

ARTYKUŁ ORYGINALNY

Ocena przydatności biologicznych i chemicznych zapraw nasiennych do ochrony pszenicy twardej przed sprawcą ostrej plamistości oczkowej

Evaluation of the suitability of biological and chemical seed dressing formulations for the protection of durum wheat against the pathogen causing sharp eyespot

Urszula Wachowska*

Streszczenie

Celem badań prowadzonych w latach 2020–2023 była analiza występowania ostrej plamistości oczkowej w pszenicy twardej uprawianej w dwóch odrębnych rejonach Polski oraz ocena przydatności zapraw chemicznych i biologicznych w ograniczaniu porażenia siewek pszenicy przez *Rhizoctonia cerealis*. W ciągu czterech lat badań ostrość plamistości oczkowa na ogół występowała sporadycznie, wyłącznie w północno-wschodnim rejonie Polski, na kilku odmianach pszenicy twardej. Zaprawy nasienne zawierające tritikonazol i prochloraz w kompleksie z miedzią (Kinto Duo 080 FS), fludioksenil (Omnix 025 FS) oraz protiokonazol, tebukonazol i fluoksastrobinę (Scenic 080 FS) oraz szczepy drożdży ograniczały w badaniach *in vitro* rozwój kolonii *R. cerealis*. Wszystkie testowane zaprawy chemiczne i biologiczne ograniczały również porażenie siewek przez *R. cerealis*, w tym najskuteczniej zaprawa Scenic 080 FS. Środki zawierające substancje czynne z grupy triazoli hamowały wzrost siewek pszenicy twardej. Odmienne zaprawianie ziarna zawiesiną wybranych szczepów drożdży *Rhodotorula glutinis* 418 i *Debaryomyces hansenii* J1 istotnie stymulowało wzrost siewek.

Słowa kluczowe: pszenica twarda, *Rhizoctonia cerealis*, zaprawianie ziarna, biologiczna ochrona, drożdże

Abstract

The aim of this study, conducted in 2020–2023, was to analyze the incidence of sharp eyespot on the stem bases of durum wheat in two Polish regions, and to evaluate the effectiveness of chemical and biological seed treatments in reducing seedling infection by *Rhizoctonia cerealis* *in vitro* and *in vivo*. During the four-year experiment, sharp eyespot was sporadically observed on several durum wheat cultivars only in north-eastern Poland. Seed dressing products containing triticonazole and prochloraz as a copper complex (Kinto Duo 080 FS), fludioxonil (Omnix 025 FS), prothioconazole, tebuconazole, and fluoxastrobin (Scenic 080 FS), and yeast strains reduced *R. cerealis* colony growth *in vitro*. All tested chemical and biological seed dressing formulations reduced seedling infection by *R. cerealis*, and Scenic 080 FS was most effective. The formulations containing triazoles as active substances inhibited the growth of durum wheat seedlings. In contrast, seed treatment with a suspension of selected strains of *Rhodotorula glutinis* 418 and *Debaryomyces hansenii* J1 yeasts significantly stimulated seedling growth, compared with control seedlings.

Key words: durum wheat, *Rhizoctonia cerealis*, seed dressing, biological control, yeasts

Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie
ul. Prawocheńskiego 17, 10-720 Olsztyn

*corresponding author: urszula.wachowska@uwm.edu.pl

Wstęp / Introduction

Pszenica twarda jest dobrze przystosowana do wegetacji w warunkach wyższych temperatur i dłuższych okresów suszy, a zmiany pogody w Europie Centralnej stwarzają dogodniejsze warunki dla uprawy tego gatunku. Z uwagi na wzrastające zapotrzebowanie przemysłu makaronowego na semolinę od kilku lat w Polsce wysiewa się ponad dwa tysiące hektarów pszenicy twardej, głównie w południowych rejonach kraju (Suchowilska i wsp. 2022). Wprowadzenie do uprawy tej rośliny na większych obszarach wiąże się jednak z podwyższonym ryzykiem infekcji przez sprawców chorób o dużym znaczeniu ekonomicznym, w tym występujących w glebach polifagicznych patogenów zbóż. Ostra plamistość oczkowa należy do kompleksu chorób podsuszkowych, a jej sprawca grzyb *Rhizoctonia cerealis* van der Hoeven (teleomorfa: *Ceratobasidium cereale* D. Murray & L.L. Burpee) jest nekrotroficznym patogenem infekującym podstawę źdźbła i pochwy liściowe. Grzyb zimuje w postaci grzybni lub sklerot w szczątkach roślin lub w glebie. Grzybnia rozwijająca się w resztkach roślinnych lub wyrastająca ze sklerot jest pierwotnym inokulum roślin. Grzyb nie tworzy zarodników mitotycznych, a stadium mejotyczne, w postaci podstawki i zarodników podstawkowych występuje rzadko. Po infekcji na dolnych partiach źdźbeł tworzą się jasne słomkowe plamy otoczone brunatną obwódką, na których widoczne są drobne skleroty. Patogen może także powodować przed- i powstające zamieranie siewek zbóż (Tomiocka i wsp. 2021). Nasilone występowanie ostrej plamistości oczkowej może negatywnie oddziaływać na plonowanie pszenicy (Lemańczyk i Kwaśna 2013). Porażone rośliny przedwcześnie bieleją, a ziarno zawarte w kłosach jest drobne i pomarszczone. Duże nasilenie choroby związane jest zwykle ze znacznym zmniejszeniem suchej masy roślin i kłosów, liczby ziaren w kłosie i masy tysiąca ziaren, prowadzi także do obniżenia jakości ziarna (Lemańczyk i Kwaśna 2013). Chłodna i sucha jesień lub wiosna, a także nieodpowiednie zmianowanie sprzyjają wcześniejszym infekcjom przez *R. cerealis* i większym stratom w plonach (Hamada i wsp. 2011; Świerczyńska 2021).

Ostra plamistość oczkowa obniża plony pszenicy w wielu regionach świata, w tym w Azji, Oceanii, Europie, Ameryce Północnej i Afryce (Guo i wsp. 2022). W ostatnich latach częstotliwość występowania ostrej plamistości oczkowej na pszenicy zwyczajnej w Polsce znacząco wzrosła w porównaniu do lat 90-tych XX wieku (Mikołajska i Wachowska 1996; Wachowska 2000; Lemańczyk i Kwaśna 2013; Świerczyńska 2021; Lisiecki i wsp. 2022). W Polsce odnotowano kilka rejonów epidemicznego występowania tej choroby na pszenicy zwyczajnej (Lemańczyk i Kwaśna 2013; Wyrzykowski i wsp. 2013) i pszenicy (Wachowska 2000; Lemańczyk 2010), ale w warunkach laboratoryjnych i sztucznej inokulacji patogen ten jest zdolny porazić też

inne gatunki pszenic, w tym pszenicę twardą i pszenicę orkisz (Lisiecki i wsp. 2022).

Jak dotychczas brakuje odmian pszenicy całkowicie odpornej na infekcje powodowane przez *R. cerealis*, a skuteczność ochrony chemicznej jest nadal ograniczona (Pieczul i Świerczyńska 2014; Świerczyńska 2021; Lisiecki i wsp. 2022). Chemiczna ochrona pszenicy przed chorobami podstawy źdźbła opiera się na zaprawianiu ziarna oraz wykonywaniu zabiegów nalistnych we wczesnych fazach rozwoju roślin. Niestety środki te nie są w stanie zapewnić pełnej ochrony przed *R. cerealis* w produkcji pszenicy (Hamada i wsp. 2011). Stąd poszukiwanie metod biologicznych, w tym zawiesin mikroorganizmów stosowanych jako zaprawy nasienne staje się bardzo aktualne. Metody te są bezpieczne i przyjazne środowisku, a ich skuteczność została potwierdzona we wcześniejszych doniesieniach. Yi i wsp. (2023) rekomendują szczep bakterii *Pseudomonas fluorescens* RB5, który wytwarza proteazę, chitynazę i siderofory oraz hamuje aktywność trzech enzymów *R. cerealis* degradujących ściany komórkowe roślin i skutecznie ogranicza objawy chorób, które wywołuje ten patogen. Z kolei Lemańczyk i wsp. (2023) proponują zastosowanie niepatogenicznych szczepów *R. cerealis*, wprowadzanych dogłębowo w doświadczeniu szklarniowym, wzbudzających mechanizmy obronne roślin.

Celem badań była analiza występowania ostrej plamistości oczkowej na kilkunastu odmianach pszenicy twardej uprawianej w północno-wschodnim i południowo-wschodnim rejonie Polski oraz ocena przydatności zapraw chemicznych i biologicznych w ograniczaniu porażenia siewek przez *R. cerealis*.

Materiały i metody / Materials and methods

Obserwacje polowe występowania ostrej plamistości oczkowej prowadzono w latach 2020–2023 na poletkach doświadczalnych zlokalizowanych w Bałcynach w okolicach Olsztyna i Niedzwicy Kościelnej koło Lublina. Na poletkach o powierzchni 6 m² wysiewano jare i ozime odmiany pszenicy twardej wymienione w tabeli 1. Doświadczenie założono w układzie losowanych bloków w czterech powtórzeniach. Dane agrotechniczne dotyczące doświadczeń ścisłych przedstawiono we wcześniejszym opracowaniu (Wachowska i wsp. 2023). W ciągu 4 lat badań oceniono zdrowotność 1600 źdźbeł, pobierając próby wzdłuż przekątnej każdego poletka, dwa tygodnie przed zbiorem. Źdźbła oczyszczono z pochew liściowych i oceniono częstotliwość źdźbeł z objawami ostrej plamistości oczkowej. Stopień zaawansowania choroby określono według procedury EPPO (PP 1/208), gdzie: 0 oznacza – brak objawów, 1 – jedna lub więcej małych plam, 2 – więcej zmian opasujących łącznie mniej niż połowę źdźbła, 3 – jedna lub więcej zmian obejmujących

mujących łącznie co najmniej połowę źdźbła, a następnie obliczono średni stopień porażenia siewek.

Badanie skuteczności zapraw nasiennych przeprowadzono na płytkach Petriego wypełnionych podłożem glukozowo-agarowym (PDA – potato dextrose agar) z dodatkiem następujących zapraw nasiennych: Scenic 080 FS (protio-konazol – 37,5 g/l + fluoksastrobina – 37,5 g/l + tebukonazol – 5 g/l), Omnix 025 FS (fludioksonil – 25 g/l), Kinto Duo 080 FS (tritikonazol – 20 g/l + prochloraz w kompleksie z miedzią – 60 g/l) i zaprawy biologicznej EM Multi Grower (Greenland, Technologia EM). Do podłoża PDA wprowadzono następujące stężenia zapraw nasiennych: 0,01; 1; 10 i 100 $\mu\text{l/ml}$ podłoża. Kontrolę stanowiły płytki niezawierające zapraw. Z 7-dniowych dwujądrowych kultur *R. cerealis* (Mikołajska i Wachowska 1996) wycinano 5 mm krążki PDA przerośnięte strzępkami patogenu. Krążki wykładano w centrum płytek Petriego. Doświadczenie założono w czterech powtórzeniach. Po 7 dobach inkubacji w ciemności w temperaturze 24°C zmierzono średnicę kolonii *R. cerealis*, a wyniki podano w postaci średniej powierzchni kolonii.

Oddziaływanie drożdży, potencjalnych składników zapraw nasiennych, na rozwój kolonii *R. cerealis* określono według wcześniej opisanej metody (Wachowska i wsp. 2020). W doświadczeniu zastosowano 12 szczepów drożdży zidentyfikowanych do gatunku (tab. 3). Identyfikacja izolatów przeprowadzona była na podstawie podobieństwa sekwencji regionu ITS za pomocą narzędzia BLAST w bazie NCBI. Z 7-dniowych kultur *R. cerealis* wycinano 5 mm krążki PDA przerośnięte strzępkami patogenu. Krążki wykładano na przygotowane płytki Petriego wypełnione podłożem PDA, szczepy drożdży wysiewano wokół tych kolonii (dwie linie w odległości 2 cm). Kultury patogenów inkubowano w temperaturze 24°C przez cztery doby. Średnice kolonii patogenów mierzono w dwóch prostopadłych kierunkach. Wyniki podano w postaci powierzchni kolonii oraz współczynnika eliptyczności kolonii (Wachowska i wsp. 2020).

Test postulatów Kocha przeprowadzono w celu oceny skuteczności zapraw chemicznych i biologicznych w ograniczaniu porażenia siewek pszenicy twardej przez *R. cerealis*. W doświadczeniu zastosowano wyżej opisane zaprawy oraz szczepy drożdży opisane w tabeli 3. Ziarno pszenicy zaprawiano poprzez 30-minutowe zanurzenie w roztworze każdej z zapraw zgodnie z etykietą lub w zawiesinie szczepów drożdży o gęstości 10^4 – 10^6 komórek w ml wody. Kontrolę stanowiły rośliny wyrastające z ziarna zanurzonego w sterylnej wodzie. Test przeprowadzono w siedmiu powtórzeniach/minidoniczkach w paletach wielodoniczek. Minidoniczki wypełniono ziemią ogrodniczą, a do dołków w podłożu o głębokości 1 cm wkładano krążki *R. cerealis* o średnicy 1 cm wycięte z 7-dniowych kolonii *R. cerealis*. Dookoła patogenu wyłożono po 5 zaprawionych ziaren pszenicy twardej odmiany Duragold. Odmiana ta wyróż-

niała się dobrym plonowaniem i mniejszą podatnością na patogeny w warunkach polowych. Ziarno przysypano ziemią, którą delikatnie ubito. Test prowadzono w fitotronie w temperaturze 19°/24°, w fotoperiodzie 8 godzin w ciemności/16 godzin naświetlania, przy zapewnieniu stałego dobrego nawilżenia podłoża. Po 2 tygodniach przeprowadzono obserwację siewek pszenicy, podano liczbę roślin które wzeszły, zdrowotność siewek, wysokość każdej z roślin (w cm) oraz wagę części nadziemnych roślin (w gramach).

Dwuczynnikową analizę wariancji (ANOVA) (Statistica ver. 13.3) wykorzystano do określenia różnic w aktywności zapraw w teście *in vitro*, gdzie czynnikiem pierwszym były zaprawy, a drugim ich stężenie, zastosowano test SNK. Analizę jednoczynnikową wykorzystano w przypadku testu *in vitro*, gdzie czynnikiem były szczepy drożdży i testu Kocha, gdzie czynnikiem były szczepy drożdży i zaprawy chemiczne. Skuteczność zapraw obliczono według wzoru Abbotta (Wachowska i wsp. 2012).

Wyniki i dyskusja / Results and discussion

Objawy ostrej plamistości oczkowej obserwowano wyłącznie w północno-wschodnim rejonie Polski w trzech z czterech lat badań w 2020, 2022 i 2023 roku (tab. 1). Ozieme odmiany pszenicy twardej były częściej porażane przez *R. cerealis* niż odmiany jare. Wyjątkowo w roku 2020 objawy ostrej plamistości oczkowej odnotowano aż na 34% źdźbeł ozimej odmiany Tempodur. Jak wykazały wcześniejsze badania, tak silne porażenie może redukować plon pszenicy i pogarszać jakość ziarna (Lemańczyk i Kwaśna 2013). Zróżnicowanie w nasileniu ostrej plamistości oczkowej najczęściej związane jest z odmiennym przebiegiem warunków pogodowych (Świerczyńska 2021). Rozwojowi choroby sprzyja sucha jesień lub wiosna (Hamada i wsp. 2011). Jednocześnie ten nekrotroficzny patogen jest dobrze przystosowany do przetrwania w środowisku rolniczym na resztkach roślin lub w postaci sklerot (Lisiecki i wsp. 2022). Jak dotychczas niewiele doniesień informuje o porażeniu podstaw źdźbeł pszenicy twardej przez *R. cerealis* w warunkach naturalnych infekcji (Montanari i wsp. 2006; Tomioka i wsp. 2021). Częstotliwość występowania ostrej plamistości oczkowej na źdźbłach pszenicy twardej we Włoszech zależała od roku badań i wynosiła od 2 do 5%, a sposób uprawy gleby nie miał wpływu na ten wskaźnik (Montanari i wsp. 2006). W Polsce dobrze scharakteryzowano podatność kilku gatunków pszenicy w warunkach sztucznej inokulacji roślin. W badaniach tych objawy ostrej plamistości oczkowej na źdźbłach pszenicy twardej notowano najrzadziej (8,8%) w porównaniu do innych badanych gatunków pszenicy (Lisiecki i wsp. 2022). Biorąc jednak pod uwagę zmienność genetyczną (Świerczyńska i Pieczul 2012) i zróżnicowaną wrażliwość na fungicydy populacji *R. cerealis* w Polsce raportowaną między innymi przez

Tabela 1. Występowanie ostrej plamistości oczkowej na jarych i ozimych odmianach pszenicy twardej w zależności od lokalizacji i roku badań**Table 1.** Occurrence of sharp eyespot on spring and winter varieties of durum wheat in dependence of field location and years of research

Lokalizacja Location	Rok Year	Odmiany Cultivars	Procent porażonych źdźbeł Percentage of stems with symptoms	
Bałcyny	2020	jara – spring: Floradur	4	
		ozima – winter: Tempodur	34	
		ozima – winter: Karmadur	4	
		ozima – winter: Sambadur	2	
		ozima – winter: Fortidur	6	
	2021	jare – spring: Floradur, Tamadur, Durofinus ozime – winter: Ceres, Metis, Karmadur, Sambadur, Diadur, Fortidur, Wintergold	0	
	2022	jara – spring: Duranegra	5	
		jare – spring: Duragold, Floradur ozime – winter: Sambadur, Wintergold, Fortidur, Doridur, Karmadur	0	
	2023	ozima – winter: Sambadur	4	
		jara – spring: Winterstone	4	
		jara – spring: Duragro	4	
		jara – spring: Duranegra	4	
		jare – spring: Duragold, Duralis, Duranegra ozime – winter: Karmadur, Fortidur	0	
	Niedrzwica Kościelna	2020	jare – spring: Floradur, Duranegra, Duralis, Duragold, Tessadur, Duramonte ozima – winter: Wintergold	0
		2021	jare – spring: Duramont, Doridur, Tamadur, Floradur ozime – winter: Sambadur, Diadur, Fortidur, Wintergold, Karmadur, Ceres	0
2022		jare – spring: Floradur, SMH68, Duragold, Duranegra ozime – winter: Sambadur, Fortidur, Wintergold, Karmadur	0	
2023		jare – spring: Duragold, Duralis, Duragro, Duranegra ozime – winter: Sambadur, Fortidur, Karmadur	0	

Pieczul i Świerczyńska (2014) oraz Świerczyńska (2021), w przyszłości prawdopodobne jest większe porażenie pszenicy twardej przez *R. cerealis*, szczególnie w warunkach sprzyjających bytowaniu sprawcy, przedłużających się okresów suszy i wysokich temperatur powietrza.

Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że zastosowane zaprawy chemiczne w warunkach *in vitro* istotnie ograniczały rozwój kolonii *R. cerealis*, a ich skuteczność szacowano na poziomie od 72,71% dla zaprawy nasiennej zawierającej tritikonazol i prochloraz w kompleksie z miedzią do 100% dla preparatu z fludioksonilem (tab. 2). Podobnie zróżnicowaną skuteczność fungicydów w ograniczaniu objawów ostrej plamistości oczkowej na pszenicy zwyczajnej w warunkach polowych, dużą przy słabym nasileniu choroby i małą przy dużym stwierdziła Świerczyńska (2021). Z wcześniejszych badań wynika, że skutecznymi fungicydami w ochronie pszenicy przed ostrą plamistością oczkową są związki triazolowe (Pieczul i Świerczyńska

2014; Xu i wsp. 2017). Obszerne badania Xu i wsp. (2017) wskazują jednocześnie na brak nabywania odporności na triazole przez populacje *R. cerealis*. Wyniki badań własnych sugerują, że do tej grupy można zaliczyć także fludioksonil, związek z grupy chemicznej fenylopirolów o innym mechanizmie działania (grupa inhibitorów transdukcji sygnału).

W prezentowanych badaniach mikrobiologiczny stymulator wzrostu roślin wykazywał niezadowalającą skuteczność w ograniczaniu rozwoju kolonii patogenu ostrej plamistości oczkowej (tab. 2), a skuteczność izolatów drożdży w ograniczaniu powierzchni kolonii *R. cerealis* wahała się w granicach 86,97–95,28% (tab. 3). W teście patogeniczności obserwowano typowe objawy ostrej plamistości oczkowej. Na pochwach liściowych pojawiały się brązowe plamy, które stopniowo powiększały się, następnie zmieniły kolor na słomkowy z ciemnobrązowym marginesem. Na niektórych silnie porażonych siewkach odnotowano obec-

Tabela 2. Wpływ zapraw nasiennych i mikrobiologicznego stymulatora wzrostu roślin na wzrost kolonii *Rhizoctonia cerealis*
Table 2. The influence of chemical seed dressing products and microbiological plant growth stimulator on *Rhizoctonia cerealis* colony growth

Substancje czynne Active substances	Stężenie Concentration [mikrolitr/mililitr]	Średnia powierzchnia kolonii <i>Rhizoctonia cerealis</i> Average area of <i>Rhizoctonia cerealis</i> colony [cm ²]	Skuteczność Effectiveness [%]
Kontrola – Control	0	63,58 a	–
Tritikonazol + prochloraz w kompleksie z miedzią Triticonazole + prochloraz in complex with copper	0,01	17,35 d	72,71
	1	4,91 f	92,27
	10	2,47 a	96,12
	100	0,41 f	99,34
Protiokonazol + fluoksastrobina + tebukonazol Prothioconazole + fluoxastrobin + tebuconazole	0,01	1,13 f	98,22
	1	0,34 f	93,44
	10	0,33 f	99,47
	100	0 f	100
Fludioksonil Fludioxonil	0,01	0 f	100
	1	0 f	100
	10	0 f	100
	100	0 f	100
Mikrobiologiczny stymulator wzrostu roślin Microbiological plant growth stimulator	0,01	56,72 b	10,76
	1	14,33 de	77,45
	10	38,56 c	39,45
	100	10,30 e	83,79

Jednakowymi literami oznaczono wartości nieróżniące się istotnie ($p < 0,01$)

Different letters by the value indicates a statistical different group ($p < 0.01$)

Tabela 3. Wpływ szczepów drożdży na wzrost kolonii *Rhizoctonia cerealis*
Table 3. The influence of yeast strains on *Rhizoctonia cerealis* colony growth

Szczep drożdży Yeast strains	Numery akcesji w banku genów NCBI Accession numbers in Gen Bank NCBI	Średnia powierzchnia kolonii <i>Rhizoctonia cerealis</i> Average area of <i>Rhizoctonia cerealis</i> colony [cm ²]	Skuteczność Effectiveness [%]	Współczynnik eliptyczności kolonii <i>Rhizoctonia cerealis</i> Ellipse coefficient of <i>Rhizoctonia cerealis</i> colony	Skuteczność Effectiveness [%]
Kontrola – Control	–	63,58 a	–	1,00 a	–
<i>Aureobasidium pullulans</i> 499	KX444656	7,91 b	87,56	0,91 b	9,38
<i>Aureobasidium pullulans</i> ApCC	KX444658	2,99 b	95,28	0,84 b	15,93
<i>Aureobasidium pullulans</i> D116	KX444657	7,14 b	88,76	0,93 b	6,87
<i>Aureobasidium pullulans</i> D202	MZ823817	8,00 b	87,42	0,84 b	16,46
<i>Aureobasidium pullulans</i> D70	KX424384	7,86 b	87,64	0,77 b	22,85
<i>Aureobasidium pullulans</i> Y110	KX444659	4,96 b	92,30	0,91 b	8,96
<i>Candida sake</i> D123	KX444660	6,30 b	90,10	0,78 b	21,91
<i>Debaryomyces hansenii</i> J1	KX444668	5,57 b	91,23	0,83 b	17,37
<i>Debaryomyces hansenii</i> J4	KX444669	5,39 b	91,51	0,89 b	10,65
<i>Rhodotorula glutinis</i> 418	KX424387	8,01 b	87,47	0,90 b	9,94
<i>Rhodotorula glutinis</i> 444	KX424388	6,64 b	89,55	0,99 a	0,97
<i>Rhodotorula glutinis</i> D92	KX444655	8,28 b	86,97	0,84 b	15,88

Jednakowymi literami oznaczono wartości nieróżniące się istotnie ($p < 0,01$)

Different letters by the value indicates a statistical different group ($p < 0.01$)

ność drobnych brunatnych sklerot. Nie obserwowano zmian chorobowych na korzeniach. Zaprawy fungicydowe istotnie zwiększyły obsadę siewek i ograniczały rozwój ostrej plamistości oczkowej (tab. 4). Z ziarna zaprawianego zaprawą nasienną Kinto Duo 080 FS, a także Scenic 080 FS uzyskano istotnie niższe siewki w porównaniu z kombinacją kontrolną. Fitotoksyczne oddziaływanie tebukonazolu odnotowano wcześniej na korzeniach siewek pszenicy zwyczajnej w badaniach dotyczących patogenów rodzaju *Fusarium* (Shishatskaya i wsp. 2018). Z kolei tritikonazol hamował rozwój siewek pszenicy w testach Liu i wsp. (2021), gdzie dodatkowo znacząco hamował syntezę gibereliny i etylenu oraz zwiększał syntezę kwasu jasmonowego.

W prezentowanych badaniach wszystkie zastosowane szczepy drożdży przyczyniały się istotnie do zahamowania procesu infekcyjnego *R. cerealis*, a szczepy *Debaryomyces*

hansenii J1 i *Rhodotorula glutinis* 418 dodatkowo stymulowały rozwój siewek (tab. 4). W badaniach de Tenório i wsp. (2019) szczepy drożdży *Candida saopaulonensis* C6A, *Cryptococcus laurentii* FVC10 i *Bullera sinensis* FVF10 (R1) zmniejszały porażenie fasoli przez *R. solani* odpowiednio o 57,4%, 48,5% i 66,3%, a mechanizmy działania opierały się na konkurencji i indukcji enzymów odpowiedzialnych za mechanizmy obronne roślin, takich jak peroksydaza i katalaza. We wcześniej do ograniczania ostrej plamistości oczkowej proponowane były szczepy antagonicznych grzybów *Trichoderma atroviride*, *T. harzianum*, *T. longibrachiatum* i *Clonostachys rosea* (Innocenti i wsp. 2003). Szczepy te były konkurencyjne wobec *R. cerealis*, hamowały wzrost kolonii i podnosiły aktywności proteazy. Z kolei Lemańczyk i wsp. (2023) zaproponowali zastosowanie niepatogenicznych gatunków rodzaju *Rhizoctonia* do

Tabela 4. Wpływ środków biologicznych i chemicznych zastosowanych jako zaprawy nasienne na zdrowotność i rozwój siewek pszenicy twardej

Table 4. The influence of biological and chemical seed dressing treatments on the healthiness and development of durum wheat seedlings

Kombinacja Treatment	Ziarno nieskiełkowane Non- -germinating seeds [%]	Procent porażonych siewek Percentage of infected seedlings	Średni stopień porażenia Average infection degree	Średnia wysokość siewek Average height of seedlings [cm]	Średnia masa siewek Average weight of seedlings [g]
Kontrola – Control	17,14 a	82,86 a	1,03 a	17,97 bc	0,15 def
Tritikonazol + prochloraz w kompleksie z miedzią Triticonazole + prochloraz in complex with copper	0 b	42,86 b	0,54 b	14,37 e	0,13 fgh
Protiokonazol + fluoksastrobina + tebukonazol Prothioconazole + fluoxastrobin + tebuconazole	5,71 b	2,86 b	0,03 b	14,72 e	0,11 g
Fludioksonil Fludioxonil	0 b	27,14 b	0,34 b	17,01 cd	0,14 fgh
Mikrobiologiczny stymulator wzrostu roślin Microbiological plant growth stymulator	17,14 a	22,86 b	0,29 b	18,04 bc	0,16 cde
<i>Aureobasidium pullulans</i> 499	5,71 b	14,29 b	0,17 b	17,67 bc	0,16 cde
<i>Aureobasidium pullulans</i> ApCC	0 b	25,71 b	0,31 b	18,01 bc	0,17 a–d
<i>Aureobasidium pullulans</i> D116	8,57 b	14,29 b	0,14 b	15,65 de	0,12 gh
<i>Aureobasidium pullulans</i> D202	2,86 b	22,86 b	0,23 b	19,96 a	0,18 a
<i>Aureobasidium pullulans</i> D70	0 b	28,57 b	0,34 b	19,18 bc	0,18 ab
<i>Aureobasidium pullulans</i> Y110	5,71 b	31,43 b	0,40 b	18,11 bc	0,17 abc
<i>Candida sake</i> D123	0 b	37,14 b	0,43 b	17,39 bc	0,15 def
<i>Debaryomyces hansenii</i> J1	0 b	17,14 b	0,17 b	20,21 a	0,18 ab
<i>Debaryomyces hansenii</i> J4	0 b	25,71 b	0,31 b	16,31 cd	0,13 fgh
<i>Rhodotorula glutinis</i> 418	8,57 b	28,57 b	0,37 b	20,64 a	0,18 a
<i>Rhodotorula glutinis</i> 444	5,71 b	31,43 b	0,37 b	18,09 bc	0,14 def
<i>Rhodotorula glutinis</i> D92	0 b	40,00 b	0,57 b	18,20 bc	0,15 cde

Jednakowymi literami oznaczono wartości nieróżniące się istotnie ($p < 0,01$)
Different letters by the value indicates a statistical different group ($p < 0.01$)

indukcji aktywności chitynazy i glukanazy pszenicy. W cytowanych badaniach w przypadku roślin eksponowanych wyłącznie na szczep niepatogenny, zaobserwowano dynamiczniejszy rozwój biomasy roślin.

Wnioski / Conclusions

1. Ostra plamistość oczkowa powodowana przez *R. cerealis* wystąpiła sporadycznie w trzech z czterech sezonów

wegetacyjnych w północno-wschodnim regionie Polski na kilku odmianach pszenicy twardej.

- Zaprawy chemiczne i biologiczne, w tym szczepy drożdży, ograniczały rozwój kolonii *R. cerealis* w testach *in vitro* oraz rozwój ostrej plamistości na siewkach pszenicy twardej w doświadczeniu w warunkach kontrolowanych.
- Zaprawy nasienne zawierające substancje z grupy triazoli wykazały działanie inhibicyjne na wzrost siewek, natomiast wybrane szczepy drożdży stymulujące.

Literatura / References

- de Tenório D.A., de Medeiros E.V., Lima C.S., da Silva J.M., de Barros J.A., Neves R.P., Laranjeira D. 2019. Biological control of *Rhizoctonia solani* in cowpea plants using yeast. *Tropical Plant Pathology* 44: 113–119. DOI: 10.1007/s40858-019-00275-2
- Guo F., Pan L., Liu H., Lv L., Chen X., Liu Y., Li H., Ye W., Zhang Z. 2022. Whole-genome metalloproteases in the wheat sharp eyespot pathogen *Rhizoctonia cerealis* and a role in fungal virulence. *International Journal of Molecular Sciences* 23 (18): 10691. DOI: 10.3390/ijms231810691
- Hamada M.S., Yin Y., Ma Z. 2011. Sensitivity to iprodione, difenoconazole and fludioxonil of *Rhizoctonia cerealis* isolates collected from wheat in China. *Crop Protection* 30 (8): 1028–1033. DOI: 10.1016/j.cropro.2011.04.004
- Innocenti G., Roberti R., Montanari M., Zakrisson E. 2003. Efficacy of microorganisms antagonistic to *Rhizoctonia cerealis* and their cell wall degrading enzymatic activities. *Mycological Research* 107 (4): 421–427. DOI: 10.1017/S0953756203007640
- Lemańczyk G. 2010. Occurrence of sharp eyespot in spring cereals grown in some regions of Poland. [Występowanie ostrej plamistości oczkowej w zbożach jarych uprawianych w wybranych regionach Polski]. *Journal of Plant Protection Research* 50 (4): 505–512. DOI: 10.2478/v10045-010-0084-3
- Lemańczyk G., Kwaśna H. 2013. Effects of sharp eyespot (*Rhizoctonia cerealis*) on yield and grain quality of winter wheat. *European Journal of Plant Pathology* 135: 187–200. DOI: 10.1007/s10658-012-0077-3
- Lemańczyk G., Lisiecki K., Piesik D. 2023. Binucleate *Rhizoctonia* strain: a potential biocontrol agent in wheat production. *Agronomy* 13 (2): 523. DOI: 10.3390/agronomy13020523
- Lisiecki K., Lemańczyk G., Piesik D., Mayhew C.A. 2022. Screening winter wheat genotypes for resistance traits against *Rhizoctonia cerealis* and *Rhizoctonia solani* infection. *Agriculture* 12 (12): 1981. DOI: 10.3390/agriculture12121981
- Liu R., Zhang H., Deng Y., Zhou Z., Liu X., Diao J. 2021. Enantioselective fungicidal activity and toxicity to early wheat growth of the chiral pesticide triticonazole. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 69 (38): 11154–11162. DOI: 10.1021/acs.jafc.0c07210
- Mikołajska J., Wachowska U. 1996. Charakterystyka dwujądrowych izolatów z rodzaju *Rhizoctonia* uzyskanych ze zbóż w Polsce północno-wschodniej. [Characterization of binucleate isolates of *Rhizoctonia cerealis* with respect to cereals in North Eastern Poland]. s. 303–306. W: *Symposium Nowe kierunki w fitopatologii*. [Symposium on New directions in plant pathology]. Kraków, 11–13 września 1996.
- Montanari M., Innocenti G., Toderi G. 2006. Effects of cultural management on the foot and root disease complex of durum wheat. *Journal of Plant Pathology* 88 (2): 149–156.
- Pieczul K., Świerczyńska I. 2014. Odporność na fungicydy izolatów *Rhizoctonia cerealis*. [Fungicide resistance of *Rhizoctonia cerealis* isolates]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 54 (2): 174–177. DOI: 10.14199/ppp-2014-028
- Shishatskaya E., Menzhanova N., Zhila N., Prudnikova S., Volova T., Thomas S. 2018. Toxic effects of the fungicide tebuconazole on the root system of fusarium-infected wheat plants. *Plant Physiology and Biochemistry* 132: 400–407. DOI: 10.1016/j.plaphy.2018.09.025
- Suchowilska E., Wiwart M., Wachowska U., Radawiec W., Combrzyński M., Gontarz D. 2022. A comparison of phenotypic variation in *Triticum durum* Desf. genotypes deposited in gene banks based on the shape and color descriptors of kernels in a digital image analysis. *PLoS One* 17 (2): e0259413. DOI: 10.1371/journal.pone.0259413
- Świerczyńska I. 2021. Ocena skuteczności działania wybranych fungicydów w ochronie podstawy źdźbła pszenicy ozimej. [Assessment of fungicide efficacy in the protection of stem base of winter wheat]. *Zagadnienia Doradztwa Rolniczego* 105 (3): 20–29.
- Świerczyńska I., Pieczul K. 2012. Zróżnicowanie genetyczne izolatów *Rhizoctonia cerealis* pochodzących z zachodniej Polski. [Genetic diversity of *Rhizoctonia cerealis* isolates from western Poland]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 52 (4): 784–787. DOI: 10.14199/ppp-2012-135
- Tomioka K., Sekiguchi H., Ban Y., Kato K., Ito M., Sugita T., Yoshioka T., Ishikawa N. 2021. Sharp eyespot of barley, bread wheat and durum wheat caused by *Ceratobasidium cereale* in Japan. *Journal of General Plant Pathology* 87: 110–112. DOI: 10.1007/s10327-020-00975-7
- Wachowska U. 2000. Susceptibility of cereals and other crops to *Rhizoctonia cerealis*. *Phytopathologia Polonica* 20: 59–66.
- Wachowska U., Mikołajczyk W., Kucharska K. 2012. Skuteczność tebukonazolu i tiofanatu metylu w ograniczaniu rozwoju patogenów rodzaju *Fusarium* na kłosach pszenicy ozimej. [The effectiveness of tebuconazole and thiophanate-methyl in reducing the *Fusarium* pathogens development on winter wheat heads]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 52 (3): 671–675. DOI: 10.14199/ppp-2012-117

- Wachowska U., Stuper-Szablewska K., Perkowski J. 2020. Yeasts isolated from wheat grain can suppress fusarium head blight and decrease trichothecene concentrations in bread wheat and durum wheat grain. *Polish Journal of Environmental Studies* 29 (6): 4345–4360. DOI: 10.15244/pjoes/118427
- Wachowska U., Sulyok M., Wiwart M., Suchowilska E., Giedroń W., Gontarz D., Krska R. 2023. Secondary metabolites of pathogenic fungi in *Triticum durum* grain protected with *Debaryomyces hansenii* in two different locations in Poland. *Agronomy* 13 (3): 721. DOI: 10.3390/agronomy13030721
- Wyrzykowski P., Snarska K., Konecki R. 2013. Występowanie chorób grzybowych i ich wpływ na wysokość plonu pszenicy w Polsce północno-wschodniej. [Occurrence of fungal diseases and their impact on the quality and amount of wheat grain yield in north-eastern Poland]. *Progress in Plant Protection/Postępy w Ochronie Roślin* 53 (2): 364–367. DOI: 10.14199/ppp-2013-098
- Xu J., Yang L., Ping Z., Chen J., Xia Y., Liu S., Zheng W., Lin X. 2017. Sensitivity of *Rhizoctonia cerealis* to fludioxonil in Henan Province in China. *Chinese Journal of Pesticide Science* 19 (5): 563–568. DOI: 10.16801/j.issn.1008-7303.2017.0075
- Yi Y., Hou Z., Shi Y., Zhang C., Zhu L., Sun X., Wang Z. 2023. *Pseudomonas fluorescens* RB5 as a biocontrol strain for controlling wheat sheath blight caused by *Rhizoctonia cerealis*. *Agronomy* 13 (8): 1986. DOI: 10.3390/agronomy13081986