

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Wpływ pełnych i zredukowanych dawek wybranych fungicydów na zasiedlenie ziarna przez grzyby oraz parametry plonu pszenicy ozimej

The influence of full and reduced doses of selected fungicides on grain colonization by fungi and yield parameters of winter wheat

Ilona Świerczyńska*

Streszczenie

Doświadczenie wykazało, że fungicydy zastosowane w ustalonym wariantcie badawczym nie miały istotnego wpływu na podstawowe parametry składu chemicznego ziarna, takie jak zawartość białka czy skrobi. We wszystkich badanych wariantach najczęściej izolowanymi rodzajami grzybów były *Alternaria* oraz *Epicoccum*. Grzyby z rodzaju *Fusarium* izolowano najliczniej z prób kontrolnych, a następnie z wariantów opryskiwanych azoksystrobiną i fenpropimorfem. Zauważono, że stosowanie obniżonych dawek większości fungicydów nie zawsze sprzyjało zwiększonej częstotliwości występowania *Fusarium* spp. w porównaniu z dawkami zalecanymi. Analiza zawartości mykotoksyn wykazała, że najwyższe stężenie deoksyniwalenolu (DON) występowało w próbach ziarna chronionego tebukonazolem i azoksystrobiną, natomiast najwyższe poziomy zearalenonu (ZEA) odnotowano w próbach traktowanych tiofanatem metylowym, tebukonazolem i fenpropimorfem – przy czym zjawisko to obserwowano wyłącznie w wariantach, w których zastosowano połowę dawki zalecanej.

Słowa kluczowe: fungicydy, mikrobiom, pszenica ozima, ziarno, grzyby, parametry plonu

Abstract

The analysis showed that the application of fungicides did not have a significant effect on the basic chemical composition of the grain, such as protein or starch content. In all tested variants, the most frequently isolated were fungi from genera *Alternaria* and *Epicoccum*, confirming their dominant role in the grain microbiome. Fungi from the genus *Fusarium* were most isolated from control samples, followed by those treated with azoxystrobin and fenpropimorph. It was observed that the use of reduced doses of most fungicides has not always promoted a higher frequency of *Fusarium* spp. occurrence compared to recommended doses. Mycotoxin analysis revealed that the highest concentration of deoxynivalenol (DON) was detected in grain samples treated with tebuconazole and azoxystrobin, while the highest levels of zearalenone (ZEA) were recorded in samples treated with thiophanate-methyl, tebuconazole and fenpropimorph – although this phenomenon was observed exclusively in variants where half of the recommended dose had been applied.

Keywords: fungicide, microbiome, winter wheat, grain, fungi, yield parameters

Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy
ul. Władysława Węgorka 20, 60-318 Poznań

*corresponding author: i.swierczynska@iorpib.poznan.pl

Wstęp / Introduction

Pszenica ozima (*Triticum aestivum* L.) należy do najważniejszych gatunków zbóż uprawianych w Polsce i na świecie, stanowiąc jedno z podstawowych źródeł pożywienia dla ludzi i paszy dla zwierząt (Kayim i wsp. 2022; Groß i wsp. 2023; Eurostat 2024). Jej plonowanie oraz jakość ziarna w dużym stopniu zależą od ochrony przed chorobami grzybowymi, które mogą powodować zarówno istotne straty ilościowe, jak i pogorszenie parametrów jakości plonu. Tradycyjnie stosowaną metodą ograniczania obecności patogenów jest chemiczna ochrona fungicydami, prowadzona zazwyczaj przy użyciu pełnych dawek zgodnych z etykietą środka (Wyczling i wsp. 2005; Wegulo i wsp. 2011).

W ochronie pszenicy ozimej przed fuzariozą, w tym fuzariozą kłosów, kluczową rolę odgrywają fungicydy triazolowe (DMI – demethylation inhibitors) (Cromey i wsp. 2001; Simpson i wsp. 2001; Haidukowski i wsp. 2005; Paul i wsp. 2018; Li i wsp. 2022) z substancjami czynnymi, takimi jak: difenokonazol, metkonazol, propikonazol, protiokonazol czy tebuconazol. Substancje te należą do najlepiej przebadanych i najczęściej stosowanych w zabiegach wykonywanych w okresie kwitnienia, kiedy ryzyko infekcji jest najwyższe. W praktyce polowej dużą skuteczność wykazują również mieszaniny triazoli z inhibitorami dehydrogenazy bursztynianowej (SDHI – succinate dehydrogenase inhibitors), np. mieszanina fluopyramu z protiokonazolem czy fluksapyroksadu z difenokonazolem, metkonazolem, protiokonazolem, które nie tylko poszerzają spektrum działania, ale także ograniczają ryzyko rozwoju odporności patogenów. W ochronie pszenicy stosuje się także preparaty zawierające w swoim składzie strobilury (QoI – quinone outside inhibitors), jak azoksystrobina czy trifloksystrobina. Ich użycie wymaga ostrożności, ponieważ w niektórych przypadkach mogą one sprzyjać zwiększonej syntezie mykotoksyn przez *Fusarium* spp. (Simpson i wsp. 2001; Mesterházy i wsp. 2003; Paul i wsp. 2018). W związku z udokumentowaną toksycznością wielu pestycydów, liczne substancje czynne fungicydów zostały już wycofane. Znaczenie w ochronie zbóż straciły między innymi substancje z grupy benzimidazoli, takie jak karbendazym czy tiofanat metylowy, ze względu na szeroko udokumentowaną odporność grzybów (Lucas i wsp. 2015; FRAC 2025).

W ostatnich latach, w związku z rosnącymi wymaganiami dotyczącymi ochrony środowiska, redukcją pozostałości pestycydów w płodach rolnych oraz koniecznością ograniczania kosztów produkcji, coraz większe zainteresowanie producentów budzi stosowanie zredukowanych dawek fungicydów. Praktyka ta może przynosić wymierne korzyści ekonomiczne i środowiskowe, jednak jej skuteczność zależy od wielu czynników, takich jak presja chorobowa, warunki

pogodowe, właściwości fungicydu oraz faza rozwojowa roślin (Mercer i Ruddock 2005). Nieprawidłowe stosowanie niższych dawek wiąże się jednak z ryzykiem osłabionej ochrony, wzrostu zasiedlenia ziarna przez grzyby, a także przyspieszonego rozwoju odporności patogenów. Ocena wpływu pełnych i zredukowanych dawek fungicydów na zdrowotność ziarna pszenicy ozimej oraz parametry plonu (m.in. plon ogólny, MTZ, zdolność kiełkowania) stanowi więc istotny element badań nad możliwością optymalizacji ochrony chemicznej w warunkach polowych. Zrozumienie relacji pomiędzy poziomem ochrony a jakością i zdrowotnością ziarna ma kluczowe znaczenie nie tylko dla producentów zbóż, ale również dla strategii integrowanej ochrony roślin oraz zrównoważonego rolnictwa (Metcalf i wsp. 2000; Mercer i Ruddock 2005; Wegulo i wsp. 2011; Almojahed i wsp. 2025).

Celem badań była ocena wpływu ochrony chemicznej z zastosowaniem fungicydów z różnych grup chemicznych, stosowanych w dawkach pełnych i zredukowanych, na zasiedlenie ziarna pszenicy ozimej przez grzyby, poziom jego skażenia mykotoksynami oraz wybrane parametry plonu.

Materiały i metody / Materials and methods

Doświadczenia polowe / Field experiments

Doświadczenie wykonano w roku 2020 na terenie Polowej Stacji Doświadczalnej w Winnej Górze, należącej do Instytutu Ochrony Roślin – Państwowego Instytutu Badawczego (IOR – PIB) w Poznaniu. Poletka doświadczalne reprezentowały klasę bonitacyjną IIIa. Przedplonem dla uprawy doświadczalnej był łubin żółty. Ziarno pszenicy ozimej odmiany Sailor (Secobra Saatzzucht GmbH) wysiano w pierwszej dekadzie października 2019 roku stosując normę wysiewu 200 kg/ha. Dane pogodowe (średnia temperatura powietrza, suma opadów, średnia wilgotność powietrza) zostały zarejestrowane w stacji meteorologicznej Polowej Stacji Doświadczalnej IOR – PIB w Winnej Górze (tab. 1). Doświadczenie założono metodą bloków losowych w układzie niezależnym w trzech powtórzeniach. W trakcie trwania doświadczenia prowadzono ochronę herbicydową, insektycydową i fungicydową zgodnie z zaleceniami IOR – PIB (Zalecenia ochrony roślin na lata 2018/2019) (tab. 2). Kombinacje doświadczalne obejmowały różne warianty ochrony podczas zabiegu T3, gdzie rośliny chroniono fungicydami zawierającymi: azoksystrobinę (Amistar 250 SC), epoksykonazol (Rubric 125 SC), tebuconazol (Tebu 250 EW), tiofanat metylowy (Topsin M 500 SC) i fenpropimorf (Corbel 750 EC) w dawce zalecanej (DP) oraz w połowie dawki zalecanej (DR) (tab. 3). Zabieg wykonano w fazie BBCH 61 (początek kwitnienia). Próbę kontrolną stanowiły rośliny bez ochrony zabiegiem T3.

Tabela 1. Przebieg pogody w Winnej Górze w sezonie wegetacyjnym 2019/2020**Table 1.** Weather conditions in Winna Góra during the 2019/2020 growing season

Lata Years	Miesiąc – Month											
	IX	X	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
Średnia temperatura powietrza – Mean air temperature [°C]												
Sezon 2019/2020 2019/2020 season	14,7	11,2	6,7	3,8	3,1	4,9	5,3	9,6	11,9	18,3	18,9	20,2
Średnia wieloletnia Many-year average	14,6	9,5	4,8	1,2	–0,4	0,5	3,8	9,5	14,3	17,7	19,7	19,3
Suma opadów – Sum of precipitation [mm]												
Sezon 2019/2020 2019/2020 season	5,4	1,0	0,8	0,8	11,1	52,4	22,4	3,2	54,1	120,2	41,9	75,9
Średnia wieloletnia Many-year average	47,1	39,7	39,3	44,6	42,9	34,9	46,0	33,8	56,4	59,8	88,2	61,5
Średnia wilgotność powietrza – Mean air humidity [%]												
Sezon 2019/2020 2019/2020 season	79	85	91	88	90	83	71	57	70	78	70	69
Średnia wieloletnia Many-year average	71	79	86	84	83	81	76	67	65	64	66	66

Tabela 2. Zabiegi ochrony roślin zastosowane w uprawie**Table 2.** Plant protection treatments applied

Faza BBCH Growth stage BBCH (Data – Date)	Rodzaj środka ochrony roślin Type of pesticide	Nazwa handlowa (substancja czynna) Trade name (active substance)	Dawka Dose [l, kg/ha]
13 (24.10.2019)	herbicyd + insektycyd herbicide + insecticide	Pontos (flufenacet – 240 g, pikolinafen – 100 g) + Semptra 500 SC (diflufenikan – 500 g) + Chlorosulfuron 75 WG (chlorsulfuron – 750 g) + Karate Zeon 050 CS (lambda-cyhalotryna – 50 g)	0,5 + 0,1 + 10 + 0,1
30 (18.03.2020)	herbicyd herbicide	Mustang 306 SE (2,4-D – 300 g, florasulam – 6,25 g)	0,6
30 (18.03.2020)	fungicyd fungicide	Duett Star 334 SE (fenpropimorf – 250 g) + Corbel 750 EC (fenpropimorf – 750 g)	0,8 + 0,5
45 (05.05.2020)	insektycyd insecticide	Deltakill	0,25

Tabela 3. Schemat doświadczenia z zastosowaniem fungicydów użytych w zabiegu T3**Table 3.** Experimental scheme with the use of fungicides used in the T3 treatment

Fungicyd – Fungicide	Substancja czynna Active substance	Grupa chemiczna Chemical group	DP [l, kg/ha]	DR [l, kg/ha]
Amistar 250 SC	azoksystrobina azoxystrobin	strobiluryny strobilurin	0,8	0,4
Rubric 125 SC	epoksykonazol epoxiconazole	triazole triazoles	1,0	0,5
Corbel 750 EC	fenpropimorf fenpropimorph	morfoliny morpholines	1,0	0,5
Tebu 250 EW	tebukonazol tebuconazole	triazole triazoles	1,0	0,5
Topsin M 500 SC	tiofanat metylowy tiophanate methyl	benzimidazole benzimidazoles	1,4	0,7
Kontrola – Untreated	–	–	–	–

Analiza składu chemicznego ziarna pszenicy / Analysis of the chemical composition of wheat grain

Po zbiorach wykonano analizę parametrów jakościowych ziarna, takich jak: zawartość białka, skrobi, glutenu i ergosterolu za pomocą analizatora ziaren Infratec TM 1241 firmy Foss, wykorzystującego technikę bliskiej podczerwieni (NIR) do pomiaru widma transmitancji całych ziaren. Uzyskane widma analizowano za pomocą wbudowanych kalibracji, umożliwiających bezpośrednie oznaczenie zawartości badanych składników chemicznych (Matysiak i wsp. 2020; Singh i wsp. 2021).

Analiza mykologiczna ziarna pszenicy / Mycological analysis of wheat grain

Ziarno przeznaczone do analizy mykologicznej po zbiorze (wykonanym w drugiej dekadzie sierpnia) zostało starannie wysuszone i przechowywane w warunkach pokojowych, zapewniających stabilność próbek (temperatura 22°C, wilgotność względna 30%). Analizę mykologiczną ziarna wykonano dla wszystkich wyżej wymienionych kombinacji fungicydów oraz dla prób kontrolnych, niechronionych fungicydami. Oceniano zasiedlenie ziarna odkażanego oraz nieodkażanego powierzchniowo, które wyłożone zostało na agar glukozowo-ziemniaczany (PDA – potato dextrose agar, Oxoid). Odkazanie wykonano poprzez moczenie ziarna przez 60 sekund w < 5% roztworze podchlorynu sodu (ACE, Procter & Gamble), następnie dwukrotne przepłukanie w wodzie sterylnej (každorazowo 30 sekund) i osuszenie ręcznikiem papierowym. Dla każdej kombinacji doświadczalnej przeanalizowano 200 ziarniaków. Płytki Petriego (90 mm) z ziarnem inkubowano przez 7–12 dni w temperaturze 22°C. Kolonie rozwijających się grzybów zliczano i identyfikowano do rodzaju używając kluczy i monografii mykologicznych (Booth 1971; Kwaśna i wsp. 1991).

Ocena zawartości mykotoksyn w ziarniakach / Evaluation of mycotoxin content in grains

Oznaczenie poziomu skażenia ziarna mykotoksynami: deoksyniwalenol (DON), zearalenon (ZEA) i mykotosyna T-2/HT-2 wykonano metodą ELISA za pomocą testów Veratox (Neogen). Badania wykonano dla każdej z kombinacji doświadczalnych. Materiał do analiz został wyekstrahowany zgodnie z zaleceniami producenta testu. Reakcja ELISA wykonana została zgodnie z instrukcją producenta testu. Do odczytu ilościowego stężenia mykotoksyn wykorzystywano fotometr Stat Fax 303 Plus. Poziom skażenia ziarna mykotoksynami oznaczano spektrofotometrycznie. Testy wykonano trzykrotnie, a wyniki uśredniono (Wilkinson i wsp. 1992; Gaurilčikienė i wsp. 2010; Supronienė i wsp. 2012).

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Uzyskane wyniki wskazują, że zastosowane fungicydy zarówno w dawkach pełnych, jak i zredukowanych nie spowodowały istotnych zmian w zawartości białka i skrobi w porównaniu z próbą kontrolną (tab. 4). Większość wariantów charakteryzowała się również zbliżonymi wartościami wskaźnika masy hektolitra, co sugeruje stabilność tego parametru, niezależnie od rodzaju zastosowanej substancji czynnej oraz wielkości dawki. Różnicowanie pomiędzy wariantami zaobserwowano natomiast w odniesieniu do zawartości glutenu oraz masy tysiąca ziaren (MTZ) (tab. 4). Najwyższą zawartość glutenu odnotowano w ziarnie po zastosowaniu tiofanatu metylowego DP, podczas gdy istotnie niższe wartości stwierdzono po aplikacji azoksystrobiny DP i epoksykonazolu DR. Z kolei korzystny wpływ na wartość MTZ wykazały azoksystrobina DP i DR oraz tiofanat metylowy DR. Najniższą wielkość MTZ uzyskano w wariantach chronionych epoksykonazolem DR. Zawartość ergosterolu we wszystkich kombinacjach była porównywalna, co wskazuje na podobny poziom zasiedlenia ziarna przez grzyby patogeniczne. Najwyższą, choć statystycznie nieistotną wartość ergosterolu oznaczono w próbach chronionych azoksystrobina. Uzyskane wyniki są zgodne z obserwacjami innych autorów, którzy wskazują, że skuteczność fungicydów z grupy triazoli i strobiluryn w modyfikacji parametrów jakościowych plonu ziarna bywa zróżnicowana i zależy zarówno od substancji czynnej, jak i od warunków środowiskowych (Blandino i Reyneri 2009). W badaniach Amarasinghe i wsp. (2013) wykazano, że protiokonazol, tebukonazol, metkonazol oraz mieszanina protiokonazol + tebukonazol istotnie obniżyły indeks fuzariozy kłosów, zmniejszały odsetek ziarniaków porażonych przez *Fusarium* spp. oraz zwiększały plon w porównaniu z kontrolą niechronioną. Podobne wyniki uzyskali Paul i wsp. (2008), potwierdzając wyższą skuteczność protiokonazolu, metkonazolu oraz kombinacji protiokonazol + tebukonazol w zwalczaniu fuzariozy kłosów. Z kolei inne badania dowodzą, że skuteczność fungicydów strobilurynowych (stosowanych samodzielnie lub w połączeniu z morfolinami bądź triazolami) oraz triazoli (epoksykonazol, propikonazol) była w większym stopniu determinowana przez warunki pogodowe sezonu wegetacyjnego niż przez samą substancję czynną (Butkutė i wsp. 2008). Bolanos-Cariel i wsp. (2020) podkreślają, że najwyższą skuteczność w ochronie kłosów uzyskano przy zastosowaniu fungicydów zawierających protiokonazol i tebukonazol we wczesnej fazie kwitnienia, podczas gdy efektywność piraklostrobiny była niższa. Podobne obserwacje poczynili Elsherbini i wsp. (2024), którzy stwierdzili, że największą liczbę kłosów na jednostce powierzchni, ich długość, plon ziarna oraz zawartość węglowodanów uzyskano po aplikacji zalecanych dawek preparatów zawierających propikonazol. Autorzy ci jednoznacznie wskazali na konieczność ścisłego

Tabela 4. Analiza składu ziarna pszenicy ozimej
Table 4. Analysis of the composition of winter wheat grain

Substancja czynna Active substance	Białko Protein [SM]	Skrobia Starch [SM]	Gluten Gluten [SM]	Ergosterol Ergosterol [SM]	Masa Mass [hl]	MTZ Weight of 1000 seeds [g]
Azoksystrobina DP Azoxystrobin DP	12,5 a	70,0 a	28,3 a	9,6 a	81,2 a	46,97 d
Azoksystrobina DR Azoxystrobin DR	13,1 a	69,3 a	29,7 ab	9,6 a	81,4 a	45,75 b-d
Epoksykonazol DP Epoconazole DP	12,9 a	69,6 a	30,0 ab	9,3 a	81,7 a	45,12 a-d
Epoksykonazol DR Epoconazole DR	12,6 a	70,3 a	28,3 a	9,5 a	81,5 a	43,73 a
Fenpropimorf DP Fenpropimorph DP	13,0 a	69,6 a	29,9 ab	9,6 a	81,6 a	45,41 a-d
Fenpropimorf DR Fenpropimorph DR	12,6 a	69,8 a	28,8 ab	9,5 a	81,5 a	45,4 a-d
Tebukonazol DP Tebuconazole DP	13,0 a	69,1 a	29,8 ab	9,5 a	81,1 a	45,29 a-d
Tebukonazol DR Tebuconazole DR	12,8 a	70,0 a	29,4 ab	9,1 a	81,1 a	44,34 ab
Tiofanat metylowy DP Tiophanate methyl DP	13,2 a	69,4 a	30,5 b	9,4 a	81,7 a	44,80 a-c
Tiofanat metylowy DR Tiophanate methyl DR	12,6 a	70,1 a	29,0 ab	9,4 a	81,6 a	45,86 b-d
Kontrola – Control	12,5 a	70,0 a	28,4 a	9,7 a	81,0 a	44,8 a-c

DP – dawka zalecana – recommended dose, DR – połowa dawki zalecanej – half the recommended dose

Srednie oznaczone tą samą literą nie różnią się istotnie przy poziomie $\alpha = 0,05$

Mean values marked with the same letter were not statistically significant $\alpha = 0.05$

przestrzegania zaleceń dotyczących stosowania pestycydów oraz optymalizacji zabiegów agrotechnicznych w celu maksymalizacji plonów.

Analiza mykologiczna ziaren pszenicy wykazała, że zastosowane fungicydy różniły się pod względem skuteczności ograniczania poszczególnych taksonów. Grzybami dominującymi w większości wariantów były gatunki grzybów wywołujące czerń zbóż – *Alternaria* spp. oraz *Epicoccum* spp. (tab. 5). W ziarnie nieodkazanym powierzchniowo izolowano również *Botrytis* sp., szczególnie w kombinacjach traktowanych azoksystrobina DP, epoksykonazolem (DP i DR) oraz fenpropimorfem DR. W próbach chronionych tiofanatem metylowym DR częściej występowały *Penicillium* spp. i *Aspergillus* spp.

Porównanie wyników z prób nieodkaszanych i odkaszanych powierzchniowo ujawniło istotne różnice w składzie rodzajowym grzybów. W próbach nieodkaszanych dominowały *Alternaria* spp., *Epicoccum* spp. i *Botrytis* sp., podczas gdy po odkaszaniu zdecydowanie najczęściej izolowano *Alternaria* spp. Należy przypuszczać, że grzyb ten zasiedla także wnętrze nasion i nie jest skutecznie eliminowany poprzez dezynfekcję powierzchniową. Podobny wzorec odnotowano dla *Fusarium* spp., które były częściej izolowane z prób po odkaszaniu, co wskazuje na wewnętrzne zasiedle-

nie ziarna. Przypuszcza się, że przebieg pogody w sezonie wegetacyjnym 2019/2020 sprzyjał zasiedleniu ziarna pszenicy ozimej głównie przez grzyby czerniowe z rodzajów *Alternaria* i *Epicoccum*. Ciepła i sucha jesień oraz łagodna zima ograniczały rozwój grzybów wilgociolubnych, takich jak *Botrytis* sp. Przebieg pogody nie sprzyjał rozwojowi patogenów z rodzaju *Fusarium*, których infekcje nasilają się przy wyższej wilgotności. Sezon ten charakteryzował się niskim ryzykiem infekcji kłosów i przewagą grzybów powierzchniowych (tab. 1). Najwyższą skuteczność w ograniczaniu *Fusarium* spp. wykazały tebukonazol (DP i DR), fenpropimorf (DP i DR) i tiofanat metylowy (DP i DR). Najwięcej izolatów *Fusarium* spp. uzyskano z próby kontrolnej, a następnie z prób traktowanych azoksystrobina DR i fenpropimorfem DP. Nie zawsze obserwowano wyraźny wzrost częstości izolacji *Fusarium* spp. przy zastosowaniu dawek zredukowanych w porównaniu do dawek pełnych (tab. 5).

Analiza poziomu mykotoksyn potwierdziła istotny wpływ rodzaju fungicydu i dawki na ich akumulację (tab. 6). Najwyższe stężenie DON stwierdzono po zastosowaniu tebukonazolu DR (60 ppm). W pozostałych wariantach wartości DON mieściły się w zakresie umiarkowanym (2–20 ppm). Pełne dawki epoksykonazolu i fenpropimorfu oraz obniżo-

Tabela 5. Rodzaje grzybów zasiedlających ziarno pszenicy nieodkażane i odkażane powierzchniowo [liczba kolonii grzybów]
Table 5. Types of fungi colonizing non disinfected and surface disinfected wheat grain [number of fungal colonies]

Substancja czynna Active substance	<i>Alternaria</i> spp.		<i>Botrytis</i> sp.		<i>Fusarium</i> spp.		<i>Epicoccum</i> spp.		<i>Penicillium</i> spp. <i>Aspergillus</i> spp.		Inne Other	
	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected	nieodkażone non disinfected	odkażone disinfected
Azoksystrobina DP Azoxytobin DP	31	41	24	6	4	6	17	5	1	0	12	17
Azoksystrobina DR Azoxytobin DR	34	31	12	3	6	13	24	10	3	0	16	18
Epoksykonazol DP Epoxiconazole DP	15	35	23	7	4	4	21	13	5	0	17	23
Epoksykonazol DR Epoxiconazole DR	22	41	22	9	4	7	21	13	2	0	8	14
Fenpropimorf DP Fenpropimorph DP	31	39	16	11	2	11	20	11	8	1	9	3
Fenpropimorf DR Fenpropimorph DR	27	46	22	11	9	2	23	15	1	0	2	6
Tebukonazol DP Tebuconazole DP	25	42	16	0	4	1	17	12	3	1	20	20
Tebukonazol DR Tebuconazole DR	33	42	13	4	1	8	19	16	5	0	22	8
Tiofanat metylowy DP Tiophanate methyl DP	24	37	14	11	7	3	16	9	2	1	18	13
Tiofanat metylowy DR Tiophanate methyl DR	34	31	14	16	2	8	12	8	13	2	12	9
Kontrola – Control	31	37	15	7	14	12	13	10	0	0	3	9

na dawka azoksystrobiny całkowicie zahamowały produkcję DON. Mykotoksyna T-2 była wykrywana sporadycznie, w niskim stężeniu (1 ppb). Odmienny wzorzec uzyskano dla ZEA, którego najwyższe stężenia odnotowano w próbach traktowanych obniżonymi dawkami fungicydów, zwłaszcza tiofanatem metylowym (180 ppb), fenpropimorfem (80 ppb) i tebukonazolem (65 ppb), przewyższające poziomy obserwowane w kontroli (60 ppb). Zastosowanie pełnych dawek większości fungicydów eliminowało produkcję ZEA (tab. 6).

Interesującym aspektem uzyskanych wyników jest brak związku pomiędzy zawartością DON w ziarnie, liczebnością izolowanych z niego kolonii *Fusarium* spp. oraz poziomem ergosterolu. Przykładowo, próby traktowane połową zalecanej dawki azoksystrobiny cechowały się najwyższą zawartością ergosterolu, przy jednoczesnym braku detekcji DON. Natomiast w próbach chronionych połową dawki tebukonazolu stwierdzono najniższy poziom ergosterolu, ale jednocześnie najwyższe stężenie DON. Wiwart i wsp. (2011) wskazali, że korelacja pomiędzy ergosterolem a mykotoksynami nie zawsze jest jednoznaczna i może być silnie zależna od warunków środowiskowych. W lite-

raturze przedmiotu przedstawiono niejednoznaczne wyniki dotyczące wpływu różnych grup fungicydów na infekcję *Fusarium* spp. i akumulację mykotoksyn. Butkutė i wsp. (2008) odnotowali brak jednoznacznych zależności pomiędzy stosowaniem fungicydów a poziomem skażenia DON, ZEA i toksyną T-2. Z kolei Paul i wsp. (2008) wykazali, że propikonazol, protiokonazol, tebukonazol i metkonazol istotnie ograniczały zawartość DON, przy czym najwyższą skutecznością charakteryzował się metkonazol, a tebukonazol i propikonazol były mniej efektywne. Amarasinghe i wsp. (2013) potwierdzili skuteczność triazoli w obniżaniu poziomu DON, natomiast Somma i wsp. (2022) wskazali, że związki triazolowe skuteczniej niż azoksystrobina ograniczają skażenie trichotecenami typu A. Blandino i Reyneri (2009) zwracają uwagę, że aplikacja triazoli znacząco redukuje objawy fuzariozy kłosów zbóż i poziom DON, podczas gdy programy łączące triazole ze strobilurinami mogą sprzyjać zwiększeniu akumulacji DON, niekiedy przekraczając poziomy obserwowane w kontroli. Wachowska i wsp. (2017) udowodnili natomiast, że skuteczność w ograniczaniu mykotoksyn mogą wykazywać także preparaty biologiczne, obejmujące izo-

Tabela 6. Średnia zawartość mykotoksyn w ziarnie pszenicy ozimej
Table 6. Average mycotoxin content in winter wheat grain

Substancja czynna Active substance	Deoksyniwalenol Deoxynivalenol DON [ppm]	Mykotoksyna Mycotoxin T-2 [ppb]	Zearalenon Zearalenone ZEA [ppb]
Azoksystrobina DP – Azoxystrobin DP	20	0	0
Azoksystrobina DR – Azoxystrobin DR	0	0	0
Epoksykonazol DP – Epoxiconazole DP	0	0	0
Epoksykonazol DR – Epoxiconazole DR	7	0	0
Fenpropimorf DP – Fenpropimorph DP	0	0	0
Fenpropimorf DR – Fenpropimorph DR	4	0	80
Tebukonazol DP – Tebuconazole DP	9	0	0
Tebukonazol DR – Tebuconazole DR	60	0	65
Tiofanat metylowy DP – Tiophanate methyl DP	12	0	0
Tiofanat metylowy DR – Tiophanate methyl DR	17	1	180
Kontrola – Control	10	1	60

laty bakterii z rodzaju *Sphingomonas* oraz grzyb *Aureobasidium pullulans*, hamujące proliferację szeregu toksyn *Fusarium* spp., w tym DON, niwalenolu, enniatyn i moniliforminy.

Podsumowując, optymalny program ochrony fungicydowej powinien łączyć wysoką skuteczność w zwalczaniu chorób z minimalizacją ryzyka rozwoju odporności. Jak wskazują Van den Berg i wsp. (2016), pojedynczy zabieg fungicydowy może być efektywny jedynie przy precyzyjnym doborze terminu aplikacji i zastosowaniu pełnej dawki. Wyniki niniejszych badań sugerują jednak, że w warunkach niskiej presji chorobowej możliwe jest stosowanie dawek zredukowanych, bez istotnego ryzyka obniżenia jakości ziarna. Należy jednak podkreślić, że pełne dawki fungicydów pozostają kluczowe w minimalizacji ryzyka akumulacji mykotoksyn, co wskazuje na potrzebę starannego planowania strategii ochrony roślin z uwzględnieniem prognoz infekcji, monitoringu chorób oraz odporności odmianowej.

Wnioski / Conclusions

1. Badane fungicydy, zarówno w dawkach pełnych, jak i zredukowanych, nie wpłynęły istotnie na zawartość białka i skrobi w ziarnie pszenicy ozimej, jak również na wartości masy hektolitra.
2. Istotne różnice zanotowano pomiędzy zawartością glutenu oraz masą tysiąca ziaren (MTZ). Najwyższą zawartość glutenu odnotowano po zastosowaniu tiofanatu metylowego w dawce pełnej, natomiast najniższe wartości uzyskano po aplikacji azoksystrobiny w dawce pełnej i epoksykonazolu w dawce zredukowanej.
3. Korzystny wpływ na MTZ wykazały azoksystrobina w pełnej dawce oraz tiofanat metylowy w dawce obniżonej.
4. Zastosowanie pełnej ochrony chemicznej nie eliminowało całkowicie patogenów grzybowych, w tym *Fusarium* spp.
5. Pełne dawki fungicydów zazwyczaj zapewniły wyższą skuteczność redukcji obecności mykotoksyn w ziarnie niż dawki obniżone.

Literatura / References

- Almoujahed M.B., Apolo-Apolo O.E., Morellos A., Pantazi X.E., Kazlauskas M., Kriauciūnienė Z., Šarauskis E., Mouazen A.M. 2025. Cost-benefit evaluation of preventive site-specific fungicide spraying for fusarium head blight in wheat. *Computers and Electronics in Agriculture* 238: 110836. DOI: 10.1016/j.compag.2025.110836
- Amarasinghe C.C., Tamburic-Illincic L., Gilbert J., Brûlé-Babel A.L., Fernando W.G.D. 2013. Evaluation of different fungicides for control of fusarium head blight in wheat inoculated with 3ADON and 15ADON chemotypes of *Fusarium graminearum* in Canada. *Canadian Journal of Plant Pathology* 35 (2): 200–208. DOI: 10.1080/07060661.2013.773942
- Blandino M., Reyneri A. 2009. Effect of fungicide and foliar fertilizer application to winter wheat at anthesis on flag leaf senescence, grain yield, flour bread-making quality and DON contamination. *European Journal of Agronomy* 30 (4): 275–282. DOI: 10.1016/j.eja.2008.12.005
- Bolanos-Carriel C., Wegulo S.N., Baenziger P.S., Funnell-Harris D., Hallen-Adams H.E., Eskridge K.M. 2020. Effects of fungicide chemical class, fungicide application timing, and environment on *Fusarium* head blight in winter wheat. *European Journal of Plant Pathology* 158 (3): 667–679. DOI: 10.1007/s10658-020-02109-3
- Booth C. 1971. *The Genus Fusarium*. Commonwealth Mycological Institute, Kew, Surrey, England, 237 ss.

- Butkutė B., Mankevičienė A., Gaurilėikienė I. 2008. A comparative study of strobilurin and triazole treatments in relation to the incidence of *Fusarium* head blight in winter wheat, grain quality and safety. *Cereal Research Communications* 36 (6): 671–675. DOI: 10.1556/CRC.36.2008.Suppl.B.58
- Cromey M.G., Lauren D.R., Parkes R.A., Sinclair K.I., Shorter S.C., Wallace A.R. 2001. Control of *Fusarium* head blight of wheat with fungicides. *Australasian Plant Pathology* 30 (4): 301–308. DOI: 10.1071/AP01065
- Elsherbini A., Abdel Halim K., Beltagy R., Amine H.M. 2024. Collateral effects of some fungicides commonly used on wheat plants. *Journal of Sustainable Agricultural and Environmental Sciences* 3 (5): 1–13. DOI: 10.21608/jsaes.2024.315318.1099
- Eurostat 2024. Key figures on the European food chain – 2024 edition [online]. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-key-figures/w/ks-01-24-000> [dostęp: 11.09.2025].
- FRAC (Fungicide Resistance Action Committee) 2025. [online]. <https://www.frac.info/fungicide-resistance-management/by-fungicide-common-name/#open-tour> [dostęp: 11.09.2025].
- Gaurilėikienė I., Butkutė B., Mankevičienė A., Paplauskienė V. 2010. A multi-aspect comparative investigation on the use of strobilurin and triazole-based fungicides for winter wheat disease control. s. 69–94. W: *Fungicides* (O. Carisse, red.). BoD – Books on Demand, Hamburg, 500 ss.
- Groß J., Gentsch N., Boy J., Heuermann D., Schweneker D., Feuerstein U., Brunner J., von Wiren N., Guggenberger G., Bauer B. 2023. Influence of small-scale spatial variability of soil properties on yield formation of winter wheat. *Plant and Soil* 493 (1): 79–97. DOI: 10.1007/s11104-023-06212-2
- Haidukowski M., Pascale M., Perrone G., Pancaldi D., Campagna C., Visconti A. 2005. Effect of fungicides on the development of *Fusarium* head blight, yield and deoxynivalenol accumulation in wheat inoculated under field conditions with *Fusarium graminearum* and *Fusarium culmorum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 85 (2): 191–198. DOI: 10.1002/jsfa.1965
- Kayim M., Nawaz H., Alsalmo A. 2022. Fungal diseases of wheat. W: *Wheat-Recent Advances* (M.R. Ansari, red.). IntechOpen, London, UK.
- Kwaśna H., Chelkowski J., Zajkowski P. 1991. *Flora Polska. Grzyby (Mycota). Tom XXII. Sierpik (Fusarium)*. Instytut Botaniki, Polska Akademia Nauk, Warszawa–Kraków, 136 ss.
- Li C., Fan S., Zhang Y., Zhang X., Luo J., Liu C. 2022. Toxicity, bioactivity of triazole fungicide metconazole and its effect on mycotoxin production by *Fusarium verticillioides*: New perspective from an enantiomeric level. *Science of The Total Environment* 828: 154432. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.154432
- Lucas J.A., Hawkins N.J., Fraaije B.A. 2015. The evolution of fungicide resistance. *Advances in Applied Microbiology* 90: 29–92. DOI: 10.1016/bs.aambs.2014.09.001
- Matysiak K., Siatkowski I., Kierzek R., Kowalska J., Krawczyk R. 2020. Effect of foliar applied acetylsalicylic acid on wheat (*Triticum aestivum* L.) under field conditions. *Agronomy* 10 (12): 1918. DOI: 10.3390/agronomy10121918
- Mercer P.C., Ruddock A. 2005. Disease management of winter wheat with reduced doses of fungicides in Northern Ireland. *Crop Protection* 24 (3): 221–228. DOI: 10.1016/j.cropro.2004.07.009
- Mesterházy Á., Bartók T., Lamper C. 2003. Influence of wheat cultivar, species of *Fusarium*, and isolate aggressiveness on the efficacy of fungicides for control of *Fusarium* head blight. *Plant Disease* 87 (9): 1107–1115. DOI: 10.1094/PDIS.2003.87.9.1107
- Metcalf R.J., Shaw M.W., Russell P.E. 2000. The effect of dose and mobility on the strength of selection for DMI fungicide resistance in inoculated field experiments. *Plant Pathology* 49 (5): 546–557. DOI: 10.1046/j.1365-3059.2000.00486.x
- Paul P.A., Bradley C.A., Madden L.V., Dalla Lana F., Bergstrom G.C., Dill-Macky R., Esker P.D., Wise K.A., McMullen M., Grybauskas A., Kirk W.W., Milus E., Ruden K. 2018. Meta-analysis of the effects of QoI and DMI fungicide combinations on *Fusarium* head blight and deoxynivalenol in wheat. *Plant Disease* 102 (12): 2602–2615. DOI: 10.1094/PDIS-02-18-0211-RE
- Paul P.A., Lipps P.E., Hershman D.E., McMullen M.P., Draper M.A., Madden L.V. 2008. Efficacy of triazole-based fungicides for *Fusarium* head blight and deoxynivalenol control in wheat: a multivariate meta-analysis. *Phytopathology* 98 (9): 999–1011. DOI: 10.1094/PHYTO-98-9-0999
- Simpson D.R., Weston G.E., Turner J.A., Jennings P., Nicholson P. 2001. Differential control of head blight pathogens of wheat by fungicides and consequences for mycotoxin contamination of grain. *European Journal of Plant Pathology* 107 (4): 421–431. DOI: 10.1023/A:1011225817707
- Singh N., Virdi A.S., Katyal M., Kaur A., Kaur D., Ahlawat A.K., Singh A.M., Sharma R.K. 2021. Evaluation of heat stress through delayed sowing on physicochemical and functional characteristics of grains, whole meals and flours of India wheat. *Food Chemistry* 344: 128725. DOI: 10.1016/j.foodchem.2020.128725
- Somma S., Scarpino V., Quaranta F., Logrieco A., Reyneri A., Blandino M., Moretti A. 2022. Impact of fungicide application to control T-2 and HT-2 toxin contamination and related *Fusarium sporotrichioides* and *F. langsethiae* producing species in durum wheat. *Crop Protection* 159: 106020. DOI: 10.1016/j.cropro.2022.106020
- Supronienė S., Mankevičienė A., Kadžienė G., Kačergius A., Feiza V., Feizienė D., Semaškienė R., Dabkevičius Z., Tamošiūnas K. 2012. The impact of tillage and fertilization on *Fusarium* infection and mycotoxin production in wheat grains. *Žemdirbystė* 99 (3): 265–272.
- Van den Berg F., Paveley N.D., Van den Bosch F. 2016. Dose and number of applications that maximize fungicide effective life exemplified by *Zymoseptoria tritici* on wheat - a model analysis. *Plant Pathology* 65 (8): 1380–1389. DOI: 10.1111/ppa.12558
- Wachowska U., Waśkiewicz A., Jędrzycka M. 2017. Using a protective treatment to reduce *Fusarium* pathogens and mycotoxins contaminating winter wheat grain. *Polish Journal of Environmental Studies* 26 (5): 2277–2286. DOI: 10.15244/pjoes/67747
- Wegulo S.N., Zwingman M.V., Breathnach J.A., Baenziger P.S. 2011. Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. *Crop Protection* 30 (6): 685–692. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.02.002
- Wilkinson A.P., Ward C.M., Morgan M.R.A. 1992. Immunological analysis of mycotoxins. s. 185–225. W: *Plant Toxin Analysis* (H.F. Linskens, J.F. Jackson, red.). Springer Berlin, Heidelberg, 390 ss. DOI: 10.1007/978-3-662-02783-7
- Wiwart M., Perkowski J., Budzyński W., Suchowilska E., Buśko M., Matysiak A. 2011. Concentrations of ergosterol and trichothecenes in the grains of three *Triticum* species. *Czech Journal of Food Sciences* 29 (4): 430–440. DOI: 10.17221/229/2010-CJFS
- Wyczling D., Pańka D., Lenc L., Sadowski C. 2005. Wpływ ochrony fungicydami na zdrowotność i plon pszenicy ozimej. *Acta Agrobotanica* 58 (2): 287–306.
- Zalecenia ochrony roślin na lata 2018/2019. Opracowanie zbiorowe. Instytut Ochrony Roślin – Państwowy Instytut Badawczy, Poznań, 359 ss.