

Odporność pszenicy ozimej na fuzariozę kłosów i akumulację toksyn fuzaryjnych w ziarnie

Tomasz Góral¹, Halina Wiśniewska², Piotr Ochodzki¹, Dorota Walentyn-Góral¹, Iga Grzeszczak¹

¹Instytut Hodowli i Aklimatyzacji Roślin - Państwowy Instytut Badawczy, Radzików, 05-870 Błonie

²Instytut Genetyki Roślin Polskiej Akademii Nauk, ul. Strzeszyńska 34, 06- Poznań

t.goral@ihar.edu.pl



Fuzarioza kłosów jest chorobą zbóż powodowaną przez grzyby z rodzaju *Fusarium* (głównie *F. culmorum* i *F. graminearum*). Grzyby te wytwarzają toksyczne metabolity – mikotoksyny, o działaniu fito– i zootoksycznym. W ziarnie pszenicy najczęściej występują toksyny należące do trichotecenów B: deoksyniwalenol (DON) i niwale-nol (NIV), a także zearalenon (ZEN). Wyróżnia się kilka typów odporności na fuzariozę kłosów: typ I – na infekcję, typ II – na rozprzestrzenianie się *Fusarium* w kło-sie, typ III – na uszkodzenie ziarniaków przez *Fusarium*. Kolejnymi typami odporności są: tolerancja na fuzariozę kłosów lub toksyny (DON) (typ IV) oraz typ V – od-porność na akumulację toksyn w ziarnie poprzez ich chemiczną modyfikację (klasa 1) lub blokowanie syntezy (klasa 2). Celem badań była ocena zmienności genoty-pów pszenicy ozimej pod względem reakcji na infekcję *F. culmorum* poprzez badanie wymienionych powyżej typów odporności oraz znalezienie genotypów łączących odporności typu.

Materiał i metody

W celu uzyskania form pszenicy ozimej łączących różne typy odporności w doświadczeniach polowych w dwóch lokalizacjach przebadano 66 genotypów. Znalazło się wśród nich 5 wzorców odpornych: 20828 [*Fhb1*–], A40-19-1-2, Arina, Fregata, UNG 136.6.1.1 [*Fhb1*+]; 3 linie z genem *Fhb1* uzyskane z krzyżowań odmiany Sumai 3 z odmianami pszenicy ozimej; 4 wzorce podatne; 3 wzorce charakteryzujące się wysoką akumulacją trichotecenów. Kłosy pszenicy inokulowano w stadium pełni kwitnienia zawieszoną zarod-ników agresywnych izolatów *F. culmorum* wytwarzających DON, NIV oraz ZEN. Oceniono stopień porażenia kłosów oraz liczbę kłosów porażonych na poletku. Z tych wartości wyliczono indeks fuzariozy kłosów (IFK) odzwierciedlający procentowy udział porażonych kłosów we wszystkich kłosach. Proporcja ziarniaków uszkodzonych przez *Fusarium* była określana wizualnie poprzez podział próby ziarniaków na zdrowe i z objawami porażenia. Wyliczono wartość FDK (= *Fusarium* damaged kernels) w oparciu o liczbę ziarnia-ków uszkodzonych w odniesieniu do liczebności całej próby. Stosując technikę chromatografii gazowej i testy immunoenzymatyczne przeanalizowano zawartość DON i pochod-nych acetylowych DON, NIV oraz ZEN w ziarnie.

Tabela 1. Odporność na fuzariozę kłosów i uszkodzenie ziarniaków oraz zawartość ergosterolu i toksyn fuzaryjnych w ziarnie 51 rodów odpor-nych pszenicy ozimej oraz 15 form wzorcowych

L.p.	Ród/linia	Grupa	IFK (%)	FDK m (%)	FDK L (%)	ERG (mg/kg)	TCT B (mg/kg)	ZEN (µg/kg)	Średnia od-porność*
1	S 32 [Fhb1+]	wz. odporne	6,0	3,4	3,9	6,7	3,815	190	-1,356
2	UNG 136.6.1.1	wz. odporne	5,0	3,7	6,3	9,4	4,471	38	-1,307
3	S 10 [Fhb1+]	wz. odporne	5,6	4,4	6,4	10,9	3,472	39	-1,301
4	A40-19-1-2	wz. odporne	6,3	3,3	4,9	11,0	5,263	51	-1,194
5	POB 679/03	rody	8,2	4,9	6,7	9,1	4,911	106	-1,115
6	Fregata	wz. odporne	9,0	5,7	8,2	12,8	6,346	57	-0,856
7	KBP 05.284	rody	9,1	6,6	8,5	12,4	5,514	150	-0,826
8	DED 389/06	rody	11,1	5,3	7,5	11,7	6,296	120	-0,806
9	S 30 [Fhb1+]	wz. odporne	4,7	3,1	5,0	16,4	6,369	245	-0,785
10	POB 0514	rody	9,5	7,9	10,7	13,1	4,944	137	-0,763
11	STH 9059	rody	12,1	4,7	7,3	14,6	6,342	120	-0,680
12	SMH 7983	rody	10,0	5,2	7,2	15,4	7,002	112	-0,672
13	KBP 04.164	rody	13,1	4,4	6,6	14,9	5,604	180	-0,664
14	STH 2041	rody	9,7	8,5	10,4	16,0	5,804	91	-0,651
15	POB 170/04	rody	14,4	7,1	8,1	13,5	6,142	127	-0,634
16	KBP 08 13	rody	12,5	10,6	13,0	11,4	5,740	107	-0,627
17	POB 759/04	rody	11,0	5,0	7,6	13,6	5,782	352	-0,557
18	DD 408/07-3	rody	11,8	8,7	12,7	12,1	6,506	132	-0,555
19	POB 0211	rody	9,6	9,0	11,7	14,1	7,144	124	-0,543
20	20828	wz. odporne	8,3	9,7	12,0	14,3	7,149	185	-0,535
21	KBP 05.271	rody	8,8	10,8	15,5	12,2	6,212	154	-0,510
22	LAD 463/05	rody	11,3	5,6	8,9	17,4	5,806	219	-0,489
23	DD 559/07	rody	14,1	8,3	10,0	14,2	7,564	86	-0,488
24	DL 423/11/2	rody	9,3	8,5	11,9	16,1	7,355	106	-0,479
25	MOB 5578/06	rody	12,5	9,2	11,1	15,0	6,406	218	-0,421
26	DL 463/07	rody	12,0	9,9	13,1	15,8	6,674	107	-0,420
27	MOB 2B 301206	rody	11,1	8,9	12,3	14,8	8,354	172	-0,329
28	POB 0112	rody	12,1	9,2	12,4	15,8	8,440	103	-0,322
29	AND 444/07	rody	11,2	10,7	15,0	11,9	7,702	243	-0,309
30	POB 0114	rody	12,8	8,0	10,6	15,2	7,380	313	-0,264
31	DD 557/07	rody	9,8	8,4	13,4	15,4	5,972	406	-0,252
32	POB 0111	rody	10,7	9,3	12,6	18,1	8,268	145	-0,247
33	STH 032	rody	10,6	8,1	11,1	17,0	7,730	292	-0,238
34	POB 262/07	rody	14,3	6,2	9,5	18,0	7,712	249	-0,203
35	CHD 6651/06	rody	10,5	9,3	12,0	17,9	7,622	313	-0,165
36	POB 457/07	rody	16,6	12,5	15,6	15,6	7,872	148	-0,087
37	STH 008	rody	10,3	10,1	12,2	21,4	9,404	187	-0,037
38	AND 260/10	rody	10,1	17,3	19,7	17,1	8,036	170	-0,032
39	SMH 7974	rody	14,3	8,1	10,3	21,2	7,934	495	0,187
40	KBP 10 40	rody	11,8	10,4	13,7	18,0	9,262	461	0,191
41	DC 548/11	rody	15,4	13,1	16,2	18,7	9,478	256	0,225
42	KBP 10 58	rody	12,0	13,7	15,9	24,5	10,750	69	0,234
43	STH 9007	rody	14,6	9,3	12,5	24,4	9,762	217	0,249
44	DC 393/11	rody	16,0	14,0	16,8	14,4	8,974	476	0,292
45	KBP 09 36	rody	17,6	11,7	13,8	27,3	9,090	92	0,314
46	AND 143/10	rody	11,7	14,4	17,0	22,6	9,042	322	0,320
47	NAD 11053	rody	13,6	11,0	14,5	27,6	9,929	169	0,374
48	KOH 275	rody	10,6	12,6	16,1	22,1	10,076	385	0,374
49	AND 1055/02	rody	15,5	11,6	17,9	20,9	10,843	180	0,391
50	NAD 11075	rody	15,1	14,7	19,0	12,8	8,706	606	0,392
51	DM 2566/11	rody	14,8	11,9	15,0	26,6	10,895	231	0,519
52	DC 332/09-3	rody	16,9	14,5	19,5	22,6	10,884	157	0,525
53	Dch 4763/07	rody	14,4	19,0	21,5	20,9	9,206	360	0,544
54	NAD 11017	rody	12,2	19,3	20,8	22,7	12,615	217	0,627
55	SMH 9005	rody	14,0	20,0	23,5	22,5	6,930	565	0,694
56	NAD 12007	rody	17,4	15,6	19,3	18,4	9,442	602	0,707
57	Arina	wz. odporne	14,6	12,6	16,6	16,3	9,194	895	0,724
58	SMH 8980	rody	15,2	11,2	14,7	25,0	12,503	402	0,739
59	AND 4008/10	rody	17,5	7,9	11,4	24,4	9,086	1164	1,144
60	DM 2728/09	wz. tox	21,4	15,8	21,8	25,8	13,254	423	1,267
61	DD 548/09	wz. tox	25,9	14,5	18,3	27,8	14,378	320	1,312
62	DM 3873/10	wz. tox	23,3	16,7	23,5	24,0	13,988	390	1,336
63	NAD 10079	wz. podatne	40,0	15,5	18,6	27,4	14,174	130	1,504
64	SMH 8816	wz. podatne	39,6	19,0	27,4	28,8	14,690	194	1,957
65	SMH 8694	wz. podatne	37,9	23,7	30,1	24,9	13,322	445	2,017
66	DL 325/11/3	wz. podatne	34,1	18,4	22,9	35,1	16,040	826	2,559
Średnie			14,0	10,5	13,6	18,0	8,387	263	

* średnia ze standaryzowanych wartości IFK, FDK L, ERG, TCT B i ZEN

Indeks fuzariozy kłosów korelował wysoko istotnie z uszkodze-niem ziarniaków oraz z zawartością trichotecenów i zearalenonu w ziarnie (Tab. 2). Najniższy był współczynnik korelacji dla ZEN, najwyższy dla DON. Uszkodzenie ziarniaków korelowało istotnie z zwartościami wszystkich toksyn. Najwyższy był współczynnik dla sumy trichotecenów, najniższy dla ZEN. Zawartość ergoste-rolu (miernik ilości grzybni w ziarnie) korelowała istotnie z pora-żeniem kłosa, uszkodzeniem ziarniaków i zawartościami toksyn. Najwyższy był współczynnik dla sumy trichotecenów i DON, naj-niższy dla ZEN.

Tabela 2. Współczynniki korelacji pomiędzy średnimi wartościami indeksu fuzariozy kłosów, uszkodzenia ziarniaków oraz średnią zawartością ergosterolu toksyn fuzaryjnych w ziarnie pszenicy ozimej

Zmienne	IFK	FDK m	FDK L	ERG	DON	3AcDON	NIV	TCT B
FDK m	0,723							
FDK L	0,740	0,983						
ERG	0,720	0,683	0,700					
DON	0,782	0,776	0,784	0,808				
3AcDON	0,639	0,676	0,675	0,697	0,760			
NIV	0,693	0,664	0,691	0,800	0,702	0,696		
TCT B	0,808	0,791	0,808	0,869	0,955	0,802	0,880	
ZEN	0,468	0,479	0,497	0,448	0,478	0,392	0,425	0,492

Współczynniki istotne na poziomie p ≤ 0,001; zmienne transformowane logarytmicznie

Za pomocą analizy składowych głównych zidentyfikowano genotypy łączące odporności różnych typów, czyli: typy I+II – indeks fuzariozy kłosów, typ III – uszkodzenie ziarniaków i zawartość ERG, typ IV – zawartość toksyn DON i ZEA; typ V – redukcja plonu ziarna (Rys. 2). Były to geno-typy: S 32 [Fhb1+], UNG 136.6.1.1 [Fhb1+], S 10 [Fhb1+], A40-19-1-2 (R), POB 679/03, KBP 05.284, Frega-ta (R), S 30 [Fhb1+], DED 389/06, POB 0514, KBP 04.164, STH 9059, SMH 7983, STH 2041, POB 170/04, KBP 08 13.

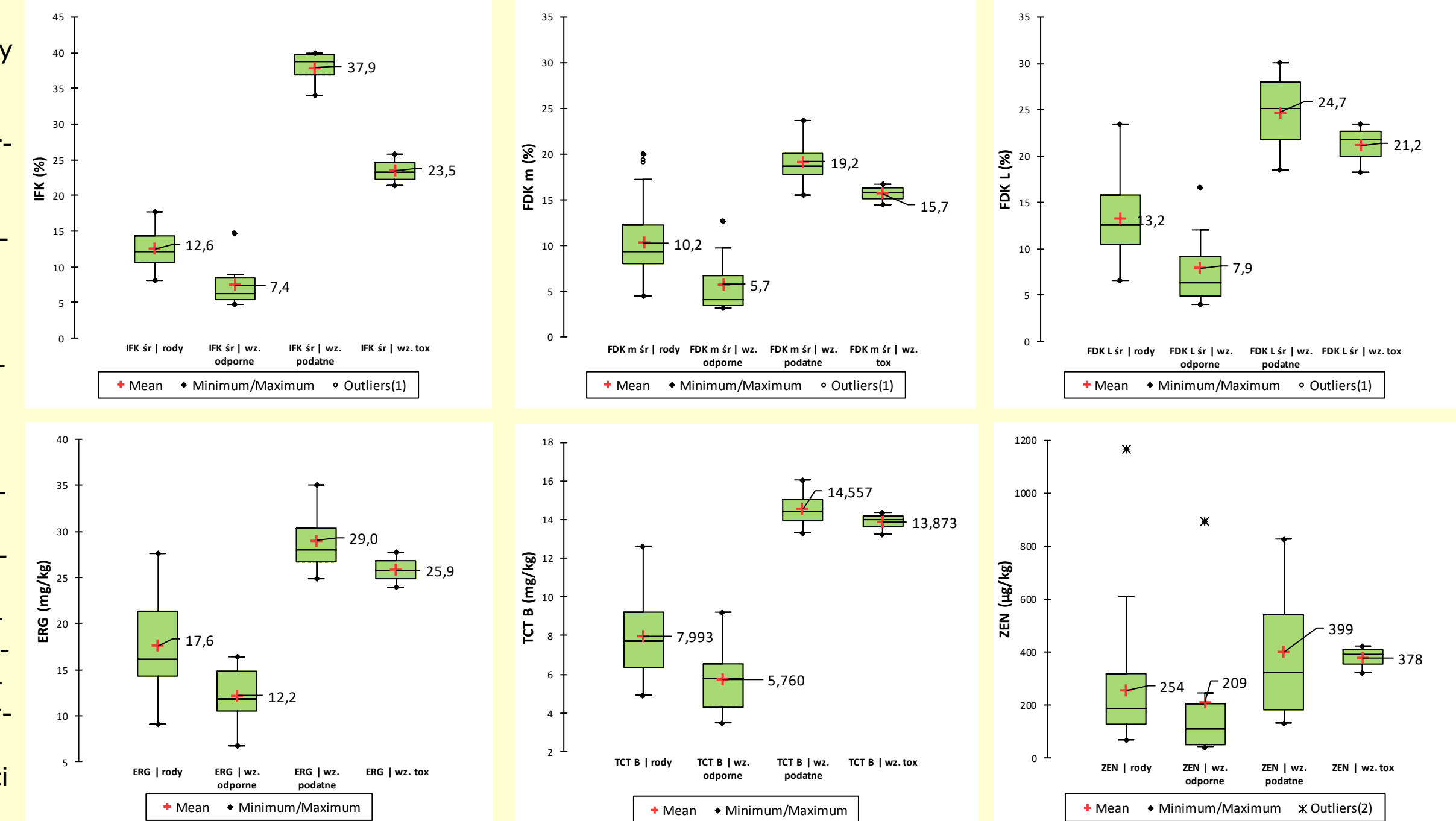
Wyniki

Średni IFK wyniósł 14,0%; zakres zmienności cechy 4,7 – 40,0% (Tab. 1). Najslabiej porażone były linie S 30 [Fhb1+], UNG 136.6.1.1, S 10 [Fhb1+], S 32 [Fhb1+], A40-19-1-2, POB 679/03, 20828, STH 105, KBP 05.271 i odmiana Fregata, najsilniej 4 wzorce podatne (DL 325/11/3, SMH 8694, SMH 8816, NAD 10079).

Średnia wartość FDK liczbowego wyniosła 13,6%; zakres zmienności cechy 3,9 – 30,1% (Tab. 1). Nato-miast średnia wartość FDK masowego wyniosła 10,5%; zakres zmienności cechy 3,1 – 23,7%. Najmniej uszkodzone ziarniaki miały linie S 32 [Fhb1+], S 30 [Fhb1+], A40-19-1-2, S 10 [Fhb1+], UNG 136.6.1.1 [Fhb1+] i rody KBP 04.164, POB 679/03, SMH 7983, STH 9059, DED 389/06, POB 759/04 POB, 170/04 oraz odmiana Fregata. Najsilniej uszkodzone był ziarniaki dwóch wzorców podatnych SMH 8816, SMH 8694, DL 325/11/3, DM 3873/10 oraz ród o niskim porażeniu kłosa – SMH 9005.

Rysunek 1.

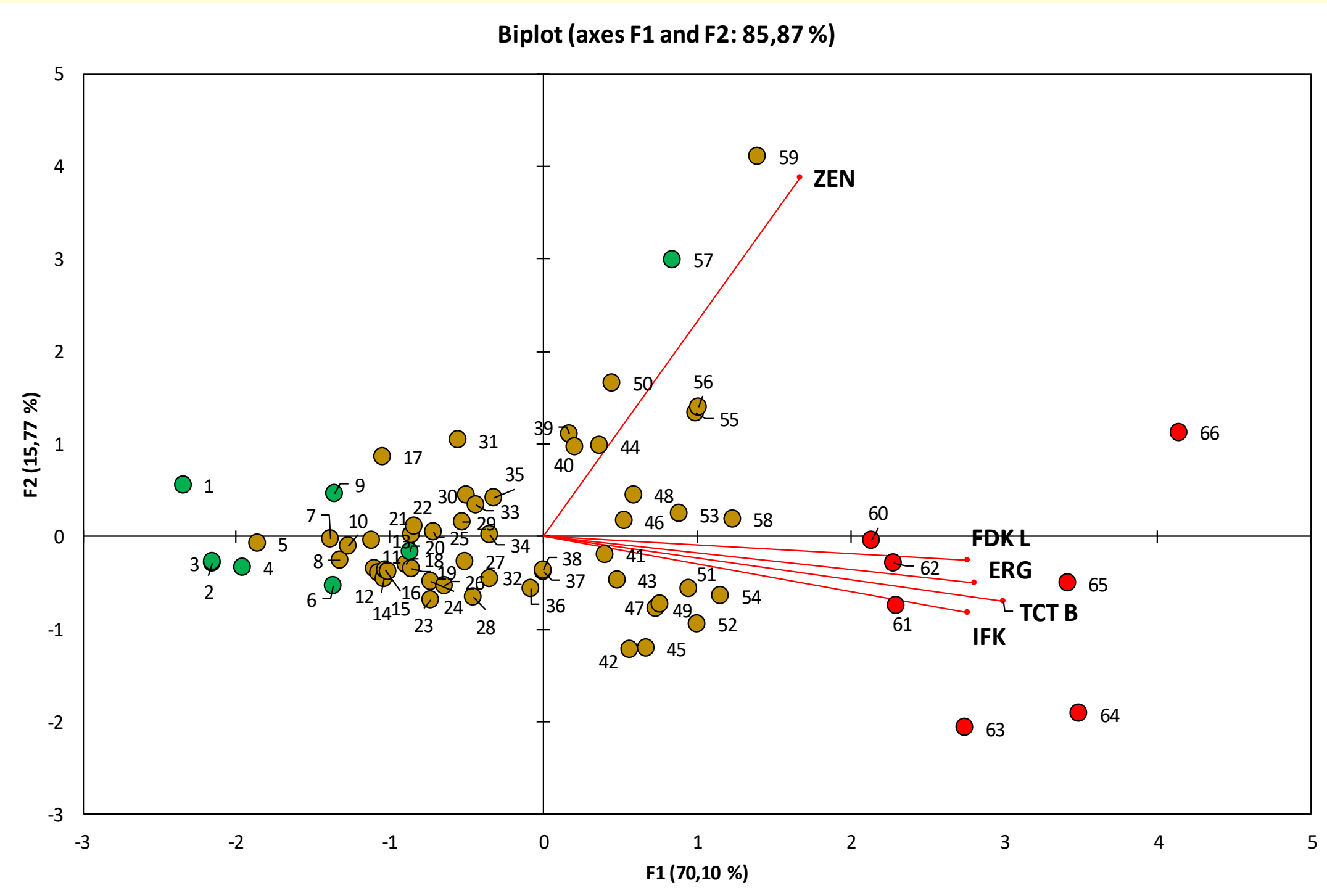
Indeks fuzariozy kłosów, uszko-dzenie ziarnia-ków oraz zawar-tość ergostero-lu, trichotece-nów B i zearale-nonu w ziarnie rodów odpor-nych pszenicy, wzorców odpor-nych, wzorców podatnych oraz wzorców o wy-sokiej akumula-cji toksyn. Pro-stokąty pokazu-ją pierwszy kwartył, media-nę i trzeci kwar-tył. Wąsy pokazu-ją dolny i gór-ny limit poza którym wartości są odstające.



Średnia zawartość deoksyniwalenolu (DON) w ziarnie rodów odpornych pszenicy wynosiła 4,972 mg/kg. Zakres zmienności od 3,220 do 7,800 mg/kg. Stwierdzono obecność w ziarnie pszenicy pochodnej acetylo-wej DON – 3AcDON oraz niwalenolu (NIV). Brak było pochodnej acetylowej 15AcDON. Zawartość 3AcDON wyniosła średnio 0,195 mg/kg, zakres zmienności od 0,080 do 0,380 mg/kg. Średnia zawartość NIV wy-niosła 2,826 mg/kg, zakres zmienności od 1,060 do 4,595 mg/kg.

Średnia sumaryczna zawartość trichotecenów z grupy B w ziarnie rodów odpornych pszenicy wynosiła 7,993 mg/kg (Tab. 1). Zakres zmienności od 4,911 do 12,615 mg/kg. Dla wzorców odpornych było to 5,760 mg/kg (3,472 – 9,194 mg/kg), dla wzorców podatnych 14,557 mg/kg (13,322 – 16,040 mg/kg) oraz dla wzorców o wysokiej akumulacji toksyn 13,873 mg/kg (13,254 – 14,378 mg/kg). W Poznaniu zwartość trichotecenów B wyniosła 8,549 mg/kg i była niższa niż w Radzikowie (7,437 mg/kg) Najmniej trichotecenów B stwierdzono w ziarnie genotypów S 10 [Fhb1+], S 32 [Fhb1+], UNG 136.6.1.1 (VR), POB 679/03, POB 0514, A40-19-1-2 (R), KBP 05.284, KBP 04.164, KBP 08 13, POB 759/04, STH 2041; najwię-cej w ziarnie genotypów SMH 8980, NAD 11017, DM 2728/09 (tox), SMH 8694 (S), DM 3873/10 (tox), NAD 10079 (S), DD 548/09 (tox), SMH 8816 (S) oraz DL 325/11/3 (S).

Zawartość zearalenonu (ZEN) w ziarnie pszenicy była niska i wynosiła średnio 263 µg/kg. Zakres zmienno-sci od 38 do 1164 µg/kg. W Poznaniu zwartość ZEN była około 13-krotnie wyższa niż w Radzikowie, odpo-wiednio 488 i 37 µg/kg. Najmniej ZEN stwierdzono w ziarnie genotypów UNG 136.6.1.1 [Fhb1+], S 10 [Fhb1+], A40-19-1-2, Fregata, KBP 10 58, DD 559/07, STH 2041 oraz KBP 09 36; najwięcej w ziarnie ge-notypów SMH 9005, NAD 12007, NAD 11075, DL 325/ 11/3 (S), Arina (MR) oraz AND 4008/10.



Rysunek 2. Układ współrzędnych dwóch składowych głównych dla 66 genotypów pszenicy ozimej. Składowe wyjaśniają 70,1% zmienności odporności na fuzariozę kłosów mierzonej indeksem fuzariozy kłosów (IFK), uszkodzeniem ziarniaków (FDK L) oraz zawartością ergosterolu (ERG), zearalenonu (ZEN) i trichotecenów z grupy B (TCT B) w ziarnie w Radzikowie i Cerekwicy. Wektory wskazują kierunek wzrostu wartości zmiennych. Numery obiektów zgodnie z Tabelą 1.