 DOI: http://dx.doi.org/10.14199/ppp-2014-021

New solutions in grain protection against fusariosis

Nowe rozwiązania w ochronie zbóż przed fuzariozami

Weronika Walkowiak[1], Teresa Krzyśko-Łupicka[2]

Summary

Grain fusariosis are caused by phytopathogenic fungi from genus *Fusarium*, which due to their high pathogenic properties and toxicity contribute to enormous farming loses. In crop farming they lower grain harvests and worsen its quality, especially the ability to germinate and baking parameters. Most of the wheat diseases are caused by fungi from genera *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. nivale*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. oxysporum* and *F.verticillioides.* Chemical fungicides are often used to control fusariosis, however, despite their effectiveness and easy application, they have not gained good recognition. Phytopathogenic fungi become resistant to fungicides, they reduce beneficial organisms and endanger the health of a consumer. It has led to a search of alternative methods of controling grain fusariosis, with the application of effective biodegradable fungicides and products containing active substances of natural origin or antagonistic microorganisms.

Key words: fusariosis; grain; fungicides; biofungicides; active substances

Streszczenie

Fuzariozy zbóż wywoływane są przez fitopatogenne grzyby strzępkowe rodzaju *Fusarium*, które przyczyniają się do strat gospodarczych, co wynika z ich patogenności i toksynotwórczości. W uprawach zbóż obniżają plon ziarna i pogorszają jego jakość, a zwłaszcza zdolność kiełkowania i parametry wypiekowe. Głównymi sprawcami chorób pszenicy są grzyby gatunków: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. nivale*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. oxysporum* i *F. verticillioides.* Do ich zwalczania stosuje się często chemiczne środki grzybobójcze, które mimo wysokiej skuteczności i łatwości stosowania nie cieszą się uznaniem, ze względu na zagrożenie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumenta spowodowane pozostałościami fungicydów, zwiększającym się uodparnianiem patogenów i redukcją pożytecznych organizmów. Wszystko to sprawia, że poszukuje się alternatywnych metod ich zwalczania z zastosowaniem skutecznych biodegradowalnych fungicydów i preparatów zawierających w swym składzie substancje czynne pochodzenia naturalnego lub mikroorganizmy antagonistyczne.

Słowa kluczowe: fuzariozy; zboże; fungicydy; biofungicydy; substancje czynne

[1] Stypendystka projektu „Stypendia doktoranckie – Inwestycja w kadrę naukową województwa opolskiego" współfinansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego
[2] Uniwersytet Opolski
Wydział Przyrodniczo-Techniczny
Samodzielna Katedra Biotechnologii i Biologii Molekularnej
Kardynała Kominka 6a, 45-032 Opole
teresak@uni.opole.pl

Prog. Plant Prot. 54 (2): 127-134
ISSN 1427-4337

Wstęp / Introduction

Fuzariozy zbóż wywoływane są przez fitopatogenne grzyby strzępkowe rodzaju *Fusarium*, które porażają rośliny o podstawowym znaczeniu gospodarczym we wszystkich strefach klimatycznych, powodując znaczne straty plonów. Związane jest to z rozpowszechnieniem w środowisku, wysoką patogennością i toksynotwórczością tej grupy grzybów (Khan i wsp. 2006). Rozwój infekcji i jej zasięg w roślinie zależą od wielu czynników, m.in.: od zjadliwości patogena, ilości inokulum oraz odporności roślin, a zwłaszcza możliwości jej naturalnych mechanizmów obrony uwarunkowanej genetycznie. Porażenie roślin zależy od genów odporności występujących w genomie roślin, a szczególnie od genów wirulencji występujących u patogenów oraz (lub) od antagonistycznych oddziaływań mikroorganizmów ryzosferowych (Krzyśko-Łupicka 1993a, b, 2010, 2011) i wrażliwości patogenów na środki ochrony roślin (Krzyśko-Łupicka i Sudoł 2005, 2008). Wrażliwość roślin na porażenie przez *Fusarium* spp. może mieć pośredni wpływ na zwiększenie zachwaszczenia upraw. Znaczne obniżenie występowania fuzaryjnej zgorzeli podstawy źdźbła i korzeni pszenicy obserwowano po zastosowaniu podczas wegetacji roślin (w fazie pełnego krzewienia) herbicydów: Apyros 75 WG + Atpolan, Affinity 50,75 WG oraz Attribut 70 WG (Narkiewicz-Jodko i wsp. 2005).

Patogeny należące do rodzaju *Fusarium* atakują rośliny we wszystkich fazach rozwoju, w pszenicy wywołują takie choroby, jak: przed- i powschodową zgorzel siewek, fuzaryjną zgorzel podstawy źdźbła i korzeni oraz fuzariozę kłosów (Nowak i wsp. 2005; Weber 2007). W uprawach zbóż, w zależności od fazy rozwoju zbóż, obniżają plon ziarna w zakresie 7–70% (Korbas i Horoszkiewicz-Janka 2007) i pogarszają jego jakość, a zwłaszcza zdolność kiełkowania i parametry wypiekowe. Ziarna porażonego przez grzyby rodzaju *Fusarium* nie można wykorzystać jako materiał siewny ani do produkcji żywności czy paszy, ze względu na potencjalne zagrożenie mikotoksynami (Korbas 2005).

Głównymi sprawcami chorób pszenicy są grzyby gatunków: *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. nivale*, *F. avenaceum*, *F. sporotrichioides*, *F. poae*, *F. oxysporum* i *F. verticillioides*. Na terenie Polski dominują takie gatunki, jak: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. poae*, *F. oxysporum*, *F. nivale* i *F. solani* (Kwaśna i wsp. 1991; Weber 2007). Do zwalczania tych polifagicznych grzybów zazwyczaj stosowane są fungicydy chemiczne takie, jak: Miedzian 50 WP (miedź), Amistar 250 SC (azoksystrobina i cyprokonazol), Tango Star 334 SE (fenpropimorf i epoksykonazol), Caramba 60 SL (metkonazol), Folicur Plus 375 EC (tebukonazol i triadimenol), Artea 330 EC (propikonazol i cyprokonazol), które mimo skuteczności i łatwości stosowania mogą stanowić zagrożenie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumenta spowodowane ich pozostałościami oraz prowadzić do uodparniania patogenów grzybowych i redukcji pożytecznych organizmów (Nowak i wsp. 2005; Kordowska-Wiater 2011).

Problemy wynikające z patogenności i toksynotwórczości grzybów rodzaju *Fusarium* oraz nabywania oporności na stosowane fungicydy są jednymi z najważniejszych zagadnień rolnictwa, zarówno w krajach o niskim poziomie rolnictwa, jak również w krajach o nowoczesnym rolnictwie.

W trosce o naturalne środowisko, jak i skuteczną ochronę płodów rolnych prowadzone są wielokierunkowe badania, których celem jest przede wszystkim: eliminacja albo przynajmniej ograniczenie stosowania substancji chemicznych, na które fitopatogenne grzyby nabyły oporność (Sobiczewski 2010), poszukiwanie fungicydów skutecznych w niskich dawkach, nowych odpornych na infekcje odmian pszenicy i systemu upraw roli (Różalski i wsp. 1998; Małecka i wsp. 2001) oraz biologiczna ochrona roślin z wykorzystaniem biopreparatów. Biologiczna ochrona roślin przed chorobami obejmuje bardzo szeroką problematykę, w tym i wykorzystanie, tzw. naturalnej oporności gleb i podłoży, płodozmian, odpowiednie nawożenie, zastosowanie wyciągów z kompostu, roślin (olejki eteryczne i ekstrakty), zwierząt (chitozan), jak również żywych mikroorganizmów w zwalczaniu patogenów roślin.

Nowe środki chemiczne / New chemical preparations

Powszechnie obserwowane uodparnianie się grzybów rodzaju *Fusarium* na stosowane fungicydy (Sobiczewski 2010) zmusza do tworzenia nowych, skutecznie chroniących uprawy zbóż fungicydów. Szczególny nacisk położony jest na dobór substancji czynnych nowych fungicydów, które w niskich dawkach zapewnią skuteczną ochronę zbóż i pozwolą na uzyskanie ziarna o wysokiej zdrowotności. Najpowszechniej wykorzystywane w badaniach naukowych środki jako substancje czynne zawierają głównie triazole (np. metkonazol, tebukonazol, triadimenol), morfoliny (np. fenpropidyna, fenpropimorf), strobiluryny (np. pikoksystrobin), imidazole (np. prochloraz) lub mieszanki tych substancji (tab. 1).

Ocena skuteczności grzybobójczej różnych substancji czynnych fungicydów stosowanych do ochrony kłosa pod kątem uzyskania ziarna o wysokiej zdrowotności przeprowadzona w doświadczeniach poletkowych metodą sztucznej inokulacji kłosów pszenicy ozimej zawiesiną zarodników, np. *F. culmorum* wykazała, że skuteczną ochronę kłosa i wzrost plonu uzyskano po zastosowaniu mieszaniny związków triazoli – tebukonazolu i triadimenolu (Folicur Plus 375 EC) oraz triazolu i morfoliny – epoksykonazolu i fenpropimorfu (Tango Star 334 SE) w dawkach zalecanych przez producenta. Jednak wyższą zdrowotność ziarna zapewniał fungicyd Folicur Plus 375 EC (tab. 1) zastosowany w dawce zalecanej przez producenta (Sikora i wsp. 2007). Z kolei Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008) sugerują, że większy wpływ na cechy jakościowe i zdrowotność ziarna jęczmienia jarego miały warunki pogodowe panujące w latach zbioru niż testowane fungicydy. Prawdopodobnie trudność w ocenie skuteczności badanych fungicydów spowodowana była zbyt niskim stopniem porażenia rośliny przez patogenne grzyby rodzaju *Fusarium* (Narkiewicz-Jodko i wsp. 2008).

Tabela 1. Fungicydy testowane w ochronie zbóż przed fitopatogennymi grzybami
Table 1. Fungicides tested in protection grain against phytopathogenic fungi

Fungicyd Fungicide	Substancja czynna Active substance	Grupa chemiczna związków Chemical group	Dawki Dosage [l/ha]	Literatura Literature
Caramba 60 SL	metconazole	triazoles	1,25	Sikora i wsp. (2007) Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Sportak 450 EC	prochloraz	imidazoles	1,0	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Tebu 250 EC	tebuconazole	triazoles	1,0	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Riza 250 EC				
Cha 1876	fenpropidin	morpholines	1,0	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Corbel 750 EC	fenpropimorph	morpholines	1,0	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Folicur Plus 375 EC	tebuconazole + triadimenol	triazoles + triazoles	0,75	Sikora i wsp. (2007) Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Charisma 207 EC	famoxate + flusilazole	oxazolidines + triazoles	1,5	Sikora i wsp. (2007) Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Artea 330 EC	propiconazole + cyproconazole	triazoles + triazoles	0,5	Sikora i wsp. (2007)
Tango Star 334 SE	fenpropimorph + epoxiconazole	morpholines + triazoles	1,0	Sikora i wsp. (2007) Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Tilt Plus 400 EC	propiconazole + fenpropidin	triazoles + morpholines	1,0	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Rex 500 SC	thiophanate-methyl + epoxiconazole	benzimidazoles + triazoles	0,6	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Unix 75 WG + Acanto 250 EC	cyprodinil + picoxistrobin	anilinopirimidin + strobilurin	0,5 + 0,5	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Jau 64768 & Hecs 5125	propiconazole + fluoxastrobin	triazoles + strobilurin	1,25	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
Juwel TT 483 SE	epoxiconazole + fenpropimorph + kresoxim-methyl	triazoles + morpholines + strobilurin	1,2	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)
BAS 529 00F	fenpropimorph + epoxiconazole + pyraclostrobin	triazoles + triazoles + strobilurin	1,5	Narkiewicz-Jodko i wsp. (2008)

Biofungicydy zawierające substancje naturalne pochodzenia roślinnego / Biofungicides containing natural substances of plant origin

Powszechne stosowanie pestycydów może stwarzać zagrożenie dla środowiska, dlatego wzrasta zainteresowanie naturalnymi pestycydami. Taką alternatywą mogą stać się olejki eteryczne wyekstrahowane z roślin a wykazujące szereg cennych właściwości biologicznych, w tym działanie: przeciwbakteryjne, przeciwgrzybiczne i owadobójcze (Surviliene i wsp. 2009).

Te mieszaniny różnych związków, głównie: monoterpenów, monoterpenoidów, seskwiterpenów oraz substancji zapachowych (estry, ketony, fenole, alkohole, aldehydy, etery, węglowodory, kumaryny oraz kwasy organiczne) wykazują działanie grzybobójcze. Skutecznie ograniczają rozwój fitopatogennych grzybów rodzajów: *Fusarium* (*F. oxysporum*, *F. culmorum*) oraz *Phytophthora*, *Stemphylium*, *Sphaerotheca*, *Botrytis*, *Erysiphe*, *Aspergillus*, *Mortierella*, *Sclerotinia*, *Sporotrichum*, *Penicillium* i *Alternaria* w zakresie od 46 do 100% (Klimach i wsp. 1996; Orlikowski 2003; Burgieł i Smagłowski 2008; Surviliene i wsp. 2009). Ponieważ biobójcze działanie uzależnione jest od składu chemicznego i stężenia olejków oraz wrażliwości fitopatogennych szczepów grzybów, stale prowadzone są badania w kierunku wykorzystania olejków jako skutecznych biofungicydów (tab. 2).

Z badań przeprowadzonych przez Burgieła i Smagłowskiego (2008) wynika, że olejek z drzewa herbacianego w stężeniu 0,5% skutecznie hamował wzrost grzybów *F. culmorum*, *Botrytis cinerea* i *Erysiphe* sp. Grzybobójcze działanie tego olejku w stężeniach niższych (0,1; 0,01; 0,001%) było znacznie słabsze i widoczne tylko w początkowym okresie doświadczenia, np. olejek w stężeniu 0,1% tylko częściowo ograniczał rozwój grzybni *F. culmorum*, zarówno *in vitro*, jak i *in vivo* oraz miał niewielki wpływ na cechy morfologiczne (Burgieł i Smagłowski 2008). Skuteczność grzybobójczą tego olejku potwierdzono w doświadczeniu poletkowym do ograniczania rozwoju *Erysiphe* sp. (mączniak prawdziwy) na nagietkach. Rośliny opryskiwane 0,5% roztworem olejku były w mniejszym stopniu porażone niż kontrolne. Skuteczność

Tabela 2. Olejki eteryczne oceniane pod kątem zastosowania w biologicznej ochronie roślin (Klimach i wsp. 1996; Orlikowski 2003; Burgieł i Smagłowski 2008; Surviliene i wsp. 2009)
Table 2. Essential oils evaluated for their use in biological plants protection (Klimach *et al.* 1996; Orlikowski 2003; Burgieł and Smagłowski 2008; Surviliene *et al*. 2009)

Olejek etryczny – Essential oils	Zastosowane stężenie – Used concentration
Olejek z drzewa herbacianego – Tea tree oil	0,001; 0,01; 0,1; 0,5; 1,0; 2,0% (v/v)
Eukaliptusowy, z jodły syberyjskiej, ze świerku pospolitego, rozmarynowy Eucalyptus oil, siberian fir oil, spruce oil, rosemary oil	0,005; 0,01; 0,015 ml
Ekstrakt z grejpfruta – Grapefruit extract	165; 330 µg/cm^3
Jałowcowy – Juniper berry oil	0,5; 1,0; 2,0%
Kminkowy, mietowy, tymiankowy Caraway oil, peppermint oil, thyme oil	0,05; 0,1; 0,2; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0%
Tujowy – Thuja oil	2,0; 3,0; 4,0%

olejku z drzewa herbacianego (w stężeniu 0,5%) potwierdziła w swoich badaniach Garbusińska i wsp. (2010, 2011).

Klimach i wsp. (1996) wskazali na możliwość zastosowania w ochronie roślin olejków: miętowego, kminkowego i tymiankowego, cechujących się podobną aktywnością grzybobójczą, jak środki chemiczne: zaprawa Funaben T i Ridomil 25 WP; w obecności olejków miętowego i kminkowego stosowanych w stężeniu 0,2% oraz tymiankowego w stężeniach 0,05; 0,1 i 0,2% obserwowano całkowite zahamowanie wzrostu grzyba *F. sulphureum*. Olejki te podobnie działały na grzyby *Pythium* spp.

Grzyby rodzaju *Fusarium*, np. *F. catenulata*, są także wrażliwe na lotne frakcje olejku rozmarynowego i tujowego (Surviliene i wsp. 2008).

Dużą uwagę zwraca się na skuteczność ekstraktu z grejpfruta (EG) w hamowaniu rozwoju fitopatogenów. Orlikowski (2003, 2001) wykazał, że ekstrakt ten jest skuteczny w stosunku do dwóch szczepów rodzaju *Phytophora* (*P. ramorum* i *P. cryptoge*), a efekt jego działania polega na hamowaniu wzrostu i tworzeniu przetrwalników patogena. Rozpad grzybni i deformacje zoosporangiów prowadzące do zahamowania rozwoju grzybów w podłożu obserwowano, gdy ekstrakt zastosowano w stężeniach 165 i 200 µg/cm^3. Badania zależności między stężeniem ekstraktu z grejpfruta, a przetrwalnikami *P. ramorum* wykazały, że olejek w dawkach 8 i 40 µg/cm^3 stymulował formowanie się chlamydospor, a w stężeniach wyższych (do 200 µg/cm^3) całkowicie hamował tworzenie form przetrwalnych patogena (Orlikowski 2003). Fungistatyczne właściwości ekstraktu z grejpfruta (w stężeniach 165 i 330 µg/cm^3) w ochronie różanecznika przed *P. ramorum* potwierdzono w badaniach poletkowych. Zaobserwowano, że EG silnie hamował rozwój uszkodzeń (martwicy) chronionych liści różanecznika (Orlikowski 2003).

Podjęto także próby zastosowania olejku tymiankowego w ochronie róż przed *Diplocarpon rosae*, *Sphaerotheca pannosa* var. *rosae* (czarną plamistością) i *Erysiphe* spp. (mączniakiem prawdziwym) (Wagner i Spasówka 2007) oraz papryki przed chorobotwórczymi grzybami występującymi w warunkach polowych. Po zastosowaniu olejków obserwowano wzrost liczby grzybów saprobiotycznych rodzaju *Trichoderma* i *Mucor* na korzeniach papryki, co równocześnie prowadziło do ograniczenia liczebności grzybów chorobotwórczych (Jamiołowska i Wagner 2007).

Najniższą aktywność grzybobójczą wykazywały olejki z jodły syberyjskiej i ze świerku pospolitego, które tylko w nieznacznym stopniu hamowały rozwój patogenów (Surviliene i wsp. 2008).

Olejki o najsilniejszych właściwościach grzybobójczych znalazły zastosowanie w biologicznej ochronie roślin jako naturalne pestycydy, wykorzystywane głównie w rolnictwie ekologicznym lub stanowiące składniki biopreparatów. Do takich biopreparatów handlowych należą: Biosept 33 SL (Cintamani Polska) zawierający ekstrakt z grejpfruta; Timorex Gold (Biomor Israel Ltd.) – olejek z drzewa herbacianeg; Biochikol 020 PC (Gumitex Poli-Farm) – chitozan – poli[ß-/1,4/-2amino-2deoxy-D-glukopiraoza]; Bioczos BR (Himal) zawierający wyciąg z czosnku. Cechuje je wysoka skuteczność i szerokie spektrum działania na patogeny.

Preparat Biosept 33 SL był skuteczniejszy i wykazywał długotrwałe działanie hamujące rozwój izolatów grzybów występujących na cukinii (*F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. equiseti*, *F. oxysporum*, *Alternaria alternata*, *B. cinerea*, *Rhizoctonia solani*, *Trichoderma hamatum*) niż azoksystrobina (Amistar 250 SC, Syngenta) (Jamiołowska 2011). Świerczyńska (2010) potwierdziła skuteczność zarówno środków: Biosept 33 SL, Biochikol 020 PC, jak i Bioczos BR w hamowaniu rozwoju grzybów rodzaju *Fusarium*, takich jak: *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum* i *F. poae*. Skuteczność działania testowanych biofungicydów, oceniana w odniesieniu do działania fungicydu syntetycznego Alert 375 SC (kontrola), zależała od wrażliwości szczepu i zastosowanej dawki. Preparaty stosowano w trzech różnych dawkach: zalecanej, 5-krotnie większej i 5-krotnie mniejszej. W dawce zalecanej, rozwój testowanych grzybów (od 46 do 69%), w porównaniu do kontroli, najskuteczniej hamował Bioczos BR. Preparaty Biochikol 020 PC i Biosept 33 SL cechowały się słabszym działaniem. W dawce 5-krotnie większej zdecydowanie najskuteczniej ograniczał przyrost grzybni Bioczos BR, który całkowicie zahamował wzrost kolonii 5 gatunków *Fusarium* (*F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. poae*) i znacznie osłabił wzrost *F. oxysporum* (87,5%). Również silną toksyczność w stosunku do badanych grzybów wykazał Biosept 33 SL, hamując wzrost kolonii od 60,3 do 82,1%

(Świerczyńska 2010). Bioczos BR i Biosept 33 SL *in vitro* zahamowały także rozwój grzybów gatunku *Beauveria basiana* i *Paecilomyces fumosoroseus* (Gorczyca 2007).

Rozwój grzybów gatunku *F. oxysporum* skutecznie ograniczał także biopreparat Timorex Gold. Charakteryzuje się on także szerokim spektrum grzybobójczym w stosunku do innych grup grzybów (*Didymella bryoniae*, *Trichoderma* spp., *Sclerotium rolfsii* i *Thielaviopsis basicola*) (Barbiel 2008).

Substancje czynne zawarte w wyciągach pochodzenia roślinnego wykazują nie tylko działanie grzybobójcze, ale wpływają także na żywotność i zdrowotność nasion. Sas-Piotrowska i Piotrowski (2010) wykazali istotne zróżnicowanie w działaniu 39 wyciągów roślinnych na żywotność i zdrowotność nasion jęczmienia. Działanie wyciągów zależało od: pochodzenia, rodzaju rośliny zielarskiej i sposobu przygotowania. Energię kiełkowania nasion najsilniej stymulowały wyciągi z owoców *Coriandrum sativum*, nasion *Linum usitatissimum*, korzeni *Arctium lappa*, kwiatów *Verbascum thapsiforme*, *Levisticum officinalie*, *Marrubium vulgare* i *Lavendula vera*.

Niektóre biopreparaty znalazły już zastosowanie praktyczne w sadownictwie (Sapieha-Waszkiewicz i wsp. 2005; Zydlik 2008). Trudno natomiast wskazać na praktyczne wykorzystanie biofungicydów w uprawach polowych, a w szczególności zbóż. Są to działania przyszłościowe i będą stanowiły element zintegrowanej ochrony środowiska.

Biofungicydy zawierające mikroorganizmy antagonistyczne / Biofungicides containing antagonistic microorganisms

W ochronie zbóż przed grzybami rodzaju *Fusarium* oprócz środków zawierających substancje naturalne pochodzenia roślinnego, stosowane są biopreparaty zawierające żywe mikroorganizmy i ich metabolity (Matyjaszczyk i Sobczak 2011). Wykorzystanie mikroorganizmów w biologicznej ochronie wiąże się ze zjawiskami: nadpasożytnictwa, konkurencji i antagonizmu. Jednym z ważniejszych, najczęściej badanych, bezpośrednich mechanizmów antagonizmu jest antybioza. Polega na wydzielaniu przez mikroorganizmy do środowiska przeciwgrzybowych substancji antybiotycznych i związków lotnych, enzymów litycznych i substancji indukujących odporność rośliny (gospodarza) czy substancji stymulujących wzrost roślin.

Tabela 3. Antygrzybowe substancje hamujące rozwój grzybów
Table 3. Antifungal substances inhibiting fungal growth

Szczepy – Species	Substancje czynne – Biologically active substances	Literatura – Literature
Trichoderma	trichodermina virydyna, gliotoksyna, virydol, trichowirydyna, trichotoksyna A i B Antybiotyk V-21, trichoharzianina, peptaibole, tricholomginy, enzymy lityczne *Trichoderma viride*, gliotoxin, virydol, trichoviride, trichotoxin A i B Antybiotic V-21, trichoharzianin, peptaibols, tricholomginy, lytic enzymes	Brian i Hemming (2008)
Gliocladium	gliovirydyna, gliotoksyna, virydyna, dehydrogliotoksyna, tiometylogliotoksyna, enzymy lityczne glioviride, gliotoxin viride, dehydrogliotoxin, tiomethylogliotoxin lytic enzymes	Lisboa i wsp. (2007)
Bacillus	bacillomycyna, eumycyna, fengymycyna, ituryna, selenomycyna bacillomycinum, eumycinum, fengymycinum, iturin, selenomycinum	Wang i wsp. (2007) Akhtar i wsp. (2010)
Pseudomonas	hemipiocjanina, pioluteoryna, Pyrrolonitryna, siderofory helatujące jon Fe(III) enzymy lityczne hemipiocyanin, pioluteoryna, Pyrrolonitrin, Siderophores chelating ion Fe (III) lytic enzymes	Akhtar i wsp. (2010)
Azotobacter	termolabilne antygrzybowe substancje thermolabile antifungal substances	Chetverikov i Loginov (2009)
Erwinia herbicola	herbicolacyna – herbicolacyna	Tenning i wsp. (1993)
Streptomyces	aktynomycyna, aktidion, polifungina, enzymy lityczne, kandycydyny aktynomycinum, aktidion, polifungin, lytic enzymes, candicidins	Soares i wsp. (2009)
Saccharomyces unispora	antybiotyki i enzymy degradujące ścianę komórkową fitopatogena antibiotics and enzymes degrading phytopathogen's cell wall	El-Tarabily i Sivasithamparamb (2006)
S. cerevisiae 23	enzymy lityczne – lytic enzymes	Santos i Marquina (2004)
Candida steatolytica	antybiotyki i enzymy lityczne antibiotics and lytic enzymes	El-Tarabily i Sivasithamparamb (2006)
Pichia *P. anomala* *P. membranefaciens*	enzymy lityczne – lytic enzymes	Santos i Marquina (2004)

Tabela 4. Biopreparaty stosowane w ochronie roślin przed fitopatogennymi grzybami rodzaju *Fusarium*
Table 4. Bioproducts used in plant protection against phytopathogenic fungi from genus *Fusarium*

Nazwa handlowa biopreparatu Commercial name of the bioproduct	Kraj Country	Szczepy mikroorganizmów Strains of microorganisms	Rodzaj uprawy Crop type
Bio-Fungus	Belgia Belgium	*Trichoderma harzianum*	uprawy polowe i pod osłonami, produkcja rozsady (warzyw, drzew owocowych i roślin ozdobnych) field crops and greenhouse-grown, production of seedlings (vegetables, fruit trees and ornamental plants)
Trichoderma 2000 Trichodex	Izrael Israel		
Supresiwit	Czechy Czech Republic		
RootShield	USA The USA		
Bio-Treck			
Planter BoX			
SoilGard		*T. virens*	
Binab T	USA i Szwecja The USA and Sweden	*T. harzianum* *T. polysporum*	
Trichoderm	Polska Poland	*T. viride*	
Trichopel, Trichoject	Nowa Zelandia New Zealand	*T. harzianum* *T. viride*	
Mycostop	Finlandia Finland	*Streptomyces* spp.	
Candifruit	Hiszpania Spain	*Candida sake*	
Polyversum WP	Polska Poland	*Pythium oligandrum*	

Zdolność do produkcji substancji antybiotycznych jest powszechna dla 50% grzybów, promieniowców i bakterii glebowych (tab. 3). Takie zjawisko może wystąpić w fyllosferze i ryzosferze roślin oraz przy kiełkujących nasionach lub ziarniakach, gdzie następuje stały dopływ związków pokarmowych (Kurek i Kobus 1990; Pięta 1997). W ostatnich latach uwagę zwraca się na możliwość wykorzystania w ochronie roślin także drożdży rizosferowych (Santos i wsp. 2004; El-Tarabily i wsp. 2006).

Skuteczne działanie w biologicznej ochronie jest zazwyczaj efektem występowania kilku mechanizmów jednocześnie, zazwyczaj: wytwarzania substancji antybiotycznych, enzymów litycznych nadpasożytnictwa i konkurencji. Aktywność lityczną, m.in. w stosunku do grzybów rodzaju *Fusarium* wykazują promieniowce (*Streptomyces*, *Nocardia*) i bakterie oraz grzyby rodzajów *Trichoderma* i *Gliocladium*, a także drożdże. Wytwarzane enzymy, takie jak: chitynaza, celulaza, amylaza i laminarynaza (β-1-3 glukanaza), rozpuszczają ścianę komórek grzybni wegetatywnej przetrwalnikowej i zarodników fitopatogena.

Ważną rolę, czynnika biologicznego ograniczającego rozwój patogenów roślinnych, spełniają antagonistyczne grzyby rodzaju *Trichoderma*: *T. harzianum*, *T. pseudokoningii* i *T. viride.* Hamują rozwój pasożytniczych grzybów glebowych powodujących zgorzele siewek, gnicie korzeni oraz więdnięcie prowadzące do zamierania roślin. Jednak ze względu na fakt, że niska temperatura (5–15°C) otoczenia obniża tempo wzrostu grzybni *Trichoderma* spp., ich aktywność w hamowaniu rozwoju fitopatogenów takich, jak: *B. cinerea*, *F. solani* czy *R. solani* jest niska (Dłużniewska 2004). Biopreparaty oparte na *Trichoderma* spp. (tab. 4) mają większe perspektywy stosowania w uprawach szklarniowych lub pod osłonami niż w warunkach polowych. Biopreparaty mogą być wykorzystywane w ochronie roślin zarówno do zaprawiania materiału siewnego, opryskiwania upraw czy indukowania odporności roślin.

Skutecznym środkiem biokontroli w uprawach są także inne grzyby, np. *Pythium oligandrum*, który kolonizuje korzenie bez uszkadzania komórek roślinnych, przeżywa w ryzosferze, stymuluje reakcje obronne roślin i promuje ich wzrost eliminując przy tym grzyby chorobotwórcze, m.in. *P. dissotocum* (Vallance i wsp. 2009). Zadawalające efekty uzyskano po zastosowaniu preparatu Poliversum WP (tab. 4) w uprawach pomidorów.

Bardzo istotnym aspektem biologicznej ochrony jest także wspomaganie wzrostu roślin, przez drobnoustroje rizosferowe, tzw. PGP (Plant Growth Promoting), m.in. przez produkcję: fitohormonów (auksyn, giberelin i cytokinin), witamin, sideroforów czy zwiększenie dostępności azotu i fosforu. Zdolność do wytwarzania substancji typu regulatorów wzrostu roślin wykazano dla promieniowców *Streptomyces* antagonistycznych, w stosunku do fitopatogenów – *F. culmorum* i *F. avenaceum* (Krzyśko-Łupicka 2011).

Podsumowanie / Summation

Środki ochrony roślin pochodzenia naturalnego dostępne w Polsce stanowią jedynie 5% ogółu środków dopuszczonych do obrotu i rejestracja kolejnych byłaby niezwykle przydatna, szczególnie w obliczu wprowadzenia integrowanej ochrony roślin (Matyjaszczyk i Sobczak 2011). Poszukiwanie alternatywnych rozwiązań w zwalczaniu fitopatogenów roślin przyczyni się do lepszej ochrony środowiska przed skażeniami chemicznymi, co zapewni różnorodność biologiczną i ochronę zasobów naturalnych. Ponadto eliminacja groźnych patogenów za pomocą biofungicydów pozwoli na uzyskanie zwiększonych plonów o wysokiej zdrowotności, co umożliwi zaspokojenie rosnącego zapotrzebowania na zboże (Suchorzyńska i Misiewicz 2009; Krzemiński 2011) i zachęci do stosowania naturalnych metod ochrony roślin w walce z fitopatogenami.

Literatura / References

Akhtar M.S., Shakell U., Siddiqui Z.A. 2010. Biocontrol of *Fusarium* wilt by *Bacillus pumilus*, *Pseudomonas alcaligenes*, and *Rhizobium* sp. on lentil. Tübitak 34: 1–7.

Barbier M. 2012. *In vitro* sensitivity of *Didymella bryoniae*, *Fusarium oxysporum*, *Trichoderma* spp., *Sclerotium rolfsii* and *Thielaviopsis basicola* to the botanical fungicide Timorex Gold (*Melaleuca alternifolia*) under the "Paper disk diffusion" and the "Poisoning agar" testing methods. University of Florida-IFAS. Plant Medicine Program, Gainesville, FL. 32611, 20 pp. (Published by Marcel Barbier on Mar 20, 2012), http://pl.scribd.com/doc/86131901/In-Vitro-Sensitivity-to-Timorex-Gold-of-Five-Different-Fungi-Under-Two-Different-Methods

Brian P.W., Hemming H.G. 2008. Gliotoxin, a fungistatic metabolic product of *Trichoderma viride*. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.1945.tb06238.x/abstract [Accessed: 26.02.2008].

Burgieł Z.J., Smagłowski M. 2008. Fungistyczne własności olejku z drzewa herbacianego. Zesz. Probl. Post. Nauk Rol. 529: 13–18.

Chetverikov S.P., Loginov O.N. 2009. New metabolites of *Azotobacter vinelandii* exhibiting antifungal activity. Microbiology 78 (4): 428–432.

Dłużniewska J. 2004. Wpływ temperatury inkubacji na rozwój i stosunki biotyczne między *Trichoderma* spp. a grzybami patogenicznymi. Acta Sci. Pol. Agricul. 3 (2): 257–262.

El-Tarabilya K.A., Sivasithamparamb K. 2006. Non-streptomycete actinomycetes as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. Soil Biol. Biochem. 38: 1505–1520.

Garbusińska A., Mertas A., Król W. 2010. Przegląd badań *in vitro* oceniających aktywność przeciwdrobnoustrojową olejku z drzewa herbacianego (Tea Tree Oil). Cz. I. Borgis – Post. Fitoterapii 2: 85−96.

Garbusińska A., Mertas A., Szliszka E., Król W. 2011. Aktywność przeciwdrobnoustrojowa olejku z drzewa herbacianego (Tea Tree Oil) w badaniach *in vitro*. Cz. II. Borgis – Post. Fitoterapii 3: 175–184.

Gorczyca A. 2007. Wpływ środków Biosept 33 SL i Bioczos BR na wybrane grzyby owadobójcze *in vitro*. [The effect of preparations Biosept 33 SL and Bioczos BR on selected enthomopathogenic fungus *in vitro*]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 47 (4): 142−144.

Jamiołkowska A., Wagner A. 2007. Próby zastosowania olejku tymiankowego do ochrony papryki uprawnej w polu przed grzybami chorobotwórczymi. [Effect of thyme oil in protection against fungal diseases on pepper grown in the field]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 47 (4): 149–153.

Jamiołkowska A. 2011. Laboratory effect of azoxystrobin (Amistar 250 SC) and grapefruit extract (Biosept 33 SL) on growth of fungi colonizing zucchini plants. Acta Sci. Pol. 10 (2): 245–257.

Khan M.R., Fischer S., Egan D., Doohan F.M. 2006. Biological control of *Fusarium* seedling blight disease of wheat and barley. Phytopathology 96: 386–394.

Klimach A., Wieczorek W., Góra J. 1996. Wpływ olejków eterycznych na ograniczenie występowania niektórych chorób grzybowych i bakteryjnych roślin. Pestycydy 1: 45–54.

Korbas M. 2005. Ochrona zbóż po ukazaniu się liścia flagowego. Ochrona Roślin 5: 29–32.

Korbas M., Horoszkiewicz-Janka J. 2007. Wpływ ochrony roślin na jakość plonu zbóż. Wieś Jutra 4 (105): 29–32.

Kordowska-Wiater M. 2011. Drożdże jako czynniki ochrony biologicznej roślin. Post. Mikrobiol. 50 (2): 107–119.

Krzemiński M. 2011. Rośnie zapotrzebowanie na zboże. Agro Serwis 5: 11–13.

Krzyśko-Łupicka T. 1993a. Możliwości zastąpienia fungicydów szczepami drobnoustrojów saprofitycznych w zwalczaniu grzybów fitopatogennych (*F. culmorum* i *F. avenaceum*). Ekol. Rol.: 55–58.

Krzyśko-Łupicka T. 1993b. Poszukiwanie wzajemnych zależności między drobnoustrojami saprofitycznymi i fitopatogenami w celu stworzenia podstaw biologicznego ich zwalczania. Praca doktorska. Akademia Rolnicza, Wrocław, 89 ss.

Krzyśko-Łupicka T. 2010. Some aspects of antagonistic bacteria strains application o control wheat fusariosis. Proc. ECOpole 4 (2): 433−438.

Krzyśko-Łupicka T. 2011. Wykorzystanie antagonistycznych właściwości bakterii do zwalczania fuzariozy pszenicy. Chem. Dydakt. Ekol. Metrol. 16 (1–2): 51–55.

Krzyśko-Łupicka T., Sudoł T. 2005. The ability of selected *Fusarium* fungi to a growth in the presence of different glyphosate concentrations. Pol. J. Chem. Technol. 7 (2): 10–15.

Krzyśko-Łupicka T., Sudoł T. 2008. Interactions between glyphosate and autochthonous fungi surviving in aqueous solution of glyphosate. Chemosphere 71: 1386–1391.

Kurek E., Kobus J. 1990. Korzystne i szkodliwe oddziaływanie mikroflory ryzosferowej na wzrost i rozwój roślin. Post. Mikrobiol. 29, 1 (2): 103–124.

Kwaśna H., Chełkowski J., Zajkowski P. 1991. Grzyby. Polska Akademia Nauk, Warszawa–Kraków, 152 ss.

Lisboa B.B., Bochese C.C., Vargas L.K., Silveira J.R.P., Radin B., Rota de Oliveira A.M. 2007. Efficiency of *Trichoderma harzianum* and *Gliocladium viride* in decreasing the incidence of *Botrytis cinerea* in tomato cultivated in protected environment. Ciência Rural 37 (5): 1255–1260.

Małecka I., Blecharczyk A., Sawińska Z. 2001. Wpływ systemu uprawy roli na występowanie chorób w pszenżycie ozimym i jęczmieniu jarym. [The influence of tillage systems on disease occurence in winter triticale and spring barley]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 41 (2): 920–923.

Matyjaszczyk E., Sobczak J. 2011. Środki ochrony roślin zawierające substancje aktywne pochodzenia naturalnego. Bydgoskie Towarzystwo Naukowe: 307–310.

Narkiewicz-Jodko M., Gil Z., Urban M. 2005. Porażenie podstawy źdźbła pszenicy ozimej przez *Fusarium* spp. – przyczyny i skutki. Acta Agrobot. 58 (2): 319–328.

Narkiewicz-Jodko M., Mularczyk A., Urban M. 2008. Wpływ fungicydów na jakość i zdrowotność ziarna jęczmienia jarego. [The influence of fungicides on quality and health of spring barley grain]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 48 (1): 237–245.

Nowak W., Sowiński J., Pietr S.J., Kita W. 2005. Wpływ sposobów ochrony pszenicy ozimej na jakość ziarna konsumpcyjnego. Pam. Puł. 139: 117–127.

Orlikowski L.B. 2001. Effect of grapefruit extract on development of *Phytophthora cryptogea* and control of foot rot of gerbera. J. Plant Prot. Res. 41 (3): 288–294.

Orlikowski L.B. 2003. Development and spread of *Phytophthora ramorum* in the presence of grapefruit extract. J. Plant Prot. Res. 43 (3): 213–218.

Orlikowski L.B. 2011. Effect of grapefruit extract on development of *Phytophthora cryptogea* and control of foot rot of gerbera. J. Plant Prot. Res. 41 (3): 288–294.

Pięta D. 1997. Niektóre aspekty wykorzystania mikroorganizmów antagonistycznych do zwalczania chorób roślin. Ann. Univ. Mariae Curie-Skłodowska, Sect. EEE, Horticultura 5: 1–8.

Różalski K., Blecharczyk A., Skrzypczak G., Piechota T. 1998. Choroby podsuszkowe pszenicy ozimej uprawianej po różnych przedplonach w systemie siewu bezpośredniego. [Stem base disease incidence on direct seeded winter wheat after different previous crops]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 38 (2): 555–557.

Santos A., Marquina D. 2004. Killer toxin of *Pichia membranifaciens* and its possible use as a biocontrol agent against grey mould disease of grapevine. Microbiology 150: 2527–2534.

Sapieha-Waszkiewicz A., Marjańska-Cichoń B., Miętkiewski R., Żurek M. 2005. Reakcja grzybów owadobójczych na fungicydy pochodzenia roślinnego i syntetycznego *in vitro*. Acta Agrobot. 58 (1): 101–111.

Sas-Piotrowska B., Piotrowski W. 2010. Vitality and healthiness of barley (*Hordeum vulgare* L.) seeds treated with plant extracts. J. Plant Prot. Res. 50 (1): 117–124.

Sikora H., Banachowska J., Doleżych D. 2007. Badania nad ochroną pszenicy ozimej przed fuzariozą kłosów wywołaną przez *Fusarium culmorum* w warunkach sztucznej infekcji. [Studies on chemical protection of winter wheat against Fusarium head blight caused by *Fusarium culmorum* in conditions of artificial infection]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 47 (2): 314–318.

Soares C.F., Sousa C., Garrido M. 2009. *Streptomycetes* antagonism against *Cladosporium fulvum Cooke* and *Fusariumo xysporium lycopersici*. Ciencia Rural 6: 1897–1900.

Sobiczewski P. 2010. Bakterie w ochronie roślin przed agrofagami – znaczenie gospodarcze i biotechnologia. [Bacteria in plant protection against agrophages – economic importance and biotechnology]. Prog. Plant Prot./Post. Ochr. Roślin 50 (3): 1064−1073.

Suchorzyńska M., Misiewicz A. 2009. Mikotoksynotwórcze grzyby fitopatogeniczne z rodzaju *Fusarium* i ich wykrywanie technikami PCR. Post. Mikrobiol. 48 (3): 221–230.

Survilienė E., Valiuškaitė A., Snieškienė V., Stankevičienė A. 2009. Effect of essential oils on fungi isolated from apples and vegetables scientific works of the Lithuanian institute of horticulture and Lithuanian Univeristy of agriculture. Sodininkyste ir Darzininkyste 28 (3): 228–234.

Świerczyńska I. 2010. Wpływ wybranych biopreparatów na wzrost kilku gatunków grzybów z rodzaju *Fusarium* w warunkach laboratoryjnych. J. Res. Appl. Agric. Engin. 55 (4): 158–161.

Tenning P., van Rijsbergen R., Zhao Y., Joos H. 1993. Cloning and transfer of genes for antifungal compounds from *Erwinia herbicola* to *Escherichia coli.* Mol. Plant-Microbe Interactions 6 (4): 474–480.

Vallance J., Le Floch G., Déniel F., Barbier G., Lévesque C.A., Rey P. 2009. Influence of *Pythium oligandrum* biocontrol on fungal and oomycete population dynamics in the rhizosphere. Appl. Environ. Microbiol. 75 (14): 4790–4800.

Wagner A., Spasówka M. 2007. Próby zastosowania *Candida butyri* i olejku tymiankowego w ochronie róży przed czarną plamistością i mączniakiem prawdziwym. [Research on *Candida butyri* and thyme essential oil applications in the control of black spot and powdery mildew on rose]. Prog. Plant Prot./ Post. Ochr. Roślin 47 (4): 251–254.

Wang J., Liu J., Chen H., Yao J. 2007. Characterization of *Fusarium graminearum* inhibitory lipopeptide from *Bacillus subtilis*. Appl. Microbiol. Cell Physiol. 76: 889–894.

Weber R. 2007. Zagrożenie i sposoby ograniczania chorób fuzaryjnych pszenicy. Post. Nauk Rol. 2: 19–31.

Zydlik P. 2008. Wykorzystanie preparatów pochodzenia naturalnego w zwalczaniu niektórych chorób roślin sadowniczych. Nauka Przyroda Technologie 2 (1): 1–6.