium culmorum*. Stwierdzono istotne zróżnicowanie podatności rodów pszenicy na fuzariozę kłosów oraz różnice pomiędzy rodami pochodzącymi z poszczególnych firm (programów) hodowlanych. Porażenie rodów pszenżyta było około dwukrotnie niższe niż pszenicy. Różniły się one istotnie pod względem odporności na fuzariozę kłosów. Wysokość roślin rodów pszenicy istotnie korelowała z nasileniem fuzariozy kłosów. Podobnej zależności nie obserwowano u rodów pszenżyta (tradycyjnych i krótkosłomych). Rody i odmiany pszenżyta wykazały zróżnicowanie odporności na mączniaka prawdziwego (*Blumeria graminis*). Obserwowano zarówno całkowitą odporność jak i skrajną podatność genotypów pszenżyta.

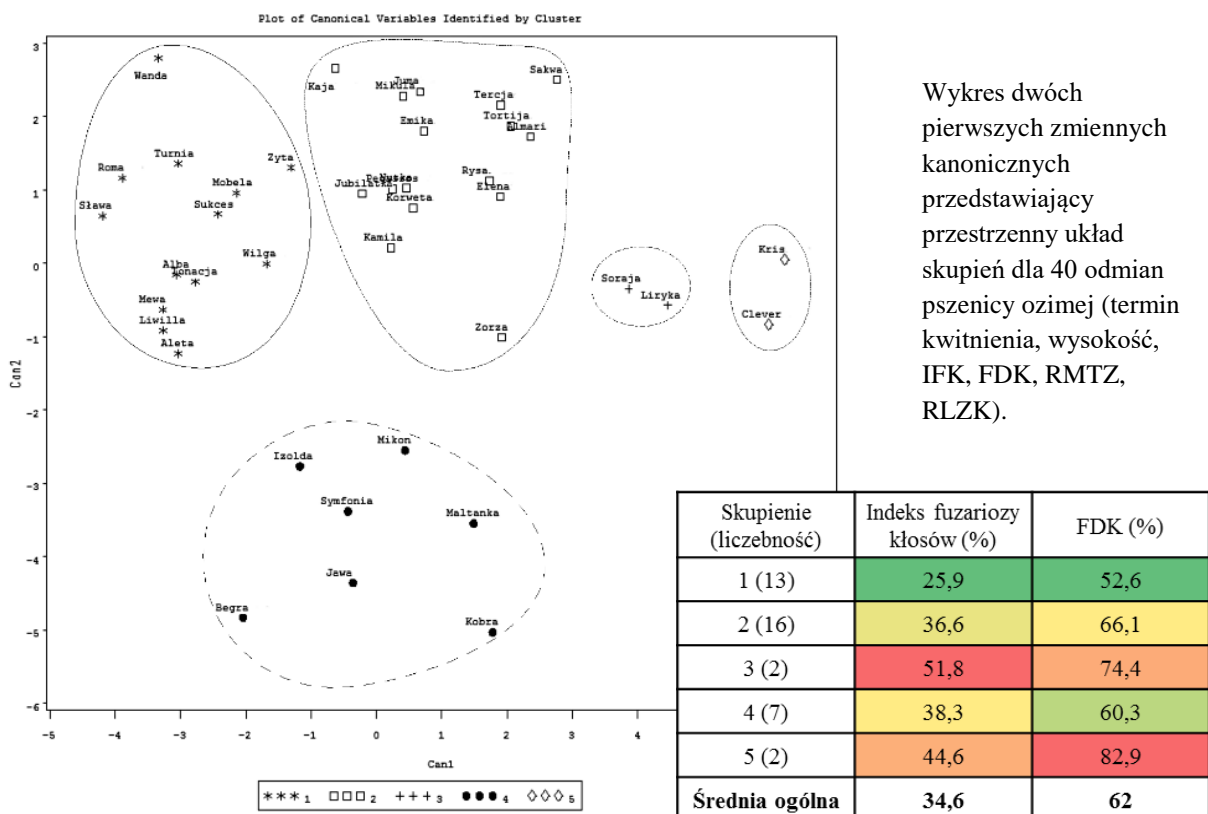


Charakterystyka odporności na fuzariozę kłosów grup rodów hodowlanych pszenicy ozimej (z lewej) i pszenżyta ozimego (z prawej) pochodzących z różnych firm hodowlanych badanych w ramach doświadczeń wstępnych. Początek numeracji od dołu wykresu, w nawiasach liczba rodów

- 3) **Góral T.** 2006. Odporność odmian pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* (W. G. Smith) Sacc. Biuletyn IHAR 242: 63-78.

Badano odporność 40 odmian pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów. Większość odmian znajduje się obecnie w Krajowym Rejestrze odmian. Badania prowadzono w latach 2002–2004 na polach doświadczalnych IHAR Radzików. Kłosa pszenicy ozimej inokulowano izolatami *Fusarium culmorum*. Oceniano stopień porażenia kłosa, porażenie ziarniaków oraz redukcję komponentów plonu. Większość odmian była podatna na fuzariozę kłosów, z tym, że wystąpiło znaczne zróżnicowanie tej cechy. Znalaziono zarówno odmiany o niskiej podatności na porażenie kłosa (np. Turnia, Alba, Tonacja, Liwilla), jak i liczne odmiany o bardzo wysokiej podatności (Liryka, Maltanka, Clever, Kris, Soraja). Część odmian podatnych (Begra, Kobra,

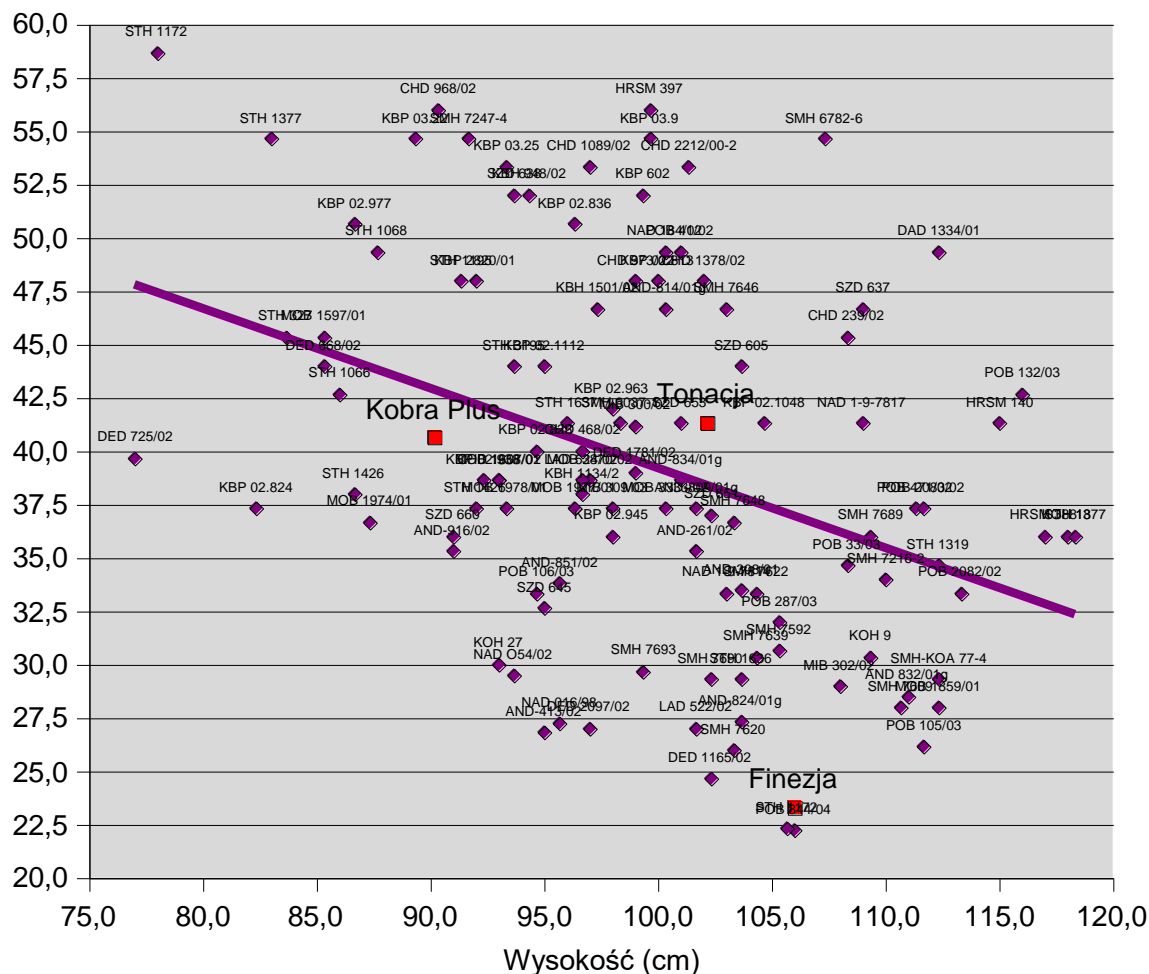
Symfonia) wykazała tolerancję na porażenie kłosa przejawiającą się średnim porażeniem ziarniaków i średnią redukcją plonu. Równocześnie wśród odmian o niskim porażeniu kłosa obserwowano odmiany o znacznym porażeniu ziarniaków (Liwilla, Sukces, Wilga). Termin kwitnienia i wysokość odmian pszenicy ozimej miały istotny wpływ na obserwowane nasilenie fuzariozy kłosów. Odmiany wyższe były z reguły słabiej porażane przez *F. culmorum* niż odmiany niskie. Część odmian niskich i średniej wysokości wykazała odchylenie od tej zależności (np. Symfonia, Izolda, Sukces, Tonacja, Alba), co wskazuje, że mogą one posiadać geny odporności na fuzariozę kłosów.



4) **Góral T.** 2007. Ocena odporności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów, pleśń śniegową i rdzę brunatną w Radzikowie w 2006 roku. Komunikat. Biuletyn IHAR 246: 31-44.

W sezonie 2005–2006 badano odporność na fuzariozę kłosów po inokulacji *F. culmorum* oraz pleśń śniegową (*M. nivale*) i rdzę brunatną (*P. recondita*) z infekcji naturalnej rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego z doświadczeń wstępnych. Stwierdzono istotne zróżnicowanie podatności rodów pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów oraz różnice pomiędzy rodami pochodzącymi z poszczególnych firm (programów) hodowlanych. Porażenie rodów pszenżyta było około 40% niższe niż pszenicy. Wysokość roślin u rodów pszenicy istotnie korelowała z nasileniem fuzariozy kłosów. Podobnej zależności nie obserwowano u rodów pszenżyta (tradycyjnych i krótkosłomych). Rody pszenicy i pszenżyta tradycyjnego wykazały średnią podatność na pleśń śniegową. Natomiast rody pszenżyta krótkosłomego były w większości

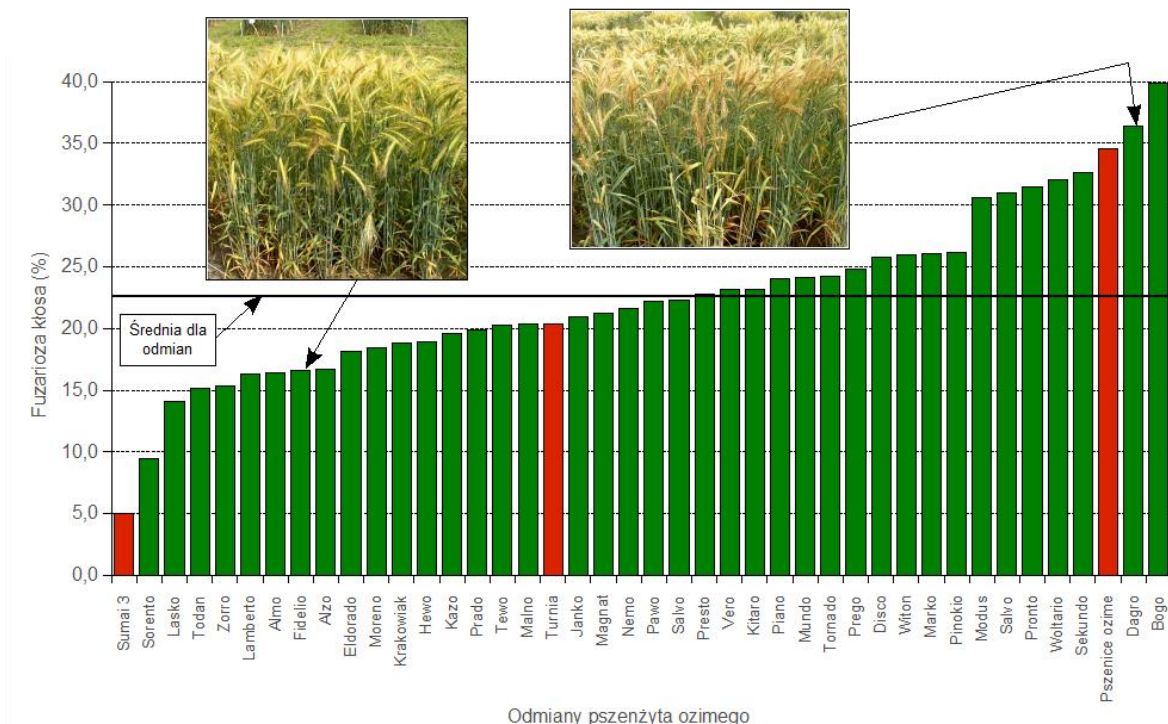
bardzo podatne na tę chorobę. Odporność rodów pszenżyta na rdzę brunatną była zróżnicowana. Około 25% rodów wykazało całkowitą odporność.



Zależność indeksu fuzariozy kłosów od wysokości ($r = -0,371$ $p < 0,01$) rodów pszenicy ozimej (doświadczenia wstępne, seria 1 i 2).

5) Góral T. 2009. Odporność odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. Biuletyn IHAR 254: 41-50.

Odporność 28 odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów badana była w doświadczeniach polowych w latach 2002–2004. Średnie nasilenie fuzariozy kłosów wyniosło 23,3%. Reakcja odmian mieściła się w zakresie 14,1–39,9%. Większość odmian porażana była słabo lub w średnim stopniu, natomiast 5 odmian porażanych było w stopniu istotnie wyższym od średniej. Współczynnik korelacji nasilenia fuzariozy kłosów z uszkodzeniem ziarniaków był istotny, natomiast nie obserwowano korelacji między nasileniem fuzariozy kłosów a redukcją komponentów plonu. Analiza stabilności wykazała stabilną reakcję 9 odmian na fuzariozę kłosów w ciągu 3 lat badań. Sześć odmian charakteryzowało się małą stabilnością reakcji, w tym jedna wykazała znaczny wzrost porażenia kłosa przy wzroście średniego nasilenia fuzariozy kłosów.

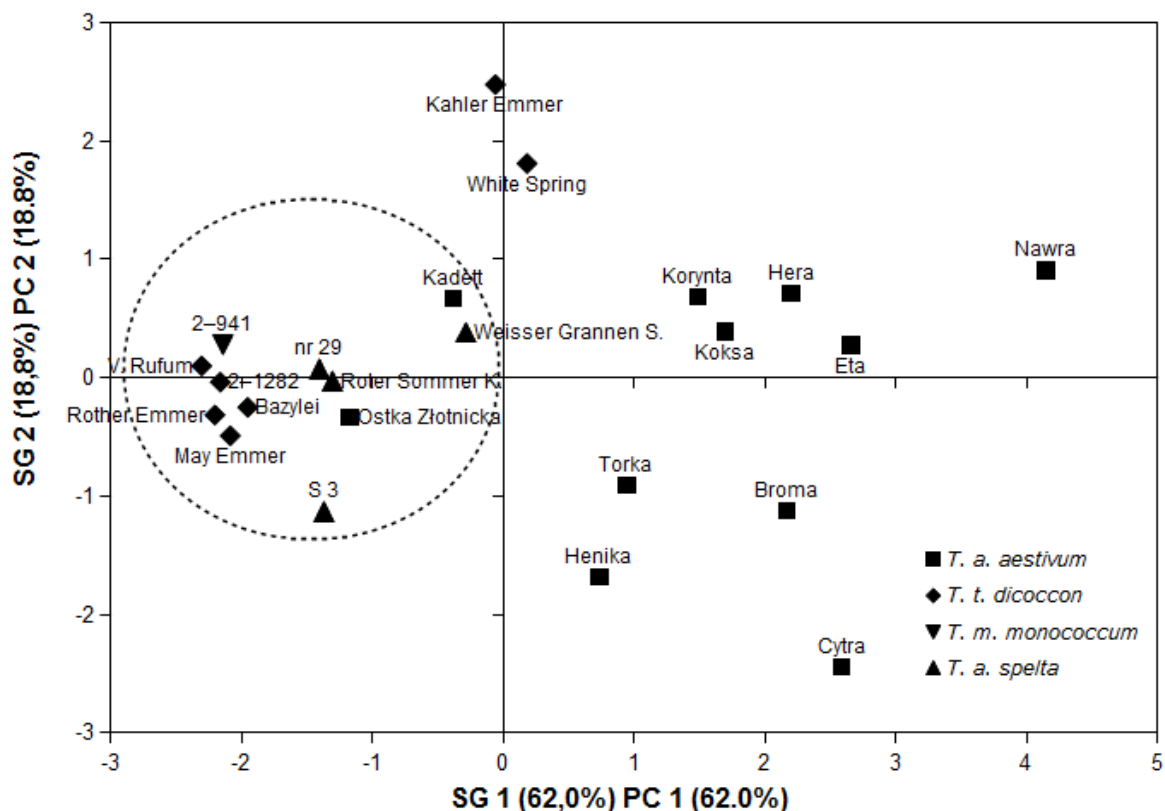


Reakcja 38 odmian pszenżyta ozimego na inokulację kłosów izolatami *Fusarium culmorum* w latach 2002 – 2004.

- 6) **Góral T., Ochodzki P., Bulińska-Radomska Z.** 2012. Odporność na fuzariozę kłosów powodowaną przez *Fusarium culmorum* i zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie gatunków zbóż jarych przeznaczonych do upraw ekologicznych. Biuletyn IHAR 263: 43-54.

Celem pracy było określenie odporności na fuzariozę kłosów odmian/genotypów zbóż jarych należących do rodzajów *Avena* (owies zwyczajny, owies nagi), *Hordeum* i *Triticum* (pszenica, orkisz, płaskurka, pszenica samopsza) oraz oznaczenie zawartości mikotoksyn fuzaryjnych (deoksyniwalenolu 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 mg/kg. W przypadku owsa porażeniu ulegało 26,5% wiech. Uszkodzenie ziarniaków było niskie i wyniosło 6,0%. Owies akumulował niewielkie ilości DON w ziarnie (0,44 mg/kg). Stwierdzono znaczne zróżnicowanie reakcji genotypów z rodzaju *Triticum* pod względem porażenia kłosa (1,0–34,7%), uszkodzenia ziarniaków (0,7–30,1%) oraz akumulacji deoksyniwalenolu w ziarnie (0,26–6,61 mg/kg).

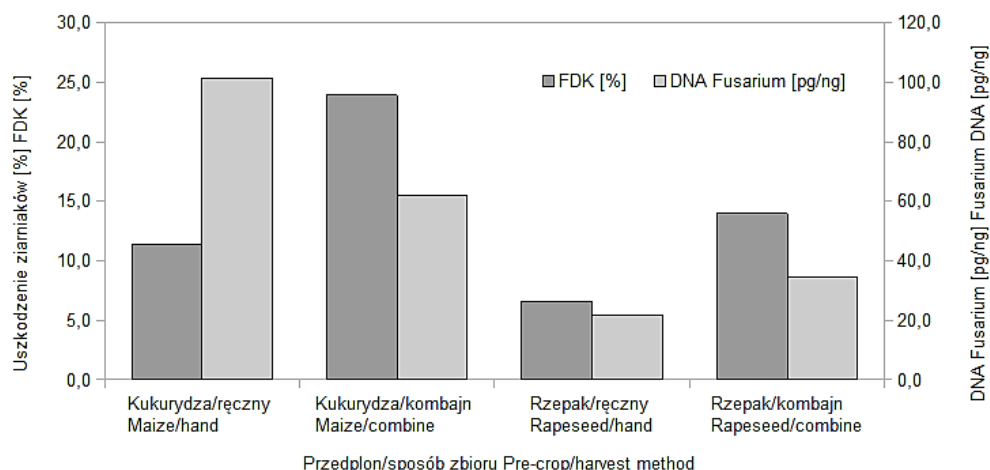
Wśród gatunków z rodzaju *Triticum* najwyższą odporność na fuzariozę kłosów i uszkodzenie ziarniaków wykazała płaskurka, najmniej deoksyniwalenolu w ziarnie akumulowały genotypy orkiszu. Współczesne odmiany pszenicy zwyczajnej wykazały wysoką podatność na fuzariozę kłosów i akumulację deoksyniwalenolu w ziarnie. Obserwowano również znaczne zróżnicowanie wewnątrzgatunkowe odporności pszenicy zwyczajnej, orkiszu i płaskurki. Zidentyfikowano formy odporne i średnio odporne na fuzariozę kłosów.



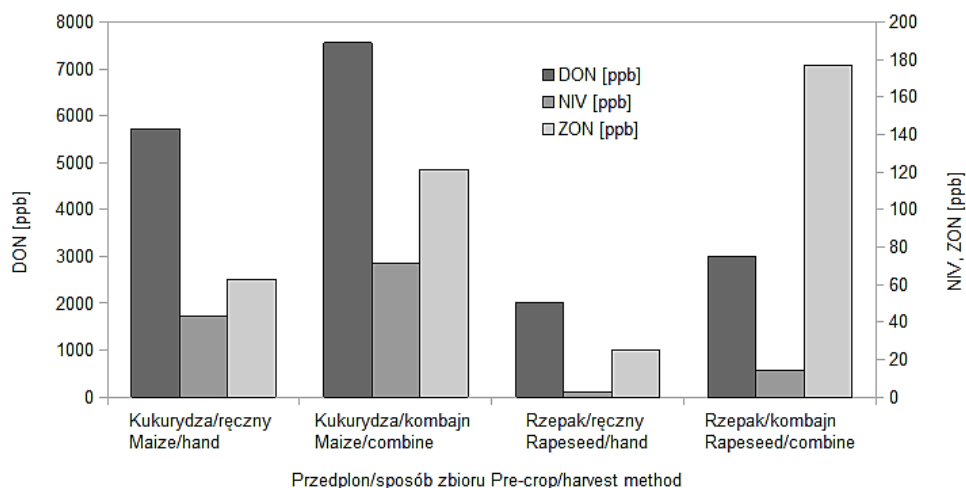
Genotypy z rodzaju *Triticum* przedstawione w układzie 2 składowych głównych wyjaśniających kolejno 62,0 i 18,8% zmienności odporności na fuzariozę kłosów mierzoną zmiennymi: indeks fuzariozy kłosów, uszkodzenie ziarniaków oraz zawartość DON w ziarnie w dwóch latach badań.

- 7) **Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Nielsen L.K., Justesen A.F., Jørgensen L.N.** 2012. Wpływ przedplonu oraz warunków pogodowych na porażenie kłosów pszenicy jarej przez grzyby z rodzaju *Fusarium* oraz zawartość mikotoksyn w ziarnie. *Biuletyn IHAR* 265: 11-21.

Badano wpływ przedplonu na nasilenie fuzariozy kłosów oraz zawartość mikotoksyn fuzaryjnych w ziarnie pszenicy jarej. Przedplon stanowiła kukurydza na ziarno oraz rzepak ozimy. W latach, w których wystąpiły warunki sprzyjające rozwojowi fuzariozy kłosów stwierdzono zwiększone nasilenie choroby na kłosach pszenicy wysianej po kukurydzy. Ziarno z tych stanowisk zawierało więcej DNA *Fusarium* oraz mikotoksyn fuzaryjnych w porównaniu do ziarna ze stanowiska po rzepaku. Dominującym sprawcą fuzariozy kłosów był gatunek *F. graminearum* (98% w 2009 i 47% w 2010 sumarycznego DNA *Fusarium*). Rozwój choroby na kłosach pszenicy oraz stężenie mikotoksyn w ziarnie były bardzo silnie uzależnione od warunków pogodowych. Opady oraz wilgotność względna powietrza w okresie kłoszenia i kwitnienia miała decydujący wpływ na wyniki uzyskane w ciągu 3 lat badań.



Uszkodzenie ziarniaków oraz zawartość DNA *Fusarium* w ziarnie pszenicy jarej Griwa w roku 2009

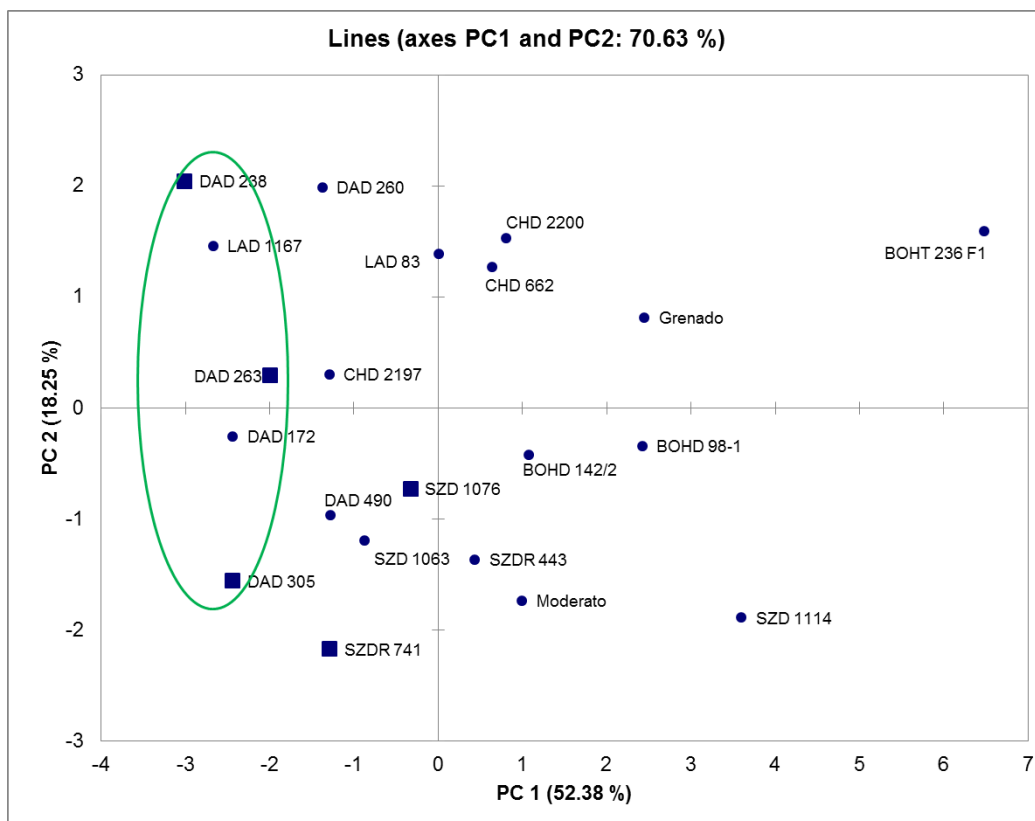


Zawartość deoksyniwalenolu (DON), niwalenolu (NIV) i zearalneonu (ZEA) w ziarnie pszenicy jarej Griwa w roku 2009.

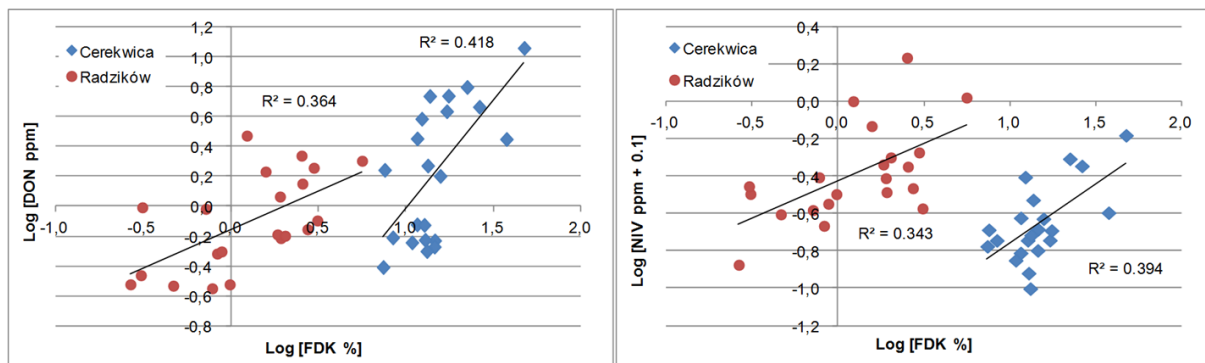
- 8) **Góral T.**, Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyn-Góral D., Kwiatek M. 2013. Reaction of winter triticale breeding lines to *Fusarium* head blight and accumulation of *Fusarium* metabolites in grain in two environments under drought conditions. *Cereal Research Communications* 41: 106-115.

Oceniano reakcję 19 rodów hodowlanych i dwóch odmian pszenżyta ozimego na fuzariozę kłosów. Linie zostały zasiane w doświadczeniu polowym w dwóch lokalizacjach – Radzików i Cerekwica. Kłosa pszenżyta były inokulowane mieszaniną izolatów *Fusarium culmorum*. Średnie nasilenie fuzariozy kłosów (FHB) w Radzików wahało się od 0 do 13,3% i było niższe niż w Cerekwicy (2,0–22,3%). Uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium* (FDK) było 10-krotnie wyższe w Cerekwicy niż w Radzikowie. FDK wahało się w granicach od 7,3 do 47,0% w

Cerekwicy i od 0,3 do 5,6% w Radzikowie. Różnice pomiędzy rodami dla FBH i FDK były statystycznie istotne dla danych z obu lokalizacji. Ergosterol (ERG), deoksyniwalenol (DON) i niwalenol (NIV) zostały wykryte we wszystkich próbach ziarna z wyjątkiem jednej dla NIV. Zawartość ERG wahała się w granicach 2,22 – 21,21 mg/kg w Cerekwicy i 1,99 – 7,67 mg/kg w Radzikowie. Dla DON, zakres zmienności był szerszy w Cerekwicy (0,39–11,49 mg/kg) niż w Radzikowie (0,30–2,98 mg/kg). Zawartość NIV była wyższa w Radzikowie wahała się w granicach od 0,03 do 1,62 mg/kg, a w Cerekwicy od 0 do 0,56 mg/kg. Porażenie kłosów istotnie korelowało z FDK i zawartością DON. FDK istotnie korelowało z zawartością ERG i DON. Rody łączące odporność różnego typu na fuzariozę kłosów zostały zidentyfikowane.



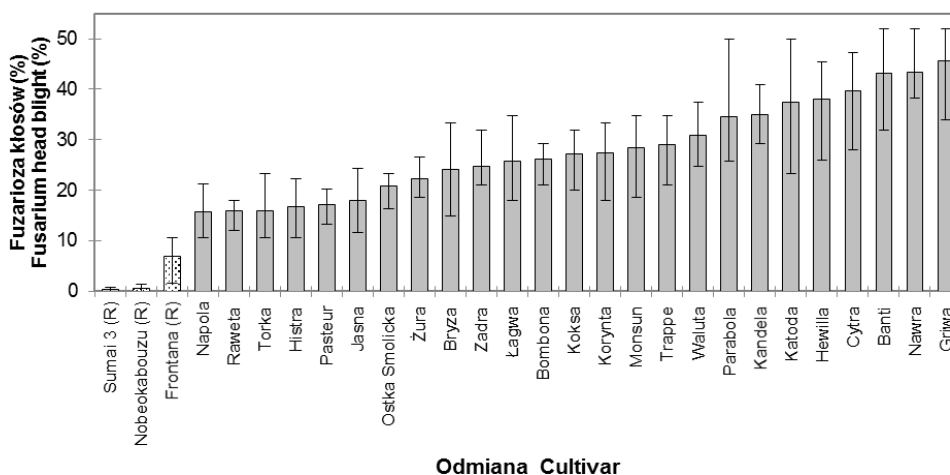
Odporność na fuzariozę kłosów rodów pszenżyta określona za pomocą analizy składowych głównych wyników (IFK, FDK, ERG, DON, NIV) z Cerekwicy i Radzikowa.



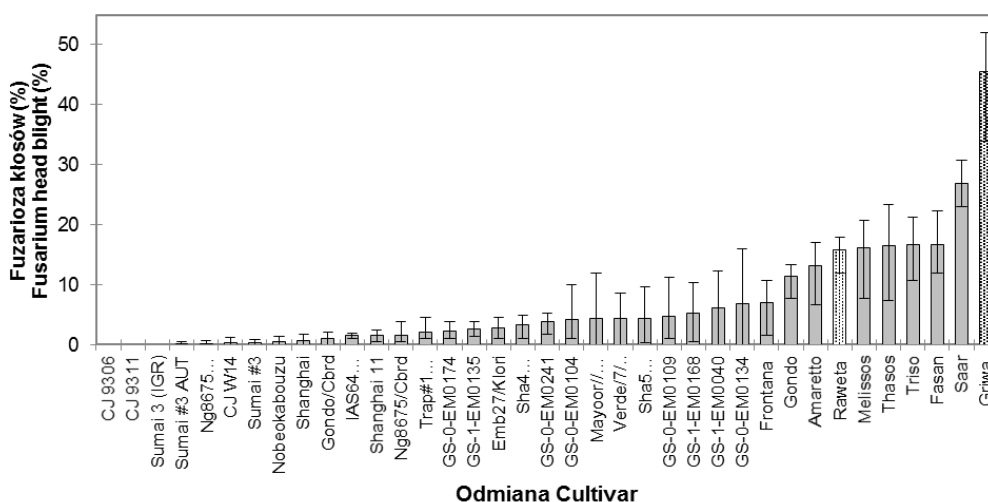
Zależności pomiędzy uszkodzeniem ziarniaków (FDK) a zawartością DON i NIV w ziarnie 21 rodów pszenżyta ozimego badanych w Cerekwicy i Radzikowie.

9) **Góral T., Walentyn-Góral D. 2014. Odporność odmian i linii pszenicy jarej na fuzariozę kłosów powodowaną przez grzyb *Fusarium culmorum*. Biuletyn IHAR 271: 3-16.**

Badano odporność na fuzariozę kłosów 25 odmian pszenicy jarej oraz 35 odmian i linii z kolekcji form odpornych Zakładu Fitopatologii IHAR — PIB. Badania prowadzono w latach 2010–2012 na polach doświadczalnych w Radzikowie. Kłosa pszenicy inokulowano izolatami *Fusarium culmorum*. Oceniano stopień porażenia kłosa (indeks fuzariozy kłosów). Odmiany wykazały średnią podatność na fuzariozę kłosów. Indeks fuzariozy kłosów wyniósł 28,1%, wystąpiło znaczne, istotne statystycznie, zróżnicowanie tej cechy. Zakres zmienności mieścił się w granicach 15,8–45,6%. Znalaziono zarówno odmiany odporne na porażenie kłosa (Napola, Raweta, Torka, Histra, Pasteur), jak i odmiany o bardzo wysokiej podatności (Banti, Nawra, Griwa). Odmiany i linie z kolekcji były w większości wysoko odporne na fuzariozę kłosów. Indeks fuzariozy kłosów wyniósł 5,5%, zakres zmienności mieścił się w granicach: 0–26,9%. Bardzo wysoką odporność wykazały linie CJ 9306 i CJ 9311 oraz odmiana Sumai 3, u których nie obserwowano objawów choroby.



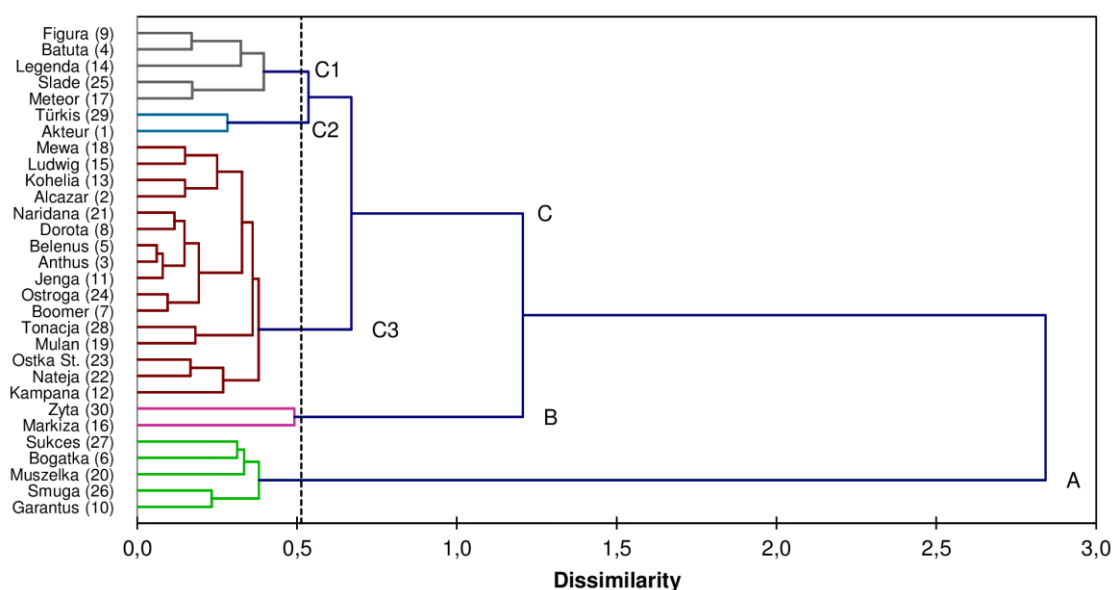
Odporność odmian pszenicy jarej na fuzariozę kłosów (średnie z lat 2010–2012). R — wzorce odporne.



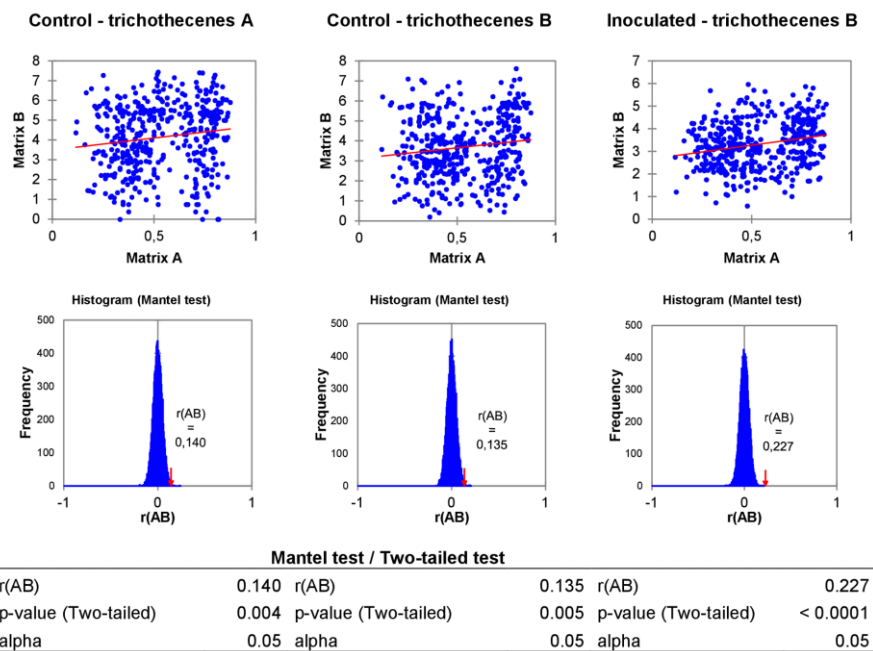
Odporność odmian i linii pszenicy jarej z kolekcji form odpornych na fuzariozę kłosów (średnie z lat 2010–2012).

- 10) Góral T., Stuper-Szablewska K., Buśko M., Boczkowska M., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H., Perkowski J. 2015. Relationships between genetic diversity and *Fusarium* toxin profiles of winter wheat cultivars. *Plant Pathology Journal* 31: 226-244.

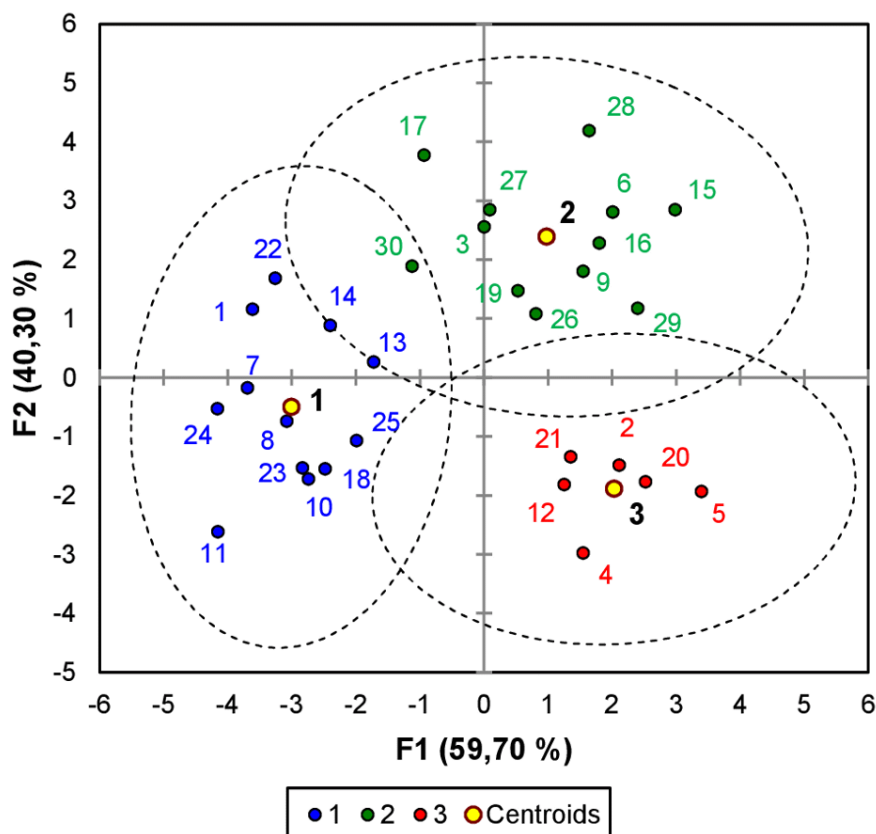
Fuzarioza kłosów jest jedną z najważniejszych i najczęściej występujących chorób pszenicy ozimej. W celu lepszego zrozumienia tej choroby i oceny korelacji między różnymi czynnikami ją opisującymi 30 odmian tego zboża było badanych w ciągu dwóch lat. Określano nasilenie fuzariozy kłosów oraz analizowano zawartość mikotoksyn z grupy trichotecenów. Próby ziarna pochodziły z roślin inokulowanych *Fusarium culmorum* i naturalnie porażonych przez grzyby z rodzaju *Fusarium*. Zbadano dystans genetyczny pomiędzy badanymi odmianami i wyniki przeanalizowano przy użyciu metody wielowymiarowej analizy danych. Dystans genetyczny pomiędzy odmianami wynosił od 0,06 do 0,78. Zostały one podzielone na trzy odrębne grupy na podstawie analizy skupień. Odmiany pszenicy różniły się w odpornością na porażenie kłosa i uszkodzenie ziarniaków oraz odpornością na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie (typ II). W próbach ziarna z poletek inokulowanych *F. culmorum* obecne były tylko trichoteceny z grupy B (deoksyniwalenol, 3-acetyldeoksyniwalenol i niwalenol) wytwarzane przez ten gatunek. W próbach kontrolnych wykryto obecność trichotecenów z grupy A (toksyna HT-2, toksyna T-2, T-2 tetraol, T-2, scirpentriol, diacetoksyscirpenol) i oraz z grupy B. Na podstawie oceny nasilenie fuzariozy kłosów i analizy zawartości trichotecenów w ziarnie określono zależności pomiędzy cechami morfologicznymi odmian pszenicy, ich odpornością na fuzariozę kłosów i zawartością mikotoksyn w ziarnie. Wyniki zostały wykorzystane do stworzenia macierzy dystansów między odmianami dla zawartości trichotecenów w ziarnie z inokulowanych i naturalnie porażonych poletek, jak również dla odporności na fuzariozę kłosów. Korelacje pomiędzy dystansem genetycznym a dystansem dla odporności /mikotoksyn obliczono przy użyciu testu Mantela. Znalaziono istotną korelację pomiędzy macrycą dystansu genetycznego i macrycami dla odporności na fuzariozę kłosów i dla zawartości mikotoksyn w ziarnie z naturalnie porażonych i inokulowanych roślin. Najwyższą wartość współczynnika uzyskano dla macrycy zawartości trichotecenów B w ziarnie inokulowanym.



Dystans genetyczny pomiędzy 30 odmianami pszenicy ozimej określony za pomocą markerów ISSR



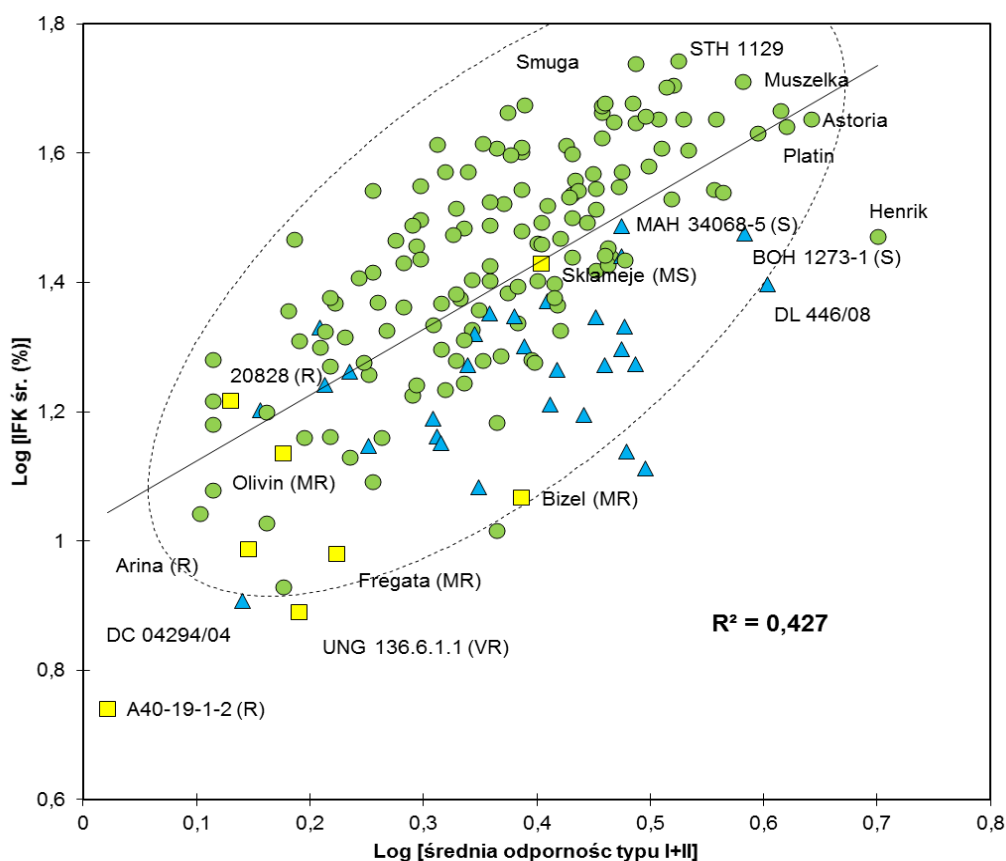
Zależność genetycznego dystansu i akumulacji trichotecenów (próby kontrolne i inokulowane) dla 30 odmian pszenicy ozimej określona za pomocą testu Mantela



Analiza dyskryminacyjna dla indeksu fuzariozy kłosów, uszkodzenia ziarniaków, odporności typu 1 i 2 oraz akumulacji mikotoksyn w ziarnie (DON, 3AcDON, NIV) 30 odmian pszenicy ozimej inokulowanych *F. culmorum* w latach 2010 i 2011.

11) Góral T., Walentyn-Góral D., Wiśniewska H. 2015. Odporność typu I i II pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów. Biuletyn IHAR 277: 33-45.

Określano odporności na infekcję (typ I) oraz na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kłosie (typ II) u 146 odmian i linii pszenicy ozimej oraz 30 linii pszenżyta ozimego. Kłosa inokulowano poprzez opryskiwanie lub punktową iniekcję zawiesiny zarodników *Fusarium culmorum* do środkowego kłosa w kłosie. Średnia odporność typu I wyniosła 2,4 punkty infekcji dla pszenicy oraz 2,9 dla pszenżyta. Różnica w odporności typu I pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie. Średnia odporność typu II wyniosła 2,4 porażone kłosa dla pszenicy oraz 2,1 dla pszenżyta. Różnica w odporności typu II pomiędzy pszenicą i pszenżytem była istotna statystycznie. Brak było zależności pomiędzy odpornością obu typów. Odporność pszenicy na fuzariozę kłosów określona w warunkach polowych korelowała istotnie ze odpornością typu I oraz II. W przypadku pszenżyta odporność polowa korelowała istotnie jedynie z odpornością typu II.

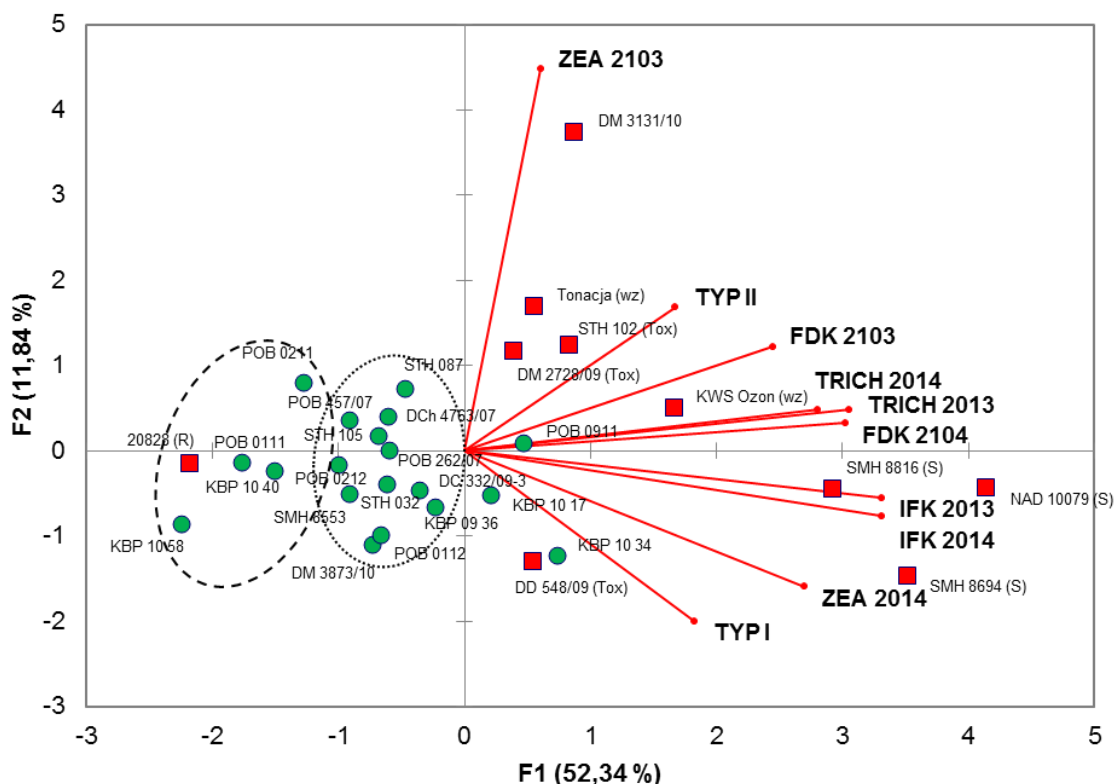


Regresja liniowa średniego indeksu fuzariozy kłosów (IFK %) wobec średni ej odporności typu I i II dla 146 linii pszenicy (kółka) i 30 linii pszenżyta (trójkąty). Oznaczono genotypy wzorcowe pszenicy (kwadraty)

12) Góral T., Ochodzki P., Walentyn-Góral, D., Belter J., Majka M., Kwiatek M., Wiśniewska H., Bogacki J., Drzazga T., Ługowska B., Matysik P., Witkowski E., Rubrycki K., Woźna-Pawlak U. 2015. Odporność genotypów pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów i akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie scharakteryzowana za pomocą różnych typów odporności. Biuletyn IHAR 276: 19-37.

W doświadczeniach infekcyjnych w warunkach polowych w Radzikowie i Poznaniu/Cerekwicy badano odporność na fuzariozę kłosów 224 genotypów oraz 10 odmian/linii wzorcowych pszenicy ozimej. Genotypy te pochodziły z programów hodowlanych pszenicy ozimej oraz z kolekcji utworzonej w wyniku badań nad odpornością na fuzariozę kłosów w latach 2008–2013. Kłosa pszenicy inokulowane były izolatami *Fusarium culmorum*. Oceniano porażenie kłosa oraz stopień uszkodzenia ziarniaków. W ziarnie wybranych 61 genotypów analizowano zawartość ergosterolu, trichotecenów z grupy B oraz zearalenonu. Genotypy pszenicy były istotnie zróżnicowane pod względem odporności na fuzariozę kłosów. Średni indeks fuzariozy wyniósł 23,7%. Stwierdzono istotny wpływ wysokości roślin na wartość indeksu fuzariozy kłosów ($r = -0,528$). Badane genotypy wykazały zróżnicowaną odporność na uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium* (średnio 48,4%) oraz zróżnicowaną zawartość ergosterolu w ziarnie (średnio 30,9 mg/kg). Nasilenie fuzariozy kłosów istotnie korelowało z uszkodzeniem ziarniaków pszenicy ($r = 0,768$). Genotypy pszenicy wykazały zróżnicowaną odporność na akumulację toksyn fuzaryjnych. Średnia zawartość DON (+pochodne acetylowe) wyniosła 20,515 mg/kg-, natomiast zearalenonu 932 $\mu\text{g/kg}$. Stopień porażenia kłosów, odporność typu II oraz uszkodzenie ziarniaków korelowały istotnie z zawartością ergosterolu, deoksyniwalenolu i zearalenonu w ziarnie. Zidentyfikowano genotypy łączące odporności różnych typów na fuzariozę kłosów oraz o stabilnej reakcji w różnych środowiskach.

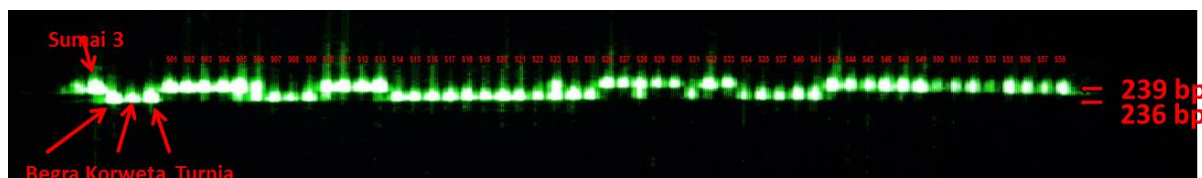
Biplot (axes F1 and F2: 64,18 %)



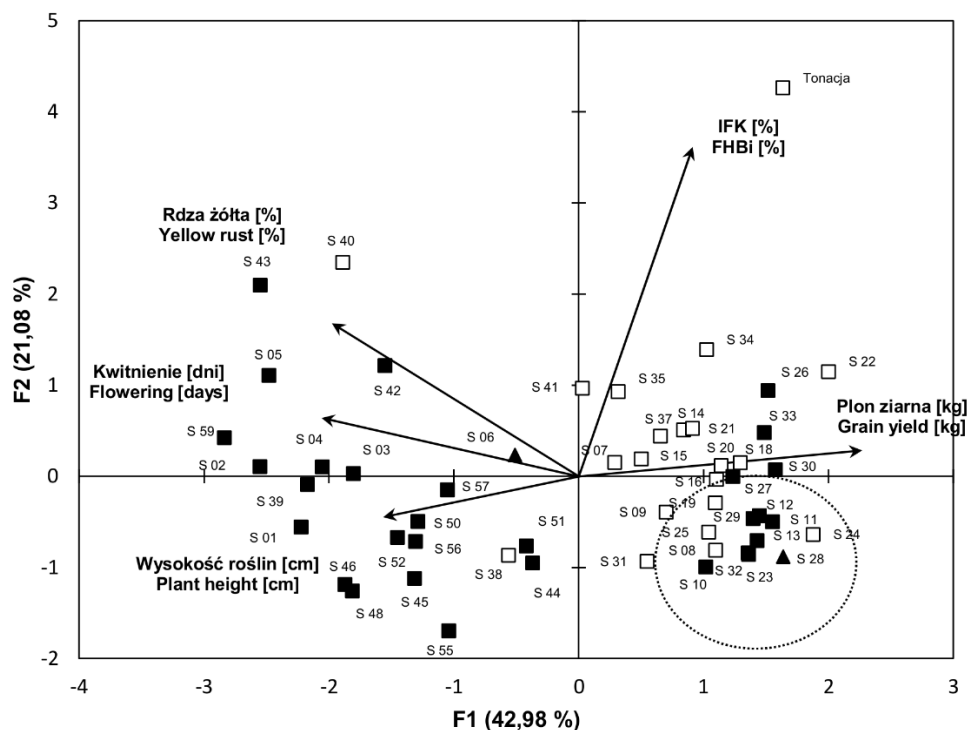
Układ współrzędnych dwóch pierwszych składowych głównych dla 29 genotypów pszenicy ozimej. Dwie pierwsze składowe wyjaśniają 64,2% zmienności odporności na fuzariozę kłosów mierzonej indeksem fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzeniem ziarniaków (FDK) oraz zawartością zearalenonu (ZEA) i trichotecenów B (TRICH) w ziarnie w Radzikowie i Cerekwicy latach 2013 i 2014 oraz odpornością typu I (TYP I) i typu II (TYP II). Linia przerywana — genotypy o najwyższej odporności, linia kropkowana — genotypy o średniej odporności.

- 13) Góral T., Wiśniewska H., Walentyn-Góral D., Radecka-Janusik M., Czembor P. 2016. Resistance to Fusarium head blight [*Fusarium culmorum* (W.G. Sm.) Sacc.] of winter wheat lines generated from crosses between winter type cultivars and resistant spring wheat Sumai 3. Progress in Plant Protection 56(3): 285–295.

Badano odporność na fuzariozę kłosów 52 linii pszenicy ozimej uzyskanych z krzyżowań trzech odmian pszenicy ozimej (Begra, Korweta, Turnia) z odmianą odporną pszenicy jarej Sumai 3. Obecność genu *Fhb1* stwierdzono u 56% badanych linii za pomocą markera molekularnego UMN10 blisko sprzężonego z tym genem. Badane linie miały średnio wysoką odporność typu II (pojedyncza plewka lub jeden kłosek z objawami nekrozy – brak rozprzestrzeniania się patogena), natomiast wystąpiło zróżnicowanie odporności typu I (od 1 do 3 punktów infekcji). Linie posiadające gen odporności *Fhb1* miały średnio wyższą odporność na grzyb *F. culmorum* powodujący fuzariozę kłosów, większą wysokość roślin oraz niższy plon ziarna w porównaniu do linii pozbawionych tego genu. W obu grupach linii (linie z genem i bez genu *Fhb1*) zidentyfikowano formy o bardzo wysokiej odporności, małej wysokości roślin oraz wysokim plonie ziarna.



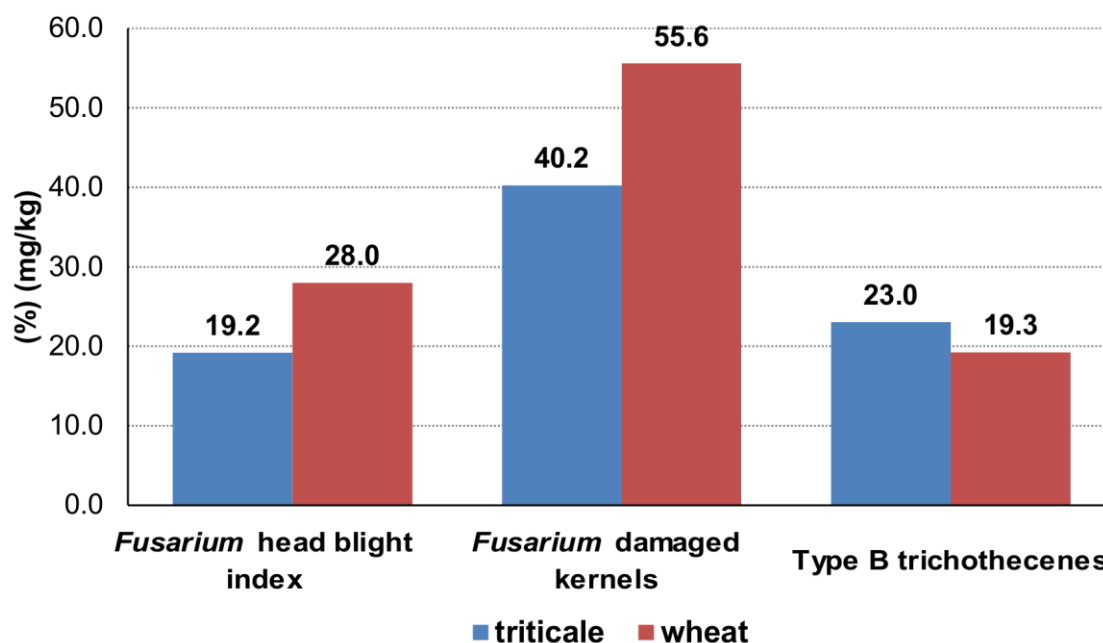
Amplifikacja produktu markera UMN10 sprzężonego z genem *Fhb1* u linii pszenicy ozimej uzyskanych z krzyżowania odmian ozimych z odporną pszenicą jarą Sumai 3



Układ współrzędnych dwóch składowych głównych dla 52 linii S pszenicy ozimej oraz odmiany Tonacja. Składowe wyjaśniają 64,06% zmienności terminu kwitnienia, wysokości roślin, plonu ziarna, odporności na fuzariozę kłosów (IFK) oraz odporności na rdzę żółtą. Okręgiem oznaczono linie kumulujące wszystkie korzystne cechy. ■ – linie zawierające gen *Fhb1*, □ – linie bez genu *Fhb1*, ▲ – linie heterogenne

- 14) **Góral T.**, Wiśniewska H., Ochodzki P., Walentyń-Góral D. 2016. Higher *Fusarium* toxins accumulation in grain of winter triticale lines inoculated with *Fusarium culmorum* as compared with wheat. *Toxins* 8(10): 301.

Badano odporność na fuzariozę kłosów 32 genotypów pszenżyta ozimego i 34 pszenicy ozimej. Pszenżyto i pszenica zostały wysiane w doświadczeniach polowych w dwóch lokalizacjach. W czasie kwitnienia kłosa były inokulowane zarodnikami trzech izolatów *Fusarium culmorum*. Oceniano wielkość indeksu fuzariozy kłosów oraz po zbiorach kłosów procent ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium*. Ziarna były analizowane na zawartość toksyn fuzaryjnych: trichotecenów typu B (deoksyniwalenol i pochodne, niwalenol) oraz zearalenonu (ZEN). Średni indeks fuzariozy kłosów wynosił 28,0% dla pszenicy i 19,2% dla pszenżyta. Procent ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* był również wyższy dla pszenicy i wynosił 55,6%, podczas gdy dla pszenżyta było to 40,2%. Średnia zawartość deoksyniwalenolu (DON) dla pszenicy wyniosła 11,65 mg/kg i była niższa niż dla pszenżyta (14,12 mg/kg). Średnia zawartość niwalenolu była podobna w ziarnie obu zbóż: 4.13 mg/kg i 5.19 mg/kg odpowiednio dla pszenicy i pszenżyta. Wykryto również znaczne ilości acetylowych pochodnych DON w ziarnie obu zbóż. Zawartość ZEN w ziarnie wyniosła 0.60 mg/kg dla pszenicy i 0,66 mg/kg dla pszenżyta. Zależności pomiędzy indeksem fuzariozy kłosów, uszkodzeniem ziarniaków i zawartością mikotoksyn były statystycznie istotne dla pszenicy i w większości nieistotne dla pszenżyta. Pszenżyto okazało się mieć słabiej porażone kłosa i mniej uszkodzone ziarniaki niż pszenica, jednakże zawartość trichotecenów typu B była wyższa w ziarnie pszenżyta niż w ziarnie pszenicy.



Porównanie reakcji pszenicy i pszenżyta na fuzariozę kłosów (indeks fuzariozy kłosów = Fusarium head blight index, uszkodzenie ziarniaków = *Fusarium* damaged kernels, zawartość trichotecenów B w ziarnie = Type B trichothecenes)

4.6. Wnioski wynikające z publikacji stanowiących osiągnięcie naukowe

- 1) Przebadano odporność na fuzariozę kłosów potencjalnych źródeł odporności pszenicy ozimej i jarej na tę chorobę. Większość badanych linii i odmian wykazywała wysoką odporność na fuzariozę kłosów, jednakże równocześnie większość z nich charakteryzowała się bardzo słabą adaptacją do polskich warunków klimatycznych. Posiadały liczne niekorzystne cechy agronomiczne, takie jak znaczna wysokość, skłonność do wylegania, podatność na inne choroby, słabe krzewienie. Z zestawu badanych linii i odmian wybrano formy o najwyższej odporności i najlepszych cechach agronomicznych. Były one wykorzystywane jako źródła odporności dla rodzimych odmian pszenicy ozimej i jarej, a także jako wzorce odporności w doświadczeniach infekcyjnych.
Badania zostały opisane w publikacjach nr **1** oraz **9**.
- 2) W ramach współpracy z firmami hodowlanymi badano odporność rodów pszenicy ozimej i pszenżyta ozimego. Były to zaawansowane rody włączone do doświadczeń wstępnych COBORU. Stwierdzono istotne zróżnicowanie odporności rodów na fuzariozę kłosów, zarówno pszenicy jak i pszenżyta. Możliwe było wyselekcjonowanie rodów wykazujących odporność na fuzariozę kłosów. Zostały one włączone do kolekcji genotypów pochodzących z krajowych programów hodowlanych łączących odporność oraz wysokie plonowanie i inne korzystne cechy. Podobne badania były prowadzone w kolejnych latach i umożliwiły rozszerzenie kolekcji.
Badania zostały opisane w publikacjach nr **2** oraz **4**.
- 3) Przebadano odporność na fuzariozę kłosów odmian pszenicy ozimej i jarej oraz pszenżyta ozimego, które znajdowały się w rejestrze COBORU. Badania te prowadzone w warunkach sztucznej inokulacji dostarczyły wiarygodnych informacji na temat odporności odmian. Występowanie fuzariozy kłosów jest silnie uzależnione od pogody w danym roku, stąd określenie odporności w warunkach naturalnej infekcji jest obciążone znacznym błędem. Zidentyfikowano odmiany o małej podatności np. Turnia, Dorota, Nateja, Raweta, Torka, Sorento, Lasko itp.
Badania zostały opisane w publikacjach nr **3**, **5**, **9** oraz **10**.
- 4) Prowadzono również badania nad naturalnym występowaniem *Fusarium* oraz toksyn fuzaryjnych. W badaniach nad wpływem przedplonu na nasilenie fuzariozy kłosów stwierdzono negatywny wpływ kukurydzy jako przedplonu dla pszenicy. Stwierdzono także dominację gatunku *Fusarium graminearum* jako sprawcy fuzariozy kłosów pszenicy. Jest to gatunek porażający również kolby kukurydzy. W badaniach nad naturalnym skażeniem ziarna pszenicy toksynami stwierdzono największą zawartość trichotecenów z grupy B (głównie deoksyniwalenolu) tworzonych przez *F. graminearum* i *F. culmorum*. Zawartość trichotecenów z grupy A była znacznie niższa. Występował głównie diacetoksyscirpenol tworzony przez *F. poae*.
Badania zostały opisane w publikacjach nr **7** oraz **10**.
- 5) Źródłem odporności dla form uprawnych pszenicy i pszenicy twardej (uprawianej również w Polsce) mogą być pokrewne gatunki z rodzaju *Triticum*. Zidentyfikowano

genotypy pszenicy płaskurki oraz orkiszu o wysokiej odporności na fuzariozę kłosów oraz niskiej akumulacji mikotoksyn. Mogą one posłużyć jako źródło odporności dla pszenicy twardej (płaskurka) lub posłużyć jako materiał wyjściowy do hodowli odmian do upraw ekologicznych.

Badania zostały opisane w publikacji nr 6.

- 6) Opisana w punkcie 2 kolekcja form o podwyższonej odporności na fuzariozę kłosów była w kolejnych latach badana w różnych środowiskach oraz pod względem odporności różnych typów. Zidentyfikowano genotypy o stabilnej odporności na infekcję kłosa przez *Fusarium* w kolejnych latach badań. Genotypy te wykazywały również stabilną odporność na akumulację toksyn fuzaryjnych, która to cecha podlega bardzo silnym wpływom środowiska i jest trudna do prawidłowej oceny. Istotną sprawą jest również to, że genotypy te nie posiadały genów odporności o dużym efekcie np. *Fhb1*. Ich odporność wynikała z kumulacji licznych genów o małym efekcie.

Badania zostały opisane w publikacjach nr 8, 12 i 14.

- 7) Wybrane formy opisane w punkcie 6 badano również szczegółowo pod względem odporności typu I i typu II. Stwierdzono wyższą odporność na infekcję (typ I) u pszenicy w porównaniu z pszenżytem oraz wyższą odporność na rozprzestrzenianie się *Fusarium* (typ II) u pszenżyta w porównaniu z pszenicą. Średnia odporność obu typów korelowała z odpornością na fuzariozę kłosów w warunkach polowych. Formy odporne miały wysoką odporność jednego typu lub rzadziej łączyły wysoką odporność obu typów.

Badania zostały opisane w publikacji nr 11.

- 8) W trakcie badań nad formami pszenicy i pszenżyta o podwyższonej odporności na fuzariozę kłosów stwierdzono niekorzystne zjawisko dotyczące pszenżyta. W większości doświadczeń pszenżyto wykazywało wyższą odporność na porażenie kłosa i ziarniaków w porównaniu do pszenicy. Okazało się jednakże, że w niektórych środowiskach (lata, lokalizacje) pszenżyto akumulowało większe ilości deoksyniwalenolu w ziarnie niż silniej porażona pszenica. Jest to niekorzystne zjawisko ponieważ utrudnia skuteczną selekcję fenotypową pszenżyta pod względem odporności na fuzariozę kłosów. Pozornie odporne genotypy mogą akumulować znaczne ilości toksyn w ziarnie. Podobne doniesienia pojawiły się również w innych publikacjach. Nie jest dokładnie znana przyczyna tego zjawiska, wymaga więc dalszych szczegółowych badań.

Badania zostały opisane w publikacji nr 14.

- 9) W ramach prac na fuzariozę kłosów wytworzono linie pszenicy ozimej uzyskane z krzyżowania polskich odmian pszenicy ozimej z odmianą jarą Sumai 3. Wyselekcjonowane linie o wysokiej odporności a także o dobrej zimotrwałości przebadano na obecność genu *Fhb1*. Zidentyfikowano formy z genem *Fhb1* o bardzo wysokiej odporności, małej wysokości roślin oraz wysokim plonie ziarna, które mogą być wykorzystane w hodowli odpornościowej pszenicy ozimej.

Badania zostały opisane w publikacji nr 13.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo - badawczych.

Pozostałe osiągnięcia naukowe (po uzyskaniu stopnia doktora) obejmują 23 publikacje naukowe w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports oraz 32 publikacje w innych czasopiśmie krajowych i międzynarodowych oraz rozdział w monografii.

Listy publikacji podano w wykazie opublikowanych prac naukowych (Załącznik 4).

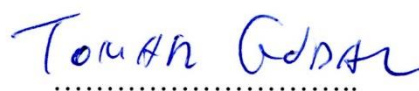
Kryteria oceny dorobku naukowego (po uzyskaniu stopnia doktora)

Sumaryczny impact factor według listy Journal Citation Reports (JCR), zgodnie z rokiem opublikowania	43,243
Liczba cytowań publikacji według bazy Web of Science (WoS)	199
Indeks Hirscha według bazy Web of Science (WoS)	8
Liczba punktów wg listy Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego	761
Liczba cytowań publikacji według bazy Google Scholar	465
Indeks Hirscha według bazy Google Scholar	11

Pozostałe osiągnięcia naukowo-badawcze zostały zamieszczone w Załączniku 5.

Wykaz innych osiągnięć naukowo-badawczych

Publikacje naukowe w czasopiśmie znajdujących się w bazie Journal Citation Reports (JCR)	23
Monografie, publikacje naukowe w czasopiśmie międzynarodowych lub krajowych innych niż znajdujące się w bazie JCR	32
Opracowania zbiorowe, katalogi zbiorów, dokumentacja prac badawczych	3
Wygłoszenie referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach tematycznych	13
Prezentacje na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych	112



Podpis wnioskodawcy