



Katedra Ochrony Roślin, Wydział Ogrodnictwa i Architektury Krajobrazu,
Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ul. Leszczyńskiego 7, 20-069 Lublin, Polska
e-mail: elzbieta.mielniczuk@up.lublin.pl

ELŻBIETA MIELNICZUK 

Występowanie *Fusarium* spp. na kłosach jęczmienia jarego oraz szkodliwość *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. dla wybranych odmian tego zboża

The occurrence of *Fusarium* spp. on spring barley heads and the harmfulness
of *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. for selected cultivars of this cereal

Streszczenie. Fuzarioza kłosów zbóż oraz zawartość mykotoksyn w ziarnie są jednymi z głównych problemów światowego rolnictwa. Prezentowane badania przeprowadzono w latach 2020–2022, ich celem było oszacowanie udziału *Fusarium* spp. w porażeniu kłosów jęczmienia jarego oraz ocena podatności 9 odmian tego zboża na porażenie przez *F. avenaceum*. Ocenę szkodliwości *F. avenaceum* dla wybranych odmian jęczmienia jarego wykonano na podstawie doświadczenia polowego z inokulacją kłosów zawieszoną zarodników konidialnych badanego gatunku grzyba. Badania nad częstotliwością występowania fuzariozy kłosów jęczmienia wykazały, że średni udział kłosów z objawami porażenia przez *Fusarium* spp. wahał się od 0,5% do 2,0%. Gatunkiem dominującym na ziarnie analizowanych odmian był *F. poae*. Znaczny udział w powodowaniu fuzariozy kłosów miały także gatunki *F. culmorum* i *F. avenaceum*. Wykazano również, że inokulacja kłosów badanych odmian jęczmienia w fazie kwitnienia spowodowała średnią obniżkę liczby ziarniaków w kłosie na poziomie 17,7%. Natomiast średnia redukcja plonu ziarna i masy 1000 ziaren dla wszystkich badanych odmian w porównaniu z kontrolą wynosiła odpowiednio 35,7% i 23,3%. Największą podatnością na porażenie kłosów przez *F. avenaceum* charakteryzowała się odmiana Oberek, natomiast najmniejszą odmiana Ramzes.

Słowa kluczowe: jęczmień, podatność odmian, fuzarioza kłosów, *Fusarium avenaceum*

Cytowanie: Mielniczuk E., 2023. Występowanie *Fusarium* spp. na kłosach jęczmienia jarego oraz szkodliwość *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc dla wybranych odmian tego zboża. *Agron. Sci.* 78(4), 175–190. <https://doi.org/10.24326/as.2023.5266>

WSTĘP

Jęczmień (*Hordeum vulgare* L.) jest jednym z głównych zbóż uprawianych w krajach o klimacie umiarkowanym i zajmuje czwarte miejsce na świecie pod względem wielkości produkcji. Obecnie jest uprawiany w ponad 100 krajach na całym świecie, w 2019 r. wyprodukowano ok. 159 mln ton ziarna jęczmienia, które jest wykorzystywane głównie jako pasza dla zwierząt i do produkcji piwa [Schöneberg i in. 2016, Badea i Wijekoon 2021]. Ziarno jęczmienia posiada dużą wartość odżywczą, stąd jest wykorzystywane także jako produkt spożywczy do wyrobu kasz, płatków, otrębów i mąki. Przetwory jęczmienne charakteryzuje duża zawartość błonnika pokarmowego, a zwłaszcza frakcji rozpuszczalnej, zatem są polecane konsumentom jako środki profilaktyczne w walce z chorobami cywilizacyjnymi [Tobiasz-Salach i Krochmal-Marczak 2017]. Ziarno przeznaczone na rynek paszowy i konsumencki, zgodnie z obowiązującymi standardami bezpiecznej produkcji żywności, powinno być przebadane pod kątem obecności substancji szkodliwych i zanieczyszczeń mikrobiologicznych, w tym grzybów mikroskopowych wraz z ich toksycznymi metabolitami wtórnymi, szkodliwymi dla ludzi i zwierząt. Wśród patogenów zbóż charakteryzujących się znacznym potencjałem toksynotwórczym ważną pozycję zajmują gatunki rodzaju *Fusarium*. Grzyby te, porażając kłosa zbóż, wytwarzają w ziarnie szeroką gamę drugorzędowych metabolitów wtórnych, zwłaszcza związki trichotecenowe z grup A i B, moniliforminę, zearalenon, fumonizyny i enniatyny, które wykazują działanie fitotoksyczne oraz zootoksyczne [Desjardins 2006]. Ziarno zbóż wykorzystywane jako materiał siewny stanowi również potencjalne źródło inokulum grzybów rodzaju *Fusarium*, co z kolei decyduje o zdrowotności wyrastających z niego roślin [Mielniczuk i Skwaryło-Bednarz 2020].

Zmiany klimatyczne zarówno w Europie, jak i w innych regionach świata zmierzają w kierunku wyższych temperatur i mniejszych opadów. Pomimo to liczba przypadków infekcji *Fusarium* spp. w uprawach zbóż w ostatnich latach wzrasta [Linkmeyer i in. 2016, Hofer i in. 2019]. Do czynników decydujących o porażaniu zbóż przez *Fusarium* spp., obok warunków pogodowych, należą: wirulencja różnych szczepów w obrębie poszczególnych gatunków tych grzybów, a także stopień podatności uprawianych genotypów roślin oraz metody uprawy, w tym wysycenia płodozmianów zbożami oraz wzrastający w skali świata areal uprawy kukurydzy [Bernhoft i in. 2012, Mielniczuk 2018]. *Fusarium* spp. zwykle obficie zarodnikują na powierzchni porażonych organów roślin, przez co przenoszenie zarodników tych grzybów wraz z wiatrem ma duże znaczenie w rozprzestrzenianiu się fuzariozy kłosów i rozwoju epidemii tej choroby, zwłaszcza przy dużej koncentracji roślin będących potencjalnymi gospodarzami dla tych patogenów na danym obszarze [Osborne i Stein 2007].

W różnych rejonach uprawy fuzariozę kłosów jęczmienia najczęściej powodują *Fusarium graminearum* Schwabe, *Fusarium culmorum* (Wm. G. Sm.) Sacc. i *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc. [Kiecana 1994, Tekauz i in. 2000, McMullen i in. 2012, Linkmeyer i in. 2016]. Wymienione patogeny uznano także za główną przyczynę fuzariozy kłosów innych gatunków zbóż [Fernando i in. 2021, Mielniczuk i Skwaryło-Bednarz 2020]. Ponadto w ostatnich latach w powodowaniu tej choroby wzrasta znaczenie gatunku *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. [Vančo i in. 2007, Schöneberg i in. 2016]. W warunkach klimatu umiarkowanego, w tym w Polsce, duży udział w porażaniu zbóż ma *F. avenaceum* [Kiecana 1994, Linkmeyer i in. 2016]. Badania molekularne wykazały, że w populacji *F. avenaceum* występuje wysoki poziom zmienności genetycznej oraz notowany jest brak

wyraźnych powiązań filogenetycznych w obrębie izolatów tego grzyba w odniesieniu do rośliny gospodarza i pochodzenia geograficznego [Yli-Mattila i in. 2002, Nalim i in. 2009]. *Fusarium avenaceum* jest gatunkiem heterotallicznym ze względu na występowanie populacji z różnymi grupami genów *MAT1-1* i *MAT1-2*, czyli w obrębie locus *MAT1* występować może tylko jedna z dwóch sekwencji jednoznacznie identyfikująca typ kojarzeniowy, opisywana jako *MAT1-1* i *MAT1-2*. Jednak poza doniesieniami Cooka'a z 1967 r. nie stwierdzono występowania teleomorfy *F. avenaceum* w warunkach naturalnych, chociaż zostały zidentyfikowane i transkrybowane obydwie typy kojarzeniowe tego grzyba [Kerényi i in. 2004].

Duża szkodliwość *Fusarium* spp., w tym *F. avenaceum* dla zbóż oraz słabe poznanie patogeniczności tego grzyba dla jęczmienia, a także wprowadzanie do praktyki rolniczej nowych genotypów, skłoniły Autorkę do podjęcia prezentowanych badań. Ich celem było: oszacowanie udziału gatunków rodzaju *Fusarium* w porażeniu kłosów jęczmienia jarego oraz ocena podatności wybranych odmian tego zboża na infekcję przez *F. avenaceum*.

MATERIAŁ I METODY

Badania nad występowaniem grzybów rodzaju *Fusarium* na ziarnie wybranych odmian jęczmienia jarego

Obserwacje dotyczące fuzariozy kłosów jęczmienia przeprowadzono w latach 2020–2022 na poletkach doświadczalnych Hodowli Roślin Strzelce, Sp. z o.o., Gr IHAR, woj. łódzkie (52°18'41,0"N, 19°24'22,4"E). Objęto nimi 9 odmian jęczmienia jarego: Adwokat, Farmer, Kormoran, Mecenas, Oberek, Ramzes, Skarb, Suweren i Teksas. Wzorując się na badaniach nad fuzariozą wiech owsa [Kiecana i in. 2012], w fazie dojrzałości pełnej ziarna (89 w skali BBCH), w każdym sezonie wegetacji określono procentowy udział kłosów z objawami tej choroby. We wszystkich latach pobierano po 20 kłosów każdego z analizowanych genotypów jęczmienia wykazujących objawy fuzariozy, które przeznaczono do badań laboratoryjnych. W przypadku odmian, na których nie notowano typowych symptomów chorobowych do dalszych badań pobierano po 20 losowo wybranych kłosów. W laboratorium przeprowadzono analizę mykologiczną ziarniaków badanych odmian jęczmienia. Do wyizolowania grzybów zasiedlających materiał siewny zastosowano metodę szalkową według ogólnie przyjętych w fitopatologii zasad. W każdym roku badań analizowano po 100 ziarniaków każdej odmiany, odkażonych powierzchniowo w 10% podchlorynie sodu. Do izolacji grzybów z materiału roślinnego wykorzystano pożywkę mineralną o składzie podanym przez Mielniczuk [2018]. Szalki z wyłożonym materiałem roślinnym przetrzymywano w termostacie, w temperaturze 22°C przez okres 7 dni. Wyrosłe po tym czasie kolonie grzybów, w sterylnych warunkach odszczepiono na skosy z pożywką dekstrozowo-ziemniaczaną – PDA (produkt firmy Difco). W ten sposób przygotowane kultury przetrzymywano przez 14 dni w takich samych warunkach, jak szalki z wyłożonym materiałem roślinnym. Oznaczanie wyrosłych kolonii grzybów do gatunku przeprowadzono na pożywkach standardowych z wykorzystaniem właściwych kluczy i monografii podanych w pracy Mielniczuk i in. [2010].

Badania nad szkodliwością szczepu *Fusarium avenaceum* nr O-070 dla wybranych odmian jęczmienia jarego w warunkach doświadczenia polowego z inokulacją kłosów

Doświadczenie przeprowadzono w latach 2020–2022 na poletkach należących do Gospodarstwa Doświadczalnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie, zlokalizowanych w Czesławicach (51°18'23"N 22°16'02"E). Przedplonem dla jęczmienia w każdym roku badań były rośliny okopowe. Badaniami objęto 9 wcześniej wymienionych odmian jęczmienia jarego. Sposób prowadzenia doświadczenia był taki jak w badaniach Kiecany i in. [2012]. Rośliny, których kłosa inokulowano, uprawiano na poletkach o powierzchni 9 m². Materiał siewny badanych odmian pochodził z Hodowli Roślin Strzelce sp. z o.o., gr IHAR. Ziarno zaprawiano preparatem Kinto Duo 080FS (tritikonazol + prochloraz w kompleksie z miedzią), w dawce 200 ml na 100 kg ziarna. W każdym sezonie wegetacyjnym stosowano optymalne nawożenie NPK oraz zabiegi herbicydowe z wykorzystaniem preparatu Mustang 306 SE (florasulam + 2,4-D) w dawce 0,6 l·ha⁻¹ oraz Axial 50 EC (pinoksaden) w dawce 0,7 l·ha⁻¹.

Do sztucznego zakażenia kłosów używano inokulum przygotowanego ze szczepu *F. avenaceum* nr O-070, zidentyfikowanego jako *MATI-1* [Mielniczuk 2018]. Materiał infekcyjny stanowiła zawiesina, o zagęszczeniu 5×10^5 konidiów [Kiecana 1994]. Inokulacji kłosów dokonano w fazie kwitnienia (65 w skali BBCH) – 02.07.2020 r., 05.07.2021 r. i 04.07.2022 r. Zawiesiną infekcyjną opryskiwano po 80 kłosów każdej odmiany jęczmienia, uznając za jedno powtórzenie 20 kłosów. Inokulację przeprowadzono przy pomocy ręcznego opryskiwacza ogrodniczego, używając na jeden kłos ok. 2 ml materiału infekcyjnego. Taką samą liczbę kłosów z kombinacji kontrolnej opryskiwano tylko sterylną wodą destylowaną. Po aplikacji zawiesiny infekcyjnej kłosa okrywano osłonami foliowymi i tym sposobem przez 48 h chroniono materiał zakaźny przed prądami powietrza i przed wysychaniem. W każdym roku po zbiorze kłosów inokulowanych oraz kontrolnych określono liczbę ziarniaków w 40 kłosach (4×10), plon uzyskanego z nich ziarna i masę 1000 ziaren (MTZ). Uzyskane wyniki opracowano statystycznie. Średnie porównano za pomocą najmniejszych istotnych różnic na podstawie testu Tukeya ($p = 0,05$). Do obliczeń wykorzystano program statystyczny ARSTAT, opracowany w Katedrze Zastosowań Matematyki i Informatyki Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.

W celu reizolacji grzybów zgodnie z postulatami Kocha, ziarniaki pochodzące z kłosów inokulowanych *F. avenaceum* oraz z kłosów kontrolnych poddano analizie mykologicznej z wykorzystaniem metody szalkowej na podłożu mineralnym [Kiecana 1994].

WARUNKI POGODOWE

Informacje dotyczące temperatury i opadów w analizowanych sezonach wegetacji jęczmienia jarego opracowano na podstawie danych pochodzących ze stacji meteorologicznej Hodowli Roślin Strzelce oraz danych internetowych (<https://www.weatheronline.pl/weather> dostęp 15.07.2023 r.). W Strzelcach najwyższe wartości temperatury w miesiącach czerwiec i lipiec, obejmujących fazę kwitnienia i formowania ziarniaków jęczmienia jarego, zanotowano w 2021 r., który charakteryzował się z kolei najniższą temperaturą w sierpniu. W analizowanej lokalizacji opady poniżej średniej wieloletniej zanotowano w kwietniu i lipcu 2020 r., w czerwcu 2021 r. oraz w maju i lipcu 2022 r. (tab. 1).

Tabela 1. Warunki pogodowe w Strzelcach (woj. łódzkie) w sezonach wegetacji jęczmienia jarego 2020–2022

Table 1. Weather conditions in Strzelce (Łódź region) in the seasons of spring barley vegetation 2020–2022

Miesiąc month	Średnie wieloletnie Mean for the years (1991–2020)	2020	2021	2022
	temperatura powietrza (°C) air temperature (°C)	różnice temperatury powietrza w porównaniu ze średnią w latach 1991–2020 (°C) difference of air temperatures as compared with means for the years 1991–2020 (°C)		
Kwiecień April	9,2	–0,2	–2,8	–1,3
Maj May	14,0	–2,3	–1,5	–0,1
Czerwiec June	16,5	+1,6	+2,5	+1,4
Lipiec July	18,9	+0,4	+3,1	+0,5
Sierpień August	18,1	+1,1	–1,1	+2,1
Miesiąc Month	opady deszczu w (mm) rainfalls (mm)	odsetek opadów w porównaniu ze średnią w latach 1991–2020 (%) percentage of rainfalls as compared with means for the years 1991–2020 (%)		
Kwiecień April	30,0	28	116	109
Maj May	51,0	117	130	72
Czerwiec June	56,0	140	82	123
Lipiec July	75,0	53	115	98
Sierpień August	53,00	157	270	113

W Czesławicach najwyższą temperaturę powietrza w czerwcu zanotowano w 2020 r. W tym roku odnotowano także najwyższą temperaturę w sierpniu. Natomiast najwyższą temperaturą w lipcu charakteryzował się 2021 r., a najniższą – 2022 r. W przypadku opadów deszczu, w czerwcu wartość przewyższającą średnią wieloletnią stwierdzono w 2020 r., zaś w lipcu w latach 2021 i 2022. W 2021 r. zanotowano również znaczną sumę opadów w sierpniu (tab. 2).

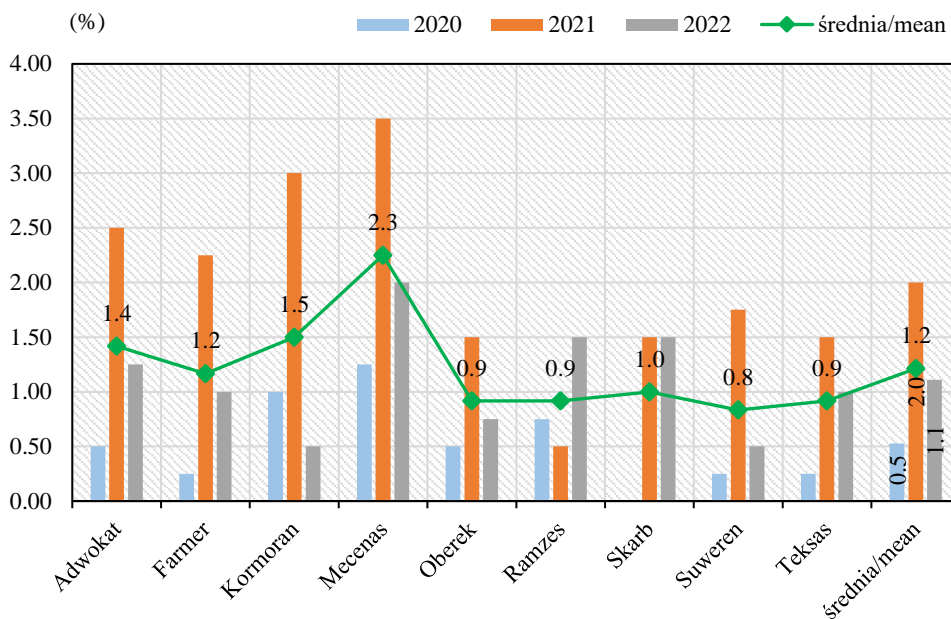
Tabela 2. Warunki pogodowe w Czesławicach (woj. lubelskie) w sezonach wegetacji jęczmienia jarego w latach 2020–2022

Table 2. Weather conditions in Czesławice (Lublin region) in the seasons of spring barley vegetation in years 2020–2022

Miesiąc Month	Średnie wieloletnie Mean for the years (1991–2020)	2020	2021	2022
	temperatura powietrza (°C) air temperature (°C)	różnice temperatury powietrza w porównaniu ze średnią w latach 1991–2020 (°C) difference of air temperatures as compared with means for the years 1991–2020 (°C)		
Kwiecień April	8,5	+0,4	+2,0	–2,0
Maj May	13,6	–2,6	+1,6	+0,1
Czerwiec June	16,1	+2,9	+1,9	+1,4
Lipiec July	18,6	0,0	+2,4	–0,5
Sierpień August	17,7	+2,5	–1,5	+2,1
Miesiąc Month	opady deszczu (mm) rainfalls (mm)	odsetek opadów w porównaniu ze średnią w latach 1991–2020 percentage of rainfalls as compared with means for the years 1991–2020		
Kwiecień April	35,0	61	100	109
Maj May	65,0	150	69	35
Czerwiec June	67,0	203	82	39
Lipiec July	84,0	37	113	101
Sierpień August	52,0	50	326	77

WYNIKI

Obserwacje przeprowadzone w zasiewach jęczmienia jarego na poletkach doświadczalnych Hodowli Roślin w Strzelcach wykazały, że co roku występowały rośliny z objawami fuzariozy kłosów, choć w niewielkim procencie. Średni udział takich kłosów, w latach 2020–2022 wynosił odpowiednio: 0,5% (0–1,25%), 2,0% (0,5–3,5%) i 1,1% (0–2,0%) – rycina 1.



Ryc. 1. Procentowy udział kłosów z objawami fuzariozy w latach 2020–2022 (Strzelce)

Fig. 1. The percentage of heads with fusariosis symptoms in 2020–2022 (Strzelce)

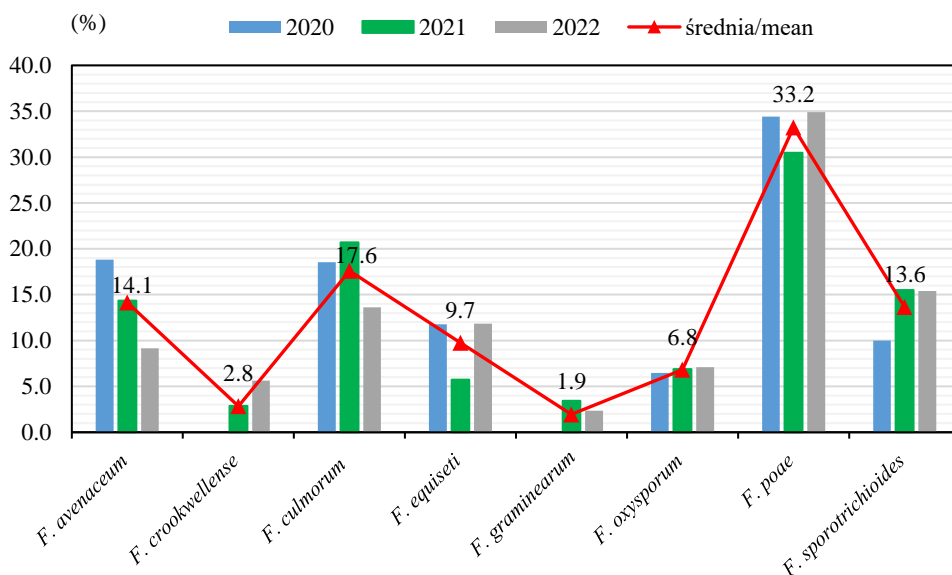
W wyniku analizy mykologicznej ziarniaków uzyskanych z kłosów z objawami fuzariozy, wzrastających na polach Hodowli Roślin Strzelce w latach 2020–2022 uzyskano odpowiednio: 885, 884 i 821 izolatów grzybów, łącznie wyosobniono 2560 izolatów (tab. 3). Wśród uzyskanych kolonii grzyby należące do rodzaju *Fusarium* stanowiły w 2020 r. – 39,8%, w 2021 r. – 39,4%, a w 2022 r. – 40,2% (tab. 2). W każdym sezonie wegetacji wśród gatunków rodzaju *Fusarium* dominował *F. poae*, który w latach 2020–2022 stanowił odpowiednio: 34,4%, 30,5% i 34,9% izolatów tych grzybów (ryc. 2). *Fusarium avenaceum* w analizowanych latach badań stanowił od 9,2% wszystkich wyosobnień *Fusarium* spp. w 2022 r. do 18,8% w 2020 r. (ryc. 2). W analizowanym okresie badań z ziarniaków jęczmienia wyosobniano także *F. culmorum* (od 13,6% w 2022 r. do 20,7% w 2021 r.), *F. equiseti* (5,7% w 2021 r. oraz po 11,8% w latach 2020 i 2022), *F. oxysporum* (od 6,5% w 2020 r. do 7,1 w 2021 r.) i *F. sporotrichioides* (od 10,0% w 2020 r. do 15,5% w 2021 r.) – rycina 2. Ponadto w latach 2021 i 2022 wyizolowano *F. crookwellense*, którego kolonie stanowiły odpowiednio 2,9 i 5,6% wszystkich *Fusarium* spp. oraz *F. graminearum*, w 2021 r. izolaty tego grzyba stanowiły 3,4%, zaś w 2022 r. – 2,4% ogółu *Fusarium* spp. (ryc. 2).

Średnie wyniki uzyskane po trzech latach badań wykazały, że inokulacja kłosów jęczmienia zawiesiną zarodników konidialnych *F. avenaceum* nr O-070 istotnie zmniejszyła liczbę ziarniaków w kłosie, w porównaniu z kontrolą, u pięciu odmian – Adwokat, Farmer, Kormoran, Mecenas i Oberek oraz plon ziarna z 10 kłosów u ośmiu badanych odmian, wyjątek stanowiła tylko odmiana Ramzes (tab. 4). Natomiast w przypadku MTZ istotne różnice w porównaniu z kontrolą zanotowano u wszystkich analizowanych odmian jęczmienia (tab. 4).

Tabela 3. Gatunki grzybów rodzaju *Fusarium* wyizolowane z ziarniaków jęczmienia jarego w latach 2020–2022
 Table 3. *Fusarium* species isolated from spring barley kernels in 2020–2022

Gatunek grzyba Fungus species	Liczba izolatów/ Number of isolates									Ogólna liczba izolatów Total number of isolates
	2020			2021			2022			
	K	NK	razem total	K	NK	razem total	K	NK	razem total	
<i>Fusarium avenaceum</i> (Fr.) Sacc.	44	20	64	32	18	50	21	10	31	145
<i>Fusarium crookwellense</i> L.W. Burgess, P.L. Nelson & Toussoun	–	–	0	6	4	10	8	11	19	29
<i>Fusarium culmorum</i> (Wm. G. Sm.) Sacc.	49	14	63	38	34	72	30	16	46	181
<i>Fusarium equiseti</i> (Corda) Sacc.	28	12	40	16	4	20	21	19	40	100
<i>Fusarium graminearum</i> Schwabe	–	–	0	10	2	12	6	2	8	20
<i>Fusarium oxysporum</i> Schldt.	22	0	22	15	9	24	8	16	24	70
<i>Fusarium poae</i> (Peck) Wollenw.	81	36	117	96	10	106	56	62	118	341
<i>Fusarium sporotrichioides</i> Sherb.	29	5	34	26	28	54	36	16	52	140
Inne kolonie/ Other colonies	463	52	515	490	46	536	401	82	483	1534
Razem/Total	716	139	855	729	155	884	587	234	821	2560

K – ziarniaki kielkujące/ germinating kernels; NK – ziarniaki niekielkujące/ not germinating kernels



Ryc. 2. Procentowy udział poszczególnych gatunków rodzaju *Fusarium* w ogólnej liczbie izolatów tych grzybów uzyskanych z ziarna pochodzącego z kłosów jęczmienia jarego z objawami fuzariozy

Fig. 2. Percentage of individual species of *Fusarium* genus in the total number of isolates of these fungi obtained from kernels from spring barley heads with fusariosis symptoms

Tabela 4. Wpływ inokulacji przez *F. avenaceum* na liczbę ziarniaków w kłosie, plon ziarna z 10 kłosów i MTZ średnio w ciągu 3 lat badań (2020–2022)

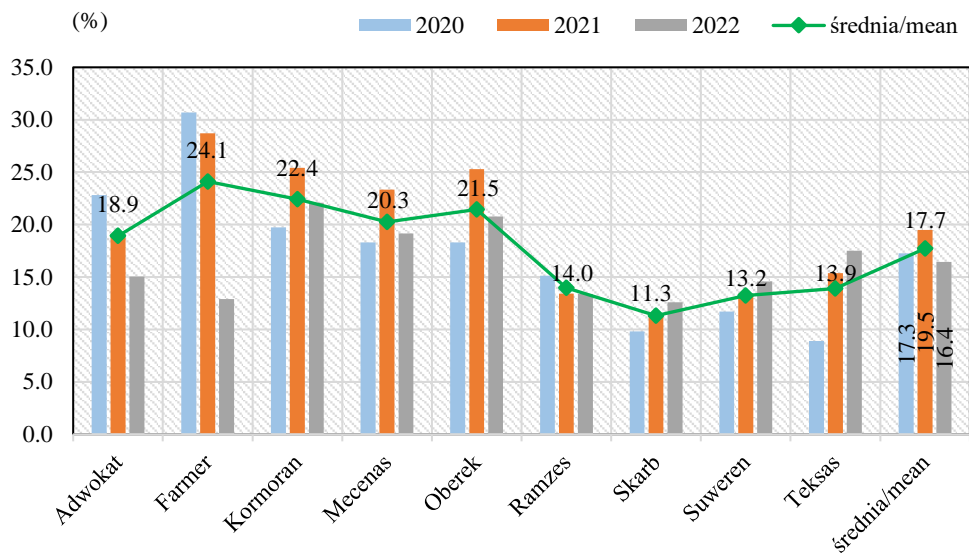
Table 4. The influence of inoculation with *F. avenaceum* on kernels number per head, kernels yield from 10 heads and 1000 kernel weight (TKW), average during 3 years of studies (2020–2022)

Odmiana Cultivar	Liczba ziarniaków w kłosie Kernels number per head		Plon ziarna z 10 kłosów Kernels yield from 10 heads (g)		MTZ/TKW (g)	
	Fa	K	Fa	K	Fa	K
Adwokat	15,54*	19,08	5,95*	9,22	38,32*	50,20
Farmer	14,86*	19,13	5,33*	9,14	36,67*	48,57
Kormoran	15,11*	19,48	5,65*	9,46	37,40*	49,14
Mecenas	17,55*	22,02	5,76*	10,10	34,59*	49,36
Oberek	16,35*	20,85	5,89*	10,39	34,13*	48,81
Ramzes	16,45	19,12	6,36	8,27	38,75*	44,37
Skarb	18,29	20,64	7,00*	9,89	38,33*	50,02
Suweren	17,63	20,35	6,54*	9,43	37,26*	48,58
Teksas	15,78	18,81	5,85*	8,81	37,01*	47,88

Fa – *F. avenaceum*, K – kontrola/control

* wartości różnią się istotnie w porównaniu do kontroli/ values differ significantly compared to the control (P ≤ 0,05)

Najmniejszy ubytek liczby ziarniaków w kłosie, w porównaniu z kontrolą, średnio po trzech latach badań (2020–2022), stwierdzono w przypadku odmiany Skarb – 11,3% (od 9,8 do 12,6%) – rycina 3, u której zanotowano również jedną z najmniejszych wartości redukcji plonu ziarna – 29,0% (od 23,7 do 32,5%) – rycina 4. Natomiast największą redukcję liczby ziarniaków w kłosie, wynoszącą 24,1% (od 12,9 do 30,7%) zanotowano u odmiany Farmer (ryc. 3), u której stwierdzono także jeden z największych ubytków plonu – 41,7% (ryc. 4).

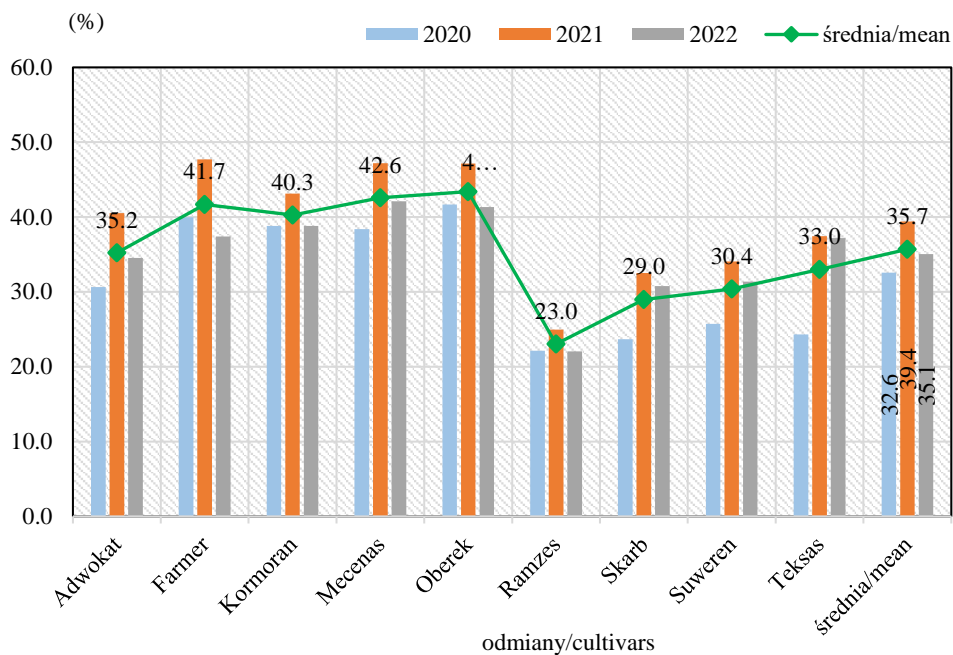


Ryc. 3. Redukcja liczby ziarniaków w kłosie po inokulacji *F. avenaceum* w porównaniu z kontrolą
Fig. 3. Reduction of kernels number after heads inoculation with *F. avenaceum* compared to the control

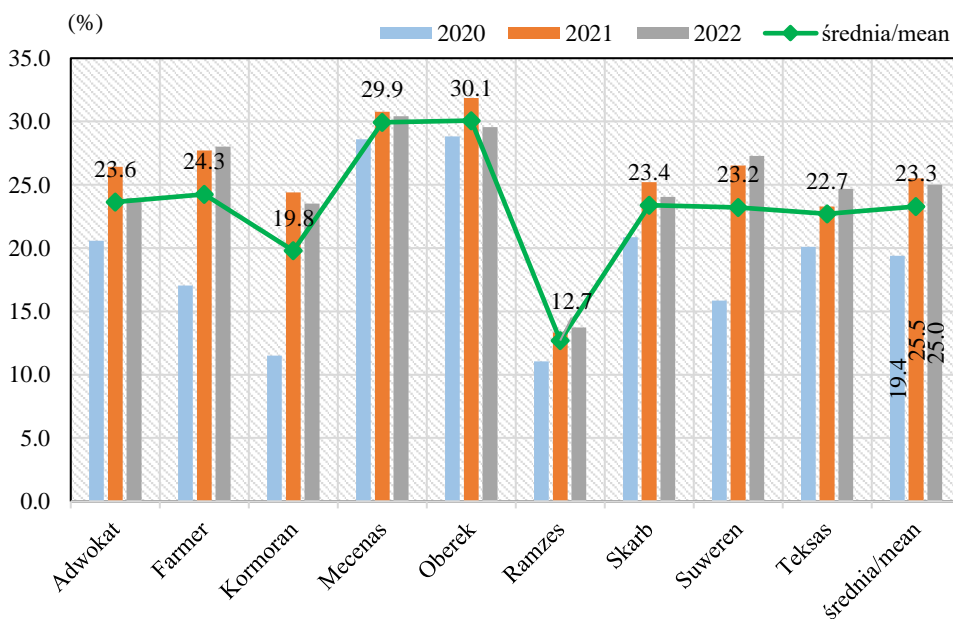
Najmniejszą średnią obniżką plonu ziarna z 10 kłosów oraz MTZ, w porównaniu z kontrolą, charakteryzowała się odmiana Ramzes, odpowiednio – 23,0% (od 22,0 do 24,9%) oraz 12,7% (od 11,1 do 13,7%) – ryciny 4 i 5. Natomiast największą obniżkę plonu ziarna w wyniku inokulacji kłosów przez *F. avenaceum* stwierdzono u odmiany Oberek – 43,4% (od 41,3 do 47,2%) – rycina 4. Wśród odmian charakteryzujących się znaczną redukcją plonu ziarna, powyżej 40%, znalazły się także Farmer, Kormoran i Mecenias (ryc. 4). Największą średnią obniżkę MTZ zanotowano u odmian Oberek – 30,1% (od 28,8 do 31,8%) oraz Mecenias – 29,9% (od 28,6 do 30,8%) – rycina 5.

Najmniejszą, średnią dla wszystkich analizowanych odmian, redukcję liczby ziarniaków w kłosie, zanotowano w 2022 r. – 16,4% (ryc. 3), zaś najmniejszą obniżkę plonu ziarna z 10 kłosów (32,6%) oraz MTZ (19,4%) w 2020 r. (ryc. 4 i 5). Natomiast największą obniżkę liczby ziarniaków w kłosie – 19,5%, plonu ziarna – 39,4% oraz MTZ – 25,5% stwierdzono w 2021 r. (ryc. 3–5).

Reizolacja grzybów z ziarniaków pozyskanych z kłosów inokulowanych potwierdziła zasiedlanie ich przez *F. avenaceum*, gatunek użyty do inokulacji.



Ryc. 4. Redukcja plonu ziarna z 10 kłosów po inokulacji *F. avenaceum* w porównaniu z kontrolą
 Fig. 4. Reduction of kernels yield with 10 heads after inoculation with *F. avenaceum* compared to the control



Ryc. 5. Redukcja MTZ po inokulacji *F. avenaceum* w porównaniu z kontrolą
 Fig. 5. Reduction of 1000 kernel weight after inoculation with *F. avenaceum* compared to the control

DYSKUSJA

Przeprowadzone badania wykazały, że fuzarioza kłosów jęczmienia występowała w analizowanych sezonach wegetacyjnych w niewielkim nasileniu, podobnie jak to miało miejsce w latach 1989–1991 na Lubelszczyźnie [Kiecana 1994]. Procentowy udział kłosów z objawami fuzariozy nie przekraczał 3,5%.

Z ziarna badanych odmian jęczmienia uprawianego w centralnej Polsce w największych ilościach, spośród wszystkich gatunków rodzaju *Fusarium*, uzyskiwany był gatunek *F. poae*. Podobnie jak w przypadku owsa uprawianego w tym samym rejonie naszego kraju, w latach 2009–2012 [Mielniczuk 2018] oraz jęczmienia jarego w Czechach, w 2018 r. [Pernica i in. 2022]. Gatunek ten może zasiedlać organy generatywne zbóż nawet w warunkach suchej pogody [Stenglein 2009], co potwierdzają także badania własne. Grzyb ten uważany jest za mniej szkodliwy dla zbóż aniżeli inne gatunki rodzaju *Fusarium*, jednak w warunkach inokulacji kłosów w fazie kwitnienia patogeniczność *F. poae* dla niektórych genotypów owsa oraz jęczmienia może być zbliżona lub nawet większa w porównaniu z *F. culmorum* i *F. crookwellense* [Barreto i in. 2004, Kiecana i in. 2012]. Ponadto szkodliwość *F. poae* dla zbóż potęguje zdolność tego gatunku do produkcji toksycznych metabolitów wtórnych, w tym T-2 i HT-2 toksyny oraz niwalenolu [Stenglein 2009, Mielniczuk i Skwaryło-Bednarz 2020].

Przeprowadzone badania wskazują, że w analizowanych sezonach wegetacyjnych znaczącą rolę w porażaniu kłosów jęczmienia jarego miały gatunki *F. culmorum* i *F. avenaceum*, które zostały uznane za główną przyczynę fuzariozy kłosów tego zboża w Polsce, w latach 90. ubiegłego stulecia [Kiecana 1994]. Grzyby te miały również duży udział w porażaniu ziarna jęczmienia w Szwajcarii oraz USA [Salas i in. 1999, Schöneberg i in. 2016]. Znaczenie poszczególnych gatunków w powodowaniu fuzariozy kłosów w dużej mierze determinowane jest warunkami pogodowymi [Bernhoft i in. 2012, Beccari i in. 2017]. Stwierdzono, że wysokie temperatury pozytywnie korelują z występowaniem *F. culmorum* na jęczmieniu [Linkmeyer i in. 2016], co znalazło także potwierdzenie w prezentowanych badaniach. Wysoka temperatura sprzyja również infekcji kłosów przez *F. graminearum* [Beccari i in. 2017], chociaż w analizowanych warunkach uprawy gatunek ten w żadnym sezonie wegetacji nie dorównywał częstotliwością występowania innym gatunkom rodzaju *Fusarium*. Obecność *F. avenaceum* na kłosach badanych odmian jęczmienia jarego w sezonach wegetacji o zróżnicowanych warunkach pogodowych, potwierdza znaczną tolerancję tego grzyba względem temperatury i wilgotności [Mielniczuk 2018]. W badaniach Okorskiego i in. [2022] średnia dobowa temperatura powietrza oraz wysoka wilgotność w maju sprzyjała infekcji kłosów pszenicy ozimej przez *F. avenaceum*. Zbliżone warunki pogodowe zanotowano w Strzelcach w latach 2020 i 2021, kiedy to gatunek ten występował z większą częstotliwością na ziarnie jęczmienia, aniżeli w 2022 r. Według Geißinger i in. [2022] spektrum gatunków *Fusarium* w próbkach ziarna jęczmienia nie różniło się znacząco przez dziesięciolecia, chociaż warunki klimatyczne zmieniły się znacznie.

We wszystkich analizowanych sezonach wegetacyjnych z ziarna pochodzącego z kłosów z objawami fuzariozy izolowano również *F. sporotrichioides*. Gatunek ten często zasiedlał również ziarno zbóż uprawianych w Skandynawii [Nielsen i in. 2011]. Charakteryzował się on także znaczną szkodliwością dla jęczmienia jarego w warunkach inokulacji kłosów [Kiecana 1994, Linkmeyer i in. 2013]. *Fusarium sporotrichioides* zasługuje na szczególną uwagę ze względu na zdolność wytwarzania w ziarnie znacznych ilości

związków trichotecenowych z grupy A, uznanych za najbardziej toksyczne dla organizmów stałocieplnych [Desjardins 2006, Linkmeyer i in. 2013].

Spśród innych *Fusarium* spp. na kłosach jęczmienia jarego stwierdzono występowanie *F. crookwellense*, *F. equiseti* i *F. oxysporum*. O występowaniu tych gatunków na ziarnie jęczmienia donoszą Schöneberg i in. [2016], Beccari i in. [2017], Hofer i in. [2019] oraz Pernica i in. [2022].

W przypadku rosnącej liczby infekcji jęczmienia przez *Fusarium* spp. należy wziąć pod uwagę także czynniki wykraczające poza zmiany klimatyczne, jak: metody uprawy czy podatność odmian [Hofer i in. 2019, Geißinger i in. 2022].

Przeprowadzone badania z inokulacją kłosów przez *F. avenaceum* potwierdzają zróżnicowaną reakcję genotypów jęczmienia jarego na porażenie przez *Fusarium* spp. [Salas i in. 1999, Vančo i in. 2007]. Na podstawie wyników doświadczeń polowych stwierdzono także zmienność w reakcji badanych odmian na porażenie kłosów przez badany szczep grzyba w poszczególnych latach badań, a to wskazuje na znaczący wpływ interakcji genotypowo-środowiskowej na rozwój fuzariozy. Podobne zależności u odmian owsa wykazała Mielniczuk [2018], zaś w przypadku jęczmienia Kiecana [1994]. Przeprowadzone badania wskazały, że odmiana Ramzes charakteryzowała się najmniejszą podatnością na porażenie kłosów przez badany szczep *F. avenaceum*, natomiast za najbardziej podatne na porażenie kłosów przez ten gatunek uznano odmiany Oberek, Mecenas i Farmer.

Fusarium avenaceum uważany jest za patogen powodujący znaczne straty ekonomiczne na całym świecie. Porażenie kłosów przez ten gatunek grzyba może obniżyć plon ziarna pszenicy nawet do 25% [Vogelgsang i in. 2017]. Jak wskazują prezentowane badania oraz ustalenia Kiecany [1994], w warunkach epidemii *F. avenaceum* może być przyczyną ponad 30% obniżki plonu ziarna jęczmienia. O dużej szkodliwości tego gatunku dla jęczmienia uprawianego w USA donosi McMullen i in. [2012].

W ścisłym doświadczeniu polowym z inokulacją kłosów plon ziarna jęczmienia obniżył się przeciętnie, po trzech latach badań, o 35,5%. Można zatem przypuszczać, że fuzarioza kłosów jęczmienia jarego powodowana przez *F. avenaceum* w warunkach epidemii, w podobny sposób wpływa na zmniejszenie plonu ziarna jak fuzarioza kłosów pszenżyta [Chelkowski i in. 2000] oraz wiech owsa [Mielniczuk 2018]. We wcześniejszych badaniach dotyczących jęczmienia jarego za bardziej szkodliwe dla kłosów tego zboża uznano gatunki *F. culmorum* oraz *F. graminearum* [Kiecana 1994, Linkmeyer i in. 2013]. Wyniki badań polowych potwierdziły dotychczasowe ustalenia, że zakażenie kłosów jęczmienia przez *Fusarium* spp. w fazie kwitnienia wpływa na zmniejszenie liczby ziarniaków w kłosach, a zwłaszcza na ich rozwój, przez co znacznie obniża się MTZ [Kiecana 1994, Chrpová i in. 2011].

PODSUMOWANIE

Powszechne zasiedlanie ziarna jęczmienia jarego uprawianego w centralnej Polsce przez toksynotwórcze gatunki *F. poae*, *F. culmorum* i *F. avenaceum* wskazuje, że są one główną przyczyną fuzariozy kłosów tego zboża.

Występowanie na ziarnie jęczmienia jarego patogenicznych dla zbóż *Fusarium* spp. upoważnia do stwierdzenia, że materiał siewny może być potencjalnym źródłem infekcji pierwotnej groźnych chorób jęczmienia w okresie wegetacyjnym. Ponadto zasiedlenie

ziarna jęczmienia jarego przez toksynotwórcze gatunki rodzaju *Fusarium* wskazuje na możliwość skażenia pasz i żywności przez mykotoksyny.

Przyjmując za kryterium oceny obniżkę plonu w wyniku inokulacji kłosów przez *F. avenaceum*, za najmniej podatną na porażenie przez ten patogen należy uznać odmianę Ramzes i warto ją uwzględnić w procesach hodowlanych.

Analiza warunków pogodowych w badanych sezonach wegetacyjnych oraz obniżki plonu ziarna będącej wynikiem inokulacji kłosów jęczmienia jarego przez *F. avenaceum* potwierdza dużą tolerancję tego grzyba na temperaturę i wilgotność.

PIŚMIENNICTWO

- Badea A., Wijekoon C., 2021. Benefits of barley grain in animal and human diets. W: A.K. Goyal (red.). Cereal grains, vol. 1. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97053>
- Barreto D., Carmona M., Ferrazini M., Zanelli M., Perez B.A., 2004. Occurrence and pathogenicity of *Fusarium poae* in barley in Argentina. *Cer. Res. Comm.* 32(1), 53–60. <https://doi.org/10.1007/BF03543280>
- Beccari G., Prodi A., Tini F., Bonciarelli U., Onofri A., Oueslati S., Limayma M., Covarelli L., 2017. Changes in the *Fusarium* head blight complex of malting barley in a three-year field experiment in Italy. *Toxins* 9(4), 120. <https://doi.org/10.3390/toxins9040120>
- Bernhoft A., Torp M., Clasen P.-E., Løes A.-K., 2012. Influence of agronomic and climatic factors on *Fusarium* infestation and mycotoxin contamination of cereals in Norway. *Food Add. Contam.* 29(7), 1129–1140. <https://doi.org/10.1080/19440049.2012.672476>
- Chełkowski J., Kapturek P., Tomkowiak M., Kostecki M., Goliński P., Ponitka A., Ślusarkiewicz-Jarzina A., Bocianowski J., 2000. Moniliformin accumulation in kernels of triticale accessions inoculated with *Fusarium avenaceum*, in Poland. *J. Phytopathol.* 148, 433–439. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0434.2000.00538.x>
- Chrpová J., Šíp V., Štočková L., Stemberkova L., Tvaružek L., 2011. Resistance to *Fusarium* head blight in spring barley. *Czech J. Gen. Plant Breed.* 47(2), 58–63. <https://doi.org/10.17221/129/2010-CJGPB>
- Cook R.J., 1967. *Gibberella avenacea* sp. n., perfect stage of *Fusarium roseum* f.sp. *cerealis* 'avenaceum'. *Phytopathology*, 57, 732–736.
- Desjardins A.E., 2006. *Fusarium* – mycotoxins chemistry genetics and biology. APS. PRESS. The Amer. Phytopathol. Soc. St. Paul. Minnesota USA, ss. 260.
- Fernando W.G.D., Oghenekaro A.O., Tucker J.R., Badea A., 2021. Building on a foundation: advances in epidemiology, resistance breeding, and forecasting research for reducing the impact of *Fusarium* head blight in wheat and barley. *Can. J. Plant Pathol.* 43(4), 495–526. <https://doi.org/10.1080/07060661.2020.1861102>
- Geißinger C., Gastl M., Becker T., 2022. Enzymes from cereal and *Fusarium* metabolism involved in the malting process – A review. *J. Am. Soc. Brew. Chem.* 80(1), 1–16. <https://doi.org/10.1080/03610470.2021.1911272>
- Hofer K., Hüchelhoven R., Hess M., 2019. Analysis of archive samples of spring and winter barley support an increase in individual *Fusarium* species in Bavarian barley grain over the last decades. *J. Plant Dis.* 126, 247–254. <https://doi.org/10.1007/s41348-019-00220-0>
- Kerényi Z., Moretti A., Waalwijk C., Oláh B., Hornok L., 2004. Mating type sequences in asexually reproducing *Fusarium* species. *Appl. Environ. Microbiol.* 70, 4419–4423.
- Kiecana I., 1994. Badania nad fuzariozą kłosów jęczmienia jarego (*Hordeum vulgare* L.) z uwzględnieniem podatności odmian i zawartości mikotoksyn w ziarnie. *Wyd. AR, Lublin, Ser. Wyd. – Rozpr. Nauk.* 161, ss. 49.

- Kiecana I., Cegiełko M., Mielniczuk E., Perkowski J., 2012. The occurrence of *Fusarium poae* (Peck) Wollenw. on oat (*Avena sativa* L.) panicles and its harmfulness. *Acta Agrobot.* 65, 169–178. <https://doi.org/10.5586/aa.2012.035>
- Linkmeyer A., Götz M., Hu L., Asam S., Rychlik M., Hausladen H., Hess M., Hückelhoven R., 2013. Assessment and introduction of quantitative resistance to *Fusarium* head blight in elite spring barley. *Phytopathology* 103, 1252–1259. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-02-13-0056-R>
- Linkmeyer A., Hofer K., Rychlik M., Herz M., Hausladen H., Hückelhoven R., Hess M., 2016. Influence of inoculum and climatic factors on the severity of *Fusarium* head blight in German spring and winter barley. *Food Addit. Contam., Part A* 33(3), 489–499. <https://doi.org/10.1080/19440049.2015.1133932>
- McMullen M., Bergstrom G.C., De Wolf E., Dill-Macky R., Hershman D., Shaner G., van Sanford D., 2012. A unified effort to fight an enemy of wheat and barley: *Fusarium* head blight. *Plant Dis.* 96, 1712–1728. <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-12-0291-FE>
- Mielniczuk E., 2018. Występowanie grzybów rodzaju *Fusarium* na owsie (*Avena sativa* L.) ze szczególnym uwzględnieniem gatunku *Fusarium avenaceum* (Fr.) Sacc., jego biologii oraz szkodliwości dla wybranych odmian. Wyd. UP w Lublinie, ss.156.
- Mielniczuk E., Kiecana I., Cegiełko M., 2010. Grzyby zasiedlające materiał siewny owsa (*Avena sativa* L.). *Zesz. Probl. Post. Nauk Rol.* 556(2), 879–890.
- Mielniczuk E., Skwaryło-Bednarz B., 2020. *Fusarium* head blight, mycotoxins and strategies for their reduction. *Agronomy* 10(4), 509. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040509>
- Nalim F.A., Elmer W.H., McGovern R.J., Geiser D.M., 2009. Multilocus phylogenetic diversity of *Fusarium avenaceum* pathogenic on lisianthus. *Phytopathology* 99, 462–468. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-99-4-0462>
- Nielsen L.K., Jensen J.D., Nielsen G.C., Jensen J.E., Spliid N.H., Thomsen I.K., Justesen A.F., Collinge D.B., Jørgensen L.N., 2011. *Fusarium* head blight of cereals in Denmark: species complex and related mycotoxins. *Phytopathology* 101(8), 960–969. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-07-10-0188>
- Okorski A., Milewska A., Pszczółkowska A., Karpiesiuk K., Kozera W., Dąbrowska J.A., Radwińska J., 2022. Prevalence of *Fusarium* fungi and deoxynivalenol levels in winter wheat grain in different climatic regions of Poland. *Toxins (Basel)* 14(2), 102. <https://doi.org/10.3390/toxins14020102>
- Osborne L.E., Stein J.M., 2007. Epidemiology of *Fusarium* head blight on small-grain cereals. *Int. J. Food Microbiol.* 119, 103–108. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.07.032>
- Pernica M., Kyrálová B., Svoboda Z., Boško R., Brožková I., Česlová L., Benešová K., Červenka L., Běláková S., 2022. Levels of T-2 toxin and its metabolites, and the occurrence of *Fusarium* fungi in spring barley in the Czech Republic. *Food Microbiol.* 102, 103875. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103875>
- Salas B., Steffenson B.J., Casper H.H., Tacke B., Prom L.K., Fetch Jr. T.G., Schwarz P.B., 1999. *Fusarium* species pathogenic to barley and their associated mycotoxins. *Plant Dis.* 83, 667–674. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1999.83.7.667>
- Schöneberg T., Martin C., Wettstein F. E., Bucheli T. D., Mascher F., Bertossa M., Musa T., Keller B., Vogelgsang S. 2016. *Fusarium* and mycotoxin spectra in Swiss barley are affected by various cropping techniques. *Food Add. Contam., Part A* 33(10), 1608–1619. <http://dx.doi.org/10.1080/19440049.2016.1219071>
- Stenglein S.A., 2009. *Fusarium poae*: A pathogen that needs more attention *J. Plant Pathol.* 91(1), 25–36.
- Tekauz A., McCallum B., Gilbert J., 2000. Review: *Fusarium* head blight of barley in western Canada. *Can. J. Plant Pathol.* 22(1), 9–16. <https://doi.org/10.1080/07060660009501156>
- Tobiasz-Salach R., Krochmal-Marczak B., 2017. Jęczmień jego uprawa i możliwości wykorzystania ziarna w żywieniu człowieka. W: B. Krochmal-Marczak, C. Puchalski, B. Ślusarczyk (red.),

- Wybrane aspekty z bezpieczeństwa żywności. Mon. Nauk. Wyd. PWSZ im. Stanisława Pigo-
nia, Krosno, 117–127.
- Vančo, B., Šliková, S., Šudyova, V., Šrobárová, A., 2007. Response to *Fusarium culmorum* inocu-
lation in barley. *Biologia* 62(1), 56–61. <https://doi.org/10.2478/s11756-007-0011-x>
- Vogelgsang S., Musa T., Bänziger I., Kägi A., Bucheli T.D., Wettstein F.E., Pasquali M., Forrer
H.R., 2017. *Fusarium* mycotoxins in Swiss wheat: A survey of growers' samples between 2007
and 2014 shows strong year and minor geographic effects. *Toxins (Basel)* 9, 246.
<https://doi.org/10.3390/toxins9080246>
- Yli-Mattila T., Paavanen-Huhtala S., Bulat S.A., Alekhina I.A., Nirenberg H.I., 2002. Molecular,
morphological and phylogenetic analysis of the *Fusarium avenaceum*/ *F. arthrosporioides*/
F. tricinctum species complex-a polyphasic approach. *Mycol. Res.* 106(6), 655–669.
<https://doi.org/10.1017/S0953756202006020>

Źródło finansowania badań i publikacji: OKK/s/44/ 2020-2023.

Summary. *Fusarium* head blight (scab) and the contamination of cereals with mycotoxins are particularly important problems in global agriculture, were the stimulus to undertake a study aimed at the determination of the share of fungi from the genus *Fusarium* in infecting heads of spring barley and estimation of the susceptibility of barley cultivars to *F. avenaceum*. The studies with 9 cultivars of spring barley were performed during three years (2020–2022). The assessment of the harmfulness of *F. avenaceum* for selected cultivars of spring barley was carried out on the basis of a field experiment with artificial infestation of heads with a conidial suspension of the tested fungus species. Studies on fusariosis of barley heads showed that the average percentage of heads with symptoms of infection with *Fusarium* spp. ranged from 0.5 to 2.0%. The dominant species on the grain of the analyzed cultivars was *F. poae*. *F. culmorum* and *F. avenaceum* also played a significant role in causing fusarium head blight. Based on presented studies, it was found that inoculation of heads at the flowering stage resulted in an average reduction of 17.7% in the number of kernels per head. On the other hand, the average reduction of kernels yield and 1000 kernel weight for all tested cultivars compared to the control was 35.7% and 23.3%, respectively. The highest susceptibility to scab caused by *F. avenaceum* was found for cultivar Oberek, while the Ramzes cultivar was the least susceptible.

Key words: barley, cultivars susceptibility, *Fusarium* head blight, *Fusarium avenaceum*

Otrzymano/Received: 31.08.2023
Zaakceptowano/Accepted: 4.12.2023
Opublikowano/Published: 18.04.2024